

NYPL RESEARCH LIBRARIES



3 3433 10999 2473



3-VBA

Technik





# DIE TECHNIK IM ZWANZIGSTEN JAHRHUNDERT

UNTER MITWIRKUNG HERVORRAGENDER VERTEPETER DER  
TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN HERAUSGEGEBEN VON  
**GEH. REG.-RAT, DR. A. MIETHE**  
O. PROFESSOR AN DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE BERLIN

---

SECHSTER (2. ERGÄNZUNGS-) BAND:  
**DIE TECHNIK IM WELTKRIEGE**

---

BRAUNSCHWEIG 1921 / VERLAG VON GEORG WESTERMANN

34949A

Alle Rechte,  
insbesondere das der Übersetzung  
in fremde Sprachen, vorbehalten.

Copyright 1921  
by Georg Westermann,  
Braunschweig.

Druck von Georg Westermann in Braunschweig.

# INHALTSVERZEICHNIS

Tunnelbau. Von Dolezalek . . . . . Seite 1—56

	Seite		Seite
Einleitung . . . . .	1	Bohrungen mit Stoß- und Kernbohrern . . . . .	8
Gebirgstunnel . . . . .	1	Geologische Bezeichnungen	8
Eisenbahnen und Straßen im Hochgebirge . . . . .	1	Geologische Verhältnisse der dreigrößten Scheiteltunnel	10
Möhenlage der Eisenbahnen	1	Schwimmsandeinbruch . . . . .	8
Scheiteltunnel . . . . .	1	Karawankentunnel . . . . .	10
Hauptbahnen in den Alpen	1	Bergschläge . . . . .	10
Gotthardtunnel . . . . .	2	Wassermengen, zufließende und abzuführende . . . . .	11
Scheiteltunnel der Albulabahn	2	Quellen, heiße und kalte des Simplontunnels . . . . .	11
Scheiteltunnel der Kordilleren	2	Quellen des Grenchenberg-tunnels . . . . .	12
Tunnel Jungfrauojoch . . . . .	2	Wassereinbrüche im Bosruck und Mont d'Or-Tunnel . . . . .	12
Simplontunnel . . . . .	3	Erdwärme . . . . .	13
Splügentunnel (Chur-Chiavenna) . . . . .	3	Gestelnwärme im Gotthard- und Lötschbergtunnel . . . . .	14
Kaukasustunnel (Wladikawkas-Tiflis) . . . . .	3	Abkühlung und Trocknung der Luft . . . . .	14
Rigorostunnel . . . . .	3	Gase und Explosionen im Bosruck- u. Karawankentunnel	15
Lötschbergtunnel . . . . .	4	Kohlenwasserstoffgase im Ridentunnel (Schweiz), Szuramtunnel (Transkaukasus) und Montefalcione-tunnel (Italien) . . . . .	15
Bernhardtunnel . . . . .	4	Vorsichtsmaßregeln	15
Jungfrauabahn . . . . .	4	Druckluftbohrmaschinen	16
Gefällstrecken . . . . .	4	Natürliche und künstliche Lüfterneuerung . . . . .	16
Neigung . . . . .	4	Sauglüftung . . . . .	17
Reibungswert im Tunnel . . . . .	4	Drucklüftung . . . . .	17
Luftwiderstände . . . . .	4	Wasserdruck - Drehbohrmaschinen im Simplontunnel	18
Scheiteltunnel, einseitig geneigte . . . . .	5	Druckluftbohrmaschinen im Lötschbergtunnel . . . . .	18
Zufahrtsrampen . . . . .	5	Unterstellen . . . . .	19
Kehrtunnel . . . . .	5	Druckluft-Bohrhämmer im Hauensteinuntunnel . . . . .	19
Gotthardbahn . . . . .	5	Hydraulische Drehbohrmaschinen und elektrische Stoßbohrmaschinen . . . . .	19
Pfaffensprungtunnel . . . . .	5	Gebirgstunnel . . . . .	19
Wattiger und Leggestein-Kehrtunnel . . . . .	5	Richtstellen . . . . .	19
Trasqueratunnel . . . . .	5	Aufbrüche . . . . .	20
Kehrtunnel von Varzo . . . . .	5	Firstschlitweise . . . . .	20
Albulabahn . . . . .	5	Bohr- und Sprengarbeit	20
Felsköpfe und Berglehnen	6	„Durchschlag“ . . . . .	22
Axenstraße . . . . .	6	Bohrhämmer . . . . .	22
Lehntunnel . . . . .	6	Druckluft-Stoßbohrmaschinen	23
Viktoriatunnel . . . . .	6	Drehbohrmaschinen . . . . .	24
Tunnel auf Gebirgsstraßen	6	Sprengmittel . . . . .	25
Tunnel der Bristenstraße	6	Zündung . . . . .	25
Lehntunnel der Samnauer Straße . . . . .	6	Maschinelle Einrichtungen zur „Schütterung“ . . . . .	26
Schuttkegel . . . . .	6	Ergebnisse der maschinellen Bohrungen:	
Schutzkegel am Grünbadh . . . . .	7	1. der Schlagbohrhämmer . . . . .	26
Lawinen . . . . .	7	2. der Druckluft-Stoßbohrmaschinen . . . . .	27
Untertunnelung des Rutschobels . . . . .	7	3. der elektrischen Stoßbohrmaschinen . . . . .	27
Geologische Verhältnisse . . . . .	7	4. der hydraulischen Drehbohrmaschinen . . . . .	27
Tiefbohrungen . . . . .	7	Einrichtungen f. Bohrbetrieb, Förderung und Lüftung . . . . .	28
Apenlin-Tunnel . . . . .	8	Überbaute Grundfläche des Lötschbergtunnels . . . . .	28
		Wasserkräfte beim Bau des Albulatunnels . . . . .	29
		Dieselmotore für den Bau des Hauensteinunnels . . . . .	29
		Wasserkräfte für den Bau des Simplontunnels . . . . .	29
		Förderung der Ausbruchmassen aus dem Tunnel . . . . .	29
		Dampflokotiv, Luftlokotiv . . . . .	30
		Abstützung oder Zimmerung Längsträger- od. Querträgerzimmerung . . . . .	31
		Dauermder Ausbau . . . . .	31
		Bergen-Hill-Tunnel der Erie-Eisenbahn . . . . .	32
		Pennsylvaniabahn-Tunnel . . . . .	32
		Parallel-Tunnel . . . . .	32
		Doppel- oder Zwillingtunnel	33
		Tunnelentwässerungen und Abdichtungen . . . . .	34
		Tunnelmündungen . . . . .	35
		Architektonische Ausgestaltung d. Tunnelmündungen	35
		Unterwassertunnel . . . . .	35
		Merseytunnel und Severntunnel in England . . . . .	36
		Wasserleitungstunnel . . . . .	38
		Walkill-Tunnel . . . . .	38
		Ärmelkanal-Tunnel . . . . .	38
		Tunnel unter der Meerenge von Gibraltar . . . . .	40

	Seite		Seite		Seite
Tunnel Reggio-Messina . . . . .	40	Straßenbahntunnel unter dem Hafen von Boston . . . . .	45	Fangedämme . . . . .	50
Tunnel Schottland-Irland . . . . .	40	Tunnel New Jersey-Manhattan, Manhattan-Queens . . . . .	45	Senkkastengründungen . . . . .	50
Tunnel Kopenhagen-Malmö . . . . .	40	Ost-Boston-Tunnel . . . . .	46	Harlemfluß-, Detroitfluß-Untertunnelung . . . . .	50
Tunnel unter dem Bosphorus . . . . .	40	Tunnelbau mit Schilddortrieb . . . . .	46	La-Salle-Tunnel unter dem Chicagofluß . . . . .	51
Brustschild, Vollschild, Halbschild . . . . .	41	Seine-Tunnel . . . . .	46	Seine-Untertunnelungen . . . . .	51
Luft-, Sicherheits-, Notschleusen, Nottüren . . . . .	42	Wasserpressen . . . . .	47	Pariser Untergrundbahnen . . . . .	53
Tauderglocken . . . . .	43	Elbetunnel bei Hamburg . . . . .	47	Senkkasten . . . . .	53
Tunnel unter dem St.-Clair-Fluß in Kanada . . . . .	43	Spreetunnel bei Berlin . . . . .	49	Untertunnelung des Wiener Donaukanals . . . . .	54
Belmont-Tunnel unter dem East River in Neuyork . . . . .	44	Tunnel für den Entwässerungskanal der Stadt Kiel . . . . .	49	Das Gefrierverfahren . . . . .	54
Tunnel unter der Themse . . . . .	44	Tunnel bei Schlüchtern . . . . .	50	Einblasen von kalter Luft . . . . .	55
		Tunneifür d. Entwässerungskanäle in Hamburg . . . . .	50	Versuchstunnel unter dem East River in Neuyork . . . . .	56

## Artillerietechnik. Von Karl Becker . . . . . Seite 57—116

	Seite		Seite		Seite
Einleitung . . . . .	57	<u>Ermittlung der Auffallwinkel und der Endgeschwindigkeiten</u> . . . . .	74	Proßen . . . . .	94
Innere Ballistik . . . . .	57	<u>Allgemeines über den Verlauf der Geschößbahn</u> . . . . .	75	„Proßose“, „Proßhaken“ . . . . .	94
Die physikalischen Vorgänge beim Schuß . . . . .	57	<u>Die parabolische Theorie der Geschößflug im luftleeren Raum als Zentralbewegung</u> . . . . .	77	Rohrwagen . . . . .	95
Feldkanone . . . . .	58	<u>Folgen und Wesen des Luftwiderstandes</u> . . . . .	78	Eisenbahngeschütz . . . . .	95
Anfangsgeschwindigkeit . . . . .	58	<u>Die verschiedenen Luftwiderstandsgesetze</u> . . . . .	79	Einteilung der Geschütze . . . . .	95
15-cm-Kanone . . . . .	58	<u>Differentialgleichungen der Geschößbewegung im luftgefüllten Raume</u> . . . . .	81	Flachfeuergeschütze . . . . .	96
Treibmittel . . . . .	58	<u>Die Lösung der Differentialgleichungen</u> . . . . .	82	Haubigen . . . . .	96
Führungsring . . . . .	58	<u>Über die Streuungen</u> . . . . .	84	Feldgeschütze . . . . .	97
Eingangszündung . . . . .	58	<u>Einseitige Geschößabweichungen</u> . . . . .	87	Infanteriegeschütze . . . . .	97
Waffenknall . . . . .	59	<u>Die Seitenabweichung des rotierenden Langgeschosses</u> . . . . .	87	Leichte, schwere Feldhaubigen . . . . .	98
Geschößknall . . . . .	59	<u>„Poisson-Effekt“, „Magnus-Effekt“ u. „Kreiselwirkung“</u> . . . . .	88	Schwere Artillerie des Feldheeres . . . . .	93
Der Höchstgedruck und der Druckverlauf . . . . .	60	<u>Der Einfluß der Erddrehung schiefer Radstand</u> . . . . .	90	Belagerungsgeschütze . . . . .	99
Das innerballistische Problem . . . . .	60	<u>Die Tageseinflüsse</u> . . . . .	90	Festungs- u. Küstengeschütze . . . . .	100
Das Meßel . . . . .	60	<u>Das Geschößmaterial</u> . . . . .	91	Schiffsartillerie . . . . .	101
Die Staudung . . . . .	60	<u>Künstliche Metallkonstruktion Mantelringrohrkonstruktion</u> . . . . .	91	Flugabwehrartillerie . . . . .	102
Der Rohrrücklaufmesser . . . . .	61	<u>Schnelladeverschlüsse</u> . . . . .	92	Gebirgsgeschütze . . . . .	103
Die Verbrennungstemperatur . . . . .	61	<u>„Halbautomatischer“ Verschuß</u> . . . . .	93	Minenwerfer . . . . .	103
Die Bewegungsercheinungen der Waffe . . . . .	62	<u>„Liderungsteile“</u> . . . . .	93	Infanteriegeschütze . . . . .	103
Rückstoß und Rücklauf . . . . .	62	<u>Lafetten</u> . . . . .	94	Die Richtmittel . . . . .	103
Verschwindlafetten . . . . .	64	<u>Blocklafetten, Pivotlafetten, Sockellafetten</u> . . . . .	94	Das direkte Richten . . . . .	104
Rohrrücklaufgeschütze . . . . .	65			Das indirekte Richten . . . . .	106
Rücklaufbremse . . . . .	66			Die unabhängige Visierlinie . . . . .	107
Rohrvorlaufgeschütze . . . . .	66			Das mittelbare Einrichten einer Batterie . . . . .	108
Der Drall und die Drehung des Rohres als Gegenwirkung gegen den Drall . . . . .	67			Die Erkundungs- und Beobachtungsmittel . . . . .	108
Die verschiedenen Rohrschwingungen . . . . .	69			Schallerkundung . . . . .	109
Äußere Ballistik . . . . .	69			Nachrichtsmittel . . . . .	110
Ermittlung der ballistischen Elemente durch den Versuch . . . . .	70			Artillerietfahrzeuge . . . . .	110
Messung der Geschwindigkeit . . . . .	70			Der Schießbedarf . . . . .	110
Der Abgangswinkel . . . . .	73			Die Treib- und Sprengmittel . . . . .	110
Die Gesamtschußweite . . . . .	73			Das Schwarzpulver . . . . .	110
Die Totalflugzeit . . . . .	73			Die rauchschwachen Pulver . . . . .	110
				Die Laborierung der Pulver . . . . .	110
				Die Sprengmittel . . . . .	111
				Die Artilleriegeschosse und ihre Wirkung . . . . .	112
				Grenaten . . . . .	112

Seite	Seite	Seite
Schrapnells . . . . . 113	Brandgranaten . . . . . 114	Zeitzünder . . . . . 115
Kartätschen . . . . . 114	Leuchtgeschosse . . . . . 114	Brennzünder . . . . . 115
Sondergeschosse . . . . . 114	Nebelgeschosse . . . . . 114	Doppelzünder . . . . . 115
Panzergeschosse . . . . . 114	Zünder . . . . . 114	Die Zugkräfte der Artillerie . . . . . 116
Gasgeschosse . . . . . 114	Aufschlagzünder . . . . . 114	

**Gaskampf und Gasschutz.** Von C. Frhr. von Girsewald Seite 116—158

Seite	Seite	Seite
Entwicklung des Gaskampfes . . . . . 119	Die Gaswerfer . . . . . 128	Der feindliche Gasschutz . . . . . 150
Die Gaskampfstoffe . . . . . 121	Artillerie-Gasschießen . . . . . 129	Der englische Gasschutz . . . . . 150
Phosgen . . . . . 123	Gasminen-Schießen . . . . . 138	Der französische Gasschutz . . . . . 151
Giftstoffe . . . . . 124	Brandgranaten . . . . . 138	Der russische Gasschutz . . . . . 152
Die verschiedenen Arten des Gaskampfes . . . . . 125	Künstliche Vernebelung . . . . . 140	Rumänisches Gasschutzgerät . . . . . 153
Gas-Handgranaten . . . . . 125	Verhalten bei feindlichen Gasangriffen . . . . . 141	Die Sauerstoff-Schutzgeräte . . . . . 153
Das Blaseverfahren . . . . . 125	Die Gasabwehrwaffen . . . . . 144	Organisation des Gasschutzes . . . . . 158
	Die deutsche Maske . . . . . 147	Frontwetterdienst . . . . . 158

**Das Unterseeboot.** Von Marinebaurat Meisner . . . . . Seite 159—282

Seite	Seite	Seite
Allgemeines . . . . . 159	Petroleummotor . . . . . 184	Die Netze . . . . . 214
Konstruktion . . . . . 161	Dieselmotoren . . . . . 184	Die verschiedenen Arten . . . . . 215
Ein- und Zweihüllenboote . . . . . 164	Die Blei-Sammler . . . . . 191	Hafenboote . . . . . 218
Die Regiertanks . . . . . 172	Andere Antriebsarten . . . . . 193	Das Hochsee-U-Boot . . . . . 220
Die Trimm tanks . . . . . 173	Hilfsrichtungen . . . . . 195	Das B-Boot . . . . . 221
Die Ausgleichstanks . . . . . 173	Kreiselkompaß . . . . . 200	C-Boote . . . . . 222
Untertanks, Brennstoff-tanks . . . . . 174	Der Kompressor . . . . . 202	Größere Minenboote . . . . . 222
Sicherheitseinrichtungen . . . . . 175	Das Gebläse . . . . . 202	Unterseekreuzer . . . . . 222
Haupt- und Hilfszuspumpen . . . . . 176	Die funktentelegraphische Einrichtung . . . . . 203	Die Handels-U-Boote . . . . . 223
Der Sicherheitskiel . . . . . 177	Die Horchapparate . . . . . 205	Die Handhabung . . . . . 225
Der Tauchretter . . . . . 177	Die Lebensbedingungen der Besatzung . . . . . 206	Fahren unter Wasser . . . . . 229
Schießen . . . . . 178	Die Bewaffnung . . . . . 208	Angrundlegen . . . . . 230
Hebeaken . . . . . 179	Der Torpedo . . . . . 208	Auftauchen . . . . . 231
Hebeschiffe . . . . . 180	Die Mine . . . . . 210	Überwasserfahrt . . . . . 231
Raumeinteilung, Einrichtung . . . . . 180	Artilleristische Bewaffnung . . . . . 211	Der U-Boot-Krieg . . . . . 232
Torpedoraum, Maschinenraum . . . . . 183	Die Verteidigungsmittel . . . . . 213	Der Aufbau der deutschen U-Boot-Flotte . . . . . 240

**Torpedowesen.** Von Oberingenieur Zschorsch . . . . . Seite 243—282

Seite	Seite	Seite
Die Vorgeschichte . . . . . 243	Die Druckregler . . . . . 263	Torpedo-Ausstoßrohre auf Schlachtschiffen . . . . . 267
Der moderne Torpedo . . . . . 248	Die Maschinensperrung . . . . . 263	Das Unterseeboots-Ausstoßrohr . . . . . 272
Das Torpedokaliber . . . . . 248	Das Absperrventil . . . . . 264	Unterwasserbreitseiterohre . . . . . 274
Einteilung des Torpedos . . . . . 250	Die Stoppvorrichtung . . . . . 264	Die Torpedobatterie . . . . . 275
Der Torpedokopf . . . . . 251	Die Tiefenrudersperrung . . . . . 264	Sonstige Verwendung . . . . . 276
Der Torpedo-Luftkessel . . . . . 253	Die Geradlauf-Rudersperrung . . . . . 264	Das Schießverfahren . . . . . 277
Die Torpedomaschine . . . . . 254	Die Öleinrichtung . . . . . 265	Bisherige Erfolge und zukünftige Entwicklung der Torpedowaffe . . . . . 279
Die Heizvorrichtung . . . . . 255	Das Schwanzstück . . . . . 265	
Der Tiefensteuerapparat . . . . . 257	Die Torpedo-Ausstoßrohre . . . . . 266	
Der Geradlauf-Steuerapparat . . . . . 260	Torpedoballistik . . . . . 266	
Weitere Hilfsapparate . . . . . 262		

**Die Seemine.** Von Torpeder-Oberleutnant Kiep . . . . . Seite 283—314

Seite	Seite	Seite
Einteilung . . . . . 283	Beobachtungsminen . . . . . 283	Die Mine im Russisch-Japanischen Kriege . . . . . 288
Das Wesen der Seemine . . . . . 283	Abhängige Kontaktminen . . . . . 284	Die neuzeitliche Entwicklung des Minenwesens . . . . . 290
Abhängige und unabhängige Minen . . . . . 283	Die geschichtliche Entwicklung . . . . . 284	

	Seite		Seite		Seite
Die Sprengladung . . . . .	291	Zündung und Sicherung . . . . .	299	Zeiteinrichtungen . . . . .	305
Das Minengefäß . . . . .	293	Bleikappenzündung und Kon-		Treibminen . . . . .	307
Der Minenanker . . . . .	295	taktzündung . . . . .	300	Kontaktuhrwerk . . . . .	308
Die Tiefeneinstellung . . . . .	296	Auftriebsentschärfer . . . . .	304	Dynamische Wirkung der Mine	310
Die Verwendungsgrenze . . . . .	298	Zeitsicherungen . . . . .	304	Detonation einer Mine . . . . .	311

### Die modernen Schieß- und Sprengstoffe. Von Dr. K. Stephan. S. 315—340

	Seite		Seite		Seite
Allgemeines . . . . .	315	Nitrozellulosepulver . . . . .	327	Dinitrotoluol . . . . .	336
Allgemeines Verhalten		Nitroglycerinpulver . . . . .	327	Jl- und Trinitrobenzol . . . . .	336
von Schieß- u. Spreng-		Gemischte Pulver . . . . .	328	Nitronaphthalin . . . . .	336
stoffen . . . . .	316	Prüfung der Pulver-		frnitroanisol . . . . .	336
Energie-Inhalt der wichti-		sorten . . . . .	328	Tetra-nitro-anilin . . . . .	336
sten Explosivstoffe . . . . .	317	Verbrennungswert des Pul-		Hexanitrodiphenylamin . . . . .	336
Sensibilität von explosiblen		vers . . . . .	329	Ammonitrat . . . . .	336
Substanzen gegenüber der		Gasdruck im Rohr . . . . .	329	Chlorate und Perchlorate . . . . .	337
Fallhammerprobe . . . . .	320	Die Anfangsgeschwindigkeit		Bekannte Chloratspreng-	
Geschwindigkeit der Explo-		des Projektils . . . . .	330	stoffe . . . . .	337
sionswelle . . . . .	322	Zivile Sprengmittel . . . . .	330	Ammonite . . . . .	337
Brisanz einiger wichtiger		Nitroglycerin . . . . .	332	Karbonite . . . . .	337
Explosivstoffe . . . . .	323	Sprenggelatine . . . . .	334	Wetterdynamite . . . . .	337
Schießpulver oder Treib-		Nitrokohlenwasserstoffe und		Flüssige Luft . . . . .	337
mittel . . . . .	323	Glycerin . . . . .	335	Tabelle ziviler Sprengstoffe	338
Die modernen rauchlosen		Pikrinsäure . . . . .	335	Literatur für die Schieß- und	
Pulver . . . . .	325	Trinitrotoluol . . . . .	336	Sprengstoff . . . . .	340

### Flugwesen. Von Bentivegna . . . . . Seite 341—400

	Seite		Seite		Seite
Einführung . . . . .	341	Flugzeuge bei Kriegsausbruch	361	Vergleich zwischen den ein-	
Das Triebwerk . . . . .	343	Kriegführung und Luftwaffe	363	zelnen Spezialflugzeugen	388
Der Motor . . . . .	343	Die einzelnen Typen . . . . .	365	Schattenrisse der Flugzeuge	389
Motore der bayerischen Mo-		Das Ergebnis des Krie-		Die praktische Anwen-	
torenwerke . . . . .	347	ges für das Flugwesen	378	dung des Flugwesens	390
Die Luftschraube . . . . .	348	Tabelle der Durchschnits-		Das Flugzeug als Sportmittel	393
Das Flugzeug . . . . .	350	leistungen 1914—1918 . . . . .	380	Das Flugzeug im Dienste	
Das Tragwerk . . . . .	350	Entwicklung der Flugzeuge		der Wissenschaft . . . . .	393
Das Leitwerk . . . . .	354	von 1912—1920 . . . . .	381	Das Flugzeug als Waffe . . . . .	394
Untergestell . . . . .	357	Vom Kriegs- zum Frie-		Der Flug . . . . .	394
Hilfsgerät des Fliegers	359	densflugzeug . . . . .	382	Navigation . . . . .	397
Das Flugwesen im Welt-		Sportflugzeug . . . . .	385	Flugzeug und Luftschiff	398
kriege . . . . .	361	Verkehrsflugzeug . . . . .	387	Entwicklung der Luftschiffe . . . . .	400

## EINSCHALTBILDER

In der Zentrale eines U-Bootes während der Fahrt unter Wasser, gemalt von Felix Schwormstädt

(zu Meisner: Das Unterseeboot) . . . . . Titelbild

An Bord des deutschen Torpedoboots, das während des Gefechts bei Hornsriff am 17. August 1915 einen englischen Kreuzer und ein englisches Torpedoboot durch zwei Treffer vernichtete, gemalt von Felix Schwormstädt

(zu Zschornack: Torpedowesen) . . . . . zw. Seite 286/287

Torpedoschuß vom Schnellboot, gemalt von Philipp Braumüller

(zu Zschornack: Torpedowesen) . . . . . zw. Seite 280/281

Minenexplosion, gemalt von Philipp Braumüller

(zu Klepp: Die 5 minne) . . . . . zw. Seite 304/305



Felix Schwormstädt In der Zentrale eines U-Bootes während der Fahrt unter Wasser.

Zu Metzner: Das Untereboot.





# DIE TECHNIK IM WELTKRIEGE

---

# TUNNELBAU

VON DOLEZALEK

## EINLEITUNG

Verkehrswege wie Eisenbahnen, Straßen und Schiffahrtskanäle, auch Bewässerungs- und Entwässerungs- sowie Wasserkraftanlagen werden im Tunnel geführt, wenn zu hohe und offene Lage unter ungünstigen klimatischen Verhältnissen, zu tiefe offene Einschnitte oder Abträge, kostspieliger Grunderwerb oder die Behinderung anderer Anlagen vermieden werden sollen, sowie Schutz gegen Lawinen, Schneeverwehungen und Steinstürze oder Erdbeben erforderlich ist. An Stelle der Brücken können auch Tunnel unter Wasserläufen zweckmäßig sein.

## GEBIRGSTUNNEL

Mit dem Anwachsen des Verkehrsbedürfnisses und mit den Fortschritten der Technik, die eine rasche und billige Ausführung baulicher Anlagen ermöglichen, wurden in den letzten Jahrzehnten Eisenbahnen und Straßen im größeren Umfange unter schwierigen Verhältnissen, wie namentlich auch im Hochgebirge, erbaut, die infolge der immerhin eng begrenzten Neigungs- und Krümmungsverhältnisse ein Anschließen an den meist sehr ungünstigen Geländebau nur teilweise ermöglichten und daher neben tieferen Ein- und Anschnitten zahlreiche und größere Tunnelbauten erforderten, zumal meist von dem Grundsatz ausgegangen wurde, die Bahnen zur Vermeidung hoher Dämme, Brücken und Viadukte tiefer in das Gelände zu legen, um größere Sicherungen der Anlagen zu ermöglichen.

Die mit stärkeren Neigungen und kleineren Bogenhalbmessern ausgeführten Straßen können dem Gelände besser angepaßt werden, sie erfordern deshalb auch im Hochgebirge weit seltener und kürzere Tunnel als die Eisenbahnen.

Die Höhenlage der Eisenbahnen im Gebirge ist durch die klimatischen Verhältnisse, durch Schnee und Lawinen, die eine Sicherstellung des Winterbetriebes erschweren, begrenzt, außerdem steigen in den höheren Gebirgslagen die Täler zumeist stärker an als in den unteren. Die mit geringen Neigungen auszuführenden Eisenbahnen erfordern daher umfangreiche Linienverlängerungen, sogenannte künstliche Entwicklungen, somit höhere Bau- und Betriebskosten, auch Fahrzeitverlängerungen; deshalb und zur Vermeidung zu großer Hebung der zu fördernden Lasten werden Eisenbahnen, seltener Straßen in der Scheitelstrecke des zu übersteigenden Gebirgsrückens zumeist in den Tunnel gelegt, deren Eingänge für Hauptbahnen mit großem Verkehr in der Regel tief liegen, daher die sogenannten Scheiteltunnel oft bedeutende Längen erhalten. Namentlich weisen unsere Alpenbahnen die längsten und schwierigsten Tunnel in verschiedenen Höhenlagen auf.

In Abbildung 1 und 1a sind einige der bedeutendsten Scheiteltunnel neuerer Gebirgsbahnen nach ihrer Höhenlage mit den eingeschriebenen Neigungsverhältnissen in ‰ dargestellt.

Wie hieraus hervorgeht, ist man für Hauptbahnen in den Alpen über 1300 m Meereshöhe mit den Tunnelleingängen nicht hinausgegangen. — Den verschiedenen klimatischen und topographischen Verhältnissen in den einzelnen

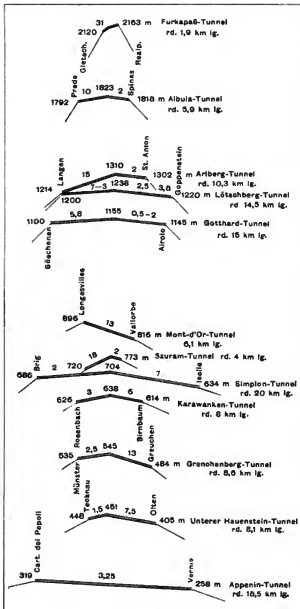


Abbildung 1.

Gebieten der Alpen ist durch verschiedene Höhenlage der Eingänge der großen Alpentunnel Rechnung getragen.

Der Nordeingang des Gotthardtunnels konnte kaum auf größere Höhe über Meer als 1109 und 1145 m gelegt werden. Wegen der günstigeren Verhältnisse des Albulgebietes konnten die Eingänge des Scheiteltunnels derschmalspurigen (1 m Spurweite) Albulbahn, die auch der Hauptsache nach großen Sommerverkehr hat, bis auf 1792 und 1818 m ü. M. gehoben werden.

Der Eingang des Scheiteltunnels der 1-m-spurigen Zahnbahn über den FurkaPaß, die fast nur für den Sommerverkehr bestimmt ist, liegt sogar auf 2163 m ü. M. Der 3032 m lange Scheiteltunnel der Korrdillieren, der Eisenbahnverbindung von Chile mit Argentinien, durchbricht die Anden in einer Höhe von 3200 m ü. M., was unter den dortigen klimatischen Verhältnissen, die weit günstiger sind als die unserer Alpen, noch angängig war.

Der 7,3 km lange Tunnel (Abbildung 2) der 1-m-spurigen Zahnbahn auf das Jungfraujoch mit Größtsteigungen bis 250‰ beginnt auf 2324 m und endet auf 3457 m ü. M.; er ist kein Scheiteltunnel und nur für den Touristenverkehr bestimmt; auch die Fortsetzung der Jungfrauahn soll durchweg im Tunnel

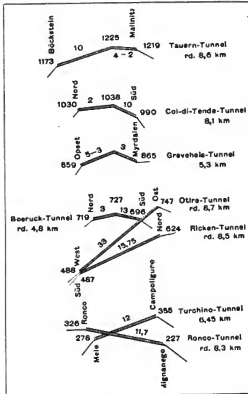


Abbildung 1a.

an den beiden Ausgängen werden kurze Strecken dann im Bogen angeordnet, wenn die Tunnelachse senkrecht zu den Tälern liegt, in welchen die Bahnen offen weitergeführt werden, wie z. B. Abbildung 3, Anordnung der Ausgänge am Simplontunnel, wobei die gerade Tunnelachse mit Hilfe von Stollen, die nicht mehr zum eigentlichen Tunnel gehören, nach außen verlängert wurde, um die geodätischen Arbeiten, namentlich die Richtungsangabe, zu erleichtern, was auch zum Teil den Lüftungsverhältnissen zu gute kommt.

geführt werden, weil eine offene Führung unter den herrschenden klimatischen und topographischen Verhältnissen ausgeschlossen erscheint.

Von einigen geplanten bedeutenderen Gebirgsscheitel-Tunnel dürften in nächster Zeit zur Ausführung kommen, der

- Splügentunnel (Chur-Chiavenna)  
26 km lang, 1000 m ü. M.,
- Kaukasustunnel (Wladikawkas-Tiflis)  
23,5 km lang, 1360 m ü. M.,
- Rigorosotunnel  
(Abkürzung Mailand - Genua)  
19,6 km lang, Basistunnel.

Mit Rücksicht auf tunlichste Kürze, leichtere Lüftung und Richtungsbestimmung erhalten die Scheitel-tunnel in der Regel gerade Richtung, nur

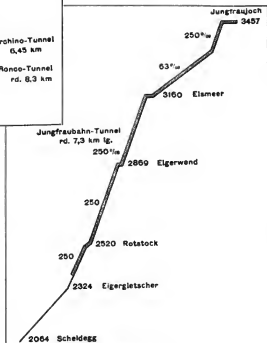


Abbildung 2.

Die Achse des Lötschbergtunnels mußte von der Geraden abweichend, nach Abbildung 4, geführt werden, weil von der ursprünglich festgesetzten geraden Richtung infolge sehr ungünstiger Gebirgsbeschaffenheit, die von vornherein nicht erkannt wurde, abgegangen werden mußte. In den Entwürfen für lange Scheiteltunnel einiger neuerer Gebirgsbahnen hat man auch geknickte Achsen vorgesehen, um einen Tunnel mit geringsten Überlagerungshöhen zu ermöglichen, wobei mehrere Angriffspunkte durch Schächte oder Stollen zur Beschleunigung der Arbeiten und Verbesserung

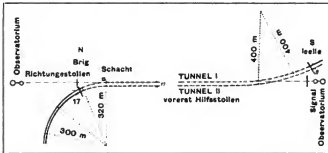


Abbildung 3.

Simplontunnel.

wurde, die stellenweise zur Gewinnung von Aussichtspunkten durchbrochen wurden, mußte, um Felsspalten und Klüften auszuweichen, mehrfach gekrümmt, mit kleinsten Bogen von 167 m Halbmesser, ausgeführt werden, wie der Lageplan Abbildung 5 zeigt.

Wie aus Abbildung 1 ersichtlich ist, erhalten Scheiteltunnel vielfach von einem bestimmten Punkte, das ist meist die wahrscheinliche Durchschlagstelle der von beiden Eingängen vorgetriebenen Tunnelstollen, nach beiden Seiten Gefällstrecken zur Erleichterung der Förderung der Ausbruchmassen und der Abführung des fast nie fehlenden Wassers. — Die kleinste Neigung ist tunlichst nicht unter 3‰ zu wählen; im übrigen hängt sie von der Höhenlage der beiden Eingänge des Tunnels ab. Größere Neigungen über 12 bis 10‰, auch hochgelegene Knickstellen, sind namentlich für lange von Dampflokomotiven befahrene Tunnel wegen größerer Rauchentwicklung und erschwerter Lüftung zu vermeiden.

Auch ist der Reibungswert im Tunnel, daher die Zugkraft der Lokomotive, meist geringer als auf offener Strecke; im engen eingleisigen Tunnel können die Luftwiderstände eine beträchtliche Größe erreichen, wie die Beobachtungen von Hennings im Albulatunnel und Stix im Simplontunnel ergaben. Daher sind auch aus diesen Gründen Abminderungen der auf offener Strecke gebrauchten Größtneigungen notwendig. Sehr lange eingleisige Tunnel mit knappen Lichtraumquerschnitten, größeren Steigungen und Dampfbetrieb sollen tunlichst durch

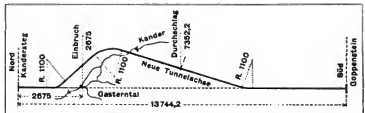


Abbildung 4.

Lötschbergtunnel.

erschwerter Lüftung zu vermeiden. Auch ist der Reibungswert im Tunnel, daher die Zugkraft der Lokomotive, meist geringer als auf offener Strecke; im engen eingleisigen Tunnel können die Luftwiderstände eine beträchtliche Größe erreichen, wie die Beobachtungen von Hennings im Albulatunnel und Stix im Simplontunnel ergaben. Daher sind auch aus diesen Gründen Abminderungen der auf offener Strecke gebrauchten Größtneigungen notwendig. Sehr lange eingleisige Tunnel mit knappen Lichtraumquerschnitten, größeren Steigungen und Dampfbetrieb sollen tunlichst durch

zweigleisige Anlagen ersetzt werden, auch wenn der Bahnverkehr die zweigleisige Anlage vorerst noch nicht benötigt.

Einseitig geneigte Scheiteltunnel, die sich nicht immer vermeiden lassen, haben namentlich bei stärkerer Neigung und größerem Wasserzufluß den Nachteil, daß die Arbeiten von dem in der Gefällstrecke liegenden Eingange aus mit vermehrten Schwierigkeiten

bezüglich der Förderung und Wasserabführung, daher mit größerem Zeitaufwande ausgeführt und in besonders schwierigen Fällen auch auf die in der Steigung liegenden Tunnelseite beschränkt werden müssen, was wegen

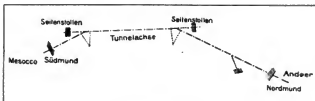


Abbildung 4a.

wesentlicher Verlängerung der Bauzeit für lange Tunnel besonders ungünstig ist.

Auf den Zufahrtsrampen zu den Scheiteltunneln, deren Größtneigung auf den vollspurigen Hauptbahnen kaum über 30‰ hinausgeht, sind infolge des steiler steigenden Geländes meist künstliche Linienverlängerungen durch Schleifen und Schlingen nicht zu vermeiden, die zumeist in einseitiger starker Steigung und im Bogen liegende Kehrtunnel von im allgemeinen weit geringerer Länge als die Scheiteltunnel erfordern.

Für die Zufahrtsrampen zum Arlbergtunnel und zum Tauerntunnel (Österr. Alpenbahnen) sind künstliche Linienverlängerungen durch hohe Bahnlage über den Tälern, daher auch Kehrtunnel, vermieden worden.

Auf der Gotthardbahn waren auf der Nord- und Südrampe zum großen Scheiteltunnel mehrere Kehrtunnelanlagen erforderlich. Die Anlage auf der Nordrampe

zeigt Abbildung 5a. Vorerst die Schlinge des 1476 m langen, im Korbbogen von 280 bis 500 m Halbmesser und in der einseitigen Neigung von 23‰ liegenden Pfaffensprungtunnels, dann die Wasener Schleife mit dem 1084 m langen Wattinger und dem 1090 m langen Leggistein-Kehrtunnel; beide liegen im Bogen von 300 m Halbmesser und in einseitiger Neigung von 22‰, während die Größtneigung der anschließenden offenen Strecken 26 und 25‰ beträgt.

An den Ausgang des Simplontunnels (Abbildung 5b) schließt der 1712 m lange, zum Teil in der Geraden und in der Steigung von rund 19‰ liegende Trasqueratunnel, dann der im Bogen von 500 m Halbmesser

und in der einseitigen Neigung von 18‰ liegende Kehrtunnel von Varzo an. Die anschließenden offenen Bahnstrecken nach Domo d'Ossola haben Größtneigungen von 25‰. — Auf der 1 m-spurigen Albulabahn mit Größtneigungen von 35‰ und kleinsten Krümmungshalbmessern von 120 m waren auf der Nordrampe zum großen Scheiteltunnel größere Entwicklungen mit Tunnelkehren erforderlich; eine dieser An-

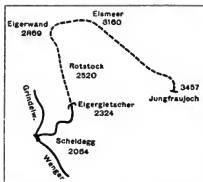


Abbildung 5. Jungfraubahn.

lagen zeigt Abbildung 5c. Die drei Tunnel, die in Neigungen von 30‰ und in Bogen von 120 m Halbmesser liegen, haben Längen von 555—680 m.

Hohe und steile Felsköpfe und Berglehnen, die nicht umfahren, auch nicht angeschnitten werden können, teils weil die Einschnittmassen zu groß, teils weil bei steiler Böschung Gefahren von Abbröckelungen und Abrutschungen bestehen, werden mit Tunnel durchbrochen, die meist nicht bedeutende Längen haben und nahe der Geländeoberfläche verlaufen. Ein Beispiel hierzu zeigt Abbildung 5d, die Führung der Gotthardbahn am Vierwaldstättersee, wo die steilen Kalkfelsen stellenweise weit in den See ragen, so daß sowohl die bekannte Axenstrasse (oben) und später die Gotthardbahn (unten) diese Vorköpfe mittels Tunnels durchbrechen mußten.

Die Lehnentunnel der Südrampe der Lötschbergbahn unten nach Andreea vielfache Schwierigkeiten namentlich infolge der sehr ungünstigen Gesteins- und Lagerungsverhältnisse. Zu den schwierigen Bauten gehört der nur 28 m lange Viktoriatunnel (Abbildung 5e), der einen Block eines Bergsturzes unterfährt, welcher einen Grat aufeinandergetürmter großer Blöcke unterstüßt. Eine völlige Beseitigung des Blockes hätte eine bedeutende Rutschung zur Folge gehabt, so daß ein namentlich an den Eingängen recht schwieriger Tunnelbau vorgenommen werden mußte.

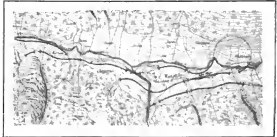


Abbildung 5a.

Gotthardbahn.

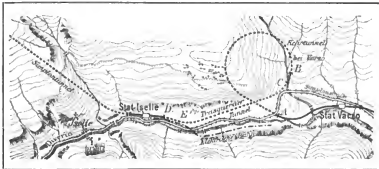


Abbildung 5b.

Simplonbahn.

Die auf Gebirgsstraßen erbauten Tunnel durchfahren meist nur Felsvorköpfe oder ungünstige Gehänge; sie sind gewöhnlich sehr kurz und liegen nahe der Geländeoberfläche, so daß Seitenöffnungen durch kurze Stollen ins Freie geschaffen werden können, was auch deshalb günstig ist, weil künstliche Beleuchtung in der Regel nicht zu beschaffen oder nicht dauernd in Betrieb zu erhalten ist. Abbildung 5f zeigt einen Tunnel im obersten Teil der Bristenstraße (Schweiz). Aus Abbildung 5g sind einige Lehnentunnel der Samnauer Straße (Kanton Graubünden, Schweiz) zu ersehen.

Auf Schuttkegel, gebildet von Wasserläufen aus Seitentälern, die sich meist noch in Bewegung befinden, können Bahnen nicht geführt werden, ihre Überschreitung erfolgt daher in vielen Fällen zweckmäßig durch eine Untertunnelung im festen Boden,

so daß die durch Schutzbauten geführten Wasserläufe ihren Lauf nicht wechseln können, und daher über den Tunnel geführt werden, wie z. B. Abbildung 5h zeigt: die Unterführung des Schutkegels am Grünbach an der Gotthardbahn, dessen Lauf durch Schutzbauten festgelegt ist.

Auch gegen Lawinen wird die Bahn oft am besten durch Verlegung in den Tunnel gesichert. Tunnel erhalten hierbei größere Längen, damit bei der nicht vorherzusehenden Ausdehnung der Lawinenfälle die Tunnelleingänge nicht verlegt werden können. Ein Beispiel zeigt Abbildung 5i, die Untertunnelung des Rutschobels auf der Strecke Davos-Filisur der Rätischen Bahn, worin die Lawine vom März 1907 eingezeichnet ist.

Auf der Südrampe zum Lötschbergtunnel mußte der Schuttkegel der sogenannten Roten Lawine mittels eines 268 Meter langen Tunnels unterfahren werden, dessen Länge aber kaum als ausreichend er-

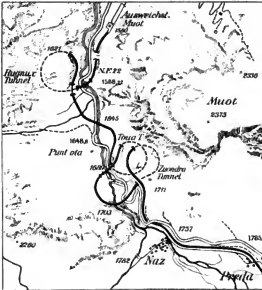


Abbildung 5c.

Albulabahn.

scheint, da, wie Abbild. 5k zeigt, im Frühjahr 1913 die Lawine den Eingang dieses Tunnels erreichte und teilweise verlegte, so daß nachträglich noch besondere Schutzbauten über dem Eingang notwendig wurden.

Die geologischen Verhältnisse, also die Gebirgsbeschaffenheit, die Wasser-, Wärme- und Gasverhältnisse sind von ausschlaggebendem Einfluß auf die Schwierigkeiten, Zeitdauer und

Kosten aller, namentlich aber der langen und hochüberlagerten Scheiteltunnel der Gebirgsbahnen. Es erscheint von besonderer Wichtigkeit, vor Beginn des Baues und der erforderlichen Einrichtungen durch Vorerhebungen, Schürfungen und Bohrungen die geologischen Verhältnisse, also die Art und Lage der vom Tunnel zu durchschneidenden Gebirgsschichten, näher kennenzulernen.

Die an der Oberfläche des den Tunnel überlagernden Gebirges angestellten Untersuchungen und die hieraus gezogenen Schlüsse geben, namentlich bei hoher Überlagerung und gestörtem Schichtenbau des Gebirges keinen verlässlichen Aufschluß über Art und Lage der einzelnen Gesteinsschichten, so daß in den meisten Fällen die tatsächlich vorgefundenen Gebirgsarten und ihre Lage zur Tunnelachse namentlich bei stark verbogenen und gefalteten Gesteinsschichten nicht übereinstimmen mit den geologischen Vorhersagungen und Plänen, die vor dem Baubeginn in dieser Weise aufgestellt wurden.

Tiefbohrungen von der Geländeoberfläche bis auf die Sohle des zu erbauenden Tunnels wurden namentlich bei den hohen Überlagerungen der Scheiteltunnel nur ausnahmsweise vorgenommen, da der hierfür erforderliche Zeit- und Kostenaufwand davon abgehalten hat.



Für den 18,5 km langen Apennin-Tunnel (Verbesserung der Eisenbahnverbindung Bologna-Florenz) wurden Bohrungen mit Stoß- und Kernbohrern auf Tiefen bis 386 m ausgeführt, wobei die gewonnenen Kerne, übersichtlich aneinandergereiht, ein Bild von der Gebirgsbeschaffenheit in der Tunnelachse ergaben. Wie Abbildung 6 zeigt, wurden sechs Löcher bis auf Tunnelsohle erbohrt, wodurch die Gebirgsart, wenn auch infolge großen Abstandes der Bohrungen nicht ganz bestimmt, so doch mit größerer Sicherheit angegeben werden konnte als bei Unterlassung der Probebohrungen.

Die Schwierigkeiten und Kosten solcher Bohrungen nehmen mit den Überlagerungshöhen, die bei den vorhandenen Scheiteltunneln bis 1000 und 2100 m betragen, bedeutend zu, so daß der nachahmenswerte Vorgang am Apennin-Tunnel auf die Fälle mit nicht zu großen Überlagerungshöhen beschränkt geblieben ist.

Die geologischen Bezeichnungen allein geben noch keinen genügenden Auf der Regel sind es mechanische Vorgänge, wie Verbiegungen, Faltungen, Quetschungen, Zerdrückungen und Zerreiben der Schichten, auch chemische Vorgänge, wie Zersetzen und Verwitterung des Gesteins, sowie die Einflüsse des Wassers, die Druckgebirge zur Folge haben.

In den ausgeführten großen Scheiteltunneln bestand der größte Teil des Gebirges aus festem Gestein, das mit Bohr- und Sprengarbeit, zumeist Maschinenarbeit, gelöst werden mußte, die von vornherein vorgesehen war; dagegen fanden sich ganz unvorhergesehen Druckstrecken zwischen festem Gebirge, deren Bewältigung häufig mit bedeutenden Schwierigkeiten und Kosten verbunden war.

Die geologischen Verhältnisse der drei größten Scheiteltunnel sind auf Grund der während des Baues gemachten Aufnahmen in den Längenschnitten Abbildung 7, 8 und 9 dargestellt. Sie entsprechen mehrfach nicht den vor Beginn des



Abbildung 5d. Gotthardbahn am Vierwaldstätter See.

schluß über die Beschaffenheit des Gebirges. Fast in allen geologischen

Formationen kommt festes Gestein vor, das durch Bohr- und Sprengarbeit zu lösen ist; aber auch Druckgebirge, das besonders schwierigen Bauvorgang und kostspielige Ausbauten verlangt, die nicht selten bei mißlungener erster Ausführung ein-, auch zweimal erneuert werden mußten.

Durch die geologischen Vorerhebungen sind solche Druckstrecken meist nicht zu ermitteln, da sie nicht an bestimmte Gesteinsarten gebunden sind. In

Baues aufgestellten geologischen Plänen. In allen drei Tunneln war der Hauptsache nach festes Gestein zu lösen, was mit maschineller Bohr- und Sprengarbeit geschah.

Im Gotthardtunnel, der vom Nordeingange an auf 2000 m Gneisgranit, auf 2300 m Ursern- gneis, schwarze Schiefer, Serizitschiefer, Cipollin, auf 7420 m



Abbildung 5e.

Lötschbergbahn.

Glimmergneise, Horn- blende, auf 3200 m kristallinische Schiefer, Quarzitschiefer, Dolomite durchfährt, fanden sich drei Druck- strecken, von welchen die ungünstige im Ab- stand 2,7 km vom Nordeingange in Gö- schenen 300 m unter der Andermatter Ebene im zersetzten und lettig aufgelösten Gneis lag. Es war dreimalige Erneue- rung des Ausbaues erforderlich, bis es gelang, volle Standfestigkeit des Mauerwerks zu erreichen. — Im Simplontunnel lag die ungünstigste Druckstrecke 4,45—4,49 km vom Südeingange bei Iselle etwa 1300 m unter der Oberfläche im zerdrückten und durch- weichten Glimmerkalk beim Übergang aus dem Antigoriogneis in die Triasschichten. Der Ausbau hatte ungewöhnlichen Vorgang und Formen und bedeutende Abmessungen erfordert. Der Tunnel durchfährt vom Nordeingange aus Kalkschiefer auf 3750 m, kristallinische Schiefer, Glimmerschiefer, Dolomite auf 11600 m und Antigoriogneis auf 4320 m. — Im Lötschbergtunnel (Berner Alpenbahn) erfolgte 2,7 km vom Nord- eingange Kandersteg nach dem Längsschnitt des der Bauvergebung zugrunde gelegten Tunneln, der von Abbildung 9 des nachträglich geänderten Tunneln abweicht, im Hoch-



Abbildung 5f. Bristenstraße (Schweiz).



Abbildung 5g.

Samnauer Straße (Schweiz).

gebirgskalk ganz unerwartet ein Schwimmsandeinbruch, der den vorgetriebenen Stollen in etwa 15 Minuten auf 1500 m Länge derart verschüttete, daß 25 Arbeiter nicht mehr Zeit hatten, sich zu retten, und den Tod fanden.

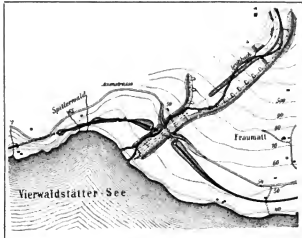


Abbildung 5k. Grünbach, Schuttkegel an der Gotthardbahn.

Auf Grund der geologischen Vorherbestimmungen hatte man nicht angenommen, daß die Schuttauuffüllungen des darüberliegenden Gasterntales bis auf den Tunnel herabreichen würden, sondern daß der Tunnel noch auf etwa 100 m von Felsgestein überdeckt sein werde, was sich aber als irrig herausstellte.

Die nachträglichen Untersuchungen haben ergeben, daß die mit Wasser völlig durchtränkten Schuttauuffüllungen des Gasterntales, in dem der Kanderfluß sein Bett hat, noch tief unter die Tunnel-

sohle reichen und etwa die aus Abbildung 10 ersichtliche Form haben dürften; die anschließenden Studien weisen darauf hin, daß die Fortführung des Tunnels in der ursprünglich geplanten Richtung so bedeutende Schwierigkeiten und Kosten verursacht hätte, daß man es vorgezogen hat, den Tunnel nicht an dieser Stelle unter dem Gasterntal, sondern nach der aus Abbildung 4 ersichtlichen Achse fortzuführen, wodurch der Tunnel um 800 m verlängert wurde, aber in festes Gebirge verlegt werden konnte.

Die Druckstrecken im 8 km langen Karawankentunnel (Österr. Alpenbahnen) von ungefähr 2 km Länge lagen im zerdrückten, von Kohlenkalk und Quarzkonglomeraten durchsetzten Karbonschiefer bei Überlagerungen von 960—550 m Höhe (Abbildung 11). Es sind wohl noch bei keinem anderen großen Scheiteltunnel so lange Strecken von so bedeutendem Gebirgsdruck aufgeföhren worden. Außergewöhnlich starke Stollenausbauten sind zusammengebrochen; die Ausmauerung in Quadern bis 2 m Stärke erfuhr stellenweise solche Formänderung, daß umfangreiche Umbauten erforderlich waren.

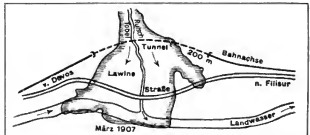


Abbildung 5i. Rätische Bahn (Davos-Filisur).

In mehreren der großen Scheiteltunnel traten im festen, kompakten Gebirge „Bergschläge“ oder „Knallgestein“ auf, wobei sich unter Knall Gesteinsplatten von erheblicher Größe, auch über 1 qm, aber von geringer Dicke, ablösten und in den

ausgebrochenen Tunnel stürzten, daher auch im sehr festen Gebirge der Tunnel meist ausgemauert werden mußte. Die Ursache mag wohl in der Aufhebung der Gesteinsverspannung liegen, die durch den Ausbruch des Tunnelraumes eintrat. Im Gneis des Simplontunnels, im Gasterngranit des Lötschbergtunnels, im porphyrtigen Granitgneis des Tauernunnels, im letzteren auf mehr als 3 km Länge, fanden „Bergschläge“ statt, die zur äußersten Vorsicht mahnten und kräftigen, zeitweiligen und dauernden Ausbau bedingten.



Abbildung 5k. Lötschbergbahn (Rote Lawine).

Die während des Baues dem Tunnel zufließenden und daher abzuführenden Wassermengen haben unter den verschiedenen Gebirgsverhältnissen und bei größeren Längen oft ganz beträchtliche Größen von 100—1000 l/sek., ausnahmsweise auch noch mehr erreicht. Bei gleichmäßiger Beschaffenheit und entsprechender Schichtenlagerung des Gebirges verteilen sich die Wasserzuflüsse meist gleichmäßig auf bestimmte Streckenlängen. Im stellenweise stark mit Klüften oder Hohlräumen durchsetzten Gebirge können auch geschlossene Quellen kalten und sehr warmen Wassers dem Tunnel unvorhergesehen zufließen, wodurch der Bauausführung besondere Schwierigkeiten erwachsen.

Im Simplontunnel entströmten dem Gebirge an verschiedenen Stellen große Mengen kalten und heißen Wassers, teils verteilt, teils in geschlossenen Quellen. Die heißen Quellen hinderten die Arbeiten ganz besonders, zumal sie auch die Abkühlung des ohnedies sehr warmen Tunnels erschwerten. Auf der Nordseite des Tunnels erreichten die heißen Quellen einen Wärmegrad von etwa 50° C, auf der Südseite war besonders eine heiße Quelle mit 150 l/sek. und 46° C dem Arbeiten sehr hinderlich; von den kalten Quellen war namentlich die im Abstände von 4,5 km vom Eingang der Südseite mit 1200 l/sek. und 12° C am bedeutendsten.

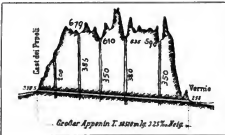


Abbildung 6.

verteilt, teils in geschlossenen Quellen. Die heißen Quellen hinderten die Arbeiten ganz besonders, zumal sie auch die Abkühlung des ohnedies sehr warmen Tunnels erschwerten. Auf der Nordseite des Tunnels erreichten die heißen Quellen einen Wärmegrad von etwa 50° C, auf der Südseite war besonders eine heiße Quelle mit 150 l/sek. und 46° C dem Arbeiten sehr hinderlich; von den kalten Quellen war namentlich die im Abstände von 4,5 km vom Eingang der Südseite mit 1200 l/sek. und 12° C am bedeutendsten.

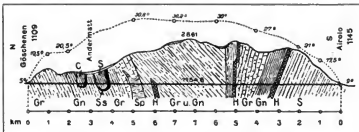


Abbildung 7.

Gotthardtunnel.

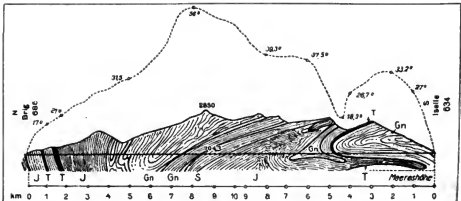


Abbildung 8. Simplontunnel.

Im 8,6 km langen Grenchenbergtunnel sind an verschiedenen Stellen starke, geschlossene Quellen dem Richtstollen zugeflossen, die dem Bau namhafte Schwierigkeiten bereiteten. Es wurden im Kimmeridge und in der Kontaktzone Kimmeridge Quellen erschlossen, die monatlang 800 l/sek. unter großem Druck in den Tunnel abführten, so daß die Arbeiten durch mehrere Monate eingestellt werden mußten. Zeitweise entfloßen dem Tunnel über 850 l/sek., im Mittel etwa 500 l/sek. Eine der stärkeren Quellen zeigt Abbildung 12.

Im 4,8 km langen Bosrucktunnel (Österr. Alpenbahnen) fanden außer mehreren kleineren auch noch zwei bedeutende Wassereintrüche von 800 l/sek. im Rauchwackelager und Kalkschiefer und von 1100 l/sek. im Triaskalk statt, die zu wiederholten Arbeitsunterbrechungen Veranlassung gaben.

Unter außerordentlich großen, bei keinem anderen Tunnelbau auch nicht annähernd erreichten Wasserzuflüssen hatte der Bau des 6,1 km langen, in der Juraformation liegenden Mont d'Or-Tunnel (Frankreich-Schweiz) zu leiden. Im Abstand von 4270 m vom Südeingang trat ein Wassereintruch von 3000 l/sek. ein, der in den folgenden vier Tagen bis auf 5000 l/sek. anstieg. Im Abstand von 130 m vom ersten Einbruch trat ein neuer Wassereintruch von 10000 l/sek. ein, wodurch die Arbeiten unterbrochen

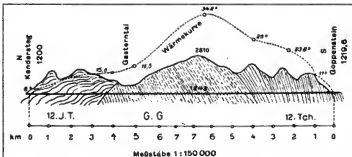


Abbildung 9.

Löttsbergertunnel.

wurden. Nur nach wiederholter Absperrung des überschwemmten Stollens u. Ausführung eines Umgehungsstollens konnten die Arbeiten wieder aufgenommen werden. Abbildung 13 zeigt die Überschwemmung am Südausgang bei Vallorbe, hervor-

gerufen durch einen Wassereinbruch im Stollen. Der Strom riß eine Dammschüttung von etwa 18000 cbm, ein Gebäude und die Förderbahn fort.

Das dem Tunnel zufließende Wasser wird in der Regel hinter der Tunnelverkleidung nach den in der Sohle liegenden, ausreichend groß bemessenen Kanälen mit genügendem Gefälle, nicht unter 2—3‰, geleitet und durch diese nach außen abgeführt. Stärkere Quellen werden auch besonders gefaßt.

Die durch stärkere Wasserzuflüsse entstehenden Bauschwierigkeiten sind durch die auf das geringste eben erforderliche Maß der Ausbruchquerschnitte verursacht, da es zunächst an Platz fehlt, das zuströmende Wasser ohne Störung des Baubetriebes abzuleiten. Erst nach Fertigstellung des Vollausbuches, Nachführung und Fertigstellung des Tunnelkanals hören die Schwierigkeiten auf, daher ist auf die rascheste Nachführung des Tunnelkanals besonders zu achten.

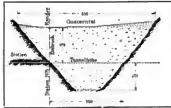


Abbildung 10. Lötischbergtunnel.

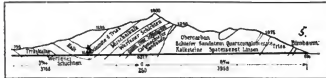


Abbildung 11.

Karawankentunnel.

Da die Erdwärme mit der Tiefe unter der Oberfläche zunimmt, so ist in langen und hoch überlagerten Tunneln, namentlich wenn auch die zu beiden Seiten der Tunnelachse sich erstreckenden Gebirgszüge große Höhen über dem Tunnel aufweisen, ein hoher Wärmegrad zu erwarten, der von der äußeren Luft- und Bodenwärme, von der Art und Lage der Gesteinsschichten abhängig ist und durch ungünstige Gebirgsbeschaffenheit sowie heiße Quellen gesteigert und durch kalte Quellen abgemindert werden kann. Die hierdurch bedingten Erschwernisse des Tunnelbaues werden um so fühlbarer, je feuchter die Luft im Tunnel ist. Warme Luft kann bekanntlich um so leichter ertragen werden, je trockener sie ist. In warmen Tunneln ist daher besonders für rasche Fassung und Abführung des zufließenden Wassers Sorge zu tragen.

In dem rund 20 km langen Simplontunnel, dessen Längsschnitt in der Achse in Abbildung 8 gegeben ist, betrug die größte Gesteinswärme etwa 56° C. Die eingezeichnete Wärmekurve zeigt die Größen der Wärmegrade an den einzelnen Stellen des Tunnels. Die heißen und kalten Quellen haben die Wärmegrade nicht unwesentlich beeinflußt.

Den Verlauf der ermittelten Wärmegrade des Gebirges im rund 15 km langen Gotthardtunnel mit höchster Über-



Abbildung 12.

Grenchenbergtunnel.

lagerung von ca. 1700 m zeigt Abbildung 7. Die größte Wärme wurde mit  $31^{\circ}\text{C}$  gemessen. — Im etwa 14,5 km langen Löttschbergtunnel mit höchster Überlagerung von 1570 m, Abbildung 9, betrug die größte Gesteinswärme  $34^{\circ}\text{C}$ .

In allen drei Fällen war die Erhebung des Bodens zu beiden Seiten der Tunnelachse eine verhältnismäßig hohe. Der Einfluß der Beschaffenheit und Stellung der Gesteinsschichten sowie der kalten und warmen Quellen war in allen drei Fällen verschieden, so daß die Wärmezunahme auf 1 m Tiefe der Überlagerung oder auch auf 1 m Tiefe des kürzesten Abstandes von der Oberfläche verschiedene Größen aufweist. Die Wärmemessungen wurden meist in den Bohrlöchern vorgenommen. Stapff, Koch, Zollinger haben die Einflüsse der Überlagerungshöhen, des kürzesten Abstandes von der Bodenoberfläche, der Gesteinsbeschaffenheit und des Wassers auf die Wärmezunahme in langen Gebirgstunneln eingehend erörtert. Nach Freilegung des Gebirges sank der Wärmegrad auch der Luft, sofern durch andere Einflüsse, wie durch Spreng- und Wegräumarbeit der gesprengten Massen, der Wärmegrad nicht wieder erhöht wurde. Infolge der in den einzelnen Fällen sehr verschiedenen und von vornherein nicht zu übersehenden Verhältnisse trafen die Vorherbestimmungen der für einen Bau zu erwartenden Wärmegrade in der Regel nicht zu.

Da Tunnelarbeiten in warmer und feuchter Luft nur bis zu einem gewissen Grade ohne Gefährdung der Gesundheit möglich sind, so ist eine Abkühlung und, soweit tunlich, eine Trocknung der Luft erforderlich. Im Gotthardtunnel sind bei  $28^{\circ}\text{C}$  Wärme der feuchten Tunnelluft zahlreiche Erkrankungen der Arbeiter vorgekommen. Allerdings waren die Lüftungsverhältnisse bei diesem Bau unzureichende.

Nach den im Tunnelbau gemachten Beobachtungen genügt bei Wärmegraden bis etwa  $30^{\circ}\text{C}$ , wobei bei guter Lüftung im nicht zu feuchten Tunnel noch wirtschaftlich richtig gearbeitet werden kann, eine Kühlung durch Einführung frischer Luft, während darüber hinaus kaltes, unter hohem Druck zerstäubtes Wasser oder Eis verwendet werden muß.

Im Simplontunnel wurde zur Kühlung hauptsächlich kaltes Wasser verwendet, das unter hohem Druck durch Düsen und Brausen zerstäubt ausströmte. Die Düsen verbrauchten  $0,5\text{ l/sek.}$ , die Brausen  $2\text{ l/sek.}$  Wasser. Die Abkühlung mit Hilfe von Eisbehältern war wegen des großen Eisverbrauchs nicht bewährt, während kaltes Wasser aus den Flüssen an den beiden Tunnelleingängen reichlich zur Verfügung stand.

Die heißen Quellen wurden besonders gefaßt und in geschlossenen, auch isolierten Leitungen so rasch abgeführt, daß möglichst wenig Wärme an die Luft abgegeben wurde. Es gelang, auf große Längen in den heißesten Strecken dieses Tunnels die Wärme auf  $24\text{--}25^{\circ}\text{C}$  herabzusetzen, so daß gute Arbeitsmöglichkeit erzielt wurde. Die Abkühlung des Tunnels wird noch gefördert durch die Ausströmung der Druckluft, auch des Druckwassers aus den Bohrmaschinen, sofern solche, was meist der Fall, verwendet werden.

Nach dem Durchschlage der von beiden Eingängen aus vorgetriebenen Stollen, und noch mehr nach Fertigstellung des Tunnels tritt infolge der meist dauernden Luftbewegung stärkere Abkühlung des Tunnels ein. Nach dem Durchschlage sank die Tunnelwärme im Simplontunnel an den ungünstigsten Stellen von  $29^{\circ}$  und  $30^{\circ}\text{C}$  auf  $24^{\circ}\text{C}$ ; nach Eröffnung des Betriebes ging sie noch weiter auf  $18\text{--}20^{\circ}\text{C}$  herab.

Im 7,3 km langen Jungfraubahntunnel, der aus den vorgenannten Gründen tunlichst knapp der Gebirgsoberfläche in Höhenlagen von 2300—3500 m ü. M. geführt wurde, war die Gebirgswärme eine sehr geringe, sie ging in den oberen Teilen des

Tunnels bis auf  $-3^{\circ}\text{C}$  zurück, so daß infolge der Kälte elektrische Wärme Einrichtungen im Tunnel getroffen werden mußten und Arbeiterschwernde eintraten. In den oberen sehr hoch gelegenen Tunnelstrecken trat in verdünnter Luft außerdem eine Abminderung der Leistungsfähigkeit namentlich der schwächeren Arbeiter ein, die eine Verkürzung der täglichen Arbeitsdauer bedingte.

Weitere Erschwernde entstanden dem Tunnelbau in einzelnen Fällen durch das Auftreten von gesundheitsschädlichen, gefährlichen Gasen, wie namentlich der leichten Kohlenwasserstoffe (Grubengase), die in Verbindung mit atmosphärischer Luft explosive Gasgemische bilden, die größte Vorsicht und Verzögerungen des Arbeitsbetriebes bedingten.

Im 4766 m langen Bosruktunnel und im 7996 m langen Karawankentunnel (Österreichische Alpenbahnen) entströmten an mehreren Stellen des Haselgebirges (Gemenge von Salz, Ton und Gips) und des Karbonitschiefers Methangase, die in zwei Fällen wegen nicht genügender Beachtung der vorgesehenen Vorsichtsmaßnahmen Explosionen verursachten, denen 16 und 15 Arbeiter zum Opfer fielen. — Im 8604 Meter langen Ricken-tunnel (Schweiz) entströmten dem Kohlen-sandstein an vielen Stellen



Abbildung 13. Mont d'Or-Tunnel.

von Sicherheitsprengstoffen. Verlässliche Beobachtungen und Untersuchungen sollen Aufschluß geben über gefährdete Strecken des Tunnels. Brandstellen sind abzudämmen oder durch Türen abzuschließen. — Ausreichende Lüftung ist für jeden Tunnelbau eine Lebensfrage. Die Schwierigkeiten ihrer Durchführung steigen mit der Tunnellänge. Der in Ausführung begriffene Tunnel stellt eine enge, aber langgestreckte Baustelle, ein vom Eingange bis an das jeweilige Ende des Baues sich verjüngendes Rohr mit verschiedenen Neigungsverhältnissen dar, dessen Querschnittsgrößen je nach der Bauweise stellenweise plötzliche Änderungen erfahren. In der Regel wird der Bau mit einem Stollen von kleinem Querschnitt (5—8 qm) begonnen, der allmählich, auch wohl sprungweise, zum vollen Ausbruch bis 60—80 qm erweitert wird, dem dann die Verkleidungs- oder Ausmauerungsarbeiten folgen.

Je nach der Bauweise sind die Längen der in Arbeit befindlichen Strecken, die zu lüften sind, verschieden, sie haben in langen und nicht immer zweckmäßig angeordneten Baubetrieben Größen bis zu 2000 m und darüber erreicht.

Auf der ganzen im Bau begriffenen Tunnelstrecke tritt Verschlechterung der Luft ein durch den Atmungsprozeß und die Ausdünstung der Arbeiter, durch die Abfall-

len Kohlenwasserstoff-gase, welche in mächtigen Flammen monatelang brannten und daher bedeutende Erschwernde und Verzögerungen der Arbeiten verursachten. Auch im 3963 m langen Szuramtunnel (Transkaukasus) und im 2595 m langen Montefalcionetunnel (Italien) traten mehrfach Kohlenwasserstoffgase auf, die die Arbeiten ungünstig beeinflussten.

Die in solchen Fällen erforderlichen Vorsichtsmaßnahmen bestehen in guter Lüftung, in Vermeidung offener Lichter und elektrischer Arbeitsmaschinen, in Verwen-



stoffe, die Zersetzung sonstiger organischer Stoffe, die Gasauströmungen aus dem Gebirge und aus dem zufließenden Wasser, durch den Gesteinstaub und die Sprenggase, auch durch Arbeitsmaschinen und Lampenbeleuchtung. Im warmen Tunnel ist außerdem Abkühlung durch Frischluftzufuhr nötig.

Das Maß der Luftverschlechterung und der hierdurch bedingte Frischluftbedarf ist je nach dem Arbeitsbetriebe verschieden und läßt sich nur schätzungsweise ermitteln.

Tunnel, in welchen mit Druckluftbohrmaschinen gearbeitet und mit Druckluftlokomotiven gefördert wird, werden teilweise durch die von den Maschinen abströmende Luft gelüftet, auch etwas gekühlt. Für größere Tunnel reicht diese Lüftung nicht aus. Die hochgespannte Arbeitsluft (5—7 Atmosphären) aber unmittelbar zur Lüftung zu verwenden, ist kostspielig und zumeist unwirtschaftlich, geschieht in der Regel auch zum Nachteil der Bohrmaschinenarbeit, wie das im Gotthardtunnel und bei einigen italienischen Tunnelbauten der Fall war.

Natürliche Lüfterneuerung ist nur für sehr kurze Tunnel möglich. Die Grenzlänge ist von örtlichen Neigungs- und Baubetriebsverhältnissen abhängig, geht aber im günstigsten Falle kaum über 1000 m hinaus.

Für Tunnel kann die Lüftung mit Hilfe von Schächten oder Kaminen in Frage kommen. Die Schachtlüftung beruht auf den Unterschieden des Luftdrucks und des Wärmegrades im Tunnel, im Schacht und außen, so daß meist verschieden gerichtete Luftbewegungen im Winter und Sommer eintreten. Die Größe des Luftdrucks ist nicht nur von der Höhenlage, sondern auch von den Windverhältnissen an den Ein- und Ausströmöffnungen abhängig. Die Wirkung kurzer Schächte versuchte man durch Schachtaufsätze, Kamine, die im Tunnelbau zumeist aus Holz hergestellt werden, zu erhöhen, die aber nur geringe Verbesserung ergaben, da der Wärmeunterschied der Luft in den freistehenden Aufsätzen gegenüber der Außenluft nur sehr klein sein kann. Durch Unterhaltung eines Feuers im Schacht ist eine stärkere Erhöhung der Wirkung möglich.

Abgesehen vom 1. Hauensteintunnel hat man anfänglich auf der Nordseite des Simplontunnels in der Nähe des Eingangs (s. Abbildung 14) 8 m links der Tunnelachse I in einem 47 m tiefen Schacht dauernd ein sehr kräftiges Feuer unterhalten, wodurch die Lüftung des Tunnels I in der aus späteren Mitteilungen ersichtlichen Weise bis auf eine Länge von etwa 1500—2000 m ausreichend ermöglicht wurde. Bei wirkungsvoller Feuerung werden die Kosten aber recht hohe, so daß der Betrieb ein unwirtschaftlicher wird. Für kürzere und nicht hoch überlagerte Tunnel kann die Schachtlüftung in vielen Fällen zweckmäßig sein. Tunnel, welche nahe der Geländeoberfläche verlaufen, sog. Lehnentunnel, können durch kurze ins Freie führende Querstollen oft ausreichend gelüftet werden.

Die Schachtlüftungen sind für lange und hoch überlagerte Tunnel, welche mehrere und tiefe Schächte benötigen, sehr kostspielig. Bei größeren Abständen werden auch die zwischen den Schächten gelegenen Arbeitsstrecken um so schlechtere, von den vorherliegenden Strecken kommende Luft erhalten, je näher sie an der Abzugsstelle der schlechten Luft liegen. Trotzdem hat man in den Entwürfen für in Aussicht genommene lange Tunnel Schachtlüftungen vorgesehen, wie z. B. für den 20 km langen Rigorosotunnel, zur Abkürzung und Verbesserung der Verbindung von Genua mit Mailand, der vier Schächte von 180—260 m Tiefe und einen geneigten Seitenstollen von 264 m Höhe erhalten soll, die aber auch vermehrte Arbeitsangriffsstellen bieten und rascheren Baufortgang ermöglichen sollen. — Für lange und hoch überlagerte Tunnel ist künstliche Lüftung nicht zu entbehren, die entweder durch Ansaugen der

verschlechterten Luft oder durch Eindringen von guter Luft erreicht werden kann. — Die Sauglüftung hat die Nachteile, daß die schlechte Luft als solche in der Regel nicht unmittelbar abgesogen werden kann. Meist wird nur ein Gemisch von schlechter und guter Luft, wobei also viel überflüssige Arbeit geleistet wird, abgesogen; sodann durchströmt die von außen nachdringende gute Luft die verschiedenen Arbeitsstellen des Tunnels und wird daher um so schlechter, je tiefer sie in den Tunnel gelangt. Am Ende des Baues, also im Stollen, wo besonders die gute Luft für die dort auszuführenden schwierigen Arbeiten erforderlich ist, wird sie verhältnismäßig am schlechtesten sein. — Trotzdem kann Sauglüftung in einzelnen Fällen, namentlich wenn an besonders ungünstigen Stellen schlechte Luft oder Gase unmittelbar abgesogen werden,



Abbildung 14. Simplontunnel (Nordseite).

oder wenn die Sauglüftung mit der Drucklüftung verbunden wird, zweckmäßig sein, auch für Lüftung des fertigen Tunnels während des Eisenbahnbetriebes.

Am Gotthardtunnel waren anfänglich Sauglüfter, dort Aspiratoren genannt, die bekannten Glockenlüfter, in Verwendung. Die Luft wurde durch eine 1,2 m verzinkte Eisenrohrleitung, die im Scheitel des fertigen Tunnelgewölbes aufgehängt war, aus dem Tunnel gesaugt; in die Arbeitsstrecken konnte diese Leitung nicht verlegt werden. Die Unzulänglichkeit der Anlage, die eigentlich nur versuchsweise im Betriebe war, hat bald zur Einstellung dieser Lüftungsart geführt. Man begnügte sich dann mit der aus den Druckluft-Stoßbohrmaschinen, die an mehreren Stellen im Tunnel arbeiteten, austretenden Luft, die, auf atmosphärischen Druck reduziert, etwa 1—2 cbm/sek. betrug. Infolge Unzulänglichkeit dieser Lüftung wurde an mehreren Arbeitsstellen unmittelbar Luft aus der Druckleitung entnommen, wodurch infolge starker Druckverminderung der Bohrmaschinenbetrieb sehr geschädigt wurde.

Diese Lüftungsart war ungenügend, aber auch unwirtschaftlich. Die Luft an einzelnen Arbeitsstellen dieses Tunnels war namentlich einige Zeit vor dem Stollendurchschlage nahezu unerträglich.

Die Drucklüftung kann so eingerichtet werden, daß die frische Luft in geschlossenen Leitungen unter genügendem Druck in den Tunnel geführt und an den verschiedenen Arbeitsstellen abgegeben werden kann, so daß auch noch am Ende des Baues, im Stollen, die dort nötige Frischluft zur Verfügung steht.

Bei den neueren großen Tunnelbauten wurden daher Drucklüfter verwendet, die auch im Bedarfsfalle als Sauglüfter wirken können, was in manchen Fällen erwünscht ist.

Als Drucklüfter kommen meist Schleudergebläse nach den Bauarten

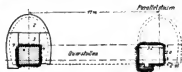


Abbildung 15. Simplontunnel.

Capell, Pelzer, Rateau und Sulzer in Frage. Für kleinere Luftmengen werden auch Strahlgebläse gebraucht. Die Lüfter arbeiten entweder einzeln oder mehrere gemeinsam,



Abbildung 16.  
Löttschbergtunnel.

neben oder hintereinander geschaltet, je nachdem eine größere Menge oder stärkerer Druck erforderlich ist. Der Kraftbedarf ist von der notwendigen Luftmenge und dem zur Überwindung des Leitungswiderstandes erforderlichen Drucke abhängig. Der Druckverlust in den Leitungen ist proportional der Länge und dem Quadrate des Luftgewichts, dagegen umgekehrt proportional dem Quadrate des Luftdrucks und der fünften Potenz

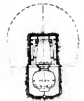


Abbildung 17a.

des Leitungsdurchmessers. — Der Kraftbedarf der Lüfter kann also durch große Leitungsquerschnitte und kurze Leitungslängen eingeschränkt werden; er betrug bei den neueren über 6 km langen Tunneln für die einzelnen Lüfter 40—100 P.S.; meist wurden 2—4 Lüfter hintereinander verbunden. Den Antrieb bewerkstelligten Turbinen oder Elektromotoren. Die Lüfter hatten einzeln 5—15 cbm/sek. Luft von 200—600 mm Wassersäule Druck zu liefern.

Die Leitungsquerschnitte sind durch die engen Tunnelräume, namentlich aber durch die Stollenquerschnitte, die meist nur 5—8 qm Größe erhalten, beschränkt. Im Stollen können daher nur Leitungen von 200 bis kaum 500 mm Durchmesser verlegt werden, die außerdem gegen Beschädigungen, namentlich durch die Sprengarbeiten, geschützt werden müssen (meist 15—20 mm starke Schutzbleche), während im fertigen Tunnel Leitungsdurchmesser von 1200—1500 mm noch möglich sind. Die Luftleitungen werden selten aus Holz, zumeist aus Eisen- oder Zinkblech, bei den fertigen Tunnelstrecken für große Weiten auch aus Beton oder Betoneisen hergestellt.

Für große Luftmengen sind aber zur Vermeidung zu großen Kraftverbrauches noch größere Leitungsquerschnitte zweckmäßig, die man bei neueren Tunnelbauten in verschiedener Weise zu erreichen suchte.

Im ersten eingleisigen Simplontunnel, dessen Sohlstollen mit Wasserdruck-Drehbohrmaschinen (Bauart Brandt) aufgeföhren wurde, standen auf jeder Seite zwei durch Turbinen angetriebene Lüfter, die je 25 cbm/sek. Luft bei 250 mm Wassersäulendruck lieferten, in Betrieb. Die Lüfter konnten auf Druck oder Menge geschaltet, auch zum Saugen eingerichtet werden. Die Luft wurde (Abbildung 14 und 15) in den in 17 m Abstand mit 8 qm Querschnitt vorgetriebenen Parallelstollen 2 als Leitungsrohr, und durch den jeweilig letzten der in etwa 200 m voneinander entfernten Querstollen in den Tunnel I gedrückt, während alle vorhergehenden Querstollen durch Türen verschlossen wurden.

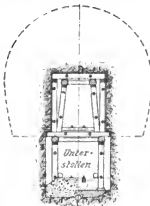


Abbildung 17.

Mit Hilfe von Strahlgebläsen oder kleinen Lüftern wurde die Frischluft im Querstollen gefaßt und durch

Rohrleitungen bis vor Ort des Hohlstollens des Tunnels I geblasen, während die restliche Luftmenge durch Tunnel I zurück nach dem Ausgange strömte. Der Parallelstollen II wurde dann auch zur Wasserabführung und zur Förderung benutzt und wird gegenwärtig zum zweiten eingleisigen Tunnel ausgebaut. Im zweigleisigen Löttschbergtunnel, in dem Druckluftbohrmaschinen arbeiteten, die zur Verbesserung der Luft beigetragen haben, befanden sich auf jeder Seite zwei

Lüfter, die je 25 cbm/sek. von 250 mm Wassersäulendruck durch den in der ausgemauerten Tunnelstrecke mittels einer Scheidewand hergestellten Luftkanal von 6,3 qm Querschnitt (Abbildung 16) drückten. Am Ende dieses Kanals wurde die Frischluft durch eine dort aufgestellte kleinere Drucklüfteranlage angesaugt und in geschlossenen Eisenröhren von 450—600 mm Durchmesser den Arbeitsstellen des Tunnels bis an den Ort des Sohlstollens zugeführt. Nach dem Durchschlage des Sohlstollens wurde die Frischluft nur von einer Seite in den Tunnel gedrückt, während von der entgegengesetzten Seite zeitweilig die Luftbewegung durch Ansaugen unterstützt wurde.



Abbildung 18.



Abbildung 19.

Nach den Vorschlägen von Weber und Hennigs soll unter dem Tunnel ein Unterstollen (Abbildung 17 u. 17a) vorgetrieben werden, der dem eigentlichen Tunnelstollen vorausgehen und als Lüftungsrohr benutzt werden soll; außerdem ist er auch zur Wasserabführung und Förderung sowie nach Vollendung des Tunnels zur Aufnahme aller erforderlichen Leitungen bestimmt.

Im zweigleisigen 2. Hauensteintunnel, in dem Druckluft-Bohrhämmer arbeiteten, drückten drei hintereinandergeschaltete Lüfter 4—5 cbm/sek. Luft von 400 bis 600 mm Wassersäulendruck in die Tunnelleitung, deren Durchmesser von 1000 auf 330 mm im Sohlstollen abnahm.

Im Tauern-, Karawanken- und Wocheiner Tunnel der österreichischen Alpenbahnen, in welchen hydraulische Drehbohrmaschinen und elektrische Stoßbohrmaschinen mit geringer Ausnahme tätig waren, sollten 5,8 cbm/sek. Luft bei etwa 600 mm Wassersäulendruck in die 800—500 mm weite Tunnelleitung durch 3 und 4 Lüfter, welche teils von Turbinen, teils von Elektromotoren angetrieben wurden, gedrückt werden.

Gebirgstunnel werden nach verschiedenen „Bauweisen“ ausgeführt. Die Lichtquerschnitte sind der Größe der Fahrzeuge für Eisenbahnen und Straßen anzupassen, sie betragen für ein- und zweigleisige Vollbahnen meist 30—80 qm. Da in der Regel eine Verkleidung oder Ausmauerung erforderlich ist, so wird der Vollausschnitt des Tunnels um das hierfür notwendige Maß größer als der Lichtquerschnitt.

Der Ausbruch erfolgt nicht gleich im vollen Querschnitte, sondern in Teilstücken und wird mit einem, auch mit zwei Stollen von meist 5 bis 10 qm Querschnitt be-

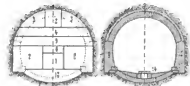


Abbildung 20.

gonnen. Dieser Stollen 1 liegt entweder in der First (Firststollen, Abbildung 18 und 19) oder in der Sohle (Sohlstollen, Abbildung 20 und 21) des Tunnels und wird als „Richtstollen“ 1 bezeichnet. In der Sohle können auch zwei Stollen



Abbildung 21.

erforderlich werden. — Da die Ausbrucharbeiten von oben nach unten vorgenommen werden, so folgt dem „Sohlstollen“ noch ein Firststollen 2 oder ein Firstschlit 2 und 3 (Abbildung 21) und sodann der Vollausbuch in der aus den Abbildungen ersichtlichen Reihenfolge.

Der Vortrieb eines Richtstollens hat auch den Zweck, das Gebirge aufzuschließen, wonach die weiteren Maßnahmen für den Ausbau getroffen werden können, eine größere Zahl von Arbeitsangriffstellen für den Vollausbuch und die Ausmauerung zu gewinnen, die Absteckung oder Richtungsangabe zu erleichtern, auch die Entwässerung des Gebirges vor den Vollausbucharbeiten zu ermöglichen. Wenn auch bei Beginn der Ausbrucharbeiten mit dem Firststollen ein zweiter Stollen nicht erforderlich ist, so ist doch in den meisten Fällen, namentlich für längere Tunnel, der Beginn mit Sohlstollen vorzuziehen, da hierbei die für die Fortschaffung des Ausbruches und Zuführung der im Tunnel benötigten Geräte und Baustoffe gleich in der Sohle verlegte Förderbahn während des ganzen Baues nahezu unverändert liegenbleiben kann, die Abführung des zufließenden Wassers an der tiefsten Stelle, in der Sohle, erfolgt und die Gewinnung von vielen Arbeitsangriffstellen für den vollen Tunnelausbau durch sogenannte Aufbrüche, also eine wesentliche Beschleunigung der Arbeiten, möglich ist. Mit wenigen Ausnahmen ist daher der Bau der großen Gebirgstunnel mit einem Sohlstollen als Richtstollen begonnen worden.

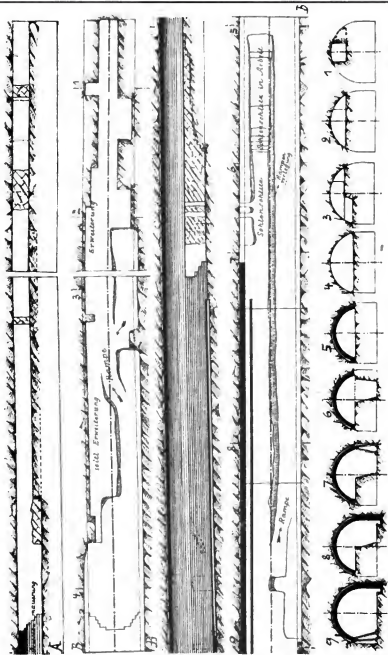
Wird der Ausbruch mit dem Firststollen begonnen, so ist ein zweiter Stollen allerdings nicht erforderlich, allein die Förderbahn muß dem Arbeitsfortschritt entsprechend fortwährend von oben nach unten verlegt werden, die Vermehrung der Arbeitsstellen ist nur für den oberen Tunnelteil zweckmäßig möglich, während für den unteren Tunnelteil weitere Angriffstellen nur durch Absenkungen gewonnen werden können, wobei Wasserabführung und Förderung der Ausbruchmassen besonders erschwert sind. Den charakteristischen Unterschied der Arbeitsvorgänge mit dem First- und dem Sohlstollen zeigen Abb. 22 u. 23, die den Firststollenbau des 15 km langen Gotthardtunnels und den Sohlstollenbau der großen, 6—10,25 km langen österreichischen Alpentunnel darstellen.

Die namhaften Übelstände und die wesentliche Überschreitung des vorgesehenen Vollendungstermins haben erwiesen, daß der am Gotthardtunnel eingehaltene Vorgang namentlich für die Ausführung bedeutender Gebirgstunnel nicht geeignet ist, während der Sohlstollenbetrieb in den Tunneln der Österreichischen Alpenbahnen sehr befriedigende Ergebnisse geliefert hat.

Die Firstschlitweise, wobei dem Sohlstollen der Firstschlit und nicht der Firststollen folgt, hat die Vorteile besserer und leichter Lüftung der oberen Tunnelräume, sowie der zweckmäßigeren Einbringung der Zimmerung auch zum Teil geringerer Ausbruchkosten; sie hat daher bei neueren Tunnelbauten häufig Verwendung gefunden, obwohl sie gegenüber der Firststollenbauweise den Nachteil hat, daß für den Ausbruch des Schlitzes besondere und so angeordnete Gerüste, welche den Verkehr in der Sohle des Tunnels nicht hindern, erforderlich sind.

Gebirgstunnel durchfahren zumeist festere Gebirgsschichten, deren Lösung Bohr- und Sprengarbeit erfordert. Zwischen festen Schichten kann auch weiches und Druckgebirge vorkommen. Die Lösung des weichen oder Druckgebirges erfolgt in der bei sonstigen Erdarbeiten üblichen Weise.

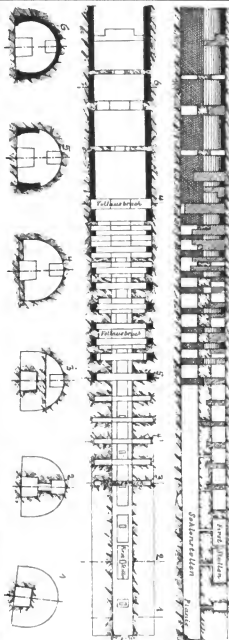
Die Bohr- und Sprengarbeit besteht in der Herstellung der Löcher durch Hand- oder Maschinenarbeit, im Laden der Löcher mit Sprengstoffen und Zündung der Ladungen, so daß für eine Lohladung ein ungefähr kegelförmiger Körper vom Gestein getrennt und abgeworfen wird.



Bauweise des Gotthardtunnels.

Abbildung 22.

Abbildung 23.



Bauweise der Tunnel der sesterreichischen Alpenbahnen.

Die rascheste Fertigstellung, d. h. das Zusammentreffen des von beiden Eingängen vorzutreibenden Richtstollens, „Durchschlag“ genannt, ist mit allen Mitteln anzustreben, da hiervon die Fertigstellung des Tunnels abhängig ist; denn man kann annehmen, daß bei richtigem Vorgang der Tunnel in 6–12 Monaten nach dem Durchschlag des Richtstollens vollendet sein kann.

Für größere Tunnel im festeren Gebirge wird daher zunächst die Lochbohrung im Richtstollen durch Maschinenarbeit bewerkstelligt; von der Maschinenarbeit kann dann auch im größeren oder geringeren Maße je nach der Leistungsfähigkeit der für den betreffenden Tunnelbau erstellten Kraftanlagen im Vollaussbruch Gebrauch gemacht werden.

Die zurzeit im Tunnelbau verwendeten Bohrmaschinen sind

1. Schlagbohrmaschinen oder Bohrhämmer,
2. Stoßbohrmaschinen,
3. Drehbohrmaschinen.

Schlag- und Stoßbohrmaschinen werden mit Druckluft von 3–7 Atm. Pressung, Stoßbohrmaschinen auch elektrisch angetrieben. Die im Tunnel gebrauchten Drehbohrmaschinen werden meist mit Wasser unter Druck (50–150 Atmosphären) betätigt.

Die Bohrhämmer, die mit Druckluft betriebenen Schlagbohrmaschinen, die vom Arbeiter gehalten, also ohne Gestell benutzt werden (s. Abbild. 24) haben im Richtstollen wie auch im Vollaussbruch der Tunnel häufig Verwendung gefunden. Der Kolben der Maschine wirkt als Hammer, der auf den Bohrer von der Meißel-, Kreuz- oder Z-Form schlägt, der nach jedem Schlag um einen der Gesteinsfestigkeit angepaßten Winkel gedreht oder umgesetzt wird. Die Bohrhämmer wiegen 9–18 kg und machen bei 3–7 Atm.

Druckluftpressung 400—800 Schläge in der Minute; sie werden in der Regel von einem, beim Ansetzen und bei langer Bohrzeit auch von zwei Arbeitern bedient und können in beliebiger Lage verwendet werden. Sie haben auch den Vorteil, daß die Bohrarbeit aufgenommen werden kann, bevor die Ausbruchmassen der vorhergegangenen Sprengung beseitigt sind, wodurch ein rascher Arbeitsfortgang ermöglicht wird. Allerdings ist der Luftverbrauch ein großer, der Wirkungsgrad ein kleiner. Im sehr festen Gestein sind schwere Bohrhämmer erforderlich. Die vom Arbeiter aufzunehmenden Ruckstöße wirken ermüdend; der Gesteinstaub ist belästigend. — Im 5—6 qm großen Richtstollen des 2. Hauensteintunnels wurden mit 3 Bohrhämmern (Bauart Westfalia) im wenig festen Gebirge (Mergel, Schiefersandstein, Gipskeuper) in 24 Stunden außergewöhnlich große Fortschritte von 10—14,5 m erzielt.



Abbildung 24. Druckluft-Bohrhammer.

Die Druckluft-Stoßbohrmaschinen ermöglichen eine hin und her gehende oder stoßende Bewegung, die Drehung des Bohrers nach jedem Stoße um einen der Gesteinsfestigkeit angepaßten Winkel, schließlich den Vorschub des Bohrers am Ende des etwas veränderlichen Kolbenhubes, da diese Maschinen nur auf feststehenden Dreifuß-Säulen- oder Wagengestellen verwendet werden können. Der Vorschub kann entweder selbsttätig durch die Maschine



Abbildung 25. Druckluft-Stoßbohrmaschine.

oder durch Vermittlung des bedienenden Arbeiters erfolgen, hiernach unterscheidet man lange, schwere und kurze, leichte Maschinen. Da der selbsttätige Vorschub bei einigermaßen vorsichtiger Bedienung der Maschine nicht von besonderer Wichtigkeit ist, werden meistens nicht mehr lange Maschinen mit 180—250 kg Gewicht, wie die Bauarten Ferroux, Mac Kean, Seguin, Welker, Gatti, Segalla, Blanchod usw., sondern zumeist kurze Maschinen mit Handvorschub von 90 bis 180 kg Gewicht, wie Maschinen von Frölich, Duisburger M.-F. R. Meyer, Hoffmann, Währwolf, Ingersoll usw. vorgezogen. Der Luftverbrauch für den Hin- und Rückgang des Kolbens beträgt 1,4—2,5 l; die Stoßzahl 250—400 in der Minute bei 3 bis 7 Atmosphären Luftdruck, ausnahmsweise mehr. Der Wirkungsgrad kann mit 0,12 bis 0,35 angenommen werden. Der Kraftbedarf an der Welle der Antriebsmaschine beträgt etwa 15—30 P.S., je nach den Druckverlusten in Leitungen und Kompressoren. Die Stahlbohrer erhalten die Meißel-



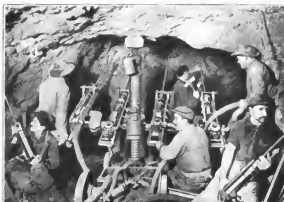


Abbildung 26.

Druckluft-Stoßbohrmaschinen.

Lange Maschinen werden unmittelbar auf Bohrwagen gelagert (Abb. 29), namentlich wenn mehrere (4—6) gleichzeitig tätig sind, was im Stollenbetrieb meist der Fall ist.

Von den elektrisch angetriebenen Stoßbohrmaschinen haben für den Stollenvortrieb zumeist die Kurbelstoßbohrmaschinen (Siemens-Schuckert) mit getrennten Motoren und die mit angebautem Motor (Bauart Hauber) Verwendung gefunden.

Letztere wurden mit Bohrsäulen verbunden, die auf einem Wagen gelagert werden (Abbildung 30). Anordnung bei den Tunnelbauten der österreichischen Alpenbahnen. Diese Maschinen von 2—5 P.S. und 450—520 Stößen in der Minute wurden bei längeren Zuleitungen durch hochgespannten, in zwei gut geschützten Kabeln zugeführten Drehstrom, der am Beginn der Arbeitsstrecke in Strom von niedriger Spannung, 200 bis 250 Volt, umgewandelt wurde, angetrieben.

Von den Drehbohrmaschinen hat die Bauart Brandt hauptsächlich Verwendung gefunden. Sie wird mit Wasser unter Druck von 50—150 Atmosphären betrieben. Die verwendeten Kernbohrer aus Tiegelgußstahl erhielten 2—4 Zähne und 6—10 cm äußeren Durchmesser. Die Maschine stützt sich gegen eine durch Druckwasser zwischen den Gesteinswänden festzuspannende Bohrsäule, die (s. Abbildung 31) auch mit einem Wagen verbunden wird.

Die Bohrer machen 4—8 Umdrehungen in der Minute. Die Maschine ist 250 kg schwer, gebraucht 1—2 l Wasser/sek. und vor Ort des Stollens etwa 15—30 P.S. Der Wirkungsgrad der Maschine selbst kann mit 0,08—0,15 angenommen werden. Da das Abwasser der Maschinen zum Spielen des Bohrloches benützt wird, so findet staubfreie Bohrung statt. Das Druckwasser wird den Maschinen durch 80—120 mm weite Flanschrohre und dann durch 25—50 mm weite Kettenschläuche zugeführt. Mit der Brandt-Maschine wurden die Richtstollen der großen Alpentunnel in sehr festem Gestein — wie des Arlberg-, Simplon-, Albula-, Tauertunnels

Kreuz- oder Z-Form mit 30 bis 70 mm Kopfstärken.

Die kurzen Maschinen werden in der Regel mit einer zwischen den Gesteinswänden durch Wasserdruck (Abbild. 25) oder durch Schrauben (Abbildung 26) festzuklemmenden Bohrsäule verbunden; wenn Gesteinswände in geringem Abstände nicht vorhanden sind, auch mit einem Dreifußgestell (Abbildung 27). Die Bohrsäulen werden auch auf fahrbaren Wagen gelagert, namentlich wenn mehrere Maschinen gleichzeitig betätigt werden. (Abb. 26 u. 28.)



Abbildung 27. Stoßbohrmaschine auf Dreifuß.

— aufgefahren, sie wurde auch in vielen anderen kleineren Tunneln, wie im Sonnstein (Gmunden-Ischl), Pfaffensprung (Gotthardbahn), Ochsenkopf (Schlesien), Brandleite (Thüringen) und Szuramtunnel (Poti-Tiflis), aber nur in sehr festem Gestein und für längere Tunnel mit raschem Arbeitsfortgang mit Erfolg verwendet. — Als Sprengmittel wurden in den neueren Tunneln zumeist Nitroglycerinsprengstoffe verwendet; anfangs die Kieselgurdynamite (75% Nitroglycerin, 25% Kieselgur) mit unverbrennlichen Aufsaugstoffen, dann die wirkungsvolleren mit verbrennlichen Aufsaugstoffen, wie die Sprengelatine (8—10% Kollodiumwolle mit 90 bis 92% Nitroglycerin), sehr wirksam, aber teuer, daher beschränkte Verwendung, wie u. a. im Simplon-, Tauern- und Karawankentunnel; sodann die Gelatinedynamite (45—77% gelatinisiertes Nitroglycerin und 55—25% Zumischpulver), die in letzter Zeit am häufigsten gebraucht wurden. Die Nitroglycerinsprengstoffe frieren bei +6 bis 8° C, müssen also aufgetaut werden, wodurch ihr Gebrauch erschwert wird. Man hat daher die Gefrieretemperatur durch besondere



Abbild. 28. Stoßbohrmaschinen auf Bohrwagen.

Zusätze herabgesetzt; so wurde z. B. beim Bau des 2. Hauensteintunnels „Gamsit“ verwendet (21% Nitroglycerin, 19% Trinitrotoluol, 1% Dinitrobenzol, 1,5% Kollodiumwolle, 1% kohlen-saurer Kalk), das bei niedriger Temperatur ohne Auftauen verwendet wurde.



Abbildung 29. Stoßbohrmaschinen auf Wagen.

(Nitrobenzol, Nitronaphthalin, Dinitrotoluol), wie Rackarock, Cheddit usw., auch die Ammonsalpetersprengstoffe haben im Tunnelbau weniger Verwendung gefunden.

Das Oxyliquid, ein Gemenge von flüssiger Luft mit in Petroleum getauchtem Papier, oder Wolle, Kohlenstaub, Holzmehl, hat im Tunnelbau noch kaum Eingang gefunden, weil es schwierig ist, die Wirksamkeit der flüssigen Luft (Temperatur — 190°C) von der Mengung bis zum Gebrauch im Tunnel zu erhalten.

Die Zündung der in die Bohrlöcher in Patronenform eingeführten Sprengstoffe erfolgt durch Vermittlung der Zündkapsel mittels Zündschnur oder elektrisch. Im Tunnel wird zumeist erstere Zündungsart gebraucht, weil wegen der Gesteinsverspannung, namentlich im Stollen, die Ladungen zweckmäßig in bestimmter Reihenfolge zur Explosion gebracht werden.



Abbildung 30. Elektrische Stoßbohrmaschinen.

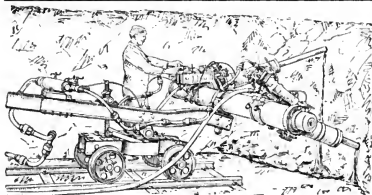


Abbildung 31.

Hidraulische Drehbohrmaschine.

Die durch die Sprengung gelösten Massen sollen so rasch wie möglich beseitigt werden, damit die Bohrarbeiten behufs Erzielung raschen Arbeitsfortganges möglichst bald wieder aufgenommen werden können. Man hat für die

rasche Verladung der Ausbruchmassen verschiedene maschinelle Einrichtungen zur „Schutterung“ bei den neueren Tunnelbauten hauptsächlich versuchsweise getroffen, ohne jedoch hiermit Erfolge erzielt zu haben, die zu dauernder Anwendung maschineller Schutterungsmethoden geführt hätten, so daß für Aufladung und Fortschaffen der Schuttmassen fast nur Handarbeit gebraucht wird.

In nachstehenden vier Tabellen sind die Ergebnisse der maschinellen Bohrungen in den Richtstollen hervorragender Tunnelbauten mit Schlagbohrhämmer, Druckluftstoßbohrmaschinen, elektrischen Stoßbohrmaschinen und hydraulischen Drehbohrmaschinen übersichtlich zusammengestellt.

### 1. Schlagbohrhämmer

	Unterer Hauensteintunnel, 8135 m lang, Südseite	
	Mai 1913, 25 Arbeitstage 2521—2967 — 286 m	Oktober 1913, 29 Arbeitstage 3094—3914 — 240 m
Gebirgsart . . . . .	Bunte Mergel . . . 18 m Schilfsandstein . . . 80 „ Gipskeuper . . . . 208 „	Mergelkalke (oberer und mittlerer Jura) . . . . . 111 m Tonesseln (mittlerer Jura) . . . . . 85 „ Oolithische Kalke (Hauptprogenstein) . . . . . 32 „ Mergelsandsteine und knollige Kalksteine . . . . . 9 „
Richtstollenquerschnitt . . . . . qm	5—6	5—6
Bohrmaschinen vor Ort . . . . .	3 Bohrhämmer (Westfalia)	3 Bohrhämmer (Westfalia)
Bohrerstärke . . . . . mm	38—45	38—45
Lodttiefen . . . . . m	1,2—1,7	1,2—1,6
Zahl der Angriffe in 24 Stunden . . .	8—9	7—9
Zahl der Bohrlöcher im Mittel:		
für einen Angriff . . . . .	10—15	12—17
für 1 m Stollen . . . . .	9	10
Sprengstoffverbrauch (Gamsit) im Mittel:		
für einen Angriff . . . . . kg	14—20	15—22
für 1 m Stollen . . . . .	11,7	14,3
Fortschritt im Mittel:		
für einen Angriff . . . . . m	1,3	1,1
in 24 Stunden . . . . .	11,5 (max. 14,7)	8,3 (max. 10,4)

### 2. Druckluft-Stoßbohrmaschinen

	Gotthardtunnel, 14958 m lang, Nord	Monte-Cenero-Tunnel (Gotthardt- bahn), 1673 m lang	Brandleitertunnel (Preußische Staatsbahn), 3050 m lang	Bosruck- tunnel (Österreichi- sche Staats- bahnen), 4770 m lang, Nord	Lötschbergtunnel (Berner Alpen- bahn), 14003 m lang			
					Nord		Süd	
Gebirgsart . . . . .	Quarziti- scher Gneis	Gneis	Porphyron- glomerat	Harter Kalk mit Kalzita- adern	Kreide und Jense	Gastern- granit	Kristalli- schiefer	Granit
Richtstollen . . . . . qm	5,8	6—6,5	6,5—8,75	5,5	6,2	6,2	6,2	6,2
Bohrmaschinenart . . . . .	Ferroux 180 kg	Mac Kean Seguin 170 kg	Frölich 90 kg	Gatti	R. Meyer 185 kg	R. Meyer 178 kg	Inzerroll Rand 170 kg	170 kg
Zahl der Maschinen vor Ort .	6	4	3	4	4—5	4—5	4—5	4—5
Luftspannung vor Ort . Atm.	3—4	3—4	3—5	5—4	6—7	6—7	5—6	5—6
Bohrerstärke . . . . . mm	40	30—35	30—35	32—45	60	60	—	—
Lochtiefe . . . . . m	1,25	1,3	1,3	1,7	1,4	1,4	1,37	1,37
Lochzahl im Querschnitt . .	18	18—20	16—18	18—20	13—14	15—16	12—14	15—16
Dynamitverbrauch für 1 m Länge . . . . . kg	18—20	12—15	15—16	18—22	20—23	25—26	—	—
Bohrdauer . . . . . Std.	2,5	3—3,75	3,5	3—3,5	1,6	1,3	1,9	2,6
Schutterung . . . . .	3,5	2,5—3,0	4,5	2,7—3,5	2,7	2,1	3	3
Angriffsdauer . . . . .	6	6—7	8—8,5	5,75—6,5	4,5	3,6	5	5,7
Fortschritte:								
für einen Angriff . . . . m	1,0—1,2	1,1	1,02	1,5—1,7	1,3	1,2	1,1	1,2
in 24 Stunden . . . . .	3—4,0	4,1	2,9	6—6,5	7,6	7,5	5	4,7
max. . . . .	5,0	4,8	4,0	7,5	10,7	10,4	—	—

### 3. Elektrische Stoßbohrmaschinen

	Wöhrner Tunnel, Nord, 6340 m lang	Karawankentunnel, Nord, 7976 m lang
Gebirgsart . . . . .	Harter Kalkstein mit Korallen- kalk, Kieselkalk mit Hornstein	Grauer Kalk mit Werfner Schich- ten, Tonschiefer mit Dolomit
Richtstollenquerschnitt . . . qm	7	6,5—7,5
Bohrmaschinenart . . . . .	Kurbel-Stoßbohrmaschine, 150 kg schwer, Siemens- Schuckert, 2 P.S.	
Zahl der Maschinen vor Ort . . .	4	4
Bohrerstärke . . . . . mm	30—60	30—60
Lochlänge . . . . . m	1,6—1,8	1,7—2,0
Lochzahl im Querschnitt . . . .	18—23	12—14
Bohrdauer . . . . . Std.	3,5—3,0	3—2½
Schutterung . . . . .	4,25—4,0	3,75—4,0
Angriffsdauer samt Zeitverlusten .	7,8	7
Sprengstoffe . . . . . kg/m	25—28	Gelatine und Dynamit 25
Fortschritt in 24 Stunden . . . m	4,4—3,4 (max. 6,9)	5,3 (max. 7,9)

## 4. Hydraulische Drehbohrmaschinen

	Arlberg, West 10250 m lang	Simplon, Süd 19770 m lang	Albula, Nord 5805 m lang	Tauern, Nord 9530 m lang
Gebirgsart . . . . .	Gneis und quarzeicher Glimmerschiefer	Antigoritgneis	Granit	Gneisgranit
Richtstollenquerschnitt . . . . . m	6,5—7,0	5,7—6,0	5,5	6,5
Bohrmaschinenart . . . . .	Brandt Bauart I	Brandt Bauart 1897	Brandt Bauart 1897	Brandt Bauart 1901
Druckwasser vor Ort . . . . . Atm.	80	70—80	100	—
Zahl der Maschinen vor Ort . . . . .	3—4	3	3	3—4
Bohrerstärke (Kernbohrer) . . . . . mm	70	60—85	60—80	60—80
Lochlänge . . . . . m	1,4—1,5	1,2—1,4	1,4—1,5	1,2—1,3
Lochzahl im Querschnitt . . . . .	9—10	8—11	9—10	10—11
Bohrdauer . . . . . Std.	3—3,2	2,25—2,75	2—2,5	2,5—3,0
Schutterung . . . . .	3—4	2,25—2,25 1—1,5 Verluste	1,45—2,45	2,5—3,0
Angriffsdauer samt Zeitverlusten . . . .	6—7	7—7,5	7—7,5	6—6,5
Sprengstoff (Dynamit) . . . . . kg/m	18—20	25—25 kg Angriff Gelatine	20—25	25—30 Sprengelatine und Dynamit
Fortschritt in 24 Stunden . . . . . m	5—6	4,5—5,2	6,4—7,3	5—6

Die unmittelbar vom Arbeiter gehaltenen Druckluft-Schlagbohrhämmer sind im wenig festen Gestein des Richtstollens trotz geringen Wirkungsgrades deshalb besonders zweckmäßig, weil die Schutterung den geringsten Zeitaufwand erfordert.

Die mit Bohrgestellen verbundenen Druckluft-Stoßbohrmaschinen sind im festen Gestein vorteilhaft wegen der kräftigen Stöße, der guten Führung und auch wegen Verbesserung der Lüftungsverhältnisse durch die ausströmende Luft.

Die elektrischen Stoßbohrmaschinen haben im wenig festen Gestein günstige Ergebnisse geliefert. Die Stöße sind schwächer, die Handhabung erfordert mehr Vorsicht, dagegen sind Kraftleistung und Wirkungsgrad günstig.

Die hydraulischen Drehbohrmaschinen sind nur in sehr festem Gestein für lange Tunnel bei raschem Arbeitsfortgang zu empfehlen, da die Anlagekosten beträchtlich und der Sprengstoffverbrauch groß sind.

Die Einrichtungen für Bohrbetrieb, Förderung und Lüftung, die Reparaturwerkstätten und Schmieden, für Wart-, Umkleide- und Badeeinrichtungen, Wohnungs- und Verpflegungsräume der Arbeiter sowie für die Aufbewahrung und Behandlung der Baustoffe und Sprengmittel haben an den Ausgängen der großen Tunnel umfangreiche Anlagen mit ausgedehnten Gleis- und Weichenverbindungen sowie Rohr- und elektrischen Leitungen erfordert.

Bei vorhandenen Wasserkraften wurden die Luft- und Wasserpressen für Bohrbetrieb und Förderung, die Lüfter und die Arbeitsmaschinen in den Werkstätten durch Turbinen, anderenfalls durch elektrische, Dampf- oder Verbrennungskraftmaschinen angetrieben.

An den beiden Ausgängen des 14605 m langen Lötschbergtunnels betrug die überbaute Grundfläche 12100 und 14300 qm. Die elektrische Betriebskraft (Wechselstrom von 15000 Volt mit 40 Perioden) wurde von bereits bestehenden Kraftwerken in Spiez und Klösterli geliefert, so daß auf jeder Seite 2500 P.S., wovon für den Tunnelbetrieb je 2000 P.S. gebraucht wurden, zur Verfügung standen; gebohrt wurde mit Druckluftstoßbohrmaschinen; die Förderung besorgten Luftlokomotiven.

Am 5865 m langen Albulatunnel, dessen Richtstollen mit hydraulischen Drehbohrmaschinen (Brandt) aufgeföhren wurden, haben die durch Turbinen ausgenutzten Wasserkräfte des Palpuognasees auf der Nordseite 200 P.S., des Beverinbachs auf der Südseite 150 P.S. geliefert, die aber im Winter auf 140 und 100 P.S. zurückgingen, daher auf der Südseite zur Aus-  
hilfe noch zwei Dampflokomo-  
bilen mit je 25 P.S. bereitgestellt werden mußten.

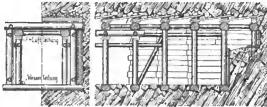


Abbildung 32.

Für den unteren, 8134 m langen Hauenforderliche Kraft. Die Bohrung erfolgte mit Druckluft-Schlagbohrhäm-  
mern, die Förderung im Tunnel mit Druckluftlokomotiven. Auf der Nordseite waren nur zwei Dieselmotoren mit zusammen 440 P.S. nötig. Die Förderung im Tunnel geschah mit Benzinlokomotiven.

Für den 19791 m langen Simplontunnel lieferten auf der Nordseite die Rhone Wasserkräfte von max. 2230 P.S., auf der Südseite die Diveria 1950 P.S., die durch Turbinen ausgenutzt wurden. Im Stollen arbeiteten hydraulische Drehbohrmaschinen (Brandt) und Luftlokomotiven.

Die Förderung der Ausbruchsmassen aus dem Tunnel sowie die der Leerwagen und der erforderlichen Geräte und Baustoffe in den Tunnel erfolgt fast ausschließlich auf Gleisen von 0,6—1,0 m Spurweite. Die an sich zweckmäßige zweigleisige Anlage für die Trennung von Ein- und Ausfahrt wurde in den meisten Fällen wegen der engen Räume und der erforderlichen, schwierig durchführbaren Erweiterungen wenigstens in den im Bau begriffenen Tunnelstrecken nicht durchgeführt. In längeren Tunneln ist die eingleisige Anlage stellenweise durch entsprechende Ausweichen und daranschließende Hilfsgleise unterbrochen worden. In der Regel wurden vor dem Tunneleingange Gleisanlagen für die Aufstellung und Ordnung der aus dem Tunnel kommenden und in den Tunnel gehenden Wagen erstellt; sodann ist am jeweiligen Ende der fertig ausgebauten Tunnelstrecke eine sog. Tunnelstation für die Übergabe der aus dem Tunnel kommenden mit Ausbruch beladenen und der in den Tunnel gehenden Leerwagen und Wagen mit Geräten sowie Baustoffen angeordnet. Schließlich ist vor dem Ende des Richtstollens eine Ausweide erforderlich, damit die Leerwagen und die mit Ausbruch beladenen Wagen für die Zu- und Abfahrt unabhängig voneinander aufgestellt werden können. Unter Umständen werden auch noch kurze Gleise für die Aufstellung der im Richtstollen gebrauchten Bohrmaschinenwagen ge-  
legt. Als Wagen sind Kastenwagen mit abnehmbaren Seitenwänden meist für den Ausbruch des Richtstollens, sodann Kippwagen für den Tunnelausbruch und Plattformwagen für Geräte, Holz, Steine und Maschinen in Gebrauch.

Für kurze Tunnel werden die für die Förderung des Ausbruches

steintunnel lieferten auf der Südseite zwei Dieselmotoren mit zusammen 1100 P.S., die anfänglich mit Rohöl, dann mit Diesel gepeist wurden, die er-  
forderlichen einfahrenden Leerwagen auch mit Geräten und Baustoffen beladen; für längere Tunnel mit kurzer Bauzeit, also rascher Förderung, werden aber die im Tunnel benötigten Geräte und Baustoffe auf besonderen Wagen an die Arbeitsstelle gebracht, damit die Ausbruchleerwagen ohne Aufenthalt

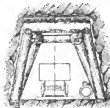
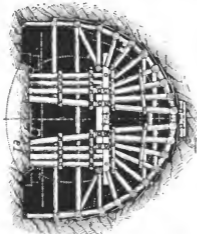


Abbildung 33.

unmittelbar ihrer Verwendung zugeführt werden können. — Als Zugkräfte dienen Menschen, Pferde und Maschinen. Auch für größere Tunnel sind in den Arbeitsstrecken noch vielfach Pferde gebraucht worden. Doch hat man bei den neuesten Bauten die Pferdeförderung größtenteils durch Maschinenförderung ersetzt. In den Arbeitsstrecken sind meist Luft-, Benzin- und elektrische Lokomotiven, in den fertigen Tunnelstrecken auch Dampflokomotiven im Betriebe. — Die Dampflokomotiven haben starke Luftverschlechterungen zur Folge; auch die Benzinlokomotiven hatten stellenweise zu Erkrankungen der Arbeiter Veranlassung gegeben.

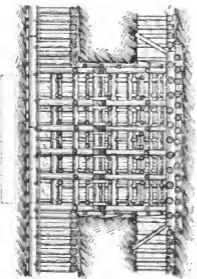
Abbildung 34.



Am besten haben sich die Luftlokomotiven namentlich in den Arbeitsstrecken mit Rücksicht auf die hierdurch erreichte Luftverbesserung bewährt, obwohl der Wirkungsgrad eine geringer ist, da die im Interesse kleiner Behälter hochgespannte Preßluft (100—150Atm.) wieder auf niedrigen Arbeitsdruck gebracht werden muß, wobei die hierzu aufgewendete Kompressionsarbeit verlorengeht.

Die in den Arbeitszylinder durch das Druckminderungsventil geleitete Luft wird in besonderen Vorwärmern erwärmt. Das Vorwärmen geschieht entweder durch überhitztes Wasser oder durch eine besondere Holzkohlen- oder Koksfeuerung ohne Rauchentwicklung. — Da jede Stockung in der Förderung den Arbeitsfortschritt beeinträchtigt und eine Erhöhung der Baukosten zur Folge hat, so ist in jedem einzelnen Falle ein wohl-durchdachter Betriebsplan für die Förderung aufzustellen, der streng eingehalten werden muß. — Beim Baubetrieb mit dem Sohlstollen als Richtstollen läßt sich die Förderung in der Regel einfacher und verlässlicher gestalten als beim Firststollenbetrieb, wobei entweder Umladungen des Ausbruches von der oberen auf die untere Sohle erfolgen müssen oder von Zeit zu Zeit zu verlegende Förderrampen zur Verbindung der oberen Sohle mit der unteren zu erstellen sind.

Längsträgerzimmerung.



Im festen Gebirge ist eine Abstützung oder Zimmerung des Stollens und Tunnels nicht oder nur in geringem Maße erforderlich. Im wenig festen und drückenden Gebirge, das auch häufig zwischen sehr festen Gesteinsschichten sich findet, ist eine Abstützung oder Zimmerung des Stollens und Tunnels bis zur Fertigstellung des dauernden Ausbaues notwendig.

Die zeitweilige Abstützung erfolgt in der

Regel in Holz, ausnahmsweise in Eisen. Mit dem Drucke nimmt auch die Stärke der Zimmerung zu. So sind Holzzimmerungen des Stollens in starkdrückendem Gebirge nach Abbildung 32 und 33 ausgeführt worden.

Für die weiteren Teile des ausgebrochenen Tunnels wie für den Vollausbuch ist zumeist Längsträger- oder Querträgerzimmerung in Holz eingebaut worden.

Eine sehr kräftige Längsträgerzimmerung, wie sie im starkdrückenden Gebirge des 7956 m langen Karawankentunnels (Österreichische Alpenbahnen) ausgeführt wurde, zeigt Abbildung 34.

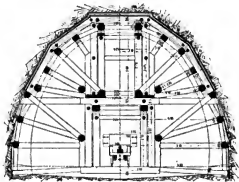


Abbildung 35. Querträgerzimmerung.

Einen Ausbau mit Querträgerzimmerung der Tunnel der rechtsufrigen Zürichseebahn gibt Abbildung 35. Zumeist reichte Längsträgerzimmerung aus; nur dann, wenn Getriebezimmerung, also der Ausbruch unter dem Schutze der parallel mit der Tunnelachse vorgetriebenen Pfähle vorgenommen werden muß, ist Querträgerzimmerung erforderlich. — Die Eisenzimmerungen des Stollens haben wiederholt Anwendung gefunden (Abbildung 36), auch Zimmerung in Eisen

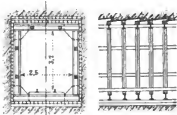


Abbildung 36.

mit dazwischengestampftem Beton (Abbildung 37) in besonders druckhaftem Gebirge (Simplon- und Karawankentunnel). Die Eisenzimmerungen des Vollausbuchs nach Bauweise Rziha sind auf wenige Fälle beschränkt geblieben.

Der dauernde Ausbau, die Verkleidung der Tunnel, erfolgte in der Regel in Mauerwerk (Quadern, Bruchsteine, Ziegel), in Stampfbeton, in letzter Zeit auch in Betoneisen und nur ausnahmsweise in Eisen oder Holz. Für kleinere Querschnitte

konnte in sehr festem Gestein die Verkleidung fortbleiben. In einigen Fällen genügte das Firstgewölbe ohne Widerlager. Bei günstigem Einfallen der Gesteinsschichten kann außer dem Firstgewölbe das einseitige Widerlager ausgemauert werden, während das andere unverkleidet bleibt. — Infolge der zerklüftenden Wirkung der brisanten Sprengstoffe, die zum Ausbruch benutzt werden, und der durch die Eisenbahnzüge verursachten Erschütterungen mußten namentlich zweigleisige Eisenbahntunnel auch im festen Gestein, wie z. B. im Granit, mit einer Mauerwerkverkleidung versehen werden.

Die Ausmauerung mit Quadern wird nur noch in sehr druckhaftem Gebirge angewen-

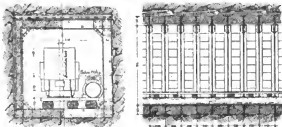


Abbildung 37.



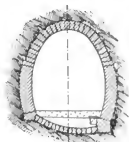


Abbildung 38.

det, sonst ist Mauerwerk aus lagerhaften Bruchsteinen oder aus hartgebrannten Ziegeln (Klinker), in den meisten Fällen in Zementmörtel wegen leichterer und billigerer Ausführung vorzuziehen. Die Formen und Abmessungen der Ausmauerung sind von den Druckverhältnissen, die in den meisten Fällen nur geschätzt, ausnahmsweise auch rechnerisch ermittelt werden können, meist von der Mauerwerksgattung abhängig. Für

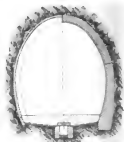


Abbildung 39.

eingleisige Eisenbahntunnel wird die durch Korbbögen ersetzte elliptische Form (Abbildung 38 und 39), für zweigleisige Tunnel das Kreisbogengewölbe (Abbildung 40), nur ausnahmsweise eine durch Korbbögen erreichte überhöhte Gewölbeform (Abbildung 41) angewendet. Bei Auftrieb in der Sohle oder zur Abmilderung der Fundamentbelastung der Widerlager und Verhinderung ihrer Verschiebung gegen das Tunnelinnere sind Sohlengewölbe (Abbildung 38 und 40) oder Mauerwerksbalken (Abbildung 43) erforderlich.

In den meisten Fällen betragen in ein- und zweigleisigen Eisenbahntunneln die Stärken im Firstgewölbe 0,4 bis 1,0 m, in den Widerlagern 0,4 bis 1,3 m, im Sohlengewölbe 0,4 bis 1,0 m. In besonders ungünstigen Fällen, namentlich wenn den Gebirgsbewegungen bei Ausführung des Ausbruches nicht ausreichend und richtig begegnet wurde, sind stärkere Abmessungen erforderlich geworden, wie z. B. Abbildung 42 zeigt, die Ausmauerung in den Druckstrecken des zweigleisigen Karawankentunnels. Auch im zweiten eingleisigen Simplontunnel war in der Druckstrecke eine ganz besonders starke Ausmauerung nach Abbildung 43 erforderlich.

Betonenausmauerungen mit Draht und Flacheiseneinlagen oder besonders einbetonierte Eisenfachwerksrahmen sind erst in jüngster Zeit zur Anwendung gekommen. Ein Beispiel des ersten Falles zeigt Abbildung 44, die teilweise Ausmauerung beim Umbau des Spundetschatunnels (Chur-Arosa-Eisenbahn, Schweiz). Beispiele des zweiten Falles (Abbildung 45) die Verkleidung des zweiten Pragtunnels bei Stuttgart und Abbildung 46 den Ausbau in den Druckstrecken des Elm-Umgehungstunnels bei nel der Pennsylvania-

Eisenbahntunnel für drei und vier Gleise werden nur im wenigdrückenden und festen Gebirge im vollen Querschnitte ausgeführt, wie z. B. der Bergen-Hill-Tunnel der Erie-Eisenbahn (Abb. 47), der festes Gestein, das durch Sprengarbeit gelöst werden mußte, durchfährt, und der viergleisigeTun-

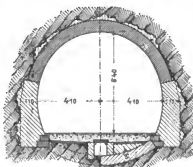


Abbildung 40.

bahn (Abbildung 48), dessen Ausbau mit einer Eisenrüstung aus Vollwandträgern, die mit Beton umhüllt wurden, erfolgte. — Im Druckgebirge sind meist Paralleltunnel zweckmäßiger für je zwei Gleise ausgeführt, mit einem so großen Abstände, daß zwischen beiden Tunneln noch ein genügend widerstandsfähiger Ge-

birgskörper verbleibt. Paralleltunnel kommen auch dann in Frage, wenn nach Erbauung eines Tunnels später das Bedürfnis einer Vermehrung der Gleise eintritt, wie das namentlich bei eingleisigen Bahnen der Fall ist, die nachträglich zur zweigleisigen Anlage umgestaltet werden.

Auch Doppel- oder Zwillingsstunnel werden vielfach bei schachtartigem Vorgange von der Oberfläche aus ausgeführt, um zu weit gespannte oder zu hohe Gewölbe zu vermeiden,

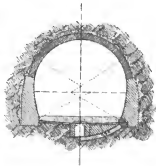


Abbildung 41.

wie z. B. Abbild. 49 der Zwillingsstunnel der Württembergischen Staatsbahnen unter dem Rosenstein bei Stuttgart.

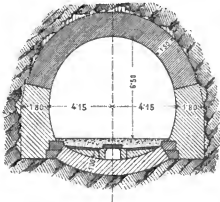


Abbildung 42.

Die Tunnelausmauerung wird in einzelnen stumpf aneinanderstoßenden Zonen oder Ringen von beschränkter Länge von etwa 3 bis 9 m ausgeführt. Auch im Druckgebirge geht man unter 3 m nicht herab. Der Arbeitsvorgang beim Ausbruch und bei der Abstützung sowie die wechselnden, verschiedene Mauerstärken erfordernden Gebirgsverhältnisse, erheischen einen Ausbau in kurzen voneinander unabhängigen

Stücken. In einigen Fällen, bei bestimmten Bauweisen wurden die Widerlager durchlaufend, die Firstgewölbe aber zonenweise aufgemauert. — Im Querschnitte erfolgt die Aufmauerung mit:

1. dem Sohlengewölbe beginnend, worauf die Widerlager und das Firstgewölbe folgen;
2. den Widerlagern beginnend, auf welche das Firstgewölbe gesetzt wird, nach dessen Fertigstellung das Sohlgewölbe eingezogen wird;
3. dem Firstgewölbe beginnend, das dann durch die Widerlager unterfangen wird (Unterfangungsbauweise).

Da der naturgemäße Vorgang 1 meist infolge der Formen der Zimmerung mit größeren Ausführungsschwierigkeiten verbunden ist, wird in der Regel Vorgang 2 eingehalten; denn Vorgang 3 hat den großen Übelstand, daß das Firstgewölbe durch die Unterfangungsarbeit leidet, daher vorzeitig baufällig werden kann, zumal im drückenden und wasserführenden Gebirge; daher soll diese Bauweise trotz

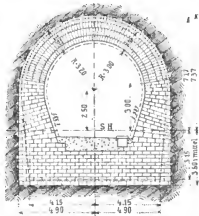


Abbildung 43.

mehrfacher Vorteile, die im raschen Schutze der First und in der leichten Zimmerung bestehen, nur in wenig drückendem Gebirge bei kleinen Tunnelweiten oder in Ausnahmefällen bei geringer Gebirgsüberlagerung angewendet werden. Italienische und französische Tunnel werden trotzdem noch sehr häufig nach Bauweise 3 ausgeführt.

Tunnelentwässerungen und Abdichtungen des Mauerwerkes ist lange Zeit nicht die erforderliche Aufmerksamkeit geschenkt worden. Die Erfahrungen ergaben, daß die vorzeitige Baufälligkeit vieler Tunnel auf ungenügende Entwässerung und Abdichtung des

Tunnelmauerwerkes zurückzuführen ist.

Das zufließende Wasser wird in der Regel in das Tunnelinnere geleitet und durch die in der Sohle angelegten Kanäle nach außen abgeführt. Die Kanäle müssen genügende Weite und ausreichendes Gefälle er-

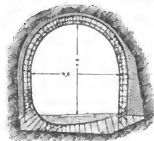


Abbildung 44.

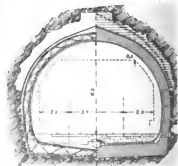


Abbildung 45.

halten, auch leicht zu erreichen sein. Die Tunnelgewölbe werden in verschiedener Weise durch Metallbleche oder durch wasserdichte biegsame und tunlichst zugeste Stoffe abgedichtet, wenn nennenswerte Wasserzuflüsse zu erwarten sind, auch dann, wenn der Zwischenraum zwischen dem Gewölbe und dem Gebirge mit Mauerwerk ausgefüllt ist, das einen sicheren dichten Abschluß auf die Dauer, namentlich infolge Setzungen der Tunnelausmauerung, nicht bilden kann.

Wasserdichte Abdeckung durch nachträgliches Einpressen von Zementmörtel unter Anwendung von hohem Druck (3 bis 6 Atm.) in den mit Steinen trocken ausgepackten Raum hinter dem fertigen und ausgerüsteten Gewölbe, nachdem Bewegungen und

Sackungen kaum mehr vorkommen, erscheint in wenig drückendem Gebirge ohne Ablösungen, wobei also Verunreinigung des eingespritzten Mörtels nicht zu befürchten ist, zweckmäßig und ist in jüngster Zeit mehrfach, namentlich bei nachträglicher Abdichtung älterer und undicht gewordener Tunnelgewölbe mit Erfolg durchgeführt worden.

Da die Tunnellichtquerschnitte im Interesse der Verbilligung des Baues sich tunlichst knapp an den Umfang der Fahrzeuge anschließen, so werden in den Wandungen

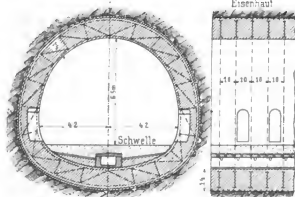


Abbildung 46.

der Eisenbahntunnel Nischen in Abständen von 25 bis 50 m und bei größeren Längen auch größere Kammern in Abständen von 1 bis 3 km angeordnet, damit namentlich beim Durchfahren der Eisenbahnzüge den im Tunnel beschäftigten Personen ein Ausweichen, auch die Unterbringung von Geräten und Baustoffen sowie von Signaleinrichtungen möglich ist. — Die Tunnelmündungen werden in wenig festem und drückendem Gebirge durch Stirnmauern abgeschlossen. Die Überführung an die anschließenden Voreinschnitte wird auch durch sogenannte Böschungsflügel erreicht. Über den Tunnelstirnmauern sind zumeist Entwässerungsrinnen erforderlich, um das von den Stirnböschungen abfließende Wasser aufnehmen und nach den Bahngräben ableiten und eine Durchnässung der Tunnelstirn vermeiden zu können.



Abbildung 47.

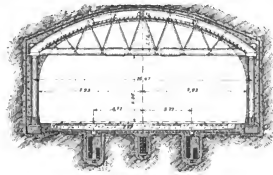


Abbildung 48.

Die architektonische Ausgestaltung der Tunnelmündungen wurde zumeist auf das geringste Maß beschränkt, da es mit Rücksicht auf die Kosten nicht möglich ist, ein Bauwerk zu schaffen, das dem meist großartigen Gebirgsbau der Umgebung angepaßt erscheint, auch die Portalbauten doch nicht in Erscheinung treten. Die Portalbauten einiger neuerer bedeutender Tunnel zeigen Abbildung 50: Gotthard, Nord; Abbildung 52: Simplontunnel, Nord, mit den Baulichkeiten der

Lüftungsanlage; Abbildung 51: Arlbergtunnel, Ost; Abbildung 53: Bosruktunnel, Nord; Abbildung 54: Bergen-Hilltunnel, Pennsylvaniabahn.

**UNTERWASSERTUNNEL**

Eisenbahnen, Straßen, Ent- und Bewässerungskanäle werden auch unter Wasserläufen, Flüssen,

Kanälen, Meeresarmen mittels Tunnel geführt, die zweckmäßiger sein können als Brücken, welche häufig im Interesse der Schifffahrt eine recht hohe Lage bedingen, wodurch die Zufahrten erschwert und verteuert werden. Bei hochgelegenen Brücken bieten auch Sicherungen gegen Stürme Schwierigkeiten.

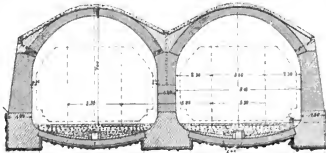


Abbildung 49.

Bewegliche Verbindungen durch Schiffe und Fähren verursachen Zeit und Arbeitsverluste, zeitweise Verkehrsunterbrechungen, unter Umständen Unzukömmlichkeiten und Gefahren für die Reisenden. Bei tiefer Lage von Untergrundbahnen und Entwässerungskanälen erscheint eine Überbrückung des Wasserlaufes in der Regel ausgeschlossen, so daß die Tunnellage nicht zu umgehen ist.



Abbildung 50.

Gotthardtunnel (Nordmund).

Im Interesse kurzer Zufahrtsrampen und Tunnel besteht das Bestreben, die Tiefenlage des Tunnels unter Wasser trotz größerer Ausführungsschwierigkeiten möglichst einzuschränken. Geringe Überlagerungen des Tunnels haben aber, zumal im ungünstigen Boden, namentlich für bestimmte Bauweisen größere Schwierigkeiten in der Ausführung zur Folge. — Je nach der Höhenlage des Tunnels unter der Wasseroberfläche und der Überlagerung, nach der Beschaffenheit des zu durchfahrenden Bodens und den übrigen Verhältnissen des Wasserlaufes kann die Ausführung eines Unterwassertunnels erfolgen:

1. durch gewöhnlichen bergmännischen Vorgang wie bei Gebirgstunneln,
2. mit Verwendung des Brustschildes ohne oder mit Zuhilfenahme von Preßluft,
3. mit Hilfe von Fangedämmen,
4. mit Senkkasten mit oder ohne Benutzung von Preßluft,
5. mittels des Gefrierverfahrens.

Das sogenannte Zementier- oder Erhärtungsverfahren, das den Zweck hat, durch Einführung von Zementmörtel nach Erhärten das Wasser vom auszubrechenden Raum fernzuhalten, ist bei Schachtabteufungen ausnahmsweise, bei Tunnelbauten aber nur in ganz beschränktem Umfange angewendet worden.

1. IN BERGMÄNNISCHER WEISE sind Tunnel unter Wasser nur auszuführen, wenn das Gebirge, der Boden, fest, felsartig, nicht oder nur wenig zerklüftet ist, so daß über dem Tunnel eine genügend hohe und feste Decke verbleibt und nennenswerter Wasserzudrang nicht zu befürchten ist. Zumeist werden diese Tunnel daher so tief unter die Sohle der Gewässer verlegt, daß auch durch den Bau eine Auflockerung oder Zerklüftung



Abbild. 51. Arlbergtunnel (Ostmund).

des den Tunnelüberdeckenden Bodens nicht eintritt.

Größere Unterwassertunnel, die in gewöhnlicher Weise, wie Gebirgstunnel, ausgeführt wurden, sind z. B. der Merseytunnel und der Severntunnel in England.

Der Merseytunnel, ein zweigleisiger Eisenbahntunnel (Abbildung 55) mit 3200 m Länge, wovon 1200 m unter dem Flusse liegen, durchfährt roten Sandstein und wenig Geschiebebeton. Im Sandstein wurde von

Hand gebohrt und mit Tonit gesprengt; in besonderen Entwässerungstollen, die das etwa zufließende Wasser von der tiefsten Tunnelstelle nach den beiden Schächten führen, von wo es gehoben wird, erfolgten die Bohrungen teilweise mit der Luftdruck-Bohrmaschine Beaumont ohne Sprengmittel. Zwischen Tunnelfirst und der Flußsohle war eine mindestens 8 m dicke Felsenschicht als erforderlich erachtet. Da die Flußtiefe etwa 30 m beträgt, so liegt der Tunnel-scheitel etwa 38 m unter Mittelwasser.



Abbildung 52. Simplontunnel (Nordmund).

Der Bau wurde von beiden Uferschächten aus mit dem Vortrieb eines Sohlenstollens begonnen. Der Ausbau erfolgte nach englischer Bauweise in Zonenlängen von 3,6 m. Die 0,65 m starke Ausmauerung geschah in Ziegeln mit Zementmörtel. Der Bau wurde ohne nennenswerte Erschwernisse zu Ende geführt.



Abbildung 53. Bosruktunnel (Nordmund).

Stoßbohrmaschinen Mac Kean und v. Geach und mit Tonit- und Sprengelatine-Sprengstoffen. Der Tunnel-scheitel liegt 13,5 m unter tiefster Flußsohle und 32 m unter Niedrigwasser. Die Ausmauerung mit 0,68 bis 0,91 m Stärke geschah in Ziegeln mit Zementmörtel. Die miteinem Sohlenstollen begonnenen und nach englischer, stellenweise belgischer Bauweise durchgeführten Bauarbeiten wurden ganz besonders ershwert durch einen Wassereinbruch von etwa 450 l/sek. an der Grenze des Kohlenkalkes, außerdem durch starken Wasserzudrang auf der entgegenge-

Der zweigleisige, 7262 m lange Severntunnel (Abbildung 56), wovon 3701 m unter Wasser liegen, unterfährt den Bristolkanal in der Nähe der Severnflußmündung. Das Gebirge bestand der Hauptsache nach aus klüftigem Kohlendstein, Kohlenschiefer, Konglomeraten und Mergel. Der Ausbruch erfolgte mit



Abbildung 54. Bergen-Hill-Tunnel.

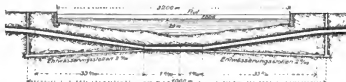


Abbildung 55.

Merseytunnel.

außergewöhnlich lange Bauzeit von etwas über 12 Jahren für diesen Tunnel erforderlich war. — Wasserleitungstunnel sind zur Versorgung von Chicago mit reinem Wasser unter dem Michigansee im festen blauen Ton etwa 22 m unter Seespiegel und 10 m unter Seegrund ohne Störung erbaut worden. In Cleveland wurden zwei Wasserleitungstunnel von etwa 2 km Länge unter dem Eriesssee mit großen Schwierigkeiten ausgeführt, da angeschnittene Sandadern reichlich Wasser zuführten und zuströmende Gase die Tätigkeit der Arbeiter teilweise hemmten. Nun ist auch noch ein dritter Tunnel von 4,8 km Länge und 3 m Durchmesser unter dem Eriesssee vorgetrieben worden.

Zur Wasserversorgung der Stadt Buffalo ist unter schwierigen Verhältnissen ein Tunnel

unter dem Niagaraflusse, zur Entwässerung der Stadt Boston unter dem Hafen der Dorchesterbai ein Tunnel im Tonschiefer unter günstigen Verhältnissen erstellt worden. — Für die Wasserleitung der Stadt Neuyork wurden Düker im Tunnelbau unter Wasser hergestellt. Der rund 7100 m lange Walkill-Tunnel durchfährt größtenteils festen Hudsonschiefer, so daß Gebirgsdruck nicht zu erwarten war. Die Tiefe unter dem Flusse ist allerdings recht bedeutend; es war aber auch recht große

Abbildung 56.

Severntunnel.

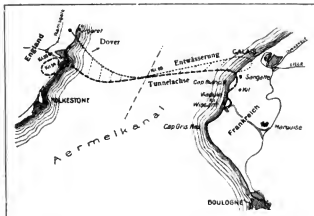


Abbildung 57.

Ärmelkanaltunnel (Entwurf).

setzten Seite, so daß die Arbeiten zeitweise gänzlich eingestellt werden mußten. Auch Tagelöhner vermehrten die Schwierigkeiten, daher eine

Überlagerung durch feste Gebirgsschichten von 40 bis 50 m vorhanden. Es wurden sechs Schächte mit besonderen und interessanten Ausführungsvorgängen zur Beschleunigung und Erleichterung der Bauarbeiten angeordnet.

Der Ärmelkanaltunnel, der zum Zwecke einer Eisenbahnverbindung von England mit Frankreich geplant ist, wird festes Gestein, dicke Kreide (Graukalk) durchfahren. (Abbildung 57 und 58.) Der Tunnel soll aus zwei Rohren im Achsabstande von

nur 20,6 m, der kaum ausreichend erscheint, bestehen (Abbildung 59) und bei 55 km Gesamtlänge 37 km unter dem Meere liegen, bei größter Tiefe von etwa 100 m. Die beiden eingleisigen Tunnel werden untereinander in Abständen von etwa 100 m durch Querstellen verbunden. Die größte Steigung der Rampen soll 10‰ nicht überschreiten. Zur Sicherung guter Entwässerung werden seitlich der Tunnelachse (Abbildung 57) besondere Seitenstellen ausgeführt, die gegen die an beiderseitigen Küsten abgesenkten, mit Pumpen- und Lüftungsanlagen versehenen Schächte Gefälle erhalten und durch Querstellen zeitweise mit dem Tunnel zu verbinden sind.

Um Anhaltspunkte für die erforderliche Bauzeit und die Baukosten zu gewinnen, hatte schon 1880 die South-Eastern-Eisenbahngesellschaft und die französische Kanaltunnelgesellschaft umfangreiche Schacht- und Stollenbauten ausgeführt, und zwar zwischen Dover und Folkestone einen 47 m tiefen Schacht und von dessen

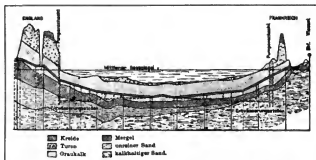


Abbildung 58. Ärmelkanaltunnel (Entwurf).

Sohle einen Stollen mit Kreisquerschnitt von 2,5 km Länge, wovon etwa 2 km unter dem Meere lagen, mit drehend wirkenden Tunnelbohrmaschinen von Beaumont & English, wobei also Sprengmittel nicht erforderlich waren. Auf der französischen Küste sind 1879 in der Nähe von Sangatte zwei Schächte von etwa 86 m Tiefe abgesenkt und von deren Sohlen Stollen vorgetrieben worden. Von der Sohle des großen Schachtes wurde mit Beaumont- und mit Brunton-Tunnelbohrmaschinen ohne Verwendung von

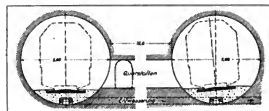


Abbildung 59. Ärmelkanaltunnel.

französischer Seite eingestellt. — Allerdings wurde von mehreren Seiten auch darauf hingewiesen, daß im weiteren Verlaufe die überlagernde Schicht nicht vollkommen wasserdicht sein könnte, daher dann besondere Vorkehrungen für die Wasserabhaltung getroffen werden müßten, was aber mit Schwierigkeiten verbunden sein würde, weil infolge der großen Wasserdruckhöhe von 100 m (10 Atm.) die bekannten Verfahren mit Anwendung von Preßluft nicht mehr verwendbar sind.

Im Jahre 1906 trat die französische Kanaltunnelgesellschaft mit einer Denkschrift über den Ärmelkanaltunnel wieder hervor. Sartiaux und Moutier sind 1916 in Veröffentlichungen und Vorträgen für diesen Tunnel eingetreten. Auch in England er-



wachte wieder das Interesse für den Bau dieser unterseeischen Eisenbahnverbindung mit Frankreich. — Die Bauzeit des Tunnels wurde mit 7 Jahren, die Baukosten mit 320 Millionen Mark angenommen. Es wird geschätzt, daß jährlich 1 Million Reisende den Tunnel durchfahren und die Reisedauer von Paris nach London nur 5 Stunden betragen wird. — Ob die englische Regierung trotz mannigfacher Zusicherungen sich endgültig entschließen wird, den Bau des Ärmelkanaltunnels zu genehmigen, ist in Anbetracht der politischen Verhältnisse doch noch recht zweifelhaft.

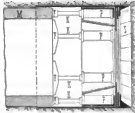


Abbildung 60.

Im Entwurfe liegen noch viele Tunnel unter Wasser im angeblich festen Gebirge vor, die daher in einfacher bergmännischer Weise ohne außergewöhnliche Hilfsmittel ausgeführt werden könnten, sofern feste, wasserundurchlässige Bodenschichten vorgefunden werden, denn andernfalls würde man in Anbetracht der großen Schwierigkeiten und Kosten von der Ausführung solcher Bauten absehen müssen.

Ein Tunnel unter der Meerenge von Gibraltar, der Spanien mit der Küste von Marokko verbinden soll, ist seit längerer Zeit geplant. Die Mündungen werden in Spanien zwischen Tarifa und Algeciras, in Afrika zwischen Centa und Tanger angenommen. Der Tunnel wird 32 km lang, davon liegen 15 km unter dem Meere bei 30 m Tiefe unter dem Meeresgrund, der aus Felsboden besteht. Neuestens hat man aus Sicherheitsgründen eine noch größere Tiefenlage des Tunnels vorgeschlagen. Die Kosten des Tunnels werden auf 250 Millionen Franken geschätzt. Nach Fertigstellung des Ärmelkanaltunnels, des Gibraltar-tunnels und der geplanten afrikanischen Überlandbahn könnte man dann in etwa 18 Tagen unmittelbar von London nach Kapstadt reisen.

In Italien plant man eine Verbindung von Reggio in Kalabrien mit Messina durch einen Tunnel von 13,5 km Länge, wovon 4,5 km unmittelbar unter dem Meere, das dort etwa 107 m tief ist, liegen sollen. Der Tunnel wird in der Felsschichte von etwa 40 m Mächtigkeit verbleiben. Die Zufahrten werden durch Spiraltunnel so gebildet, daß die Tunnelmündungen möglichst nahe der Küste liegen. Die Kosten sind mit 80 Millionen Lire, was wohl nicht ausreichend sein dürfte, veranschlagt.

Auch eine unterseeische Verbindung von Schottland nach Irland unter dem 35 km breiten und 25 m tiefen Nordkanal von Port Patrick nach Larne nördlich von Belfast ist beabsichtigt.

Ein Tunnel unter dem Sund zwischen Kopenhagen und Malmö in Schweden ist mit Zustimmung der dänischen und schwedischen Regierung von einer französischen Gesellschaft mit einer Länge von 30 km geplant, der im festen Kalkstein bei genügender Tiefe unter der Meeressohle ohne nennenswerte Schwierigkeiten in gewöhnlicher bergmännischer Weise ausgeführt werden könnte.

Die Kaledonische Eisenbahn hat einen Tunnel unter dem Firth of Forth in Anregung gebracht; er soll infolge günstigerer Eisenbahnverbindungen in Wettbewerb treten mit dem Übergang über die Firth-of-Forth-Brücke.

Auch ein Tunnel unter dem Bosphorus zur Verbindung von Konstantinopel mit Skutari am asiatischen Ufer ist wiederholt empfohlen worden, anstatt der von anderen



Abbildung 61.

Seiten vorgeschlagenen Bosphorus-Brücke. Zweifellos ist an dieser Stelle der Tunnel der Überbrückung vorzuziehen.

2. DER BRUSTSCHILD wird bei ungünstigen Bodenverhältnissen, bei großem Gebirgsdruck oder zu erwartendem starkem Wasserzudrange mit oder ohne Hilfe von Preßluft verwendet. Der Brustschild ist entweder ein geschlossenes kreisförmiges oder elliptisches, versteiftes Eisenrohr oder ein Halbrohr.

Der Vollschild (Abbildung 60 und 61) hat eine Schneide *S* und wird mittels Schrauben oder besser Wasserpressen *P*, die am Umfange des Schildes angeordnet sind und deren tunlichst breit zu haltenden Füße sich gegen den fertigen Tunnel oder die Lehrbögen für die Tunnelverkleidung stützen, knapp an oder in das Gebirge gedrückt und der Boden vor und innerhalb des Schildes gelöst und beseitigt.

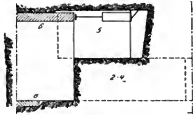


Abbildung 62.

Der Halbschild (Abbildung 62 und 63) erstreckt sich in der Regel auf die obere Tunnelhälfte und wird zweckmäßig auf die fertiggestellten Widerlager mittels Rollen- oder Gleitlager gesetzt, um den Vorschub zu erleichtern und das Mauerwerk zu schützen.

Preßluft wird im wasserreichen und schwimmenden Gebirge und bei geringer Überlagerung des Tunnels unter Wasser verwendet; sie hat dem Wasserdruck das Gleichgewicht zu halten, das Eindringen des Wassers oder des Bodens in den Arbeitsraum zu verhindern, was deshalb Schwierigkeiten bereitet, weil die Wasserdruckhöhen an der tiefsten und höchsten Stelle des Tunnels verschieden sind.

Genügt der Luftdruck, um dem Gewichte der Bodenüberlagerung und dem Wasserdruck in der First des Tunnels das Gleichgewicht zu halten, so reicht er für die tiefer liegende Sohle zur Verdrängung des Wassers nicht aus.

In der Regel wird daher die Luftpressung so groß gewählt, daß sie dem Wasserdruck in  $\frac{1}{3}$  bis  $\frac{1}{4}$  der Schildhöhe, von der Sohle gerechnet, das Gleichgewicht hält; sie ist daher in der First des Schildes zu groß, so daß, wenn die Belastung der Überlagerung nicht genügt, ein Ausblasen der Preßluft und eine entsprechende Luftverdünnung im Schildraume eintritt, die das Eindringen des Wassers und der Bodenmassen sowie die Gefährdung der Arbeiter zur Folge hat, was in feinkörnigem, kohäsionslosem Boden eher der Fall sein wird als in Boden von einigem Zusammenhalt.

Daher ist namentlich im ersteren Falle mit größter Vorsicht vorzugehen, auch die Überlagerung des Tunnels durch den Erdboden nicht zu gering zu bemessen.

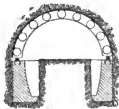


Abbildung 63.

Zur Vermeidung jeder Gefahr beim Schildvortrieb mit Preßluft im losen, feinkörnigen Boden schlägt A. Haag daher vor, Arbeitskammern einzurichten, die ringsum und oben geschlossen und nur an der Sohle offen sind; denn in solchen Fällen genüge die mit Wasser völlig durchzogene Überlagerung nicht, das Ausströmen der Preßluft nach außen zu verhindern. In geschlossenem Boden mit ausreichendem Zusammenhalt ist die Bildung einer Druckluftblase möglich, die ein rasches Entweichen der Druckluft immerhin erschwert.

In Boden mit geringer Kohäsion und Reibung, der nur unter kleinem Böschungswinkel nicht in Bewegung kommt, kann der Schild wagerechte Abteilungen erhalten,

auf welchen der Boden unter entsprechendem Böschungswinkel, also mit geringer Fußbreite, in Ruhe verbleibt. Auch werden durch senkrechte Wände Zellen, also kleinere, auch schließbare Abteilungen hergestellt, die eine getrennte Bearbeitung und Verschleiß einzelner Teile der Tunnelbrust erlauben.

Die Tunnelbrust wird im beweglichen Boden auch durch einen Bretterverzug oder eine Verpfählung ganz oder teilweise abgeschlossen, was namentlich im kohäsionslosen Boden nötig ist.

Im wechselnden Gebirge kann es zweckmäßig sein, den Vortrieb des Schildes durch den Vortrieb eines Richtstollens oder einer Holzzimmerung im Vollaussbruch zu erleichtern, was namentlich im ungleichartigen Boden vorteilhaft sein kann.

Zum Schutze der First und der darunter auszuführenden Arbeiten erhält der Brustschild in einigen Fällen auf  $\frac{1}{2}$  bis  $\frac{1}{2}$  des oberen Umfanges ein vortretendes Dach

(Haube), an dessen Stelle man auch eiserne Triebpfähle setzen kann, die einzeln in der Regel mit Wasserpressen vorgetrieben werden können.

Plattformen in verschiedenen Höhen des Schildes, die bis knapp an die Tunnelbrust angeschoben werden können, wozu auch besondere Wasserpressen zweckmäßig sind, ermöglichen den Arbeitern die Lösung des Bodens.

Mit Schwierigkeiten ist die Einhaltung der vorgesehenen Richtung und Höhe des Schildes und des daraanschließenden Tunnels verbunden, namentlich im wechselnden

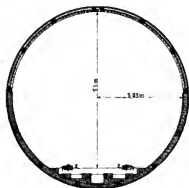


Abbildung 64.



Abbildung 65.

den Boden und bei stellenweise stärkerem Wasserauftrieb. Die Zahl der am Schildumfange verteilten Wasserpressen ist daher tunlichst groß zu halten, sie sind in Gruppen so zusammenzufassen, daß sie nicht nur gemeinsam, sondern auch gruppenweise unabhängig voneinander in Betrieb gesetzt werden können, um den verschiedenen Widerständen des Schildes an den einzelnen Stellen des Umfanges Rechnung tragen zu können.

Bei Verwendung von Preßluft sind Luftschleusen erforderlich, die die Arbeitsräume vom fertigen Tunnel trennen; sie vermitteln den Verkehr der Arbeiter und die Förderung aus den mit Preßluft gefüllten Arbeitsräumen nach außen und umgekehrt.

Für größere Tunnel wurden meist getrennte Luftschleusen für den Arbeiterverkehr und die Materialbeschaffung angeordnet; auch findet man noch außerdem eine dritte Schleuse als Sicherheitsschleuse, in der Regel in der First des Tunnels.

In den Querwänden des Schildes wurden auch Notschleusen eingebaut, damit den Luftdruckunterschieden in den Arbeitsräumen des Schildes und dem Raum zwischen Schild und Tunnelverkleidung und der Hauptschleusen Rechnung getragen werden kann, namentlich wenn durch Ausblasen der Preßluft eine plötzliche Druckverminderung eintritt, die durch Notschleusen auf den Schildraum beschränkt werden soll; sie haben aber nicht nennenswert größeren Wert wie Nottüren, da sie doch nicht geschlossen werden, um die zeitraubende Schleusenarbeit für die Förderung des Ausbruches zu vermeiden.

Auch Taucherglocken-Anordnungen in den oberen Teilen des Schildes können aus schon angeführten Gründen zur Sicherung der Arbeiter in Frage kommen.

Die unter Wasser mittels des Brustschildes ausgeführten Tunnel erhielten in den meisten Fällen die Röhrenform. Ausnahmen fanden wohl bei Verwendung des Halbschildes statt. Die Röhren werden aus einzelnen schmalen Ringen aus Gußeisen oder Flußeisen, in Ausnahmefällen auch aus Gußstahl zusammengesetzt. Das Gußeisen wurde wegen geringerer Rostgefahr vorgezogen, dagegen ist Flußeisen biegungsfester; die einzelnen kurzen Stücke, aus welchen der Ring zusammengesetzt ist, lassen sich vernieten, während sie bei Gußeisenringen verschraubt werden müssen.

Die Stöße werden durch Weichmetall, geteerte Stoffe, auch durch kreosotierte und gepreßte Weidholzzwischenlagen, die von einem Bleiplattenring umschlossen sind, gedichtet. Die einzelnen Ringe erhalten über den Umfang verteilte, durch Schrauben verschließbare Löcher, durch welche nach Vorschub des Schildes Zementmörtel unter hohem Drucke hinter das Rohr gepreßt wird, um die verbliebenen Hohlräume zwischen Tunnelverkleidung und dem Boden zu schließen, das Eisenrohr gegen Rosten zu schützen, auch die Fugen der Ringe noch besser zu dichten. Innen werden die Eisenrohre meist von Beton umhüllt, der im Fußgänger- und Straßentunnel noch eine Verkleidung aus glasierten Ziegeln oder Fliesen erhält.

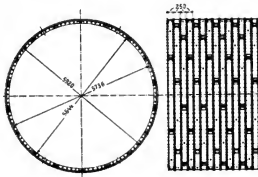


Abbildung 66.

Die mit Schildvortrieb ausgeführten Eisenbahn-, auch Straßentunnel

für Doppelgleise oder getrennte Straßenfahrbahnen, sind mehrfach durch Doppelrohre in einem von den Boden- und Vortriebsverhältnissen entsprechend großen Abstände gebildet, weil hierdurch infolge des Unterschiedes der Kreisdurchmesser, abgesehen von der höheren Lage der Bahn, ein leichterer Vortrieb und ein geringerer Luftdruckunterschied in der Sohle und der First des Tunnels und daher geringere Luftpressung und weniger Gefahr für das Ausblasen der Preßluft in der Tunnelfirst erreicht werden kann.

Für Vollbahnen kann bei einem Rohre für ein Gleis gegenüber einem zweigleisigen Rohre die Höhe um etwa 2 bis 2,5 m, daher der Luftdruckunterschied in der Sohle und der First um etwa  $\frac{1}{3}$  Atm. vermindert werden, was schon einen nennenswerten Vorteil ergibt. Für den Betrieb haben die Doppeltunnel noch die Vorteile der größeren Sicherheit und der Möglichkeit der Aufrechterhaltung des Betriebes im Falle der Sperrung eines Gleises. Allerdings werden die Kosten für Bau und Betrieb bei zwei Röhrentunnel höher als für einen Tunnel mit zwei Gleisen. Verbindungsstollen zur Erleichterung der Bahnerhaltungsarbeiten, wie sie bei Gebirgstunneln wohl leicht auszuführen sind, bedingen große Schwierigkeiten und unverhältnismäßig hohe Kosten.

Im eingleisigen Tunnel unter dem St.-Clair-Fluß in Kanada ist z. B. ein aus Gußeisenringen zusammengesetztes Rohr (vgl. Abb. 64 u. 65), das Innen mit Beton verkleidet wurde, verwendet. Die einzelnen Ringstücke sind verschraubt und durchlocht, um hinter das Rohr Zementmörtel einspritzungen vornehmen zu können.

Für den zweiröhri gen Straßen- und Fußgängertunnel unter der Elbe in Hamburg wurden Flußeisenröhren, deren einzelne Teile durch Vernietung verbunden wurden, verlegt (Abbildung 66). Für den Belmonttunnel unter dem East River in Newyork verwendete man innen mit Beton verkleidete Gußeisenrohre (vgl. Abbildung 67).

Namentlich in England und Nordamerika wurden Unterwassertunnel für Fußwege, Straßen, Eisenbahnen, für Ent- und Bewässerungskanäle nach der Schildbauweise mit oder ohne Hilfe von Preßluft in größerer Zahl ausgeführt. In England ist vornehmlich die Themse in London durch etwa 14 Tunnel unterfahren worden. Abgesehen von dem ersten schon im Jahre 1843 fertiggestellten, von Brunel erbauten, ursprünglich für den Straßenverkehr bestimmten, später aber für den Eisenbahnverkehr umgebauten Themsetunnel sind zu nennen der Tower-, der Woolich Subway- sowie der Greenwich-tunnel für Fußgänger, der Eisenbahn-Themsetunnel der City und South-Londonbahn, der Baker Street und Waterloo- und Citybahn; von den Straßentunneln namentlich der Blackwail- und der zuletzt ausgeführte Rotherhithetunnel.

Dieser Tunnel, der den Stadtteil östlich der City, Stepney mit Rotherhithe, verbindet, ist 1909 dem Verkehr übergeben worden.

Den Längsschnitt zeigt Abbildung 68, den Querschnitt Abbildung 69. Das Gußstahlrohr ist innen mit Beton umhüllt und dann mit glasierten Ziegeln verkleidet. Der unter der 4,86 m breiten Straßenfahrbahn und den beiden Fußwegen von je 1,4 m Breite liegende gewölbte Raum dient zur Unterbringung der verschiedenen Rohrleitungen. Der Bau wurde von vier Schächten S aus betrieben. Die 14,5 m weiten Schächte an den beiden Themseufern sind mit Treppen versehen, damit Fuß-

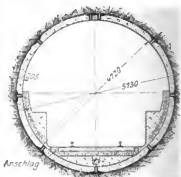


Abbildung 67.

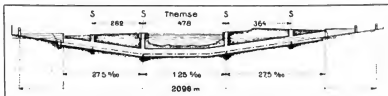


Abbildung 68.

gänger auch von diesen Stellen in den Tunnel gelangen können. Der Tunnel wurde von beiden Seiten mittels zweier durch Wasserpressen vorzuschiebende Brustschilde von je 9,34 m Durchmesser aufgeföhren. Die geringste Überlagerung von Tunnelscheitel bis Flußsohle betrug 2,5 m; der Boden bestand aber in den oberen Schichten aus Ton, so daß Übelstände infolge der geringen Überlagerung in dem geschlossenen Boden nicht eingetreten sind. Auch war ein größerer Luftdruck als etwa 1,5 Atm. nicht erforderlich. Um die Lagerung der Schichten im Flußbette festzustellen, wurde etwas unterhalb des Scheitels ein 3,8 m weiter kreisförmiger Richtstollen mit kleinem Schild und besonderer Bohrmaschine vorgetrieben. Infolge des geringen Luftdruckes und der trockenen Luft war der Gesundheitszustand der Arbeiter ein günstigerer, als er bei Bauten mit dem Brustschild unter Verwendung von Preßluft im Durchschnitt sonst zu sein

pflegt. Der Baufortschritt war ein auffallend großer und betrug täglich bis 12 m, ausnahmsweise sogar etwas mehr.

In Amerika sind namentlich mehrere Tunnel unter dem Hudson River und unter dem East River mit Verwendung des Brustschildes und Preßluft ausgeführt worden. Auch an mehreren anderen Stellen wurde diese Bauweise verwendet, wie z. B. für einen Eisenbahntunnel unter dem St.-Clair-Fluß (Kanada), für einen Straßenbahntunnel unter dem Hafen von Boston u. m. a.

Eine der bedeutendsten Anlagen ist die von der Pennsylvanischen Bahn in Neuyork ausgeführte Verbindung des Westufers (New Jersey) des Hudson oder Nord

River unter diesem Flusse nach Manhattan, wo ein großer, tiefgelegener Bahnhof erbaut wurde, und von diesem unter dem East River nach Queens (s. Abbildung 70). Besonderes Interesse bietet der auf etwa 1400 m Länge den Hudson River unterfahrende Tunnel. Er besteht aus zwei Gußeisenröhren; in den ungünstigsten Strecken sind die Röhren aus Gußstahl im Achsabstande von 11,1 m, die außen mit Zementmörtel umhüllt wurden, innen mit besonders starker Betonschicht umhüllt wurden, um das Gewicht und den Biegungswiderstand zu vergrößern und den Rostschutz zu verbessern.

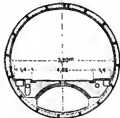


Abbildung 69.

In den ungünstigsten Schlammstrecken hat man die Röhren in Abständen von 4 bis 4,5 m durch eiserne, mit Beton gefüllte Schraubenpfähle mit dem unter der Schlammschicht liegenden Bodenschicht verankert, um sie gegen jede Bewegung und Auftrieb zu sichern (Abbildung 71). Das Einbringen dieser röhrenförmigen Schraubenpfähle war mit erheblichen Schwierigkeiten und Kosten verbunden.

Der kleinste Abstand des Tunnelscheitels von der Flußsohle betrug etwa 7 m. Die größte Tiefe der Tunnelsohle unter dem Mittelhochwasser etwa 30 m.

Die Bauarbeiten wurden von zwei im Abstände von 1865 m auf beiden Seiten des Flusses liegenden Schächten in Angriff genommen. Der Boden unter dem Flusse

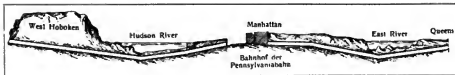


Abbildung 70.

bestand teilweise aus Fels, Sand, Kies und der größere Teil aus Schlamm. Der Vortrieb erfolgte mit Brustschilden, die auf etwa  $\frac{3}{4}$  des Umfanges haubenartige Überdachung erhielten. Im Felsboden wurde der erforderliche Querschnitt erst ausgesprengt und dann der Brustschild vorgeschoben.

Im Sandboden wurde die Tunnelbrust durch Holzzimmerung etwa nach Abbildung 72 abgestützt, der Boden stufenförmig entfernt und der Schild vorgetrieben; im Schlamm-boden hat man eine Abschlußwand des Schildes mit entlasteten Drehtüren versehen, die teilweise und ganz so geöffnet werden konnten, daß der Boden allmählich in den Schildraum drang und entfernt wurde, wodurch die Gefahr eines plötzlichen Einbruches tunlichst vermieden werden konnte (Abbildung 73).

Vorschiebbare Plattformen erlaubten den leichteren Angriff der Brust. Der Vor-schub erfolgte mit Wasserpressen. Je drei Luftschleusen wurden für Materialtransport und Arbeiter in zwei Abteilungen im Abstand von etwa 300 m hintereinander ein-gebaut. Die Arbeiten im Schlamm-boden waren be-sonders schwierig, doch wurden täglich Fortschritte bis etwa 4 m erreicht.

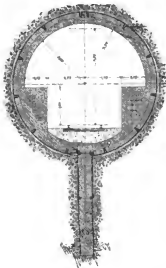


Abbildung 71.

Für Bauten mit dem Halbschilde sei als Beispiel der Bau des Ost-Boston-Tunnels angeführt. Der Ost-Boston-Tunnel für die zweigleisige elektrische Straßenbahn zur Verbindung von Boston mit Ost-Boston liegt auf etwa 800 m Länge unter dem Hafen (Abbildung 74). Die geringste Überlagerung des Tunnels beträgt 5,5 m; die Wasserhöhe darüber 11 bis 14 m. Der durchfahrene Boden bestand aus blauem Ton, Geschiebelehm, sandigem Lehm und Kies. Der Tunnel ist in Beton mit Eisen-einlagen ausgemauert (Abbildung 75). Eine Eisen-haut wurde nicht verwendet, dagegen die äußere Leibung in sehr festem Beton hergestellt, um eine ausreichende Dichtung des Mauerwerkes zu erreichen. Im Betongewölbe wurden 16 Gußeisenstangen von je 8 cm Stärke auf größere Längen eingemauert zu dem Zweck, den Druck der Wasserpressen für den Schildvortrieb auf eine größere Tiefe des fertigen Tunnels zu übertragen und das Mauerwerk zu schonen. Der Bau begann mit zwei in Holz verzimmerten Sohl-stollen (Abbildung 76 und 77), in welchen die beiden Widerlager in Beton auf-gemauert wurden. Auf die fertigen Widerlager setzte man den eisernen Halbschild von 8,8 m größter Weite durch Vermittlung von je 8 auf eisernen Platten laufenden Stahlrollen. Der Schild wurde durch 18 Wasserpressen mit etwa 220 Atm. Druck vorgeschoben und das Gewölbe nach Ausbruch des Bodens auf Zonenlänge eingebracht. Nach Beseitigung des verbliebenen Erdkerns konnte das Sohlgewölbe eingebaut werden. Da die Vortriebsarbeiten unter Preßluft erfolgten, so waren im fertigen Tunnel drei Luftschleusen vorhanden. Infolge der guten Führung des Schildes durch die fertigen Widerlager konnten Richtung und Höhe des Schildes wesentlich leichter eingehalten werden, als dies bei Verwendung von Vollschilden, die aber im ungünstigen Boden durch Halbschilde nicht zu ersetzen sind, der Fall ist.

In Frankreich hat der Tunnelbau mit Schildvortrieb namentlich beim Bau der Untergrundbahn in Paris Verwendung gefunden, auch für die Unterfahmung der Seine.

Der zweigleisige Tunnel der Untergrundbahn unterhalb der Concorde-Brücke, der die Seine in einem Bogen von 250 m Halbmesser unterfährt, wurde auf eine Länge von 365 m mittels eines Brustschildes und Preßluft ausgeführt.

Das durchfahrene Gebirge bestand von oben nach unten aus einer Alluvialschicht, einer Kalksteinschicht, einer Sand- und einer Tonschicht mit Braunkohleneinlagerungen. Die Tunnelfirst liegt 5 m unter der Sohle und 10 m unter dem M.-W. der Seine.

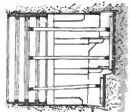


Abbildung 72.

Der kreisrunde Schild, bestehend aus drei Stahlblechen von zusammen 57 mm Stärke, hatte 7,95 m äußeren Durchmesser und 5,23 m Länge; den Längsschnitt und die Anordnung der Schneide zeigt Abbildung 78. Der Schildraum wurde durch drei senkrechte und zwei wagerechte Wände, die eine gute Versteifung bildeten, in Abteilungen geteilt, die einzeln durch Türen gegen die Brust geschlossen werden konnten, so daß eine genügende Anzahl voneinander unabhängiger und gesicherter Arbeitsstellen zur Verfügung stand.

Der Vorschub erfolgte durch 27 am Umfange des Schildes angeordnete Wasserpressen, die einen Gesamtdruck von 3440 t ermöglichten. Die Wasserpressen waren behufs Regelung des Vorschubs bei verschiedenen Widerständen in ungleichartigem Boden in vier voneinander unabhängigen Gruppen zusammengefaßt und stützten sich gegen die Gußeisenverkleidung des Tunnels, die mit Zementmörtel hinterspritzt und innen mit Beton verkleidet wurde (Abbildung 79). An den wagerechten Abteilungswänden waren Plattformen angeordnet, die durch Wasserpressen vorgeschoben werden konnten, so daß die Arbeiter der Brust genügend nahe kommen konnten und auch ein Schutz der Arbeiter gegeben war. Die Luftpressen erzeugten Luft für den Tunnel mit 2,8 Atm. Druck. Zur Abhebung des auf der Tunnelsohle zufließenden Wassers infolge des für diese Stelle nicht ausreichenden Luftdrucks waren Siphons

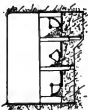


Abbildung 73.

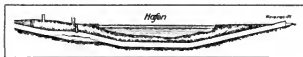


Abbildung 74.

angeordnet. Die für Luftpressen, Wasserpressen, Lichtanlagen usw. erforderlichen Kräfte wurden von elektrischen Anlagen mit zusammen 450 P.S. geliefert. Den Arbeitsvorgang an der Tunnelbrust sowie die Anordnung der Luftschleusen, deren drei vorhanden waren, eine für den Personenverkehr, eine für die Materialbeförderung auf der Tunnelsohle, sodann eine Hilfsschleuse in der Tunnelfirst zur Benützung bei etwaigem plötzlichem Ansteigen des Wasserspiegels, zeigt Abbildung 80. Der durchschnittlich tägliche Baufortschritt des Tunnels betrug 0,75 m.

In Deutschland ist von den nach der Schildbauweise mit Preßluftverwendung ausgeführten Unterwassertunneln der bedeutendste der Elbetunnel bei Hamburg.

Zur Verbindung des Stadtteils St. Pauli am rechten Ufer mit dem Hafengebiet Steinwärder am linken Ufer wurde unter dem etwa 400 m breiten Elbestrom ein Straßen- und Fußgängertunnel von 448,5 m Länge erbaut, der nicht durch Rampenanlagen infolge schwieriger Verhältnisse, sondern durch zwei senkrechte 22 m weite Schächte, die mit Aufzugvorrichtungen für Personen- und Wagenverkehr, auch mit Treppenanlagen versehen sind, zugänglich gemacht wurde, ähnlich wie der Tunnel unter dem Clydefluß in Glasgow.

Den Längsschnitt zeigt Abbildung 81, den Querschnitt eines Rohres Abbildung 82, deren zwei im Abstand von 8 m angeordnet sind. Sie sind aus vernieteten Flußeisenrahmen (Abbildung 66), die innen mit Beton verkleidet und außen durch Zementhinterspritzung gegen Rosten geschützt sind, hergestellt. Da ihr Gewicht auf 1 m Länge nur 3 t leichter war als das verdrängte Wasser, so mußte zum Schutze gegen Auftrieb ganz besonders schwerer



Abbildung 75.



Beton sowie eine Roheisenbelastung von etwa 2 t/m eingebracht werden. — Da am rechten Elbeufer auf etwa 138 m Länge das Gebirge aus tertiärem Ton mit überlagernden sandigen, teilweise sehr festen Mergelschichten bestand, so erfolgte die

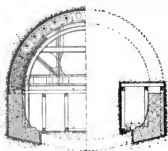


Abbildung 76.

Lösung durch Bohr- und Sprengarbeit, die Hebung des zufließenden Wassers durch Pumpen. Am linken Ufer dagegen fanden sich auf 310 Meter Tunnellänge alluviale und diluviale Sandschichten mit größeren Steinen und Zwischenlagerungen von Holz und Pflanzenresten, so daß von dieser

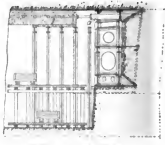


Abbildung 77.

Seite aus der Tunnel mittels eiserner Brustschilde mit Hilfe von Preßluft aufgefahren werden mußte. — Der verwendete Brustschild bestand aus 52 mm starken Eisenblechen, durch zwei mit Türöffnungen versehene Querwände versteift; der Schildmantel war durch zwei senkrechte und zwei wagerechte Wände in neun Zellen geteilt. Zur Sicherung der First wurden auf  $\frac{2}{3}$  der Höhe eiserne Triebpfähle, die in in der aus Abbildung 83 ersichtlichen Weise mit Brettern abgeschlossen, deren Fugen zur Vermeidung von Luftverlusten mit Ton gedichtet waren.

Die Kolbenstangen der Pressen stützten sich mit breiten Füßen gegen die fertige Tunnelverkleidung. In 24 Stunden konnte in der Regel ein Fortschritt von 1,5m, ausnahmsweise bis 3,25 m erzielt werden. Die Brust wurde im Sandboden

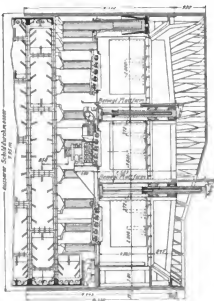


Abbildung 78.

Die Verbindung des mit Preßluft gefüllten Teiles des Tunnels mit dem unter atmosphärischem Drucke stehenden Tunnelerfolge durch Vermittlung einer auf der Sohle des Tunnels angeordneten Materialschleuse und einer in der Tunnelfirst befindlichen, durch Treppen zugänglichen Personenschleuse. Die Schleusen waren in 2 m

starken Betonwänden eingebaut. — Zur Sicherung war in der Tunnelfirst ein Notsteg angebracht, der unmittelbar zur Personenschleuse führte; auch taucherglockenartige Anordnungen fanden sich im Schilde.

Der Tunnelscheitel liegt 6 m, ausnahmsweise 5 m unter Flußsohle und 16 m unter mittlerer Hochwasserhöhe. Die veränderlichen Hochwasserhöhen, der Einfluß von Ebbe und Flut und die geringe Tunnelüberlagerung erschweren die Verhinderung des Ausblasens der Preßluft, die zumeist auf 2,5 Atm. gepreßt war und einer Wassersäule bis auf das untere Drittel der Tunnelhöhe das Gleichgewicht hielt, so daß die Luftpressung im Tunnelscheitel um etwa 0,5 Atm. zu groß gewesen ist.

Infolge Ausblasens der Preßluft und plötzlicher Druckverminderung im Schildmantel brachen am 24. Juni 1909 Wasser und etwa 600 cbm Sandmassen so rasch in den Tunnel, daß die Arbeiter nur mit knapper Not sich retten konnten. Die Arbeiten wurden sodann mit größerer Vorsicht und Ver-

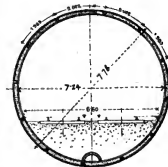


Abbildung 79.

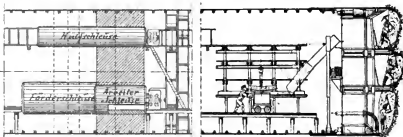


Abbildung 80.

stärkung des Bretterverbaues der Tunnelbrust fortgesetzt und Anfang September 1911 nach vierjähriger Bauzeit vollendet und dem Verkehr übergeben. Die recht schwierigen Absteckungsarbeiten sind mit dem Erfolg durchgeführt worden, daß die Abweichungen von Richtung und Höhe des Tunnels von der vorgesehenen Achse so gering gewesen sind, daß sie als praktisch belanglos bezeichnet werden können. Die Gesamtkosten des Baues waren mit 10,7 Mill. Mark veranschlagt. Die Arbeiten wurden gegen einen Betrag von 9,8 Mill. Mark an die Frankfurter Firma Holzmann & Co. übertragen.

Von den in Deutschland ausgeführten Unterwassertunneln mit Schildvortriebs sind noch zu nennen der Spreetunnel bei Berlin zwischen Treptow und Stralau, der gegenwärtig von der Straßenbahn benutzt wird, sowie der Tunnel für den Entwässerungskanal der Stadt Kiel unter dem Nordostsee kanal bei Holtenua.



Abbildung 81.

Elbetunnel.



Tunnel unter dem Chikagofluß sowie zwei Seine-Unterführungen in Paris ausgeführt worden.

Der Spreetunnel der Untergrundbahnlinie Spittelmarkt—Schönhauser Tor in Berlin (Abbildung 84) wurde auf Spreeflußbreite von 110 m in Kiesboden von oben,



also in offener Bauweise, mit Hilfe von Fangdämmen und Spundwänden bei Grundwasserspiegelsenkung ausgeführt, so daß er in geringster Tiefe unter Flußsohle gelegt und mit rechteckigem, an den erforderlichen Lichtraum knapp angepaßtem Querschnitt ausgeführt werden konnte. Zum Schutze gegen Beschädigungen durch Bagger, Schiffe und deren Anker wurde der Tunnel durch in Zement gebettete Eisenplatten mit einer Betonschutzdecke und einer Schotterlage gedeckt.

Die Abmessungen und Form des in Betoneisen mit 1 m, in der Sohle mit 1,3 m Stärke ausgeführten Tunnels zeigt Abbildung 85. Der M.-W.-Spiegel liegt etwa 3,5 m über der Tunnelabdeckung.

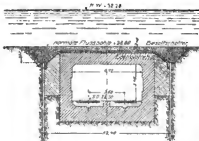


Abbildung 85.

reichenden Spundwänden so gesenkt werden konnte, daß die Ausführung des Tunnels erst vom linken, dann vom rechten Spreeufer aus hintereinander ohne größere Behinderung der Schifffahrt erfolgen konnte. (Abbildungen 86 und 87.) Der Raum zwischen der auf Flußsohlenhöhe abgeschnittenen Spundwand und dem Tunnelmauerwerk ist mit Magerbeton gefüllt. Nach Fertigstellung der gegen die Flußseite abgeschlossenen Tunnelteile konnte deren Verbindung von einer Insel mit dem ringförmigen Fangdamme (Abbildung 88) geschehen und der Tunnel im April 1913, nach dreijähriger Bauzeit, fertiggestellt werden. Das eingeschlagene Verfahren hat sich bewährt.

Zwar hat Ende März 1912 der dem Abschluß nahe Bau durch einen Wassereinbruch über dem Ende des fertigen linksufrigen Tunnelteiles erbauten Fangdammes eine Störung

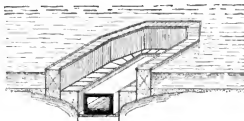


Abbildung 86.

insofern erlitten, als infolge Senkung dieses Tunnelende einen Bruch erfuhr, wodurch das Spreewasser in den fertigen Tunnel gelangte und auch die dahinterliegende in Betrieb befindliche Untergrundbahnstrecke überschwemmte. Diese Störung, deren genauere Ursachen nicht bekannt geworden sind, ist aber sehr rasch und geschickt beseitigt worden.

Beim Bau des Spreetunnels für die Untergrundbahn Gesundbrunnen—Neukölln in Berlin ist man wegen geringerer Breite des Spreeflusses und zur Vermeidung der

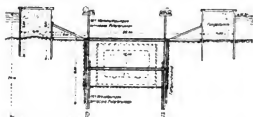


Abbildung 87.

Behinderung der Schifffahrt von dem vorher mitgeteilten Bauverfahren insofern abgegangen, als man die Baugrube des Tunnels nicht mehr durch Fangdämme schützte, sondern durch eine auf Flußsohle unter Wasser mit Hilfe von Taucherarbeit verlegte dichte Decke so abschloß, daß der Bodenaushub und die Ausmauerung des Tunnels darunter bei entsprechender Wasserhaltung stattfinden konnte (Abbildung 90). Man hat daher nach der schräg den Fluß auf 175 m Länge schneidenden Tunnelachse (Abbildung 89) eine etwa 20 m breite, 1,5 m tiefe Rinne gebaggert, wonach dann auf die Breite der Baugrube eiserne Spundwände nebst den erforderlichen Röhrenbrunnen eingetrieben und erstere unter Wasser so abgebrannt wurden, daß darauf in Abständen von 1,5 m eiserne Fachwerkträger von 1,1 m Höhe und 17 m Länge mit den erforderlichen Querverbänden und einem dazwischengelegten 6 cm starken Holzboden unter Wasser aufgelagert und diese Decke dann durch Segeltuch sowie durch eine 25 cm starke Schotterschicht geschützt werden konnte (Abbildung 90). Unter dem Schutze dieser Decke konnte von beiden Ufern aus zwischen den Spundwänden, die entsprechend abgesteift wurden, unter Wasserhaltung der Boden abgetragen und die Tunnelausmauerung in Betoneisen mit den Isolierschichten vorgenommen werden (Abbildung 91). Die Tunnelausmauerung erfolgte so, daß die aus I-Trägern bestehende und mit einer Dichtung versehene Decke von unten durch Hebezeuge bis an den dichten Anschluß an die Schutzdecke gehoben wurde, worauf ihre Verbindung mit den Seitenwänden erfolgte.

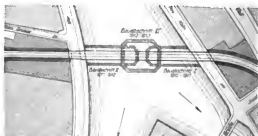


Abbildung 88.

Die Spree wurde bisher nun schon an vier Stellen durch Tunnel unterfahren. Der erste Tunnel zwischen Stralau und Treptow wurde mit Hilfe des Brustschildes, die anderen drei in der eben besprochenen Weise von der Oberfläche aus hergestellt. Wenn auch hierbei die geschilderten Übelstände der Schildbauweise vermieden wurden, so sind die immerhin teilweise Einschränkung des Schifffahrtsweges, auch die Schwierigkeiten der Herstellung der wasserdichten Verschlüsse und der Senkung des Grundwassers mit der Wasserentziehung auf größeren Umfang sowie die geräuschvollen

und erschütternden Rammarbeiten Nachteile dieser Bauweisen, die doch auch nur bei nicht zu großen Wassertiefen in Frage kommen werden.

Auf den Pariser Untergrundbahnen, welche an mehreren Stellen die Seine zu unterfahren hatten und deren Tunnel in einigen Fällen so knapp unter Flußsohle gelegt werden mußten, daß über dem Tunnelscheitel nur eine 1,5 m starke Schutzdecke verblieb, wurden die Seinetunnel in zwei Fällen mit Hilfe von Senkkasten, auf

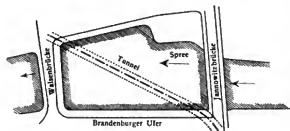


Abbildung 89.

welche die Eisengerippe aufgesetzt waren, ausgeführt. Im Inneren der Eisengerippe waren im fertigen Tunnel die Gußeisenrahmen für den inneren Tunnelabschluß angebracht, die wie die Gerippe mit Beton ausgestampft waren (Abbildung 92).

Diese Eisengerippe mit den Senkkasten von 1,8 m lichter Höhe wurden in Längen von 44 bis 16 m an beiden

zeitweilig abgeschlossen, außen mit geschlossenem Blechmantel umgeben, vom Ufer aus schwimmend an die Baustellen gebracht und dort mit Hilfe von Preßluft und den erforderlichen über Wasser angeordneten Luftschleusen bis auf die vorgesehene Tiefe so versenkt, wie dies bei Gründung von Brückenpfeilern geschieht. Die Belastung wurde allmählich durch Einbringen des Betons zwischen den einzelnen Gespärren des Eisengerippes vergrößert.

Da für einen Tunnel mehrere voneinander unabhängige Senkkasten erforderlich waren, so ergab sich die Notwendigkeit, diese in Abständen von 0,4 m in einem und von 1,5 m im anderen Falle versenkten Kästen unter Wasser zu verbinden und die einzelnen Teile zu einem Tunnel zu vereinigen. Das war, weil hierüber kaum Erfahrungen vorlagen, der schwierigste Teil der Ausführung, welcher in den beiden Fällen in verschiedener Weise gelöst worden ist.

Die zweckmäßigere und billigere Lösung erfolgte bei dem Seinetunnel der Untergrundbahnlinie Nr. 8 knapp unterhalb der Mirabeaubrücke.

Es waren für diese unmittelbar unter dem Flußbette 196,4 m lange Tunnelstrecke fünf getrennte Senkkasten von 35,6 bis 44 m Länge nach Abbildung 92 erforderlich, deren Stirnen nach Abbildung 93 ausgebildet und deren innerer freier Raum an beiden Enden nach Abbildung 94 zeitweilig abgeschlossen war. Nach Versenkung der Tunnelstücke mit dem Senkkasten wurde der zwischen zwei Stücken belassene Raum von 0,4 m Weite durch Eintreiben von zwei Eisenröhren mit 0,51 m äußerem Durchmesser,

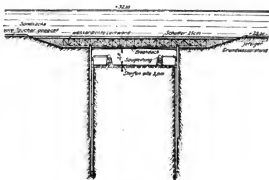


Abbildung 90.

die mit Beton gefüllt wurden, beiderseits abgeschlossen, so daß er zunächst von Schlamm und Erdteilen frei gemacht werden konnte. Dieser Raum wurde sodann mit sehr fettem Portlandzementmörtel ausgefüllt und nach einem Monat Erhärtungszeit die zeitweiligen Abschlußwände sowie die Zwischenwand durchgebrochen, die Gußeisenrahmen eingebracht und der Tunnel an der Verbindungsstelle geschlossen. Das Verfahren hat sich bewährt; es ist von irgendwelchen unerwarteten Vorkommnissen nichts bekannt geworden.

In etwas anderer, aber umständlicherer und kostspieligerer Weise wurden die Zusammenschlüsse der einzelnen Stücke bei den Tunneln der Untergrundbahn Nr. 4, welche die beiden Seinearme der Cité-Insel unterfahren, ausgeführt. Hier betrug der Raum zwischen den einzelnen versenkten Stücken von 19,8 bis 43,2 m Länge nicht 0,4, sondern

1,5 m, der von beiden Seiten durch Betonmauern, die auch mit Hilfe kleinerer Senkkästen hergestellt wurden, abgeschlossen wurde. Über den nun von den Seiten geschlossenen Zwischenraum wurde ein dicht anschließender, aber über Wasser offener Kasten aufgesetzt, wonach dessen Entleerung von Schlamm und Erde sowie die Überwölbung dieses Zwischenraumes so erfolgen konnten, daß darunter die Verbindung der beiden Stücke und die Fertigstellung des Tunnels möglich war.

Diese Bauweise, welche schon unter kleineren Verhältnissen angewendet wurde, wie z. B. im Jahre 1896 von der Unternehmung Redlich bei Ausführung des Speisekanals an der Nußdorfer Schleuse bei Wien in der Verbindung zwischen dem Donau-

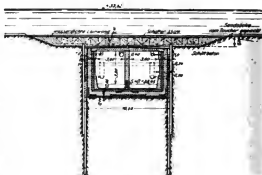


Abbildung 91.

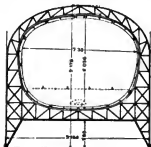


Abbildung 92.

strom und dem Donaukanal und auch von Westendarp für den Tunnel unter der Elbe in Hamburg, in einem fertigen Entwurfe sodann von Professor Winkler für die Untertunnelung des Wiener Donaukanals vorgeschlagen wurde, hat gegenüber der Bauweise mit dem Brustschild den Vorzug, daß der Tunnel so knapp wie möglich unter die Flußsohle gelegt werden kann, auch die Gefahren bei Verwendung von Preßluft größtenteils vermieden werden und der Ausbau des Tunnels außerhalb der eigentlichen Baustelle auf gutgewählten Bauplätzen, also unter den günstigsten Verhältnissen erfolgen kann; dagegen wird die Schifffahrt auf dem betreffenden Flusse immerhin beeinträchtigt, der Transport wie die Versenkung der Tunnelstücke erheischt die größte Vorsicht

und der Zusammenschluß der einzelnen Stücke ist mit größeren Schwierigkeiten und Gefahren des Mißlingens verbunden.

5. Für Tunnel unter Wasser oder auch im sehr nassen, schwimmenden Gebirge kann unter Umständen das GEFRIERVERFAHREN in Frage kommen. Hierbei wird der Boden auf den Umfang des Tunnels entweder durch Einblasen von kalter Luft

oder durch Einführen von Kälteflüssigkeiten mittels Röhren zum Gefrieren, daher in feste Form gebracht, wonach im stark wasserführenden Boden der Ausbruch, dessen Abstüßungen und der Ausbau des Tunnels erleichtert oder erst ermöglicht wird. Das Verfahren wird im Tunnelbau vornehmlich dann zweckmäßig sein, wenn andere Bauweisen infolge großer Tiefenlage des Tunnels und hohen Wasserdrucks nicht mehr angewendet werden können. Für Schachtabteufungen im sehr nassen, schwimmenden Gebirge ist von dem Gefrierverfahren bei großen Schachttiefen bis etwa 400 m vorteilhafter Gebrauch gemacht worden.

Durch Einblasen von kalter Luft ( $-40$  bis  $60^{\circ}\text{C}$ ) in den vorzutreibenden Tunnel, der gegen die fertige Strecke durch Wände abgeschlossen wird, kann das Gebirge auf eine gewisse Strecke zum Gefrieren gebracht und dann gelöst und abgestützt werden. Die einzuführende kalte Luft ist auch auf das durch den vorhandenen Wasserdruck bedingte Maß zu pressen und dann erst in den Kältemaschinen abzukühlen, da die Luft bei hoher Pressung stark erwärmt wird. Großer Wasserdruck, namentlich salzhaltiges Wasser, setzen die Gefriertemperatur etwas herab. Mit Vergrößerung

der Frosttemperatur tritt sodann eine Festigkeitszunahme

der Frostwand ein. Nach diesem Verfahren ist ein Tunnel in Stockholm mit Erfolg ausgeführt worden, dagegen hat man auf der Interborough R. T. R. R. in Neuyork keine günstigen Erfahrungen damit gemacht, wahrscheinlich deshalb, weil die verhältnismäßig geringe dort angewendete Gefriertemperatur von nur  $-5$  bis  $12^{\circ}\text{C}$  für die großen abzukühlenden Räume nicht ausreichte.

Die Einführung von Kälteflüssigkeiten, wie Chlorkalzium oder besser 25- bis 30 prozentiger Chlormagnesiumlauge, die bei etwa  $-35^{\circ}\text{C}$  friert, oder von 95 prozentigem Alkohol, der bei  $-110^{\circ}$  friert, in doppelwandigen Röhren von der Erdoberfläche aus kann in ähnlicher Weise wie beim Abteufen von Schächten erfolgen. Die Röhren werden bis auf die Tiefe des Tunnels zu beiden Seiten des auszubrechenden Querschnittes versenkt. Die Kälteflüssigkeit wird im inneren Rohr in die Tiefe geleitet und kehrt dann in dem Raume zwischen dem äußeren und inneren Rohre, dem Boden die Wärme entziehend, nach oben zu den Kältemaschinen zurück, wo sie wieder auf das vorgesehene Maß abgekühlt wird.

Im Seinetunnel der Untergrundbahnlinie Nr. 4 in Paris wurde eine kurze Strecke, die hauptsächlich aus Schlamm, Sand und Mergel bestand, nach dieser Bauweise hergestellt. Die

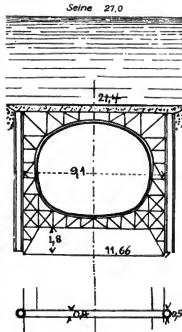


Abbildung 93.

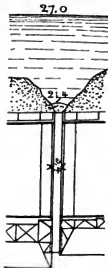


Abbildung 94.



Baustelle wurde mit Spundwänden gegen den Fluß abgeschlossen. Mittels 60 Röhren von etwa 15 m Länge, die von oben in Abständen von 1,2 m bis auf 1,0 m Tiefe unter die Flußsohle versenkt wurden, wurde die auf  $-25^{\circ}\text{C}$  abgekühlte Chlorkalziumlauge in das Gebirge zu beiden Seiten des Tunnels geleitet und die gewünschte Frostwirkung erreicht. Nach 40 Tagen war der Boden so weit gefroren, daß mit dem Vortrieb des Tunnels begonnen werden konnte.

Die Einführung von Kälteflüssigkeiten durch doppelwandige Röhren am Umfange des Tunnelquerschnittes, also parallel mit der Tunnelachse, bietet mehrfache Schwierigkeiten besonders für längere Strecken, da die Herstellung tiefer, etwa wagerechter Bohrlöcher, namentlich im ungleichartigen Boden mit großen Schwierigkeiten und Kosten verbunden ist. Die Röhren müssen dann stückweise eingesetzt und mit Pressen vorgetrieben werden.

Bei Ausführung eines städtischen Leitungstunnels in Paris hat man von diesem Verfahren Gebrauch gemacht, mußte es aber auf viel kürzere Länge beschränken, als anfänglich beabsichtigt war, da das Bohren sehr tiefer Löcher in ungefähr wagerechter Richtung im ungleichartigen Boden unverhältnismäßig große Schwierigkeiten bereitete.

Die Kälterohre kann man auch im Innern des herzustellenden Tunnels vortreiben und den auszubrechenden Körper unmittelbar zum Gefrieren bringen, wobei in kurzen Längen vorgegangen werden kann. Beim Vortrieb eines schildartigen Eisenrohres mit kleinen Abmessungen eines Richtstollens kann man die Kälterohre an den Innenwandungen des Stollenrohres verlegen, nachdem der Boden hieraus entfernt ist, und auf diese Weise den das Stollenrohr umgebenden Boden zum Gefrieren bringen, der das Nachschieben eines zweiten Eisenrohres mit größerem Durchmesser ermöglicht, in dem abermals Gefrierrohre verlegt werden können. Das Verfahren kann mehrfach wiederholt werden.

Bei Erbauung eines Versuchstunnels unter dem East River in Neuyork hat die Pennsylvania-Eisenbahngesellschaft folgendes Verfahren benützt: Zunächst wurde ein Richtstollen von 2,3 m Durchmesser mittels eines Schildes unter Verwendung von Preßluft auf etwa 50 m Länge vorgetrieben, durch ein Eisenrohr verkleidet und durch eine eiserne Brustwand abgeschlossen, sodann wurden am inneren Umfange des Schildrohres Kälterohre von etwa 8 cm Weite, die Chlorkalziumlauge von  $-37^{\circ}\text{C}$  führten, verlegt und durch Wasser, das sich in Eis verwandelte, an der Rohrwand festgehalten. In dem Gefrierraum wurde eine mittlere Temperatur von etwa  $-30^{\circ}\text{C}$  erreicht. Der Tunnelumfang wurde auf diese Weise auf etwa 2,3 m Tiefe in Eis verwandelt, so daß der Durchmesser des Frostzylinders 6,9 m betrug, worauf an die Erweiterungsarbeit gegangen wurde, die teilweise stufenförmig oder durch Gefrieren dünnerer Ringe durchgeführt wurde.

Ebenso wie bei den Schachtabteufungen wird man auch im Tunnelbau nur im äußersten Falle von dem Gefrierverfahren Gebrauch machen, da es besonders kostspielig, umständlich und langwierig ist.

# ARTILLERIETECHNIK

VON KARL BECKER

## EINLEITUNG

Der Einfluß der Technik auf die Kriegführung hat sich besonders in der zweiten Hälfte des Weltkrieges in einer Weise gesteigert, wie sie vor dem Kriege kaum erwartet werden konnte. Auch die Artillerietechnik und die verschiedenen mit ihr zusammenhängenden Gebiete haben eine bedeutende Entwicklung erfahren. Mit Stolz dürfen wir es selbst heute, nach dem unglücklichen Ausgang des großen Ringens, feststellen, daß gerade auf dem Gebiete der Artillerie Deutschland nicht nur schon vor dem Kriege führend gewesen ist, so besonders in seiner machtvollen schweren Artillerie, sondern daß es auch im Verlauf des Krieges trotz der gewaltigen Schwierigkeiten, die besonders die Rohstoffknappheit und der Zwang zur Verwendung minderwertiger Ersatzstoffe bereitet haben, auf vielen Zweigen der artilleristischen Bewaffnung die Führung dauernd behalten hat. Dabei hat die Forderung einer intensiven Entwicklung der Waffentechnik an die Wissenschaft und die bürgerliche allgemeine Technik viele interessante Probleme gestellt. Beide Gebiete, das allgemeine und das spezielle militärische, haben außerordentlich befruchtend aufeinander eingewirkt. Daran wird auch künftighin, selbst wenn sich die politische Entwicklung wirklich in Richtung des allgemeinen und dauernden Völkerfriedens bewegen sollte, sich nicht allzuviel ändern. Denn einmal wurzelt gerade durch den Weltkrieg das Interesse an den mannigfachen Fragen der Artillerietechnik in der großen Zahl der als Offiziere des Beurlaubtenstandes verwandten Wissenschaftler und Techniker sehr tief. Endlich wird auch eine ausgesprochen pazifistische Entwicklung der Menschheit die Verwendung wenigstens von Jagdwaffen und Faustfeuerwaffen nicht hemmen.

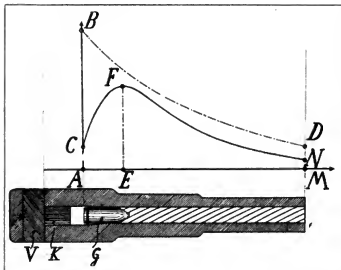
Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollen zunächst die Zusammenhänge, wie sie zwischen Mathematik und Physik auf der einen, der Artillerietechnik auf der anderen Seite bestehen, in großen Zügen betrachtet werden. Demnächst soll dann ein kurzer Überblick über das Artilleriematerial und den Schießbedarf gegeben werden.

Die Zusammenhänge zwischen der Artillerietechnik und der Mathematik und Physik werden vor allem in der Ballistik entwickelt, die sich mit den Bewegungserscheinungen des Geschosses innerhalb des Rohres und mit den Bewegungserscheinungen der Waffe auf der einen Seite (innere Ballistik), mit der Geschosßbewegung außerhalb der Waffe (äußere Ballistik) auf der anderen Seite befaßt.

## A. INNERE BALLISTIK

### 1. DIE PHYSIKALISCHEN VORGÄNGE BEIM SCHUSS.

Die zur Erreichung der erforderlichen Schußweiten nötigen Anfangsgeschwindigkeiten der Artilleriegeschosse liegen heute zwischen rund 60 m/sek. (Minenwerfer) als unterer, etwa 1500 m/sek. (Pariskanone) als oberer Grenze. Zur Erreichung besonders der hohen Geschwindigkeiten sind ganz bedeutende Druckkräfte erforderlich.



Abbild. 1. Adiabatischer und tatsächlicher Verlauf der Gasdruckkurve im Rohr.

Nimmt man an, die Mündungsenergie wäre dem Geschöß durch eine konstant bleibende Kraft erteilt worden, so erhält man die Größe dieser Kraft zu rund 48 t; das sind rund 1000 kg/qcm. Da sich die Dauer der Einwirkung dieser als gleichbleibend angenommenen Kraft zu 0,01 Sekunden errechnet, kommt man zu einer Leistung von 140000 P.S. Bei der 15-cm-Kanone 16, dem Hauptflachfeuergeschöß unserer beweglichen schweren Artillerie, ergibt sich in entsprechender Weise eine mittlere Druckkraft von 1800 kg/qcm und eine Leistung von über 1½ Mill. P.S. Und bei den schweren und schwersten Flachfeuergeschößten steigen die Leistungen noch erheblich höher.

Es ist einleuchtend, daß derartige bedeutende Leistungen sich mit den bekannten Mitteln der allgemeinen Technik, wie Dampf, Druckluft, Druckwasser, Gasgemischen, elektro-magnetischen Wirkungen, mit der Zentrifugalkraft und dergleichen nicht erreichen lassen, besonders wenn man gleichzeitig an der artilleristisch unerläßlichen Forderung einer einfachen feldbrauchbaren Erzeugung der erforderlichen Kraft festhält. Den hohen Anforderungen genügten vielmehr bis heute ausschließlich nur die Treibmittel (Schießpulver, vgl. Abschnitt D, 1), die in fester Form hinter dem Geschöß in das Rohr eingeführt (K, Abbildung 1) und durch eine besondere „Initialzündung“ zum momentanen Übergang in den gasförmigen Zustand gebracht werden.

Abbildung 1 zeigt im unteren Teil schematisch die Lage des geladenen Geschosses G im Rohr. Der Führungsring (schwarz gezeichnet) liegt an der Übergangsstelle von der glatten Innenwandung des Rohres zum gezogenen Teil, am „Übergangskonus“, an. Hinter dem Geschöß liegt die Treibladung in der Kartusche K, die den „anfänglichen Verbrennungsraum“, das heißt den Hohlraum zwischen dem Verschlußkeil V und dem Boden des angesetzten Geschosses, mehr oder minder vollständig ausfüllt.

Die Eingangszündung entflammt die ihr zunächst liegenden Pulverteichen der Kar-

Am Beispiel der Feldkanone 16 sei gezeigt, wie die Größe der durchschnittlichen Druckkraft in überschlüssiger Weise berechnet werden kann. Aus diesem Geschöß erreicht das 7,12 kg schwere Geschöß mit der großen Ladung eine Anfangsgeschwindigkeit von 547 m/sek., es besitzt demnach an Mündung eine lebendige Kraft von 105 mt (Mündungsenergie). Die Länge des gezogenen Teils, das ist der Weg, auf dem die Treibkräfte auf das Geschöß einwirken, beträgt 2,18 m.

tusche K an der Oberfläche; die Entzündung pflanzt sich in kürzester Zeit über die ganze Ladung fort; die Pulverteilchen (Körner, Würfel, Blättchen, Röhren, Ringe, Streifen) brennen von ihrer Oberfläche aus nach innen zusammen. Mit der fortschreitenden Verbrennung entwickelt sich mehr und mehr Gas, das ein durch die hohe Verbrennungstemperatur noch vermehrtes Ausdehnungsbestreben besitzt.

Offenbar würde man den höchsten Wert des durch die Zersetzung der Ladung entwickelten Drucks und der Temperatur in dem (nur angenommenen) Falle erreichen, daß das Geschöß G in seiner Anfangslage bis zur völlig beendeten Verbrennung des Pulvers festgehalten würde und daß ferner Rohrwand, Geschößkern und Verschluskeil für die entwickelte Wärme vollkommen undurchlässig wären (*ἀδιαβαίνου*, nicht hindurchgehen). Nimmt man (siehe obere Hälfte der Abbildung 1) als Abszisse eines rechtwinkligen Koordinatensystems den Weg des Geschößbodens im Rohr in m, als Ordinate den Druck in kg, so stellt die Ordinate A-B den im angenommenen Falle erreichten Höchstdruck dar. Würde nun nach beendeter Verbrennung das Geschöß sich mit ganz geringer Geschwindigkeit nach der Mündung zu bewegen, so würde während dieser Bewegung der Druck in der Kurve B-D abfallen; der Verlauf dieser Kurve entspräche dabei der Adiabate, wie sie z. B. das ideale Indikatordiagramm einer Gaskraftmaschine zeigt. Die Fläche A-B-D-M stellt die gesamte, in diesem Falle auf das Geschöß übertragene Arbeit dar.

In Wirklichkeit verläuft der innerballistische Vorgang indessen wesentlich anders. Schon ein verhältnismäßig geringer Druck (nach den bisher vorliegenden Messungen höchstens einige 100 kg/qcm) preßt das Geschöß mit seinen Führungsteilen (Mantel bei Infanteriegeschossen, Führungsring bei Artilleriegeschossen) in den gezogenen Teil des Rohres ein; die Geschößbewegung im Rohr beginnt. Dadurch vergrößert sich der den Gasen hinter dem Geschößboden zur Verfügung stehende Raum. Dies würde an sich einen sofortigen Abfall der Gasspannung bedingen, wenn nicht die intensiv fortschreitende Verbrennung einen Ausgleich herbeiführen würde. Der Gasdruck wächst daher noch bis zu dem Augenblick, wo die neu entwickelten Gas-mengen den durch die Vergrößerung des Verbrennungsraums verursachten Spannungsabfall gerade noch ausgleichen. In diesem Zeitpunkt ist der höchste Gasdruck (E-F, Abbildung 1) erreicht. Der höchste Gasdruck liegt demnach in Wirklichkeit erheblich tiefer als im Falle der adiabatischen Ausdehnung ( $E-F < A-B$ ). Vom Augenblick des Höchstdrucks an sinkt der Gasdruck, und zwar unter dem Einfluß der immer noch andauernden Pulververbrennung zuerst langsam, später rascher, um beim Austritt des Geschößbodens aus der Mündung den Betrag M-N, den Mündungsgasdruck, zu erreichen.

Aus Abbildung 1 ist ersichtlich, daß die tatsächliche Arbeitsfläche A-C-F-N-M erheblich kleiner ist als die adiabatische A-B-D-M.

Unter dem Einfluß der auf- und abschwelenden Druckkräfte eilt das Geschöß mit einer anfangs sehr stark, später langsamer anwachsenden Geschwindigkeit durch das Rohr, das es mit der Mündungsgeschwindigkeit verläßt. Während der Bewegung im Rohr erhält das Geschöß gleichzeitig durch das Einschneiden der (schraubengewindeartig um die Seelenwand laufenden) Felder in das Führungsmaterial eine Drehung um seine Längsachse, die es außerhalb der Waffe nahezu beibehält.

Beim Austritt des Geschosses aus der Mündung werden die Pulvergase augenblicklich von einigen hundert Atmosphären auf eine Atmosphäre entspannt. Dieser plötzliche Stoß auf die äußere Luft verursacht den Waffenknall, der wohl zu unterscheiden ist von dem später zu besprechenden Geschößknall. Zunächst besitzen

die hinter dem Geschöß aus der Mündung ausströmenden Gase eine größere Geschwindigkeit als das Geschöß. Sie verleihen ihm daher unter Umständen noch außerhalb der Waffe einen Zuwachs an Geschwindigkeit, der allerdings den Betrag von 10 bis 20 m/sek. kaum überschreitet.

2. DER HÖCHSTGASDRUCK UND DER DRUCKVERLAUF. Die Höchstgasdrücke, die man im Waffenbau allgemein noch in alten Atmosphären (1,033 kg/qcm) ausdrückt, liegen bei unseren Minenwerfern etwa um 1000 Atmosphären; sie steigen bei den Haubitzen und Mörsern bis rund 2000 Atmosphären; bei unseren Kanonen bewegen sie sich in der Regel je nach den Leistungen zwischen 2000 und 3500 Atmosphären. Es sind dies Drücke, wie sie mit keiner anderen Kraftmaschine erreicht werden. Die Mündungsgasdrücke liegen in der Regel zwischen 200 und 500 Atmosphären.

Die Kenntnis des höchsten Gasdrucks und Druckverlaufs in der Waffe ist für den Bau von Waffe und Geschöß von besonderer Bedeutung. Man hat daher seit langem versucht, theoretische Entwicklungen für die Berechnung der innerballistischen Größen aus den chemischen und physikalischen Eigenschaften der Pulversorte sowie aus Ladungs- und Geschößgewicht und den aus den konstruktiven Verhältnissen der Waffe zu geben. Trotz vieler recht beachtenswerter Ansätze in dieser Hinsicht kann indessen die Lösung des innerballistischen Problems noch nicht endgültig als gelungen gelten. Noch ist dies reine Experiment zur Ermittlung der Bewegung des Geschößes und der Druckverhältnisse im Rohre der Rechnung vorzuziehen.

Die experimentelle Ermittlung des Höchstgasdrucks erfolgt zurzeit fast ausschließlich unter Benützung des aus dem Nobelschen Stauchapparat entwickelten Meßeies. (Abbildung 2.) In dem Hohlraum des stählernen Körpers K des Meßeies sitzt der „Stauchkörper“ Cu (in der Regel aus Kupfer), der durch einen Gummiring G in zentraler Lage gehalten wird. Das Meßei ist oben durch eine Verschlussschraube V abgeschlossen. In einer zylindrischen Durchbohrung der Verschlussschraube bewegt sich der saugend eingeschliffene Druckstempel S, der auf dem Stauchkörper aufsitzt. Das in dieser Weise zurechtgemachte Meßei wird am Boden der Kartusche in die Ladung eingeführt, so daß die Durchbohrung der Verschlussschraube nach der Mündung zu zeigt. Beim Schuß drücken die Pulvergase durch den Stempel S den Stauchkörper Cu zusammen. Das Maß dieser Zusammendrückung, die „Stauchung“, dient als Maß für den Gasdruck. Man setzt ihn in Vergleich mit dem statischen Druck, der die gleiche Zusammendrückung des Kupferzylinders hervorruft. In diesem Vergleich liegt der wunde Punkt der Gasdruckmessung mittels Stauchkörpers; denn es ist klar, daß die dynamischen Einwirkungen der Pulvergase auf den Stauchkörper anders geartet sind als die bei der „Eichung“ der Stauchkörper angewandten statischen Drücke. Tatsächlich ergeben sich denn auch zwischen den mittels Stauchapparats ermittelten höchsten Gasdrücken und den auf anderem Wege (siehe weiter unten) gemessenen oft Unterschiede von mehreren hundert Atmosphären. Die neuerdings mehrfach angewandte Eichung der Stauchkörper durch Schlag unter einem Fallhammer scheint die Verhältnisse beim Schuß etwas besser wiederzugeben.

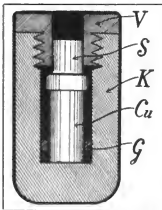


Abbildung 2.

Meßei.

Bei Gewehren und vereinzelt auch noch bei Ge-

schützen wird der Stauchapparat in die seitlich angebohrte Waffe fest eingebaut. — Schwieriger noch als die Messung des höchsten Gasdrucks ist die Festlegung des zeitlichen und örtlichen Verlaufs der Drücke im Rohr, den der Waffenbauer zur Bemessung der Wandstärke an den verschiedenen Stellen braucht. Die hohen Drücke, die in sehr kurzen Zeiten stoßweise auftreten und schnell wechseln, haben bis jetzt trotz zahlreicher Vorschläge sich nicht unmittelbar auf verlässliche Weise registrieren lassen. Dagegen kann ihre mittelbare Festlegung durch den Rohrrücklaufmesser als recht glücklich gelöst angesehen werden. Mit diesem von Sebert nach mancherlei Vorläufern konstruierten Apparat wird der zeitliche Verlauf des Rückgangs der möglichst reibungslos in Schlittenführungen gelagerten Waffe beim Schuß bestimmt. Aus der so erhaltenen „Weg-Zeitkurve“ leitet man durch erste Differentiation nach der Zeit die Geschwindigkeits-Zeitkurve, durch nochmalige Differentiation nach der Zeit die Beschleunigungs-Zeitkurve ab. Durch Multiplikation der jeweiligen Beschleunigung mit der rücklaufenden Masse erhält man die beschleunigende Kraft in dem betreffenden Zeiteilchen. Durch Anwendung des Satzes von der Erhaltung des Schwerpunktes findet man aus den entsprechenden Größen für das zurücklaufende Rohr den Geschößweg, die Geschößgeschwindigkeit und die auf den Geschößboden wirkende beschleunigende Kraft in Funktion der Zeit (vgl. auch Abschnitt A, 4a). Diese beschleunigende Kraft setzt man dann unter bewußter Vernachlässigung der ziffernmäßig unbekanntenen Bewegungswiderstände gleich der jeweiligen gesamten Druckkraft. Ein Teil des Unterschieds, den man bei Messung des höchsten Gasdrucks einerseits mit dem Stauchapparat, andererseits mit dem Rücklaufmesser erhält, erklärt sich mithin aus dem Umstand, daß es sich einmal um die höchste, stoßweise wirkende Druckkraft, das andere Mal um die größte beschleunigende Kraft handelt.

Die zeitliche Registrierung der Rücklaufwege erfolgt entweder durch die Aufzeichnung von Stimmgabelschwingungen oder durch die Bewegung einer mit dem Rohr zurückgehenden Schreibfeder auf berußter rotierender Trommel oder endlich dadurch, daß von der rücklaufenden Waffe ein Spiegelchen gedreht wird und ein von diesem reflektierter Lichtstrahl auf eine mit lichtempfindlichem Papier bespannte rotierende Trommel fällt. Diese Art der Aufzeichnung der Rücklaufwege hat sich vor den beiden erstgenannten besonders bewährt.

3. DIE VERBRENNUNGSTEMPERATUR. Für den Waffenbauer sind außer dem Höchstdruck und dem Druckverlauf noch die während der Pulververbrennung im Rohr zustande kommenden Temperaturen von Wichtigkeit. Denn die hohen Wärmegrade, die man — nach kalorimetrischen Versuche in der Bombe — zwischen 2000 und 3000° C. annehmen muß, sind die wesentlichste Ursache der „Ausbrennungen“, jener eigenartigen Zerstörungen des Gefüges der inneren Seelenwandung, durch die Lebensdauer und Leistung gerade der weittragenden Flachfeuergeschütze in kürzester Zeit beeinträchtigt werden. So sind gewisse schwere Flachfeuergeschütze schon nach weniger als 100 Schuß als unbrauchbar zu bezeichnen.

Die unmittelbare Messung der höchsten, in der Waffe beim Schuß auftretenden Temperatur und des gesamten Temperaturverlaufs ist bis heute noch nicht gelungen. Das in kürzester Zeit erfolgende Auftreten und Wiederverschwinden dieser Temperaturen sowie die sehr hohen Wärmegrade erschweren die experimentelle Ermittlung sehr. Man ist daher darauf angewiesen, die Verbrennungswärme kalorimetrisch in der Versuchsbombe zu messen, ganz analog wie man den Heizwert eines Brennstoffes feststellt, und aus dieser Verbrennungswärme rechnerisch unter gewissen vereinfachenden Annahmen nach den Gesetzen der mechanischen Wärmetheorie die

gewünschten Angaben über den Temperaturverlauf in der Waffe, mithin auch die höchste Temperatur zu errechnen.

4. DIE BEWEGUNGSERSCHEINUNGEN DER WAFFE. a) Rückstoß und Rücklauf. Beim Schuß erfährt das Rohr eine Bewegung nach rückwärts. Macht man die (nicht ganz zutreffende) Annahme, daß der gesamte Pulverdruck in jedem einzelnen Zeiteilchen des Schußvorgangs in gleicher Größe auf den Geschosßboden (Geschosßgewicht  $G$ ) und auf den rückwärtigen Abschluß des Rohrs (Rohrgewicht  $R$ ) wirkt, so läßt sich aus dem dynamischen Grundgesetz ableiten, daß bei frei zurücklaufendem Rohr die bezüglichen Beschleunigungen und Geschwindigkeiten von Geschosß und Rohr sich umgekehrt wie die Massen von Geschosß und Rohr verhalten. Insbesondere ergibt sich, wenn man die Mündungsgeschwindigkeit mit  $V_0$ , die Geschwindigkeit des Rohrs zu der Zeit, wo das Geschosß die Mündung verläßt, mit  $V_r$  bezeichnet:

$$V_r = V_0 \cdot \frac{G}{R}$$

So beträgt z. B. bei unserem alten Feldgeschüsß 96 die Mündungsgeschwindigkeit  $V_0 = 465$  m/sek., das Geschosßgewicht 7,12 kg, das Gewicht des Rohrs mit Verschlusß 390 kg. Mithin würde das beim Schuß frei und reibungslos zurücklaufende Rohr im Augenblick des Geschosßaustritts aus der Mündung die Geschwindigkeit  $V_r = 8,5$  m/sek. besitzen. Zwischen der lebendigen Kraft des Geschosses an der Mündung  $E_g$  und der lebendigen Kraft des Rohres  $E_R$  besteht die angenäherte Beziehung:

$$E_r = E_g \cdot \frac{G}{R}$$

Im vorliegenden Beispiel der F. K. 96 ergibt sich die lebendige Kraft des Rücklaufs des Rohres zu 1,4 Meter-tonnen.

Tatsächlich ist nun die Annahme des vollkommenen freien und reibungslosen Rücklaufs des Rohrs beim Schuß nicht erfüllt. Der Rückstoß wird vielmehr je nach Konstruktion in verschiedener Weise aufgenommen und aufgezehrt. So z. B. bei unserem Gewehr 98 die rund 2 m/kg betragende Energie des Rückstoßes durch das elastische Nachgeben des Oberkörpers des Schützen. Bei Geschüsßen mit „starrer“ Lafettierung überträgt sich unter der Voraussetzung, daß das Rohr ohne Spielraum mit seinen Schildzapfen in der Lafette eingelagert ist, der Druck der Pulvergase auf das gesamte rücklaufende System (Rohr und Lafette). Da sich in diesem Falle z. B. für die F. K. 96 ein Gewicht der rücklaufenden Massen von 925 kg ergibt, erhält man eine Rücklaufenergie des frei zurücklaufenden, starr lafettierten Geschüsßes von 0,6 m/kg. Mit dem Kaliber wachsen die Beträge der Rücklaufenergien ganz beträchtlich.

Beim praktischen Schießen ist man nun nicht in der Lage, das Geschüsß frei nach rückwärts auslaufen zu lassen. Durch das jedesmalige Wiedervorbringen und Neueinrichten des Geschüsßes würde eine erhebliche Verminderung der Feuergeschwindigkeit und eine schnelle Ermüdung der Bedienung verursacht werden. Man hat daher besondere Hemmungen des Rücklaufs vorgesehen.

Die einfachste dieser Hemmungen ist die Anbringung eines Sporns an der Unterseite des Lafettenschwanzes, der sich beim Schuß in der Erde festschießt und so dem Rücklauf des Geschüsßes Widerstand entgegenseßt. Abbildung 3 zeigt schematisch eine starre Lafette  $L$  mit Sporn  $S$ . Nimmt man eine vollkommen starre Verbindung des Rohres  $R$  und der Lafette  $L$  an, so kann man von allen inneren Kräften absehen, wie sie beim Schuß unter anderem zwischen Rohr und Lafette im Schildzapfenlager, an der Richtmaschine auftreten. Läßt man auch die Auflagerreaktionen an den Rädern, am Lafettenschwanz und am Sporn sowie die Reibungswiderstände

als für die vorliegende Betrachtung unwesentlich außer Betracht, so erhält man das in Abbildung 3 gezeichnete Kräftespiel. Im gemeinsamen Schwerpunkt von Rohr und Lafette greift das Gesamtgewicht  $Q$  des Geschütes an; in Richtung der zunächst horizontal gedachten Seelenachse (horizontaler Schuß) wirkt der Druck der Pulvergase  $P$ . Nach bekanntem Gesetz der

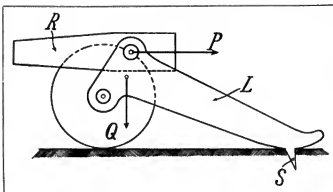


Abbildung 3. Kräftespiel an einer starren Lafette mit Sporn.

Mechanik läßt sich die Kraft  $P$  parallel zu ihrer Richtung in den Schwerpunkt des gesamten Systems verlegen unter Hinzufügung eines Kräftepaars. Dieses wirkt auf eine Drehung des Systems um den Sporn, also auf ein Abgeben der Räder vom Boden hin. Ob dieses Springen oder Bucken des Geschütes tatsächlich eintritt, hängt von der Größe der auftretenden Kräfte und Kräftepaare ab. Steht das Rohr nicht, wie in Abbildung 3 gezeichnet, wagerecht, sondern unter einem Winkel  $\alpha$  (dem Erhöhungswinkel) zur Wagerechten, so wirkt nur eine Kraft ( $P \cdot \cos \alpha$ ) auf das Bucken des Geschütes hin. Es ist klar, daß mit der starren Verbindung zwischen Rohr und Lafette und der Hemmung des Rücklaufs durch einen starren Sporn eine erhebliche Beanspruchung des Geschütes verbunden ist und das Bucken ein jedesmaliges Wiedereinrichten des Geschütes nach dem Abfeuern erforderlich macht. Man hat daher schon sehr frühzeitig versucht, den Rückstoß nicht mehr durch starre Widerlager, sondern elastisch aufzufangen. Eine erste Etappe auf diesem Wege stellen, wenn man von dem nicht bewährten Federsporn absieht, die sogenannten hydraulischen Rücklaufbremsen dar. Unter der Achse des Geschütes ist ein Bremszylinder in geeigneter Weise im Boden fest verankert. Im Bremszylinder bewegt sich ein Kolben mit Kolbenstange; diese ist mit dem Lafettenschwanz verbunden und vor dem Schuß nahezu ganz in den Bremszylinder eingeschoben. Beim Schuß wird die Kolbenstange durch den zurückgehenden Lafettenschwanz aus dem Bremszylinder herausgezogen; der mit der Stange zurückgehende Kolben verdrängt die Bremsflüssigkeit (Glycerin und dergleichen), die durch Rillen im Kolben oder der Innenwandung des Bremszylinders nach vorne tritt. Auf diese Art wird ein erheblicher Teil der Rückstoßarbeit aufgezehrt. Zugleich laufen die Räder beim Schuß auf Keilen in die Höhe (Hemmkeile, Vorlaufkeile) und auf diesen nach beendetem Rücklauf wieder vor. Ein großer Teil unserer älteren Festungs- und Belagerungsgeschüte hat Rücklaufhemmungen der angedeuteten Art.

Ein etwas anderer Weg der Aufzehrung der Rücklaufenergie ist in den sogenannten Rahmenlafetten besprochen. Das Schema einer derartigen Lafette gibt Abbildung 4.

Das Rohr  $R$  liegt zunächst in einer Oberlafette  $O$ . Diese kann auf einer nach rückwärts ansteigenden Gleitbahn der Unterlafette (des Rahmens)  $R'$  zurückgleiten. Die zur Gleitbahn parallele Komponente des Pulverdrucks  $P$  verursacht eine Rückwärtsbewegung des beweglichen Systems (Rohr und Oberlafette), sein Schwerpunkt



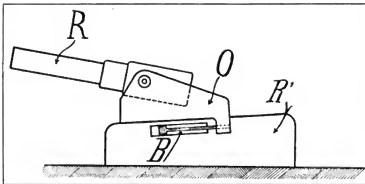


Abbildung 4.

Rahmenlafette.

wird gehoben. Dadurch und durch die Reibung der Oberlafette auf der Gleitbahn wird Rücklaufenergie aufgezehrt. Ohne weitere Hemmungseinrichtungen hätte man aber beträchtliche Längen des Rahmens nötig. Man hat daher in

der Regel die Oberlafette O noch mit der Kolbenstange einer Flüssigkeitsbremse B verbunden, die den Hauptanteil an der Hemmung des Rücklaufs übernimmt. Derartige Rahmenlafetten finden sich in der Schiffs-, Küsten- und Festungsartillerie, namentlich bei älteren Modellen.

Bei den Verschwindlafetten (Abbildung 5) ist das Rohr, in den Punkten A und B drehbar, an zwei Schwingen befestigt. Die vordere Schwinge hat einen zweiten, festen Drehpunkt C und trägt am unteren, kürzeren Hebelarm ein Gegengewicht Q. Der zweite, untere Drehpunkt D der rückwärtigen Schwinge ist verstellbar, wodurch dem Rohr die gewünschte Erhöhung erteilt werden kann. Zum Abfeuern befindet sich das Rohr in der oberen (stark gezeichneten) Lage. Beim Schuß bewegt sich das Rohr durch

Drehung um die beiden Schwingen zur punktiert gezeichneten Lage, das Gegengewicht Q wird zur Lage Q' gehoben. In seiner tiefsten Stellung wird das Rohr durch besondere Sperrvorrichtungen festgehalten. Erst unmittelbar vor dem nächsten Schuß wird es wieder zur oberen Lage gehoben. — Die Verschwindlafetten werden beim Schuß in

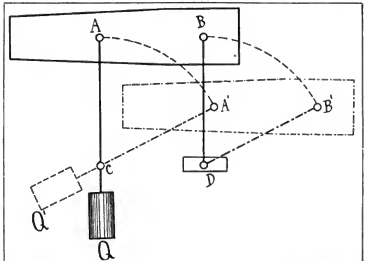


Abbildung 5.

Verschwindlafette.

allen Teilen, besonders aber in der vorderen Schwingung sehr stark beansprucht. Störungen und Beschädigungen sind daher sehr häufig. Seitdem ihr Hauptzweck, Deckung des Geschütes wenigstens zum Laden und Richten, in besserer Weise durch die vervollkommeneten Hilfsmittel des mittelbaren Richtens erfüllt wird, hat man diese Konstruktion fast ganz verlassen.

In vollkommenster Weise wird die Aufzehrung der Rücklaufenergie bei den neueren Rohrrücklaufgeschüten erreicht. Während bei den früher besprochenen starren Lafetten mit Rücklaufbremsen auf der Bettung und bei den Rahmenlafetten die Richtung der Seelenachse und damit des Pulverdrucks zur stets gleichbleibenden Brems- und Rücklaufichtung sich je nach der Erhöhung des Rohres ändert, läuft beim modernen Rohrrücklaufgeschü das Rohr stets in seiner Achsenrichtung zurück, gleichgültig welche Erhöhung es hat. In dieser Anordnung liegt das Kennzeichnende der im modernen Rohrrücklaufgeschü gebrachten Neuerung. Eine besondere Oberlafette, die starr mit dem Rohr verbunden zurückläuft, wird mithin entbehrlich. Das Rohr gleitet entweder allein in einer es umschließenden zylindrischen Führung zurück — erst an dieser Führung sind diejenigen Konstruktionsteile angebracht, die die Verbindung mit der eigentlichen Lafette (Unterlafette) herstellen und das Nehmen der Richtung gestatten —, oder aber, und diese Anordnung ist die bei weitem gebräuchlichere, es umfaßt mittels besonderer Gleitschuhe eine ebene Führung, die Wiege, auf der das Zurückgleiten des Rohres erfolgt. Zwischen Rohr und Wiege ist eine Flüssigkeitsbremse eingeschaltet. In dieser wird ein Teil der Rücklaufenergie, der dem Produkt Bremswiderstand mal Bremsweg entspricht, abgebremst und in Wärme umgewandelt. Die Wiege selbst ist durch Schildzapfen und die erforderlichen Richteinrichtungen mit der Unterlafette verbunden.

Bei dieser Art des Rohrrücklaufs sind besondere Anordnungen zum Vorbringen des Rohres erforderlich. Hierzu verwendet man vereinzelt bei schweren, ortsfesten Geschüten den aus einem Flüssigkeitsakkumulator gewonnenen hydraulischen Druck. Im übrigen erfolgt das Vorbringen des Rohres fast ausschließlich durch einen selbsttätigen, mit Wiege und Rohr verbundenen Vorholer. Man unterscheidet hierbei wieder um zwei Hauptsysteme, den Federvorholer und den Luftvorholer.

Abbildung 6 zeigt schematisch den Rohrrücklauf mit Federvorholer. Unterhalb des Rohres R ist der Brennzylinder B mit der Wiege fest verbunden. Die Kolbenstange K, die mit dem Rohr gekuppelt ist, tritt beim Schuß aus dem Kolben heraus, der Kopf der Kolbenstange drückt die hinter ihm liegende Federsäule zusammen. Die im Brennzylinder befindliche Bremsflüssigkeit (meist Glycerin) tritt durch Öffnungen im Kolbenkopf oder durch Nuten, die sich in der Innenwand des Brennzylinders

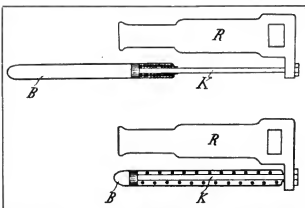


Abbildung 6. Rohrrücklaufgeschü mit Federvorholer.

befinden, oder durch entsprechende Aussparungen am Kolbenkopf nach vorne. Ist die Rücklaufenergie aufgezehrt, so dehnt sich die zusammengedrückte Federsäule (unterer Teil der Abbildung 6) wieder aus und führt das Rohr mittels der Kolbenstange wieder in die Ruhelage vorm Schuß zurück. Die Flüssigkeit wird durch den Kolbenkopf wieder nach hinten verdrängt.

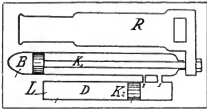


Abbildung 7. Rohrrücklaufgeschüß mit Luftvorholer.

Die Anordnung einer Rücklaufbremse mit Luftvorholer zeigt schematisch Abbildung 7. Unter dem Flüssigkeitszylinder B liegt ein zweiter Zylinder L (der Luftzylinder). Dieser ist durch zwei Öffnungen 1 und 2 mit dem Flüssigkeitszylinder verbunden. Im Luftzylinder liegt der Kolben  $K_2$ , der die im vorderen Teil befindliche Druckluft D von der im rückwärtigen Teil befindlichen Bremsflüssigkeit trennt. Beim Schuß geht die Kolbenstange  $K_1$  wiederum mit dem Rohr zurück; die Bremsflüssigkeit wird durch die Öffnung 1 nach dem unteren Zylinder gedrängt und drückt den Kolben  $K_2$  nach vorn; dieser preßt die vor ihm befindliche Druckluft noch weiter zusammen. Die Öffnung 2 ist bei diesem Bewegungsvorgang durch ein Rückschlagventil geschlossen. Ist die Rücklaufenergie aufgezehrt, so dehnt sich die Druckluft D wieder aus und drückt den Kolben  $K_2$  zurück. Dieser verdrängt die Bremsflüssigkeit wieder in den oberen Zylinder, wo sie durch Druck auf den Kopf der Kolbenstange  $K_1$  den Vorlauf des Rohres bewirkt. Beim Vorlauf ist nunmehr die Öffnung 1 durch ein Rückschlagventil geschlossen. Die Anwendung zweier Verbindungen (1 und 2) zwischen beiden Zylindern gestattet, durch Wahl verschiedener Querschnitte Rücklauf und Vorlauf zu regeln. Im Ruhezustand ist die Luft im unteren Zylinder wenigstens auf einen solchen Druck vorgespannt, daß auch bei größter Erhöhung des Rohres dieses nicht durch sein Eigengewicht (vermehrt um das Gewicht des Geschosses, der Ladung und der Kolbenstange) nach unten sinkt.

Im Rahmen vorstehender Abhandlung konnten Rücklaufbremse mit Federvorholer und Rücklaufbremse mit Luftvorholer nur schematisch angedeutet werden. Auf die mannigfachen Abweichungen von der Grundauführung, wie sie sich z. B. durch Anwendung mehrerer Zylinder, durch veränderte Lagerung der Zylinder, durch einen mit der Erhöhung veränderlichen Durchflußquerschnitt für die Bremsflüssigkeit (veränderlicher Rohrrücklauf) u. a. m. ergeben, kann hier nicht näher eingegangen werden.

Die wesentlichen Vorteile eines richtig aufgebauten Rohrrücklaufgeschüßes beruhen darin, daß es im Feuer fast vollkommen ruhig steht, sobald der auch bei ihm vorhandene starre Sporn sich erst im Boden festgeschossen hat. Ein Nachrichten ist daher nach dem Schuß gar nicht oder nur in geringem Maße erforderlich, was die Feuergeschwindigkeit erhöht. Die Bedienung, insbesondere Verschußwart und Richtkanonier können dauernd, auch beim Abschuß, auf den Lafettensitzen verbleiben; die volle Ausnutzung des Schildechusses wird erst dadurch ermöglicht. Der Rohrrücklauf gestattet, daß der Richtkanonier dauernd in Tätigkeit bleibt, was vor allem gegen bewegliche Ziele (Schiffe, Flugzeuge, Tanks) von Wichtigkeit ist. Die Bedienung wird vereinfacht und erheblich erleichtert.

Eine besondere Erwähnung verdienen noch die Rohrvorlaufgeschüße. Während beim Rohrrücklaufgeschüß das Rohr sich vorm Schuß in der Ruhelage in seiner vordersten Stellung befindet und Federn oder Druckluft sich im Zustand geringster

Spannung befinden, ist beim Rohrvorlaufgeschütze das Rohr unmittelbar vorm Abschuß vollkommen zurückgezogen und in dieser Lage, entgegen der Spannung der völlig zusammengedrückten Federn, durch eine besondere Sperrvorrichtung festgehalten. Zum Abschuß wird diese Sperrung ausgelöst, worauf die zusammengedrückten Vorhofedern sich ausdehnen können und das Rohr mit zunehmender Geschwindigkeit nach vorn treiben. Durch eine besondere Vorrichtung, etwa einen Anschlag an der Wiege, wird, kurz bevor das Rohr seine vorderste Stellung erreichen würde, der Schuß automatisch gelöst. Die auf das Rohr einwirkende Rückstoßkraft hat nunmehr zuerst die erhebliche Vorlaufenergie des Rohres aufzuzehren, ehe sie das Rohr nach rückwärts treiben kann. Das Rohr erhält daher eine viel geringere maximale Rücklaufgeschwindigkeit als beim Rohrrücklaufgeschütze, die erforderliche Bremskraft wird kleiner, die Beanspruchung von Bremse und Lafette geringer. Man kommt deshalb beim Rohrvorlaufgeschütze mit geringeren Gewichten aus oder kann für ein gegebenes Geschützwicht gegenüber dem Rohrrücklaufgeschütze die Leistungen steigern. In der Praxis haben sich, von einzelnen Ausnahmen (z. B. dem Typ eines französischen Gebirgsgeschützes) abgesehen, die Rohrvorlaufgeschütze nicht bewährt. Denn die erwähnten Vorteile kommen nur zur Geltung, wenn die Abfeuerung unter allen Umständen einwandfrei und rechtzeitig wirkt. Tritt ein Versager ein, so schlägt das Rohr heftig am vorderen Anschlag an und kommt unter Umständen stark aus der Richtung. Tritt kein vollkommenes Versagen der Abfeuerung, sondern nur eine verspätete Entzündung, etwa durch sogenannte Nachflammer, ein, so kommt die Rücklaufenergie voll zur Geltung; will man auch für diesen Fall die Bremse stark genug machen, so geht man des Vorteils der Gewichtsverminderung wieder verlustig. In der Praxis haben auch die Rohrvorlaufgeschütze bei zahlreichen Beschüssen erheblich schlechtere Trefffähigkeit als die Rohrrücklaufgeschütze gezeigt.

b) Der Drall und die Drehung des Rohres als Gegenwirkung gegen den Drall. Aus Gründen, die im Abschnitt über äußere Ballistik noch näher erläutert werden sollen, muß man unseren Langgeschossen eine Drehung um ihre Längsachse geben. Zu diesem Zweck sind in die Innenwandung der Waffe schraubengewindeartige Vertiefungen (Züge) eingeschnitten, die meist im Sinne des Uhrzeigers, vom Bodenstück der Waffe aus betrachtet, verlaufen. Die erhabenen Teile zwischen den Zügen heißen „Felder“. Man nennt diese Anordnung den „Drall“ der Waffe. Ist die Steigung des Schraubengewindes eine gleichmäßige, so spricht man vom gleichbleibenden Drall; die Ganghöhe der Schraube, vom Waffenkonstrukteur „Drallänge“ genannt, bleibt vom Beginn der Züge bis zur Mündung konstant. Denkt man sich ein Rohr entlang einer Mantellinie aufgeschnitten und in die Ebene ausgebreitet und verfolgt man dabei den Verlauf einer mittleren Schraubelinie oder auch einer Zugkante, so erhält man etwa folgendes Bild (Abbildung 8).

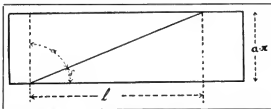


Abbildung 8. Drallanordnung bei gleichbleibendem Drall.

Während man in der allgemeinen Technik die Steigung einer Schraube durch die Ganghöhe  $l$  oder den Steigungswinkel  $\alpha$  bezeichnet, drückt der Waffenkonstrukteur die Stärke des Dralls durch die Drallänge  $l$  oder den Drallwinkel  $\delta$  aus. Meist setzt der Waffenkonstrukteur

noch an Stelle der absoluten Dralllänge  $l$  (der Ganghöhe) die relative Dralllänge  $\lambda$ , die das Verhältnis der absoluten Dralllänge zum Kaliber  $a$  (dem inneren Durchmesser des Rohres) gibt:

$\lambda = \frac{l}{a}$  Zwischen absoluter Dralllänge  $l$ , relativer Dralllänge  $\lambda$  und Drallwinkel  $\delta$  besteht die einfache Beziehung:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{a \cdot \pi}{l} = \frac{\pi}{\lambda}$$

Während beim gleichbleibenden Drall die Ganghöhe vom Beginn der Züge bis zur Mündung unverändert bleibt, nimmt beim „zunehmenden Drall“ (Progressivdrall) die Ganghöhe (Dralllänge) nach der Mündung zu ab, der Drallwinkel also zu. Eine solche Anordnung wird getroffen, um nicht Waffe und Geschöß durch einen zu „scharfen“ Drall von Anfang an zu sehr zu beanspruchen. Denkt man sich ein Rohr mit zunehmendem Drall in gleicher Weise wie vorher geschildert aufgeschnitten und in die Zeichnungsebene ausgebreitet, so erhält man eine Anordnung etwa nach Abbildung 9. Der Drallwinkel wächst entlang der Drallkurve vom Betrag  $\alpha$  über  $\delta$  bis  $\varepsilon$ . Insbesondere bezeichnet man den Drallwinkel zu Beginn des gezogenen Teils als Anfangsdrall, den Drallwinkel an der Mündung als Enddrallwinkel. Die Form der Drallkurve ist beim zunehmenden Drall in der Regel die einer Parabel; seltener wendet man andere Drallkurven an.

Für die Wahl des Enddrallwinkels beim zunehmenden Drall oder des Drallwinkels überhaupt beim gleichbleibenden Drall sind gewisse Forderungen an die Stabilität des Geschosses bei seinem Fluge maßgebend (vgl. auch Abschnitt B, 10a), daneben

auch Rücksichten auf die Haltbarkeit von Waffe und Geschöß. In der Regel gibt man, gestützt auf umfangreiche praktische Erfahrungen, Flachfeuergeschützen einen Enddrallwinkel von etwa  $8^\circ$ ; Steilfeuergeschütze erhalten meistens schärferen Enddrall bis zu einem Winkel von etwa  $12^\circ$ .

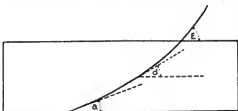


Abbildung 9. Drallanordnung bei Progressivdrall.

des Rohrinernen in den um das Geschöß gelegten (meist kupfernen) Führungsring ein und zwingen so das Geschöß, der Drehung der Felder zu folgen; das Geschöß erhält bei dem die Regel bildenden Rechtsdrall somit eine Umdrehung im Sinne des Uhrzeigers (von hinten gesehen). Die auf diese Weise erzielten Umdrehungszahlen in der Sekunde erhält man, wie eine einfache Überlegung zeigt, als Quotient der Anfangsgeschwindigkeit durch die absolute Dralllänge (Enddralllänge). Die sekundliche Umdrehungszahl liegt bei unseren Steilfeuergeschützen in der Regel zwischen 100 und 200, sie steigt bei den Flachfeuergeschützen über 200 bis 400 und erreicht bei den modernen Gewehren sogar Werte zwischen 2000 und 4000.

Als Gegenwirkung gegen die Rechtsdrehung des Geschosses im Rohr ergibt sich ein Drehbestreben des Rohres entgegen dem Uhrzeigersinne. Infolge der starren Lagerung des Seelenrohres im Mantelrohr und dessen weiterer fester Verbindung mit der Lafette oder der Wiege durch die Rohrklauen ist eine Wirkung dieses Drehbestrebens im allgemeinen nicht feststellbar. Doch ist vereinzelt an der Verschiebung eingeschlagener Körnerpunkte zu erkennen, daß sich nach gewissen Schußzahlen das

Seelenrohr im Mantel gedreht hat. Beim Minenwerfer endlich läßt sich die Drehung des Rohres auch vielfach messend verfolgen.

c) Die verschiedenen Rohrschwingungen. Außer dem Rückstoß und der Drehung des Rohres entgegen dem Drall treten unter dem Einfluß der Geschößbewegung im Rohr und den Druckkräften der Pulvergase auch Schwingungen des Rohres verschiedener Art auf: Longitudinalschwingungen in Richtung der Seelenachse; elastische Durchmesseränderungen infolge der Aufweitung des Rohres durch den Gasdruck und das Übermaß (die Forcierung) der Führungsteile des Geschosses; Torsionsschwingungen als Gegenwirkung gegen die Geschößdrehung und endlich Transversalschwingungen. Gemessen sind bisher von all diesen Schwingungen nur die letztgenannten, und zwar auch nur bei Gewehrläufen. So haben C. Cranz und K. R. Koch diese Transversalschwingungen des Gewehrlaufs mittels besonderer photographischer Verfahren, auf die näher einzugehen der Raum verbietet, festgelegt. Sie fanden eine langgedehnte Grundtonschwingung, der sich eine schneller abklingende Schwingung des ersten Obertons überlagert. Indem Cranz und Koch durch Photographie eines vom Geschöß selbst an der Mündung ausgelösten elektrischen Funkens auch den Augenblick markierten, in dem das Geschöß die Mündung verläßt, konnten sie feststellen, in welcher Schwingungsphase sich die Mündung in diesem Moment befindet, was für die Beurteilung des Abgangsfehlers (d. h. des Unterschiedes zwischen der Lage der Seelenachse unmittelbar vor dem Abschuß und ihrer Lage beim Austritt des Geschößbodens aus der Mündung) von Wichtigkeit ist. Auch die Verbiegungskurve des Laufs für einen beliebigen Moment des Schußvorgangs haben Cranz und Koch photographisch festgehalten.

Für Geschütze, besonders für unsere Langrohrgeschütze wird man ähnliche Schwingungen, wie sie bei den Gewehrläufen gemessen sind, annehmen dürfen. Unmittelbar gemessen sind diese Schwingungen bei Geschützrohren allerdings noch nicht; doch sprechen gewisse Umstände, wie das Vorhandensein bestimmter Abgangsfehler, für ihr Auftreten.

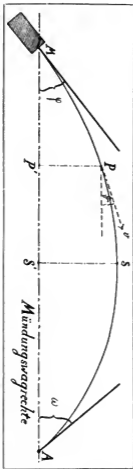
Für die Trefffähigkeit einer Waffe ist es nach den vorliegenden Erfahrungen ganz wesentlich, daß die freien Schwingungen des Laufs oder Rohres nicht durch eine unsachgemäße Einlagerung (Sitz des Ober- und Unterrings beim Gewehr, der Klauenringe beim Rohr an solchen Stellen, an denen das freie Rohr Schwingungsbüchse aufweist) gestört werden. Für diese Tatsache ist durch zahlreiche systematische Versuche bei Gewehren sowie durch einzelne, besonders in die Augen springende Versuche bei Geschützen der Beweis erbracht.

## B. ÄUSZERE BALLISTIK

Die äußere Ballistik befaßt sich mit der Bewegung des Geschosses außerhalb der Waffe, mit dem Verhalten der das Geschöß umgebenden Luft und mit der Wirkung des Geschosses oder seiner Teile am Ziel.

Der Mittelpunkt der Mündung des Geschützrohres im Augenblick des Austritts des Geschößbodens werde zum Anfangspunkt eines rechtwinkligen Koordinatensystems gewählt. Die Richtung der X-Achse sei gegeben durch den Schnitt der Schußebene (d. h. der Vertikalebene, in der die Seelenachse beim Abschuß liegt) mit dem Mündungshorizont (d. h. der wagerechten Ebene, in der die Mitte der Mündung im Augenblick des Geschößaustritts liegt, Abbildung 10). M-P-S-A sei die Bahn des Geschößschwerpunktes, über deren Gestaltung zunächst noch keinerlei bindende Annahmen gemacht werden sollen. Zu einer Zeit, gerechnet vom Austritt des Geschosses aus

Abbildung 10.



Aufriß der Geschosbahn.

der Mündung an, habe der Schwerpunkt des Geschosses den Punkt P der Bahn erreicht, dieser Punkt P besitze die Koordinaten  $x$  und  $y$ . Die Bahngeschwindigkeit des Geschossschwerpunktes im Punkte P sei  $v$ , der Neigungswinkel der Bahntangente im Punkte P zur Wagerechten sei  $\vartheta$ . Man nennt die Größen  $x$ ,  $y$ ,  $v$ ,  $\vartheta$  und  $t$  die Flugbahnelemente für den Bahnpunkt P. Im speziellen Fall, wo P mit M zusammenfällt, also an der Mündung, sind  $x$ ,  $y$  und  $t$  Null, der Neigungswinkel der Bahntangente ist gleich dem Abgangswinkel  $\varphi$ , die Bahngeschwindigkeit gleich der Anfangsgeschwindigkeit  $V_0$ . Im höchsten Punkt der Flugbahn S, dem Scheitel der Bahn, wird  $\vartheta$  Null, über den Scheitel hinaus wird  $\vartheta$  überstumpft. An der Stelle A, wo die Mündungswagerechte zum zweitenmal von der Geschosbahn geschnitten wird, dem Auffallpunkt, wird  $x$  gleich der wagerechten Gesamtschußweite X,  $y$  gleich Null,  $t$  gleich der Gesamtflugzeit T, und der spitze Auftreffwinkel  $\omega = -\vartheta_A$ .

Zur schnellen und erfolgreichen Bekämpfung der verschiedenen auftretenden Ziele muß der Artillerist die Beziehungen zwischen den einzelnen ballistischen Elementen kennen; insbesondere muß der Zusammenhang zwischen Anfangsgeschwindigkeit (oder, was dasselbe ist, Pulverladung) und Abgangswinkel auf der einen Seite, Schußweite, Endgeschwindigkeit, Fallwinkel und Flugzeit auf der anderen Seite entweder in Tabellenform (Schußtafeln) oder in der Teilung der Richtmittel festgelegt sein. Für Beschießung von Luftzielen und Zielen des Gebirgskrieges treten auch noch die Elemente beliebiger Bahnpunkte hinzu.

Die Feststellung dieser Zusammenhänge bildet eine wichtige Aufgabe der experimentellen und theoretischen Ballistik. Ein rein empirisches Vorgehen verbietet sich dabei, weil die Kosten und der Umfang derartiger Versuche unerträglich groß werden würden. Auch müssen die betreffenden Zusammenhänge in den Schußtafeln oder der Richtmittelteilung für mittlere Witterungsverhältnisse niedergelegt werden, während bei den Schußtafelversuchen vielfach davon abweichende Verhältnisse herrschen. Man stellt daher praktische Versuche nur in geringem Umfange an und greift, zur Ergänzung der Lücken und zur Umrechnung der Versuchsergebnisse auf mittlere Verhältnisse, auf die ballistische Theorie zurück.

1. DIE ERMITTLUNG DER BALLISTISCHEN ELEMENTE DURCH DEN VERSUCH. In erster Linie hat die experimentelle Ballistik die ballistischen Elemente für den Abgangspunkt M festzulegen, also die Anfangsgeschwindigkeit  $V_0$  und den Abgangswinkel  $\varphi$ .

Die Messung der Geschwindigkeit, mit der das Geschos die Mündung verläßt, der „Mündungsgeschwindigkeit“, ist im allgemeinen nicht möglich. Die aus Rücklaufmessenversuchen (vgl. S. 61) erhaltenen Ergebnisse entbehren der unbedingten Zuverlässig-

keit. Man ist vielmehr in der Regel gezwungen, die Bahngeschwindigkeit in einer gewissen, nicht zu großen Entfernung vorwärts der Mündung zu messen. Die so erhaltene Geschwindigkeit rechnet man dann unter Verwendung der entsprechenden ballistischen Formeln (siehe weiter unten) auf die Mündung um und erhält so die „Anfangsgeschwindigkeit“, die man den weiteren Rechnungen zugrunde legt. Es ist einleuchtend, daß diese Anfangsgeschwindigkeit mit der tatsächlichen Mündungsgeschwindigkeit nicht gleich zu sein braucht. Die Unsicherheit der erwähnten Umrechnung und vor allem der Umstand, daß dem Geschöß nach dem Verlassen der Mündung durch die nachstürzenden Pulvergase vielfach noch ein Zuwachs an Geschwindigkeit erteilt wird, lassen einen wenn auch kleinen Unterschied zwischen Anfangsgeschwindigkeit und Mündungsgeschwindigkeit wahrscheinlich erscheinen; in einzelnen Fällen ist dieser Unterschied auch tatsächlich durch den Versuch festgestellt.

Zur unmittelbaren Messung der Bahngeschwindigkeit des Geschosses in der Nähe der Mündung dient das ballistische Pendel. Man schießt gegen eine Stahlplatte oder einen sandgefüllten Kasten, der als Pendelkörper entsprechend aufgehängt ist. Aus der Größe des Ausschlags, den das aufschlagende Geschöß verursacht, läßt sich mittels der Stoßgesetze die Auftreffgeschwindigkeit errechnen.

Bei den meisten anderen Apparaten ist die Messung der Geschwindigkeit eine mittelbare: man bestimmt die Zeit, die das Geschöß zum Durchfliegen einer sorgfältig abgemessenen wagerechten Strecke  $s$  braucht. Unter der Annahme, daß die Geschößbewegung innerhalb der Meßstrecke  $s$  eine gleichmäßig verzögerte sei, erhält man dann für die mittlere wagerechte Geschwindigkeitskomponente auf der Strecke  $s$ :

$$V_m = \frac{s}{t}$$

Diese mittlere wagerechte Komponente teilt man der Mitte der Meßstrecke  $s$  als wagerechte Komponente der Bahngeschwindigkeit zu; durch Division mit dem Kosinus des Neigungswinkels der Bahn findet man die zugehörige Bahngeschwindigkeit selbst, die man mit Hilfe der ballistischen Formeln auf die Mündung umrechnet. Die Zeit des Eintretens und Aus-tretens des Geschosses in die Meßstrecke wird meist dadurch festgehalten, daß man das Geschöß Meßgitter zerreißen und so bestimmte Stromläufe unterbrechen läßt.

Die Unterbrechung der Stromkreise wird durch besondere Chronographen markiert, von denen eine große Anzahl mit den verschiedensten Konstruktionsgrundlagen vorhanden ist. Einer der bewährtesten Apparate ist der Chronograph von Le Boulengé, bei dem die Gesetze des freien Falles zur Zeitmarkierung benutzt werden. Abbildung 11 zeigt die Anordnung dieses Zeitmessers

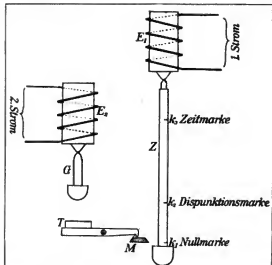


Abbildung 11.

Flugzeitmesser von Le Boulengé.



Im gleichen Stromkreis mit dem ersten Meßgitter zu Beginn der Meßstrecke  $s$  liegt der Elektromagnet  $E_1$ . An diesen Elektromagneten ist der Zeitmesserstab  $Z$  angehängt, auf den eine Zinkhülse fest aufgeschoben ist. Gegenüber dem unteren Teil des Zeitmesserstabes ist ein Messer  $M$  angeordnet, das entgegen dem Druck einer (nicht gezeichneten) Feder vom Zeitmesserstab durch die Nase eines zweiarmigen Hebels ferngehalten wird. Auf dem anderen Ende dieses Hebels ist der Teller  $T$  befestigt. Über dem Teller ist ein zweiter Elektromagnet  $E_2$  angeordnet, der im gleichen Stromkreise wie das am Ende der Meßstrecke  $s$  stehende Meßgitter liegt. Dieser zweite Elektromagnet trägt das Fallgewicht  $G$ . Unmittelbar vor der Messung werden die beiden Stromkreise geschlossen und Zeitmesserstab und Fallgewicht an die Elektromagneten angehängt. Dann wird der Schuß abgefeuert. Das Geschöß zerreißt zunächst das erste Gitter, der Elektromagnet  $E_1$  wird unmagnetisch, der Zeitmesserstab  $Z$  beginnt zu fallen. Wird dann das zweite Meßgitter durch das Geschöß unterbrochen, so fällt das Gewicht  $G$  auf den Teller  $T$  herab, der Hebel klinkt das Messer  $M$  aus, dieses schnell vor und schlägt in die auf dem Zeitmesserstab sitzende Zinkhülse eine Kerbe  $k_2$ , die sogenannte Zeitmarke, ein. Löst man das Messer  $M$  bei angehängtem Zeitmesserstab von Hand aus, so wird die Kerbe  $k_1$ , die sogenannte Nullmarke, erzeugt. Von ihr aus wird die Fallstrecke des Zeitmesserstabes  $k_1-k_2$  gemessen.

Zur Ermittlung der Zeit, die zwischen dem Durchschießen des ersten und des zweiten Meßgitters liegt, ist folgende Betrachtung anzustellen: Von einem beliebigen Anfangsmoment  $O$  an, etwa vom Zeitpunkt des Geschößbodenaustritts aus der Mündung, vergeht eine gewisse Zeit ( $O-k_1$ ), bis die Marke  $k_1$  erzeugt wird. Betrachtet man zunächst das System des ersten Elektromagneten (rechts in Abbildung 11), so setzt sich die Zeit  $O-k_1$  zusammen aus dem Zeiteil  $O-G_1$ , die das Geschöß von der Mündung bis zum Durchreißen des ersten Gitters braucht, und dem Zeiteil, in dem der Zeitmesserstab um die Strecke  $k_1-k_2$  herabfällt. Dieser zweite Zeiteil ergibt sich nach den Fallgesetzen zu  $\sqrt{\frac{2 \cdot (k_1 k_2)}{g}}$ . Man hat somit einmal

$$1. Ok_1 = OG_1 + \sqrt{\frac{2(k_1 k_2)}{g}}$$

Betrachtet man nun auch das System des zweiten Elektromagneten, so setzt sich die Zeit  $Ok_2$  zusammen aus der Zeit  $O-G_2$  bis zum Durchreißen des zweiten Gitters plus einer Zeitkonstanten  $C$ , in der die Fallzeit des Gewichtes  $G$ , die Zeit zum Auslösen des Messers und zum Erzeugen der Zeitmarke enthalten sind. Man hat demnach für  $Ok_2$  die weitere Beziehung:

$$2. Ok_2 = OG_2 + C.$$

Aus 1 und 2 erhält man:

$$3. OG_2 - OG_1 = t = \sqrt{\frac{2(k_1 k_2)}{g}} - C$$

worin  $t$  die Zeit zwischen dem Durchreißen des ersten und des zweiten Gitters, mithin die gesuchte Geschößflugzeit auf der Meßstrecke  $s$  darstellt.

Zur Bestimmung der Instrumentenkonstanten  $C$  spezialisiert man, indem man durch geeignete Anordnungen beide Stromkreise gleichzeitig unterbricht. In diesem Falle wird die „Disjunktionsmarke“  $k_2$  erzeugt; die Zeit zwischen dem Durchreißen des ersten und des zweiten Gitters wird Null und man erhält:

$$4. C = \sqrt{\frac{2(k_1 k_2)}{g}}$$

Aus 3 und 4 ergibt sich dann die Hauptgleichung

$$5. t = \sqrt{\frac{2(k_1, k_2)}{g}} - \sqrt{\frac{2(k_1, k_2)}{g}}$$

Aus Zweckmäßigkeitsgründen reguliert man nun die Stellung von E, über T meist derartig, daß  $k_1 - k_2 = 110,37$  mm wird, da für diese Fallstrecke die zugehörige Disjunktionszeit gleich der runden Zahl 0,150 Sekunden wird. Gleichung 5 geht dann über in

$$6. t = \sqrt{\frac{2(k_1, k_2)}{g}} - 0,150$$

Den neueren Boulengé-Apparaten sind in der Regel Tabellen beigegeben, aus denen sich zur Fallstrecke  $k_1 - k_2$ , bereits die Fallzeit abzüglich der Disjunktionszeit 0,150 Sekunden, also die gesuchte Zeit  $t$  entnehmen läßt.

Bis heute ist der Boulengé-Chronograph noch fast ausschließlich in der praktischen Ballistik im Gebrauch. Seine klaren physikalischen Grundlagen, die Einfachheit und Übersichtlichkeit seiner Bedienung und die erreichbare Meßgenauigkeit lassen aber seine Verwendung zu Zeitmessungen auch auf anderen Gebieten der Physik und Technik als durchaus empfehlenswert erscheinen.

Der Abgangswinkel, d. h. der Winkel zwischen der Wagerechten und der Anfangstangente an die Geschößbahn ist im allgemeinen nur wenig verschieden vom Erhöhungswinkel, d. h. dem Winkel der Seelenachse zur Wagerechten, den man durch das Einrichten des Geschützes vorm Abschuß einstellt. Der Unterschied zwischen Erhöhungswinkel und Abgangswinkel, der sogenannte Abgangsfehlerwinkel, wird vor allem durch Laufschrägung (vgl. Abschnitt A, 4c) oder durch das Bücken des Geschützes verursacht. Der Abgangs- und damit auch der Abgangsfehlerwinkel wird bei Geschützen in der Regel dadurch ermittelt, daß man die Durchschlagspunkte des Geschosses in zwei hintereinander in bestimmten Abständen (z. B. 70 m und 130 m) von der Mündung aufgestellten Scheiben genau festlegt und hieraus nach der parabolischen Theorie (siehe Abschnitt B, 3) den Abgangswinkel errechnet. Oder aber man erschießt nach einer mehrere hundert Meter von der Mündung entfernten senkrechten Scheibe ein Treffbild und findet aus der mittleren Treffpunktlage unter Benützung des für den luftgefüllten Raum geltenden Formelsystems (siehe B, 8) den Abgangswinkel.

Bei großen Erhöhungen versagen die beiden vorgenannten Verfahren. Die vielfach noch geübte Übertragung der bei kleineren Erhöhungswinkeln gemessenen Abgangsfehlerwinkel auf größere Erhöhungen erscheint auf Grund kinematischer Betrachtungen einigermaßen bedenklich. Geeignet für die unmittelbare Messung des Abgangswinkels ist die photogrammetrische Methode von Neesen (siehe unten), durch die man die Neigung der Flugbahntangente an jeder beliebigen Stelle der Geschößbahn feststellen kann. Auch kann man photogrammetrisch die Lage von Sprengpunkten, die bei großen Erhöhungswinkeln einige hundert Meter über der Mündung erzeugt werden, bestimmen und aus den Koordinaten der Sprengpunkte  $x$  und  $y$  auf den Abgangswinkel zurückrechnen.

Am einfachsten wird von den Elementen des Auffallpunktes die Gesamtschußweite bestimmt durch Beobachtung und unter Umständen spätere Ausmessung der tatsächlichen Treffpunktlage im Gelände. Zur Ermittlung der Totalflugzeit  $T$  benutzt man meist die Löbnersche Tertienuhr, eine Stoppuhr, die hundertstel Sekunden abzulesen gestattet. In der Regel setzt der am Ziel stehende Beobachter die Uhr in Gang, wenn er im Fernsprechapparat (Geschütz-Ziel) das Knacken des Abschusses hört. Durch einen zweiten Druck auf den Knopf der Uhr beim Einschlag des

Geschosses am Ziel wird das Zeigerwerk in der inzwischen erreichten Stellung angehalten und die Flugzeit auf den Zifferblättern abgelesen. Ein dritter Druck auf den Knopf läßt die Zeiger auf die Nullstellung zurückspringen. Unter besonderen Verhältnissen erfolgt die Flugzeitmessung auch vom Geschütz aus durch unmittelbares Beobachten des Abschusses und des Feuerscheins oder der Wolke des Sprengpunktes oder Aufschlags.

Die Ermittlung der Auffallwinkel und der Endgeschwindigkeiten ist bei Artilleriegeschossen im Gegensatz zu den Infanteriegeschossen noch recht selten durchgeführt. Für diese Aufgaben eignet sich gleichfalls die photogrammetrische Methode von Neesen.

Neesen bringt im Kopf des Geschosses einen Magnesiumleuchtsatz an, der an der gewünschten Stelle der Geschosbahn durch einen besonderen Zünder entflammt wird. Die Flamme des Leuchtsatzes schlägt seitlich heraus (Abbildung 12). In der Nähe des Flugbahnstücks, das man aufnehmen will, stellt man auf einer zur Schußlinie parallelen Standlinie vier photographische Apparate  $A_1, A_2, A_3, A_4$  in bekannter gegenseitiger Entfernung auf. Die beiden äußeren Apparate  $A_1$  und  $A_4$  haben feststehende Platten. Der Apparat  $A_2$  enthält entweder einen Film, der nach dem Öffnen des Verschlusses gleichmäßig von oben nach unten bewegt wird, oder eine mit Film bespannte gleichmäßig rotierende Trommel. In der photographischen Kammer  $A_2$  befindet sich ein feststehender Film mit gleicher Krümmung wie der bewegte Film in  $A_3$ . Die Versuche werden bei Dunkelheit ausgeführt. Unmittelbar vor dem Schuß werden die Verschlüsse der vier Apparate auf elektrischem Wege geöffnet, kurz nach der Aufnahme auf dieselbe Weise wieder geschlossen. Der aus dem Geschöß herausbrennende Leuchtsatz markiert sich, so oft die Öffnung des Leuchtsatzes sich infolge der Geschößdrehung den Apparaten zuwendet, auf den photographischen Platten als Strich, dessen Mitte am tiefsten geschwärzt ist (im Negativ). Die ganze Flugbahn erhält man auf diese Weise als eine treppenartige Folge derartiger Striche (siehe Abbildung 13). Die Aufnahmen dieser Strichfolge auf den feststehenden Platten der Apparate  $A_1$  und  $A_4$  ergeben auf Grund der bekannten Entfernung der beiden Apparate, der Standlinie nach photogrammetrischem Prinzip den jeweiligen Ort des Geschosses zu den verschiedenen um je eine Geschößumdrehung auseinanderliegenden Zeiten. Ferner läßt sich aus den Aufzeichnungen der festen Platten in  $A_1$  und  $A_4$  die Neigung der Geschosbahn an den betreffenden Stellen, somit auch bei entsprechender Aufstellung des Systems der Abgangs- und Fallwinkel bestimmen.

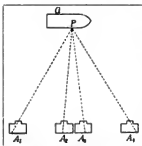


Abbildung 12. Photogrammetrische Aufnahme der Geschosbahn nach Neesen.

Aus den Aufzeichnungen des Apparats  $A_2$  werden die vertikalen Abstände der aufeinanderfolgenden Strichmitten, falls nötig verbessert nach den Aufzeichnungen in  $A_3$ , entnommen. Diese Abstände und die — nach Stimmgabelregistrierung bestimmte — Filmgeschwindigkeit gestatten, also die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Strichen, also die Zeit einer Geschößumdrehung, zu bestimmen; deren reziproker Wert ist die Umdrehungszahl des Geschosses in der Sekunde. Die wagerechte Entfernung zweier Strichmitten ergibt den vom Geschöß während einer Umdrehung zurückgelegten wagerechten Weg. Der Quotient dieses Weges durch die Umdrehungszeit ist die wagerechte Komponente der Bahngeschwindigkeit. Aus ihr und dem Neigungswinkel findet man die Bahngeschwindigkeit selbst.

Diese überaus geistreiche Methode des Geheimrats

Neesen ist leider nur ganz vereinzelt angewandt worden. Neuerdings hat Dipl.-Ing. Rumpff im Auftrage der Artillerie-Prüfungskommission das Verfahren zeitgemäß modifiziert und damit zunächst den Verlauf der Flugbahnen von Wurfminen, deren Umdrehungsgeschwindigkeit und Pendelungen ermittelt. Die Ausdehnung des vielversprechenden Rumpffschen Verfahrens auf Artilleriegeschosse hat der Ausgang des Krieges verhindert.



Abb. 13. Photographum nach Neesen.

Die Koordinaten eines beliebigen Punktes der Geschosbahn lassen sich endlich mit Vorteil auch noch durch stereophotogrammetrische Aufnahme festlegen. Die allgemeinen Grundlagen der Stereophotogrammetrie müssen hier als bekannt vorausgesetzt werden. Für ihre Anwendung auf die Ballistik verwendet man entweder Geschosse mit einer Rauchspur oder solche mit einer Lichtspur, deren Verlauf man durch die Meßbildaufnahme festlegt, oder aber, was den Vorzug verdient, man läßt Geschosse durch entsprechende Einstellung des Zeitzünders in der Nähe der festzulegenden Flugbahnpunkte zerspringen und legt bei Tage die Rauchwolke, bei Nacht die Feuererscheinung des Sprengpunktes durch die stereophotogrammetrische Aufnahme fest.

**2. ALLGEMEINES ÜBER DEN VERLAUF DER GESCHOSZBAHN.** Auf den Flug des Geschosses wirken eine große Zahl verschiedener Kräfte ein: die Anziehungskraft der Erde, deren Größe mit der geographischen Breite und mit der Erhebung des Geschosses über den Erdboden sich ändert; der Luftwiderstand, dessen Größe von einer Reihe zum Teil recht verwickelt zusammenhängender Momente abhängt; der Wind, dessen Stärke und Richtung mit zunehmender Erhebung über dem Boden in durchaus nicht unbedingt gesetzmäßiger Weise wechselt, und der dazu keine gleichmäßig wirkende, sondern eine in kurzen unregelmäßigen Stößen veränderliche Kraft darstellt; die Erdrotation, deren Einfluß auf die Gestalt der Geschosbahn je nach der geographischen Orientierung der Schußrichtung eine verschiedene ist. Man sieht dem nach, daß eine analytische Lösung des „ballistischen Problems“ unter Berücksichtigung all dieser Einflüsse eine außerordentlich schwierige, ja unlösbare Aufgabe darstellt.

Man geht daher in der Ballistik ebenso vor wie in der allgemeinen Physik und Mechanik bei Behandlung verwickelter Probleme, indem man zunächst eine Reihe von vereinfachenden Annahmen macht und dann erst die schwierigeren Bedingungen hinzutreten läßt. Zunächst berücksichtigt man von den auf den Geschosflug einwirkenden äußeren Kräften nur die Schwerkraft, die man im Interesse einer weiteren Vereinfachung als nach Größe und Richtung konstant annimmt. So gelangt man — unter gleichzeitiger Vernachlässigung der Erdkrümmung — zur parabolischen Flugbahntheorie.

**3. DIE PARABOLISCHE THEORIE.** Als einzige äußere Kraft wirkt nach den gemachten vereinfachenden Annahmen die Schwerkraft, die nur eine Komponente (gleich ihrer vollen Größe) in der Y-Richtung, dagegen keine in der X-Richtung hat. Man erhält demnach aus dem Unabhängigkeitsprinzip der Mechanik folgende Gesetze der Beschleunigung:

$$1. \frac{d^2 x}{dt^2} = 0$$

$$2. \frac{d^2 y}{dt^2} = -g$$

Durch Integration dieser Gleichungen erhält man unter Berücksichtigung der Anfangsbedingungen:

$$3. \frac{dx}{dt} = v_0 \cdot \cos \varphi$$

$$4. \frac{dy}{dt} = v_0 \cdot \sin \varphi - g \cdot t$$

Eine weitere Integration der Gleichungen 3 und 4 ergibt, wenn man die Konstanten wiederum aus den Anfangsbedingungen bestimmt, folgende Grundgleichungen der parabolischen Theorie:

$$5. x = v_0 \cdot \cos \varphi \cdot t$$

$$6. y = v_0 \sin \varphi \cdot t - \frac{g}{2} t^2$$

$$7. y = x \cdot \operatorname{tg} \varphi - \frac{x^2}{4h \cos^2 \varphi}$$

(Gleichung der Flugbahn für den luftleeren Raum; darin ist  $h = \frac{v_0^2}{2g}$ )

Durch einen einfachen Beweis läßt sich zeigen, daß Gleichung 7 eine Parabel mit vertikaler Achse darstellt. Die wagerechte Schußweite  $x$  erhält man, wenn man in Gleichung 7  $y = 0$  setzt. Man findet als einen Wert von  $x$ :

$$8. x = 2 \cdot h \cdot \sin 2\varphi$$

Bestimmt man nach den Regeln der Differentialrechnung, für welchen Wert von  $\varphi$   $x$  ein Maximum wird, so findet man für  $\varphi = 45^\circ$ . Im luftleeren Raum wird also bei einem Abgangswinkel von  $45^\circ$  die größte Schußweite erreicht.

Aus Gleichung 8 ergibt sich weiter, daß man unter sonst gleichen Bedingungen dieselbe Schußweite  $x$  mit einem Winkel  $\varphi$  und einem Winkel  $90^\circ - \varphi$  erreicht (Flachschuß und Steilschuß, untere und obere Winkelgruppe). Beide Abgangswinkel weichen um den gleichen Betrag  $\delta$  vom Winkel der größten Schußweite ( $45^\circ$ ) ab. Gleiches gilt auch für den Schuß auf geneigtem Gelände, nur daß für dieses der Winkel der größten Schußweite nicht  $45^\circ$  beträgt, sondern eine von der Neigung des Geländes abhängige, wechselnde Größe besitzt.

Unter der Voraussetzung kleiner Abgangswinkel (je nach dem angestrebten Grad der Genauigkeit bis  $\varphi = 15^\circ$ ) kann, wie eine einfache elementargeometrische Betrachtung zeigt, die Flugbahnparabel als Kreisbogen angesehen werden. Weiter läßt sich zeigen, daß bei solch flachen Flugbahnen die Größe des Halbmessers jenes Kreisbogens, den man für die parabolische Flugbahn substituiert, nur von der Größe der Anfangsgeschwindigkeit bedingt wird, vom Abgangswinkel aber vollkommen unabhängig ist. Demnach können alle derartige flache Flugbahnen (mit Abgangswinkeln zwischen  $0$  und  $15^\circ$ ) als verschieden lange Bogenstücke desselben Kreises angesehen und durch Drehen um den Ausgangspunkt (die Mündung) ineinander übergeführt werden (Schwenken der Bahnen). In der Praxis wird vom Schwenken der Bahnen dauernd Gebrauch gemacht, sooft es sich um das Beschließen von Zielen handelt, die über oder unter der Mündungswagerechten liegen. Werden indessen die Höhenunterschiede zwischen Geschütz und Ziel so groß, daß sich Abgangswinkel über  $15^\circ$  ergeben, so bringt das Schwenken der Bahn naturgemäß wachsende Fehler, da ja dann die gemachten Voraussetzungen, unter denen allein das Schwenken der Bahn noch als zulässig angesehen werden darf, nicht mehr erfüllt sind.

Setzt man in der Gleichung der Flugbahn (Nr. 7) für einen der beiden Parameter  $h$  und  $\varphi$  einen konstanten Wert fest und läßt nur den anderen variieren,

so erhält man zwei Parabelscharen: eine solche mit konstanter Anfangsgeschwindigkeit, also unveränderlichem Wert von  $h$ , aber variablem Abgangswinkel  $\varphi$ , und eine zweite Parabelschar bei konstantem Abgangswinkel  $\varphi$ , aber veränderlichem Wert von  $V_0$ . Die Betrachtung dieser beiden Fälle elementargeometrisch oder projektivisch-geometrisch und nach der Theorie der Einhüllenden führt zu einer Reihe interessanter Sätze, auf die aus Raumsichtungen nicht näher eingegangen werden kann.

Die Betrachtung der Flugbahnen im luftleeren Raum gibt gewissermaßen den Grenzzustand an, wo die Verzögerung durch den Luftwiderstand sich der Null nähert. Die Formeln für den luftleeren Raum können als Grundtyp für den Aufbau der ballistischen Formeln gelten. Unter gewissen Voraussetzungen, z. B. bei sehr schweren Geschossen und kleinen Anfangsgeschwindigkeiten, lassen sich mit Hilfe der parabolischen Theorie Näherungswerte für die Verhältnisse im luftgefüllten Raum finden. Insbesondere können einzelne kurze Teile der tatsächlichen Geschosßbahn als Parabelstücke berechnet werden.

Ohne Ableitung seien zum Schluß dieses Abschnitts einige wichtigere Sätze der parabolischen Flugbahnthorie angeführt, die teilweise auch für Näherungsrechnungen des luftgefüllten Raumes brauchbar sind:

1. Zwischen dem aufsteigenden (M—S, Abbildung 10) und dem absteigenden Ast (S—A, Abbildung 10) herrscht geometrische Symmetrie: der absteigende Ast kann durch Umklappen um die Linie S—S' mit dem aufsteigenden Ast vollkommen zur Deckung gebracht werden. Insbesondere ist der Fallwinkel gleich dem Abgangswinkel (gilt für kleine Anfangsgeschwindigkeiten und schwere Geschosse mit ausreichender Näherung auch im luftgefüllten Raume).

2. Zwischen dem aufsteigenden und dem absteigenden Ast herrscht ferner auch dynamische Symmetrie: für Niveaupunkte, d. h. Flugbahnpunkte mit gleicher Ordinate  $y$ , sind die Bahngeschwindigkeiten einander gleich. Insbesondere ist auch die Endgeschwindigkeit (in A, Abbildung 10) gleich der Anfangsgeschwindigkeit. (Auch dieser Satz gilt unter den mehrfach genannten Voraussetzungen mit großer Annäherung für den luftgefüllten Raum.)

3. Die Scheitelhöhe (S—S', Abbildung 10) ist gleich fünfviertel mal dem Quadrat der Gesamtflugzeit T (auch für den luftgefüllten Raum sehr gut brauchbar).

4. Für gleiche Abgangswinkel verhalten sich die Schußweiten wie die Quadrate der Anfangsgeschwindigkeiten (gibt brauchbare erste Näherungswerte auch für den luftgefüllten Raum).

4. DER GESCHOSZFLUG IM LUFTLEEREN RAUM ALS ZENTRALBEWEGUNG.  
 Nunmehr sei die für den vorausgehenden Abschnitt gemachte Annahme, daß Größe und Richtung der Schwerkraft konstant seien, fallen gelassen. Dann ist die Geschosßbewegung analytisch genau so zu behandeln wie die Bahnberechnung eines Sternes um einen Zentralkörper unter Zuhilfenahme des Newtonschen Gesetzes der Massenanziehung, des Flächensatzes und des Prinzips der lebendigen Kraft. Denkt man sich von einem erhöhten Punkte P über der Erdoberfläche (Abbildung 14) in wagerechter Richtung mit Anfangsgeschwindigkeiten geschossen, die vom Betrage Null an allmählich immer mehr gesteigert werden, so gelangt man zu folgenden Ergebnissen: Für die Anfangsgeschwindigkeit  $V_0 = 0$  ergibt sich der freie Fall. Bei den mit menschlichen Mitteln erreichbaren Anfangsgeschwindigkeiten (zurzeit höchstens 1500 m/sek.) bilden die Geschosßbahnen Teile einer Ellipse, deren entfernter fester Brennpunkt mit dem Erdmittelpunkt M zusammenfällt. Der andere Brennpunkt dieser Ellipse ist mit der  $V_0$  veränderlich. Er wandert von seiner Anfangslage in P für  $V_0 = 0$  mit

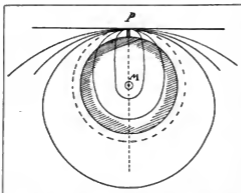


Abbildung 14. Geschoszbahnen als Zentralbewegungen.

Erdoberfläche, kehrt jedoch nach Umkreisung der Erde immer noch zum Ausgangspunkt zurück. Erst bei einer  $V_0 = 11050$  m/sek. rückt der bewegliche Brennpunkt ins Unendliche, die Geschossbahn wird eine Parabel. Wird die Anfangsgeschwindigkeit von 11050 m/sek. überschritten, so werden die Flugbahnen Hyperbeln. Die von P ausgehenden Hyperbeläste nähern sich mit weiter wachsender Anfangsgeschwindigkeit immer mehr der durch P gehenden Wagerichten, ohne diese aber für endliche Anfangsgeschwindigkeiten je zu erreichen.

Wird mit anderer als wagerechter Abgangsrichtung geschossen, so sind die Flugbahnen bei den kleineren Anfangsgeschwindigkeiten wiederum Ellipsen; bei einer  $V_0 = 11050$  m/sek. entsteht wiederum eine Parabel; über 11050 m/sek. entstehen wieder Hyperbeln. Der Spezialfall des Kreises ist beim schiefen Wurf ausgeschlossen.

Man müßte demnach eigentlich von einer elliptischen statt von der parabolischen Theorie im luftleeren Raum sprechen. Tatsächlich kann auch bei den großen Schußweiten der Schiffs- und Küstengeschütze ein nennenswerter Fehler durch die Vernachlässigung der Erdkrümmung und der Konvergenz der Schwerlinien eintreten. Es läßt sich indessen zeigen, daß zu diesem Fehler die Vernachlässigung der Erdkrümmung weitaus den größten Beitrag liefert, und daß man diesen Fehler durch eine Näherungsrechnung genügend genau eliminieren kann. Man vermeidet auf diese Weise die, besonders wenn man noch den Luftwiderstand berücksichtigt, recht unbequeme Rechnung.

**5. FOLGEN UND WESEN DES LUFTWIDERSTANDES.** Die nach den Formeln der parabolischen Theorie errechneten Schußweiten sind zum Teil erheblich größer als die tatsächlich erreichten Entfernungen. Die Ursache dieser Unterschiede liegt im Luftwiderstand. Bei seinem Fluge durch die Luft erteilt das Geschöß den vor ihm befindlichen Luftteilchen Beschleunigungen und verursacht so bestimmte Wellenbewegungen; ferner findet eine gewisse Reibung der Luftteilchen am Geschößmantel statt, die zur Bildung von Wirbeln führt. Wellen und Wirbel sind auf den nach dem Verfahren von E. Mach aufgenommenen Geschößphotographen nachweisbar. Durch diesen Wellen- und Wirbelwiderstand verliert das Geschöß auf seinem Fluge immer mehr von der ihm an der Mündung noch innewohnenden Bewegungsenergie.

Die durch die Geschößphotographie nach Mach bei Geschößgeschwindigkeiten über Schallgeschwindigkeit festgestellten Kopfwellen des Geschößes haben eine unverkenn-

zunehmender Anfangsgeschwindigkeit immer mehr nach dem festen Brennpunkt, dem Erdmittelpunkt, zu, die Ellipsen werden immer breiter, bis bei  $V_0 = 7900$  m/sek. der bewegliche Brennpunkt mit dem festen zusammenfällt: die Flugbahn geht in die Kreisform über, das Geschöß kehrt nach einem Flug um die Erde wieder zu seinem Ausgangspunkt P zurück. Bei weiterer Steigerung der Anfangsgeschwindigkeit rückt der bewegliche Brennpunkt über den festen hinaus nach der anderen Seite der Erde zu, das Geschöß entfernt sich in immer noch ellipsenförmiger Bahn auf der dem Abgangspunkt entgegengesetzten Seite immer weiter von der

bare Ähnlichkeit mit der Bugwelle eines fahrenden Schiffes. Doch handelt es sich bei der Kopfwelle des Geschosses um eine akustische Erscheinung, die sich für den Beobachter deutlich als „Geschößknall“ vernehmen läßt und u. a. auf Telephon und Mikrophon sowie Seismograph erkennbar und registrierbar einwirkt. Vom Geschößknall scharf zu unterscheiden ist der Waffenknall, der durch den Stoß der hinter dem Geschöß plötzlich aus der Mündung austretenden und sich dabei von einigen hundert Atmosphären momentan auf eine Atmosphäre entspannenden Pulvergase auf die Luft verursacht wird. Der Waffenknall pflanzt sich mit normaler Schallgeschwindigkeit fort. Seine Abdämpfung durch besondere Schalldämpfer ist teilweise mit Erfolg, wenigstens für kleinere Waffen, versucht worden. Im Gegensatz dazu ist der Geschößknall durch keinerlei Schalldämpfer einzuschränken, was nach seiner Entstehungsweise ohne weiteres einleuchtend sein dürfte.

Über den Grad der Luftverdichtung um das fliegende Geschöß herrschen vielfach ganz unrichtige Anschauungen. Exakte Messungen über den Grad der Verdichtung und Verdünnung sind nur für Infanteriegeschosse, und zwar zuerst durch L. Mach mittels des sogenannten Interferenzrefraktometers ausgeführt worden. Nach dem Verfahren von Mach wurde z. B. bei einem neuzeitlichen Infanteriegeschöß mit schlanker Spitze und hoher Geschwindigkeit vorne ein Druck von 3,9 Atmosphären, in der Mitte hart am Geschößmantel ein Druck von 0,9 Atmosphären, in der Mitte,  $\frac{1}{2}$  cm vom Mantel entfernt, ein Druck von 1,5 Atmosphären gemessen. Unmittelbar hinter dem Geschöß wurde bei hohen Geschwindigkeiten ein praktisch luftleerer Raum festgestellt.

6. DIE VERSCHIEDENEN LUFTWIDERSTANDSGESETZE. Das „Luftwiderstandsgesetz“ stellt den analytischen Ausdruck dar, der den Einfluß sämtlicher die absolute Größe des Luftwiderstandes bestimmenden Faktoren umschließt. Bei der überaus verwickelten Wirkungsweise des Luftwiderstandes bietet die Einkleidung der verschiedenen ihn bestimmenden Vorgänge, also die Aufstellung eines brauchbaren Luftwiderstandsgesetzes, nicht unerhebliche Schwierigkeiten. Man kommt auch hierbei um vereinfachende Annahmen nicht herum: von der Drehung des Geschosses um seine Längsachse und damit auch von allen Bewegungen des Geschosses in bezug auf seinen Schwerpunkt wird abgesehen; ferner wird angenommen, daß die Längsachse des Geschosses dauernd mit der Bewegungsrichtung, der Flugbahntangente, zusammenfällt. Unter diesen vereinfachenden Annahmen setzt man zurzeit für den Luftwiderstand  $W$ , den ein Geschöß vom Querschnitt  $F$   $q$  m bei der Geschwindigkeit  $v$  in einer Luftsdicht vom spezifischen Gewicht  $\delta$  erfährt:

$$W = F \cdot \frac{\delta}{\delta_0} \cdot i \cdot f(v)$$

Man nimmt demnach eine Proportionalität des Luftwiderstandes zu folgenden Größen an:

1. dem zur Längsachse des Geschosses senkrechten Querschnitt  $F$  (in  $q$  m); 2. dem spezifischen Gewicht  $\delta$  der Luft, das zu einem mittleren spezifischen Gewicht  $\delta_0$  in Beziehung gesetzt wird; 3. einem von der Geschößform abhängigen Koeffizienten  $i$ ; 4. einer gewissen Funktion  $f(v)$  der fortschreitenden Geschwindigkeit  $v$  des Geschößschwerpunktes. Die Annahme der Proportionalität des Luftwiderstandes zum Geschößquerschnitt, zum spezifischen Gewicht und zum Formkoeffizienten, die seit langer Zeit üblich ist, bedarf in vieler Hinsicht noch der eingehenden experimentellen Bestätigung; was insbesondere den Formwert  $i$  anlangt, so weisen Versuche von Cranz und Becker mit Infanteriegeschossen und parallele von Ritter v. Eberhard mit Artilleriegeschossen nach, daß ein solcher Formwert im Sinne der bisherigen ballistischen Annahme nicht vorhanden ist.



Der eigentliche Inhalt des Luftwiderstandsgesetzes wird durch den funktionellen Zusammenhang zwischen  $v$  und  $f(v)$  gegeben, während  $F$ ,  $\delta$  und  $i$  in der vorstehenden Gleichung für  $W$  nur Parameter darstellen. Zur Ermittlung des gesuchten Zusammenhangs zwischen  $v$  und  $f(v)$ , also zur Auffindung des eigentlichen Luftwiderstandsgesetzes, ist teils theoretisch, teils rein experimentell vorgegangen worden. Newton gelangt auf Grund des Stoßgesetzes zu folgender Form des Luftwiderstandsgesetzes

$$W = 2F \cdot \delta \cdot \frac{v^2}{2 \cdot 9,81}$$

Wenn auch dieses quadratische Luftwiderstandsgesetz einen Anspruch auf strenge Richtigkeit nicht machen kann, so hat es doch vor anderen Gesetzen den Vorzug der Einfachheit und Durchsichtigkeit. Aus diesen Gründen wurde es auch in der neueren Ballistik noch vielfach verwandt, so beim österreichischen technischen Militärkomitee. Dabei nimmt man jetzt in der Regel, weder wie Newton einen rein elastischen, noch einen vollkommen unelastischen Stoß an und ersetzt daher den Faktor 2 in der vorstehenden Newtonschen Formel durch den von der Geschwindigkeit abhängigen Koeffizienten  $\gamma(v)$ , so daß das Widerstandsgesetz gegen den Kreiszyylinder folgende Form erhält:

$$W = \gamma(v) \cdot F \cdot \delta \cdot \frac{v^2}{2 \cdot 9,81}$$

Für Langgeschosse tritt auf der rechten Seite noch ein Faktor  $\lambda$  hinzu, der den Einfluß der Geschosßform wiedergeben soll, und man erhält dann:

$$W = \gamma(v) \cdot F \cdot \delta \cdot \lambda \cdot \frac{v^2}{2 \cdot 9,81}$$

(Die Analogie mit der in der Technik verwendeten Formel zur Berechnung des Winddrucks  $P$  gegen eine ebene Fläche  $F$ ;  $P = \psi \cdot F \cdot \delta \cdot \frac{v^2}{2 \cdot 9,81}$  ist offenkundig; in dieser Formel ist  $v$  die Windgeschwindigkeit,  $\psi$  ein Erfahrungsfaktor.)

An weiteren theoretischen Versuchen zur Aufstellung eines brauchbaren Luftwiderstandsgesetzes hat es auch späterhin nicht gefehlt. Unter den neueren Gesetzen verdient das von Lorenz besondere Hervorhebung, der eine für den Schiffswiderstand aufgestellte Theorie auf die mathematische Darstellung der sämtlichen um das fliegende Geschosß sich vollziehenden Vorgänge der Luftbewegung ausdehnt. Das Lorenzsche Gesetz hat folgende Form:

$$W = k_1 \cdot R^2 \cdot \pi \cdot v^2 + k_2 \cdot l \cdot v + \frac{k_3 \cdot R^2 \cdot \pi \cdot v^4 + k_4 \cdot l \cdot v^2}{\sqrt{(s^2 - v^2)^2 + k_5 \cdot l^2 \cdot v^2}}$$

Darin bedeuten  $k_1$  bis  $k_5$  Konstante,  $R$  das halbe Kaliber,  $l$  die Geschosßlänge,  $v$  die Geschosßgeschwindigkeit,  $s$  die Schallgeschwindigkeit.

Aus dem vorstehenden Ausdruck des Lorenzschcn Luftwiderstandsgesetzes ergibt sich zunächst, daß die bei den meisten anderen Luftwiderstandsgesetzen gemachte Annahme der Proportionalität des Luftwiderstands zum Geschosßquerschnitt nicht genau zutrifft; vielmehr würde nach Lorenz der auf die Querschnittseinheit entfallende Widerstand mit abnehmendem Gesamtquerschnitt zunehmen. Ferner würde nach dem Lorenzschcn Gesetz auch die übliche Annahme der Proportionalität des Luftwiderstandes zu einem einzigen Formkoeffizienten nicht zutreffen. Beide Schlußfolgerungen aus dem Lorenzschcn Gesetz decken sich mit den Ergebnissen neuerer Luftwiderstandsversuche; es ist daher nicht unwahrscheinlich, daß das Lorenzschc Gesetz sich bei weiterer Nachprüfung durch Schießversuche als ausreichend gültig erweist.

Zur Aufstellung von Luftwiderstandsgesetzen durch den Versuch weist das oben gegebene Gesetz  $W = F \cdot \frac{\delta}{\delta_0} \cdot i \cdot f(v)$  den Weg für den Gang der Untersuchungen.

Man hat zunächst für eine Reihe von Geschwindigkeiten die Werte von  $W$  zu ermitteln, am besten durch Messung der Geschwindigkeitsverluste auf einer nicht zu großen Maßstrecke. Dann erhält man aus vorstehender Gleichung eine Reihe von Werten  $i \cdot f(v) = \frac{W}{F} \cdot \frac{\delta_0}{\delta}$  in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit  $v$ . Zur Trennung

von  $i$  und  $f(v)$ , die ohne weiteres nicht möglich ist, hat man dann in der Regel für eine bestimmte Geschossform  $i$  willkürlich gleich 1 gesetzt. Man erhält dann für andere Geschossformen von 1 verschiedene Werte für  $i$  und hat somit wenigstens einen relativen Vergleich der Formwerte der einzelnen Geschosse. In dieser oder ähnlicher Weise sind empirische Luftwiderstandsgesetze in großer Zahl aufgestellt worden: Cranz erwähnt, daß ihm 25 solche Gesetze bekannt geworden seien. Die Mehrzahl dieser Gesetze hat die Form von Potenzgesetzen, nämlich  $W = a \cdot v^n$  oder  $W = a \cdot v^m + b v^n + \dots$  Als vorteilhaft erwies es sich dabei, nach dem Vorgang von Majewski den gesamten in Frage kommenden Geschwindigkeitsbereich in Zonen einzuteilen und von einer Zone zur anderen im Gesetze  $W = a \cdot v^n$  entweder die Konstante  $a$  oder den Exponenten  $n$  oder beide zu ändern. Bei der Mehrzahl der Großmächte (außer Österreich, siehe oben) sind zu ballistischen Berechnungen Tabellenwerke im Gebrauch gewesen, die aus derartigen Gesetzen hervorgegangen sind.

1896 brachte der italienische Ballistiker Siacci einen einheitlichen Ausdruck für die Funktion  $f(v)$  in folgender Form

$$f(v) = 0,2002 \cdot v - 48,05 + \sqrt{(0,1648 \cdot v - 47,95)^2 + 9,6} + \frac{0,0442 \cdot v (v - 300)}{371 + \left(\frac{v}{g \cdot t}\right)^{10}}$$

die einer großen Zahl von Schießversuchen sehr gut entspricht. Die nach dem einheitlichen Luftwiderstandsgesetz von Siacci aufgestellten Tabellen der sekundären Funktionen (siehe weiter unten) haben sich bis heute ausgezeichnet bei uns zur Schußtafelauflistung bewährt.

7. DIE DIFFERENTIALGLEICHUNGEN DER GESCHOSZBEWEGUNG IM LUFT-ERFÜLLTEN RAUME. Versteht man unter  $f(v)$  die bereits früher gekennzeichnete Funktion der Geschossgeschwindigkeit  $v$  und unter  $c \cdot f(v)$  die durch den Luftwiderstand verursachte Verzögerung, worin  $c$  einen Proportionalitätsfaktor für den Einfluß von Geschossquerschnitt, Geschossform, Geschossgewicht und Luftgewicht darstellt, so gelangt man durch Anwendung der Gesetze der Dynamik auf ein unendlich kleines Zeitintervall  $dt$  schließlich zu folgenden Differentialgleichungen für die Bewegung des Geschossschwerpunktes:

1.  $g \cdot d(v \cdot \cos \vartheta) = v \cdot c \cdot f(v) \cdot d\vartheta$  \*
2.  $g \cdot dx = -v^2 \cdot d\vartheta$
3.  $g \cdot dt = \frac{-v \cdot d\vartheta}{\cos \vartheta}$
4.  $g \cdot dy = -v^2 \cdot \operatorname{tg} \vartheta \cdot d\vartheta$
5.  $g \cdot ds = -v^2 \cdot \frac{d\vartheta}{\cos \vartheta}$

In den vorstehenden Gleichungen ist der Elementarzuwachs  $d\vartheta$  des Neigungswinkels der Bahntangente eine negative Größe, da  $\vartheta$  dauernd abnimmt.  $ds$  stellt ein Bogenelement der Flugbahn dar.

Aus den vorstehenden Differentialgleichungen lassen sich, wie auch auf anderen Gebieten häufig aus den Differentialgleichungen eines geometrischen Gebildes, einige allgemeine Eigenschaften jeder Flugbahn des luftgefüllten Raumes ableiten. Da bei Aufstellung der Differentialgleichungen irgendwelche Annahme über ein bestimmtes Luftwiderstandsgesetz noch nicht gemacht zu werden brauchte, gelten die betreffenden Schlußfolgerungen allgemein, ganz unabhängig vom Luftwiderstandsgesetz. (Vorausgesetzt ist dabei allerdings in jedem Falle, daß die Luftwiderstandsresultante stets in der Flugbahntangente liegt und daß die Verzögerung durch den Luftwiderstand eine stetige Funktion der Geschwindigkeit  $v$  allein ist; die teilweisen Abweichungen der Flugbahn der Pariskanone von diesen allgemeinen Eigenschaften ist in der Nichterfüllung dieser Voraussetzungen begründet.) Die betreffenden Sätze seien ohne Ableitung wiedergegeben.

1. Die wagerechte Komponente der Geschwindigkeit nimmt im luftgefüllten Raum dauernd ab. 2. Für Punkte gleicher Höhe über der Mündungswagerechten (Niveaupunkte) ist der spitze Neigungswinkel der Flugbahntangente im absteigenden Ast größer als im aufsteigenden. Insbesondere ist der Fallwinkel größer als der Abgangswinkel. Ferner ist die horizontale Projektion des absteigenden Astes kürzer als die des aufsteigenden. Die im Vakuum vorhandene geometrische Symmetrie der Flugbahn (vgl. Seite 77) fehlt somit im luftgefüllten Raum. 3. Für Niveaupunkte ist die Bahngeschwindigkeit im aufsteigenden Ast größer als im absteigenden, im besonderen ist die Endgeschwindigkeit kleiner als die Anfangsgeschwindigkeit. Also fehlt auch die bei der parabolischen Bahn vorhandene dynamische Symmetrie bei der ballistischen Kurve völlig. 4. Der Punkt der kleinsten Geschwindigkeit liegt im absteigenden Ast, der Flugbahn. 5. Der Punkt der stärksten Krümmung liegt gleichfalls im absteigenden Ast, und zwar zwischen dem Gipfel der Flugbahn und dem Punkt der kleinsten Geschwindigkeit. 6. Der absteigende Ast besitzt eine vertikale Asymptote in endlichem Abstand von der Mündung. 7. Die Geschwindigkeit nimmt von dem erwähnten Punkt der kleinsten Bahngeschwindigkeit an wieder zu und nähert sich einem endlichen Grenzwert, der Grenzgeschwindigkeit, immer mehr, erreicht diesen aber erst nach unendlich langer Zeit. 8. Endlich läßt sich noch mit einem von Wuid stammenden, lediglich auf den Differentialgleichungen fußenden Beweise zeigen, daß auch im luftgefüllten Raum das Schwenken der Flugbahn (vgl. Seite 76) bei kleinen Abgangswinkeln zulässig ist.

8. DIE LÖSUNG DER DIFFERENTIALGLEICHUNGEN. Die auf Seite 81 gebrachten Differentialgleichungen 2, 3, 4 und 5 enthalten sämtlich drei Veränderliche der Flugbahn; nur Differentialgleichung 1, die sogenannte Hauptgleichung, enthält bloß zwei Veränderliche,  $v$  und  $\vartheta$ . Es wird daher darauf ankommen, zunächst die Hauptgleichung zu integrieren. Gelingt diese Integration, so hat man die Bahngeschwindigkeit  $v$  in Funktion des Neigungswinkels  $\vartheta$  der Flugbahntangente und kann nunmehr an die Integration der übrigen Differentialgleichungen herangehen.

Der vorgezeichnete Weg ist indessen in aller Strenge und in endlicher Form nur gangbar für das Luftwiderstandsgesetz  $c \cdot f(v) = c \cdot v$ , das leider für die Praxis nicht verwendbar ist. Bei allen anderen Widerstandsgesetzen sind zur rechnerischen „Lösung des ballistischen Problems“, d. h. zur Lösung der Differentialgleichungen, irgendwelche Annäherungen unvermeidlich. Bei einer ersten Gruppe dieser recht zahlreichen Näherungslösungen wird die Hauptgleichung selbst genau integriert; Näherungen werden erst bei der Integration der übrigen Gleichungen angewendet. Möglich ist die genaue Integration der Hauptgleichung unter anderem bei Wider-

standsgesetzen von der Form:  $c \cdot f(v) = a + c \cdot v^n$ . Bei der zweiten großen Gruppe von Näherungslösungen wird durch gewisse vereinfachende Annahmen die genaue Hauptgleichung ersetzt durch eine angenäherte Hauptgleichung, deren Integration dann in allen Fällen möglich ist. Auf Einzelheiten einzugehen verbietet sich hier. Es sei nur als Ergebnis dieses Vorgehens das allgemeine Lösungssystem mitgeteilt, da auf diesem die meisten zurzeit im praktischen Gebrauch befindlichen Rechenverfahren weiter aufbauen:

$$1. x = \frac{\sigma^2}{\gamma \cdot c} \cdot [D(u) - D(u_0)]$$

$$2. t = \frac{\sigma}{c \cdot \gamma} \cdot [T(u) - T(u_0)]$$

$$3. \operatorname{tg} \vartheta = \operatorname{tg} \vartheta_0 - \frac{1}{2c \cdot \gamma} \cdot [J(u) - J(u_0)]$$

$$4. y = x \cdot \operatorname{tg} \vartheta - \frac{\sigma^2}{2c^2 \cdot \gamma^2} \cdot \{A(u) - A(u_0) - J(u_0) \cdot [D(u) - D(u_0)]\}$$

Darin sind:

$$D(u) = - \int \frac{u \cdot du}{f(u)}; \quad T(u) = - \int \frac{du}{f(u)}; \quad J(u) = - 2g \cdot \int \frac{du}{u \cdot f(u)}$$

$$A(u) = - \int \frac{J(u) \cdot u \cdot du}{f(u)}; \quad u = \frac{v \cdot \cos \vartheta}{\sigma}; \quad u_0 = \frac{v_0 \cdot \cos \vartheta_0}{\sigma}$$

Die verschiedenen, aus diesem allgemeinen Lösungssystem weiter hervorgehenden Rechenverfahren unterscheiden sich voneinander einmal durch die Wahl des Luftwiderstandsgesetzes  $[f(u)]$ , besonders aber noch durch die Festsetzung der Konstanten  $\sigma$  und  $\gamma$ . Die Integralwerte  $D(u)$ ,  $T(u)$ ,  $J(u)$ ,  $A(u)$  können bei der Annahme  $f(u) = u^n$  genau berechnet werden, für verwickeltere Luftwiderstandsfunktionen kann eine näherungsweise oder mechanische Integration eintreten. Da in den Formeln die Integralwerte nur in ihren Differenzen vorkommen, kann man beliebige konstante Zahlenwerte hinzufügen. Durch entsprechende Wahl dieser additiven Konstanten hat unter anderem Siacci, der für seine Tabellen das oben erwähnte Zonengesetz von Mayewski verwendet, einen stetigen Verlauf der Tabellenwerte an den Zonenübergängen erreicht.

Die Berechnung nach obigen Formeln gestaltet sich für die Praxis noch recht unbequem; insbesondere macht die Berechnung der Gesamtschußweite  $X$  ein sukzessives Probieren unter Verwendung der Gleichungen 1 und 4 nötig, bei dem man  $x$  so zu bestimmen hat, daß  $y = 0$  wird. Zur Abhilfe dieser Übelstände sind sogenannte sekundäre ballistische Funktionen aufgestellt worden. Nach Gleichung 1 ist z. B. die Differenz  $D(u) - D(u_0)$  und daher auch  $u$  selbst eine Funktion der Werte  $u_0$  und  $\frac{\gamma \cdot c}{\sigma^2}$ . Ebenso sind auch die übrigen Differenzen der Formeln 2, 3 und 4 Funktionen

von  $u_0$  und  $\frac{\gamma \cdot c}{\sigma^2}$ . Man kann daher Tabellen mit doppeltem Eingang aufstellen, deren erstes Argument  $u_0$  oder  $v_0$ , deren zweites Argument  $D(u) - D(u_0)$  oder  $\frac{\gamma \cdot c}{\sigma^2}$  ist. Die bequemsten, leider an Druckfehlern sehr reichen Tabellen dieser Art sind die „Tavole ballistiche generale“ von Fasella.

Von den in großer Zahl angegebenen graphischen Lösungen des ballistischen Problems ist keine für den praktischen Gebrauch besonders geeignet. Nur eine halb rechnerische, halb graphische Methode von Stübler zur Aufstellung der Aufrisse der Flugbahnen hat sich im praktischen Gebrauche ausgezeichnet bewährt. Für Verwen-

dung der bekannten mechanischen Hilfsmittel zur Integration, des Planimeters und des Integraphen haben C. Cranz und I. Schatte je eine Lösung des ballistischen Problems angegeben, die gewisse Vorzüge in sich schließen. Beiden Verfahren haftet indessen gemeinsam der große Nachteil an, daß die Übereinstimmung mit den Schießergebnissen oder, was auf dasselbe hinausläuft, die Bestimmung der empirischen Konstanten nur durch mühsames Probieren zu erreichen ist. C. Cranz hat mittels seines Verfahrens gewisse Normalbahnen berechnet und an diesen die Zuverlässigkeit verschiedener der wichtigsten Rechenverfahren geprüft. Weiter hat er außer der Feststellung des mathematischen Fehlers der verschiedenen Rechenverfahren die wichtigsten Luftwiderstandsgesetze untersucht und gefunden, daß sie für Zwecke der Praxis genügend genau brauchbar sind.

Von besonderer Bedeutung ist im Weltkrieg die Berechnung steiler und vertikaler Flugbahnen geworden; sie dient zur Herstellung der ballistischen Hilfsmittel für den Gebirgskrieg und besonders auch für die Bekämpfung der Luftziele. Für diese Zwecke versagt selbst die an sich beste, vorerwähnte planimetrische Methode von Cranz ebenso wie jedes andere rein rechnerische Verfahren, vor allem deshalb, weil die Theorie bis jetzt nicht in der Lage ist, die Größe der ballistischen Koeffizienten und die Gesetzmäßigkeit ihrer Veränderung mit der Höhe auch nur einigermaßen sicher festzulegen. Einen Ausweg bietet allein die Ausführung umfangreicher praktischer Versuche; die Aufgabe der Theorie bleibt dabei lediglich die Umrechnung der Schießergebnisse auf normale Anfangsbedingungen und die Füllung der Lücken zwischen den einzelnen, aus praktischen Gründen nicht allzu eng zu legenden erschossenen Punkten. In dieser Hinsicht verdient — ohne näheres Eingehen auf irgendwelche Einzelheiten — das überaus einfache und klare Verfahren erwähnt zu werden, das Veithen und Neuendorf bei der Artillerie-Prüfungskommission zur Aufstellung von „Luftschußtafeln“ aus photogrammetrisch erhaltenen Schießergebnissen entwickelt haben.

Für den praktischen Ballistiker spielt die Wahl des Rechenverfahrens so lange keine allzu große Rolle, als er genügend Schießergebnisse zur Verfügung hat. Dies wird, wenigstens bei den kleinen und mittleren Kalibern, die Regel sein. Kennt man für eine Anzahl Abgangswinkel von den kleineren bis hinauf zum Winkel der größten Schußweite aus dem Versuch die Beziehungen zwischen Anfangsgeschwindigkeit, Abgangswinkel und Schußweite, so haben die ballistischen Formeln zur Verarbeitung von Schießergebnissen nur mehr den Charakter von Interpolationsformeln. Die Wahl des Rechenverfahrens und des Luftwiderstandsgesetzes ist daher, wie aus theoretischen Erwägungen ohne weiteres einleuchtend und durch eine größere Zahl von Vergleichsrechnungen bestätigt, mehr oder minder bedeutungslos, solange es sich um teilweise beobachtete Größen (Schußweite und Flugzeit) handelt. Sobald indessen die nicht beobachteten Werte der Endgeschwindigkeit und des Fallwinkels errechnet oder, etwa für den Neuentwurf eines Geschüßes, rein theoretisch die Beziehungen zwischen Anfangsgeschwindigkeit, Abgangswinkel und Schußweite vermittelt werden sollen, verlieren die Rechenverfahren den Charakter von Interpolationsformeln und können daher unter sich und mit den Tatsachen erheblich widerstreitenden Ergebnisse herbeiführen.

9. ÜBER DIE STREUUNGEN. Verfeuert man eine größere Anzahl möglichst gleichartiger Geschosse unter Verwendung gleicher Pulverladung aus ein und demselben Rohr mit genau gleicher Richtung und unter gleichen äußeren Bedingungen, so treffen die Geschosse trotzdem nicht alle auf den gleichen Punkt, sondern sie verteilen sich über eine mehr oder minder große Fläche. Man nennt diese Erscheinung

des Auseinanderfallens der einzelnen Treffpunkte die „Streuung“ der Waffe. Die Ursache der Streuung ist darin zu suchen, daß es einmal mit menschlichen Mitteln nicht möglich ist, die den einzelnen Geschößflug beeinflussenden Faktoren unbedingt gleichmäßig zu gestalten, und daß andererseits eine absolute Gleichartigkeit der atmosphärischen Bedingungen von einem Schuß zum nächsten nicht besteht. Unvermeidliche Schwankungen im Gewicht der Geschosse und Treibladungen, verschiedene Abmessungen und Schwerpunktlagen der einzelnen Geschosse, wechselnde anfänglich Ver-

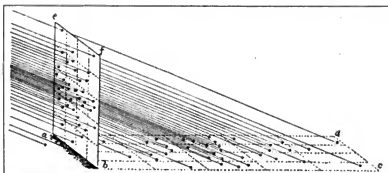


Abbildung 15. Scheibentreffbild und Bodentreffbild.

brennungsräume, unvermeidliche Ungenauigkeiten beim Richten, Veränderungen in der Aufstellung des Geschützes, zeitliche Schwankungen des Windes und des spezifischen Gewichts der Luft und andere Ursachen wirken bei der Entstehung der Streuungen zusammen.

Die bei kleinen Schußzahlen im Streuungsbild (Bodentreffbild abcd, wenn es sich um Schießen gegen die freie Ebene, Scheibentreffbild abef, wenn es sich um ein Schießen gegen eine lotrechte Scheibe handelt [Abbildung 15]) zunächst herrschende Regellosigkeit der Trefferverteilung macht bei größeren Schußzahlen sehr bald einer gewissen Gesetzmäßigkeit Platz. In erster Linie erkennt man, daß die Treffpunkte sich um einen gedachten Punkt, den mittleren Treffpunkt, dichter gruppieren und daß von diesem aus die Dichtigkeit der Treffer nach außen hin immer mehr abnimmt. Ferner zeigt sich, daß Schüsse mit kleineren Abweichungen vom mittleren Treffpunkt häufiger sind als solche mit größeren.

Die eingehende Bearbeitung einer großen Zahl von Treffbildern aus Gewehren und Geschützen hat gezeigt, daß für die Streuungen einer Waffe genau die gleichen Gesetze gelten wie für andere physikalische Beobachtungen, die bestimmten unkontrollierbaren Schwankungen unterworfen sind. Vor allem hat sich auch für das Schießen, wenn man die Abweichungen der einzelnen Treffer vom mittleren Treffpunkt bestimmt hat, folgendes bestätigt:

1. Über bestimmte Grenzen hinaus sind Abweichungen einzelner Schüsse ausgeschlossen.
2. Innerhalb dieser Grenzen können Abweichungen in jeder beliebigen Größe vorkommen.
3. Für das Auftreten von Treffern, die um den gleichen absoluten Betrag vom mittleren Treffpunkt abweichen, besteht die gleiche mathematische Wahrscheinlichkeit.
4. Kleinere Abweichungen haben die größere Wahrscheinlichkeit für sich.

Von den verschiedenen auf die Streuungslehre angewandten Fehlergesetzen hat das auch in der allgemeinen Physik wohl bekannte Gesetz von Gauß die größte Bedeutung. Es entspricht bei größeren Schußzahlen in jeder Hinsicht durchaus den Erfahrungen. Doch kann man dem Schießpraktiker nicht scharf genug einprägen, daß das Gesetz genau nur bei sehr großen Schußzahlen gelten kann und daß es keine Gewißheit für das Auftreten von Treffern mit bestimmter Abweichung, sondern nur eine Wahrscheinlichkeit geben kann und will. Ein näheres Eingehen auf die mathematische Gestaltung des Gaußschen Fehlergesetzes ist hier nicht möglich; die für das artilleristische Schießen wichtigsten Beziehungen seien dagegen in der Hauptsache ohne Ableitung wiedergegeben. Bezeichnet man die Abweichung der einzelnen Geschosseinschläge für das Bodentreffbildes von einer festen Geraden (der Y-Achse) mit  $\xi_1, \xi_2 \dots \xi_n$ , so ist das arithmetische Mittel  $\xi_0$  der einzelnen Abweichungen der wahrscheinlichste Wert der Abszisse des mittleren Treffpunktes. Ganz entsprechend erhält man den wahrscheinlichsten Wert der Ordinate  $\eta_0$  des mittleren Treffpunktes. Die Abweichungen der einzelnen Geschosseinschläge von dem so bestimmten arithmetischen Mittel werden scheinbare Abweichungen ( $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$ ) genannt im Gegensatz zu den stets unbekannt bleibenden wahren Abweichungen vom (unbekannten) wahren mittleren Treffpunkt. Bezeichnet man die Zahl der Geschosseinschläge des Treffbildes mit  $n$ , so hat man als sogenanntes Präzisionsmaß der Waffe entweder die mittlere quadratische Abweichung

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum \lambda^2}{n-1}}$$

oder die durchschnittliche Abweichung

$$E = \frac{\sum |\lambda|}{n \cdot (n-1)}$$

oder die durchschnittliche Folgedifferenz

$$D = \frac{\sum |d|}{n-1}$$

worin  $d_1, d_2, d_3 \dots d_n$  die gegenseitige Abweichung je zweier zeitlich aufeinanderfolgender Schüsse ist. In der praktischen Ballistik benutzt man als Präzisionsmaß nun entweder (z. B. in Frankreich) die sogenannte wahrscheinliche Abweichung (écart probable)

$$w = 0,6745 \cdot \mu = 0,8453 \cdot E = 0,5978 \cdot D$$

oder die mittlere oder 50prozentige Streuung (Deutschland)

$$s_{50} = 2 \cdot w.$$

In den Schußtafeln der deutschen Artillerie hat man in der Regel die aus einer größeren Zahl von Beschüssen ermittelte 50prozentige Streuung nach Länge, Seite und unter Umständen Höhe angegeben. Die Kenntnis der wahrscheinlichen Abweichung oder der mittleren Streuung gestattet die Berechnung der wahrscheinlich in ein Ziel von bestimmten Abmessungen entfallenden Trefferzahlen. Hat man z. B. ein rechteckiges Ziel, dessen Ausdehnung in der Schußrichtung  $2l_x$ , senkrecht zu derselben  $2l_y$  ist, und beträgt die mittlere Längstreuung auf der betreffenden Entfernung  $s_{50,x}$ , die mittlere Breitenstreuung  $s_{50,y}$ , so ist die Wahrscheinlichkeit, das Ziel zu treffen,

$$P = \psi\left(\frac{2l_x}{s_{50,x}}\right) \cdot \psi\left(\frac{2l_y}{s_{50,y}}\right)$$

Man kann demnach auf  $Z = 100 \cdot P$  Prozent Treffer rechnen. Die Funktion  $\psi$  findet sich in ballistischen Schriften ausführlich tabellenmäßig angegeben. Einen kurzen

Auszug gibt die Tabelle der sogenannten „Wahrscheinlichkeitsfaktoren“ in den Schußtafeln.

Denkt man sich eine Zielfläche in lauter unendlich kleine Rechtecke geteilt und im Mittelpunkt jedes dieser Rechtecke ein Lot errichtet, dessen Länge der bei unendlich großer Schußzahl auf das Rechteck entfallenden Trefferzahl proportional ist, so liegen die Endpunkte dieser Lote auf der „Wahrscheinlichkeitsfläche“. Der von ihr und der Zielebene eingeschlossene Raum heißt „Trefferberg“. Die Darstellung des Trefferberges durch Niveau- oder Schichtlinien nach Art der Geländedarstellung führt zu den „Kurven gleicher Wahrscheinlichkeit“, die konzentrische und ähnlich liegende Ellipsen mit dem mittleren Treffpunkt als gemeinsamem Mittelpunkt sind.

Stellt man die Zeitzänder der Geschosse so ein, daß diese nicht beim Aufschlage, sondern in der Luft zerspringen, so erhält man in der Gruppierung der unter gleichen Anfangsbedingungen (Erhöhung, Ladung, Zünderstellung) zustande gekommenen Luftsprengpunkte das sogenannte „Brennlängenbild“. Die Wahrscheinlichkeitstheorie zeigt wiederum, daß Sprengpunkte gleicher Wahrscheinlichkeit auf ähnlichen, konzentrischen und ähnlich gelagerten Ellipsoiden liegen. Der gemeinsame Mittelpunkt der Ellipsoide ist der „mittlere Sprengpunkt“ des Brennlängenbildes. Die Wahrscheinlichkeitstheorie befaßt sich dann schließlich noch eingehend mit der Ableitung von Regeln zur Ausschaltung von Treffern mit auffallend großen Abweichungen, von „Ausreißern“ und mit der Untersuchung der Lage der „Symmetrieachsen“ von Treffbildern, was hier nur erwähnt werden kann.

10. EINSEITIGE GESCHOSZABWEICHUNGEN. Während die Streuungen als zufällige Geschosabweichungen durch Einflüsse verschiedener Art, die von Schuß zu Schuß wechseln, hervorgerufen werden, sind auf der anderen Seite auch Unterschiede gegenüber der normalen (mittleren oder „schußtafelmäßigen“) Treffpunktlage zu beobachten, die während einer Beschußreihe, eines zeitlich eng zusammenhängenden Treffbildes zwar gleich bleiben, sich aber von Treffbild zu Treffbild, namentlich wenn diese zeitlich weiter auseinander liegen, ändern können. Zu diesen einseitigen, regelmäßigen oder in gewissen Grenzen konstanten Geschosabweichungen rechnen

a) Die Seltenabweichung des rotierenden Langgeschosses. Betrachtet man das im Abschnitt II, 6 erwähnte Luftwiderstandsgesetz

$$W = F \frac{\delta}{\delta_0} \cdot l \cdot f(v) = \frac{G}{g} \cdot \frac{dv}{dt}, \text{ so findet man als Ausdruck für die Verzögerung } \frac{dv}{dt}$$

durch den Luftwiderstand bei einem Geschosgewicht  $G$ , also einer Geschosmasse  $m = \frac{G}{g}$

$$\frac{dv}{dt} = -g \cdot \frac{F}{G} \cdot \frac{\delta}{\delta_0} \cdot l \cdot f(v)$$

Man bezeichnet in der Regel den Quotienten  $\frac{G}{F}$  als „Querschnittsbelastung“. Je größer die Querschnittsbelastung, um so geringer unter sonst gleichen Bedingungen die Verzögerung  $\frac{dv}{dt}$  durch den Luftwiderstand. Bei gleichbleibendem Kaliber ist nun die Querschnittsbelastung durch den Übergang von der Kugel zum zylindrischen Geschos erheblich zu steigern. Darin liegt einer der Hauptgründe für die Einführung der Langgeschosse an Stelle der Kugeln. Nun ist aber die Stellung eines nicht rotierenden Langgeschosses in der Flugrichtung eine labile; durch die geringste Störung stellt es sich mit der Längsachse quer zur Bewegungsrichtung oder überschlägt sich, wodurch der Vorteil der großen Querschnittsbelastung natürlich vollkommen verloren geht



Erteilt man dagegen dem Langgeschöß eine Drehung um seine Längsachse, so ist diese bestrebt, ihre Lage im Raume dauernd beizubehalten, ähnlich wie dies bei der Erdachse, beim Kreiselkompaß usw. der Fall ist. Als an sich unerwünschte Begleiterscheinungen der Geschößrotation ergibt sich eine geringe Änderung der Schußweite und eine größere Seitenabweichung gegenüber dem nicht rotierenden Geschöß. Das Geschöß verläßt die Schußebene (d. i. die Vertikalebene durch die Seelenachse) im allgemeinen nach der Seite, nach der die Drehung erfolgt, also bei Rechtsdrall nach rechts; auch die Horizontalprojektion der Flugbahn wird eine gekrümmte Linie.

Als Ursachen dieser Seitenabweichungen der rotierenden Langgeschosse sind der „Poisson-Effekt“, der „Magnus-Effekt“ und die „Kreiselwirkung“ genannt.

Poisson sieht den Grund zur Seitenabweichung des rotierenden Langgeschosses in einer Art Polsterwirkung; ganz am Beginn der Flugbahn fallen Geschößachse und Flugbahntangente zusammen; diese senkt sich indessen sehr bald entlang der gekrümmten Bahn, während die durch die Rotation stabilisierte Längsachse des Geschosses ihrer Anfangslage parallel zu bleiben bestrebt ist. Das Geschöß bietet daher mehr und mehr nicht mehr die Spitze, sondern seinen Mantel dem Luftwiderstand dar. Auf der Vorderseite des Mantels ist die Luftverdichtung und daher auch die Reibung an der Luft größer als auf der Rückseite; das Geschöß rollt daher auf der verdichteten Luft wie auf einem Polster nach der Seite, nach der es rotiert (bei Rechtsdrall also nach rechts).

Magnus geht gleichfalls davon aus, daß sich die Geschößspitze bald nach dem Verlassen der Mündung über die Flugbahntangente hebt. Dadurch stößt bei Rechtsdrall die von vorn heranströmende Luft mit der mit dem Geschöß rotierenden Luft zusammen, es entsteht also rechts eine Luftverdichtung. Auf der linken Seite des Geschosses dagegen haben die von vorn heranströmende und die rotierende Luftströmung annähernd gleiche Richtung, es entsteht daher hier Verdünnung. Das Geschöß wird durch diese Ursachen aus der Schußebene nach links herausgedrückt.

Cranz hat gezeigt, daß in der Regel der Einfluß des Poisson- und des Magnus-effekts weit hinter der Kreiselwirkung des rotierenden Langgeschosses zurücktreten. Ein um eine freie Achse rotierender Körper, ein Kreisel, setzt einer äußeren Kraft, die seine Achse aus der ursprünglichen Richtung bringen will, einen um so größeren Widerstand entgegen, je größer seine Rotationsenergie ist. Diese aufrichtende Wirkung der Kreiselbewegung wird u. a. auch beim Schiffskreisel, beim Kreiselkompaß, der Einschienebahn, zur Stabilisierung von Flugzeugen benutzt. Ist ein schwerer Kreisel schief gestellt und außerhalb seines Schwerpunktes unterstützt, so wirkt die Schwerkraft als störende äußere Kraft: die Kreiselachse weicht in einer zur Angriffsrichtung der störenden Kraft senkrechten Richtung nach der Seite aus, nach der die Drehung erfolgt, und beschreibt, wenn man von allen sonstigen möglichen Störungen der Bewegung absieht, die Oberfläche eines Kreiskegels, des Präzessionskegels. Einen solchen Vorgang beobachten wir z. B. bei der Bewegung der Erde: hier wirkt die Anziehungskraft der Sonne auf die den Erdäquator umgebende Anschwellung als störende äußere Kraft und versucht die zur Ebene der Erdbahn, der Ekliptik, geneigte Erdachse zur Ekliptik senkrecht zu stellen. Die Erdachse weicht dieser störenden Kraft unter Beibehaltung ihrer Neigung zur Ekliptik aus und beschreibt einen Präzessionskegel von 47° Öffnung um das auf der Ekliptik errichtete Lot.

Beim Langgeschöß greift die Resultante des Luftwiderstandes infolge der Abweichung der Geschößachse von der Flugbahntangente in der Regel außerhalb des Geschößschwerpunktes ein. Die Luftwiderstandsresultante wirkt daher im Sinne der

Kreiseltheorie als störende Kraft, doch ändert diese im Gegensatz zu den Analogien der Astronomie und der allgemeinen Physik dauernd ihre Richtung. Unter diesen Umständen ergibt sich nach der rechnerischen Behandlung des Problems für das Geschöß kein Kreiskegel, sondern ein Zykloidenkegel. Denkt man sich eine zur Schußebene senkrechte Vertikalebene, die sich dauernd mit der Geschößspitze nach vorwärts verschiebt und auf der die Geschößspitze ihre Ausschläge verzeichnen würde, so erhält man für die Präzessionskurve unter Umständen die Gestalt der Abbildung 16.



Abbildung 16.  
Gestalt d. Präzessionskurve.

Die Geschößspitze bleibt bei Rechtsdrill und nicht zu großen Abgangswinkeln dauernd rechts von der Bahntangente. Der Luftwiderstand wirkt daher vorwiegend gegen die linke Seite des Geschosses und drückt dieses nach rechts aus der Schußebene heraus.

Werden alle Faktoren, die die Pendelung beeinflussen, in richtiger Weise zueinander abgestimmt sind (Geschößmasse, Geschößlänge, Hauptträgheitsmomente, Geschwindigkeit und Enddrill), so bleibt das Geschöß zwar nicht dauernd mit seiner Längsachse in der Bewegungsrichtung, die Spitze bleibt aber jedenfalls immer im Fluge voraus, das Geschöß schlägt mit der Spitze zuerst auf das Zielgelände auf: das Geschöß ist „richtig stabilisiert“. Je stärker die Rotationsenergie und je kleiner das Drehmoment des Luftwiderstandes, um so größer wird die Dauer eines Präzessionsumlaufs. Es kann daher unter diesen Voraussetzungen sich die Geschößspitze während des ganzen Fluges nur heben und etwa noch nach rechts gehen, die Geschößachse bleibt ihrer anfänglichen Stellung mehr oder minder parallel, das Geschöß schlägt mit dem Boden zuerst auf das Zielgelände: es ist „überstabilisiert“. Ist die Umdrehungsgeschwindigkeit des Geschosses wegen zu schwachen Drills zu gering, so hat die Geschößachse nicht die Kraft, der störenden Einwirkung des Luftwiderstandes zu widerstehen, das Geschöß ist „ungenügend stabilisiert“, es überschlägt sich oder stellt sich quer zur Flugrichtung.

Die rechnermäßige Ermittlung des Verlaufs der Geschößpendelungen ist u. a. besonders eingehend von Cranz und neuerdings von Noether und von Vahien versucht worden. Alle diese Betrachtungen krankten aber heute noch an dem Übelstand, daß gewisse Annahmen vorausgesetzt werden müssen, über deren Berechtigung die empirischen Grundlagen mehr oder minder völlig fehlen. Die empirische Ermittlung der Geschößpendelungen ist daher eine sehr dankenswerte, allerdings auch überaus schwierige Aufgabe für die experimentelle Ballistik. Einige beachtenswerte Ansätze zu solchen Versuchen zeigen sich in der photogrammetrischen Methode von Neesen (siehe Abschnitt B1) und in ihrem durch Rumpff geförderten weiteren Ausbau für Minenwerfer.

Auch die rechnermäßige Ermittlung des besten Enddrills für bestimmte Geschütz- und Geschößkonstruktionen ist noch wenig gefördert. Die von verschiedenen Seiten aufgestellten Drillgesetze haben nicht von der Notwendigkeit eines empirischen Vorgehens befreit.

Bei kleinen Geschößgeschwindigkeiten und großkalibrigen Geschossen beobachtet man vielfach mit freiem Auge gewisse Flatterbewegungen der Geschößachse. Diese sogenannten „Nutationspendelungen“ werden im wesentlichen verursacht durch unsymmetrische Stöße, die an der Mündung durch die Pulvergase und das buckende Rohr auf das Geschöß ausgeübt werden. Sie verlaufen erheblich schneller als die Präzessionspendelungen und sind diesen überlagert (siehe Abbildung 16). Durch

die Nutationspendelungen wird der Luftwiderstand erhöht und die Trefffähigkeit verschlechtert.

b) Der Einfluß der Erddrehung. Die Berechnung des Einflusses der Erddrehung auf die Seitenabweichung der Geschosse, die hier nur im Ergebnis mitgeteilt werden kann, ergibt: Beim Schießen in der Nord-Süd-Richtung und umgekehrt tritt auf der nördlichen Halbkugel stets Rechtsabweichung, auf der südlichen Halbkugel stets Linksabweichung ein (rechts und links vom Standpunkte des Geschütes aus betrachtet). Die beim Schießen nach anderen als diesen beiden Richtungen wechselnde Seitenabweichung sowie die geringen Schußweitenänderungen lassen sich nur auf Grund umfangreicher Berechnungen feststellen; für die näheren Darlegungen dieser Verhältnisse muß daher auf die einschlägige ballistische Literatur verwiesen werden.

Für die große Masse der Artillerie sind die Abweichungen durch die Erddrehung so gering, daß sie gegenüber den anderen Einflüssen außer Betracht bleiben können. So errechnet Cranz für eine mit 820 m/sek. nach Norden abgefeuerte, 445 kg schwere 30,5-cm-Granate bei einem Abgangswinkel von 44° als Einfluß der Erddrehung eine Schußweitenverkürzung von nur 10 m auf rund 34 km und eine Vergrößerung der Rechtsabweichung von 156 m. Bei den ganz weittragenden Ferngeschützen, wie der bekannten Pariskanone, sind die Einflüsse der Erddrehung allerdings nicht mehr ganz zu vernachlässigen und haben auch tatsächlich Berücksichtigung gefunden.

c) Schiefer Radstand. Die Betrachtungen des Abschnitts B setzten bisher voraus, daß die „Schildzapfenachse“, um die sich das Rohr beim Nehmen der Höhenrichtung dreht, wagerecht liegt. Durch eine Neigung der Schildzapfenachse zur Wagerechten, den sogenannten schiefen Radstand, wie er beim praktischen Schießen häufig ist, wird ein kleiner Fehler in der Erhöhung und damit eine geringe Änderung der Schußweite, ferner ein im Verhältnis zum Erhöhungswinkel größerer Fehler in der Seitenrichtung und dadurch eine einseitige Seitenabweichung verursacht. Die rechnerische Ermittlung dieser Einflüsse sowie die verschiedenen Hilfsmittel zur Ausschaltung des Einflusses des schiefen Radstandes sind in der ballistischen Literatur, besonders in der ausgezeichneten Schrift von Eberhard, „Das Wesen der modernen Visiervorrichtungen der Landartillerie“ (Berlin 1908), eingehend behandelt; hier kann aus Raumrücksichten nicht näher auf die einschlägigen Verhältnisse eingegangen werden.

d) Die Tageseinflüsse. Nach dem Sprachgebrauch, wie er sich im Weltkriege gebildet hat, faßt man unter dem Sammelnamen der Tageseinflüsse alle diejenigen Störungen zusammen, die durch Verschiedenheiten der jeweils herrschenden Bedingungen gegenüber den normalen (schußtafelmäßigen) Bedingungen hervorgerufen werden. Die Kenntnis der Tageseinflüsse und die rechnerischen und praktischen Verfahren zu ihrer Ausschaltung sind alt; dagegen hat sich die praktische Verwertung dieser Kenntnisse für das Schießen der Front erst in der zweiten Hälfte des Weltkrieges und nach Überwindung vieler Widerstände durchzusetzen vermocht. Man kann die Tageseinflüsse in innerballistische und äußerballistische Einflüsse gliedern.

Innerballistisch sind von Einfluß der Grad der Abnutzung des Rohrs, das Geschossgewicht, die Toleranzen in den Abmessungen der Führungsteile, die Herkunft, Lagerung, der Feuchtigkeitsgehalt und die Temperatur des Pulvers. So sinkt mit fortschreitender Abnutzung der Waffe die Leistung, so daß man zur Erreichung der gleichen Schußweite eine größere Erhöhung als beim neuen Rohr anwenden muß. Feuchtes und kaltes Pulver verbrennt im allgemeinen milder und erreicht geringere Leistungen, trockenes und warmes Pulver „verwertet“ sich besser und erreicht höhere Leistungen.

Äußerballistisch sind Wind und Luftgewicht von Einfluß. Wind mit der Schußrichtung vergrößert, Wind entgegen der Schußrichtung verringert die Schußweite. Seitlicher Wind verlegt den Treffpunkt nach der Seite, nach der der Wind weht. Der vielfach behauptete Einfluß reinen Seitenwindes auf die Schußweite sowie der Einfluß reinen Windes in der Schußrichtung auf die Seltenablenkung hat sich bei eingehenden systematischen Versuchen in keiner Hinsicht feststellen lassen. Ist das Luftgewicht größer als das mittlere (schußtafelmäßige), so wird der Luftwiderstand vergrößert und die Schußweite verkürzt. Bei geringerem Luftgewicht als normal wird die Schußweite vergrößert. Das Luftgewicht seinerseits wird in der aus der Physik bekannten Weise durch den Luftdruck, die Lufttemperatur und die Luftfeuchtigkeit bedingt.

### C. DAS GESCHÜTZMATERIAL

Die Entwicklung der Kriegswerkzeuge, insbesondere soweit sie für den Fernkampf bestimmt sind, gibt, so widersinnig dies zunächst klingen mag, einen zutreffenden Maßstab für die technische Entwicklung der Völker in den verschiedenen Abschnitten der Geschichte. Schon die Wurfmaschinen der alten Römer, die zentnerschwere Steine bis 1000 Schritt zu schleudern gestatteten, stellen technisch hervorragende, die Zeitepoche kennzeichnende Konstruktionsleistungen dar. Während die weitere Fortentwicklung dieser Kriegsmaschinen bis ins Mittelalter sich erstreckt, beginnt im 14. Jahrhundert mit der Anwendung des Schießpulvers in der Fernkampfwaffe eine neue Entwicklungsreihe. Diese ist weniger gekennzeichnet durch den allmählichen Übergang zum größeren Kaliber: solche finden sich vielmehr schon sehr frühzeitig (Dulle Griet mit 2—3 m Seelendurchmesser), als durch die fortschreitende Steigerung der Schußweite und vor allem der Trefffähigkeit. Der Übergang zum Hinterlader, zu den rauchschwachen Pulvern zur Verwendung von Qualitätsstählen als Werkstoff und zum Rohrrücklauf stellen auf diesem Entwicklungsgang vielleicht die bemerkenswertesten Stationen dar.

Die Hauptbestandteile des modernen Geschützes sind Rohr und Schießgerüst (Lafette), wozu in der Regel noch als dritter wesentlicher Teil die Protege hinzukommt.

1. DAS GESCHÜTZROHR. Im Rohr wird die latente Energie des Pulvers in Bewegungsenergie umgewandelt. Dabei treten, wie im Abschnitt A schon des näheren erläutert ist, in kürzester Zeit sehr hohe Drücke (bis 4000 kg/qcm) auf, die ebenso rasch wieder zum normalen Atmosphärendruck abfallen. Diesen hohen, stoßweise auftretenden Beanspruchungen muß das Rohr gewachsen sein. Nach den üblichen Festigkeitsberechnungen unter der Annahme statischer Drücke werden nun die äußeren Schichten eines aus einem Stück gefertigten Rohrs (eines „Vollrohrs“) erheblich weniger beansprucht als die inneren Schichten und tragen daher auch zur Widerstandsfähigkeit des Rohrs um so weniger bei, je weiter sie nach außen liegen. Man kann sich daher bei Vollrohren (wenigstens nach den bisher geltenden Anschauungen) gegen die hohen Beanspruchungen überhaupt nicht oder nur mit unverhältnismäßig dicken und daher auch unzulässig schweren Rohren schützen.

Diesem Übelstand hilft der Aufbau des Rohrs aus mehreren Schichten, die „künstliche Metallkonstruktion“, ab. Die besteht in ihrer einfachsten Form aus einem massiven Kernrohr A und einem Mantelrohr B (Abbildung 17). Vor der Vereinigung der beiden Rohre hat in kaltem Zustande das Kernrohr einen äußeren Durchmesser, der größer ist als der innere Durchmesser des Mantelrohrs. Dieses wird erhitzt auf das beim Arbeitsvorgang gekühlte Kernrohr aufgezogen, „aufgeschrumpft“, zieht sich beim Erkalten zusammen und führt zu einer ständigen Beanspruchung des Kernrohrs auf Druck, die der beim Schuß auftretenden Zug-

beanspruchung des Kernrohrs entgegenwirkt. Der Gasdruck kann daher viel höher als beim gleichdicken Vollrohr sein, ehe die zulässige Beanspruchung für die innersten Schichten erreicht wird. Andererseits ist im Ruhezustand das Mantelrohr bereits auf Zug beansprucht; dazu kommt die weitere Zugbeanspruchung durch den Schuß,

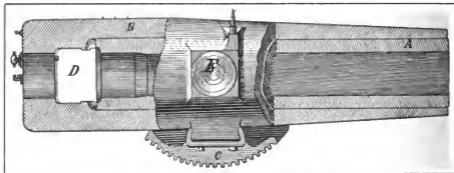


Abbildung 17.

Geschützrohr mit „künstlicher Metallkonstruktion“.

so daß die resultierende Zugbeanspruchung des Mantelrohrs viel höher ist, als die entsprechenden Schichten eines gleichdicken Einlagenrohrs (Vollrohrs). Die richtige Bemessung von Mantelrohr und Kernrohr, insbesondere die Differenz zwischen dem äußeren Durchmesser des Kerns und dem inneren Durchmesser des Mantels, des „Schrumpfmaßes“, ist ebenso wie die technischen Einzelheiten des Arbeitsvorgangs für die Güte der Röhre von ausschlaggebender Bedeutung und wird daher von den großen Waffenfabriken als strenges Fabrikgeheimnis gewahrt.

Bei Geschützen mit größeren Leistungen, insbesondere den Schiffs- und Küstengeschützen, wird vielfach an Stelle der vorbeschriebenen einfachen Mantelkonstruktion eine Mantelringrohrkonstruktion verwandt, bei der entweder über das Mantelrohr oder zwischen Mantelrohr und Kernrohr weitere Verstärkungsringe aufgeschraubt werden.

Aus der Theorie der künstlichen Rohrkonstruktion folgt, daß sich die Beanspruchung innerhalb der ganzen Rohrwandung um so gleichmäßiger verteilt, je mehr Rohrlagen angewandt werden. Diese Überlegung führte Longridge zur Konstruktion der Drahtrohre. Bei diesen wird auf ein dünnwandiges Kernrohr eine große Zahl von Lagen aus flachem Stahldraht mit großer Spannung aufgewickelt und über die Drahtlagen ein Mantelrohr aufgeschraubt. Dieses Verfahren ist besonders in England zu großer Vollkommenheit ausgebildet worden. Doch haben sich trotz mancher Vorzüge, unter denen vor allem auch die einfache und billige Herstellung zu nennen ist, die Drahtrohre im großen und ganzen anscheinend nicht sonderlich bewährt, so daß man auch in England mehr und mehr zu den Mantelrohren und Mantelringrohren übergegangen ist.

Gegen die Theorie der künstlichen Rohrkonstruktion wird von vielen Seiten eingewendet, daß sie mit statischen Drücken statt mit Stoßbeanspruchungen rechne und daher zu falschen Schlüssen führen könne; Vollrohre würden dementgegen bei geeigneter Herstellungsweise sehr wohl die gleiche Widerstandskraft erhalten können wie gleichschwere künstliche Röhre. Tatsächlich hat denn auch die Rheinische Metall- und Maschinenfabrik Feldgeschütze und Kanonen bis zum 15-cm-Kaliber mit

Vollrohren geliefert, die voll befriedigt haben. Zu beachten bleibt, daß bei dem angewandten Verfahren eine erhebliche Vergütung des Materials in den inneren Schichten stattfindet.

Bei Rohren ohne Rohrrücklauf sitzen auf dem Mantel zwei mit diesem aus einem Stück bestehende „Schildzapfen“ (E, Abbildung 17), mittels derer das Rohr in entsprechende Lager der Lafette eingelegt ist; in diesen Schildzapfenlagern erfolgt durch entsprechenden Eingriff der Richtmaschine in den gleichfalls mit dem Rohr festverbundenen Zahnbogen (C, Abbildung 17) die Drehung des Rohrs beim Geben der Höhenrichtung. Bei den Rohrrücklaufgeschützen (vgl. Abschnitt A, 4a) sind die entsprechenden Einrichtungen an der den Rücklauf nicht mitmachenden Unterlafette angebracht.

Die Anzahl der Schüsse, die man aus einem Rohr abgeben kann, ehe es unbrauchbar wird, seine „Lebensdauer“, nimmt mit wachsender Mündungsenergie rasch ab. Während Feldgeschütze, deren Mündungsenergien sich um den Betrag von 100 mt bewegen, viele Tausende von Schüssen aushalten können, ohne in ihren Leistungen merklich nachzulassen, werden neuzeitliche 15-cm-Kanonen, deren Mündungswucht schon über 1000 mt liegt, vielfach bereits nach knapp 1000 Schüssen unbrauchbar; ein merkliches Sinken der Leistung tritt sogar schon nach erheblich kleineren Schußzahlen ein. Bei den ganz weit tragenden schweren Flachfeuergeschützen geht die Lebensdauer schließlich sogar unter 100 Schuß zurück. Der Grund für die Abnutzung liegt in erster Linie in den Ausbrennungen. Eine einwandfreie Klärung der Entstehung dieser merkwürdigen Veränderungen und Zerstörungen des Gefüges vor allem der Felder und dann auch der übrigen Teile der Seelenwandung ist noch nicht geglückt. Es dürfte nur feststehen, daß die hohe Wärmeentwicklung unserer Treibmittel dabei sehr wesentlich mitspricht, indem sie anderen Einflüssen mechanischer und chemischer Art den Boden bereitet.

Der längere, vordere Teil des Rohrs ist innen gezogen. Die Anwendung der gezogenen Bohrung und der „forcierten“ Führung der Geschosse bedingt das Laden der Geschütze von hinten. Der rückwärtige Abschluß der Seele erfolgt dabei durch einen besonderen Verschuß. Als solcher dient in der Regel ein Stahlkeil, der sich in einer quer zur Seelenachse verlaufenden Bohrung des Rohrs, dem Keilloch (D, Abbildung 17) bewegt. Die neuzeitigen Verschlüsse (Gleithebelverschluss, Leitwellverschluss, Schubkurbelverschluss, Fallblockverschluss oder dgl.) sind als Schnelladeverschlüsse ausgebildet, bei denen das Öffnen und das Schließen nur je einen Handgriff erfordert. Im Verschußkeil sind die hier im einzelnen nicht näher zu beschreibenden Teile zum Spannen, Abfeuern, Auswerfen der leeren Hülse sowie die zum Sichern gegen unbeabsichtigtes Abfeuern erforderlichen Mechanismen angeordnet. Beim „halbautomatischen“ Verschuß erfolgt das Öffnen und das Auswerfen der leeren Hülse selbsttätig durch einen beim Rücklauf des Rohrs betätigten Anschlag; beim Einsetzen der Patrone oder der Kartuschhülse schließt sich der Verschuß von selbst. „Ganzautomatische“ Verschlüsse, bei denen das Laden, Abfeuern, Auswerfen, Wiederladen ohne besondere Handgriffe der Bedienung vor sich geht, sind in der Artillerie nur bei gewissen kleinen Kalibern besonders der Marine- und Küstenartillerie verwendet; Maschinenkanonen.

Die Abdichtung der Fugen zwischen Verschußkeil und Rohr, die „Liderung“, erfolgt bei den neuzeitigen Geschützen dadurch, daß sich die meist aus Messing bestehende Kartuschhülse oder Patronenhülse schon bei der ersten Gasentwicklung des Schußvorgangs aufweitet und eng an die Seelenwandungen und die vordere Fläche

des Verschlusses, den Stoßboden, anlegt. Bei älteren Geschützen, bei denen die Treibladung nicht in der metallenen Hülse, sondern in einem Kartuschbeutel in den Ladungsraum eingeführt wird, sind besondere Anordnungen, „Liderungsteile“, zur Abdichtung erforderlich, auf deren verschiedene Konstruktionen im einzelnen hier nicht eingegangen werden kann.

Neben den Keilverschlüssen verschiedener Systeme finden sich bei einzelnen Geschützkonstruktionen, besonders ausländischen, auch noch der grundsätzlich anders gebaute Schraubverschluss, als dessen Hauptvorteile gegenüber den Keilverschlüssen geringeres Gewicht und geringere tote Rohrlänge (d. i. des zur Anbringung des Verschlusses erforderlichen Teils des Rohrs) angeführt werden, der aber andererseits wegen mannigfacher Nachteile sich gegenüber den Keilverschlüssen nicht allgemein durchzusetzen vermag hat.

2. LAFETTEN. Die eigentliche Waffe, das Geschützrohr, wird erst verwendungsfähig durch geeignete Lagerung in einem Schießgestell, der Lafette. Die Lafette muß gestatten, dem Rohr die für das Treffen erforderliche Richtung im Raum zu geben, und hat ferner ein geeignetes Widerlager zur Aufnahme des Rückstoßes zu bilden. Endlich muß sie, mit Ausnahme bestimmter Spezialgeschütze, entweder allein oder meist in Verbindung mit der als Vorderwagen verwendeten Proße dem Transport des Rohrs dienen.

In der Entwicklung der Lafettenkonstruktion sind jahrhundertlang nennenswerte Fortschritte nicht gemacht worden. Erst um die Jahrhundertwende und besonders im ersten Jahrzehnt unseres Jahrhunderts setzt mit dem Ausbau des Rohrrücklaufs ein ganz bedeutendes konstruktives Fortschreiten ein. Ein kurzer Überblick über die Rohrrücklaufgeschütze ist bereits im Abschnitt A 4a gegeben, so daß ein weiteres Eingehen auf diese Fragen sich hier erübrigt. Zu bemerken ist nur die allgemeine Einführung von Schutzschilden, die erst durch die Annahme des Rohrrücklaufs und das dadurch mögliche ständige Verbleiben der Bedienung am Geschütz sich voll ausnützen ließen. Durch die Einführung des Rohrrücklaufs ist die Beanspruchung der Lafetten erheblich herabgedrückt worden; dies geht bei Feldgeschützen so weit, daß man bei der Lafettenkonstruktion mehr auf die Beanspruchungen beim Fahren als auf die beim Schuß zu achten hat.

Bei ortsfesten Geschützen (siehe später) braucht auf das Gewicht der Lafette keine zu große Rücksicht genommen zu werden. Diese nicht als Räderlafetten, sondern als Blocklafetten, Pivotlafetten, Sockellafetten ausgebauten Schießgestelle gestatten daher die weitgehendsten Anordnungen für schnelle Richtungsänderungen, rasches Laden und Abfeuern bis zu nahezu vollkommen mechanischen (elektrischen oder hydraulischen) Bedienung, wie sie teilweise in den Kampftürmen der modernen Panzerschiffe angewandt wird.

3. PROTZEN. Bei den meisten Feldgeschützen und vielen Geschützen der schweren Artillerie bleibt das Rohr zum Fahren in seinem „Schießlager“, in der Lafette liegen. Die zweirädrige und daher allein zum Fahren ungeeignete Lafette wird durch Kuppelung mit einem weiteren zweirädrigen Fahrzeugteil, der Proße, zu einem vierrädrigen Fahrzeug ergänzt. Die Verbindung zwischen Lafette und Proße erfolgt in der Weise, daß ein am Lafettenschwanz angeschmiedeter Ring, die „Proßöse“, in einen in der Verlängerung der Deichsel am rückwärtigen Ende der Proße angeschmiedeten Haken, den „Proßhaken“, eingehängt und eine ungewollte Trennung beider Teile beim Fahren durch eine besondere Sicherung (Proßnagel) verhindert wird.

Diese Art der Verbindung gestattet eine schnelle Vereinigung und Trennung von

Proße und Lafette. Sie gibt weiterhin den beiden Fahrzeugteilen beim Transport eine weitgehende Unabhängigkeit voneinander und erleichtert somit die Fahrbarkeit auch in schwierigem Gelände und bei höheren Gangarten. Die Proße kann endlich zur Aufnahme von Munition, von Vorratsteilen und zum Transport der Bedienungsmannschaften ausgenutzt werden.

Bei manchen Geschützen der schweren Artillerie wird das Rohr zum Transport aus einem Schießlager in ein „Marschlager“ zurückgezogen, um das Gewicht des Rohrs gleichmäßiger auf Lafette und Proße zu verteilen. Bei den schwereren Geschützen, bei denen das Gewicht des Lafettenfahrzeugs bei eingelegtem Rohr zu groß würde, trennt man das Rohr zum Transport von der Lafette und bringt es auf einem besonderen „Rohrwagen“ unter. Das Aus- und Einlegen des Rohrs in die Lafette verlangt dabei bei den Kalibern über 30 cm in der Regel die Verwendung transportabler Kräne (Hebezeuge); trotzdem sind auch diese Konstruktionen derartig entwickelt, daß z. B. das fahrbare 42-cm-Geschütz bei einigermaßen eingespielter Bedienung in zwei Stunden aus der Marschkolonne heraus schußfertig gemacht werden kann.

Während bei den neuesten Konstruktionen selbst die schwersten bis jetzt angewandten Kaliber Räderlafetten haben, sind bei älteren Modellen und vereinzelt auch noch bei Neukonstruktionen Blocklafetten verwandt worden, die zu ihrer Fahrbarmachung entweder mit besonderen Fahrrädern versehen oder auf eigene Fahrstelle (Eisenbahnwagen und dgl.) gehoben werden müssen.

Für besondere Zwecke, die einen schnellen Ortswechsel erfordern, hat man leichtere Geschütze bis herauf zum 10 cm-Kaliber entweder behelfsmäßig oder ständig auf Kraftwagen montiert. Der Kraftwagen dient dabei in der Regel als Fahr- und als Schießgestell. Besonders für Flugabwehrkanonen haben sich solche Anordnungen während der zweiten Hälfte des Krieges gut bewährt. Wird die Vereingung von Triebwagen und Schießgestell in einem Fahrzeug zu schwer, so wird das Geschütz auf einem besonderen „Anhängewagen“, der als Fahr- und Schießgestell dient, untergebracht; dieser Anhänger wird durch einen den Verbrennungsmotor tragenden „Schlepper“ befördert.

Eisenbahnwagen nicht nur als Fahrgestell, sondern auch als Schießgerüst sind schon lange vor dem Kriege besonders in Frankreich und in den Vereinigten Staaten von Amerika benutzt worden. Im Laufe des Krieges haben die Eisenbahngeschütze auf deutscher Seite und auf der unserer Gegner in immer gesteigertem Maße Bedeutung gewonnen. Die stetig verbesserten Mittel zur Erkundung der feindlichen Artilleriestellungen von Erde und Luft aus und die in ungehörttem Maße gesteigerte Artilleriewirkung haben das längere Verbleiben in denselben Artilleriestellungen vielfach unmöglich gemacht und zur Forderung häufigen Wechsels der Stellungen geführt. Für solche Aufgaben erwiesen sich Eisenbahngeschütze als besonders geeignet.

Zur Ausnutzung des an einzelnen Stellen unserer Westfront besonders gut entwickelten Kanalnetzes für häufig und schnell zu wechselnde Stellungen für die schweren Kaliber sind auf deutscher und feindlicher Seite Geschütze auf Prahme und Schleppkähne gesetzt worden. Man ist damit in gewisser Weise zu den „schwimmenden Batterien“ zurückgekehrt, die in früheren Kriegen, z. B. im Krimkriege, vielfach eine Rolle gespielt haben. In weiterem Umfang haben indessen derartige Prahmgeschütze eine Verwendung nicht mehr gefunden.

4. EINTEILUNG DER GESCHÜTZE. Man nimmt in der Regel eine Einteilung der Geschütze nach einem der drei nachgenannten Gesichtspunkte vor: entweder nach



der Seelenweite (dem Kaliber) oder nach der Biegsamkeit der Geschößbahnen oder endlich nach dem Verwendungszweck.

Bei der Einteilung nach Seelenweiten kann man von leichten (bis 10 cm ausschl.), mittleren (10 cm und 15 cm), schweren (21 cm) und schwersten (30,5 cm bis 42 cm) Kalibern sprechen. Die Einteilung nach der Biegsamkeit der Flugbahnen unterscheidet zwischen Flachfeuergeschützen und Steilfeuergeschützen. Flachfeuergeschütze oder Kanonen haben verhältnismäßig große Anfangsgeschwindigkeiten (von 400 m/sec.



Abbildung 18.

7,7-cm-Feldkanone (Krupp).

aufwärts), damit gestreckte Flugbahnen, gute Tiefenwirkung der Streugeschosse (siehe auch Abschnitt D), gute Durchschlagskraft gegen aufrechte Ziele und große Schußweiten erreicht werden. Zur Erzielung der großen Anfangsgeschwindigkeiten erfordern die Kanonen verhältnismäßig lange Rohre (zwischen 25 und 45 Kaliber), große Ladungsräume und große Pulverladungen. Ältere Kanonen mit geringeren Leistungen haben meist nur eine einzige Ladung, während bei den neueren, auch den leichteren Flachfeuergeschützen zur Schonung der Waffe und zur Ersparnis an Pulver zwei oder mehr Ladungen verwandt werden. Entsprechend ihren wichtigsten Aufgaben

wendet man bei den Flachfeuergeschützen (abgesehen von den Flugabwehrkanonen) nur die „untere Winkelgruppe“, d. s. Erhöhungen des Rohrs zwischen  $0^\circ$  und  $45^\circ$ , an. Zur Bekämpfung von Zielen hinter starken Deckungen oder in gedeckten Räumen größerer Widerstandsfähigkeit, Unterständen und dgl. braucht man Geschütze, die auf allen in Betracht kommenden Kampferfernungen genügend stark gekrümmte Flugbahnen, also verhältnismäßig große Fallwinkel gestatten. Solchen Zwecken dienen in erster Linie die Steilfeuergeschütze, die in relativ kurzen Rohren (im allgemeinen 10 bis 18 Kaliber lang) kleinere Ladungen wechselnder Größe (Kartusche in Teilladungen) verwenden. Kommen neben den kleineren Ladungen zur Erzielung stärkerer Fallwinkel auch große Ladungen mit flacheren Flugbahnen und größeren Schußweiten zur Verwendung, so spricht man von Haubitzen. Ist dagegen die Bekämpfung von Zielen hinter und unter Deckungen durch den Schuß von oben her, nach Bedarf auch mit der „oberen Winkelgruppe“ (Erhöhungen über  $45^\circ$ ), die Hauptaufgabe, so spricht man von Mörzern. In den letzten Jahren hat sich der Unterschied im Aufbau der beiden Geschützarten (Flachfeuer- und Steilfeuergeschütze) durch die Anwendung kleinerer Ladungen bei Kanonen

und durch die Verwendung starker Ladungen bei den Steilfeuergeschützen mehr oder minder verwischt.

Nach dem Verwendungsort kann man unterscheiden:

a) Feldgeschütze. Der Bewegungskrieg

zeigt vielfach sichtbare, oft schnell sich bewegende, rasch auftauchende und wieder verschwindende Ziele (Schützen, Artillerie, Reiter, Kraftwagen). Zu ihrer Bekämpfung ist in erster Linie ein auch im schwierigen Gelände leicht bewegliches Flachbahngeschütz, eine Feldkanone, erforderlich. Die Forderung, gute Beweglichkeit mit noch ausreichender Wirkung des Einzelschusses und genügender Schußweite zu verbinden, hat in den meisten Staaten zu einem Feldgeschützkaliber zwischen 7,5 und 9 cm, meist 7,5 cm oder 7,7 cm geführt. Eine besondere Gattung der Feldkanonen stellen die



Abbildung 19.

Lange schwere Feldhaubitze 13.



Abbildung 20.

Die Technik im XX. Jahrhundert. VI.

10-cm-Kanone 14.

Infanteriegeschütze dar, die aus der Forderung entstanden sind, der Infanterie leichte, auch im Trichtergelände durch Mannschaften fortzuschaffende Geschütze geringerer Schußweite, aber ausreichender Wirkung des Einzelschusses mitzugeben.

Abbildung 18 zeigt den Typ einer modernen Feldkanone von Krupp.



Abbildung 21.

10-cm-Kanone 17.

Zur Bekämpfung von Zielen hinter Deckungen oder inschwächeren Eindeckungen ist schon für den Bewegungskrieg ein leichteres Steilfeuergeschütz, eine leichte Feldhaubitze erforderlich. Ihr Kaliber ist, so bei uns in Deutschland, 10,5 cm, vereinzelt auch

12 cm. Für die stärkeren Deckungen, wie sie schon beim vorübergehenden Erstarren des Bewegungskrieges auftreten können, besonders aber im Stellungskrieg vorkommen, reicht die Wirkung der leichten Haubitzen nicht mehr aus. Es tritt die schwere Feldhaubitze, meist im Kaliber von 15 cm (Abbildung 19), hinzu, die bei ergiebiger Wirkung des Einzelschusses noch ausreichende Beweglichkeit besitzt, um dem Feldheer auch im Bewegungskrieg überall hin folgen zu können: „schwere Artillerie des Feldheeres“. Diese war bei Beginn des Krieges besonders bei uns in Deutschland zu hoher Vollkommenheit entwickelt, während sie auf der feindlichen Seite bei Kriegsbeginn nahezu völlig fehlte. Ihrem Vorhandensein und ihren glänzenden Leistungen ist in erster Linie zu danken, daß uns bis weit in das Jahr 1918 hinein bei unseren

Offensiven schnellerdrückende artilleristische und danach auch allgemeine Erfolge beschieden waren. Neben den schweren Haubitzen führte die deutsche schwere Artillerie in beschränkter Zahl auch gespannte 10-cm-Kanonen-



Abbildung 22.

21-cm-Mörser (Krupp).

batterien (Abbildung 20 und 21) und 21-cm-Mörser (Abb. 22).

b) Belagerungsgeschütze. Für die Belagerung von Festungen und für den Stellungskampf fanden neben den vor-



Abbildung 23.

15-cm-Kanone 16 (Krupp).

erwähnten, insbesondere den schwereren Geschützen auch noch gewisse besonders schwere Sonderkaliber Verwendung. In erster Linie ist hier die 15-cm-K. 16 (Abbildung 23) zu nennen, die im übrigen infolge ihrer glänzenden konstruktiven Durchbildung sich auch für die langsameren Phasen des Bewegungskrieges eignete. Als schwerstes Steilfeuer fanden, besonders in den einleitenden Festungskämpfen des Weltkrieges, 30,5-cm- und 42-cm-Mörser Verwendung. Bei beiden Kalibern waren sowohl ältere, auf Eisenbahnwagen zu fahrende und unter Verwendung von Hebezeugen in längerer Zeit schußfertig zu machende Typen, als auch mit Motorzug gespannte Batterien vorhanden, die in wenigen Stunden aus der Fahrbereitschaft in die Schußbereitschaft überführt werden konnten (Abbildung 24). Die gewaltige Wirkung besonders der 42-cm-Mörser gegen die bisher für unüberwindlich gehaltenen



Abbildung 24.

42-cm-Mörser (Krupp) in Feuerstellung.

belgischen Festungen ist bekannt. So durchschlug vor Antwerpen eine 42-cm-Granate die 16 cm starke Panzerkuppel eines 15 cm-Panzerturms des Forts Wawre-St. Catherine (Abbildung 25), gelangte, da der Zünderauf Verögerung gestellt war, im Inneren des Turmes zur Detonation, zerriß die

Panzerkuppel in zwei Stücke und warf deren eines unmittelbar neben den Turm, das andere 50 m weit nach der Seite, wo es aufrecht im Wall stecken blieb. Die spätere Besichtigung der Durchschlagsstelle gab ein latt aus der Panzerkuppel herausgestanztes Loch, die wiedergefundene Geschößspitze war völlig unbeschädigt und weißscharf: ein schönes Zeugnis für die glänzenden Leistungen unserer deutschen Stahlindustrie.

Im Stellungskampf fanden auch die schon früher kurz erwähnten Eisenbahngeschöße Verwendung, deren eines Abbildung 26 zeigt.

c) Festungs- und Küstengeschöße. In der Verteidigung der Festungen und der Küste werden naturgemäß zum großen Teil auch Geschöße der unter a und b erwähnten Klassen verwendet. Daneben finden sich aber entsprechend der Art des



Abbildung 25. Geschößpanzer, durch Volltreffer einer 42-cm-Granate zerstört.

Kampfes auch vielfach ortsfeste Geschöße in größerer Zahl. Die Bindung dieser Geschöße an einen einzigen Aufstellungsort hat den Vorteil der Unabhängigkeit vom Gewicht. Damit können alle Maßnahmen zur schnellen Richtungsänderung und Feuerschwwindigkeit getroffen werden. Solche Geschöße sind daher nicht in Radlafetten, sondern auf festen Pivots montiert. Die Bindung an einen einzigen Aufstellungsort verlangt aber andererseits weitgehende Maßnahmen gegen feindliche Erkundung und feindliches Feuer. Dieser Schutz wird in erster Linie durch entsprechende Aufstellung im Gelände anzu. eben sein. Daneben ist Schutz durch teilweise oder ganze Panzerung nötig. Die an der Küste vielfach noch verwendeten Verschwindlafetten sind bereits in Abschnitt A 4a (Abb. 5) erwähnt. Ein halbgepanzertes Geschöß in „Schirmlafette“ zeigt Abbildung 27. Ganz unter Panzer gestellte Geschöße fanden sich in großer Zahl in den Befestigungsgruppen der früheren deutschen Westgrenze, in den französischen und besonders auch den belgischen Festungen. Abbildung 28 gibt als Beispiel einen Hauptpanzerturm.

Entsprechend der Mannigfaltigkeit der Ziele im Festungskampf finden sich in der Festungsartillerie alle Kaliber vom leichtesten Schnellfeuergeschöß zur Sturmabwehr bis zu den schweren Steilfeuergeschößen zur Bekämpfung der feindlichen Artillerie- und Infanteriestellung und zu den weitrtragendsten Flachfeuergeschößen zur Störung

des feindlichen Anmarschs und Nachschubs. An der Küste überwiegt das Flachfeuer in den leichteren Kalibern zur Bekämpfung von Landungsversuchen, in den schweren zur Beschießung der als aufrechte Ziele anzusehenden Schiffe und zum weiten Abhalten dieser Schiffe von den Landanlagen. Daneben finden



Abbildung 26.

24-cm-Kanone (Krupp) auf Eisenbahnwagen.

sich aber auch an der Küste schwere Steilfeuerbatterien zur Wirkung gegen die Panzerdecks der Schiffe von oben her. Neuerdings scheint, besonders in den Vereinigten Staaten, der auf Eisenbahnwagen beweglichen Küstenartillerie gegenüber ortsfesten Geschützen der Vorzug gegeben zu werden.

d) Schiffsartillerie. Die Schiffsartillerie soll auf weite Entfernungen gegen feindliche gepanzerte Kriegsschiffe sowie gegen Landziele, außerdem im Nahkampf gegen lebende Ziele auf den feindlichen Decks, gegen Torpedoboote usw. wirken. Dementsprechend finden sich in der Schiffsartillerie gleichfalls alle Kaliber vertreten.

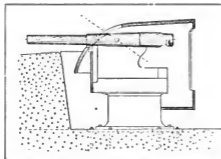


Abbildung 27.

Geschütz in Schirmlafette.

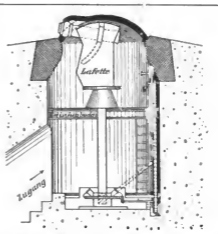


Abbildung 28.

Haubitze unter Vollpanzer.

Die Möglichkeit der vollen Ausnutzung aller an Bord befindlichen Hilfsmittel (elektrischer Kraft, Dampfkraft, hydraulischen Drucks) hat gerade die Schiffsgeschütze zu Maschinen hoher Vollkommenheit entwickeln lassen. Die Notwendigkeit, den geringen verfügbaren Raum aufs äußerste auszunutzen, hat zu verhältnismäßig geringen Längen der Rohrrückläufe bei Schiffsgeschützen geführt. Man unterscheidet bei der Schiffsartillerie nach den Kaliberstufen die leichte Artillerie bis herauf etwa zum 9-cm-Kaliber, die mittlere Artillerie bis zur Rohrweite von 17 cm und darüber die schwere Artillerie, in der Kaliber bis 45 cm vorkommen.

e) Flugabwehrartillerie. Die gewaltige Entwicklung des Luftfahrwesens, besonders der Flugzeuge, hat während des Weltkrieges die anfangs nur in schwachen Ansätzen vorhandene Flugabwehrartillerie ganz bedeutend gefördert. Das Flugzeug mit seiner hohen Geschwindigkeit (im Durchschnitt 35 bis 45 m/sek., bei günstigem Wind mehr) und seiner Fähigkeit, rasch und unvorhergesehen seine Bewegungsrichtung im dreidimensionalen Raume zu ändern, stellt eins der schwierigsten Ziele für den Artilleristen überhaupt dar. Ein zu seiner Bekämpfung geeignetes Geschütz muß daher die Möglichkeit schnellster Richtungsänderung, große Feuergeschwindigkeit und eine hohe Anfangsgeschwindigkeit besitzen zur Abkürzung der Geschößflugzeiten, innerhalb derer das Ziel Richtungsänderungen vornehmen kann. Ferner muß Erhöhungsmöglichkeit wenigstens bis  $70^\circ$ , möglichst darüber, vorhanden sein. Diesen Anforderungen entsprechen die gewöhnlichen Räderlafetten, wie die Erfahrung gezeigt



Abbildung 29.

Flugabwehrkanone (Krupp) auf Kraftwagen-Anhänger.

hat, in keiner Hinsicht. Man war daher gezwungen, Sondergeschütze mit einer allein dies schnelle Bewegung des Rohrs gestattenden Sockel- oder Pivotlafette zu bauen. Vielfach wurden diese Flugabwehrkanonen, um sie rasch nach den durch Flieger bedrohten Stellen werfen und andererseits der Bekämpfung durch die feindliche Erdartillerie schnellentziehen zu können,

auf Kraftwagen oder Anhänger von Kraftwagen montiert. Abbildung 29 zeigt eine solche K-Flak (Kraftwagen-Flugabwehrkanone).

Zur Verwendung in Festungen und an der Küste sowie an den durch Fliegerangriffe ständig bedrohten Punkten (wichtigen industriellen Anlagen und dgl.) werden Flugabwehrkanonen auch ortsfest auf Sockel oder Pivots aufgestellt, die einbetoniert sind. Als obere Kalibergrenze der Flugabwehrartillerie gilt im allgemeinen im Hinblick auf die erforderliche Feuergeschwindigkeit 10 cm.

f) Gebirgsgeschütze. Im Gebirgskrieg müssen die Geschütze vielfach durch Tragetiere befördert werden. Erfahrungsgemäß kann man nun einem Tragetier nicht gut über 125 kg Nutzlast zumuten. Spezielle Gebirgsgeschütze müssen daher so gebaut sein, daß zum Transport eine Zerlegung in solche Teile möglich ist, deren Gewicht die angegebene Grenze nicht überschreitet. Dies bedingt ganz besondere Konstruktionen, die sich namentlich bei neuzeitigen Gebirgsgeschützen, von denen man höhere Leistungen fordert, mit Rücklicht auf das Rohrrücklaufprinzip und auf die längeren Rohre schwierig gestalten. Oft ist sogar eine Zerlegung des „verschraubbaren Rohrs“ notwendig geworden. Die Verwendung im Gebirge erfordert auch für Gebirgskanonen „biegsame Flugbahnen“, so daß sie sich in dieser Hinsicht den Gebirgshaubitzen nähern.

In ähnlicher Weise wie Gebirgsgeschütze sind vielfach die Geschütze für Kolonialkrieg gebaut.

g) Minenwerfer sind Mörser (meist Vorderlader) im Kaliber zwischen 7,5 und 25 cm, die zum Schleudern von dünnwandigen, mit starker Sprengladung gefüllten Geschossen (Minen) auf kurzen Entfernungen (in der Regel von etwa 200 bis höchstens 2000 m) mittels der oberen Winkelgruppe, nur ausnahmsweise auch im Flachschuß, bestimmt sind. Bei den verlangten nur kleinen Schußweiten können die Rohre verhältnismäßig kurz, die Anfangsgeschwindigkeiten klein (zwischen 50 m/sek. und 150 m/sek.) gehalten werden. Dies führt zu geringen Gewichten, leichten Lafetten und ermöglicht den Transport der Geschütze durch Mannschaften auch im schwierigen Trichtergelände sowie die gedeckte Aufstellung in den vorderen Gräben.

Eine Abart der Minenwerfer bildeten die Gaswerfer, bei denen aus ganz behelfsmäßigen Rohren Gasflaschen in größerer Zahl nach bestimmten Abschnitten der feindlichen Stellung geworfen worden sind.

h) Infanteriegeschütze. Die fortschreitende Entwicklung im Stellungsbau und in der Organisation der Verteidigung führte dazu, daß es selbst dem heftigsten und gehäuftesten Artilleriefeuere nicht gelang, alle Widerstandseinrichtungen des Verteidigers zu brechen. So bildeten besonders die unversehrt gebliebenen, gut gedeckten Maschinengewehrnester ein schweres Hemmnis für den Angriff. Zu ihrer Bekämpfung werden der Infanterie besondere, leicht auch durch Mannschaften zu bewegende Geschütze, Infanteriegeschütze beigegeben, die einen wirksamen Einzelschuß bis etwa 2500 m gestatten.

5. DIE RICHTMITTEL. Wie im Abschnitt über äußere Ballistik dargelegt, ist die Geschosbahn eine im doppelten Sinne gekrümmte Kurve (Abbildung 30). Das Geschos verläßt das Rohr zunächst in Richtung der verlängerten Seelenachse M—A und weicht dann, bei Rechtsdrall im allgemeinen nach rechts, aus der Schußebene M—A—B heraus, um den Mündungshorizont M—B—C im Punkte Z zu treffen. Man hat also, damit die Flugbahn wirklich das Ziel Z erreicht, dem Rohr den Erhöhungswinkel A—M—B zu geben und außerdem die Schußebene A—M—B um den Winkel B—M—C, die „schußtafelmäßige Seitenverschiebung“ links am Ziele



vorbei zu richten. Beide Winkel, Erhöhung und schußtafelmäßige Seitenverschiebung, ermittelt die Ballistik; sie sind in den Schußtafeln oder in der Teilung der Richtmittel niedergelegt. Je nach der Art und Weise der Einstellung der beiden Winkel spricht man vom direkten oder vom indirekten Richten. Zwischen diesen beiden Verfahren liegen noch gewisse Übergangsstufen.

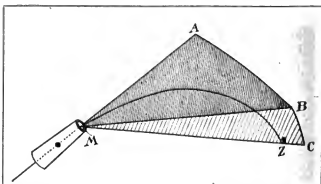


Abbildung 30.

Prinzip des Einrichtens.

a) Das direkte Richten. Die einfachsten Hilfsmittel zum direkten Richten sind Visier und Korn. Das Visier V (Abbildung 31) befindet sich am oberen Ende des „Aufsatzes“, der eine Verstellung nach Höhe und Seite innerhalb gewisser Grenzen gestattet. Das Korn K, ein spitzbogenförmiges Stahlstück, ist am Rohr entweder über der Mitte der Mündung oder an der rechten Schildzapfenseite fest eingeschraubt. Die Verbindungslinie der Mitte der Visierkimme und der Kornspitze ist, wenn der Aufsatz nach Länge und Seite auf Null steht, zur Seelenachse parallel ( $V-K$  parallel  $S-S'$ ). Zieht man die gerade oder bogenförmige Aufsatzstange heraus bis zur

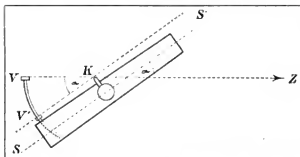


Abbildung 31.

Richten über Visier und Korn.

gewünschten Stellung, so schließt die Visierlinie  $V-K$  mit der Nullage  $V'-K$  und somit auch mit der zu dieser parallelen Seelenachse  $S-S'$  den Aufsatzwinkel  $\alpha$  ein. Visiert man nun ein mit  $V$  und  $K$  auf gleicher Höhe liegendes Ziel  $Z$  an, so ist auch der „Erhöhungswinkel“  $\epsilon$ , d. h. der Neigungswinkel der Seelenachse zur Horizontalen, gleich  $\alpha$ . Liegt das Ziel um einen Winkel  $\gamma$ , den „Geländewinkel“, höher oder

tiefer als  $K$ , so ergibt sich der Erhöhungswinkel zu  $\epsilon = \alpha + \gamma$  oder  $\epsilon = \alpha - \gamma$ . Die Aufsatzstange trägt neben der Gradteilung, die zur Einstellung der Aufsatzwinkel dient, vielfach noch ein oder mehrere Entfernungsteilungen; neben den Gradzahlen sind die mit diesen unter normalen Bedingungen zu erreichenden Schußentfernungen angeschrieben.

Die unmittelbare Seitenrichtung wird dem Geschütz ganz entsprechend erteilt. Die Visierkimme ist auf der Aufsatzstange seitlich verschiebbar. In ihrer Nullage ist die Visierlinie auch von oben gesehen der Seelenachse parallel. Verschiebt man nun z. B. die Visierkimme nach links und richtet die Visierlinie wieder auf das Ziel ein, so schlägt die Schußebene links am Ziel vorbei. Auf diese Weise lassen sich die

Rechtsabweichung des Geschosses infolge des Dralls, der Wind und andere auf eine Seitenablenkung hinzielende Einflüsse ausschalten. Die gewünschte Verschiebung der Visierlinie nach links kann auch dadurch erreicht werden, daß man die Aufsatzstange, von hinten gesehen, in einer nach links geneigten Hülse führt. Das Maß dieser „Schrägstellung“ des Aufsatzes gibt einen im Mittel für alle Entfernungen brauchbaren Ausgleich der Drallabweichung des Geschosses. Bei den meisten neueren Flachfeuergeschützen und auch einem Teil der Steilfeuergeschütze der leichteren Kaliber ist der Aufsatz schräg gestellt.

An Stelle der durch Visier und Korn dargestellten Visierlinie ist schon vor dem Weltkriege fast durchweg die optische Achse eines auf den Kopf der Aufsatzstange befestigten Zielfernrohrs getreten. Beim alten Kimmenaufsatz kann das Auge nicht gleichzeitig auf Visierkimme, Kornspitze und Ziel scharf eingestellt werden; es muß sich beim Richten vielmehr immer abwechselnd auf einen dieser Punkte akkommodieren. Beim Fernrohraufsatz dagegen sieht das Auge den Zielpunkt im Glase zusammen mit der die Richtung der optischen Achse bestimmenden Marke stets gleichzeitig vollkommen scharf. In diesem Umstande liegt einer der Hauptvorteile des Fernrohraufsatzes gegenüber dem alten Kimmenaufsatz begründet. Tatsächlich hat die Einführung des Fernrohraufsatzes eine beträchtliche Verschärfung des Richtens gebracht, die sich u. a. in einer Verringerung der Breitenstreuungen auf etwa  $\frac{1}{3}$  beim gleichen Geschütz zeigte.

Statt wie beim Stangenaufsatz den Aufsatzwinkel durch Herausziehen der Aufsatzstange einzustellen, kann die Einstellung auch dadurch erfolgen, daß man den Aufsatzkopf und damit

die Visierlinie zur Seelenachse um den gewünschten Winkel neigt. Die Einstellung dieser Neigung erfolgt dabei auf einer „Aufsatztrommel“, die neben der Gradeinteilung gleichfalls ein oder mehrere Meterteilungen trägt. Beim Trommelaufsatz fällt die vielfach sehr lange, unhandliche und der Beschädigung durch Schuß und Transport ausgesetzte Aufsatzstange fort. Auf

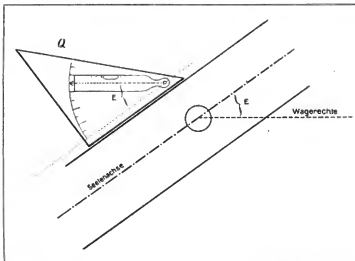


Abbildung 32.

Höhenrichtung mit Quadrant.

der Trommel lassen sich leichter als auf der Stange eine größere Zahl von Meterteilungen (für verschiedene Geschosarten und Ladungen) anbringen. Bei unseren neueren Geschützen sind daher fast ausschließlich Trommelaufsätze im Gebrauch.

Die vorstehenden Betrachtungen über das Einrichten hatten zur stillschweigenden Voraussetzung, daß die Schildzapfenachse wagerecht liegt. Ist diese Achse geneigt (steht eins der beiden Lafettenräder tiefer als das andere, oder ist die Bettung bei Blocklafetten geneigt), so tritt als Folge dieses „schiefen Radstandes“ eine geringe Änderung der Höhenrichtung und eine stärkere Änderung der Seitenrichtung ein (siehe auch B 10c). Die geometrischen Betrachtungen hierüber müssen hier aus Raumrücksichten übergangen werden. Es sei nur als Ergebnis dieser Betrachtungen mitgeteilt, daß, wie man zu sagen pflegt, infolge des Fehlers in der Seitenrichtung „das Geschöß nach der Seite des tiefer stehenden Rades abweicht“. Der Fehler in der Höhenrichtung ist wesentlich geringer als der in der Seitenrichtung und kann daher in der Regel vernachlässigt werden. Bei allen neueren Geschützen ist ein Ausgleich für den Einfluß des schiefen Radstandes durch eine besondere Anordnung getroffen, mittels derer man den Aufsatz aus seiner verkanteten Lage wieder in die normale Stellung (senkrecht oder, wenn es sich um einen schräggestellten Aufsatz handelt, zu dem für die Ausschaltung der Drallabweichung vorgeschriebenen Maße der Neigung) bringen kann.

b) Das Indirekte Richten. Die indirekte Höhenrichtung wird bei älteren Geschützen grundsätzlich, bei neueren aushilfsweise (bei Beschädigung der anderen Hilfsmittel) mit dem Quadrant, einer Art Seßwage, erteilt. Auf dem Bodenstück des Rohrs ist eine Fläche, die „Quadrantenebene“, aufgeschliffen, die bei wagerechter Seelenachse wagerecht liegt. An der Skala des Quadranten Q (Abbildung 32) wird die gewünschte Erhöhung  $\varepsilon$  eingestellt und der Quadrant auf die Quadrantenebene aufgesetzt. Nun gibt man dem Rohr mittels der Höhenrichtmaschine eine solche Stellung, daß die Luftblase des Quadranten zwischen den entsprechenden Stellmarken einspielt. Dann hat die Seelenachse nach elementargeometrischem Gesetz zur Wagerechten gleichfalls die Neigung  $\varepsilon$ .

Bei den neueren Fernrohraufsätzen ist der Quadrant in gewissem Sinne mit dem Aufsatz vereinigt. Man kann sich nämlich am Aufsatzoberteil (Abbildung 31) eine Einrichtung (Libelle) angebracht denken, mittels deren man die Linie VK wagerecht stellen kann. Dann löst sich ohne weiteres statt des Aufsatzwinkels  $\alpha$  auch der Erhöhungswinkel  $\varepsilon$ , d. i. die absolute Neigung der Seelenachse zur Wagerechten, einstellen.

Die besonderen Ausschaltvorrichtungen, wie Regler, Geländewinkeleinstellung und dgl., die sich an neueren Aufsätzen und Quadranten zur Anbringung kleinerer Korrekturen am Erhöhungswinkel vorfinden, seien hier nur dem Namen nach erwähnt.

Die indirekte Seitenrichtung wird in der Regel derart genommen, daß man entweder mittels der gewöhnlichen Visiereinrichtung oder mittels besonderer, auf das Rohr aufzusetzender Geräte einen Richtpunkt anvisiert. Es ist ohne weiteres einleuchtend, daß bei bekannter Lage des Richtpunktes zum Ziel oder bei bekanntem Winkel Richtpunkt-Geschütz-Ziel man auch durch Anrichten dieses Richtpunktes der Schußebene die zum Treffen des Ziels erforderliche Seitenrichtung geben kann. Das bewährteste ältere Gerät zum Nehmen der unmittelbaren Seitenrichtung ist der „Richtkreis“. Er besteht im Prinzip aus einem Transporteur aus Metall, der sich so auf das Rohr aufsetzen läßt, daß die Nulllinie der Teilung parallel zur Seelenachse liegt. Auf dem Transporteur ist ein drehbares Lineal mit aufklappbarem Diopter befestigt. Mittels dieses Richtkreises kann jeder gewünschte Winkel Ziel-Geschütz-Richtpunkt eingestellt werden.

Bei den neueren Richtmitteln sind Fernrohraufsatz und Richtkreis in der Weise vereinigt, daß die als Visierlinie anzusprechende optische Achse um jeden beliebigen, an einem besonderen Teilring abzulesenden Winkel aus ihrer parallelen Lage zur

Seelenachse (Nullstellung) verdreht werden kann. Diese Anordnung bringt beim gewöhnlichen Fernrohraufsatz den Nachteil, daß je nach der Lage des Richtpunktes das Okular eine verschiedene Stellung hat, so daß der Einblick für den Richtkanonier un bequem, in bestimmten Stellungen sogar unmöglich wird. Der Übelstand wird durch das Goerzsche Rundblickfernrohr beseitigt. Bei diesem gestattet eine besondere Prismenanordnung im Inneren des Fernrohrs, daß der Richtkanonier bei feststehendem Okular, also unveränderter Einblickrichtung nach vorwärts, dem Objektiv jede beliebige Stellung geben kann, ohne daß das Bild leidet. Das Objektiv liegt dabei so hoch, daß der Richtwart auch einen hinter ihm liegenden Richtpunkt über seinen

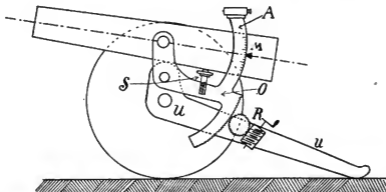


Abbildung 33.

Unabhängige Visierlinie.

Kopf hinweg anschneiden kann. Das Rundblickfernrohr als das zurzeit vollkommenste Richtinstrument hat sich schnell allgemein durchzusetzen vermocht.

Bei ortsfesten Geschützen kann die indirekte Seitenrichtung auch dadurch genommen werden, daß eine an der Lafette angebrachte Marke (Zeiger) auf einem im Raume orientierten Teilkreis eingestellt wird. Auch die Umkehrung (Teilkreis mit der Lafette drehbar, Marke fest) ist im Gebrauch. Bei älteren Geschützen wird statt des vollen Teilkreises nur ein kurzes Stück aus einem solchen verwendet: Richtskala.

c) Die unabhängige Visierlinie. Den Grundgedanken der unabhängigen Visierlinie zeigt schematisch Abbildung 33. In der Unterlafette U ist die Oberlafette O drehbar gelagert; sie läßt sich zur Unterlafette durch die Richtmaschine R verstellen und enthält u. a. auch die in der Figur nicht gezeichneten Rücklaufeinrichtungen. Mit der Oberlafette starr verbunden ist der Aufsatz A, der am Kopfe das Rundblickfernrohr trägt. In die Oberlafette ist das Rohr mittels der Schildzapfen eingelegt. Es läßt sich zur Oberlafette durch Betätigen der Spindel S verstellen. Der Richtkanonier hat nun nichts weiter zu tun, als die Visierlinie (optische Achse des Rundblickfernrohrs) dauernd durch Betätigen der Richtmaschine R auf den Zielpunkt gerichtet zu halten. Die Einstellung des Aufsatzwinkels, das ist des Winkels zwischen Seelenachse und Visierlinie, betätigt ein zweiter Mann mittels der Spindel S durch Einstellen der am Rohr befindlichen Marke M auf den gewünschten Teilstrich am Aufsatz. Schematisch ganz entsprechend kann die Seitenrichtung angeordnet werden.

Während also beim gewöhnlichen Aufsatz der Richtkanonier bei jeder Änderung der Aufsatzstellung das Ziel aus dem Auge verliert, kann er bei der unabhängigen Visierlinie das Ziel dauernd im Richtglase behalten; von der Einstellung des Aufsatzwinkels und der Seitenverschiebung ist er unabhängig.

d) Das mittelbare Einrichten einer Batterie. Die Entwicklung der neuesten Erkundungs- und Kampfmittel hat dazu geführt, daß die Artillerie selbst im Bewegungskriege nur ganz ausnahmsweise solche Stellungen aufsucht, aus denen sie ihre Ziele unmittelbar anrichten kann. Die Wahl vollkommen verdeckter Stellungen zwingt dazu, sich auch zum ersten Einrichten der Geschütze besonderer Hilfsmittel und besonderer Verfahren zu bedienen. Als einfaches, aber typisches Beispiel sei das Einrichten mittels Richtkreises erläutert (Abb. 34): Von der verdeckten Stellung des Geschützes G aus sei ein Einblick in das Zielgelände nicht möglich, wohl aber von einer Stelle B, etwa einer Anhöhe seitwärts-vorwärts der Batterie. Man stellt an diesem Punkt einen Richtkreis auf und richtet seine Nulllinie nach dem Ziel Z.

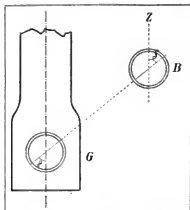


Abbildung 34. Mittelbares erstes Einrichten durch den Richtkreis.

In dieser Stellung wird der Teilkreis festgehalten und durch Visur nach dem Geschütz der Winkel  $\phi$  gemessen. Stellt man den gleichen Winkel  $\phi$  an dem auf dem Geschütz G aufgestellten Richtkreis ein und ändert die Seitenrichtung des Geschützes so weit, daß man im Diopter bei G den äußeren Richtkreis bei B sieht, so ist nach elementargeometrischem Gesetz die Nulllinie des Geschützrichtkreises und damit die zu ihr parallele Seelenachse auch gleichlaufend zur Linie B—Z. Die Seelenachse schlägt also um den senkrechten Abstand des Geschützes G von der Linie B—Z seitlich am Ziel vorbei. Aus diesem Abstand und der Zielentfernung läßt sich der Winkel errechnen, um den man das Geschütz noch schwenken muß, damit die Seelenachse nach dem Ziel zeigt. Sitzt der Richtkreis bei G gegenüber dem bei B um  $180^\circ$  verdreht, wie dies durch besondere Einrichtungen gewährleistet ist, so genügt die Einstellung der gleichen Zahl am Richtkreis G, die bei B abgelesen wurde, um die gewünschte Parallelstellung zu erreichen.

In der weiteren Entwicklung ist der an der Stelle B verwandte Richtkreis, der sogenannte Batterieführerrichtkreis, durch Hinzufügen einer Magnetnadel zum Bussolenrichtkreis vervollkommen. Durch den Bussolenrichtkreis wird es möglich, wenn man von B nicht nach G sehen kann, in einfacher Weise die Richtung zu übertragen. Man ermittelt die Abweichung der Linie B—Z von der Nordrichtung und stellt die gleiche Abweichung innerhalb der Feuerstellung wieder dar: dann hat man in der Feuerstellung ohne weiteres eine parallele Linie zu B—Z.

6. DIE ERKUNDUNGS- UND BEOBACHTUNGSMITTEL. Für den unmittelbaren Handgebrauch des einzelnen Artilleriebeobachters werden heute fast ausschließlich Prismengläser verwendet, die große Handlichkeit, Lichtstärke, gutes Gesichtsfeld und plastisches Bild vor den alten terrestrischen Fernrohren voraushaben.

Für standfeste Aufstellung ist als Erkundungsmittel das „Scherenfernrohr“ im Gebrauch. Es ist im Prinzip auch ein Prismendoppelglas, dessen beide Arme von der

Vertikalstellung bis zur horizontalen Lage seitlich auseinanderzuklappen sind. In dieser seitlichen Lage sind die Objektive erheblich weiter voneinander entfernt als die Okulare, so daß erhöhte Plastik der Bilder sich ergibt. Scherenfernrohr und Doppelglas tragen im Inneren „Strichplatten“ zur Schätzung von Winkelabständen. Außerdem ist das Scherenfernrohr auf einem Teilkreis drehbar, der die Messung größerer Winkel gestattet.

Neben der Erkundung von Erde aus hat sich besonders die Lufterkundung aus Fesselballon, Luftschiff und Flugzeug im Verlaufe des Weltkrieges beträchtlich entwickelt. Außer der unmittelbaren Sichterkundung hat dabei die objektive Erkundung durch photographische Aufnahmen einen ganz bedeutenden Aufschwung genommen.

Die Festlegung bestimmter Ziele kann auch in der Weise erfolgen, daß von mehreren, räumlich in geeigneter Weise verteilten Beobachtungsstellen aus ein Ziel (auch das Mündungsfeuer feindlicher Geschütze) mittels des Scherenfernrohrs oder Richtkreises anvisiert („angeschnitten“) und die Abweichung der Visierlinie von gewissen einheitlichen Bezugsrichtungen, z. B. der Nord-Süd-Richtung, ermittelt wird. Durch graphische Rekonstruktion der verschiedenen Sehlinien auf dem Plan wird dann als gemeinsamer Schnittpunkt der verschiedenen Sehlinien oder als Schwerpunkt des Fehlerpolygons der wahrscheinliche Ort des Ziels erhalten. Diese Art der Zielerkundung ist durch die „Lichtmeßtruppe“ in vollkommener Weise ausgebaut worden. Das Verfahren kann auch dazu verwandt werden, die Lage eigener Geschößeneinschläge oder Sprengpunkte durch Anschneiden der Rauchwolke oder des Feuerscheins festzulegen und somit dem Einschießen dienstbar gemacht werden. Gerade in dieser Hinsicht sind während des Krieges auf deutscher Seite durch die „Artilleriemeßschule“ und besonders den ihr angehörenden Dipl.-Ingenieur und Leutnant d. R. Schwab beträchtliche Fortschritte gebracht worden.

Bei der bewährtesten Art der Schallerkundung, dem „Zeitunterschiedverfahren“ werden mindestens drei Beobachtungsstellen verwandt. Man stellt die Zeitunterschiede fest, die zwischen dem Eintreffen der Knallwelle aus einer feindlichen Geschützstellung an den einzelnen Schallmeßstellen bestehen. Dabei wird entweder subjektiv durch telephonische Verständigung der verschiedenen Beobachter untereinander unter Verwendung von Stoppuhren vorgegangen, oder es werden objektiv mittels besonderer Registriergeräte die Zeitunterschiede ermittelt. Aus den Zeitunterschieden wird unter entsprechender Berücksichtigung der Witterungsverhältnisse, die auf die Schallgeschwindigkeit von Einfluß sind, die Lage des Ursprungs der Knallwelle ermittelt. Nähere Einzelheiten des zu hoher Vollkommenheit entwickelten Verfahrens können hier nicht gegeben werden.

Eine andere, allerdings erheblich ungenauere Art der Schallerkundung besteht darin, daß man mittels der „Richtungshörer“ die Richtung bestimmt, aus der der Schall kommt, und nun die Richtungsstrahlen der verschiedenen Beobachtungsstellen genau so verwertet, wie beim Lichtmeßverfahren beschrieben.

Endlich können Licht- und Schallmeßerkundung teilweise kombiniert werden. Man kann z. B. schon von einer einzigen Beobachtungsstelle aus ein feindliches Geschütz unter günstigen Bedingungen gut bestimmen, wenn man die Richtung nach demselben optisch durch Anschneiden des Mündungsfeuers, die auf dem so erhaltenen Sehstrahl abzutragende Entfernung akustisch nach dem Unterschied zwischen Aufblitzen des Schusses und Ankunft des Knalls der Waffe bestimmt.

Bei allen Schallerkundungen ist neben sorgfältiger Berücksichtigung der Witterungsverhältnisse die Unterscheidung zwischen Waffenknall und Geschößknall sehr wichtig.

7. NACHRICHTENMITTEL. Außer den gebräuchlichsten Nachrichtenmitteln des Telegraphen, des Fernsprechers und des Funkentelegraphen, die auch auf militärischem Gebiete an erster Stelle zu nennen sind, sind als speziell militärische Nachrichtenmittel noch zu nennen der Erdtelegraph, die verschiedenen Arten des optischen Telegraphen (Blinkgerät, Leuchtsignale, Winker usw.), Schallzeichen, Nachrichtengeschosse, Brieftauben, Hunde.

8. ARTILLERIEFAHRZEUGE. Außer den eigentlichen Kampffahrzeugen, der Lafette mit Rohr und der Proße, braucht die Artillerie noch einige Fahrzeuge, die hier lediglich aufgezählt werden sollen: Munitionswagen zum Transport des Schießbedarfes, meist auch als Vorder- und Hinterwagen nach dem Proßsystem ausgebildet; Beobachtungswagen zur Mitführung der zur Feuerleitung unmittelbar benötigten Erkundungs-, Beobachtungs- und Nachrichtenmittel; endlich eine Reihe von Verwaltungsfahrzeugen, wie Vorratswagen, Lebensmittelwagen, Futterwagen, Schmiedewagen und andere mehr.

#### D. DER SCHIESZBEDARF

1. DIE TREIB- UND SPRENGMITTEL. a) Das Schwarzpulver. Die Zeit der Erfindung des Schwarzpulvers läßt sich mit Bestimmtheit nicht angeben. Jedenfalls liegt sie weit vor dem Auftreten des gewöhnlich als Erfinder angesprochenen Mönches Berthold Schwarz, dem wohl lediglich die Entdeckung oder Wiederentdeckung der Verwendbarkeit des Schwarzpulvers als Treibmittel zugeschrieben werden kann. Die Zusammensetzung des Schwarzpulvers hat sich im Laufe der Jahrhunderte trotz vieler Versuche und Vorschläge zur Verbesserung nur wenig geändert. Das mechanische Gemenge aus 75 % Salpeter, 11,5 % Schwefel und 13,5 % Kohle, wie es in Preußen zur Zeit der Einführung der gezogenen Geschütze angewandt wurde, ist im allgemeinen nur wenig variiert worden. Die Änderung der verschiedenen Eigenschaften des Treibmittels, vor allem die so wichtige Regelung der Verbrennungsgeschwindigkeit ist in der Hauptsache weniger durch eine Änderung des Mischungsverhältnisses als vielmehr durch Verschiedenheiten in der Pressung und in der Form (feinere und gröbere Körner, Prismen mit und ohne Durchbohrungen usw.) erreicht worden. Das Schwarzpulver liefert bei der Verbrennung etwa 43 % Gase und 57 % feste Rückstände, die zum Teil als dicker, die eigenen Stellungen verratender und die Bedienung erschwerender Rauch die Mündung verläßt, zum Teil als „Pulverschleim“ die Waffe verschmutzt und die Gangbarkeit der Verschlüsse erschwert. Schwarzpulver ist ferner sehr hygroskopisch. Bei längerer Lagerung tritt leicht eine völlige oder teilweise Entmischung des mechanischen Gemenges ein. Die Empfindlichkeit gegen Schlag und Stoß ist eine sehr hohe, Fertigung, Lagerung und Verwendung daher gefährlich. All diese Nachteile haben dazu geführt, daß das Schwarzpulver als Treibmittel vollständig durch die „rauchschwachen“ Pulver verdrängt wurde. Als Sprengmittel und als Geschosfüllmittel findet es dagegen auch heute noch in beschränktem Umfange Verwendung.

b) Die rauchschwachen Pulver. Die Darstellung der rauchschwachen Pulver nimmt ihren Ausgang von der im Jahre 1846 durch Schönbein erfundenen Schießbaumwolle und von dem im gleichen Jahre durch Sobrero erfundenen Nitroglyzerin. Die Schießbaumwolle, durch Behandeln der Baumwolle mit Salpetersäure, „Nitrieren“, gefertigt, ist in den verschiedensten Formen und Herstellungsarten als Treibmittel versucht worden. Zahlreiche Mißerfolge und Explosionen haben die Chemie nicht abzuhalten vermocht, das angestrebte Ziel mit größter Zähigkeit zu verfolgen, bis es

40 Jahre nach der Erfindung gelang, aus Schießbaumwolle ein wirklich brauchbares Treibmittel herzustellen. Die Schießbaumwolle wird in ihrer hochnitrierten Form nach Bedarf gemischt mit der niedriger nitrierten Kollodiumwolle, im allgemeinen durch entsprechende Behandlung mit Alkohol und Äther „gelatiniert“ und in eine plastische, formbare Masse überführt, der man die zur Regelung des Verbrennungsvorgangs erforderliche Form von Körnern, Blättchen, Röhren, Streifen, Ringen und dgl. gibt. Einzelheiten der Behandlung sowie die verschiedenen bei der Fertigung beigegebenen Zusätze müssen hier übergangen werden. Das entstehende Produkt, als „reines Schießwollpulver“ oder Nitrozellulosepulver angesprochen, findet in der Regel in Handwaffen und Flachfeuergeschützen Verwendung.

Das Nitroglycerin, wie die Schießwolle als Ester der Salpetersäure anzusprechen, wird als Lösungs- und Gelatinierungsmittel für die Kollodiumwolle verwendet und ergibt nach entsprechender Behandlung die reinen „Nitroglycerinpulver“, die in der Form als Würfel, Blättchen, Ringe und dergleichen sich besonders für die kleineren Ladungen der Steilfeuergeschütze eignen, aber in den entsprechenden Formen auch bei schweren Flachfeuergeschützen gebraucht werden.

Als Hauptvorteile der neueren Pulver gegenüber dem Schwarzpulver sind zu nennen: Verbrennung fast ohne Rückstände, daher nur dünner Rauch und schwache Verschmutzung der Waffen; Gasentwicklung für gleiches Gewicht etwa dreimal so groß als beim Schwarzpulver, wodurch die gewaltige Steigerung der ballistischen Leistungen der modernen Waffen erst ermöglicht wurde; Möglichkeit der Regelung der Verbrennungsgeschwindigkeit in sehr weiten Grenzen durch Variieren der chemischen Zusammensetzung und der Formgebung; geringe Hygroskopizität, große Lagerbeständigkeit, Unempfindlichkeit gegen Schlag und Stoß, daher geringere Gefahr bei Transport, Lagerung und Verwendung.

Der strenge Abschluß Deutschlands im Weltkriege und der dadurch bedingte Rohstoffmangel hat die deutsche Artillerie gezwungen, teilweise zur Verwendung von einer Art Schwarzpulver zurückzukehren: das „Ammonpulver“, ein mechanisches Gemenge von Ammonsalpeter und Kohle, wurde zwar nicht für sich allein, aber in Verbindung mit rauchschwachem Pulver ohne größere Nachteile, wenn auch mit gewissen Belästigungen, wie stärkerer Verschmutzung der Waffe, größerer Empfindlichkeit gegen Feuchtigkeit, verwendet.

c) Die Laborierung der Pulver. Zur Verwendung als Treibmittel in der Waffe werden die Pulver entweder in der Patronenhülse zusammen mit dem Geschoß oder getrennt vom Geschoß in besonderen metallenen Kartuschhülsen oder — bei älteren Waffen — in Kartuschbeuteln geladen. Für die modernen, rauchschwachen Pulver reicht dabei die Initialzündung der mit Knallquecksilber und gewissen Zusätzen, wie Schwefelantimon, feinkörnigem Schwarzpulver usw., gefüllten Zündhütchen, Schlagröhren, Reibzündschrauben, Schlagzündschrauben, Glühzündschrauben, die durch Stoß, Schlag, Reibung oder die Wärmewirkung des elektrischen Stroms entzündet werden, nicht aus. Es muß zwischen Initialzündung und eigentliche Kartusche noch zur Verstärkung der Eingangzündung eine Beiladung aus Schwarzpulver oder eine Bodenkartusche aus leichter entzündlichem rauchschwachem Pulver zwischengeschaltet werden. In der Anordnung und Größe dieser Beiladung hat man im übrigen ein weiteres Mittel an der Hand, den Verbrennungsvorgang zu regeln.

d) Die Sprengmittel. Die Zahl der Sprengstoffe in der Ziviltechnik ist außerordentlich groß; in der militärischen Technik, besonders aber als Geschoßfüllmittel finden nur einige wenige von ihnen Verwendung. Auch als Geschoßfüllmittel ist das



mechanische Gemenge des Schwarzpulvers fast ganz durch chemisch einheitliche Sprengstoffe verdrängt worden. Die reine Schießbaumwolle und das reine Nitroglycerin, dieses in Kieselgur aufgesaugt und dann Dynamit genannt, haben nur kurze Zeit als Sprengmittel in Geschossen gedient. Nur in Seeminen, Torpedos wird die reine Schießwolle auch heute noch teilweise verwandt. Als Geschosfüllmittel werden fast ausschließlich die nitrirten Derivate des Steinkohlenteers, die sich in die beiden Hauptgruppen der Phenole und der Kohlenwasserstoffe trennen lassen, gebraucht. Von all diesen Nitroverbindungen ist das Trinitrophenol, gemeinhin Pikrinsäure genannt, die durch Nitrieren des Phenols (der Karbolsäure) entsteht, wohl der zuerst und am längsten verwandte chemisch einheitliche Sprengstoff. Dem Phenol sehr ähnlich ist das Kresol, das zum Ausgangsstoff für das Trinitrokresol dient. Auch die zweite Gruppe der Derivate des Steinkohlenteers, die der Kohlenwasserstoffe, kann in Nitroverbindungen überführt und so zu Sprengstoffen verarbeitet werden. Zu den wichtigsten Sprengstoffen dieser Gruppe ist das Trinitrotoluol zu rechnen, das schon vor dem Kriege als Füllpulver 02 die Pikrinsäure (Granatfüllung 88) nahezu vollkommen verdrängt hat, da es nicht wie diese mit dem Metall der Geschosswandungen hoch explosible (pikrinsaure) Salze bildet und gegen Stoß und Schlag erheblich weniger empfindlich ist. Aus der Gruppe der sonst noch verwandten Nitroverbindungen seien nur dem Namen nach genannt die Nitronaphthaline, die nitrirten Aniline und Diphenylamine.

Endlich ist als vielfach verwandter Sprengstoff noch das Ammonal zu nennen, das allerdings kein chemischer einheitlicher Körper, sondern ein mechanisches Gemenge aus Trinitrotoluol, Ammonsalpeter, Kohle und Aluminium ist.

Auch die Sprengmittel bedürfen zu ihrer Entzündung noch einer Verstärkung der Zündung durch eine besondere Eingangszündung, die aus hochsensiblen Sprengstoffen, meist explosiven Verbindungen der Schwermetalle Silber, Blei, Quecksilber besteht. Diese „Detonatoren“ bringen bei ihrer Zersetzung durch Stoß auch die momentane Zersetzung der eigentlichen Sprengladung; man nennt diesen momentanen Zerfall, der unter ganz beträchtlicher Druckentwicklung vor sich geht, Detonation im Gegensatz zur Explosion, wie sie beim Schwarzpulver, bei normal sich verhaltenden Treibmitteln und bei nicht richtig entzündeten Sprengstoffen auftritt. Die Detonationsgeschwindigkeit der Pikrinsäure beträgt rund 8000; die der anderen gebräuchlichen Sprengstoffe liegen tiefer.

2. DIE ARTILLERIEGESCHOSSE UND IHRE WIRKUNG. Über die äußere Form unserer Geschosse ist bereits im Abschnitt B einiges gesagt worden. Nach der inneren Einrichtung und der damit zusammenhängenden Art der Wirkung unterscheidet man hauptsächlich drei Arten von Geschossen: Granaten, Schrapnells und Kartätschen. Dazu kommen noch gewisse Sondergeschosse für bestimmte, beschränkte Aufgaben.

a) Granaten. Die Granate enthält in der widerstandsfähigen Hülle aus Eisen oder Stahl, die den erforderlichen Zünder trägt, eine brisante Sprengladung (Pikrinsäure, Trinitrotoluol usw.). Das Verhältnis der Wandstärke und der Größe der Sprengladung ist neben anderen Momenten, wie dem Werkstoff und der Art der Herstellung der Hülle, vor allem von der beabsichtigten Wirkung der Granate abhängig. Soll sie sich am Ziel in eine größere Zahl von scharfkantigen Sprengstücken zerlegen und durch diese in erster Linie gegen lebende Ziele wirken, so gestaltet man sie verhältnismäßig starkwandig und gibt ihr eine geringere Sprengladung (Abbildung 35): „Sprenggranaten“. Soll dagegen die Geschosshülle gewissermaßen nur der

Träger sein, der eine möglichst große Sprengladung ans Ziel bringt, kommt es also in erster Linie auf die Wirkung der brisanten Sprengladung an, so wird die Wand möglichst dünn gehalten und das Geschöß zur Erreichung der nötigen Querschnittbelastung und zur Aufnahme großer Sprengstoffmengen verlängert: „Minengranaten, Langgranaten“ (Abbildung 36).

Zwischen beiden Arten gibt es naturgemäß noch zahlreiche Übergangsformen, wenn die Granate jeder von beiden Forderungen, der nach Sprengwirkung und der nach Minenwirkung, entsprechen soll.



Abbildung 35. Sprenggranate.

Die Sprengstücke der Granate stammen, wie sich aus ihrer Konstruktion ergibt, in der Hauptsache aus dem Geschößmantel und erhalten durch den Druck der Sprengladungsgase eine Beschleunigung in seitlicher Richtung. Da ihnen außerdem im Augenblick des Zerspringens noch die fortschreitende Geschwindigkeit des ganzen Geschosses innewohnt, so ergibt sich als Resultat eine im allgemeinen etwas nach vorwärts, in der Hauptsache nach den Seiten gerichtete Wirkung der Sprengstücke. Dazu kommt vereinzelt Wirkung nach vorn durch Teile der Geschößspitze, nach rückwärts durch Teile des Bodens. Wird die Granate durch einen „Aufschlagzünder“ bei Berührung mit dem Boden zur Detonation gebracht, so kann besonders bei unempfindlichen Zündern ein Teil der Sprengstücke von der Erde verschluckt werden und für die Wirkung verlorengehen.



Abbildung 36. Langgranate.

Bei Granaten, die in der Luft zerspringen, „Granat-Brennzünderschuß“, ist die Wirkung nach den Seiten und nach unten für die Bekämpfung von Zielen hinter Deckungen besonders wichtig.

b) Schrapnells. Beim Schrapnell sind in einer dünnwandigen Geschößhülle eine größere Anzahl von Teilgeschossen, in der Regel Hartbleikugeln im Gewicht zwischen 9 und 11 g sowie eine kleine Schwarzpulverladung eingeschlossen. Diese ist bei neueren Schrapnells in der Regel am Geschößboden in einer besonderen Kammer L untergebracht (Bodenkammerschrapnell, Abbildung 37). Das Gesamtgewicht der Füllkugeln beträgt bei gut konstruierten neuzeitlichen Schrapnells 46—50% des Geschößgewichts („Verwertung“).

Die Treibladung wird im geeigneten Zeitpunkt durch einen besonderen Zeitzünder zur Explosion gebracht und stößt die Füllkugeln unter teilweiser Zerstörung der Geschößhülle im allgemeinen in Richtung der Geschößbahn nach vorne aus. Die Kugelgarbe breitet sich etwa kegelförmig aus, die Öffnung des Kegels hängt von der Größe der Bodenkammerladung, der Geschwindigkeit und Umdrehungszahl des Geschosses im Sprengpunkt ab und beträgt z. B. bei den Schrapnells der Feldkanonen 14—22 Grad, je nach der Entfernung. Das Schrapnell wirkt demnach wie ein ins Große übertragener, im Sprengpunkt abgegebener Schrotschuß von sehr großer Streuung. Die Bedeutung des Schrapnells liegt hauptsächlich in der in der Schußrichtung sich erstreckenden Wirkung, seiner „Tiefenwirkung“, die es besonders zur Bekämpfung ungedeckter lebender Ziele geeignet macht. Die Tiefenwirkung bewegt sich bei Feldschrapnells um die Größe von 100 m und steigt bei den schweren Schrapnells des weittragenden Fernfeuers zu Beträgen bis 1000 m. — Im Verlauf des Weltkrieges ist durch das Überwiegen der Ziele hinter starken und stärksten Deckungen die Bedeutung des Schrapnells ganz erheblich gegenüber der Granate gesunken.

c) Kartätschen. Kartätschen sind Blechbüchsen, die in der äußeren Form den anderen Geschossen etwa entsprechen und eine Füllung aus Bleikugeln enthalten (Abbildung 38). Eine Sprengladung oder Pulverladung ist nicht in der Kartätsche. Beim Schuß wird die Kartätsche durch den Treibspiegel T in das Rohr getrieben. Der Verstärkungswulst K findet an den Feldern im Rohr Widerstand, so daß die Blechbüchse zertrümmert wird. Die Kugeln verlassen in unregelmäßiger Garbe wie ein ins Große übertragener Schrotschuß das Rohr. Die Wirkung der Kartätsche reicht nur bis wenige hundert Meter vor der Mündung, ist aber gegen lebende Ziele ganz ausgezeichnet, besonders wenn harter Boden (Chaussee, Straßenpflaster) das mehrfache Abprallen der Kugeln begünstigt.



Abbildung 37.  
Schrapnell.

d) Sondergeschosse. Panzergeschosse sollen in erster Linie die schweren Panzerungen der Schiffe, der Pantertürme in Festungen durchschlagen; sie sind daher besonders dickwandig und mit verstärkter Spitze gebaut und erhalten nur eine kleine, vielfach sogar gar keine Sprengladung. Die Erfahrung hat gezeigt, daß das Durchschlagen von Panzerungen erleichtert wird, wenn man den Granaten eine Kappe aus weichem Stahl aufsetzt: Kappengeschosse.

Gasgeschosse enthalten statt der Sprengladung oder neben einer geringeren Sprengladung bestimmte chemische Stoffe, die durch eine Reizwirkung (Tränen, Husten) oder durch unbedingte Giftwirkung die Gegner in größerer Zahl außer Gefecht setzen sollen. Der Gaskampf hat im Laufe des Weltkrieges bei Angriff und Abwehr dauernd an Bedeutung gewonnen.



Abbildung 38.  
Kartätsche.

Brandgranaten enthalten eine geringe Schwarzpulverladung, die gerade zum Zerlegen des Geschosses ausreicht, und eine größere Zahl von besonderen Brandkörpern. Diese werden brennend aus dem explodierenden Geschos ausgestoßen und sind gegen Ballons, Luftschiffe, Gebäude, Ziele in trockenen Waldungen (Tannenwald) usw. unter Umständen besonders wirksam. Leuchtgeschosse stoßen, durch einen Zeitzünder in der Luft zur Explosion gebracht, einen Fallschirm aus, der sich in der Luft entfaltet und einen brennenden Leuchtkörper langsam zur Erde trägt. Dadurch wird bei geeigneter Sprenghöhe das Umland auf die Zeit von wenigen Minuten taghell erleuchtet.

Nebelgeschosse entwickeln beim Zerspringen dicke weiße Nebelwolken, in der Hauptsache aus Dämpfen bestehend, die dem Gegner die Beobachtung und das Richten erschweren, die eigenen Stellungen und Bewegungen verschleiern sollen.

3. ZÜNDER. Bei den Aufschlagzündern älterer Konstruktion wird ein durch das Zündergehäuse mit Geschos verbundenes Zündhütchen im Augenblick des Auftreffens zusammen mit dem Geschos verzögert, während ein im Zündergehäuse beweglicher schwerer Zündbolzen mit Spitze infolge seines Beharrungsvermögens nach vorn fällt und das Zündhütchen ansticht. Auch die umgekehrte Anordnung (Zündhütchen im beweglichen Bolzen, feststehende Nadel) ist im Gebrauch. Bei neueren Konstruktionen wird ein wenig aus der Spitze des Zünders hervorstehender Stift beim Auftreffen auf den Boden in den Zünder hineingestoßen und veranlaßt so das Anstechen des Zündhütchens. Dieser „empfindliche Aufschlagzünder“ bewirkt ein Zerspringen des Geschosses, ehe dieses ganz oder teilweise in die Erde eingedrungen ist, und erhöht daher die Wirkung der Granate im Aufschlag gegenüber den älteren Aufschlagzündern.

Bei den Zeitzündern hat man zu unterscheiden zwischen den Brennzündern und den mechanischen Zündern. Bei den Brennzündern ist ein Saß aus Schwarzpulver in eine Rille des sogenannten Saßstücks (Abbildung 39) fest eingepreßt. Beim Abschluß wird ein im Zünderkopf beweglicher Schlagbolzen infolge seines Beharrungsvermögens auf ein Zündhütchen geschleudert; der entstehende Feuerstrahl überträgt sich durch einen mit Pulver gefüllten Kanal auf den Anfang des Saßringes. Dieser beginnt zu brennen. Meist haben die Brennzünder zwei Saßstücke, ein oberes festes und ein unteres drehbares. Zwischen beiden Saßringen besteht Verbindung durch ein besonderes Schlagloch, das sich mit dem unteren Saßstück verdrehen läßt. Wenn das im oberen Saßstück brennende Feuer bis zum Schlagloch gelangt ist, schlägt das Feuer durch dieses nach dem unteren Saßstück durch, dieses brennt bis zu dem am Ende befindlichen Schlagkanal ab, durch den die Entzündung sich nach der Sprengladung weiterpflanzt. Die Brennzünder sind in ihrer Brenngeschwindigkeit sehr vom Luftdruck, von der Feuchtigkeit, dem Winde und der Temperatur abhängig. Ein regelmäßiges Brennen ist daher schwer zu erreichen. Man hat deshalb schon lange versucht, an Stelle des Abbrennens der Saßringe eine andere Art der Zeitmessung zu setzen. Aus der großen Zahl der Vorschläge solcher mechanischer Zünder haben sich nur die auf dem Uhrwerkprinzip beruhenden wirklich bewährt.

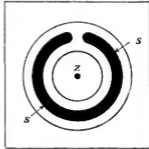


Abbildung 39. Saßstück eines Brennzünder.

Beim Kruppschen Uhrwerkzünder, der als Doppelzünder 16 den strengen Anforderungen des Krieges völlig entsprochen hat, wird das Werk durch eine Feder angetrieben, deren Hemmung beim Abschluß freigegeben wird. Nach einer bestimmten am Zündergehäuse einstellbaren Zeit setzt das während des Geschosfluges ablaufende Uhrwerk einen Perkussionszünder in Tätigkeit, der seinerseits die Entzündung der Sprengladung vermittelt.

Bei einem anderen, gleichfalls schon kriegsbewährten Uhrwerkzünder der Firma Junghans wird das Uhrwerk nicht durch eine Feder, sondern durch kleine Gewichte, die infolge der Zentrifugalkraft bei der Geschosdrehung nach außen bewegt werden, in Gang gesetzt. Ähnliche, auf der Geschosdrehung beruhende mechanische Zünder sind auch in fremden Armeen im Gebrauch.

Zeitzünder und Aufschlagzünder werden meist in ein und demselben Zündergehäuse derart vereinigt, daß je nach Einstellung das Geschos entweder beim Aufschlag oder in der Luft zerspringt; auch wirkt bei derartigen Doppelzündern im Falle des Versagens des Zeitzünders immer noch die Aufschlagzündung.

Sehr wesentlich für die Feldbrauchbarkeit einer Zünderkonstruktion ist, daß der Mechanismus nur an der gewünschten Stelle oder zur gewünschten Zeit, keinesfalls aber im Rohr oder in der Nähe der Mündung wirkt. Die dieser „Rohrsicherheit“ dienenden Einrichtungen sind mannigfacher Art, man kann indessen dabei zwei Haupttypen unterscheiden: bei der Rohrsicherung durch ein Pulverkorn verhindert dieses eine vorzeitige Berührung von Zündhütchen und Zündnadel; eine besondere Perkussionseinrichtung entzündet durch den Stoß beim Schuß dieses Sicherungspulverkorn; erst wenn dieses abgebrannt ist, kann der Zünder wirken.

Die zweite Art der Rohrsicherung ist eine mechanische. Die in den Zünder eingebauten Sicherungsteile bewegen sich infolge der Geschosdrehung nach außen und

geben erst nach einer gewissen Zeit, innerhalb derer das Geschöß mit Sicherheit das Rohr verlassen hat, die Berührung zwischen Nadel und Zündhütchen frei: Klappensicherung; Fliehbolzensicherung.

### E. DIE ZUGKRÄFTE DER ARTILLERIE

Sieht man von der ausnahmsweisen Fortbewegung der leichteren Geschütze und Minenwerfer durch Mannschaften ab, so bildet der Pferdezug der verschiedenen Artilleriefahrzeuge heute noch die Regel. Nur die Eisenbahngeschütze waren selbstverständlich von Anfang an auf den Zug durch die Lokomotiven angewiesen. Daneben waren zu Beginn des Weltkrieges vereinzelt, besonders schwere Batterien zur Fortbewegung durch den Kraftzug auf Straßen eingerichtet. Als Vorspann für die Artilleriefahrzeuge wurden dabei auf deutscher und feindlicher Seite zunächst Kraftzugmaschinen verwandt, wie sie im Handel in der Hauptsache für landwirtschaftliche Zwecke zu haben waren. Im weiteren Verlauf des Krieges gewann der Kraftzug gegenüber dem tierischen Zug immer mehr an Bedeutung, und es setzte der Bau von „Schleppern“ für ausschließlich artilleristische Zwecke ein. Neben den besonders für den Zug auf Straßen und in nicht zu schwierigem Gelände bestimmten Kraftzugmaschinen mit normalen Rädern sind als technisch besonders interessante Konstruktion die Raupenschlepper hervorzuheben, deren Prinzip sich kurz folgendermaßen andeuten läßt: Das Fahrgestell ruht auf vier niedrigen Rädern, die paarweise auf jeder Seite von einem Band ohne Ende aus breiten Plattensegmenten, der Raupe, umschlungen sind. Der Motor treibt Raupe und Räder an und legt gewissermaßen für diese dauernd eine feste Unterlage vor, die den spezifischen Druck auf den Boden ganz erheblich herabsetzt. Die Raupenfahrzeuge zeichnen sich durch große Bewegungsfähigkeit im schwierigen Gelände und über Hindernisse aus. Ihre Verwendung dürfte auch für friedliche Zwecke (in straßenarmen Gegenden usw.) weite Aussichten haben.

Durch Panzerung der Raupenfahrzeuge und Bestückung derselben mit Maschinengewehren und Geschützen gelangt man zu den Tanks, die im letzten Jahre des Weltkrieges für das deutsche Heer besonders lästig wurden.

Es ist unzweifelhaft, daß der besonders bei den Amerikanern schon hoch entwickelte Kraftzug den tierischen Zug immer mehr verdrängen wird. Ob allerdings letzten Endes auch das Reitpferd, wie eine offizielle amerikanische Heereskommission vorschlägt, durch ein leichtes Raupenkraftfahrzeug von  $\frac{1}{2}$  t Tragkraft ersetzt werden wird, darf man mit Fug und Recht bezweifeln.

# GASKAMPF UND GASSCHUTZ

VON C. FRHR. VON GIRSEWALD

Unter Gaskampf versteht man die Verwendung mehr oder weniger giftiger Stoffe in Form von Gasen, in der Luft verteilten Nebeltröpfchen oder in fester Form als Staub mit der Absicht, den Gegner vorübergehend oder dauernd kampfunfähig zu machen. Es muß ausdrücklich betont werden, daß zum Gaskampf der Wille, dem Gegner zu schaden, erforderlich ist. Es ist seit langem bekannt, daß beim Krepiieren jeder Granate große Mengen giftiger Gase entstehen, es bildet sich bei der Explosion des Sprengstoffs das giftige Kohlenoxyd. In der Nähe des Einschlags fand man oft Tote, die keinerlei Zeichen einer äußeren Verletzung aufwiesen. Es hieß dann allgemein, sie wären vom Luftdruck getötet worden, die Mehrzahl dieser Fälle war aber auf Kohlenoxydvergiftung zurückzuführen. Eine solche Vergiftung gehört aber nicht zum Gaskampf, denn es fehlt die Absicht, mit dem giftigen Kohlenoxyd töten zu wollen. Ebensowenig kann man behaupten, daß jemand den Heldentod gestorben sei, wenn er einer Leuchtgasvergiftung oder dem sogenannten Kohlendunst, der Kohlen- oder Koksöfen entströmt, wenn sie falsch behandelt werden, zum Opfer gefallen ist. Auch ein Ersticken durch ausströmende Grubengase beim Bergbau oder Brunnenbau gehört zu den Unglücksfällen. Solche Fälle sind somit streng von dem Gaskampf zu scheiden, selbst wenn sie dicht hinter der Front, in den Stollen der Schützengräben oder im Unterstand vorgekommen sein sollten.

Der Gaskampf ist keineswegs eine Errungenschaft des Weltkrieges. Der Gedanke, dem Gegner durch Staub, Rauch und Gifte zu schaden, ist uralte. Schon im Plutarch im Kapitel XVII der Lebensbeschreibung des Sertorius finden wir Vorläufer des Gaskampfes. Es heißt dort, daß Sertorius im Kampfe gegen die Barbaren aus loser vulkanischer Asche einen Damm errichten ließ. Die Feinde lachten ihn ob dieser Maßnahme zunächst aus. Gegen Morgen aber erhob sich ein Wind, der den losen Staub dem Gegner ins Gesicht wehte, er drang in die Augen, den Mund und in die Nase und belästigte den Gegner selbst in seinen Zelten. Der Wind wurde stärker, das Stauben der Asche wurde durch Schaufeln und sogar durch galoppierende Pferde verstärkt. Am Morgen des zweiten Tages mußten sich die Barbaren ergeben, und Sertorius wurde ganz besonders gelobt, daß es ihm gelungen war, den Gegner ohne Schwertstreich zu besiegen. Aber auch die Stinktöpfe der Chinesen und Japaner sind als Vorläufer des Gaskampfes anzusehen, ebenso der alte Brauch im Mittelalter, Burgen, Höhlen usw. vermittels Rauch auszuräuchern. Es war dies speziell ein sehr beliebtes Mittel der Engländer gegen die Franzosen in den Kämpfen in Nordfrankreich, wo sich die Bevölkerung mit Vorliebe in die weitverbreiteten natürlichen Felsenhöhlen vor dem Feinde zurückzog.

Der erste Vorschlag, Granaten mit Giftstoffen zu füllen, wurde von den Franzosen bereits in den Napoleonischen Kriegen gemacht. Die Ausführung scheiterte jedoch damals an dem Fehlen einer entsprechenden chemischen Industrie. Im Krimkrieg sind nachweislich zuerst von den Russen giftige Rauchtentwicker verwandt worden, die

einen dichten weißen Rauch von Arsenik entwickelten. Ob es sich damals schon um Gaskampf gehandelt hat oder ob der Rauch lediglich als Vernebelungsmittel gedient hat, ist heute schwer zu entscheiden.

Wenn auch der Gedanke des Gaskampfes alt ist, so ist die wirksame Verwendung von Giften als Kampfmittel der Kriegführung erst durch die ungeheure Entwicklung der chemischen Großindustrie ermöglicht worden. Es ist schwer zu sagen, wer zuerst im Weltkrieg die giftigen Gase angewandt hat. Ein jeder schiebt natürlich dem Gegner die Schuld zu. Tatsache dürfte wohl sein, daß in beiden Lagern der Gaskampf schon frühzeitig in Erwägung gezogen wurde. Jedenfalls dachte die Entente bereits zu Anfang des Krieges an die Möglichkeit, mit Blausäure gefüllte Granaten als Kampfmittel zu benutzen. Es geht dies aus einer Zeitungsnotiz des „Giornale d'Italia“ vom September 1914 hervor. Ein gewisser Turpin soll dem Präsidenten Poincaré den Vorschlag gemacht haben, mit Gas auf die Deutschen zu schießen. Anfänglich soll sich Poincaré ablehnend verhalten haben, nachdem er aber von den angeblichen Greueln der Deutschen in Belgien gehört habe, soll er seine Zustimmung gegeben haben, worauf dann Versuche mit Blausäure enthaltenden Granaten auf Hammelherden ausgeführt sein sollen.

Wenn von einer Schuldfrage gesprochen wird, so kann es sich nur um Verletzung der Gesetze des Völkerrechts oder der Menschlichkeit handeln. Auf der letzten Haager Konferenz ist denn auch die Frage der Verwendung von Giftstoffen eingehend erörtert worden. Von seiten der Russen wurde der Vorschlag gemacht, Granaten mit giftigen Gasen zu füllen. Die Anregung fand aber wenig Beachtung, da man an deren Zweckmäßigkeit zweifelte. Ganz allgemein giftige Gase zu verbieten, war nicht angängig, denn, wie bereits erwähnt, entstehen bei jedem Schuß, sowohl beim Abschuß als auch beim Krepieren des Geschosses, Giftschwaden, die in der chemischen Natur des Explosionsvorgangs begründet sind. Das Schießen konnte man natürlich nicht verbieten, man half sich dann in der Art, daß festgelegt wurde, daß „die Splitterwirkung der Granate die Giftwirkung übertreffen müsse“. Es sei hier schon bemerkt, daß sich die Deutschen streng an diesen Wortlaut gehalten haben, bis zu dem Zeitpunkte, wo der Gegner zuerst reine Gasgranaten anwandte. Man mag die Auslegung des Wortlautes der Haager Konvention als Wortklauberei auffassen, eine Verletzung des Völkerrechts lag auf keinen Fall vor, denn England hatte sich seinerzeit geweigert, diesen Absatz zu unterschreiben. Mit dem Augenblick aber, wo England mit in den Krieg eingriff, war dies Abkommen sowieso hinfällig.

Ob durch den Gaskampf die Gesetze der Menschlichkeit verletzt worden sind, muß der Beurteilung jedes einzelnen überlassen bleiben. Jede Form des Kampfes ist grausam. Betrachten wir den Fall, daß ein Verwundeter sich wochen- und vielleicht monatelang im Spital hinquälen muß, um schließlich doch an den Folgen eines Granatsplitters zugrunde zu gehen oder, wenn es gut geht, als Krüppel sein ferneres Dasein fristen zu müssen. Ist ein solcher Fall menschlicher als eine Gasvergiftung, die entweder in kurzer Zeit den Tod bringt oder aber ohne schädliche Folgen für die Dauer bleibt?

So paradox es klingen mag, der Gaskampf wurde dadurch mit der Zeit immer menschlicher, daß man immer giftigere Stoffe verwandte. Die Leiden der Vergifteten wurden abgekürzt. Die Einführung von sogenannten „Reizgasen“ machten den Gegner nur zeitweilig kampfunfähig, wenn sie ohne gleichzeitige Anwendung von Giftstoffen verwandt wurden; bleibende Schädigungen traten nur in seltenen Fällen auf.

## ENTWICKLUNG DES GASKAMPFES

Nachdem die gegenseitigen Kräfte mehr oder weniger ausgeglichen waren, kam es an fast allen Fronten zum Stellungskrieg. Die Front wurde gleichsam zur unterirdischen Festung, man grub sich ein, und die feindlichen Schützengräben näherten sich mehr und mehr den eigenen. Die Entfernung der beiden Gräben war meist so gering, daß ein Sturmreißschießen der feindlichen Gräben nicht mehr möglich war. Die eigenen Gräben lagen bereits im Streufeuer der eigenen Artillerie. Die Infanterie war lahmgelegt, und allerorten wurde der Wunsch laut, den Gegner zunächst auf irgendeine Weise aus dem ersten Graben zu werfen, um freie Hand zum Angriff zu schaffen.

In diesem Stadium des Kampfes wurden die ersten Versuche mit allerhand harmlosen, chemischen Mitteln unternommen. Von Hand geworfene Glasröhren, Konservbüchsen usw., die mit tränenerregenden Stoffen, mit Niespulver oder zum Husten reizenden Flüssigkeiten und festen Substanzen gefüllt waren, sollten den Gegner vorübergehend kampfunfähig machen und den Sturm auf den ersten Graben vorbereiten. Sehr bald aber kam man zum Bewußtsein, daß es sich hier um Versuche mit untauglichen Mitteln handelte, denn die Wurfweite war begrenzt, die Wirkung nur in unmittelbarer Nähe des Einschlags zu spüren, denn die geringen Mengen mischten sich bald mit der Luft und wurden durch zu große Verdünnung schnell unwirksam.

Das nächste Ziel bestand darin, den Gegner nicht nur im ersten Graben, sondern auch in den dahinterliegenden Stellungen mit Gas zu fassen. Hierzu waren aber bedeutend größere Mengen an Gasen und gänzlich neue Verfahren erforderlich. Die ersten größeren Gasunternehmen wurden vermittels des sogenannten „Blaseverfahrens“ ausgeführt. In Stahlflaschen komprimierte giftige Gase wurden in großer Zahl in den vordersten Gräben eingebaut und bei günstigem, d. h. feindwärts wehendem Winde gleichzeitig geöffnet. Eine dichte, geschlossene Gaswolke zog über die Stellungen hinweg, kroch in die Gräben hinein, drang in die Unterstände. Ein Ausweichen war nicht mehr möglich, denn die ganze Umgegend war gleichmäßig verseucht. Je näher man der Abblasestelle war, um so dichter war die Wolke, um so giftiger das Gas.

Mit der Vervollkommnung des Gaskampfes wuchsen Hand in Hand die Erwartungen, die man an dessen Wirkung knüpfte. Man rüstete die Artillerie mit Gas gefüllten Granaten aus, um ganz bestimmte Geländestücke, wie feindliche Artilleriestellungen, Ansammlungen von Reserven, Transporte, Unterkünfte usw. „vergasen“ zu können. Man konnte so die Gaswirkung lokalisieren, weit hinter der Front gelegene Geländestücke unter Gas halten, bestimmte Gegenden verseuchen, so daß sie auch für längere Zeit, Stunden, Tage und selbst Wochen nicht ohne Gasschuß betretbar wurden. Auch die Minenwerfer wurden nach und nach mit Gasmunition ausgerüstet in den schweren Minen konnte man größere Mengen von Gas unterbringen und überraschend zur Wirkung bringen.

Im letzten Jahre des Krieges wurden die sogenannten „Gaswerfer“ aufgestellt. Große Stahlflaschen, mit Giftflüssigkeit gefüllt, wurden in großer Anzahl gleichzeitig durch elektrische Zündung zum Abschluß gebracht und in die feindlichen Gräben geworfen. Es war dies die bei weitem gefürchtetste Gaswaffe, denn wer nicht innerhalb weniger Sekunden seine Gasmaske aufgesetzt hatte, erlag der Gaswirkung. Beim Blaseverfahren konnte man vorher gewarnt werden, meist war der Einbau rechtzeitig erkannt worden oder der Wind war ungünstig, beim Abblasen selbst hörte man rechtzeitig das mit dem Abblasen verbundene Zischen oder man erkannte die Gaswolke selbst, so



daß genügend Zeit für rechtzeitigen Alarm übrigblieb. Auch das Gasschießen der Artillerie und der Minenwerfer fing mit einer der vorhandenen Menge an Artillerie oder Minenwerfer entsprechenden Schußzahl an, um erst im Verlauf von Stunden die gewünschte Gasdichte zu erreichen. Die Gaswerfer aber entluden ihren gefährlichen Inhalt innerhalb weniger Sekunden. Zwar war der Wirkungskreis begrenzt, dafür aber um so gefährlicher.

Man kann die verschiedenen Arten des Gaskampfes mit der Aufgabe vergleichen, einen großen Bogen weißen Papiers mit Tinte schwarz färben zu sollen. Es stehe ein großes Tintenfaß dazu zur Verfügung. Man kann dann eine Reihe von Federhaltern in die Tinte tauchen und einen Tintenkiex neben den andern spritzen. Es wird lange dauern, bis das Papier nur einigermaßen gleichmäßig geschwärzt ist. Wenn wir noch dazu mit einem Feinde rechnen müssen, der die einzelnen Kiexe wieder wegradiert — es ist dies der Wind, der die einzelnen Gasschüsse wieder fortweht —, so wird unsere Aufgabe immer schwieriger. Viel schneller kommen wir zum Ziel, wenn wir die ganze Fläche mit einem sehr breiten Pinsel gleichmäßig überstreichen, so wie sich die Gaswolke aus den Stahlfラスchen über die Ebene wälzt. Den größten, allerdings nur örtlich begrenzten Erfolg werden wir aber erzielen, wenn wir das Tintenfaß einfach umschütten, so wie die Gaswerfer ihren Inhalt plötzlich auf eine bestimmte Stelle des Geländes entleeren.

Man erkennt ohne weiteres, daß das Blaseverfahren bei weitem den größten und ausgedehntesten Erfolg verspricht. Trotzdem ist man allmählich davon mehr und mehr abgekommen, denn wie wir noch sehen werden, verlangt diese Art des Gaskampfes die größten Vorbereitungen und ist am meisten von Wind und Wetter abhängig, so daß die taktische Aufgabe nur in den seltensten Fällen mit dem Abblasen in Einklang zu bringen war. Tage und Wochen mußte man oft auf den richtigen Wind warten, um nicht die eigene Truppe zu gefährden, und oft ist es vorgekommen, daß man den ganzen Einbau wieder aufgeben mußte, da durch die Witterungsumstände der richtige taktische Zeitpunkt verpaßt wurde.

Auch das Artillerie-Gasschießen ist in gewissen Grenzen vom Winde abhängig, bei zu starkem Winde ist die Wirkung nur geringfügig, aber schwacher Wind, der auf die eigenen Gräben zu weht, ist dennoch zum Gasschießen geeignet, da das Gas infolge der großen Entfernung so verdünnt wird, daß es nicht mehr die Gesundheit der eigenen Truppe gefährdet. In bestimmten Grenzen gilt dies auch für die Gaswerfer, denn die absolute Menge an Giftstoff ist bedeutend geringer als beim Blaseverfahren. Die Hauptwirkung der Gaswerfer liegt eben in dem Moment der Überraschung und der allerdings nur örtlich begrenzten Dichte der Gase.

Obschon nicht zum eigentlichen Gaskampfe zu rechnen, so ist hier doch noch die Aufgabe zu erwähnen, das Gelände zu vernebeln, d. h. durch Entwicklung von Rauch oder künstlichem Nebel das Gelände unsichtbar zu machen, um dem Gegner die Sicht zu erschweren oder eigene Bewegungen und Kampfhandlungen zu verschleiern.

Aus rein äußerlichen Gründen mögen auch die Brandgranaten Erwähnung finden, da ihr Aufbau, die sogenannte „Laborierung“, große Ähnlichkeit mit den Gasgranaten aufweist und oft im Felde zu Verwechslungen Anlaß gegeben hat.

Aus dieser kurzen Übersicht der Aufgaben, die mit dem Gaskampf verbunden sind, kann man sich ein Bild davon machen, welch ungeheure Umwälzung die Einführung der Giftgase für die ganze Art der Kriegführung gebracht hat. Man mag den Kampf mit Gasen als eine große Errungenschaft der Neuzeit preisen, man mag ihm gleichgütig gegenüberstehen und sagen: der Zweck heiligt die Mittel, oder man mag ihn

schließlich als unmenschlich verdammen, jeder muß unserer Industrie, in erster Linie unserer chemischen Industrie, uneingeschränktes Lob zollen, daß es ihr gelungen ist, die fast übermenschlichen Aufgaben zu lösen. Sie ist den gewaltigen Anforderungen — fast ein Drittel unserer gesamten Granaten waren zum Schluß des Krieges Gasgranaten — nicht nur in jeder Weise gerecht geworden, sondern es ist ihr bis zum Schluß gelungen, vor der feindlichen Industrie der Gase stets einen großen Vorsprung zu behalten.

Aber nicht nur für den Gaskampf hatte unsere Industrie zu sorgen, sondern fast noch in erhöhtem Maße für den Gasschutz, und zwar für die Zentralmächte unter den ungünstigsten Bedingungen. Nicht nur, daß auch die verbündeten Mächte zum größten Teil auf die deutsche Industrie angewiesen waren, Deutschland war durch die Abschneidung von der Außenwelt lediglich auf seine geringen Vorräte und die eigenen Produkte angewiesen, während der Entente die ganze Welt für ihre Industrie zur Verfügung stand.

Der Laie kann sich schwerlich von der Ausdehnung des Gaskampfes ein richtiges Bild machen, denn in den offiziellen Berichten der obersten Heeresleitung, ebenso wie in den feindlichen Kriegsberichten war von Gaskampfhandlungen wenig zu lesen. Auf beiden Seiten wurde in gleicher Weise mit Gas gekämpft, und keine größere Kampfhandlung war zuletzt ohne Vorbereitung mit Gas mehr möglich. In der Presse erschienen zwar viele Aufsätze von Leuten, die den Gaskampf aus eigener Erfahrung wenig kannten, und die Abbildungen in den illustrierten Blättern waren meist Zerrbilder der Wirklichkeit.

Die Gasmenge, die im Blaseverfahren verwendet wurden, hätten genügt, um die ganze Fläche des Deutschen Reiches meterhoch mit Gas zu bedecken. Jedes Gasgeschloß erforderte eine Menge von Gasgranaten, die die Anzahl von 100 000 oft überstieg. Je weiter sich aber der Gaskampf entwickelte, um so größer wurde die Aufgabe des Gasschutzes. Beides ging naturgemäß Hand in Hand. Der große Vorsprung, den wir im Gaskampf hatten, kam auf der anderen Seite auch unserem Gasschutz zu statten. Der feindliche Gasschutz mußte sich unseren Maßnahmen anpassen, denn sobald sich ein gewisses Gleichgewicht zwischen Gaskampfmitteln und Gasschutz eingestellt hatte, brachten wir wieder neue Gaskampfstoffe zur Anwendung. Es ist der Entente nicht gelungen, uns durch irgendwelche Stoffe zu überraschen, gegen die unsere Masken bei richtiger Anwendung nicht genügenden Schutz geboten hätten.

Der oft erhobene Vorwand, der Feind schädige uns mit unseren eigenen Mitteln oder sei uns gar im Gaskampf überlegen, trifft nicht zu. Selbstverständlich haben wir auch Opfer durch den Gaskampf zu beklagen, auch sind durch Verquickung unglücklicher Umstände, besonders anfänglich, Verluste durch unsere eigenen Großkampfhandlungen eingetreten, sie sind aber verschwindend gering gegenüber den von uns erzielten Erfolgen.

### DIE GASKAMPFSTOFFE

Nicht jedes Gift eignet sich zum Gaskampfstoff. Gerade die stärksten und bekanntesten Gifte, wie Arsenik, Strychnin, Cyankali, Sublimat, Kohlenoxyd und selbst die Blausäure, eignen sich nicht zur Verwendung für den Gaskampf. Wenn diese Substanzen zum Vergiften gebraucht werden, so sind zwar nur geringe Mengen dazu notwendig, aber die Dichte oder die Konzentration ist eine verhältnismäßig große. Anders liegen die Verhältnisse im Felde. Die Giftstoffe sind meistens Gase oder fein verteilte Flüssigkeiten oder Nebeltröpfchen und Rauch, die sich in der freien Luft sehr schnell nach allen Richtungen hin verbreiten und dadurch verdünnt werden. Die Giftigkeit unserer

bekanntem Gifte nimmt nun aber mit der Verdünnung sehr rasch ab, sie würden im Felde sehr bald ihre Wirksamkeit verlieren. Typisch ist das Verhalten der Blausäure. Wenn man einem großen Hunde nur einen Tropfen konzentrierter Blausäure auf die Schnauze fallen läßt, so schlägt das Tier, wie vom Bliß getroffen, tot hin, während verdünnte Blausäure bekanntlich in großen Mengen in Form von Schnäpsen, Kirchwasser und Zwetschenwasser genossen wird.

Andererseits haben sich verschiedene Stoffe als ganz besonders geeignet für den Gaskampf erwiesen, die lange vor dem Kriege schon technisch in großen Mengen gewonnen wurden, so z. B. Chlor, Phosgen usw. Jeder Studierende der Medizin, der Chemie und anderer Naturwissenschaften hat sich in seinen ersten Semestern mit solchen Körpern beschäftigt, manchem ist das Chlor lästig geworden, hat ihn zum Husten gereizt, aber frische Luft brachte bald Erholung. Im Gaskampf gibt es aber meistens kein Ausweichen, überall ist Chlor, mit jedem Atemzuge wird eine weitere Menge von dem Gas geschluckt, die Reiz- und Giftwirkung wird immer stärker. Mit anderen Worten: man braucht für den Gaskampf giftige Stoffe, die selbst in starker Verdünnung sofort vergiftend wirken. Je länger das Gift einwirkt, um so stärker muß die Wirkung sein.

Zum Vergleich der verschiedenen Stoffe hat man die „Giftzahl“ eingeführt. Sie gibt an, wieviel Minuten ein Tier in einem Raume, der mit einer ganz bestimmten Menge Gift angefüllt ist, noch leben kann. Sie ist somit das Produkt aus der Konzentration des Stoffes und der Anzahl Minuten. Je kleiner die Giftzahl, je schneller das Versuchstier eingeht, um so stärker ist das Gift. So wurde z. B. gefunden, daß Phosgen etwa zwanzigmal giftiger ist als Chlor, auch die absoluten Mengen, die zum Tode führen müssen, konnten leicht festgestellt werden.

Ist somit die Auswahl der Giftstoffe schon eine beschränkte, so wird außerdem noch eine ganze Reihe von Eigenschaften verlangt, die den Kreis noch enger zieht. Es ist selbstverständlich, daß man nur solche Stoffe verwenden kann, die schwerer sind als Luft. Leuchtgas, das bekanntlich spezifisch sehr leicht ist, würde einfach in die Höhe steigen und sofort der Einwirkung auf die Menschen entzogen werden. Je schwerer die Gase oder Nebel sind, um so länger werden sie am Boden haftenbleiben, und um so langsamer werden sie sich mit Luft mischen. Ihre Giftwirkung bleibt um so länger erhalten. Das schon erwähnte Chlor z. B. ist in dieser Beziehung als Gaskampfstoff ganz besonders geeignet, denn es ist etwa zweieinhalbmal schwerer als Luft. Andererseits wird nunmehr ohne weiteres klar, daß Kohlenoxyd als Gaskampfstoff völlig ungeeignet ist, denn es ist spezifisch etwas leichter als Luft, das gleiche gilt für die wasserfreie Blausäure.

Ganz besonders wichtig für die Verwendung der Gifte ist ihr Siedepunkt und ihre Flüchtigkeit. Es ist selbstverständlich, daß man beim Blaseverfahren nur solche Stoffe benutzen kann, die bei gewöhnlicher Temperatur schon Gase sind, sonst würden sie überhaupt nicht aus den Stahlflaschen verdampfen. Bei der Füllung von Granaten hingegen werden meist Flüssigkeiten mit möglichst hohem Siedepunkt angewandt. Abgesehen von der technischen Schwierigkeit, Gase in Granaten oder Minen zu komprimieren, verwendet man zur Füllung am besten Flüssigkeiten, weil diese sich durch den Abschluß und durch die Reibung mit der Luft stark erwärmen und beim Kriechen des Geschosses dann verdampfen. Auch feste Stoffe werden zur Füllung verwendet, gleichzeitig muß dann jedoch eine genügende Menge Sprengstoff vorhanden sein, um den festen Körper möglichst fein zu verstäuben, so daß die Stoffe als feiner Rauch zur Einwirkung kommen. Diese Art von Granaten werden als „Gas-Brisanz-Granaten“ bezeichnet.

Wie wichtig die Flüchtigkeit für die Taktik ist, ergibt sich aus folgender Überlegung. Wenn man auf einem Tisch mehrere gleichgroße Flecke von z. B. Alkohol, Wasser und Petroleum macht, so wird der Spiritusfleck sehr bald verschwunden sein, etwas länger haftet das Wasser, während der Petroleumfleck unter Umständen noch nach Tagen vorhanden sein wird. Solange aber noch Gaskampfstoff am Boden haftet, so lange ist das Betreten des Geländes für die eigene Truppe gefahrbringend. Man wird also bei der Offensive nach Möglichkeit leichtflüchtige Stoffe benutzen, bei der Defensive oder zum Verseuchen überhaupt möglichst hochsiedende Gaskampfstoffe. Die genaue Kenntnis der verschiedenen Arten von Gasgranaten ist die Vorbedingung für ihre Verwendung.

Wünschenswert ist ferner, daß sich die Gaskampfstoffe möglichst nicht gleich durch ihren Geruch verraten; je weniger stark sie wahrzunehmen sind, um so später wird der Gegner sie erkennen und sich der Gasabwehrwaffen bedienen. Der oft gehörte Ausdruck „Stinkstoffe“ ist daher nicht immer angebracht, manche Stoffe sind mit der Nase überhaupt kaum wahrnehmbar.

Noch mehr als durch alle diese chemischen und physikalischen Erfordernisse war unsere chemische Industrie durch die Blockade in ihrer vollen Entwicklung gehemmt. Fast alle Giftstoffe sind chemische Verbindungen sehr ähnlicher Grundstoffe, nämlich des Chlors, des Broms und des Jods. Mit Jod mußten wir aber sehr sparsam sein, denn die Hauptquellen aller Jodverbindungen sind die Tange der Meere an den Küsten der Normandie und Schottlands. Aus den Aschen dieser Pflanzen, Kelp oder Varec genannt, gewinnt man das Jod. Auf diesen Körper, der für die Fabrikation der „Reizstoffe“ besonders wichtig war, mußten wir aber verzichten, da wir alles vorhandene Jod in der Medizin gebrauchten. Bedeutend besser waren wir mit dem Brom daran, dieses steht uns in den sogenannten Abraumsalzen unserer Kaliindustrie in jeder Menge zur Verfügung.

Weitaus am wichtigsten ist aber für die Industrie der Gase und Gifte das Chlor. Lange vor dem Kriege wurde bei uns das Chlor in gewaltigen Mengen produziert. Es entsteht als Nebenprodukt bei der Alkali-Elektrolyse. Leitet man einen elektrischen Strom durch eine Kochsalzlösung, so gewinnt man, damals als Hauptprodukt, kaustisches Natron, Ätznatron. Das Chlor war ursprünglich ein lästiges Nebenprodukt, das man sofort weiter verarbeiten mußte, denn es zerfraß alle Metallbehälter, in Glasgefäßen aber konnte man es nicht komprimieren. Erst als man erkannt hatte, daß völlig trockenes Chlor Eisen nicht mehr angreift, konnte man es aufbewahren und zum Transport verwenden. Deutschland versorgte vor dem Kriege fast den ganzen Kontinent mit Chlor, wir besaßen gleichsam ein Chlormonopol. Als die Gegner die Wirksamkeit eines Angriffes mit Chlor am eigenen Leibe verspürt hatten, nahmen sie diese fürchterliche Waffe alsbald auch auf. Wir nahmen an, daß das Chlor aus Amerika stammte, die Engländer hatten es aber bei ihrem ersten Biasangriff bei Hulluch, aus Italien, aus einer kleinen Fabrik in Brescia, bezogen, wo mit deutschem Kapital und nach deutschem Verfahren in geringem Umfange Chlor gewonnen wurde.

Als ganz besonders giftiger Stoff, der hauptsächlich von der Entente, in geringerem Umfange auch von den Zentralmächten als Gaskampfstoff Verwendung fand, ist das Phosgen zu nennen. Es ist dies eine chemische Verbindung von Chlor und Kohlenoxyd, die schon bei 8° C siedet. Phosgen wurde schon lange vor dem Kriege fabrikmäßig für die Farbenindustrie hergestellt. Infolge geeigneter Schutzmaßnahmen war die fürchterliche Giftigkeit nicht allgemein bekannt. Unglücksfälle in den Fabriken waren selten. Wegen seiner heimtückischen Wirkung und enormen Giftigkeit wurde

es im Kriege in ungeheuren Mengen verwandt, trotzdem sein Siedepunkt für das Blasenverfahren zu hoch, für Granatenfüllung wiederum zu niedrig war. Zum Abblasen mußte man es daher mit niedrig siedenden Gasen, wie Chlor mischen, für die Gasgranaten wurde es von der Entente mit höhersiedenden Körpern gleichzeitig benutzt, was natürlich einer Verdünnung gleichkam. Da uns genügend gleichwertige Stoffe mit höherem Siedepunkt zur Verfügung standen, so war die Verwendung bei uns beschränkt.

Es würde natürlich zu weit führen, hier jeden einzelnen Gaskampfstoff mit allen seinen Eigenschaften zu beschreiben, standen Deutschland doch Hunderte von geeigneten Gaskampfstoffen zur Verfügung. Außerdem konnte man durch Mischungen verschiedener Körper die mannigfaltigsten Variationen erzielen. Die meisten Gifte waren Chlorverbindungen organischer Natur, die dem Steinkohlenteer entstammten, uns somit ausreichend zur Verfügung standen. Aber auch schwefelhaltige und Arsenverbindungen kamen in Betracht. Viele der Giftstoffe sind überhaupt erst während des Krieges entdeckt worden, andere waren vor Jahrzehnten vielleicht in Form von wenigen Grammen in irgendeinem wissenschaftlichen, chemischen Laboratorium einmal hergestellt worden, die Beschreibung der fürchterlichen Eigenschaften hatte von jeder Wiederholung der Versuche abgeschreckt. Nun trat von einem Tage zum anderen an die Industrie die Aufgabe heran, solche unbekanntenen Stoffe in größtem Maßstabe für das Heer zu liefern.

Es ist selbstverständlich, daß sich die Gegner die größte Mühe gegeben haben, unsere Giftstoffe zu analysieren, ebenso wie wir es auch mit dem Inhalt der feindlichen Gasgranaten usw. getan haben. Nur wenn die chemische Natur der Gifte bekannt ist, kann man die Gasabwehrwaffen danach aufbauen. Diese Aufgabe war für die Entente besonders schwierig, denn wir wechselten mit der Füllung unserer Geschosse dauernd. Unsere äußeren Merkmale der Gasgranaten gaben keineswegs die Gewähr für Identität des Inhalts, sondern waren nur maßgebend für die taktische Verwendung. Wir waren in der glücklichen Lage, dank unserer chemischen Industrie, den Gegner im Gasschuß zu veranlassen, sich nach unseren Stoffen zu richten. Kaum waren aber die feindlichen Gasmasken entsprechend umgebaut, so brachten wir neue Stoffe oder Mischungen an die Front, die abermals eine neue Konstruktion der Gasabwehrwaffen verlangten. Die durch die Chemiker der Entente ausgeführten Analysen unserer Gifte haben daher, soweit sie überhaupt richtig sind, nur einen beschränkten Wert für die zeitweilige Konstruktion der Gasmasken gehabt. Die Gefahr, aus einer Analyse Aufschlüsse für die technische Gewinnung der Stoffe zu erhalten, ist sehr gering, denn der Weg von der Erkenntnis der Zusammensetzung bis zur täglichen Fabrikation von Tausenden von Kilogrammen ist weit.

Einige Beispiele von Analysen unserer Gegner mögen bei der Beschreibung unserer Munition später Erwähnung finden.

Von den eigentlichen Giftstoffen sind ihrer Wirkung nach die sogenannten „Reizstoffe“ zu unterscheiden, die den Gegner nur auf kurze Zeit zu schaden imstande sind. Hierher gehören z. B. die Stoffe, die zum andauernden Niesen, Husten, Brechen und Tränen der Augen reizen. Viele dieser Stoffe waren Derivate des Broms, die Entente benutzte mit Vorliebe Abkömmlinge des Jods. Manche Körper stehen auf der Grenze, in geringen Mengen wirken sie reizend, in größeren Mengen giftig.

Die Gift- und Reizstoffe der Entente sind von uns restlos untersucht worden. Sie boten im Vergleich zu unseren Stoffen wenig Abwechslung. An der Westfront und der Ostfront, ebenso an der italienischen begebeneten wir stets denselben Gasfüllungen.

Belm Blaseverfahren benutzte die Entente hauptsächlich gasförmiges Chlor, oft gemischt mit Phosgen oder mit Chlorpikrin, manchmal auch Chlor und schweflige Säure.

Als Giftstoffe für Granatenfüllung sind besonders zu erwähnen: Phosgen, Blausäure, Chlorpikrin und in letzter Zeit auch ein als „Yperit“ bezeichneter Stoff, das Dichlor-diäthyl-sulfid. Die drei ersten Stoffe wurden selten in reiner Form, sondern meist in Mischungen mit harmloseren Körpern angewandt, um einerseits den Einschlag durch Rauchentwicklung sichtbar zu machen, andererseits die große Flüchtigkeit der Gifte zu verringern. Als solche Zusätze sind zu nennen: Zinntetrachlorid, Arsen-trichlorid, Titan-tetrachlorid, ferner Schwefelkohlenstoff und chlorierte Kohlenwasserstoffe, Sulfurylchlorid. Vielfach wurden auch Mischungen dieser Stoffe benutzt. In französischen Minen wurde anfänglich auch Äthylschwefelsäurechlorid gefunden.

Außer Chlorpikrin kamen als spezifische Reizstoffe in Betracht: Jodessigester, Jodaceton, Benzyljodid, Bromaceton, Acrolöin, Chloraceton usw. Auch diese wurden vielfach gemischt oder mit den genannten Stoffen, wie oben, verdünnt.

In feindlichen Minen und den Flaschen für die Gaswerfer wurden die Giftstoffe meist in reiner Form, also unverdünnt, vorgefunden. Außerdem fand man oft von der Fabrikation herrührende Verunreinigungen.

## DIE VERSCHIEDENEN ARTEN DES GASKAMPFES

### 1. GAS-HANDGRANATEN

Die französischen Handgranaten bestanden aus gewöhnlichen Blechschildern, ähnlich Konservendbüchsen, die etwa 4 oder 5 Glasröhren faßten, die Chloraceton eingeschmolzen enthielten. Sehr nett war die Konstruktion kleiner Glaskugeln, die bis zu 90 g desselben Stoffes enthielten. Die gläserne Kugel wurde von einer eisernen oder einer Tonkugel umschlossen, die aus sechs gleichen losen Teilen bestand, die durch eine Schnur zusammengehalten wurden. Durch den Aufschlag nach dem Wurf schlugen die eisernen oder Tonteile die Glaskugel entzwei.

Außerdem sind eiförmige Büchsen aus Messing oder Weißblech gefunden worden, die in der Mitte eine kleine Sprengkapsel besaßen, die mit einem Zeitzünder versehen ist. Der Inhalt von etwa 150—160 g besteht aus Acrolöin oder Chloraceton oder Bromessigester.

Ähnlich sind auch die englischen Handgranaten konstruiert, meist hohle eiserne Kugeln mit Sprengkapseln versehen, die mit Jodessigester gefüllt sind. Daneben sind auch einfache Glasbirnen in Blechschildern gefunden worden. Der Inhalt ist etwas größer als bei den französischen. Er faßt etwa 270 g.

Der Merkwürdigkeit halber sei hier noch ein französisches Infanterie-Reizgeschöß erwähnt, das etwa 35 g Chloraceton oder Bromessigester enthält.

Wie nicht anders zu erwarten, ist die Wirkung aller dieser Gas-Handgranaten ver-schwindend klein, die Mengen sind viel zu gering, um jemandem irgendwie ernstlich Schaden zufügen zu können.

### 2. DAS BLASEVERFAHREN

Mit dem Blaseverfahren beschäftigten sich stets Spezial-Gastruppen, Gaspioniere. Sie traten als Gasregimenter oder als Gasbataillone in Aktion, wurden in Spezial-zügen von einer Front an die andere geschickt. Das Offizierkorps dieser Truppen war immer ganz besonders stark, es setzte sich aus Offizieren aller Waffengattungen

zusammen. Meist waren es Chemiker, Techniker, Meteorologen, Pioniere usw., denen eine vielseitige Tätigkeit oblag. Sie mußten stets besondere Trupps, wie Erkundungstrupps, Beobachtungstrupps, ferner Abfüll-Kommandos, Fernsprechposten usw. stellen.

An allen Fronten waren die Gastruppen bekannt, aber beliebt waren sie nirgends bei den Fronttruppen. Das war leicht erklärlich. An gewöhnlich sonst ziemlich ruhigen Fronten erschienen plötzlich die Gaspioniere. In endlosen Trägerkolonnen mußten die Tausende von Gasflaschen nachts in Stellung gebracht werden, die schön ausgebauten Stellungen wurden aufgerissen, um Platz für die Flaschen zu schaffen. Tage- und oft wochenlang lag die Truppe in höchster Alarmbereitschaft, von Stunde zu Stunde günstigen Wind und damit den Befehl zum Abblasen erwartend. Wenn dann endlich der günstige Augenblick gekommen war, so wurde der vordere Graben von der Besatzung geräumt. Von dem Gasangriff bekamen sie wenig zu sehen und von dem Erfolg bekamen sie nichts zu hören. Patrouillen, die der Gaswolke folgten, erhielten von irgendeinem unversehrten Maschinengewehr Feuer, das feindliche Artilleriefuer konzentrierte sich auf die Gräben. Hatten vorstoßende Patrouillen Erfolg, so konnten sie die Aussagen der Gefangenen vielleicht bestätigen, daß in den Gräben Gasranke oder Gastote gelegen hätten. Das war meist alles, folglich war der ganze Gasangriff nicht der Mühe wert gewesen. Über die wahre Wirkung, die sich nicht auf die ersten Gräben beschränkte, sondern viele Kilometer weit hinter der Front noch zur Geltung kam, erfuhr man erst nach Wochen und Monaten. Parlamentsberichte, Sitzungen der Duma, bei einem späteren Vorstoß angetroffene Massengräber von dem entsprechenden Datum, erbeutete Divisionsberichte usw. gaben den Beweis für den verheerenden Erfolg unserer Gase. Wenn diese Meldungen dann der Truppe übermittelt werden sollten, so waren diese längst an anderen Stellen der Front.

Die eigentlichen Gasbehälter waren Flaschen, ähnlich den bekannten Kohlensäure- oder Sauerstoffflaschen, nur etwas dickbäuchiger. Sie wogen leer etwa 20 kg, ebenso viel wog ihre Füllung, so daß ein Mann sie noch gut tragen konnte. Anfänglich wurden noch größere Flaschen benutzt, sie erwiesen sich aber als zu unhandlich.

Im allgemeinen rechnete man etwa 3 Flaschen auf 2 m Front. Die größte Anzahl Flaschen wurde am 19. Oktober 1915 bei Reims abgeblasen. Auf einer Front von über 17 km wurden gleichzeitig über 24000 Flaschen geöffnet. Die Flaschen wurden zu einzelnen Flaschenbatterien von etwa 20 Stück vereinigt, um das gleichzeitige Abblasen zu erleichtern.

Das Kampfgas der Deutschen war meistens Chlor mit oder ohne Zusatz von Phosgen oder anderen Gasen. Dieser Zusatz war abhängig von der Temperatur: je kälter es war, um so weniger Phosgen konnte man dem Chlor beimischen, da es im Winter bei tiefer Temperatur zu schwer flüchtig war. Im Sommer waren daher die Gase meist giftiger als im Winter. Der Zusatz schwankte zwischen 20 und 80 Prozent.

Die Flaschenbatterien wurden gewöhnlich im Grabenauftritt oder in besonderen Unterständen eingebaut und kurz vor dem Abblasen mit einer Bleiröhre, die über den Grabenrand hinweggeführt wurde, versehen. Durch den syphonartigen Bau der Flaschen wurde das Gas, das in den Flaschen als Flüssigkeit unter einem Druck von 6-8 Atmosphären vorhanden war, an den Enden der Bleiröhren vergast. Durch die Verdampfung und Ausdehnung der Gase wurde die umgebende Luft ebenfalls stark abgekühlt, wodurch je nach dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft mehr oder weniger Nebelbildung auftrat. Das Gas selbst war durchsichtig, durch den Chlorgehalt meist etwas grünlichgelb gefärbt, die Gaswolke hingegen bestand nur aus Nebel, also Wasserdampf. Die Dichte dieses Nebels war daher sehr verschieden. Im Hochsommer bei

trockenem Wetter war die Gaswolke überhaupt nicht zu sehen, sie verriet sich nur durch das zischende Geräusch des unter Druck ausströmenden Gases.

Vor dem Abblasen wurden die Batterien mit Sandsäcken bedeckt, um sie vor Sprengstücken zu schützen; sehr selten sind Gasflaschen durch Treffer zerstört worden, sie wurden wohl eingebaucht, aber nicht aufgerissen.

Die Anordnung der Entente war der unseren sehr ähnlich, die Flaschen hatten ungefähr das gleiche Fassungsvermögen. Die Engländer operierten mit größeren Flaschen. Der Einbau der Franzosen war komplizierter als der unsere und brauchte fast einen Monat bis zur Fertigstellung. Die Flaschenbatterien wurden in Stollen unter der Sohle des Grabens eingebaut. Während wir jeder Flasche ein eigenes Bleirohr gaben, verbanden unsere Feinde sämtliche Flaschen einer Batterie mit einem gemeinsamen Bleirohr durch Gummischläuche. Der Unterschied bestand darin, daß wir den Inhalt der Flaschen in sehr kurzer Zeit, die Gegner aber längere Zeit hindurch, dafür aber entsprechend verdünnter abblasen konnten. Sie haben auch in verschiedenen Wellen hintereinander abgeblasen, einzelne Wellen durch Nebel ersetzt usw., sind aber zuletzt unserem Verfahren gefolgt, den ganzen Inhalt innerhalb weniger Minuten mit größter Dichte auf einmal abzublasen. Wir haben am 14. Februar 1917 eine eingebaute französische und noch nicht abgeblasene Gasbatterie erobert. Es sind uns damals bei Ripont über 1200 gefüllte Flaschen in die Hände gefallen, sie waren mit Chlor und Phosgen gefüllt. Auf den laufenden Meter kamen etwa 60—70 kg Gaskampfstoff. Interessant war, daß uns diese erbeuteten Gasflaschen große Mengen von Zinntetrachlorid geliefert haben, das wir alsbald auf Zinn verarbeiten konnten, an dem bekanntlich großer Mangel herrschte.

Nicht jedes Gelände ist zum geblasenen Gasangriff geeignet, je ebener das Land, um so besser. Die schwere Gaswolke wälzt sich am Boden entlang, sie wird vom Winde getrieben, fließt aber auch selbständig in tiefergelegene Geländeeinschnitte, umspült, wie Wasser, höhergelegene Punkte, die als Inseln aus der Gaswolke hervorragen. Wald ist ungeeignet, die Wolke wird vor dem Waldrand gehoben und fällt unter Umständen auf der anderen Seite wieder hinab. Wasser bildet kein Hindernis, wenn es nicht wärmer als die Luft ist und dadurch aufsteigende Luftwirbel erzeugt. Wir haben glatt über die Weichsel und die Düna abgeblasen. Die frühzeitige Erkundung des Geländes ist besonders wichtig. Den Franzosen ist es in den Argonnen passiert, daß die Hauptmenge des abgeblasenen Gases durch ein Tal wieder in ihre eigenen Linien zurückgeflossen ist, ohne unsere Gräben zu erreichen. Die Vegetation spielt in gewisser Hinsicht auch eine Rolle, denn in Kornfeldern, Sträuchern usw. haftet das Gas sehr lange, so daß man das Gelände nur sehr vorsichtig wieder betreten darf.

Das wichtigste Erfordernis zum Gelingen des Blaseangriffs ist der Wind. Man braucht einen gleichmäßigen Wind von ganz bestimmter Stärke, nicht schwächer als die Geschwindigkeit eines trabenden und nicht stärker als die eines galoppierenden Pferdes. Natürlich muß die Windrichtung dem Feinde zugekehrt sein, sie braucht nicht direkt senkrecht zur feindlichen Linie zu gehen, sondern kann auch schräg gerichtet sein. Diese unerläßlichen Vorbedingungen zum Gelingen des Angriffs können aber oft wochenlang auf sich warten lassen, die strikte Innehaltung erfordert ein Netz meteorologischer Beobachtung, stündliche Meldung der Isobaren, um einen Schluß auf die Stetigkeit der Windrichtung und Windstärke ziehen zu können, sonst werden die eigenen Truppen gefährdet. Dies ist der Hauptnachteil des Blaseverfahrens, ein geringer Windstoß kann das Gas in den eigenen Graben zurücktreiben. Da es eben erst den Flaschen entströmt ist und noch keine Zeit gehabt hat, sich mit der Luft zu



mischen, so kommt es dann mit der stärksten Dichte zur Wirkung. Leider sind anfänglich auch bei unseren eigenen Leuten Verluste auf diese Weise entstanden.

Die Nacht, besonders der frühe Morgen, eignet sich am besten zum Abblasen, der Boden ist dann kühl, aufsteigende Luftschichten durch Bodenerwärmung fehlen. Andererseits ist Regen schädlich, da er zum Teil die Gase auswäscht.

Anfänglich sollte der Gasangriff als Vorbereitung zum Sturm dienen, man kam aber bald davon ab, denn man konnte nicht unter Umständen wochenlang auf geeigneten Wind warten. Das Blaseverfahren wurde daher mehr und mehr nur zur Schädigung des Gegners an den Rändern der Kampfzentren verwandt. Der erste geblasene Angriff wurde von den Deutschen am 22. April 1915 bei Ypern unternommen. Anfänglich hatte man die Flaschen in der Südostecke eingebaut, und man wartete vergeblich auf guten Wind. Später wußten wir, daß dort der Wind nur zweimal im Jahre den Bedingungen eines Blaseangriffs entsprach. Die Flaschen wurden darauf in der Nordostecke neu eingebaut. Es handelte sich damals um den ersten Versuch, dem man bei den höchsten Kommandostellen äußerst skeptisch gegenüberstand. Daraus erklärt sich auch der Mangel an allen Reserven, die zum Nachstoßen nach dem Gasangriff erforderlich gewesen wären. Trotzdem war der Angriff ein voller taktischer Erfolg. Der Bericht Sir John Frenchs sagt dann auch, daß „die ganze von den französischen Divisionen besetzte Stellung zu jedem Widerstande unfähig war“. Geradezu verheerend wirkten die ersten Gasangriffe auf die Russen. Ganze Regimenter und Brigaden wurden durch Gas vernichtet. Die Gasangriffe wirkten demoralisierend auf die ganze Armee. An vielen Orten haben die Russen später bei den ersten Schüssen mit Gasgranaten ihre Batteriestellungen geräumt, eine Folge der schlimmen Gerüchte über die Wirkung unserer Gase.

Im ganzen sind von uns etwa 50 geblasene Gasangriffe ausgeführt worden. Je nach dem Gelände in breiterer oder schmalerer Front, die kilometerbreiten Wolken übten ihre giftige Wirkung noch weit hinter der Front aus. Bis zu 30 km hinter der Front sind noch tödliche Gasvergiftungen beobachtet worden. Im allgemeinen galt als Gefahrenzone ein Streifen von etwa 10 km hinter der Front.

Die Gegner haben die geblasenen Angriffe sehr bald auch aufgenommen, allein in der Sommeschlacht unternahmen sie über 70 Gasangriffe, glücklicherweise nur mit sehr geringem Erfolg. Der Feind hat fast bis zum Schluß vom Blaseangriff Gebrauch gemacht, während wir seit dem Herbst 1917 nicht mehr abgeblasen haben. Trotzdem man das Blaseverfahren als den bestorganisierten Massenmord bezeichnen kann, haben wir ihn aufgegeben hauptsächlich wegen der großen technischen Schwierigkeiten.

Es ist äußerst schwierig, einigermaßen zuverlässige Zahlen über die feindlichen Verluste zu erlangen, aber mit Sicherheit darf man annehmen, daß weit über 100000 Mann der Entente allein durch unsere geblasenen Gasangriffe zugrunde gegangen sind.

### 3. DIE GASWERFER

Die gefürchtetste Gaswaffe der Feinde war, wenigstens anfänglich, der von den Engländern eingeführte „Gaswerfer“. Plötzlich erblickte der Posten nachts einen großen Feuerschein dicht hinter der feindlichen Stellung, kurz darauf erfolgte eine starke Detonation, als ob ein Munitio- stapel in die Luft geflogen wäre. Die durch die Luft saudenden, sich oft über genden großen Gasbehälter erzeugten ein surrendes, rauschendes Getöse, ähnlich Fluge großer Vögel. Etwa 20—25 Sekunden nach dem Abschuß schlugen dann auch schon die Flaschen in der eigenen Stellung ein, beim Detonieren einen Knall, ähnlich der Detonation einer Handgranate, hervorbringend. Innerhalb eines

Zeitraumes von 20 Sekunden etwa mußte also erst der Gasüberfall als solcher erkannt werden, was bei dem häufigen Höllenspektakel nachts an der Front nicht ganz einfach war. Ferner mußten sämtliche Alarmmittel, die für den Gasalarm bestimmt waren, in Gang gesetzt werden, alle Schläfer geweckt und vor allem jeder Einzelne ohne Ausnahme sofort seine Gasmasken vorschriftsmäßig aufgesetzt haben. Wenn nicht alles bis ins kleinste genau eingeübt war, so waren Verluste unvermeidlich; wer ohne Maske in der Nähe der einschlagenden Flaschen sich aufhielt, kam infolge der fürchterlichen Giftigkeit der Stoffe und der hohen Dichte der Gase ohne weiteres um. Kurz auf den Gasüberfall folgend verschoß der Gegner meist ähnliche Flaschen, die mit Petroleum oder anderen leicht brennbaren Stoffen gefüllt waren. Diese platzen nahe über dem Boden. Die brennenden Petroleumtropfen hatten den Zweck, Löcher in die aufgesetzten Masken zu brennen, wodurch dann das Gift unter die Maske gelangte und zur Wirkung kam. Ein Hagel von Schrapnells, für die Gaskranken bestimmt, schloß sich meist an den Überfall an. Aus dieser kurzen Schilderung kann man sich ein Bild davon machen, welche hohen Anforderungen an die Gasdisziplin gestellt werden mußten. Jeder Einzelne mußte fähig sein, seine Maske innerhalb von 2—3 Sekunden aufzusetzen. An Schlafen in den von Gaswerfern bedrohten Stellungen war kaum zu denken; trotzdem ist es gelungen, die Verluste auf ein Minimum zu reduzieren. Wie wir später noch sehen werden, erforderte die außerordentlich hohe Gasdichte an der Einschlagstelle der Flaschen eine Verstärkung der chemischen Filter. In einem Falle löste eine Division, die von der Ostfront gekommen war, eine andere kurz nach einem solchen Gasüberfall ab. An der Ostfront hatte der Gaskampf niemals solche Dimensionen angenommen wie im Westen, viele hatten überhaupt noch keinerlei Gasangriff erlebt. Solche Truppen waren anfänglich natürlich schwer von dem Ernst des Gaskampfes zu überzeugen. Als die Truppen dieser Division aber bei der Ablösung die Opfer des Gasüberfalls erblickten, konnte man überall Leute sehen, die sich bemühten, ihre Masken in kürzester Zeit aufzusetzen. Als dann wirklich in der folgenden Nacht wiederum ein Gasüberfall einsetzte, hatte die Truppe überhaupt keinen Gaskranken zu beklagen.

Die Gaswerfer bestanden aus nicht gezogenen, unten geschlossenen Röhren, die oben offen waren. Sie wurden in ganz primitiver Weise in die Erde eingegraben, und zwar unter einem ganz bestimmten Winkel. Am Boden war noch eine eiserne Platte in der Form eines mexikanischen Hutes eingelassen, um beim Abschuß ein Versacken der Röhre zu verhindern. In das Rohr wurde die Gasflasche lose eingelassen. Das am Boden in großen Kartuschen befindliche Pulver wurde durch eine elektrische Zündung zur Explosion gebracht. Sämtliche Werfer wurden gleichzeitig elektrisch gezündet.

Der Einbau solcher Gaswerfer, der meist hinter der ersten Stellung vorgenommen wurde, war nicht leicht zu erkennen. Fliegerbilder gaben meist hierüber Aufschluß. Zuerst hob sich ein solcher Einbau durch wabenförmige Gräben im Gelände ab. Später wurden die Werfer, um ein frühzeitiges Erkennen auf Fliegeraufnahmen zu erschweren, in künstlich ausgeworfenen Löchern, ähnlich den Einschlagstellen von Granaten, eingebaut. Sofort nach dem Einbau wurde die Stellung durch Sandsäcke, Erde usw. verdeckt, so daß man auf den Bildern überhaupt kaum noch etwas wahrnehmen konnte.

Die Gaswurf flaschen selbst waren etwa 60 cm lang und hatten einen Durchmesser von ca. 20 cm. Es waren runde Röhren, die oben und unten, ähnlich eine Flaschenhals, ausgezogen waren. Der Länge nach ging durch die Achse der Flasche ein mit Sprengstoff gefüllte engere Röhre. Beim Aufschlagen wurde die Flasche der Länge nach aufgerissen, so daß der leichtflüchtige Gaskampfstoff sofort verdampfte. Der

Inhalt der französischen und englischen Gaswurf flaschen bestand aus 13 kg reinem Phosgen. Außerdem hatten die Engländer noch Flaschen, die mit 16 kg einer Mischung aus 80% Chlorpikrin und 20% Zinntetrachlorid gefüllt waren.

Chlorpikrin, das mit Pikrinsäure nichts zu tun hat, ist ein Nitrochloroform, das die Russen zuerst in ihren Gasgranaten verwandten, ohne überhaupt irgendwelchen Schaden damit anzurichten. Bei einer Armee im Osten, wo fast täglich die Russen mit Chlorpikrin geschossen hatten, war innerhalb eines Jahres keine Gasvergiftung zu verzeichnen, lediglich ein Pferd war durch einen Volltreffer in den Stall dem Chlorpikrin zum Opfer gefallen. Monate später begegneten wir dem Chlorpikrin mehr und mehr an der Westfront. Es ist kein eigentlicher Giftstoff, sondern mehr ein Reizstoff, von dem der Gegner annahm, daß er durch unseren Einsatz, das Filter unserer Maske, hindurchgehen würde. Hierdurch sollte der Träger veranlaßt werden, seine Maske abzureißen, um dann unfehlbar ein Opfer des viel giftigeren Phosgens zu werden. Infolgedessen mußten wir unsere Schutzwirkung um ein geringes verstärken, denn die Dichte des Gases war hier bedeutend stärker als bei allen anderen Arten des Gaskampfes.

Das Richten und Zielen mit den Gaswerfern wurde einfach durch die Richtung und den Böschungswinkel beim Einbau erreicht. Die Schußweite betrug selten über 1600 m.

Die Gaswerfer wurden sehr bald auch von uns aufgenommen und verbessert. Unsere Werfer schossen bis zu 3000 m. Auch hier wurden die Werfer zu Batterien vereinigt und elektrisch zum Abschluß gebracht. Spezial-Pioniertuppen lag, ähnlich wie beim Blaseverfahren, die Handhabung ob.

Gegenüber dem Blaseverfahren hatten die Gaswerfer bedeutende Vorteile. Der Einbau ging viel schneller vonstatten, war auch bedeutend einfacher. Die Entwicklungsstelle des Gases ist bei den Wermern drüben beim Feinde und nicht wie beim Abblasen dicht vor dem eigenen Graben. Unglücksfälle bei der eigenen Truppe durch Zurückschlagen des Gases waren ausgeschlossen, man war daher nicht mehr in so hohem Maße vom Winde abhängig. Die absoluten Mengen waren bei den Gaswerfern natürlich bedeutend geringer, nur die Konzentration an der Einschlagstelle war verstärkt. Bis das Gas aber in die eigenen Gräben bei ungünstigen Windverhältnissen zurückgetrieben wurde, war es bereits so verdünnt, daß es einer aufmerksamen Truppe keinen Schaden mehr zufügen konnte.

Die erste Anwendung fanden unsere Werfer beim Durchbruch bei Flitsch und Tolmein. 880 Werfer kamen dort zum Abschluß, beim Säubern der italienischen Stellung fand man 550 tote Italiener. Technisch ausgedrückt, ein hervorragender Nutzeffekt, wenn man bedenkt, daß im allgemeinen auf zwei bis drei Waggons Brisanz-Munition höchstens ein bis zwei Tote gerechnet werden. Später wurde die Verwendung immer häufiger, an der Westfront fanden dauernd derartige Gasunternehmen statt.

#### 4. ARTILLERIE-GASSCHIESZEN

Artilleriegeschosse mit Gift oder Reizflüssigkeiten gefüllt waren die erste Form des Gaskampfes. Sie wurden zuerst im Winter 1914/15 von den Franzosen gegen uns angewandt. Ein Teil der Brisanzfüllung wurde durch giftige Flüssigkeiten ersetzt, die Splitterwirkung war noch ziemlich erheblich. Anfänglich benutzte man nur tränenerregende Flüssigkeiten, die den Gegner für kurze Zeit kampfunfähig machten. Auch von deutscher Seite wurden später derartige Granaten, die sich in ihrer Konstruktion streng an den bereits erwähnten Wortlaut der Haager Konvention hielten, angefertigt. Die Menge an Brisanzstoff war so groß, daß die Splitterwirkung die Gift-

wirkung beträchtlich überstieg. Da irgendwelche Erfahrungen nicht vorlagen, so schützte man zunächst die innere Wandung der Granaten durch Blei- oder Porzellengefäße vor der Berührung mit der Flüssigkeit, auf diese Weise wurde gleichzeitig ein eventueller Angriff des Explosivstoffes vermieden. Etwa zwei Drittel der Granate waren mit Relzstoffen, ein Drittel war mit Brisanz gefüllt. Der Zünder bestand aus einem empfindlichen Aufschlagzünder. Von diesen als T- und K-Granaten bezeichneten Geschossen wurden seinerzeit etwa 500000 Stück hergestellt. Irgendein bedeutender Erfolg ist ihrer Wirkung kaum zuzuschreiben gewesen.

Ungeheures Aufsehen erregte bekanntlich die Versenkung des Riesenschiffes „Lusitania“ durch das Torpedo eines U-Bootes. Durch die Presse ging damals eine Notiz, daß an Bord dieses Dampfers große Mengen von Zinntetrachlorid vorhanden gewesen wären. Es ist dies eine Flüssigkeit, aus Zinn und Chlor bestehend, die wohl etwas stehend riecht und an der Luft etwas raucht, sonst aber in großen Mengen in der Industrie, z. B. zur Seidenbeschwerung, Verwendung findet. Wozu diese großen Mengen an Bord der „Lusitania“ dienen sollten, blieb anfänglich ein Rätsel.

Wochen und Monate später ereignete sich nun an der französischen Front folgender Vorfall. Eine bayrische Batterie wurde mit Gasgranaten beschossen. 26 Kanoniere erkrankten und mußten sich zur Erholung legen. Sie fühlten sich aber bald wieder wohl und bedienten ihre Geschütze weiter. Nach einigen Stunden aber erkrankten sie plötzlich aufs neue, fühlten sich sehr elend, und nach Verlauf von etwa 10 Minuten waren 25 von den 26 tot. Der eine hatte zufällig eine Gasmaske zur Hand gehabt.

Die chemische Untersuchung eines Blindgängers dieser Granaten ergab dann, daß es sich zum ersten Male um reine Gasgranaten, die bis an den Zünder mit Giftstoff gefüllt waren, handelte. Die heimtückische tödliche Wirkung beruhte auf einer Füllung mit Phosgen, das in Zinntetrachlorid gelöst war. Nun wurde mit einem Schläge klar, wozu die großen Mengen des Zinnchlorids an Bord der „Lusitania“ hätten dienen sollen. Die Versenkung dieses Stoffes hat uns monatelang vor den gefährlichen Phosgengranaten bewahrt. Das war für uns äußerst günstig, denn mit dem Augenblick, wo der Gegner sich nicht nur des Blaseverfahrens bediente, das uns kaum noch überraschen konnte, sondern Gift in Artilleriegeschossen anwandte, mußte jeder Mann im ganzen Bereich des feindlichen Artilleriefeuers Tag und Nacht gewärtig sein, von Gift und Gas überrascht zu werden. Das stellte aber die höchsten Anforderungen an die Industrie unserer Gasabwehrwaffen, denen sie natürlich erst nach und nach gerecht werden konnte. Traten heute amerikanische Gasgranaten an der französischen Front auf, so konnten wir sie täglich auch an allen anderen Fronten gewärtigen.

Die „Laborierung“, die Konstruktion der Gasgranaten war sehr einfach. Der leere Raum der Granatenhülle war mit Giftflüssigkeit gefüllt, der Zünder war durch eine kleine Sprengkapsel verlängert, die in die Flüssigkeit eintauchte, wenn der Zünder aufgeschraubt wurde. Die Sprengladung des Zünders genügte gerade, um die Hülle der Granate zu zersprengen, Splitterwirkung war fast gar nicht vorhanden. Manchmal wurde der obere Teil der Granate überhaupt nur tulpenartig aufgebläht, so daß der Zünder hinausflog und das Gas entweichen konnte. Wenn Splitter auftraten, so waren sie außergewöhnlich lang, meist wurde das Geschoß in vier bis fünf Längsteile gespalten. Sogenannte Ausbläser von Gasgranaten waren nicht wie bei der Brisanzmunition etwa Versager, das Gas war heraus, die Gasgranate hatte ihren Zweck erfüllt.

Nachdem nun einmal von den Franzosen diese reinen Gasgranaten entgegen dem Wortlaut der Haager Konvention zur Anwendung gebracht waren, lag für uns kein

Grund vor, nicht gleiches mit gleichem zu vergelten. Unsere Gasgranaten wurden im Prinzip ähnlich den feindlichen konstruiert. Ihre Füllung bestand aber nicht aus Phosgen, sondern einem ähnlich wirkenden Stoff mit günstigerem Siedepunkt. Englische Analytiker haben ihn als „Trichlor-methyl-chloro-formiat“ bezeichnet.

Entgegen den Behauptungen der feindlichen Presse waren wir in keiner Weise auf den Gaskampf vorbereitet, wir wußten nichts über die Lagerbeständigkeit, nichts über die Transportverhältnisse. Wir kannten noch nicht das Verhalten des Kittes, mit dem der Zünder in der Granate befestigt war. Die Füllung wurde daher dicht hinter der Front vorgenommen, die Granaten mußten längstens nach drei Monaten nach der Füllung verschossen werden, was in vielen Fällen zu unnützer Munitionsverschwendung führte. In großen Tankwagen wurden die Giftflüssigkeiten zu den Füllstationen befördert. Leider wußte auch die Truppe anfänglich wenig mit den Gasgranaten anzufangen. Jeder Batterieführer war froh, wenn er das „Giftzeugs“ möglichst bald verschossen hatte, denn es herrschte eine unverantwortliche Scheu vor den Gasgranaten. Nur schwer war es den Führern klar zu machen, daß jede Brisanzgranate bedeutend gefährlicher zu lagern war als die Gasgeschosse.

Schlug ein Volltreffer in einen Brisanz-Munitionsstapel, so flog meist der ganze Vorrat durch Initialwirkung, d. h. Übertragung der Explosion auf benachbarte Granaten, in die Luft. Bei einem Stapel von Gasgranaten hingegen wirkte ein Volltreffer ähnlich einem Stein, der in ein Weinflaschenlager geworfen wird. Die Flaschen gehen entzwei, der Inhalt fließt einfach aus. Die Sprengladung der Gasgranaten war viel zu gering, um die Explosion übertragen zu können. Das Gift war eine Flüssigkeit, die höher siedete als Wasser. Von einem Vergasen war nicht die Rede. Es fehlte dazu die Erwärmung. Ein kalter Dampfkessel ist ebenfalls völlig gefahrlos, wenn er ein Loch bekommt, zum Unterschiede von einem überheizten, aus dem der Dampf unter Zischen austritt, wenn ihm zum Entweichen Gelegenheit gegeben wird. Ähnlich verhält sich die Gasgranate, wenn sie durch den Abschuß und die Reibung in der Luft erwärmt wird. Selbst die Gefahr, daß der Zünder explodierte, wenn ein Stapel getroffen wurde, war sehr gering. Beim Sprengen von Gasgranaten auf dem Übungsplatz sind die Zünder oft verbogen und fortgeschleudert worden, sind aber sehr selten zur Explosion gekommen.

Heute wissen wir, daß die Granaten, die das Gas enthalten, nicht nur drei und nicht nur sechs Monate beständig sind, sondern daß man sie unbeschränkt lagern und ohne jede Gefahr transportieren kann. Trotzdem hat sich bis zuletzt bei der Truppe eine unüberwindliche Scheu vor der Gasmunition erhalten.

Nach der äußeren Bezeichnung wurden die ersten reinen deutschen Gasgranaten als Grünkreuz-Munition bezeichnet. Im Laufe der Zeit hat deren Inhalt manchen Wechsel durchgemacht, andere Stoffe, Mischungen usw. wurden verwendet. Den ersten größeren taktischen Erfolg haben wir den Gasgranaten bei den Angriffen vor Verdun, insbesondere bei der Erstürmung von Fleury und Thiaumont zu verdanken. Mit einem Aufwand von 110000 Grünkreuz-Granaten wurden die feindlichen Batterien beschossen. Der Erfolg übertraf jede Erwartung: eine Batterie nach der anderen schwieg, nur vereinzelt kamen noch einige Schüsse aus weittragenden Geschützen auf dem anderen Ufer der Maas, die nicht mit Gas belegt werden konnten. Das Gas wurde von den Abhängen der Berge, wo die feindlichen Batterien standen, durch den Wind in die Täler gedrückt, wo sich die Zufahrtstraßen für die Truppen befanden. Die Reserven wurden vom Gas gefaßt und lahmgelegt, der Munitionsnachschub stockte, die Essenträger kamen nicht durch, bis in die Festung Verdun selbst wurde das Gas

gefegt. Patrouillen und Meldegänger, die Aufklärung über die Vorgänge im Tale bringen sollten, kehrten nicht wieder zurück. Die Erstürmung von Fleury und Thiaumont, außerdem etwa 20000 Gefangene, waren der ersten Verwendung von Gasgranaten zu verdanken.

Dauernd wurde an der Verbesserung der Gasmunition gearbeitet, an Stelle der Flüssigkeiten wurden feste Substanzen benutzt, die durch eine größere Menge Brisanzmunition zerstäubt werden mußten. Die geringe Menge Sprengstoff der gewöhnlichen Gasgranaten war unzulänglich. Zunächst wurde die Ladung in der Weise verstärkt, daß man vom Zünder bis zum Boden der Granate eine Röhre durchführte und diese mit Sprengstoff füllte. Es war dies die sogenannte „Clark-Laborierung“. Später wurde der feste Stoff einfach in gewöhnliche Glasflaschen gefüllt und der Leerraum zwischen dieser Flasche und der Wandung der Granate mit Brisanzstoff ausgefüllt.

Der Einschlag von Gasgranaten war an und für sich leicht zu erkennen, der schwache Knall, die meist sichtbare Gaswolke der Gasschwaden, wie man es nannte, waren charakteristisch für Gasgranaten. Man war aber bestrebt, nach Möglichkeit den Gegner zu überraschen, so daß er das Gas nicht gleich gewahr wurde. Deswegen wurden Gas-Brisanzgranaten fabriziert. Es waren dies Granaten, die einen Zwischenboden besaßen, der untere Teil wurde mit Gifflüssigkeit, der obere mit Brisanzstoff gefüllt. Die letzten Formen der Gasgranaten waren torpedoförmig.

Das Füllen der Granaten, das zuletzt in der Heimat ausgeführt wurde, mußte natürlich mit allen möglichen Vorsichtsmaßnahmen geschehen, um die Arbeiter nicht zu gefährden. Durch Rohrleitungen wurde die Flüssigkeit aus den Tankwagen in Meßgefäße geleitet, die in Glaskapellen, wie man sie aus den chemischen Laboratorien kennt, untergebracht waren. Künstlicher Luftzug sorgte dafür, daß die Arbeiter nicht durch die Gase belästigt wurden. Unglücksfälle sind dann auch glücklicherweise sehr selten gewesen.

Die dauernden Verbesserungen, die Vermehrungen der verschiedenen Arten von Gasgeschossen, die verschiedenen chemischen und physikalischen Eigenschaften der Kampfstoffe erschwerten naturgemäß deren taktische Verwendung. Immer wieder kamen neue Artillerie-Dienstvorschriften für Gasschießen heraus, in denen natürlich auch die gesammelten neuen Erfahrungen zum Ausdruck kamen.

Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die gebräuchlichsten feindlichen Gasgranaten, nach Giftstoffen geordnet:

**Phosgen:**

reines Phosgen: Ital. 14,9 cm Kaliber  
 Phosgen + Zinntetrachlorid: Franz. 7,5 — 12 — 15,5  
 Russ. 7,6 — 15,2

Phosgen + Arsenrichlorid: Franz. 7,5 — 12 — 15,5  
 Engl. 11,4 — 12,7

Phosgen + Zinntetrachlorid + Chlorpicrin: Russ. 15 — 15,2

Phosgen + Schwefelkohlenstoff + chlorierte Kohlenwasserstoffe: Ital. 10,5 — 14,9 — 21

Phosgen + Chlor: Ital. 21

**Blausäure:**

Blausäure + Arsenrichlorid: Franz. 7,5 — 12 — 15,5  
 Engl. 11,4 — 12,7  
 Russ. 7,6

<b>Chlorpikrin:</b>	
reines Chlorpikrin:	Engl. 11,4 — 11,9 — 12,7 Ital. 7,5 — 14,9
Chlorpikrin + Jodessigester:	Engl. 11,4
Chlorpikrin + Sulfuryldchlorid:	Russ. 7,6
Chlorpikrin + Sulfuryldchlorid + Zinn- tetrachlorid:	Russ. 7,6
Chlorpikrin + Zinntetrachlorid:	Engl. 11,4 (in verschiedenen Mengen- verhältnissen)
Chlorpikrin + schweflige Säure:	Russ. 7,6
<b>Jodaceton:</b>	
Jodaceton + Zinntetrachlorid:	Franz. 7,5
<b>Benzyljodid (mit Benzol, Toluol, Xylol):</b>	
Benzyljodid:	Franz. 7,5 Ital. 7,5
Benzyljodid + Titan-tetrachlorid:	Franz. 7,5
<b>Jodessigester:</b>	
reiner Jodessigester:	Engl. 11,4 — 12,7
Jodessigester + Alkohol + Essigester:	Engl. 11,4 — 12,7
<b>Acrolöin:</b>	
Acrolöin + Arsen + Salzsäure:	Franz. 7,5
<b>Bromaceton:</b>	
reines Bromaceton:	Franz. 15,5
Benzyljodid (Benzol, Toluol, Xylol):	Franz. 7,5
<b>Schwefligsäure-anhydrid:</b>	
mit Schwefelchlorür oder Sulfuryldchlorid oder Chlorpikrin oder mit Tetrachlor- kohlenstoff usw.	Russ. 7,6
<b>b, b, Dichlor-diäthyl-sulfid (Yperit):</b>	
Yperit + Tetrachlorkohlenstoff:	Franz. 7,5
<b>Chlorameisensäure-chlor-methyl-ester + Perchlor-ameisensäure-methylester + (Zinntetrachlorid):</b>	
	Franz. 7,5

Außer diesen hauptsächlich benutzten Stoffen kamen von Zeit zu Zeit Gasgeschosse mit verschiedenem Inhalt vor, die anscheinend nur zu Versuchszwecken angefertigt waren.

Die Laborierung der feindlichen Gasgranaten war ungefähr die gleiche wie die unsrige. Neben den gewöhnlichen Konstruktionen begegnete man auch der Zwischenwand-Laborierung, der verlängerten Tauchröhre usw., auch besaßen die größeren Kaliber der französischen Munition Torpedoform. Die italienischen Gasgranaten waren meist noch mit einem inneren eisernen Behälter für die Giftstoffe ausgekleidet. Der Sprengkörper war oft mit Holz festgeklemmt.

Außerlich waren alle Granaten durch verschiedene Bemalung, durch farbige Ringe, Buchstaben, Füllungsort und Fülldatum usw. gekennzeichnet. Die größten Kaliber (210 mm für Haubitzen und Mörser) hatten die Italiener, die italienische 210-mm-Stahlgranate für die Haubitze R. P. faßte 10,5 kg Gaskampfstoff. Man sprach sogar von noch größeren Kalibern, doch scheinen das nur Gerüchte gewesen zu sein.

Die verbündeten Mächte Deutschlands wurden zum Teil mit deutschen Granaten

unterstützt, zum Teil aber fabrizierten sie sie selbst, benutzten auch vielfach andere Giftstoffe als wir.

Die deutschen Gasgranaten wurden je nach ihren Eigenschaften in verschiedene Klassen eingeteilt, die man nach ihrer äußeren Kennzeichnung in die Grünkreuz-, die Gelbkreuz- und die Blaukreuzklasse einteilte. Außerdem gab es noch verschiedene Unterklassen, wie Grünkreuz, Grünkreuz 1, Grünkreuz 2, auch die anderen hatten weitere Unterklassen.

Nach englischen Analysen soll in den Grünkreuzgeschossen Trichlor-methyl-chloroformiat mit und ohne Chlorpikrin enthalten gewesen sein. Auch Chlormethyl-chloroformiat wurde gefunden. Gelbkreuz soll Dichlor- oder Dibrom-äthyl-sulfid gewesen sein und Blaukreuz Diphenyl-chlor-arsin. Die ersten Granaten mit Reizstoffen sollen bromierte Ketone, Benzyl- und Xylobromid enthalten haben.

Die genaueste Kenntnis unserer Gasmunition ist die wichtigste Vorbedingung für ihre Verwendung. In erster Linie paßte sich unsere Munition dem Verhalten der Gifte gegenüber dem feindlichen Gasschutz an, gegen Russen, Italiener und Rumänen verwandten wir andere Stoffe als gegen die Engländer und wiederum andere gegen die Franzosen. So schützte z. B. die italienische Maske am schlechtesten von allen gegen unser Grünkreuz, von Blaukreuz wurden die meisten Masken durchdrungen, am schwersten die englische usw. Wichtig war auch die Art der Wirkung auf einen ungeschützten Feind, manche Stoffe wirkten sofort, einige erst nach einiger Zeit, nach wenigen Minuten, nach einer halben Stunde, manche erst nach Tagen. Entsprechend war auch die Zeit, nach der man sich überhaupt die erste Wirkung versprechen konnte. Die meisten wirkten auf die Atmungsorgane und die Augen ein, Gelbkreuz hingegen wirkte auch auf die Haut, drang durch Kleidung und selbst Leder hindurch, so daß Spritzerwirkung besonders gefährlich war. Auch die Schleimhäute wurden stark angegriffen, es entstanden auf der Haut Blasen, ähnlich wie Brandblasen, die ansteckungsfähig waren. Dazu war der Stoff mit der Nase kaum wahrnehmbar, die Erscheinungen der Vergiftung traten erst nach einigen Stunden auf, wenn jedes Gegenmittel zu spät war. Blaukreuz hingegen war ein typischer Reizstoff, in Form von feinem Rauch durchdrang er die meisten feindlichen Masken, reizte zum Niesen und zwang den Gegner, seine Maske abzureißen, gleichzeitig verschossener Giftstoff vollendete die Vergiftung. Besonders wichtig für die taktische Verwendung war die Nachwirkung im Gelände, die von der verschiedenen Flüchtigkeit der Stoffe abhängig war. Wegen der schlechteren Verdunstung bei kaltem Wetter mußte man im Winter länger mit dem Betreten des Geländes warten als im Sommer. Manche Stoffe gestatteten ein sofortiges Betreten nach Beendigung des Schießens, bei anderen mußte man Stunden, ja selbst Tage, warten. Erstere kamen für die Offensive, diese für die Defensive in Betracht.

Die Zünder waren allgemein Aufschlagzünder mit höchster Empfindlichkeit, da das Geschöß vor dem Eindringen in den Boden kriechen mußte. Zeitzünder wurden selten nur für besondere Zwecke benutzt, sie mußten sehr genau eingestellt sein, denn wenn das Geschöß zu hoch kreperte, so verpuffte die Gaswirkung in der Luft.

Für die Stapelung der Gasmunition galten ähnliche Bestimmungen wie für die Brisanzmunition, besonders bei Brisanz-Gasgranaten. Im besonderen wurde die Gasmunition am besten senkrecht gestellt, da der empfindliche Teil die Verschraubung des Zünders war. Auch mußte auf die vorherrschende Windrichtung Rücksicht genommen werden, damit die Truppe nicht unter zerschossenen oder undichten Gasgranaten zu leiden hatte. Gasgranaten und Reizgranaten wurden stets getrennt auf-



bewahrt. Besondere Vorsicht erheischte das Gelbkreuz, da undichte oder zerstörte und befleckte Gelbkreuz-Granaten nicht mit ungeschützten Händen berührt werden durften. Die besonders gefährlichen Gelbkreuz-Granaten haben natürlich auch der Legendenbildung Vorschub geleistet. Viele Gerüchte waren an der Front verbreitet: ging man den Gerüchten nach, so waren es immer wieder die wenigen, allerdings recht bedauerlichen Unglücksfälle. Ein Offizier war durch Gelbkreuzstoff zugrunde gegangen, ein Krankenträger war durch einen Vergifteten angesteckt worden, und ein Mann hatte bei einem Patrouillengang im Vorgelände zurückgelassene Gelbkreuz-Granaten geborgen, die undicht geworden waren, wodurch er sich vergiftete und starb. Die Millionen von Gelbkreuz-Granaten haben, zahlenmäßig festgelegt, bedeutend weniger Unglücksfälle mit sich gebracht als die gleiche Anzahl von gewöhnlichen Brisanzgranaten, da die Unfälle durch Beschuß bei der Brisanzmunition so unendlich viel häufiger waren.

Das Ziel artilleristischer Gasbeschießung waren stets lebende Ziele, insbesondere Störung der Kampftätigkeit des Feindes; die Brisanzwirkung war zu gering, um feste Ziele zu zerstören. Gassperren zu legen, war meist Munitionsverschwendung, die Wirkung entsprach keineswegs dem Munitionseinsatz. Der Gaswirkung entgegen wirkte der feindliche Gasschuß. Auch bei gutem Gasschutzgerät und guter Disziplin hatte ein Gasschießen Aussicht auf Erfolg, wenn man den Feind mit Gas überraschte oder solche Stoffe anwandte, die der Feind nicht gleich merkte, so daß er seinen Gasschutz zu spät anlegte. Hierzu eigneten sich ganz besonders die Gas-Brisanzgeschosse. War anzunehmen, daß der Gegner seinen Gasschutz angelegt hatte, so zwang man ihn mit Reizstoffen, seine Masken abzureißen, oder verwandte Giftstoffe, die in Form feinsten Tröpfchens durch die Kleidung auf die Hautoberfläche wirkten. Bei günstigen Wind- und Wetterverhältnissen setzte man Dauerschießen mit Gas an, nicht unter 24 Stunden. So lange unter der Maske leben zu müssen, ist auch beim besten Schutze eine unerträgliche Qual, es ermüdet und zermürbt den Gegner.

Die Leistung des feindlichen Gasschutzes war natürlich veränderlich, die Masken wurden dauernd in ihrer Leistungsfähigkeit verbessert, so daß stets mit neuen Gesichtspunkten gerechnet werden mußte. Die Dauer des Schießens mußte verlängert, die Dichte der Gase verstärkt werden, die einzelnen Beschießungen mußten öfter wiederholt werden.

Der Grundsatz allen Gasschießens war die Erzeugung der erforderlichen Gasdichte in der entsprechenden Zeit. Ein einzelner Schuß mit Gasmunition war überhaupt zwecklos, während ein Volltreffer mit Brisanzmunition den größten Erfolg haben konnte. Ein Sparen mit Gasmunition zur falschen Zeit war Verschwendung. Es genügte nicht, daß man die Gasgranaten irgendwohin in die Nähe des Ziels verschöß, genau wie beim Brisanzschießen war ein sorgfältiges Richten und Zielen unter Ausnutzung sämtlicher Hilfsmittel und Berechnungen, Tageseinflüssen und Beobachtung erforderlich. Dazu kam noch die Richtung und Stärke des Windes am Ziel, mit der man stets rechnen mußte.

Die am häufigsten angewandte Art des Gasschießens war der Gasüberfall. Mit höchster Feuergeschwindigkeit wurde ein bestimmtes Ziel eine kurze Zeitlang mit Gas belegt. Man denke sich, irgendeine Ortsunterkunft wird nachts plötzlich durch Gasalarm wegen eines Gasüberfalls alarmiert. Alles legt die Masken an und wartet, bis sich der Gasschaden allmählich verzogen hat. Kaum hat sich die Truppe wieder zur Ruhe gelegt, so wiederholt sich das Schauspiel, die Nachtruhe bleibt anhaltend gestört, die Widerstandskraft des Gegners wird geschwächt.

Schließt sich an einen Gasüberfall ein längeres Gasschießen an, so spricht man von einem Schwadenschießen. Lager, Straßen mit viel Verkehr, Brücken, Lagerplätze, Unterkünfte, Ausladestellen an der Bahn waren beliebte Ziele. Ein solches Schießen währte meist einige Stunden, nach einiger Zeit der Ruhe wurde das Gasschießen wiederholt. Unter günstigen Verhältnissen wurde es auch zu einem Dauerschießen ausgebaut.

Besonders verheerend wirkte das Verseuchen ganzer Gegenden mit Gas, speziell mit Gelbkreuz, wegen seiner heimtückischen Wirkung. Das Gas selbst war ziemlich geruchlos, es wurde von den Gegnern „Senfgas“ genannt. Der schwache Geruch verschwand allmählich, nicht aber die Giftwirkung. In Unterständen, Schluchten, Höhlen, Häusern konnte es sich viele Tage, oft wochenlang halten. War der Gegner nicht gewarnt, so atmete er das Gas ein, ohne zunächst überhaupt etwas von der Wirkung zu spüren. Erst nach Stunden machte sich die Wirkung bemerkbar, aber dann war es für jedes Gegengift zu spät. Es ist anzunehmen, daß die Deutschen und Franzosen unabhängig voneinander auf die Verwendung dieser Klasse von Stoffen, die vor dem Kriege schon bekannt war, gekommen sind. Denn wenige Monate später, nachdem wir mit Gelbkreuz geschossen hatten, tauchten ähnliche Geschosse bei den Franzosen auf. Den ersten größeren Erfolg mit Gelbkreuz erzielten wir bei der Verseuchung von Ypern. Wir konnten die zerschossene Stadt derart mit Gift belegen, daß die Engländer mit ihren Reservern und Geschützen die verseuchte Fläche räumen mußten, wodurch die beabsichtigte Offensive im Juli 1917 um mehrere für uns sehr wertvolle Tage verschoben werden mußte. Zur Erinnerung an diesen Erfolg scheinen die Franzosen ihren entsprechenden Giftstoff „Yperit“ getauft zu haben.

Am Schlusse des Krieges wurden fast bei jedem Brisanzschießen gleichzeitig Gas-Brisanzgeschosse mit verfeuert, um den Gegner zu veranlassen, bei jedem Beschuß die Maske anzulegen. Die Gasabwehrwaffen mögen noch so gute sein, jeder, der einmal eine Gasmaske aufgehabt hat, weiß, wie man in allen seinen Bewegungen, beim Zielen, beim Telephonieren, beim Schreiben usw., durch die Maske behindert wird. Durch Anlegen der Maske wird der Kampfwert der Truppe zweifellos herabgesetzt.

Auch beim Artillerie-Gasschießen spielt der Wind eine große Rolle, allerdings in viel geringerem Maße als beim Blaseverfahren. Je ruhiger die Luft ist, um so länger wird das Gas zusammengehalten. Bei Sonnenbestrahlung des Bodens entstehen Luftwirbel, die das Gas emporwirbeln, darum ist die Nacht oder wegen der Möglichkeit der Beobachtung der frühen Morgen die beste Zeit zum Gasschießen. Je leichter der Gaskampfstoff flüchtig ist, um so schädlicher ist selbst ganz schwacher Wind. Wegen der Schwerflüchtigkeit des Gelbkreuzstoffes sind beim Verseuchungsschießen schwache Winde ohne Einfluß auf den Erfolg. Sehr wichtig ist ferner die Bodenbeschaffenheit. Im Walde ist der Wind immer schwächer als auf freier Ebene, darum sind Waldziele immer ganz besonders beliebt gewesen. Bei hügeligem Gelände ist stets der lokale Berg- und Talwind zu berücksichtigen.

Die Vorbereitungen für ein Gasschießen erforderten stets viel Zeit und Arbeit. Um die nötige Gasdichte in kurzer Zeit zu erreichen, mußten meist Hilfs- oder Reservebatterien hinzugezogen werden, außerordentlich große Mengen an Munition waren erforderlich. Keine größere Kampfhandlung wurde zuletzt ohne ausgiebige Vorbereitung mit Gas unternommen, ist es doch das beste Mittel gewesen, die feindliche Artillerie niederzuhalten. Die ersten Erfolge größerer Gasschießen mit Buntkreuz (z. B. Blau- und Grünkreuz) waren die Vorbereitungsschießen bei Riga und Jakob-

stadt. Bei Riga herrschte Windstille, bei Jakobstadt dichter Nebel, der die Gase nach unten drückte. Trotzdem hier nur die Hälfte der Menge Gasmunition verschossen wurde, war der Erfolg bedeutend größer als bei Riga. Man sieht hieraus, wie wichtig die Witterungsverhältnisse für ein Gasschießen sind. Während der großen Offensiven im Frühjahr und Sommer des letzten Krieges gingen mehrere hundert Munitionszüge monatlich von jeder Sorte Gasmunition an die Westfront. Ein Munitionszug ist eine ganz bestimmte Einheit, der z. B. von den Geschossen der Feldkanone etwa 28600 Schuß zu transportieren vermag. Da die Gegner mindestens die gleichen Mengen an Gasmunition wie wir verschossen haben, so kann man sich ein ungefähres Bild von der Ausdehnung des Gasschießens während der letzten Monate des Krieges machen.

### 5. GASMINEN-SCHIESZEN

Verhältnismäßig spät wurde die Munition der Minenwerfer mit Gas gefüllt. Die Franzosen hatten nur eine Art von Gasminen, die mittlere Flügelmine mit drei oder auch sechs Flügeln. Ihr Inhalt, etwa 4,5 bis 5,5 kg, bestand aus den bekannten Mischungen von Phosgen mit Zinntetrachlorid oder Blausäure mit Arsentrichlorid, die ersten Gasminen waren mit dem harmloseren Reizstoff Äthylschwefelsäurechlorid gefüllt.

Die englischen Gasminen, die sogenannten 10,5-cm-, „Stoke-mines“, enthielten am Ende der Mine eine Treibladung, die in einem durchlöchernten eisernen Behälter untergebracht war. Gefüllt waren diese Minen mit Jodessigester oder Chlorpikrin oder reinem Phosgen.

Die Gasminen hatten den Vorteil, verhältnismäßig große Mengen Gaskampfstoff überraschend mit einem einzelnen Geschoss in den feindlichen Graben werfen zu können. Ihre Wirkung blieb aber örtlich begrenzt, ebenso wie auch die Wurfweite. Aus den eigentlichen Minen haben sich dann die Gaswerfer entwickelt, die ja nur eine besondere Form der Minen darstellen.

Mit der zunehmenden Bedeutung der Minenwerfer als Störungsmittel beim Stellungskrieg und zur Vorbereitung des Angriffs wurde auch bei uns sehr bald die Gasmine eingeführt. Wir besaßen kleine, mittlere und schwere Minen, bei denen außer den für Artillerie-Gasgeschosse üblichen Gaskampfstoffen auch reines Phosgen Verwendung fand. Zum Schluß hatten unsere Minen die nämliche Füllung wie unsere Grünkreuz-, Blaukreuz- und Gelbkreuzgeschosse, so daß ähnliche Vorschriften für die Gasminenwerfer wie für das Artillerie-Gasschießen galten.

### 6. BRANDGRANATEN

Bereits im Herbst des Jahres 1914 versuchten die Engländer unsere noch auf den Feldern stehende Ernte durch Flieger-Brandbomben in Brand zu stecken. Der Erfolg war gleich Null, wohl kam hier und da einmal ein Brand von wenigen Quadratmetern Umfang auf, die Absicht aber, die gesamte Ernte zu vernichten, gelang nicht. Auch die Wirkung der verschiedenen Brandgranaten war minimal, hier und da ging einmal ein Schuppen in Flammen auf, aber die Wirkung war meist geringer als der Erfolg mit Brisanzgranaten.

Die meisten Brandgranaten enthielten Phosphor, einen Stoff, der sich bekanntlich in seiner gelben Modifikation durch Berührung mit der Luft von selbst entzündete und einen dichten weißen Rauch entwickelte. Sie wurden daher nicht allein um einen Brand zu erzeugen verwendet, sondern noch häufiger, um künstlichen Rauch zur Vernebelung zu erzeugen. Je feiner der Phosphor verteilt war, um so schneller trat die

Entzündung ein. Es ist ein beliebter Vorlesungsversuch, Phosphor in Schwefelkohlenstoff aufzulösen und mit dieser Lösung ein Stück Papier zu tränken. Das leichtflüchtige Lösungsmittel verfliegt sehr schnell, der feinverteilte Phosphor bleibt zurück und entzündet sich dann fast momentan an der Luft. Ganz ähnlich verhielt sich der Inhalt der Brandgranaten. Wegen der Erhitzung der Granaten beim Schießen bedarf es nicht immer des gelben Phosphors, auch die weniger empfindliche Form, der rote Phosphor, wie wir ihn von den altmodischen Schwefelhölzern her kennen, erfüllte den Zweck. Die Laborierung der Brandgranaten war die gleiche wie bei den Artillerie-Gasgranaten. Der Leerraum war mit Phosphor unter Wasser oder Melasse ausgefüllt. Empfindlicher Aufschlagzünder mit einer geringen Sprengladung brachte die Granate zum Platzen.

Neben den Phosphor-Brandgranaten begegnete man besonders häufig an der russischen Front den Thermitgranaten. Auch englische Thermitgranaten wurden öfters beobachtet. Thermit ist ein Gemenge von metallischem Aluminium mit Eisenoxyd. Nach einer Erfindung der Firma Goldschmidt in Essen benutzte man Thermit schon lange vor dem Kriege zum Schweißen von Eisen. Maschinen brauchten zu dem Zweck nicht demontiert zu werden, Eisenbahnschienen konnte man an Ort und Stelle zusammenschweißen usw. Nach der chemischen Gleichung



verbrennt, einmal entzündet, das metallische Aluminium auf Kosten des Sauerstoffgehalts des Eisenoxyds, wobei sich metallisches Eisen bildet. Hierbei entwickelt sich eine große Menge Wärme, die das Eisen zum Schmelzen bringt. Zum Entzünden des Gemisches brauchte man eine besondere Zündpille, diese wurde in den russischen Thermitgranaten durch einen Zündsatz ersetzt, der aus Barytsalpeter, gewöhnlichem Salpeter, Eisenoxyd, metallischem Eisen und Aluminium bestand. Der Zündsatz der englischen Thermitminen war Magnesium und Kaliumperchlorat. In der Nähe von Widsy südlich von Dünaburg wurde ein besonders interessantes Muster einer Thermitgranate gefunden, bei dem die Stichflamme oben den Zünder durchschmolzen und unten ein Loch in die Granatenwand gebrannt hatte. Hierbei war nicht nur der kupferne Führungsring zum Schmelzen gekommen, sondern ein Teil des Kupfers war sogar verdampft, und der Kupferdampf hatte sich an der kälteren Wand der Granate wieder niedergeschlagen. Zum Verdampfen des Kupfers sind aber mindestens 2300° C. erforderlich.

Eine besondere Form einer Flieger-Brandbombe möge hier noch Erwähnung finden, weil sie einmal zu einem Irrtum im Bericht der Obersten Heeresleitung geführt hat. Es hieß damals, daß feindliche französische Flieger Gasgranaten aus Flugzeugen abgeworfen hätten. Es handelte sich um die sog. französische Zweikammer-Fliegerbombe. Wie der Name schon sagt, bestand diese Bombe aus zwei getrennten Behältern, in dem unteren befand sich Benzin oder Nitrobenzol, in der oberen Stickstoffperoxyd. Wurde die Trennungswand durchschlagen, so entflammte der leicht brennbare Stoff auf Kosten des sauerstoffreichen Stickstoffperoxyds. Feindliche Flieger hatten einer deutschen Stadt ihren nächtlichen Besuch abgestattet und solche Brandbomben geworfen. Eine derselben durchschlug ein Dach und blieb in der Decke eines Schlafzimmers stecken, ohne daß die Flüssigkeiten sich mischten. Das Stickoxyd tropfte aber aus der leck gewordenen Bombe in das Zimmer. Natürlich waren die Bewohner entsetzt zunächst geflohen, nachdem aber nichts weiter passierte, legten sie sich später in dem Raume wieder zum Schlafen nieder. Durch das ausströmende Stickoxyd erkrankten aber die Bewohner und sind teilweise daran gestorben. Im

Freien wäre das Stickstoffperoxyd niemals imstande gewesen, jemandem ernstlich zu schaden, von einer Flieger-Gasbombe konnte daher nicht gesprochen werden, es fehlte die Vorbedingung für den Gaskampf, die Absicht, den Gegner durch Gas zu schädigen.

Es muß hier ausdrücklich betont werden, daß im ganzen Weltkrieg keine Gasbomben aus Flugzeugen, Luftschiffen usw. abgeworfen sind, mit einer Ausnahme. Es war dies an der Ostfront bei der Armee Woynsch, wo ein russischer Flieger drei Gasbomben auf ein Divisions-Stabsquartier abgeworfen hat. Wahrscheinlich handelte es sich um ein Versehen, denn der Vorgang hat sich niemals wiederholt. In Laienkreisen begegnete man häufig der Ansicht, daß man Riesenerfolge mit großen Giftbehältern erzielen würde, wenn man sie über dichtbevölkerten Gegenden oder Städten abwerfen würde. Zum wirkungsvollen Verseuchen einer Fläche wäre aber Einschlag neben Einschlag notwendig gewesen, denn eine einzelne noch so große Bombe hätte nur einen Erfolg unmittelbar im Umkreise des Einschlags gehabt. Die Luftbewegung hätte das Gas zu schnell wieder verdünnt. Aber noch eine andere Überlegung hat Freund und Feind von dem Abwerfen von Gasbomben abgehalten, und das war die sichere Vergeltung. Dann hätte jeder Mann in der Etappe, jeder in der Heimat, der irgendwo in der Ferne einmal einen feindlichen Flieger gesichtet hat, nach Gasschutz geschrien. Um aber das ganze Gebiet der Etappe und zum Teil der Heimat mit Gasabwehrwaffen auszurüsten, dazu langten weder die eigenen Mittel noch die der Entente.

### 7. KÜNSTLICHE VERNEBELUNG

Die künstliche Vernebelung hat nur insofern eigentlich mit dem Gaskampf etwas zu tun, weil man öfters beim Blaseverfahren davon Gebrauch gemacht hat, um den Gegner über die Ausdehnung der Gaswolke zu täuschen. Die Engländer wechselten öfters ihre Gaswolke mit einer darauf folgenden Nebelwolke ab, um unter dem Schutze des harmlosen Nebels vorzuziehen. Die Deutschen benutzten den Nebel, um die Flügel rechts und links der eigentlichen Gasangriffstelle zu verlängern. Aber auch zu anderen Zwecken wurden künstliche Wolken erzeugt. Ein beliebtes Mittel, Batterien der Sicht der feindlichen Flieger zu entziehen, war die Vernebelung der ganzen Gegend. Auch Patrouillenunternehmen konnten auf die Weise leicht verschleiert werden. Durch Nebelgeschosse wurde künstlicher Nebel auf der feindlichen Seite erzeugt, wodurch Beobachtungsstellen, besonders lästige Maschinengewehrnesten und dgl. außer Gefecht gesetzt werden konnten. Der Einschlag von Granaten, Gaschwaden usw. konnte durch künstlichen Rauch sichtbar gemacht werden. Welche große Rolle die künstliche Vernebelung bei der Marine spielt, ist aus der Schlacht am Skagerrak, aus dem Angriff der feindlichen Torpedoboote auf unsere Unterseebootsstationen an der flandrischen Küste hinlänglich bekannt geworden.

Wissenschaftlich muß man unterscheiden zwischen Nebel und Rauch. Nebel ist feinv verteilter Wasserdampf, es sind feinste in der Luft schwebende Tröpfchen, während Rauch aus festen Partikeln besteht. Wolken bestehen aus Wassertropfen, der Rauch aus einem Fabrikschornstein z. B. wird durch feinen Kohlenstaub gebildet. Es ist aber nicht gesagt, daß Rauch unbedingt schwarz sein muß, beim Verbrennen von Schwefelarsen wird z. B. weißer Arsenikrauch gebildet.

Künstlichen Nebel erzeugt man dadurch, daß man chemische Substanzen in der Luft zu feiner Verteilung bringt, die begierig Wasser aus der Atmosphäre anziehen. Sobald der Feuchtigkeitsgehalt die Sättigungsgrenze der Luft übersteigt, bildet sich, genau wie bei jeder Wolkenbildung, Nebel. Besonders geeignet hierzu ist konzentrierte Schwefelsäure, noch besser ist das Schwefelsäureanhydrid. Eine Lösung hier-



Äußerste Wachsamkeit aller Posten war notwendig, um die Gas-Alarminstrumente rechtzeitig in Gang setzen zu können. Wo Gaswerfer tätig waren, stand vor jedem Unterstand ein Posten, um die Schläfer zu wecken, denn alle Alarmapparate genügten hierzu nicht.

Überall waren Gas-Alarminstrumente angebracht, die nur für Gasalarm benutzt wurden. Hierbei waren natürlich alle Mittel ausgeschlossen, die mit der Lunge in Gang gebracht werden mußten, denn die Leute hatten sofort ihre Gasmasken aufzusetzen. Freischwebend aufgehängte Eisenbahnschienen von bestimmter Länge, Pflugscharen, Ausbläser usw. waren überall im Graben, bei den Artilleriestellungen usw. angebracht. Probealarm wurde aber nur in rückwärtigen Stellungen geübt, denn als einmal im Osten die Russen ihren ersten geblasenen Gasangriff ausführten, wurden zunächst einmal die sämtlichen Fernsprechleitungen dazu benutzt, um Rückfrage zu halten, ob es sich um einen Probealarm handelte oder ob es ernst wäre, wodurch natürlich für die Bereitschaft wichtige Sekunden und Minuten verlorengingen. Sämtliche Fernsprechstellen hatten besondere Vorschriften für die Alarmierung der rückwärtigen Stellungen. Oft fand ein Gasangriff vor der Front einer Division statt, die Wolke trieb aber über die rückwärtigen Stellungen einer Nachbardivision, deren Front außerhalb des Angriffs lag. Die Gegner benutzten vielfach für die Alarmierung des Hinterlandes sogenannte „Strombos-Hörner“, das waren Heulsirenen, die mit komprimierter Luft betrieben wurden und mehrere Kilometer weit zu hören waren. Bei uns waren die Heulsirenen für anderweitigen Alarm reserviert. Wir verwandten vielfach große Glocken, die mit ihrem weitschallenden Tone vor der kommenden Gefahr warnten: Wenn es die Zeit gestattete, so riefen sich die Leute den langgezogenen Warnungsruf „Ga—a—a—s!“ zu, der sich wie ein Lauffeuer in den Gräben fortpflanzte.

Durch sofortiges Aufsetzen der Gasmaske war jeder unbedingt vor der Wirkung des Gases geschützt, vorausgesetzt, daß die Gasabwehrwaffen in Ordnung waren.

Nach Möglichkeit wurden Unterstände und Stollen vor dem Eindringen des Gases geschützt, besonders die Sanitätsunterstände, die Fernsprechstellen, Befehlsunterstände. Denn ganz abgesehen von der Behelligung durch Gas verblieben die letzten Reste der Gaswolke viel länger in geschlossenen Räumen als im Freien. Doppelte Schutzvorhänge waren zuletzt fast überall angebracht. Natürlich mußten sie sofort beim ersten Gasalarm herabgelassen werden, außerdem war das Feuer im Ofen zu löschen, da hierdurch sonst die Außenluft und damit das Gas angesogen wurde.

Die meisten Metalle wurden durch das Gas angegriffen, Eisen rostete unter der Einwirkung der geringsten Mengen von Chlor, Kupfer wurde grün, Zink beschlug durch Bildung von wasseranziehendem Chlorzink, Messing verhielt sich wie seine Bestandteile, Kupfer und Zink. Waffen mußten daher gut gefettet werden, um sie der direkten Einwirkung des Gases zu entziehen. Das Fett aber absorbierte Chlor, man mußte es daher bald wieder entfernen und die Waffen, Geschützteile usw. frisch einfetten, sonst traten nachträglich Ladehemmungen durch Rostbildung auf. Auch die Munition wurde nach Möglichkeit geschützt. Kupfer und Messingteile mußten abgewaschen werden, um die leichtlöslichen Salze zu entfernen.

Übertriebene Vorstellungen machte man sich im allgemeinen von der Einwirkung der Gase auf Lebensmittel. Viel Schuld daran trug ein Aufsatz eines bekannten Tageblatts, dort wurde ein Gasangriff beschrieben, es hieß dann, daß nach glücklich überstandener Abwehr die Truppe mit Heißhunger ihre Feldküchenkost verzehrt hätte. Diese sei aber durch das Gift verdorben gewesen, und die Leute seien an Vergiftung

nachträglich gestorben. An der Geschichte war kein wahres Wort, Immerhin war es besser, allzu vorsichtig zu sein, als umgekehrt. Im allgemeinen kann man sagen, daß Lebensmittel, denen kein Geruch mehr anhaftete, ohne weiteres genießbar waren. Wenn natürlich direkt Spritzen der Giftflüssigkeit in das Essen oder auf Brot gefallen waren, so mußte man die Lebensmittel vernichten. Konserven in geschlossenen Büchsen waren sowieso vor der Einwirkung der Gase geschützt. Vorsichtiger mußte man schon mit Wasser sein, das den Gasen ausgesetzt gewesen war. Durch Abkochen wurde jedoch meist die Giftwirkung schon zerstört.

Leider hat frühzeitiges Abnehmen der Gasmasken anfänglich Vergiftungen verschuldet. Wenn die sichtbare Wolke verschwunden war, glaubten die Leute, die Gefahr sei überwunden. In den tiefen Gräben, in Sprengtrichtern, Unterständen hielt sich das Gas aber lange, ohne direkt sichtbar zu sein. Später machte man daher vor dem Abnehmen der Maske vorsichtige Schnüffelp Proben, indem man unter Anhalten des Atems vorsichtig einen Finger zwischen Maske und Gesicht schob und nun die eingedrungene Luft mit der Nase prüfte. Die Nase war überhaupt das beste Reagens auf Giftgase. Alle chemischen Reagentien versagten, meist waren sie nicht empfindlich genug, sie reagierten dann zu langsam, oder sie waren wiederum zu empfindlich, so daß sie beim Desinfizieren jeden Stalles oder der Latrinen z. B. Chlor anzeigten.

War der Gasangriff vorüber, so mußte möglichst bald an die Reinigung der Gräben und Unterstände geschritten werden. Hierzu war natürliche Lüftung das beste Mittel. Vorbedingung aber war, daß die Luft im freien Gelände tatsächlich gasfrei war. Die Franzosen hatten hierzu einen besonderen „Vermorel-Dienst“ angesetzt. Besonders hierzu bestimmte Mannschaften trugen auf dem Rücken den Vermorel-Apparat, einen kupfernen Behälter, ähnlich unseren Weinbergspritzen, der mit einer Schutzsalzlösung gefüllt war, die die giftigen Gase schlucken sollte. Während und besonders nach dem Angriff wurde der Graben oder Unterstand mit der Flüssigkeit bespritzt, um das Gas unschädlich zu machen. Wir haben einfachere Mittel vorgezogen, mit Handlüftern wurden die Gräben und Unterstände von der verseuchten Luft befreit. Chemische Mittel hatten sich wenig bewährt. Auch durch Anzünden von Feuer an einem Eingang des Unterstandes wurde für künstliche Lüftung gesorgt.

Die Gegner, besonders die Russen, haben sich viel von der schützenden Wirkung des Feuers versprochen, sie hofften durch die lodernde Flamme und die aufsteigende Luft das Gas zu heben. Man hat aber berechnet, daß man mindestens eine Feuerwand von 10 m Höhe brauchen würde, um einen geblasenen Gasangriff unwirksam zu machen, und zwar während der ganzen Zeit des Angriffs, also mindestens eine Viertelstunde lang. Das war aber praktisch nicht durchzuführen. Die Russen hatten vor ihren Stellungen der ganzen Front entlang Reisigbündel und anderes Feuerungsmaterial liegen, um sich bei eigenen Gasunternehmen und auch bei unseren Gasangriffen vor dem Gase zu schützen. Es war ein schaurig schönes Bild, als in einer Winternacht bei Illuxt an der Düna die ganze Front der Russen plötzlich durch solche Feuer illuminiert wurde und die Posten nun im Schein der Flammen die dicke grell beleuchtete Gaswolke sich auf unsere Gräben zuwälzen sahen. Wir haben das Feuer lediglich zur Erzeugung eines künstlichen Luftzuges benützt.

Für die Reinigung und Lüftung der großen Felsenhöhlen oder von Befestigungsanlagen waren große Ventilationsanlagen meist mit elektrischem Antrieb notwendig. Da jeder Mann zur Atmung in der Stunde etwa 10 cbm Frischluft benötigt, so sind derartige Lüftungsanlagen zur Erneuerung der verbrauchten Luft sowieso in großen geschlossenen unterirdischen Räumen angebracht gewesen.



Ganz besondere Vorsichtsmaßnahmen waren nach einem Beschuß mit Gelbkreuzmunition notwendig. Das lange haftende Gift setzte sich in den Kleidern, in der an den Stiefeln klebenden Erde fest und verseuchte die Unterstände. Das Gas war so geruchlos, daß man dessen Gegenwart nicht wahrnahm, bis Vergiftungserscheinungen auftraten, dann war es aber meist für eine Rettung zu spät. Auch beim Bergen von Gaskranken, die unter Gelbkreuz gelitten hatten, waren besondere Vorsichtsmaßnahmen notwendig, da ein Berühren der Leute wegen der Gefahr der Übertragung des Giftes für die Krankenträger zu vermeiden war. Die Sanitätsmannschaften waren mit Gummimänteln und anderen Schutzkleidungen versehen. Vor dem Betreten der Unterstände mußten die Leute ihre Kleidung wechseln und die Stiefel sehr sorgfältig reinigen. Chemikalien, die den Gelbkreuzkampfstoff vernichteten, waren überall verteilt.

Vorträge, Belehrungen und praktische Übungen waren dauernd notwendig, um alle Schutzmaßnahmen vorzubereiten und die Gasdisziplin auf der Höhe zu erhalten.

## DIE GASABWEHRWAFFEN

Vom Gaskampf sprach jedermann; mochte man ihn grundsätzlich verurteilen oder ein begeisterter Bewunderer der neuen Kampfarmt sein, der Industrie konnte niemand sein Lob versagen, daß sie es verstanden hatte, den neuen enormen Anforderungen, die an sie gestellt wurden, in jeder Weise gerecht zu werden. Wer etwas von Taktik verstand, war imstande, zu beurteilen, welche riesige Umwälzung in der ganzen Kriegführung die Einführung des Gaskampfes bedeutete. Von den Gasschutzmitteln oder, wie der technische Ausdruck lautete, den „Gasabwehrwaffen“ war verhältnismäßig wenig die Rede; hier und da erschienen manchmal ungeheuerliche Abbildungen in den Zeitschriften, oder ein Urlauber, der verbotenerweise seine Maske mit durchgeschmuggelt hatte, setzte sie im Kreise der Familie auf. Man lachte über das Bild und bedauerte wohl manchmal den Träger der Maske, aber selten gab man sich darüber Rechenschaft, welche Summe von Arbeit die Gasabwehrwaffen darstellten. Die Aufgaben, die der Industrie der Masken gestellt waren, übertrafen bei weitem diejenigen der Industrie des Gaskampfes.

Zunächst war die Beschaffung der Rohstoffe mit den größten Schwierigkeiten verknüpft, die geringen Vorräte an Baumwolle und Gummi waren bald aufgebraucht. Die durch Streckung erzielten Ersatzstoffe wurden immer schlechter. Zuletzt mußte man auf die an und für sich schon sehr knappen Ledervorräte zurückgreifen, was sich auf anderen Gebieten wiederum recht unangenehm fühlbar machte. Der Verbrauch war ein ungeheurer, täglich wurden Zehntausende von Masken an die Front geschickt, denn jeder Einzelne der Millionenheere mußte ein tadelloses Exemplar stets bei sich tragen. Wenn ein Gewehr nicht in Ordnung war, so war das sehr bedauerlich, weil sich dann ein Schütze weniger zur Verteidigung oder zum Angriff stellen konnte; hatte aber eine Gasmaske ein Loch von der Größe eines Stecknadelknopfes, so erlag der Träger unfehlbar der Einwirkung des Gases, sein Leben hing von dem guten Zustande seiner Maske ab.

Aber nicht nur die Industrie, sondern ganz besonders die Wissenschaft wurde täglich vor neue, kaum zu bewältigende Aufgaben gestellt. Kein Gaskampfstoff durfte bei uns zur Verwendung kommen, vor dem nicht unsere Maske vollständigen Schutz gewährte. Noch wichtiger war natürlich, daß unsere Gasabwehrwaffen vor den feindlichen Giften absolut schützten. Täglich mußte damit gerechnet werden, daß der Feind neue Stoffe verwandte, denen unsere Maske nicht gewachsen war. Bis dann ein

neues Filter erfunden und an der Front verteilt war, konnten Wochen und Monate vergehen. Niemals aber durfte unsere Truppe das in die Maske gesetzte Vertrauen verlieren. Wir sind glücklicherweise niemals in die unangenehme Lage versetzt worden, durch irgendein Gas überrascht zu werden, vor dem unsere Maske nicht ausreichenden Schutz gewährt hätte, was man von den feindlichen Gasschuttmitteln nicht behaupten kann. Aussagen von Überläufern und Gefangenen, erbeutete Berichte, aufgefangene Funksprüche und besonders Briefe sprachen von den unsäglichen Leiden, wenn wir wieder ein neues Gas angewandt, dem die Gegner infolge ungenügenden Gasschutzes so gut wie wehrlos gegenüberstanden. Kein Monat verging, ohne daß der Gegner wieder eine neue Maske einführte, und teuer genug mußte der Feind seine hierzu notwendigen Erfahrungen bezahlen. Es liegt nicht in meiner Absicht, die Leistungen des Feindes etwa hiermit irgendwie herabzusetzen, denn auch auf gegnerischer Seite ist Fabelhaftes geleistet worden. Die Aufgabe war für den Feind nur bedeutend schwieriger als für uns. Wohl standen der Entente die Rohstoffe in jeder Menge zur Verfügung, aber ihre chemische Industrie war vor dem Kriege nicht auf der gleichen Höhe wie die unsrige. Teilweise mußten die Fabriken erst gebaut, die Verfahren erst ausgearbeitet werden, um das zu leisten, was unsere Industrie spielend bewältigte.

Grundsätzlich konnte man zwei verschiedene Arten unterscheiden, um sich vor der Einwirkung der giftigen Gase zu schützen. Das bei weitem sicherste Mittel war, sich gänzlich von der umgebenden Luft unabhängig zu machen, d. h. den zur Atmung unbedingt erforderlichen Sauerstoff in irgendeiner Form mit sich zu führen. Man hatte kleine Bomben mit komprimiertem Sauerstoff bei sich oder wandte Chemikalien an, die leicht Sauerstoff entwickeln. Vor jedem Gas, das auf die Lunge oder auf die Augen wirkte, war man absolut geschützt. Mit solchen Apparaten konnte man auch Räume betreten, die überhaupt keinen Sauerstoff mehr enthielten. Der Nachteil war aber, daß alle derartigen Gasschuttmittel äußerst unhandlich waren, die Sauerstoffbombe wog allein schon mehrere Kilogramm, vor allem aber war ihre Verwendungszeit begrenzt, sie war abhängig von dem Vorrat an Sauerstoff, den man noch bei sich führte. Je länger man einen Sauerstoff-Schutzapparat benutzen konnte, um so größer mußte die Sauerstoffbombe sein, um so schwerer war sein Gewicht. Diese Schutzgeräte sind dann auch nirgends allgemein eingeführt worden, ihre Verwendung war beschränkt und Spezialzwecken vorbehalten. Man benutzte sie ausschließlich in solchen Fällen, in denen die Maske keinen Schutz gewähren konnte. Von der Konstruktion und der Verwendung dieser Apparate wird später die Rede sein.

Das andere Mittel, sich vor den Giften zu schützen, bestand darin, durch irgendeine Art von Filter die verseuchte Luft zu reinigen. Hierbei war natürlich Voraussetzung, daß die gereinigte Atmosphäre zum Atmen überhaupt geeignet war. Etwa in der Luft fehlenden Sauerstoff konnte die Filtration nicht schaffen. Es hatte z. B. keinen Zweck, in einen Brunnenschacht, in dem Grubengas oder Kohlensäure auströmte, mit aufgesetzter Gasmaske zu steigen, denn die fehlende Luft konnte die Maske nicht ersetzen. Für solche Zwecke eigneten sich hingegen die Sauerstoff-Schutzapparate.

Die Aufgabe, die Luft von den Giftgasen durch Filtration zu befreien, war nicht ganz einfach, denn die absoluten Mengen der Gase waren äußerst gering, und gerade die letzten Reste einer Verunreinigung zu entfernen, war am schwierigsten. Verschiedene Wege konnten zum Ziel führen, man konnte, wie es z. B. anfänglich die Engländer und auch teilweise die Franzosen getan haben, eine Haube aus Zeug, mit

Fenstern versehen, über den Kopf stülpen. Der Stoff war mit Chemikalien getränkt. Diese Art der Filtration hatte den Vorteil, daß der Atemwiderstand nur sehr gering war, dafür hatte sie aber den Nachteil, daß das Filter schlecht ausgenutzt wurde. In der Nähe des Mundes und der Nase wurden die Chemikalien viel schneller verbraucht als an den übrigen Flächen. Die Luft drang natürlich dort am leichtesten durch, wo der Widerstand am geringsten war. Es ließ sich nicht vermeiden, daß beim Aufsetzen Falten im Stoff entstanden; dies waren dann die Stellen, wo die Luft mit Vorliebe ein- und austrat. Hier wurden die Filter am schnellsten unwirksam. Die Hauben gaben nur kurze Zeit Schutz, weshalb diese Art von Masken bald von der Bildfläche verschwand. Wir und zuletzt fast alle Nationen haben die Aufgabe in der Weise gelöst, daß wir Gasfilter verwendeten, die in einer Büchse untergebracht waren, deren Inhalt von Zeit zu Zeit ausgewechselt wurde. Bei uns wurde der „Einsatz“, wie wir das Filter nannten, vermittels eines Gewindes in die Maske eingeschraubt. Die Maske selbst bestand aus einem Material, das überhaupt kein Gas durchlassen durfte. Bei der Entente war Einsatz und Maske fest miteinander verbunden, so daß jedesmal bei einer Erneuerung des Filters die ganze Maske umgetauscht werden mußte; wir wechselten einfach den Einsatz, von denen jeder mindestens zwei dauernd mit sich führte. Die letzte französische Maske hatte dann auch den auswechselbaren Einsatz von uns übernommen.

Bei der Konstruktion der Masken spielte die Frage, ob man ein Ausatemventil anbringen sollte oder nicht, eine viel umstrittene Rolle. Bekanntlich beruht der Atmungsprozeß darauf, daß wir Luft einatmen, die etwa ein Fünftel reinen Sauerstoff enthält. Auf Kosten dieses Sauerstoffs verbrennt im Körper ein Teil unserer organischen Substanz. Es entstehen bei diesem langsamen Verbrennungsprozeß, dem wir ja auch unsere erhöhte Bluttemperatur verdanken, dieselben Oxydationsprodukte wie beim Verbrennen jeder organischen Substanz, sei es Holz oder Kohle oder eine Kerze, Wasserdampf und Kohlensäure. Man kann sich leicht davon überzeugen, wenn man gegen eine kalte Fläche, eine Glasscheibe, haucht, so beschlägt sie mit Feuchtigkeit, oder wenn man die Ausatemluft durch Kalkwasser bläst, so fällt kohlensaurer Kalk nieder. Jedem ist bekannt, wie unangenehm in einem geschlossenen Raume die verbrauchte Luft auf den Menschen einwirkt: Beklommenheit, Kopfschmerzen, Atemnot treten ein, und zuletzt, wenn der Kohlensäuregehalt ein bestimmtes Maß überschreitet, können auch Vergiftungsercheinungen durch Kohlensäure eintreten. Ein ähnlicher Vorgang spielt sich nun in dem Raume zwischen dem Gesicht und der Maske ab. Mit jedem Atemzuge ziehen wir eine bestimmte Menge der Ausatemluft mit in die Lunge ein, die Luft unter der Maske wird immer schlechter. Viele Nationen haben sich in der Weise geholfen, daß sie ein Ausatemventil anbrachten. Dies hatte den Vorteil, daß die verbrauchte Luft sofort aus dem Zwischenraum von Gesicht und Maske, dem schädlichen Raume, wie man ihn allgemein nannte, entfernt wurde. Andererseits brachte es den Nachteil mit sich, daß eine ganz besondere Atmungstechnik notwendig war, um die Luft mit der Nase einzuzatmen und mit dem Munde wieder auszuatmen. Wir haben uns trotzdem nicht dazu entschließen können, von den Ventilen Gebrauch zu machen. Jedes Ventil beruht darauf, daß Flächen aufeinanderklappen, die beim Hineinblasen auseinandergehen, beim Saugen, also beim Einatmen, sich hermetisch aneinanderschließen. Diese Flächen können z. B. aus zwei Gummilaschen bestehen oder aus einer Kegelfläche oder einer Kugel in einem Trichter oder aus einem Hut, der sich auf die glatt geschliffenen Flächen einer Röhre auflegt. Der Grund, daß wir kein Ventil eingeführt

haben, lag in der Besorgnis, daß irgendein Sandkörnchen zwischen die Flächen eingeklemmt werden könnte, wodurch das Ventil illusorisch wurde und dem Gase den Eintritt unter die Maske öffnete. Vor dem Eindringen von Schmutz und Sand konnte man sich im Felde aber nicht schützen.

1. DIE DEUTSCHE MASKE. Von den behelfsmäßigen Atemschützern, die in den ersten Wochen provisorisch verausgabt wurden, soll hier nicht gesprochen werden, denn es waren dies einfach mit einer Schutzlösung getränkte kleine Lappen, die vor Mund und Nase festgebunden wurden. Unsere eigentliche Gasmaske war ein Kunstwerk in ihrer Ausführung. Wir dürfen stolz darauf sein, von Anfang an das Richtige und Brauchbarste geschaffen zu haben. Wohl hat die Maske im Laufe des Krieges Verbesserungen aufzuweisen, Neukonstruktionen, die zum Teil in dem Mangel an Rohmaterial begründet waren, aber grundsätzlich ist an unserer Maske nichts geändert worden. Von Anfang an hatten wir eine Maske aus gasdichtem Stoff ohne Ausatmungsventil mit einem auswechselbaren Einsatz, der als Luftfilter wirkte.

Unsere erste Maske bestand aus bester ägyptischer Baumwolle, die durch Gummierung für Luft undurchlässig gemacht war. Vor den Augen befanden sich Fenster, die aus Cellon bestanden. Durch die Ausatmungsluft beschlugen diese Cellonscheiben sehr leicht, so daß die Sicht behindert wurde. Um die Fenster reinigen zu können, ohne die Maske zu lüften, waren Wischfalten angebracht, in die man von außen einen Finger steckte, um mit dem Stoff der Maske die Gläser zu putzen. Diese Wischfalten brachten aber den Nachteil, daß der schädliche Raum bedeutend vergrößert wurde, so daß sich die verbrauchte Luft hier ansammelte. Diese erste Ausgabe der Maske hieß „Linienmaske“, weil der Abschluß gegen den Kopf lediglich in einer Linie bestand. Festgehalten wurde die Maske durch Bänder, die über den Kopf gezogen wurden.

Verbessert wurde die Maske durch Einführung der „Rahmenmaske“. Der Stoff der Maske war rahmenförmig umgeklappt, so daß die Abdichtung gegen das Gesicht nicht mehr in einer Linie, sondern in einer Fläche, einem Streifen bestand. Der Träger war dadurch besser, als anfänglich, gegen ein Abstreifen oder Anstoßen geschützt. Die Cellonscheiben waren innen mit einem kleinen grünen Kreuz gezeichnet, was bedeutete, daß die Fenster auf der Innenfläche chemisch und physikalisch behandelt waren, derart, daß sie, falls sie einmal naß geworden, durchsichtig blieben. Absolut zuverlässig war dieses Mittel aber nicht, so daß man auf die Wischfalten vorläufig noch nicht verzichten konnte. Auch die Art der Befestigung auf dem Kopfe durch Einführung eines Stirnbandes war verbessert worden. Leider wurde durch den Mangel an Gummi die Qualität der Maske immer schlechter. Auch die Bänder waren nicht mehr so elastisch wie anfangs. Hier wurde ein Ersatz eingeführt, der ausnahmsweise besser war als die ursprünglichen Bänder. Man nahm elastische Drahtspiralen, Drahtfedern, die in Zeug eingenäht wurden. Diese hielten fester als die Gummibänder, haben sich überhaupt in jeder Weise bewährt.

Der gänzliche Mangel an Stoff und besonders Gummi führte dazu, daß wir zuletzt Ledermasken einführten. Leder aus Schafsfellen wurde mit Mineralöl völlig gasdicht imprägniert. Die Masken waren wohl etwas unhandlicher als die Stoffmasken, dafür aber bedeutend haltbarer. Der Hauptvorteil dieser Ledermasken bestand in einer wichtigen Verbesserung der Augenfenster. Auf der Innenseite der Fenster wurde eine Vorrichtung angebracht, die es gestattete, eine zweite Cellonscheibe von innen einzuschrauben. Diese war auf der dem Auge zugekehrten Fläche mit Gelatine überzogen. Bekanntlich beschlägt Gelatine beim Anhauchen nicht, sondern absorbiert die Feuchtigkeit. Solche Scheiben hielten Wochen und Monate vor, ehe man sie zu er-

neuern brauchte. Mit der Einführung dieser Verbesserung fiel die Wischhalte fort, wodurch eine große Ersparnis an Material und vor allem eine Verkleinerung des schädlichen Raumes erzielt wurde.

Bei allen diesen Masken war vor dem Munde ein Blechtablett angebracht, in den der auswechselbare Atemeinsatz eingeschraubt wurde. Dieser bestand aus Blech, enthielt die verschiedenen Chemikalien, wurde auf der einen Seite durch ein Gewinde, auf der anderen Seite durch ein Drahtsieb abgeschlossen. Die Wirkung dieses Filters war verschieden. Ein Teil der Gifte wurde chemisch gebunden, andere wurden zerstört und in unschädliche Gase übergeführt, die Hauptwirkung bestand in einer physikalischen Absorption. Frisch ausgeglühte Kohle vermag alle möglichen Gase in sich aufzusaugen, sie bildete daher einen Hauptbestandteil der Füllung. Anfänglich war nur eine Füllung vorhanden, man nannte diese Einsätze „Einschichteneinsätze“, zum Unterschied von den später eingeführten Drei- bzw. Zweischichteneinsätzen. Die erste Art gab keinen Schutz gegen Phosgen; sobald wir dieses Gas als Gaskampfstoff einführen, mußten wir die Einsätze entsprechend umbauen. Der Dreischichteneinsatz hatte seinen Namen von den drei verschiedenen Schichten der Füllung, die anfänglich durch Draht-, später durch gewachste Papiersiebe voneinander getrennt waren. Die Füllmasse bestand aus den Trägern für die Chemikalien und den gasbindenden Stoffen. Ähnlich wie ein Schwamm eine bestimmte Menge Feuchtigkeit aufsaugt, ohne zu tropfen, so halten gewisse poröse Körper die Salzlösungen zurück. Als solche Träger kamen feingekörnter Bimsstein, Kunststeine, geblühte Diatomänerde, Kieselgur usw. zu Verwendung. Die mittlere Schicht bestand aus einer ganz besonders wirksamen Kohle. Das Füllmaterial wurde mit Lösungen von Soda, Pottasche, Bikarbonat, Natriumthiosulfat, Rotropin und ähnlichen Stoffen getränkt.

Je stärker und dichter das Filter war, um so besser natürlich seine Wirkungskraft. Andererseits wuchs in gleichem Maße der Widerstand, den der Einsatz dem Atmen entgegenstellte. Durch die Ausatemluft gelangten aber große Mengen von Kohlensäure und besonders Wasser in den Einsatz, welches sich in den Poren und Kanälen festsetzte und dadurch den Atemwiderstand erheblich vergrößerte. Dauernd wurde an der Verringerung des Atemwiderstandes gearbeitet, denn die Erschwerung des Atmens behinderte die Truppe in hohem Maße und setzte ihren Kampfwert herab. Als Maß für die Messung des Atemwiderstandes nahm man die Höhe einer Wassersäule in Millimetern an, die sich beim Durchleiten eines bestimmten Luftquantums in einer bestimmten Zeit als Widerstand einstellte. Man sprach dann von einem Widerstande von soundso viel Millimetern. Anfänglich betrug der ursprüngliche Atemwiderstand etwa 12 mm, später gelang es, ihn bis auf 3 bis 4 mm herabzudrücken. Sobald er auf 8 mm gestiegen war, wurde der Einsatz gegen einen neuen ausgetauscht. Diese Grenze war eine willkürliche, denn auch mit 12 und 20 mm konnte man ohne jeden Schaden die Maske weiter tragen. Haben wir doch Masken der Russen gefunden, die durchweg bis zu 60 mm Atemwiderstand aufwiesen. Für die Messung dieser Größen waren besondere Atemwiderstandsprüfer an der Front. Durch Übung brachte man es aber bald soweit, durch einfaches Durchatmen mit dem Munde die guten von den schlechten zu scheiden. Auf dem Blech der Einsätze waren allerhand Daten und Buchstaben gedruckt, die Füllungsdaten und Fabrikmarken angaben, so daß man sofort die neuen gegen alte austauschen konnte.

Die Wirksamkeit unserer Einsätze gegen die Giftstoffe war außerordentlich groß. Die absoluten Mengen der Gase waren ja auch verhältnismäßig sehr gering. Niemals ist ein Einsatz aus der Front zurückgekommen, dessen Wirkungskraft auch nur einiger-

maßen erschöpft war. Chemisch wurden sie niemals aufgebraucht. Nach den stärksten geblasenen Angriffen der Gegner war die Absorptionsfähigkeit nie über 0,5% erschöpft, so daß die Truppe noch vielen Angriffen mit dem gleichen Einsatz hätte standhalten können; lediglich aus Prinzip wurde der Einsatz nach jeder größeren Gaskampfhandlung ausgetauscht. Der Hauptgrund des Wechsels lag immer in dem Ansteigen des Atemwiderstandes, weshalb zuletzt die Einsätze mit Ölpapier gegen das Eindringen der Luftfeuchtigkeit sowie mit einer Verschlusskappe geschützt wurden.

Unsere Einsätze schützten gegen jedes Kampfgas, sie versagten aber gegen Kohlenoxyd und gegen den Blaukreuzkampfstoff. Kohlenoxyd war kein Kampfstoff, denn wie schon erwähnt wurde, ist dasselbe zu leicht. Es kam in großen Mengen bei Explosionen in Minenstollen vor, die man nachträglich nur mit angelegtem Sauerstoffschutzgerät, nicht aber mit der Maske betreten durfte. Blaukreuz war ein fester Körper, der ähnlich wie Zigarrenrauch durch den Einsatz hindurchging. Der Gegner verwandte ja kein Blaukreuz, um sich aber bei Unglücksfällen mit der eigenen Munition oder beim Betreten des von uns mit Blaukreuz beschossenen Geländes gegen die Wirkung dieses Reizstoffes schützen zu können, wurde ein sog. Schnappdeckel eingeführt, den man auf den Einsatz federnd draufdrückte. Er bestand aus gewöhnlichem Filtrierpapier, das den feinen Staub zurückhielt. Auch das Vorhalten eines zusammengeballten Taschentuches erfüllte meistens den gleichen Zweck.

In letzter Zeit wurde der Einsatz noch vereinfacht, indem an Stelle der drei Schichten nur deren zwei angebracht wurden. Es wurde die Kohlendicht auf Kosten der anderen verstärkt, wodurch ein erhöhter Schutz bei ausnahmsweise besonders hohen Gasdichten, z. B. in nächster Nähe der Einschläge der Gaswurfflaschen, erreicht wurde.

Die deutsche Gasmaske wurde in drei verschiedenen Größen angefertigt, die allen Anforderungen genügte; in den seltensten Fällen mußte einmal eine besondere Maske auf Maß angefertigt werden, wenn anormale Kopfbildung vorlag.

Unser Gasschutz beschränkte sich aber nicht nur auf die Menschen, auch die Tiere, Pferde, Hunde, Brieftauben usw., mußten vor Vergiftung bewahrt bleiben. Man konnte aber nicht ohne weiteres das Prinzip unserer Maske auf den Tierschutz übertragen. Der Mensch atmet etwa 10 Liter Luft in der Minute, das Pferd braucht 300 bis 500 Liter. Wir atmen durch Nase und Mund, das Pferd ausschließlich durch die Nüstern. Daher blieb bei der Pferdemaske das Maul frei. Über die Nüstern wurde ein Sack aus Papierstoff gestülpt, der mit Schutzsalzlösungen getränkt war. Die Abdichtung geschah mit Leder. Die Augen brauchten nicht geschützt zu werden, da diese merkwürdig unempfindlich gegen die Gase waren, wie denn überhaupt die Pferde ganz anders auf die verschiedenen Gase reagierten als die Menschen. Gegen die meisten waren sie viel unempfindlicher als die Menschen, gegen einzelne hingegen empfänglicher. Waren die Masken nicht zur Stelle, so genügte meist auch ein Futterbeutel, der mit feuchtem Material, nassem Heu, Stroh, Laub, Erde usw., gefüllt war. Auch Abdichten der Stallungen mit Mist, der chemisch und abdichtend wirkte, hat sich sehr bewährt.

Für Hunde hatte man ebenfalls Atemsäcke mit Pelzabdichtung, die für die Sicht mit Augenfenstern versehen waren. Ebenso wie für die Brieftauben waren größere Kästen vorhanden, die mit mehreren Atemeinsätzen ausgerüstet waren.

Die Trageweise der Masken hat im Laufe der Zeit, den Anforderungen entsprechend, mancherlei Wandlungen durchgemacht. Ursprünglich war die Maske und je zwei Einsätze in Blechschachteln untergebracht, die in einer Segeltuchtasche verpackt waren. Damals war man schon zufrieden, wenn die Maske innerhalb einer Minute

vorschriftsmäßig aufgesetzt werden konnte. Später mußte jedermann seine Maske innerhalb von zwei bis drei Sekunden aufsetzen können. Mit dem Augenblick, wo der Gegner zuerst mit Gasgranaten schoß, mußte die Gasbereitschaft erhöht werden, denn überall im ganzen Bereich des feindlichen Artilleriefeuers konnte man durch Gas überrascht werden. Dies gab Veranlassung, sog. Bereitschaftsbüchsen einzuführen, in denen die Maske mit eingeschraubtem Einsatz verpackt werden konnte. Natürlich konnte man auch die Maske samt Einsatz an einem Trageband vor der Brust tragen, aber darunter litt die Maske in hohem Maße. Die Bereitschaftsbüchsen bestanden aus Blech, waren innen lackiert und mit einem Deckel verschließbar. Auf dem Marsche oder beim Transport wurde die Büchse auf dem Rücken getragen, im Gasbereiche hingegen an einem Trageband auf der Brust. Damit beim Herausnehmen der Maske keine Zeit verlorenging, wurde die Maske nach ganz bestimmten Vorschriften zusammengelegt, so daß ein Griff genügte, um die Maske richtig zur Hand zu haben und sie ohne jeden Zeitverlust aufsetzen zu können.

2. DER FEINDLICHE GASSCHUTZ. Im Gegensatz zu unserem Gasschutz haben die feindlichen Masken im Laufe der Zeit die mannigfaltigsten Wandlungen durchgemacht. Mit den Erfahrungen wuchs der Wert, so daß schließlich ein feindlicher Gasschutz erzielt wurde, der unserem nur wenig nachstand. Aber nicht nur dem Werte nach, auch der Form nach ähnelten die Masken immer mehr den unsrigen. Die letzte französische Maske z. B. hatte genau die nämliche Form wie unsere neue Ledermaske, sie besaß auch einen auswechselbaren Einsatz. Anfänglich paßte sich der Schutz den Gaskampfstoffen an, die wir dem betreffenden Gegner gegenüber zuerst benutzten. Gegen die Engländer richteten sich unsere ersten Angriffe mit Chlor, ihre Haube war daher mit chlorabsorbierenden Stoffen getränkt. Die Franzosen legten mehr Wert auf einen guten Schutz der Augen, denn sie hatten zunächst hauptsächlich unter tränenerregenden Reizstoffen zu leiden.

Dem Prinzip nach unterschieden die Gegner, genau wie wir, Sauerstoffschutzgeräte und Gasfilter.

Der englische Gasschutz. Die Engländer hatten anfänglich gewöhnliche Hauben aus einem flanelartigen Stoff, der mit verschiedenen Chemikalien imprägniert war. Die Maske wurde über den Kopf gezogen und unter die Uniform gestopft, so daß die Abdichtungslinie um den Hals zu liegen kam. Vor den Augen befanden sich zwei Fenster und vor dem Munde ein Ausatemventil. Dieses glied innen einer Zigarrenspitze und wurde in den Mund genommen, der Verschluss nach außen bestand aus zwei Gummilaschen, die das eigentliche Ventil bildeten. Die Zusammensetzung der Tränkungsflüssigkeit der Ventilhauben war z. B.:

- 15% Natriumphenolat
- 5% Hexamethylentetramin (Urotropin)
- 25% Glycerin
- 10% Ätznatron
- 45% Alkohol.

Die Hauben waren gestempelt PH, die Zusatz-Buchstaben bezogen sich auf den Ort der Neutränkung, z. B. PHR (Rouen), CPH (Calais), APH (Abbéville) usw. Der Atemwiderstand war verhältnismäßig sehr gering, 2,5 mm Wassersäule, dafür hafteten den Hauben aber alle die Nachteile an, die oben bereits erwähnt wurden.

Bereits im Jahre 1916 führte dann der Engländer einen neuen Gasschutz ein, der mit der Zeit immer mehr vervollkommen wurde. Es war dies der sogenannte „Box-

Respirator", der Büchsenatmer. Die zu diesem Apparat gehörenden Masken hatten die unveränderte Form unserer ersten Linienmasken mit Liniendichtung, Wischfalten, mit den gleichen Bändern, Cellonfenstern usf. Sie unterschieden sich von den deutschen Masken durch ein Ausatemungsventil und besonders dadurch, daß sie keinen auswechselbaren Einsatz, sondern eine mit der Maske fest verbundene Büchse, die auf der Brust getragen wurde, besaßen. Ein langer Atemschlauch verband Maske und Büchse. Das ursprüngliche nur für Spezialtruppen bestimmte Modell war bedeutend größer als der später allgemein eingeführte kleine Büchsenatmer. Der Inhalt der Büchse wurde ständig verbessert; es würde zu weit führen, jede einzelne Art der Füllung hier zu beschreiben. Gegen neu auftretende Gaskampfstoffe wurde eine Zusatzbüchse eingeführt, später wurden ursprünglicher Inhalt und der der Zusatzbüchse zu einer einzigen vereinigt. Die hauptsächlichsten zur Füllung in Betracht kommenden Chemikalien waren: Natronkalk und Permanganat, in einer weiteren Schicht alkalische Knochen-, später Holzkohle, in der Mundschild Bimsstein, der mit schwefligsaurem Natrium getränkt war. Später waren in der Büchse drei Schichten angebracht, die chemisch gleichartig waren und ein körniges Gemisch von Holzkohle und Natronkalk, die mit Permanganat getränkt war, enthielten. Die Schichten waren durch Watte voneinander getrennt, außerdem war eine doppelte Kräuselstofflage auf die oberste Schicht gelegt. Die chemische Wirkung dieses Filters war sehr gut, sie erreichte fast den gleichen Grad wie unser Einsatz. Der Nachteil gegenüber unserer Maske war insbesondere der außerordentlich hohe Atemwiderstand von 23 bis 35 mm Wassersäule, gegenüber 3 bis 8 mm bei der deutschen. Infolge des Stoff- und Wattenfilters bot die englische Maske von allen feindlichen Masken den besten Schutz gegen unser Blaukreuz.

Der französische Gasschutz. Da die Franzosen zuerst unter unserem Reizgas zu leiden hatten, verlegten sie anfänglich ihre Aufmerksamkeit auf einen guten Schutz der Augen. Dutzende von verschiedenen Modellen von Brillen, die das Auge eng umschlossen, sind gefunden worden. Zum Schutz der Atmungsorgane hatten die Franzosen zunächst eine dreifache Binde, Baillon (Knebel) genannt, die vor den Mund und die Nase gebunden wurde. Dann tauchten die Dreiecksmaulkörbe auf, die, mit einem wasserundurchlässigen Wachtuch versehen, vor dem Auswaschen der Binden durch Regen schützen sollten. Die Brillen wurden später mit den Binden zu einer Art von Maske verbunden. Die Bezeichnung war M.-2-Maske. Auch diese hat vielerlei Abänderungen im Laufe der Zeit durchgemacht. Ähnlich der englischen Haube wurde eine Zeitlang eine Ölhaube benutzt, „Cagoule“ genannt, die an Stelle der Augenfenster ein einziges Fenster aus Gelatine besaß. Um die Schichten der Binden und Masken nicht zu verwechseln, waren sie verschieden gefärbt. So war z. B. eine Schicht, die gegen Phosgen schützen sollte, mit Eosin rot gefärbt, die mittlere war durch ein Nickelsalz grün gefärbt, die dritte blieb weiß. Die Reihenfolge wechselte, stets aber war die grüne in der Mitte.

Die Engländer führten nach uns zuerst Urotropin als phosgenbindenden Stoff ein. Die Franzosen nahmen dann dieses Mittel ebenfalls auf, und von da ab hatten ihre Masken nur noch zwei Schichten. Wie die äußere Form, so wechselten auch die Tränkungsmitel der Binden. Hauptsächlich benutzten die Franzosen Rizinusöl, Glycerin, Seife, sulfanilisaures Natrium, Nickelsulfat, später dann auch Hexamethylentramin und Wachs. Das Nickelsalz war als besonderer Schutz gegen Blausäure eingeführt worden, die nur von der Entente, nicht aber von uns als Gaskampfstoff benutzt wurde.



Anfänglich auch als Gasschutz für Spezialtruppen kam der Tissot-Apparat auf. Die Maske war eine eng anliegende Gummimaske. Die Einatemungsluft strich vor den Fenstern entlang, um die Feuchtigkeit mitzunehmen. Die verbrauchte Luft wurde durch ein Metallrohr, das außen rechtwinklig nach oben gebogen war, durch ein Gummiventil ausgeatmet. Das Filter war in einer großen Büchse angebracht, die auf dem Rücken getragen wurde. Die Entfernung der Giftstoffe wurde durch zwei Schichten bewirkt, von denen die eine aus Stahlspänen bestand, die mit Äthnatron in Stücken durchsetzt war. Die andere Schicht enthielt Holzwolle, die mit Rizinusöl und ölsaurem Natrium (Seife) getränkt war.

Die neueste französische Maske war das größte Kompliment, das die Gegner unserer Massenfabrikation machen konnten, denn sie zeigte in Form und auch im Prinzip die größte Ähnlichkeit mit unserer Ledermaske. Zum ersten Male begegneten wir bei der „A. R. S.“-Maske (Appareil respiratoire speciale) einem auswechselbaren Einsatz, wie bei den deutschen Masken, allerdings mit einem anderen Gewinde. Die Anordnung der Fenster, der Bänder, überhaupt der ganze Bau war eine Nachahmung der deutschen. Sie unterschied sich lediglich von unserer Maske durch ein Ausatemungsventil, das im Mundteller angebracht war. Die chemische Wirkung war etwas geringer als bei dem deutschen Einsatz.

Der russische Gasschutz. Bei weitem am hilflosesten gegen unsere Gasangriffe waren bis zum Schluß die Russen. Sie hatten anfänglich sehr behelfsmäßige Atemschützer, die zuerst nur mit Urin, später mit Thiosulfat getränkt wurden. Lediglich gegen Chlor gaben sie einen ebenfalls völlig unzureichenden Schutz. Auch die Brillen waren lächerlich primitiv. Etwas Fensterglas in Blechhüllen, wie man sie hier und da bei Steinklopfern findet, wurden durch ein buntes Gummibändchen zusammengehalten. Meist waren es Liebesgaben, die überhaupt nicht von der Heeresverwaltung geliefert waren. Einer eigenen Idee entstammten Masken, die der englischen Haube glichen, aber ohne Ventil angefertigt wurden. Später begegneten wir einer Maske, die dem russischen Berginstitut entnommen war. Mittels einer Nasenklemme wurde die Nase verschlossen. Das Mundstück war von einem Gummilappen umgeben, der vor den Mund gebunden wurde. An einem Schlauch hing eine Blechbüchse, die mit Holzkohle gefüllt war.

Verhältnismäßig der beste russische Schutz war die sogenannte „Selinski-Kummaut“-Gummimaske. Sie bestand aus etwa 120 g des besten Paragummis, während unsere Maske sich seinerzeit mit etwa 10 g des schlechtesten Regenerats begnügen mußte. An den Augen waren ziemlich kleine Glasfenster eingelassen. Die Maske wurde über den ganzen Kopf gestülpt, wodurch jede Verdunstung der Feuchtigkeit unmöglich wurde. Schon bei gewöhnlicher Temperatur hielt man es kaum unter der Maske aus, im Sommer war es die reinste Tortur. Ein Schlauch verband die Maske mit einer vier-eckigen oder ovalen Blechbüchse, die wie beim Apparat des Berginstituts nur mit Holzkohle gefüllt war. Die Kohle splitterte leicht und gab Kohlenstaub, der unter der Maske zum Husten reizte. Dazu betrug der Atemwiderstand bis zu 60 mm Wassersäule. Nur ein Russe vermochte unter solchen Verhältnissen unter der Maske zu leben. Die Wirkungskraft der Filter war sehr verschieden, je nach der Art der Füllung, ob kleine oder große Stücke Holzkohle in der Büchse waren und besonders je nach dem Alter der Kohle. Sie nahm durch Lagern und durch das Atmen allmählich allerhand Gase auf und wurde mit der Zeit unwirksam.

Italienischer Gasschutz. Das älteste Gerät war eine Maulkorbmaske ähnlich der französischen, sie enthielt zwei Schichten aus Mull mit verschiedener Tränkung.

Rizinusöl, Seife, Glycerin, Soda, sulfanilsaures Natrium und Nickelsalze waren die Hauptbestandteile. Die italienische Vollmaske wurde „Masciera polyvalente“ genannt, sie ähnelte der französischen M.-2-Maske, stand aber in ihrer Wirksamkeit hinter der französischen Maske zurück.

Rumänisches Gasschutzgerät. Meist hatten die Rumänen fremde Gasmasken, entweder das französische Modell M. 2 oder die russische „Selinski-Kummant“-Maske, die sonderbarerweise der französischen vorgezogen wurde. Auch das Modell des russischen Berg-Instituts wurde öfters gefunden. Es gab zwar auch eine rumänische Maske, doch scheint man sehr bald von deren Unzulänglichkeit überzeugt worden zu sein. Sie bestand aus einer dicken Filzhaube, die — ländlich, sittlich — mit Petroleum getränkt war. Zwei winzige kleine Fenster aus Glas waren mit Siegellack in dem Stoff eingelassen.

Die belgischen Truppen waren teils mit französischem, teils mit englischem Gasschutzgerät ausgestattet.

Die Wirksamkeit des feindlichen Gasschutzes konnte auf sehr einfache Weise festgestellt werden. In einen Raum, der mit einer ganz bestimmten Menge Gaskampfstoff angefüllt war, wurden Leute mit einer deutschen, einer englischen, französischen oder sonst einer Maske hineingeführt und nun die Zeit gemessen, die erforderlich war, bis die ersten Mengen des Gases durch die Maske hindurchgingen, was meist mit der Nase leicht wahrzunehmen war. Man erhielt auf diese Art sehr gut vergleichbare Werte, die aber nur für eine ganz bestimmte Konzentration des Gases galten. Für andere Dichten wurden wieder andere Werte erhalten. So ergab sich z. B., daß gegen ganz verdünntes Blaukreuz alle Masken dauernd schützten, daß aber bei sehr großer Dichte überhaupt keine Maske Schutz gewährte. Die Wirkung nahm mit dem Quadrat der Konzentration zu. Ein anderes Mittel war, mit den verschiedenen Masken gegen eine abgeblasene Gaswolke vorzugehen; je weiter man ohne Belästigung vorkommen konnte, um so besser wirkte der Gasschutz.

3. DIE SAUERSTOFF-SCHUTZGERÄTE. Keine deutsche Maske und keine feindliche schützte vor Kohlenoxyd; man mußte daher Apparate anwenden, die es gestattet, sich vollständig unabhängig von der umgebenden Luft zu machen. Man mußte den zum Atmen unbedingt erforderlichen Sauerstoff in irgendeiner Form bei sich haben.

Kohlenoxyd von der chemischen Formel CO entsteht, wenn Kohlenstoff bei ungenügendem Sauerstoffzutritt verbrennt. Primär entsteht zunächst Kohlendioxyd, Kohlensäure CO<sub>2</sub>, das sich mit einem weiteren Atom Kohlenstoff zu Kohlenmonoxyd, meist einfach Kohlenoxyd genannt, vereinigt. Es ist der giftige Bestandteil des Leuchtgases, das gerade während des Krieges noch giftiger geworden ist, weil man dem Leuchtgas Wassergas zugesetzt hat, das aus gleichen Teilen Wasserstoff und Kohlenoxyd besteht. Glühende Kohle in Öfen, die ungenügenden Zug haben, gibt oft Veranlassung zu Kohlenoxydbildung. Auch beim Auslösen von glühenden Kohlen mit Wasser kann sehr leicht das giftige Wassergas entstehen. Wenn man auch im Felde mit diesen Bildungsarten selten zu rechnen hatte, so trat es doch in großen Mengen in den Gasschwaden von Explosivstoffen auf. Die Bildung des Kohlenoxyds ist hier auf die gleichen Erscheinungen zurückzuführen. Es entsteht zuerst Kohlensäure, die mit überschüssigem glühendem Kohlenstoff in den Explosionsgasen zusammenstößt, ebenso wirkt auch der entstehende Wasserdampf auf weißglühenden Kohlenstoff ein, in beiden Fällen bildet sich, weil die Luft durch die Gase verdrängt wird, Kohlenoxyd.

Wenn man bedenkt, daß eine einzige französische 15-cm-Granate unter Umständen bis zu 4000 Liter Kohlenoxyd entwickeln kann, so kann man sich ungefähr ein Bild

davon machen, welche ungeheure Mengen von Kohlenoxyd bei Minensprengungen usw. entstehen können, bei denen viele Zentner Explosivstoff zur Detonation kommen. Das Gas ist an und für sich farblos und völlig geruchlos. Es wäre überhaupt ein idealer Gaskampfstoff, wenn es nicht so leicht wäre, denn auch die Giftigkeit ist sehr stark. Im Freien beim Einschlag von Granaten macht sich die Giftwirkung nur wenig bemerkbar, denn der Wind sorgt für Verdünnung. Dicht neben der Einschlagstelle kommt aber die Spreng- und Splitterwirkung in erster Linie zur Geltung. Trotzdem sind häufig Todesfälle ohne äußere Verletzung beobachtet worden, die auf Kohlenoxydvergiftung zurückzuführen waren. In solchen Fällen hätte natürlich auch ein Schutzgerät versagt, wenn man es nicht zufällig gerade angehabt hätte.

In Minen und Stollen aber bleiben die Pulvergase lange Zeit in ihrer ursprünglichen Dichte erhalten. Anfänglich kann man sie wohl durch den bekannten Geruch des Pulverdampfes wahrnehmen, aber die Gase wandern durch Spalten und Risse, sie werden gleichsam filtriert. Sie verlieren allmählich ihren Geruch, das geruchlose Kohlenoxyd aber wandert in Nachbargänge und Stollen, so daß man nach einer Sprengung sehr vorsichtig mit dem Betreten sein muß. Auch bei der Marine spielt das Kohlenoxyd manchmal eine Rolle, wenn die Ventilation im Geschützturm aus irgendeinem Grunde versagt.

Die Sauerstoff-Schutzapparate enthalten den Sauerstoff entweder als solchen in komprimierten Zustände oder in Form von chemischen Substanzen, die leicht Sauerstoff abgeben. Diese gehören zur Klasse der Peroxyde und Persalze. Im großen und ganzen haben die letzteren die an ihre Verwendung geknüpften Hoffnungen auf diesem Gebiete nicht ganz erfüllt. Der Grundgedanke ist, daß das Peroxyd genau soviel Sauerstoff abgibt, als durch die Atmung verbraucht wird. Die ausgetatmete Kohlensäure und der Feuchtigkeitsgehalt der Ausatemluft entwickeln eine entsprechende Menge Sauerstoff. In Wirklichkeit aber spielte sich der chemische Prozeß nicht so glatt ab. Zunächst dauerte es eine Zeit lang, bis die Patrone überhaupt anfang, Sauerstoff zu entwickeln, oft kam es aber vor, daß die Sauerstoffentwicklung, einmal im Gange, überhaupt nicht mehr aufhörte, bis die ganze Substanz zersetzt war. War eine derartige Sauerstoffpatrone einmal angebraucht, so mußte man sie auswechseln, da sie beim zweitenmal unter Umständen versagte.

Die österreich-ungarische Armee und die Franzosen hatten derartige peroxydhaltige Apparate. Sie wurden „Pneumatogenapparate“ bzw. „L'Oxylithe“ genannt. Die Sauerstoffpatronen waren mittels eines Schlauches mit einem dichtschießenden Mundstück verbunden, das untere Ende der Patrone war an einem Atemsack befestigt, der dazu bestimmt war, den überschüssigen Sauerstoff aufzunehmen. Der französische Oxylitheapparat hatte noch einen besonderen Schutz gegen die bei der chemischen Reaktion in der Patrone frei werdende Wärme. Die Patrone war zu dem Zwecke mit einem durchlöchernten Metallmantel versehen, außerdem war noch ein Bügel angebracht, den ganzen Apparat zwecks besserer Luftkühlung vom Körper abzuhalten. Der österreichische Pneumatogenapparat war auf gleicher Grundlage aufgebaut, machte hatten auch noch eine zweite Reservepatrone. Der Vorteil dieser Apparate lag in ihrem leichten Gewicht und ihrer Handlichkeit, der Nachteil in ihrer Unzuverlässigkeit.

Bei allen Sauerstoff-Schutzgeräten wurde die Nase durch eine Klammer geschlossen. Anfänglich waren die Apparate noch mit Brillen ausgerüstet, als man sie aber nicht mehr im Gaskampf, sondern nur noch gegen Kohlenoxyd benutzte, wurde die Brille unnötig.

Allen anderen ähnlichen Schutzapparaten weit überlegen war der deutsche Selbst-Retter und dessen verbesserte Form, das „Heeres-Sauerstoff-Schutzgerät“. Die Sauer-

stoffquelle ist ein kleiner Stahlzylinder, in dem der Sauerstoff auf 150 Atmosphären zusammengedrückt ist. Die Sauerstoffmenge bedingt die Dauer der Verwendbarkeit. Nimmt man an, daß ein Mensch durchschnittlich 10 Liter Luft pro Minute verbraucht, so entspricht das einer Menge von 2 Litern reinem Sauerstoff. Die kleine Bombe des Selbst-Retters umfaßt 0,4 Liter. Eine gefüllte Flasche somit  $0,4 \times 150 = 60$  Liter, d. h. der Mensch kann mit diesem Quantum Sauerstoff etwa 30 Minuten leben. Es ist dies aber kein absolutes Maß, denn je nach der Arbeitsleistung braucht man mehr oder weniger. Im allgemeinen kann man sagen, daß man mit dem Selbst-Retter in der Ruhe bis zu 45 Minuten, bei reger Tätigkeit etwa eine halbe Stunde, bei sehr anstrengender Arbeit noch etwas kürzer auf Kosten des mitgeführten Sauerstoffs leben kann. Die Bombe des verbesserten Heeres-Sauerstoff-Schutzgeräts ist doppelt so groß, die Zeiten sind somit zweimal so lang zu setzen.

Beim Selbst-Retter strömte der Sauerstoff zunächst in einen größeren Atemsack, dann passierte er eine Kalipatrone und gelangte durch einen Schlauch mit Mundstück in die Atmungsorgane. Die Kalipatrone war mit kleinen Stücken Ätzkali ausgefüllt, die auf Drahtsieben geschichtet waren. Der Zweck des Kalis war, die ausgeatmete Kohlensäure und das Wasser aufzunehmen, wobei sich durch die chemische Reaktion, es entsteht bei dem Prozeß Pottasche, die Patrone stark erwärmt. Dies war recht lästig, da der einzatmende Sauerstoff dadurch ebenfalls stark erwärmt in die Lunge gelangte, andererseits aber war die Erwärmung ein sicheres Zeichen dafür, daß die Patrone richtig funktionierte. Der ganze ziemlich schwere Apparat wurde vor der Brust getragen und mit Bändern festgeschnallt.

Das Heeres-Sauerstoff-Schutzgerät (H.S.S.) war ein in vielen Beziehungen verbesserter Dräger'scher Selbst-Retter. Der einzige Nachteil war, daß er fast doppelt so schwer war, dafür war aber seine Leistung zweimal so groß. Er wurde nicht vor der Brust, sondern unter der linken Schulter getragen, so daß er beim Arbeiten, auch beim Kriechen speziell nicht hinderlich war. Die Sauerstoffflasche brauchte nicht je nach dem Verbrauch auf- und zugeschraubt werden, sondern das Ventil war die ganze Zeit hindurch offen und ein Drücken auf einen kleinen Knopf genügte, um wieder frischen Sauerstoff ausströmen zu lassen. Zwischen Ventil und Druckknopf befand sich ein kleines Manometer mit selbstleuchtenden Zahlen, an dem man jederzeit den noch vorhandenen Druck ablesen konnte, was beim Selbstretter nicht möglich war. Der Sauerstoff durchströmte nun zuerst die Kalipatrone von oben her, kühlte dadurch die Patrone ab und gab seine Wärme in den großen Atemsack und durch das Kühlrohr wieder an die Umgebung ab. Das Kühlrohr führte den Sauerstoff direkt aus dem Atemsack in den Mund. Ventile sorgten dafür, daß die Gase stets den vorgeschriebenen Weg innehielten. Hier konnte man ruhig Ventile anbringen, ohne Verstopfung oder Undichtwerden befürchten zu müssen, da alle Ventile in den Röhren, d. h. in der völlig gegen die Außenluft abgeschlossenen Apparatur eingebaut waren.

Die Franzosen besaßen eine getreue Nachbildung unseres Selbst-Retters, den sie ebenfalls wie wir nach der Firma Dräger „Appareil Dräger“ nannten. Als seiner Zeit bei dem Grubenunglück von Courbiere zahlreiche französische Bergleute verschüttet waren, sandte S. M. der Kaiser deutsche Bergleute zur Hilfeleistung, die mit Dräger'schen Selbst-Retttern ausgerüstet waren. Der französische Selbst-Retter war in allen Dimensionen kleiner gehalten, seine Leistungsfähigkeit daher noch geringer.

Da sich die Sauerstoffgeräte wegen ihrer Unhandlichkeit, dem schweren Gewicht, der begrenzten Schutzzeit im Gaskampfe nicht bewährt hatten, wurden sie ausschließlich zum Schutze gegen Kohlenoxyd verwendet, Sanitätsmannschaften waren damit

ausgerüstet, um Vergiftete zu retten, oder Pioniere, die nach Sprengungen oder Unfällen in den Stollen und Minengängen zu arbeiten hatten.

### ORGANISATION DES GASSCHUTZES

Die Umwälzung, die die ganze Kriegführung durch die Einführung des Gaskampfes mit sich brachte, erforderte eine weitgehende Neuorganisation der Verteidigung. Gänzlich unvorbereitet mußten wir zu einer Zeit, als die Truppen dauernd in die schwersten Kämpfe verwickelt waren, einen Gasschutzdienst einführen, der die volle Verantwortung für eine bis ins kleinste durchgearbeitete Gasdisziplin auf sich lud. Verantwortlich blieb natürlich der Truppenführer jeden Grades vom Oberbefehlshaber bis zum Zugführer.

Im Kriegsministerium wurde eine eigene Abteilung geschaffen, ihr angegliedert war ein rein wissenschaftliches Institut, das sich mit der Untersuchung aller bekannten chemischen Stoffe auf ihre Eignung als Gaskampfstoff befaßte; gleichzeitig wurde eine lebhaftere Forschertätigkeit entwickelt, um neue Stoffe zu erfinden und neue Wege auszuarbeiten, um die technische Gewinnung vorzubereiten. Daneben wurden dort die gesamten feindlichen Gaskampfstoffe und Gasabwehrwaffen dauernd untersucht. Aber auch die eigenen Masken und Einsätze mußten geprüft werden und ganz bestimmten Normen genügen; unnachlässiglich wurde jede Sendung zurückgewiesen, wenn ihre Beschaffenheit nicht völlig einwandfrei war.

Lediglich Unterrichtszwecken diente die Heeres-Gasschule in Berlin. In ein- oder zweiwöchentlichen Kursen wurden jedesmal etwa 500 Offiziere über Gaskampf belehrt und besonders gründlich im Gasschutz ausgebildet. An die Vorträge schlossen sich praktische Übungen, am Schluß des Kursus führen sämtliche Abteilungen gemeinsam nach einem Truppenübungsplatz, wo ihnen der Gaskampf mit allen Einzelheiten gezeigt wurde. Alle mußten einen geblasenen Gasangriff über sich ergehen lassen, um das Vertrauen in die Masken zu stärken und zu festigen. Oft galt es mit veralteten Anschauungen aufzuräumen und besonders bei den höheren Vorgesetzten das Interesse am Gaskampf zu wecken. Diejenigen Offiziere, die sich nachher an der Front als besondere Gasschutzoffiziere betätigen sollten, wurden einer hochnotpeinlichen Prüfung unterzogen.

Als Lehrer der Heeres-Gasschule waren meist Dozenten und Hochschullehrer tätig, die auf eine längere Spezialerfahrung an der Front zurückblicken konnten.

Gleichzeitig wurden auch Unteroffiziere ausgebildet, die ganz besonders auf das Auffinden von Fehlern an den Masken gedrillt wurden.

Mit den größten Schwierigkeiten hatte der Gasschutzdienst besonders in den ersten Monaten des Gaskampfes zu kämpfen, denn es fehlte an Offizieren, die über irgendwelche Erfahrungen verfügten. Aus allen Teilen der Front wurden Offiziere im Hauptmannsrang herausgezogen, deren Zivilberuf technische Kenntnisse und organisatorisches Talent voraussetzte. Nach einer kurzen theoretischen Ausbildung wurden diese Offiziere den verschiedenen Oberkommandos zugeteilt, um den Gasschutzdienst in den Armeen zu organisieren. Das war keine leichte Aufgabe, denn irgendeine Dienstvorschrift existierte damals noch nicht. Eine solche wurde erst später vom Kriegsministerium herausgegeben, als man die bei allen Armeen gemachten Erfahrungen verwerten konnte. Die Stelle beim Oberkommando wurde später eine Stabs-offiziersstellung. Adjutanten und Hilfs-offiziere wurden dem Stabs-offizier vom Gasschutzdienst, wie der Titel lautete, beigegeben, denn ihm unterstand auch der gesamte Nachschub an Gasabwehrwaffen sowie die Verwaltung des Gasschutzlagers. Der „Stogas“

war die beratende Dienststelle des Gasschutzes und Gaskampfes für das Armeeoberkommando. Er arbeitete auch in engster Fühlung mit den Wetterwarten, deren Bedeutung für den Gaskampf immer wichtiger wurde. Dort, wo der Gegner mit Gasangriffen operierte, war es leicht, die Truppe von der Wichtigkeit des Gasschutzes zu überzeugen, aber bei den Armeen, wo niemals Gasangriffe oder Gasgranatenbeschuß vorgekommen war, empfand die Front den Gasschutzdienst als eine höchst überflüssige Belästigung. Viel Mühe und Arbeit brachte der Gasschutz mit sich. Es galt nicht nur die kämpfende Truppe auszubilden, jeder Einzelne, ob er als Schreiber, als Bursche oder bei der Küche Verwendung fand, mußte dauernd seine Maske bei sich haben und imstande sein, sie innerhalb von zwei bis drei Sekunden richtig aufzusetzen.

Bei den Generalkommandos war ebenfalls ein Gasschutzoffizier tätig. Es war dies aber mehr eine Durchgangsstelle für den Verkehr des Oberkommandos mit den Divisionen und umgekehrt, mit dem eigentlichen Gasdienst bei der Truppe hatte er wenig zu tun. Um so wichtiger war dafür die Stellung des Gasschutzoffiziers bei der Division. Es wurden denn auch für diesen wichtigen Posten nur ganz besonders geeignete Offiziere mit Spezialausbildung kommandiert. Ihm lagen im kleineren Umfang dieselben Aufgaben ob, wie dem Stabschef beim Oberkommando. Er war in erster Linie dafür verantwortlich, daß alle Vorschriften von den Truppen ausgeführt wurden, daß die Leute gründlich ausgebildet wurden und die Gasabwehrwaffen stets in gutem Zustande waren. Er stand dauernd mit den Truppen in der Front in Fühlung, revidierte mit seinen Hilfsorganen die Masken, die Alarmapparate, die Selbstretter usw. Er erkundete das Gelände auf Geeignetheit für Gasangriffe, wirkte belehrend durch Vorträge, sammelte die Erfahrungen des Gegners. Er sorgte für das Zurückschaffen feindlicher Masken, von Blindgängern von Gasgeschossen, er war bei den Gefangenenvernehmungen zugegen. Die Stellung des Divisions-Gasoffiziers erforderte viel Umsicht und Takt, denn ehe die Heeres-Gasschule genügend aufklärend wirken konnte, fand er hie und da wenig Verständnis bei den Vorgesetzten, die die ganze Verantwortung gern auf den Gasoffizier abwälzen wollten. Andererseits war aber die Stellung des Gasoffiziers wiederum eine sehr dankbare, wenn die ersten Gasangriffe ohne jede Verluste abgewiesen werden konnten. Er fand dann wiederum viel Lob und Anerkennung, was ja bei entsprechendem Verdienst das beste Mittel zur Hebung der Arbeitsfreudigkeit ist. Neben der praktischen Tätigkeit lag ihm die Verwaltung der Divisions-Gasschutzlager ob. Hier wurden die kleinen Sauerstoffzylinder frisch gefüllt und plombiert, verbrauchtes Material wurde sortiert und feindliches, erbeutetes geordnet und gesichtet. Der Stabsoffizier vom Gasdienst, Offiziere der Spezial-Gastruppen und Stäbe begleiteten den Gasoffizier oft auf seinen Besuchen im Schützengraben, gemeinsame Besprechungen und Vorträge förderten die Kenntnisse und die Erfahrungen aus Theorie und Praxis.

Die Gasoffiziere des Regiments und des Bataillons hatten insbesondere für den Gasdienst bei der Truppe zu sorgen. Sie hatten dafür zu sorgen, daß die Masken richtig verpaßt wurden, denn eine schlechtsitzende Maske setzte den Kampfwert des Mannes herab, konnte unter Umständen sein Leben gefährden. Um ganz sicher zu gehen, daß die Maske gut verpaßt war, wurden die Mannschaften mit aufgesetzter Maske in sog. Gasräume geführt. In diesen „Stinkräumen“, wie sie an der Front hießen, wurden Patronen verschossen, die tränenerregende Stoffe enthielten. Der kleinste Fehler wurde am Tränen der Augen erkannt. In regelmäßigen Zeitabschnitten wurden diese Proben wiederholt.

Die verbündeten Armeen hatten einen Gasschutzdienst, der im großen und ganzen dem unsrigen angepaßt war. In Wien befand sich ebenfalls eine Armee-Gasschule. Türken und Bulgaren kommandierten Offiziere zu den Gasschulen, welche ihrerseits wieder als Lehrer bei ihren Armeen tätig waren.

Die Organisation des Gasschutzdienstes bei der Entente wich in manchen Einzelheiten wohl von der unsrigen ab, die Aufgaben waren aber die gleichen.

#### FRONTWETTERDIENST

Alle Gaskampfhandlungen waren mehr oder weniger von Wind und Wetter abhängig. Je nach der Art des Kampfgases gab es obere und untere Grenzen für die Windstärken, auch die Temperatur und die Niederschläge wie auch die Sonnenbestrahlung war von Wichtigkeit. Eine meteorologische Beratung der verschiedenen Dienststellen war daher erforderlich. Wir hatten bodenständige Wetterstationen und solche, welche zur Truppe selbst gehörten. Auch den Spezialtruppen für Gaskampf waren Fachmeteorologen beigegeben.

Die Wettervoraussage fußte auf den Meldungen der Seewartentelegramme, die die Beobachtungen des Inlandes und des Auslandes, soweit sie uns zur Verfügung standen, neben den Messungen des Heereswetterdienstes verwerteten. Bis in den vordersten Schützengraben waren die Beobachtungsposten vorgeschoben, um besonders auch den lokalen Windverhältnissen Rechnung tragen zu können.

Neben den wissenschaftlichen Messungen war es Aufgabe des Wetterdienstes, für die Aufklärung der Truppe über die Windverhältnisse zu sorgen, denn es war für jeden Einzelnen von größter Wichtigkeit, stets genau Bescheid zu wissen, aus welcher Richtung z. B. der Wind wehte. Oft war es erforderlich, dem Gase auszuweichen; bei einzelnen Schüssen mit Gasgranaten konnte man sich und unter Umständen auch seine Pferde durch Ausweichen gegen die Windrichtung in Sicherheit bringen.

Mit dem unerwarteten Abschlusse der Feindseligkeiten hat naturgemäß auch die Weiterentwicklung des Gaskampfes und des Gasschutzes ihr vorläufiges Ende erreicht. Es war uns gelungen, bis zum letzten Tage einen gewaltigen Vorsprung in der Technik der Gaskampfstoffe beizubehalten. Neue Gase und andere große Überraschungen konnten nicht mehr zur Anwendung kommen. Ob bei künftigen Kriegen wieder mit Gas gearbeitet werden wird, bleibt dahingestellt. Stets aber wird die Frage einer Wiederaufnahme des Gaskampfes in erster Linie von dem Stande der Entwicklung der chemischen Industrie abhängig sein. Möge es daher unserer chemischen Großindustrie vergönnt sein, auch fernerhin ihre führende Stellung in der Welt zu behalten, denn:

„Si vis pacem, para bellum.“

# DAS UNTERSEEBOOT

VON MARINEBAURAT MEISNER

## 1. ALLGEMEINES

Das U-Boot ist wie das Flugzeug so recht eigentlich ein Kind des 20. Jahrhunderts. Zwar ist der Gedanke, ein Schiff zu bauen, das unter Wasser fahren kann, wohl fast eben so alt wie das Bestreben des Menschen, den Vogelflug nachzuahmen. Es sind sogar schon im 16. Jahrhundert praktische Versuche gemacht worden, ein Unterwasserschiff zu bauen, aber das wirklich brauchbare U-Boot konnte doch erst um die Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert geschaffen werden. Es mußten erst eine Reihe von technischen Einzelheiten, Torpedo, Elektromotor, Sammlerbatterien, Dieselmotor, Sehrohr, Kreiselkompaß und noch andere bis zu einer gewissen Vollkommenheit ausgereift sein, damit sie sich als Glieder und Sinneswerkzeuge im Organismus des U-Bootes zu einem lebensfähigen Ganzen zusammenfinden konnten. Als wichtigste Vorbedingung für das U-Boot als Waffe im Seekrieg muß der selbständig laufende Torpedo gelten, denn vor seiner Erfindung fehlte es dem U-Boot ganz an einer Möglichkeit, dem Feinde schädlich zu werden. Alle älteren U-Boot-Erfindungen zielten darauf ab, auf irgendeine Weise eine Sprengladung unbemerkt unter Wasser an dem feindlichen Schiff anzubringen. Das ist eine Aufgabe, die auch heute noch selbst bei fest verankertem Schiff und im stromlosen Wasser als außerordentlich schwierig gelten muß, bei fahrendem Schiff ist sie unlösbar.

Schon 1588 sollen Versuche gemacht worden sein, Unterwasserfahrzeuge zur Ab-



Abbildung 1.

U-Boot vor Helgoland im Sturm.



wehr der spanischen Armada zu bauen. Das erste Unterwasserfahrzeug, das wirklich geschwommen hat, baute der Holländer van Drebbel 1642. Es ist aber zweifelhaft, ob er mit demselben getaucht hat oder nur in halbgeflutetem Zustande an der Wasseroberfläche gefahren ist. U-Boote, mit denen nachweislich unter Wasser gefahren wurde, bauten 1742 der Amerikaner David Bushnell, 1801 Robert Fulton und 1851 der Deutsche Bauer. Es waren Schwimmkörper von runder oder zylindrischer Form, die durch Einlassen von Wasserballast zum Untertauchen gebracht und durch von Hand getriebene Schrauben fortbewegt wurden. 1885 baute der Schwede Nordenfeldt ein 60 t großes spindelförmiges U-Boot, das über und unter Wasser mit Dampf getrieben wurde, den im letzteren Fall ein Kessel mit hoch erhitztem Wasser lieferte. Dieses Boot war außerdem mit einem Whitehead-Torpedo bewaffnet und kann daher mit Recht als die Vorstufe des heutigen kriegsbrauchbaren U-Bootes angesprochen werden. Das U-Boot von Nordenfeldt sowie auch zwei 160-t-U-Boote, die er für die Türkei baute, steuerte bei der Tauchfahrt noch außerordentlich unsicher, das Tauchen dauerte etwa  $\frac{1}{2}$  Stunde, und zum Anheizen der Heißwasserkessel für die Tauchfahrt waren  $1\frac{1}{2}$  Tage erforderlich.

Die Entwicklung des U-Bootes wurde nun in verschiedenen Ländern von einer Reihe von Konstrukteuren aufgegriffen, und es würde zu weit führen, sie hier im einzelnen zu schildern. In erster Linie tat sich Frankreich hervor, wo die Ingenieure Brun, Goubet und Laubeouf an der Vervollkommnung des U-Bootes arbeiteten. In Spanien ist es Leutnant Isaac Peral, in Rußland der Ingenieur Drzewiecki, die ihren Ländern brauchbare U-Boote zu schaffen suchten. In Amerika baute Holland 1895 sein erstes, nur 5,8 m langes U-Boot, das eigentlich ein bemannter Torpedo sein sollte. Nach weiteren, immer größeren Versuchsbauten legte Holland 1895 das erste Unterseeboot Plunger für die amerikanische Marine auf Stapel. England hat sich erst spät der Unterseebootwaffe zugewandt, da man sie damals noch ausschließlich als ein Küstenverteidigungsmittel betrachtete, und Englands Flotte auf den Angriffskrieg zugeschnitten war. Erst 1901 kaufte England fünf Hollandboote von Amerika, die dann so sehr befriedigten, daß England sich zum schnellen Ausbau einer leistungsfähigen U-Boot-Flotte entschloß.

In Deutschland waren zwar schon 1898 mit zwei Nordenfeldt-Booten Versuche angestellt worden, man glaubte aber auf das U-Boot verzichten zu können, weil die flachen deutschen Küstengewässer wirksamer durch Minen verteidigt werden könnten. Erst als sich die Möglichkeit eröffnete, das U-Boot angriffsweise und in der Seeschlacht zu verwenden, nahm Deutschland den U-Boot-Bau auf. Im Jahre 1902 hatte die Germaniawerft ein Versuchsboot von nur 16 t auf eigene Rechnung nach den Plänen des französischen Ingenieurs d'Equivilley gebaut. Ermutigt durch die erfolgreichen Versuche mit diesem Boot bestellte 1904 die russische Marine drei U-Boote von je 205 t und 1905 die deutsche Marine ihr erstes Boot U 1 von 283 t. Dieses war als erstes mit einem Zweitakt-Petroleummotor von der Firma Körting ausgestattet.

Der Entwicklungsgang des U-Bootes ist durch viele Opfer bezeichnet. Eine ganze Anzahl von Booten sind infolge konstruktiver Mängel oder durch Bedienungsfehler zugrunde gegangen und meist mit ihrer ganzen Besatzung. Mehrfach gaben die Knallgasentwicklung der Sammler und die Benzingase der Benzinmotoren älterer Boote Anlaß zu heftigen Explosionen, bei denen viele Leute verletzt und auch ganze Boote zerstört wurden. Dabei bietet das U-Boot-Fahren an sich dem Unternehmungsgeist so gut wie gar keine Anregung. Denn ob man über oder unter Wasser fährt, ist im U-Boot kaum zu spüren, nur an den Instrumenten liest der Kundige ab, in welcher Tiefe

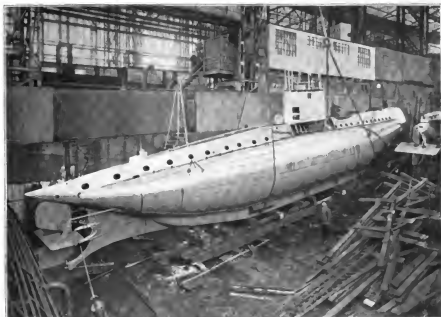


Abbildung 2.

Einüllenboot (U-B 1) auf der Helling.

und mit welcher Geschwindigkeit sich das Boot unter Wasser bewegt. Begeisterung und Rauschgefühl, wie sie den ersten Fliegern als Lohn für ihren Opfermut beschieden waren, kennt der U-Boot-Fahrer nicht. Um so höher ist der Unternehmungsgeist der Erfinder und der ersten U-Boot-Besatzungen anzuschlagen, denn sie arbeiteten allein unter dem Anreiz, neue geistige Werte zu schaffen und der Menschheit neue Gebiete zu erschließen.

## 2. KONSTRUKTION DER UNTERSEEBOOTE

Die Form und Konstruktion des U-Bootes wird im wesentlichen durch die hohen Drucke bedingt, denen es bei der Unterwasserfahrt ausgesetzt ist. Im Innern des Bootes herrscht stets der atmosphärische Druck wie an der Wasseroberfläche. Entsprechend der Tiefe unter der Wasseroberfläche, in der das U-Boot sich aufhält, erfährt es daher durch das Gewicht der auf ihm lastenden Wassermassen einen allseitigen Druck, dessen Größe durch die Höhe der Wassersäule gegeben ist. Bei 10 m Tiefe lastet eine Wassersäule von 10 m Höhe auf jedem qcm des Bootes, also ein Druck von 1 kg/qcm oder eine technische Atmosphäre. Bei 50 m Tauchtiefe ist der Druck 5 kg/qcm oder 5 Atmosphären, d. h. ein Flächenstück des U-Boot-Körpers von der Größe einer Handfläche würde schon mit dem gewaltigen Druck von 750 kg belastet werden. Der ganze U-Boot-Körper muß daher wie ein Dampfkessel aus starken Blechen hergestellt sein und nicht aus dünnen wie ein Schiff. Außerdem muß er eine kreisrunde oder wenigstens annähernd kreisrunde Form haben, weil diese Form nach Art eines Gewölbes am besten geeignet ist, dem

ungeheuren Druck zu widerstehen. Innen muß diese starkwandige Walze noch durch kräftige Rippen ausgesteift sein. Ein Beispiel für den Unterschied zwischen dem Überwasserschiff und dem U-Boot: ein Torpedoboot von etwa 900 t hat eine Außenhaut von 6 mm, ein gleich großes U-Boot eine solche von 12 mm.

Auch die Ausführungen aller Verbindungen der Platten und Bauteile untereinander, die Nietungen und Verschraubungen, müssen auf das sorgfältigste wie bei einem Dampfkessel hergestellt sein, und alle Nieten und Nähte sind zu verstemmen. Ebenso müssen alle Verschlüsse, Einsteigluker, Fenster und Ventile von Rohrleitungen, welche

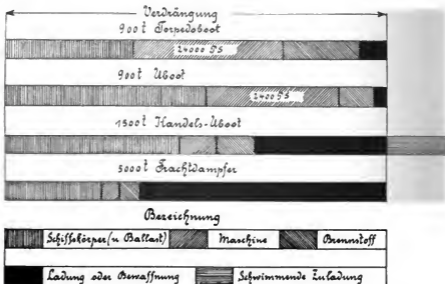


Abbildung 3.

Gewichtsverhältnisse verschiedener Schiffstypen.

durch den Druckkörper nach außen führen, außerordentlich schwer, fest und sorgfältig konstruiert sein, damit sie nicht unter dem gewaltigen Druck undicht werden.

Diese Rücksichtnahme auf den hohen äußeren Wasserdruck erfordert bei der Konstruktion des U-Bootes einen erheblichen Gewichts-aufwand. Im Vergleich zu seinen Geschwistern, die leicht auf der Wasseroberfläche schaukeln, ist das U-Boot, das sich in der Tiefe unter einem ungeheuren Wasserdruck seinen Weg suchen muß, schon von vornherein schwer durch seine unentbehrliche Panzerhülle belastet und dafür auf allen anderen Gebieten weniger leistungsfähig. In Zahlen: bei einem Überwasserschiff wiegt der Rumpf etwa 30% des Gesamtgewichts, bei einem U-Boot etwa 50%. Während also das erstere 70% für Maschinen, Bewaffnung, Panzer und Ladung verwenden kann, bleiben für diese Zwecke beim U-Boot nur etwa 50% übrig.

Das Mißverhältnis wird verschärft durch die Notwendigkeit, dem U-Boot für die Unterwasserfahrt noch eine zweite Maschinenanlage mit dazugehörigem Kraftspeicher mitzugeben. Beim Überwasser-Kriegsschiff wiegt die Maschine rund 20 kg, beim Torpedoboot 15 kg für die Pferdestärke, beim U-Boot wiegt die zur Überwasserfahrt

benutzte Maschinenanlage allein schon etwa 30 kg für das Pferd, dagegen wiegen Sammler und Elektromotor außerdem noch rund 120 kg für das Pferd. Im ganzen wiegt die U-Boot-Maschine, bezogen auf die Einheit der Überwasser-Pferdestärke, etwa 100 kg gegen 20 kg der Kriegsschiffe, also reichlich fünfmal soviel. Abbildung 3 zeigt recht anschaulich die Verteilung der Gewichte bei einem Torpedoboot, beim U-Boot und einem Handelsdampfer. Sie zeigt, wie enge Grenzen dem Schiffbauer gezogen sind, wenn er dem U-Boot hohe Geschwindigkeit, d. h. eine starke und schwere Maschinenanlage, großen Fahrbereich, d. h. gewichtige Brennstoffvorräte, bedeutende Kampfkraft, d. h. große Gewichte an Geschützen, Munition und Torpedos, oder große Widerstandskraft, d. h. einen schweren Panzer für seine militärische Aufgabe mitgeben will.

Die verfügbare Tragfähigkeit des U-Bootes wird weiter eingeengt durch den Ballast. Zur Herstellung der notwendigen Stabilität unter Wasser braucht das U-Boot einen schweren Eisenballast, der in seinem Kiel untergebracht wird; in der Regel sind hierfür etwa 6% des Gesamtgewichts erforderlich.

Infolge dieser ungünstigen Gewichtsverhältnisse mußte sich bei den U-Boot-Bauern ein ausgeprägter Gewichtsgeiz entwickeln, durch den wiederum die Konstruktion des U-Bootes und aller seiner einzelnen Teile auf eine ganz ungewöhnliche Höhe technischer Vollkommenheit gebracht wurde. Denn technische Vollkommenheit ist die Erreichung eines Zweckes oder die Erzielung einer Leistung mit dem allergeringsten Aufwand an Baustoffen, d. h. Gewicht. Ein Beispiel: bei dem 1910 fertiggestellten französischen U-Boot „Turquoise“ wogen die Dieselmotoren 72 kg je E. P. S. gegen 23 kg der gleichartigen deutschen Maschinen. Die Sammler wogen 25% mehr als die deutschen Sammler von gleichem Fassungsvermögen, und als Folge dieses Gewichtsvergeudung war der Fahrbereich nur etwa 1800 Seemeilen. Bei Verwendung deutscher Dieselmotoren und Batterien hätte der Brennstoffvorrat und Fahrbereich etwa dreieinhalbmal so groß sein können, und das Boot wäre militärisch viel wertvoller gewesen.

Abgesehen von der sorgfältigen konstruktiven Durchbildung aller Teile hat der Gewichtsgeiz noch eine besondere Eigenart der Maschinenanlagen auf den U-Booten zur Entwicklung gebracht: die hohe Umdrehungszahl aller Haupt- und Hilfsmaschinen. Es ist einleuchtend, daß eine Maschine, welche z. B. auf 200 Umdr./Min 10 P. S. leistet, auf 400 Umdrehungen deren 20 entwickeln würde, während ihr Gewicht unverändert bleibt. Überall, wo Gewicht gespart werden muß, sehen wir daher den Techniker die Drehzahl seiner Maschine hochtreiben. Das verlangt wiederum technische Verfeinerung, denn mit der steigenden Drehzahl stellen sich rasch wachsende Schwierigkeiten ein. Die schneller aufeinander gleitenden metallischen Flächen in den Lagern erhitzen sich stärker, die Schmierung der Lager wird schwieriger, die unvermeidliche schädliche Verlustwärme steigt im gleichen Verhältnis zur wachsenden Leistung, muß aber durch dieselben geringen Metallmassen fortgeleitet und durch dieselbe kleine Oberfläche der Maschine ausgestrahlt und abgeführt werden, und schließlich wachsen auch

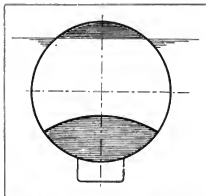


Abbildung 4. Einheiten-U-Boot.

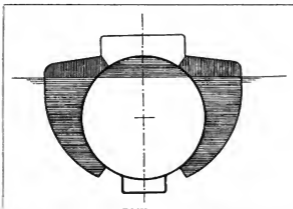


Abbildung 5.

Zweihüllen-U-Boot.

Wasserballast beim Tauchen aufnehmen sollen, unterscheidet man die Einhüllen- und Zweihüllenboote (früher als Unterwasser- und als Tauchboote unterschieden). Die Tauchtanks sind Wasserballasträume, die an ihrem unteren Ende große Ventile oder Klappen haben, durch die das Wasser schnell einfließen kann, während die Luft aus den Tanks aus Entlüftungsleitungen entweicht, die an deren höchstem Punkte angebracht sind. Zum Tauchen müssen also sowohl die Flutklappen wie auch die Entlüftungen geöffnet sein, zum Wiederauftauchen schließt man entweder nur die Entlüftungen und bläst den Wasserinhalt mit Preßluft durch die Flutklappen nach unten aus, oder man schließt auch noch die Flutklappen und pumpt das Wasser aus den Tanks heraus.

Bekanntlich verdrängt ein schwimmender Körper eine solche Wassermenge in Litern, als seinem Eigengewichte in Kilogramm entspricht, Süßwasser vom spez. Gewicht 1 vorausgesetzt. Untergetaucht, schwimmt das U-Boot auf seinem Druckkörper, der Inhalt des Druckkörpers muß also auf jeden Fall angenähert gleich dem Gewicht des U-Bootes sein. Soll das U-Boot auftauchen und dabei ein Teil des Druckkörpers aus dem Wasser herausragen, also nicht mehr schwimmend bleiben, so muß die dadurch verlorengene Schwimmkraft — oder Auftrieb — durch eine andere ersetzt werden. Dies geschieht durch Entfernen des Wassers aus den Tauchtanks. Nun ist es einleuchtend, daß das U-Boot sich beim Entleeren der Tauchtanks um ein Volumen aus dem Wasser heraushebt, das genau so groß ist wie das Volumen der entleerten Tauchtanks.

An der Wasseroberfläche verdrängt das

alle Massenkräfte und Fliehkräfte, und zwar nicht im gleichen Verhältnis mit der Drehzahl, sondern schneller, mit dem Quadrate der Drehzahl. Man sieht also, daß die ungünstige Gewichtsbelastung des U-Bootes in ihren Folgen bis in jede kleinste Einzelheit hineinwirkt, und ein wirklich leistungsfähiges U-Boot kann nur dort geschaffen werden, wo eine aufs höchste entwickelte Industrie den geeigneten Nährboden bietet.

**EIN- UND ZWEIHÜLLEN-BOOTE.** Je nach der Anordnung der Tauchtanks, die den

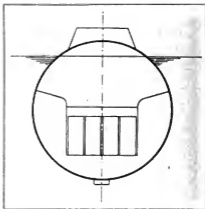


Abbildung 6.

Einhüllen-U-Boot mit flachwandigen Tanks.

U-Boot genau soviel Wasser, wie seinem Gewichte entspricht. Diese Überwasserverdrängung wird daher stets als Maß für die Größe des Bootes angegeben. Unter Wasser ist die Verdrängung um den Inhalt der Tauchtanks größer.

Die Ein- und Zweihüllenboote unterscheiden sich nun im wesentlichen durch die Anordnung ihrer Tauchtanks. Das Einhüllenboot besteht eigentlich nur aus dem zylindrischen, aus starken Platten druckfest gebauten Körper, dem Druckkörper (Abbildung 2). Die Tauchtanks sind im unteren Teile des Druckkörpers angebracht (Abbildung 4). Die wagerecht gestrichelten Inhalte des Tauchtanks und des ausgetauchten Druckkörpers sind gleich groß. (Die Querschnitte erscheinen verschieden groß, weil der Druckkörper lang, der Tauchtank kurz ist.) Beim Zweihüllenboot sind die Tauchtanks außen am Druckkörper nach Art von Pucksätteln angehängt, bei älteren Booten konnte man sie sogar im ganzen abnehmen, bei neueren bilden sie eine konstruktive Einheit mit dem Druckkörper (Abbildung 5). Auch hier sind die wagerecht gestrichelten Inhalte von Tauchtank und Druckkörper gleich groß, dagegen sieht man, daß beim Auftauchen auch ein Teil der Tauchtanks selbst, nämlich der senkrecht gestrichelte, aus dem Wasser heraustrucht. Hierin liegt ein wesentlicher Vorzug des Zweihüllenbootes, wie wir bei den Betrachtungen über die Stabilität erkennen werden.

Will man die Tauchtanks des Einhüllenbootes entleeren, so lenzt man sie im allgemeinen mit der Lenzpumpe, nachdem das Boot dynamisch hochgesteuert oder durch Anblasen eines besonderen kleinen Tauchtanks in die Nähe der Wasseroberfläche gebracht ist. Es muß aber im Notfalle auch möglich sein, das Auftauchen beschleunigt einzuleiten, indem man die Tauchtanks mit Preßluft ausbläst. Der Luftdruck im Tauchtank muß dabei mindestens so groß sein wie der außen auf dem Boot lastende Wasserdruck, und noch ein kleiner Überschuß von etwa 0,2 kg/qcm muß vorhanden sein, damit das Wasser durch die Tauchklappen ausströmt. Bei 25 m, bis zu welcher Tiefe die älteren Boote tauchen sollten, sind 2,7 kg/qcm erforderlich, bei 50 m auf neueren Booten 5,2 kg/qcm. Das sind ganz gewaltige Drucke, die es notwendig machen, den Tauchtanks gewölbte Formen zu geben. Auf älteren Booten hatte man die Tauchtankwandung vielfach, um den Raum besser auszunutzen, eben ausgebildet und der Einrichtung angepaßt (Abbildung 6), was bei den größeren Tauchtiefen der neueren Boote nicht mehr möglich ist, weil ebene Wandungen nicht widerstandsfähig gemacht werden können. Trotz der gewölbten Decke bedeutet der im Druckkörper untergebrachte Tauchtank des Einhüllenbootes immerhin noch eine Schwächung seines kesselartigen Körpers. Wie Abbildung 7 zeigt, ist durch den Tauchtank, in dem beim Ausblasen derselbe Druck herrscht wie in dem umgebenden Wasser, die kreisrunde Form zerstört und eine halbmondförmige von erheblich weniger Widerstandsfähigkeit geschaffen.

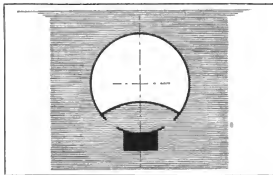


Abb. 7. Einhüllen-U-Boot mit Schwächung des Druckkörpers.

Beim Zweihüllenboot behält der Druckkörper beim Fluten der Tauchtanks stets

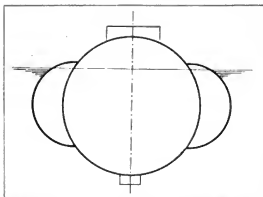


Abbildung 8.

Englisches E-Boot.

seine ideale runde Form. Die außen angehängten Tauchtanks des Zweihüllenbootes brauchen nun nicht mehr druckfest zu sein, denn ihre äußere Wandung hat beim Ausblasen nur den Druckunterschied zwischen dem inneren und dem äußeren Druck auszuhalten. Der innere Überdruck der Pressluft braucht aber nur so groß zu sein, daß er genügt, um das Wasser durch die Tauchklappen nach außen strömen zu lassen, also nicht größer als etwa 2 m Wassersäule oder 0,2 kg/qcm. Die innere Tauchtankwand erfährt allerdings ebenso wie beim Einhüllenboot den vollen Pressluftdruck, d. h. den Wasserdruck + 0,2 kg/qcm Pressluftüberdruck. Hier ist diese Wand aber die zylindrische Druckkörperwand und solchem Druck ohne weiteres gewachsen. Die äußere Hülle des Zweihüllenbootes hat mit Rücksicht auf ihre geringe Belastung etwa 4 mm Wandstärke. Die Besatzung des U-Bootes muß sich freilich sehr hüten, daß sie nicht etwa Pressluft auf die Tauchtanks gibt, wenn die Flutklappen noch zu sind. Das Wasser kann dann nicht entweichen, der Druck steigt schnell über 0,5 kg/qcm und der Tauchtank platzt nach außen. Selbstverständlich kann man die Tauchtanks der Zweihüllenboote nicht lenzen, da beim Ansaugen der Lenzpumpe sofort der volle äußere Wasserdruck auf die dünne Tauchtankwandung kommen und sie eindrücken würde.

Ein Vorzug des Zweihüllenbootes ist es, daß man die Tauchtanks verhältnismäßig groß machen kann, während dies bei den im Innern des Druckkörpers untergebrachten Tauchtanks des Einhüllenbootes nur möglich ist, wenn man den kostbaren Innenraum verkleinert oder den Durchmesser des Druckkörpers in unerwünschter Weise vergrößert. Die Größe des Tauchtankinhalts ist aber wichtig für die Seefähigkeit des Bootes bei der Überwasserfahrt. Wie schon gesagt, wird ein so großes Volumen des Bootes beim Auftauchen über die Wasseroberfläche hinausgehoben, wie dem Inhalt der Tauchtanks entspricht. Je größer die Tauchtanks, um so höher hebt sich das U-Boot aus dem Wasser. Das Verhältnis des Überwasserschiffs zu dem eingetauchten Teil des Schiffes ist nun maßgebend für seine Seefähigkeit, man nennt den Inhalt des Überwasserschiffs die Reserveverdrängung. Je größer die Reserveverdrängung ist, um so weniger wird

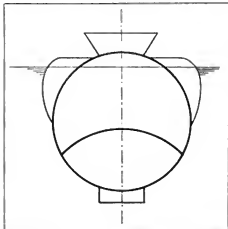


Abbildung 9.

U-B-2-Boot.

das U-Boot von den Wellen überflutet, mit um so größerer Geschwindigkeit kann es gegen die See anfahren, ohne daß die Besatzung von Deck oder gar vom Turm heruntergespült wird. Wegen der angeführten konstruktiven Schwierigkeiten haben die Einhüllenboote in der Regel weniger Tauchtankinhalt oder Reserveverdrängung im Verhältnis zum Gewicht als die Zueihüllenboote, die bis zu 40% Reserveverdrängung haben. An sich stände, wie gesagt, grundsätzlich nichts im Wege, auch dem Einhüllenboot größeren Reserveauftrieb zu geben. Der wesentliche Unterschied ist vielmehr der, daß beim Zueihüllenboot auch ein Teil des Tauchtanks, der senkrecht gestrichelte Teil in Abbildung 6, mit austaucht und die Reserveverdrängung verstärken hilft.

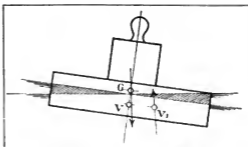


Abbildung 10. Formstabilität eines Brettes.

Die Tauchtanks werden der Länge nach unterteilt, damit das Wasser bei halbgelüllten Tauchtanks nicht frei hin und her schließen und die Tiefensteuerung des Bootes gefährden kann. Besonders notwendig ist diese Unterteilung beim Zueihüllenboot, dessen Tauchtanks sich über die ganze Länge des Bootes erstrecken (Abbildung 50). Die Doppelhülle gibt dem Konstrukteur die Möglichkeit, dem Boot eine schlanke, glatte äußere Form zu verleihen, und den Druckkörper aus Kegeln und Zylindern zusammensetzen was die Verarbeitung der schweren Bleche sehr erleichtert. Sehr viel schwieriger ist es, dem Einhüllenboot eine schlanke, glattverlaufende Form von geringem Widerstand zu geben, ein Nachteil, der nach neueren Ermittlungen aber wenig für die Tauchfahrt ins Gewicht fällt, da der Widerstand der Aufbauten und Anhängsel den Widerstand des eigentlichen Schiffskörpers um ein Mehrfaches übertrifft.

Es gibt nun noch Übergangstypen zwischen dem Ein- und dem Zueihüllenboot. Einhüllenboote wie die englischen E-Boote mit außenliegenden druckfesten Tanks (Abbildung 8), Einhüllenboote mit innenliegenden Tanks und außen angehängten Satteltanks wie beim Zueihüllenboot, z. B. die deutschen B-2-Boote (siehe Abbildung 9).

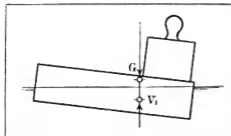


Abbildung 11. Formstabilität eines Brettes.

**DIE KONSTRUKTION DES U-BOOTES** sowohl wie auch seine Arbeitsweise unter Wasser werden entscheidend durch die Stabilitätsverhältnisse beeinflusst. Zum Verständnis des U-Bootes ist daher ein gewisses Eindringen in die Frage der Stabilität unvermeidlich. Man unterscheidet verschiedene Arten von Stabilität je nach der gegenseitigen Lage des Gewichtsschwerpunktes des Schiffes und des Antriebspunktes des Auftriebs, als welcher der Schwerpunkt der verdrängten Wassermenge gelten muß.

Ein flaches Brett schwimmt auf dem Wasser mit Formstabilität. Man kann es auch noch mit Gewichten beschweren (Abbildung 10), so daß der Schwerpunkt S



des ganzen Systems von Brett und Gewichten über dem Angriffspunkt V des Auftriebes, d. h. dem Schwerpunkt der Verdrängung liegt. Trotzdem wird das Brett nicht umkippen, denn es würde dabei auf der einen Seite aus- und auf der anderen Seite eintauchen. Der Schwerpunkt der Verdrängung verschiebt sich entsprechend nach der eingetauchten Seite, nach  $V_1$ ,

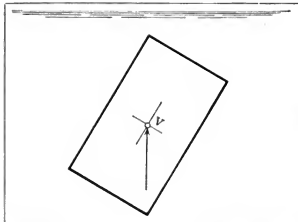


Abbildung 12.

Untergetauchter Körper.

und es entsteht ein Drehmoment aus Auftrieb und Gewicht, welches das Brett wieder aufrichtet. Auch wenn man das Gewicht verschiebt (Abbildung 11), wird das Brett nicht umkippen, sondern der Schwerpunkt der Verdrängung  $V_1$  wird sich so lange nach derselben Seite verschieben, bis die aufrichtende Kraft wieder genau durch den Schwerpunkt S des gesamten Systems geht.

Anders liegen die Verhältnisse bei völlig untergetauchtem Schiff, denn hier bleibt der Schwerpunkt der Verdrängung immer an derselben Stelle liegen und kann sich nicht mehr verschieben. Auch auf die Form kommt es nicht mehr an, denn bei jeder untergetauchten Form bleibt der Schwerpunkt des verdrängten Wassers, ganz gleich wie man sie auch dreht, an derselben Stelle (Abbildung 12). Soll ein solches Fahrzeug also unter Wasser stabil sein, so muß schon der Gewichtsschwerpunkt des gesamten Systems unterhalb des Verdrängungspunktes liegen, wie bei einem Pendel der Gewichtsschwerpunkt unter dem Aufhängepunkt liegt; dies nennt man Gewichtsstabilität (Abbildung 13).

Die Formstabilität eines Fahrzeuges ist um so größer, je breiter und flacher es ist und je weniger hoch der Schwerpunkt des gesamten Systems über dem Schwerpunkt des Auftriebes liegt. Die Gewichtsstabilität ist abhängig von der Länge des erwähnten Pendels, d. h. des Abstandes, um den der Gewichtsschwerpunkt unter dem Schwerpunkte der Verdrängung liegt. Außerdem gibt es noch eine zusammengesetzte Stabilität bei solchen Fahrzeugen, die sowohl eine Form-

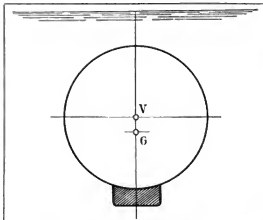


Abbildung 13.

Gewichtsstabilität.

stabilität wie eine Gewichtsstabilität haben, z. B. Rennsegeljachten, die einen breiten, flachen Körper haben und deren Systemschwerpunkt durch einen tief angebrachten Bleiballast so weit nach unten verlegt wird, daß er unterhalb des Verdrängungsschwerpunktes liegt (Abbildung 14).

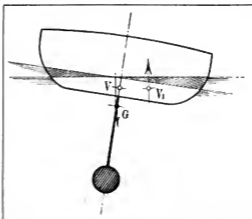


Abbildung 14. Form- und Gewichtsstabilität.

Beim U-Boot liegen nun die Verhältnisse so: unter Wasser hat es stets reine Gewichtsstabilität (Abbildung 13), über Wasser hat das Einhüllenboot eine zusammengesetzte Stabilität, und zwar eine infolge seiner schmalen Wasserlinie geringe Formstabilität und außerdem bereits Gewichtsstabilität. Letztere ist geringer als die Gewichtsstabilität des getauchten Bootes, weil beim Entleeren der unten im Boot liegenden Tauchtanks der Schwerpunkt des Bootsgewichts nach oben wandert (Abbildung 15). Das Zweihüllenboot hat über Wasser bei seiner breiten Schwimmwasserlinie eine reichliche Formstabilität (Abbildung 5). Diese größere Überwasserstabilität ist ein wesentlicher Vorzug des Zweihüllenbootes, denn sie gibt die Möglichkeit, größere Gewichte in seinen oberen Teilen anzubringen, z. B. Geschütze und Panzer. Dies ist mit ein Grund, weshalb die für den Handelskrieg und Geschützkampf eingerichteten deutschen Boote Zweihüller sein mußten.

Die Stabilitätsverhältnisse, die wir bisher nur für den Querschnitt des Schiffes betrachtet haben, gelten natürlich in derselben Weise auch für den Längsschnitt, also für alle Kräfte, welche darauf wirken, das Schiff zu trimmen, d. h. seinen Bug oder sein Heck zu heben oder zu senken.

Wie verschieden sich die Stabilitätsverhältnisse über und unter Wasser stellen,

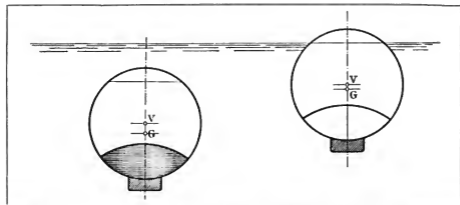


Abbildung 15.

Wandern des Systemschwerpunktes beim Einhüllenboot.



Abbildung 16.

Trimmomente getaucht

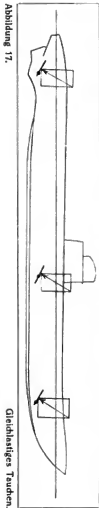


Abbildung 17.

Gleichlastiges Tauchen.

mag ein einfaches Beispiel beleuchten. Geht auf einem Überwasserboot, also auch auf einem aufgetauchten U-Boot, ein Mann von der Mitte des Schiffes nach vorne, so wird das Vorderende des Bootes durch sein Gewicht etwas ins Wasser hineingedrückt, und zwar so lange, bis die vorne hinzugewonnene Verdrängung und die hinten verlorene das von ihm ausgeübte Drehmoment aufgefange haben. Ein U-Boot von 70 m Länge wird etwa  $\frac{1}{10}$  m vorne tiefer tauchen. Ist das U-Boot aber untergetaucht, so tritt dieses Verschieben der Verdrängung nicht mehr ein. Das U-Boot wird sich mit seiner Spitze nach unten neigen (Abbildung 16) und der Gewichtsschwerpunkt G wird an seinem kurzen Pendelarm unter dem Auftriebsschwerpunkt V entsprechend nach hinten ausschlagen und einen wagerechten Hebelarm erhalten, und dies so lange, bis nach dem einfachen Hebelgesetz das an dem langen Hebelarm wirkende Gewicht  $g$  des Mannes dem am kurzen Hebel wirkenden Gewicht  $G$  des Schiffes die Wage hält. Der lange Hebelarm ist gleich fast der halben Schiffslänge etwa 25 m. Der Abstand zwischen Systemschwerpunkt und Gewichtsschwerpunkt des „Pendels“ beträgt nur 20 cm, so daß schon eine beträchtliche Neigung eintreten muß, bis das Gleichgewicht wieder hergestellt ist. Die Rechnung ergibt, daß der Bug des Bootes durch das Gewicht des Mannes um 260 mm gesenkt wird, gegen 0,1 mm beim Überwasserschiff!

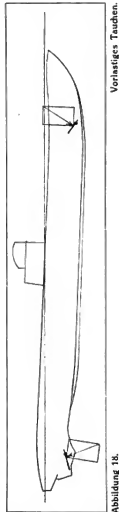
Hieraus erklärt sich die wesentlichste Eigentümlichkeit des untergetauchten Bootes: seine übergroße Empfindlichkeit gegen alle Gewichtsverschiebungen. Soll das Boot bei einem Angriff genau wagerecht auf einer bestimmten Tiefe fahren, so daß die Spitze des Schrohres gerade über die Wasseroberfläche emporsragt, so darf bei kleineren Booten keinerlei Bewegung der Mannschaft im Boot stattfinden, damit die Tiefensteuerung nicht gestört wird, das Schrohr nicht unterschneidet oder andererseits zu hoch hinauskommt und sichtbar wird. Je größer das Boot ist, um so unempfindlicher wird es gegen Bewegungen der Mannschaft, weil es infolge eines größeren Trägheitsmoments um die Querachse nur langsam auf die trimmende Kraft eines einzelnen Mannes anspricht. Auch stützen die Tiefenruder bei höherer Fahrt das Boot, sie können einen Druck von mehreren Tonnen ausüben, wogegen das Gewicht einiger Menschen nichts verschlägt. Bei U-Kreuzern kann die Mannschaft ziemlich ungehindert im Boot verkehren.

Bei der Stabilität mag noch eine merkwürdige Eigenschaft des Zweihüllenbootes erwähnt werden. Aufgetaucht liegt sein Gewichtsschwerpunkt über dem Auftriebsschwerpunkt, untergetaucht liegt er unter demselben. Während des Untertauchens und des Füllens der Tauchtanks muß also ein Augenblick eintreten, in dem der Gewichtsschwerpunkt auf seiner Wanderung von oben nach unten mit dem Auftriebsschwerpunkt zusammenfällt. In diesem Augenblick ist das U-Boot im indifferenten Gleichgewicht und ohne Stabilität, könnte also scheinbar durch äußere Kräfte, Seegang, zum Kentern gebracht werden. In Wirklichkeit ist keine Gefahr vorhanden, denn bei größeren Neigungen tauchen doch wieder auf der einen Seite Teile des Bootes ein, während auf der anderen Teile austauschen, so daß wieder eine Formstabilität entsteht.

Die Forderung für das U-Boot, Gewichtsstabilität unter Wasser, bedingt, daß der Schwerpunkt des Bootes und seiner Einrichtung tiefer liegt als sonst bei allen anderen Schiffsarten. Dieser Forderung kommt der Unterwasserantrieb des U-Bootes mit seinen schweren Sammler-Batterien, die tief unten im Boot angebracht werden müssen, schon fast von selbst entgegen. Es ist aber noch nötig, das U-Boot mit einem schweren Ballastkiel auszurüsten, dessen Gewicht, wie gesagt, etwa 6% des Gesamtgewichtes beträgt. Der Ballastkiel wird breit und kräftig ausgebildet, damit das U-Boot auf ihm ruhen kann, wenn es sich an den Grund legt.

Die Einrichtungen zum Steuern des U-Bootes unterscheiden sich von denen der Überwasserfahrzeuge. Ein Ruder in der üblichen Form wird möglichst dicht hinter den Schrauben angebracht, damit der Schraubenstrom, das Ruder kräftig beaufschlagend, die Drehwirkung unterstützt. Für die Unterwasserfahrt hat das U-Boot aber außerdem noch Tiefenruder, das sind Ruderblätter mit wagerechter Drehachse, durch welche die Tiefensteuerung bewirkt wird. Die hinteren Tiefenruder sind wieder zur Ausnutzung des Schraubenstromes unmittelbar hinter den Schrauben angebracht (Abbildung 2). Bei der Konstruktion der vorderen Tiefenruder muß besondere Rücksicht darauf genommen werden, daß sie nicht durch den Anprall der Wellen zerstört werden, wenn das Boot gegen die See anfährt. Man bringt sie deshalb möglichst tief an, wo die Möglichkeit, daß sie aus dem Wasser herauskommen und dem Schlag der See ausgesetzt werden, geringer ist, oder man teilt sie in je zwei übereinanderliegende schmalere und daher festere Flächen. Eine andere Lösung ist, sie während der Überwasserfahrt an den Bootsrumf heranzuklappen oder sie auf einem gemeinsamen Drehpivot mit senkrechter Achse anzubringen und über Wasser in die durchflutete Hülle des U-Bootes hineinzuschwenken, so daß sie längsschiffs stehen. Erst nachdem das Boot beim Tauchen in ruhigeres Wasser gelangt ist, werden diese drehbaren Bugruder in ihre Arbeitsstellung gebracht.

Beim Tauchen können die Tiefenruder auf zwei verschiedene Weisen zur An-



wendung gebracht werden. Bei gleichlastigem Tauchen (Abbildung 17) werden beide Tiefenruder im gleichen Sinne gelegt, so daß der Druck des strömenden Wassers auf ihre obere Fläche sowohl am Bug wie am Heck eine senkrecht nach unten gerichtete Komponente ergibt. Sie drücken das Boot auf ebenem Kiel nach unten. Beim vorlastigen Tauchen (Abbildung 18) übt das hintere Ruder einen Druck nach oben, das vordere einen nach unten aus, und jedes erzeugt ein Drehmoment, das den Bug des Bootes nach unten dreht. Ist das vordere Ruder eingeklappt, so tritt nur das Drehmoment des hinteren Ruders auf.

Unter dem Drehmoment der Tiefenruder nimmt das U-Boot infolge seiner geringen Unterwasserstabilität schnell eine Neigung mit dem Bug nach unten ein und schießt nun in dieser Schräglage nach unten. Infolge seines Beharrungsvermögens

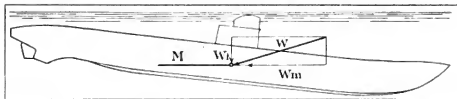


Abbildung 19.

Vorlastiges Tauchen.

sucht sich das U-Boot zunächst trotz der Drehung um seine Querachse noch in der Wagerichten vorwärtszubewegen, so daß nun die ganze Fläche des Decks wie ein großes Horizontalruder schräg gegen das Wasser gepreßt wird. Dieser Ruderdruck des Decks ergibt zusammen mit dem Widerstand in Richtung der Schiffsachse einen resultierenden Widerstand  $W$  (Abbildung 19), der sich in zwei Komponenten, eine senkrechte auf Tauchen wirkende  $W$ , und eine wagerechte, dem erwähnten Beharrungsvermögen  $M$  entgegengesetzte  $W_m$  zerlegen läßt. Da außerdem noch eine Reihe von verschiedenartigen Kräften, Schraubenschub, Restauftrieb, Tiefenruderdruck, auftreten, hat diese Darstellung nur grundsätzliche Bedeutung. Sie zeigt aber doch, daß das vorlastig tauchende U-Boot durch die Ruderwirkung des Decks sehr viel schneller nach unten gebracht wird als das gleichlastig tauchende. Trotzdem wird die gleichlastige Tauchung noch bei manchen französischen und amerikanischen Bootstypen angewandt und wird auch bei sehr großen U-Booten hauptsächlich in Frage kommen. Ein großes U-Boot mit seinem großen Drehmoment um die Querachse kann, wenn es einmal ins Kippen gekommen ist, leicht zuviel Neigung annehmen und würde bei seiner großen Länge und seinem gewaltigen Fahrtmoment zu schnell in gefährliche Wassertiefen gelangen, weshalb das vorlastige Tauchen um so vorsichtiger und mit um so geringerer Neigung ausgeübt werden muß, je größer das U-Boot ist.

Außer den Tauchtanks braucht das U-Boot noch eine Reihe von Tanks für besondere Zwecke: die Reglertanks, Ausgleichtanks, Untertrieb tanks und Brennstofftanks.

Die Reglertanks dienen dazu, den Gewichtsausgleich des Bootes herzustellen. Bei der Unterwasserfahrt muß das Boot möglichst genau so schwer sein wie das umgebende Wasser. Ist es leichter, so kann man es nicht unter Wasser drücken, ist es zu schwer, so geht es auf den Grund. Diesen Gewichtsausgleich stellt man dadurch her, daß man in die Reglertanks so lange Wasser einläßt, bis das Boot ebenso schwer ist wie das umgebende Wasser. Hauptsächlich muß mit den Reglertanks der Unterschied des spezifischen Gewichts des Wassers ausgeglichen werden. Süßwasser hat

das spezifische Gewicht 1, Seewasser bis zu 1,03. Das bedeutet, daß ein U-Boot, welches in süßem Wasser ausgewogen war und in Seewasser kommt, um 3% mehr Auftrieb erhält. Ein 800 t-Boot erhält also in diesem Fall 24000 kg oder 24 t Auftrieb, und die Reglertanks müssen, um dies wieder auszugleichen, etwa 24 cbm Rauminhalt haben. So große Unterschiede treten praktisch natürlich nicht plötzlich auf, doch sind mit den Reglern noch eine Menge von anderen Gewichtsänderungen auszugleichen, z. B. Verbrauch an Brennstoff, Proviant, Süßwasser, oder Gewichtsvermehrung durch Aufnahme von eroberten Geschützen. Die Regler müssen daher etwa 5% des Bootsgewichts an Wasser aufnehmen können.

Will man das Boot erleichtern, so wird Wasser aus den Reglertanks nach außen gepumpt oder durch Preßluft hinausgedrückt. Man könnte auch auf den Gedanken kommen, daß man, statt das Boot mit den Reglertanks auszuwiegen, nur die Tauchtanks mehr oder weniger weit vollzufüllen brauchte. Dies ist aber militärisch nicht möglich, weil die Tauchtanks beim Schnelltauchen mit äußerster Überstürzung geflutet werden müssen, und technisch nicht, weil die im Tauchtank zurückbleibende Luftblase sich bei größerer Wassertiefe zusammendrücken würde, es würde Wasser nachströmen und das Boot würde zu schwer werden. Es muß daher ängstlich vermieden werden, daß im Tauchtank Luft zurückbleibt, denn auf verschiedenen Wassertiefen nimmt sie verschiedenes großes Volumen an und erteilt dem Boot verschiedene Auftriebskräfte, die das Tiefensteuern unmöglich machen. Die Reglertanks entlüften nicht wie die Tauchtanks nach außen, sondern in das Bootsinnere. Das Luftvolumen bleibt also bei jeder Tauchtiefe gleich, da ja auch der Luftdruck im Boot unverändert bleibt. Natürlich muß das Flutventil geschlossen werden, sobald der Reglertank die richtige Füllung hat. Da die Reglertanks häufig beim Fluten mit dem Außenwasser in Verbindung kommen, und da sie im Notfall mit Preßluft ausgeblasen werden sollen, müssen sie auch druckfest sein. Beim Einhüllenboot liegen die Reglertanks im Bootsinnern, beim Zueihüllenboot zwischen Innen- und Außenhaut, und die letztere muß so weit, wie sich die Reglertanks erstrecken, aus druckfesten Blechen in gewölbter Form bestehen. Der Länge nach müssen die Reglertanks möglichst nahe um den Verdrängungsschwerpunkt des Schiffes versammelt sein, denn liegen sie z. B. weiter vorne, so würde beim Nachfüllen der Trimm des Bootes verändert werden, d. h. die Spitze würde nach unten gedrückt und die Tiefensteuerung gestört werden.

Die Trimm tanks dienen, wie der Name sagt, zum Austrimmen des Schiffes, d. h. zum Herstellen der Gleichgewichtslage der Länge nach. Es befindet sich je einer möglichst weit am vorderen und hinteren Ende des Schiffes. Durch eine besondere elektrische Pumpe wird Wasser z. B. aus dem vorderen in den hinteren gepumpt, wenn das Boot sich vorn zu sehr senkt, etwa weil Mannschaften sich nach vorn begeben haben. Reglertanks und Trimm tanks sind daher in den deutschen Booten grundsätzlich so getrennt, daß man das Boot auswiegen kann, ohne seine Trimm lage zu stören, und daß man seinen Trimm ausgleichen kann, ohne das Gewicht zu ändern. Dies vereinfacht die Handhabung sehr. Außer mit der erwähnten Trimpmpumpe kann man noch mit Preßluft trimmen, man gibt z. B. Preßluft auf den vorderen Tank und drückt das Wasser durch die Verbindungen in den hinteren Tank.

Die Reglertanks sowohl wie die Trimm tanks sind mit Wasserstandsgläsern versehen, auf denen man ihre Füllung, also auch den Gewichts- und Gleichgewichtszustand des Bootes, genau ablesen kann. Der leitende Ingenieur führt hierüber und über alle veränderlichen Gewichte im Boot dauernd Buch.

Besondere Ausgleichtanks sind vorgesehen, um die beim Torpedoschießen ent-

stehende Gewichtsveränderung auszugleichen. Wird z. B. beim Unterwassergriff ein Torpedorohr geflutet, d. h. das Torpedorohr, soweit es nicht vom Torpedo ausgefüllt wird, voll Wasser gelassen und die Mündungsklappe geöffnet, so würde durch das zuströmende Wasser der Trimm des Bootes verändert und das Tiefensteuern gerade in diesem kritischen Augenblick gefährdet werden. Es ist daher ein besonderer Tank für jedes Torpedorohr vorhanden, aus dem gerade so viel Wasser mit Preßluft in das Torpedorohr hinübergedrückt wird, als zur Ausfüllung dieses Zwischenraumes nötig ist. Außerdem sind oft noch besondere Ausgleichtanks vorhanden, welche das Gewicht der Reservetorpedos durch Wasseraufnahme ausgleichen sollen, doch können hierfür auch die Trimm- und Reglertanks mit herangezogen werden, wenn sie genügend groß sind.

Mit Untertrieb tanks werden neuere große Boote ausgerüstet, damit sie durch einen zusätzlichen Wasserballast beim Tauchen schneller unter die Wasseroberfläche gedrückt werden können. Das Boot wird zunächst mit leeren Untertrieb tanks ausgewogen. Im Gefahrenbereich werden die Untertrieb tanks, welche etwa 1% der Verdrängung enthalten, also bei einem 900 t-Boot 9 t, geflutet, und das Boot ist nun eigentlich um 9 t zu schwer. Beim Tauchen wird es also schneller wegsacken. Sobald es aber unter der Oberfläche verschwunden ist, werden die Untertrieb tanks mit Preßluft restlos ausgeblasen und geschlossen, und das Boot ist nun in seinem Gewicht wieder genau ausgeglichen.

Die Brennstoff tanks nehmen den Betriebsstoff für die Dieselmotoren des U-Bootes auf. Beim Einhüllenboot liegen sie wie ein gewöhnlicher Brennstoffbehälter im Innern des Druckkörpers. Eigenartig ist dagegen ihre Anordnung beim Zweihüllenboot. Hier sind sie ebenso wie die Tauchtanks zwischen der leichten Außenhülle und dem Druckkörper untergebracht. In diesem Raum darf, wie wir schon wissen, kein wesentlich anderer Druck herrschen als außerhalb des U-Bootes. Es ist deshalb

nötig, daß der Inhalt dauernd zum Druckausgleich mit dem Außenwasser in Verbindung steht. Das hat man in sehr einfacher Weise dadurch erreicht, daß die Tanks in ihren untersten Teilen Wasser enthalten, das durch eine besondere Rohrleitung mit dem Außenwasser verbunden ist. Auf diesem Wasser im unteren Teil der Tanks schwimmt nun der eigentliche Brennstoff, das Rohpetroleum, denn es ist mit seinem spezifischen Gewicht von etwa 0,87 leichter als Wasser. Durch besondere Einrichtungen ist Vorsorge getroffen, daß



Abbildung 20.

Einhüllenboot, U-C-1-Boot, im Kran hängend.

stets Druckausgleich zwischen dem Brennstofftank und dem Außenwasser erfolgt. — Überraschend ist es, daß der Brennstoff bei dieser Unterbringung dazu beiträgt, die Tragfähigkeit des U-Bootes zu erhöhen. Bei der Tauchfahrt ist nämlich nun nicht allein der Druckkörper Schwimmkörper, sondern auch der Brennstoffvorrat. 100 t Treiböl eines 900 t-Bootes haben einen Auftrieb von 13 t, der für die Mitführung von Munition, Schmieröl und Süßwasser ausgenutzt werden kann. So ergibt sich beim Zweihüllenboot die merkwürdige Tatsache, daß es um so mehr Ladung mitnehmen kann, je mehr es mit Brennstoff belastet wird; freilich muß diese Zuladung im Lauf der Reise im Verhältnis wie der Brennstoff verbraucht werden.

Beim Zweihüllenboot kann man außer den Brennstofftanks noch die Tauchtanks zur Aufnahme von Brennstoff heranziehen, um den Fahrbereich des Bootes ganz wesentlich zu erhöhen. Bei den deutschen 800 t-Booten beträgt der normale Brennstoffvorrat 50 t, der Inhalt der

„Zusatzbunker“ 60 t, so daß der Fahrbereich von 4000 Seemeilen auf 9000 Seemeilen gesteigert wird.

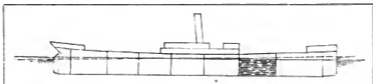


Abbildung 21.

Frachtdampfer mit Lek.

Wenn der Inhalt der Zusatzbunker verbraucht ist, werden sie in ihrer eigentlichen Eigenschaft als Tauchtanks benutzt, so daß das Boot auf der Rückreise mehr Reserveauftrieb hat, seefähiger ist und wegen seiner geringeren Tauchung leichter durchs Wasser zu treiben ist. Alle diese Vorteile hat das Einhüllenboot nicht, denn bei ihm können nur Brennstoffbehälter in beschränkter Fassung im Bootsinnen untergebracht werden. Wenn ihr Inhalt verbraucht ist, muß er durch Wasserballast ersetzt werden, damit der innerhalb des Druckkörpers liegende Teil des Bootes, das eigentliche U-Boot, immer gleich schwer bleibt.

Nach den vorstehenden Ausführungen wird es klar sein, wie peinlich genau der Konstrukteur und der Erbauer des U-Bootes mit dem Gewicht arbeiten müssen. Auf einem gewöhnlichen Überwasserschiff würde eine Überschreitung des vorausgerechneten Schiffsgewichtes nur bewirken, daß das Schiff ein wenig tiefer einsinkt, z. B. würde ein 900 t-Torpedoboot, das 3% zu schwer ist, nur etwa 5 cm tiefer einsinken. Beim U-Boot ist dagegen die Tragkraft unerbittlich genau durch den Rauminhalt des Druckkörpers gegeben. Eine Überschreitung von 3%, also 27 t, wäre auf keine Weise auszugleichen. Eine Gewichtsüberschreitung von 3% kann sehr leicht eintreten, z. B. brauchen nur die Platten des Druckkörpers um  $\frac{1}{2}$  mm zu dick gewalzt zu sein. Also auch in bezug auf die Gewichtsfrage verlangt das U-Boot hochwertigste Konstruktion und sauberste Bauausführung.

**SICHERHEITSEINRICHTUNGEN.** Im Vergleich zum Überwasserschiff weist das getauchte U-Boot eine recht geringe Sicherheit gegen die Gefahren der See auf. Die Hauptgefahr auf See ist das Wegsinken infolge von Wassereinbruch, sei es infolge feindlicher Trefferwirkung, sei es infolge eines Materialversagers. Das übliche Überwasserschiff ist hiergegen durch die Schotten geschützt. Es laufen in der Regel nur ein oder zwei abgeschottete Abteilungen voll, und das Schiff sinkt so lange tiefer ein, bis durch den Verdrängungszuwachs der unbeschädigten Abteilungen der Auftrieb wieder hergestellt ist (Abbildung 21). Beim U-Boot, besonders beim Einhüllenboot,



ist aber, wie schon erwähnt, der Reserveauftrieb verhältnismäßig gering, und beim getauchten U-Boot ist er gleich Null. Füllt sich also beim getauchten Boot eine Abteilung mit Wasser, so sinkt das Boot unaufhaltsam tiefer. Gelangt es dabei in größere Wassertiefen, als der Druckfestigkeit des Bootes entspricht, so wird es zusammengedrückt oder einzelne Teile, z. B. Ventile, geben nach, das Wasser stürzt mit ungeheurer Macht hinein und das Boot ist vernichtet. Die deutschen Boote sind für eine Tauchtiefe von 50 m konstruiert, haben auch schon bei Störungen in der Tiefensteuerung oder Wassereintrüben größere Tiefen erreicht.

Auf jeden Fall muß bei Wassereintruch verhindert werden, daß das Boot in zu große Tiefe gerät, und es gilt so schnell wie möglich aufzutauchen und den Reserveauftrieb der Tauchtanks an der Wasseroberfläche zu gewinnen. Zu dem Zweck sind die Boote mit einem Vorrat von hoch gespannter Preßluft in starken Stahlflaschen ausgerüstet. Die Luft wird bei der Überwasserfahrt durch einen besonderen elektrisch getriebenen Verdichter auf 160 kg/qcm in die Stahlflaschen gepreßt, deren Inhalt ausreicht, um die Tauchtanks aus 50 m Wassertiefe mindestens einmal auszublasen. Die Stahlflaschen sind überall im Druckkörper und besonders in dem wasserdurchfluteten Deckaufbau untergebracht. Durch ein weitverzweigtes Rohrnetz sind sie mit einem Verteiler in der Zentrale des Schiffes verbunden, und durch ein zweites Rohrnetz kann die Preßluft nach Belieben auf die einzelnen Tanks verteilt werden. Sobald sich ein Wassereintruch zeigt, wird sofort Preßluft auf die Tauchtanks gegeben, sie drückt das Wasser aus diesen hinaus, und das Boot schießt wie ein Korken an die Oberfläche.

Im Bereich feindlicher Gegenwirkung, wenn das Boot nicht an die Oberfläche kommen darf, begnügt man sich oft damit, bei schwachen Wassereintrüben das Boot mit Preßluft zu stützen. Ist z. B. das Leck im Hinterschiff, so gibt man Preßluft auf einen der hinteren Tauchtanks und versucht das Leck zu stopfen. Ein solches schwaches Leck ist aber eine verhältnismäßig seltene glückliche Ausnahme, in der Regel stürzt das Wasser auch schon durch kleine Öffnungen mit einer furchtbaren Gewalt hinein, von der man sich schwer einen Begriff machen kann. Schon bei 20 m Tauchtiefe tritt es mit einem Druck ein wie aus einer Dampfeuerspritze, und man weiß, daß mit diesen Mauern umgespritzt werden können.

Gelingt es, ein Leck zu bewältigen oder klein zu halten, so kann auch das Wasser durch die Lenzpumpen des Bootes wieder hinausgedrückt werden. Jedes Boot hat eine kräftige Hauptlenzpumpe und auch noch Hilfslenzpumpen; meist Kreiselpumpen mit elektrischem Antrieb. Die Hauptlenzpumpe hat zwei Kreisel, die durch einen besonderen Schieber so geschaltet werden können, daß an der Oberfläche beide Kreisel parallel arbeiten und z. B. 7,5 cbm Wasser in der Minute fördern, während bei größerer Tauchtiefe beide Kreisel so geschaltet werden, daß das Wasser erst den einen, dann den anderen durchströmt. Ihre Druckwirkung summiert sich dann, und die Fördermenge geht entsprechend herunter, so daß sie bei 60 m Tauchtiefe 2,2 cbm in der Minute gegen 6 kg/qcm Überdruck schaffen können. Die Hauptlenzpumpe saugt aus allen Räumen innerhalb des Druckkörpers. Bei der Tauchfahrt ist ihre vornehmste Aufgabe das Lenzen der Reglertanks, um das Boot, wenn es zu schwer ist, auf das richtige Gewicht einzustellen.

Die Hilfslenzpumpen sind meist am vorderen und hinteren Ende des Schiffes aufgestellt. Sie dienen dazu, kleine Wassermengen, die sich in den Bilgen der einzelnen Räume ansammeln, zu entfernen und können auch die Arbeit einer Trimpumpe übernehmen, wenn diese beschädigt ist.

Immerhin ist, wie gesagt, die Wirkung der Pumpen gegenüber Wassereintrüben

nur verhältnismäßig geringfügig, es gilt vor allem die Wassereintrüche von vornherein zu verhüten. Besondere Gefahrstellen sind die zahlreichen Leitungen und Öffnungen, die aus dem Druckkörper nach außen führen. Sie haben daher mit Ausnahme der Einsteigeluken grundsätzlich einen doppelten Abschluß, so daß, wenn z. B. ein Ventil versagt, immer noch ein zweites Ventil oder ein Hahn dahintergeschaltet ist. Die Zahl dieser Gefahrstellen ist nicht gering. Bei einem großen U-Boot durchbrechen allein 240 Rohrleitungen die Druckkörperwand, so daß 480 Abschlüsse notwendig sind. Alle diese Abschlüsse müssen gegen den starken Druck von über 5 kg/qcm dicht halten. Man sieht, welche Sorgfalt von den Werftarbeitern bei all diesen zahllosen Einzelheiten verlangt werden muß, und man begreift, daß selbst der doppelte Abschluß nicht immer genügt hat, die Boote vor Wassereintrüchen zu schützen.

Um eine gewisse Sicherheit dafür zu haben, daß die U-Boote die genügende konstruktive Festigkeit haben und mit der nötigen Sorgfalt hergestellt sind, unterwirft man sie einer Wasserdruckprobe in einem Druckdock. Das ist ein riesiger schwimmender Kessel von 12,6 m Durchmesser und 125 m Länge, in den das ganze U-Boot hineingefahren wird. Darauf wird der Kessel durch einen gewaltigen schwimmenden Deckel verschlossen, das Boot wird durch Fluten der Tanks auf dem Kesselgrunde festgelegt, das Turmluk des Bootes wird durch einen Schacht mit einem Luk oben in der Kesselwandung verbunden, damit man in das Boot gelangen kann, und der ganze Kessel wird restlos mit Wasser gefüllt. Die Wasserfüllung wird nun mit Druckpumpen auf einen Druck gebracht, der der konstruktiven Tauchtiefe des U-Bootes entspricht, also 5 kg/qcm für 50 m Tauchtiefe, und im Innern des Bootes werden alle Druckkörperdurchbrechungen sorgfältig auf Undichtigkeiten abgeleuchtet.

Der Sicherheitskiel ist ein Teil des Ballastkies, den man bei Gefahr vom Bootsinnern aus lösen kann, um das Boot schnell zu erleichtern und zum Auftauchen zu bringen. Neue Boote haben diese Einrichtung nicht mehr, denn die Erleichterung ist im Verhältnis zu der Auftriebskraft der Preßluft in den Tauchtanks recht geringfügig, und andererseits sind auch schon verschiedentlich Boote durch unbeabsichtigtes Lösen des Sicherheitskies gerade im Bereich feindlicher Einwirkung empfindlich in ihrer Tiefensteuerung gestört und in gefährliche Lage gebracht worden.

Das Entkommen aus einem gesunkenen U-Boot sollen die Tauchretter und die Schleusen ermöglichen:

Die Tauchretter bestehen aus einem Gummisack, der einen Luftvorrat enthält. Aus diesem atmet der Mann, wobei die Nase zugeklemt wird. Die verbrauchte Luft tritt wieder in den Vorrat zurück, nachdem sie durch eine Kalipatrone zur Entziehung der Kohlensäure gegangen und aus einer Stahlflasche mit hochverdichteter sauerstoffreicher Luft wieder aufgefrischt ist. Die überschüssige Luft entweicht durch ein Sicherheitsventil. Mit einem Tauchretter ausgerüstet, kann ein geübter Mann sogar längere Zeit unter Wasser arbeiten, der Apparat ersetzt also gewissermaßen den Taucheranzug mit Helm und Luftpumpe.

Das Öffnen eines Lukes zum Verlassen des gesunkenen Bootes ist nicht so ohne weiteres möglich, denn



Abbild. 22. Mann mit Tauchretter.

bei 27 m Wassertiefe lastet z. B. ein Druck von etwa 7500 kg auf dem Lukendeckel. Deshalb sind nach allen Räumen dünne Kupferleitungen von den Preßluftflaschen geführt, aus denen man so lange vorsichtig — um die Mannschaft nicht zu gefährden — Preßluft in den Raum schickt, bis Druckausgleich vorhanden ist. Das Luk kann dann geöffnet werden, und die in der Nähe befindlichen Leute werden durch die ausströmende Luft schnell an die Oberfläche gerissen. Auch dann ist noch die dabei eintretende plötzliche Druckverminderung von 3,7 Atmosphären auf 1 Atmosphäre eine große Gefahr, da die Lungenbläschen oder Blutgefäße zerspringen können.

Schleusen sollen auf neueren Booten das Entkommen erleichtern. Die Luftschleuse ist ein auf ein Luk aufgesetzter druckfester Dom mit einem zweiten Luk. Zum Verlassen des Bootes begibt sich der Mann, mit einem Tauchretter angetan, in die Schleuse und schließt das innere Luk. Die Schleuse wird dann bis zum völligen Druckausgleich geflutet, worauf sich der äußere Deckel leicht öffnen läßt. Der Mann muß ihn dann wieder schließen, worauf die Schleuse mit Preßluft ausgeblasen wird und zu neuem Gebrauch wieder klar ist. Man könnte auch mit einer solchen Schleuse einen Taucher aus dem an Grund liegenden Boot hinausschicken, um Netze, in die das Boot geraten ist, zu entfernen, doch erfordert die Benutzung der Schleuse wie auch des Tauchretters sehr viel Übung und Umsicht, und praktische Ergebnisse liegen noch nicht vor.

Als Beispiel für den Untergang eines U-Bootes sei hier der Unfall eines deutschen U-Bootes in der Emsmündung 1916 geschildert. Das Boot ging auf 20 m Tauchtiefe dadurch verloren, daß ein Schauglas von nur 5 cm Durchmesser in einer Rohrleitung zerbrach. Das Wasser stürzte mit solcher Wucht hinein, daß die Mannschaft vollkommen verwirrt war; zum Unglück traf es noch auf das elektrische Schaltbrett, es entstand Kurzschluß, das Licht ging aus, und im Handumdrehen war der betroffene Raum, die Zentrale des Bootes, gefüllt. Die Mannschaft flüchtete, soweit es ihr möglich war, nach den Schiffsenden und schloß hinter sich die wasserdichten Schotten. Diese Schotten sind bei großen Booten druckfest, gewölbt und aus starken Blechen gebaut, so daß sie auch bei größerer Wassertiefe noch standhalten. Das Boot sank auf etwa 27 m auf den Grund. Die Mannschaft in den unbeschädigten Räumen setzte die Notbeleuchtung in Betrieb, kleine Sammlerlampen, die auf alle Räume verteilt sind. Nun ist für solche Fälle die Einrichtung getroffen, daß man nicht nur von der Zentrale, sondern auch von den Endräumen des Druckkörpers aus die Tauchtanks und die leeren Schiffsräume ausblasen kann. Das wurde auch versucht, gelang aber nicht, weil die Preßluft durch das hochliegende Leck entwich. Nur wenn das Leck tief liegt, kann man das Wasser nach unten hinausdrücken. Als schon der größte Teil der Mannschaft langsam eingeschlafen und bewußtlos geworden war, versuchten einige mit Hilfe der Tauchretter durch Öffnen des vorderen Luks zu entkommen. Auf diese Weise gelang es zweien, sich zu retten, während ein dritter bewußtlos an die Oberfläche kam und bald starb.

Ist ein Boot gesunken und kann von der eingeschlossenen Mannschaft nicht mehr zum Auftauchen gebracht werden, so muß Hilfe von außen kommen. Die Mannschaft löst dann von innen eine am Deck des Bootes eingebettete Fernsprecher-Boje, die ein Fernsprechkabel an die Oberfläche bringt. Sie trägt die Aufschrift: „Hier ist U x gesunken, drahtet an Inspektion des Ubootswesens, Kiel.“ In den heimischen Gewässern besteht immerhin die Möglichkeit, daß die Boje bemerkt und Hilfe gebracht wird. Man wird zunächst mit den Eingeschlossenen durch den Fernsprecher in Verbindung treten, um Lage und Beschädigung des Bootes zu erfragen. So schnell wie möglich schließen Taucher Preßluftschläuche für frische Atmungsluft an besondere

Luftzuführungs- und -abführungsstößen an, die vorne, hinten und in der Mitte am Deck des U-Bootes angebracht sind und von innen und außen bedient werden können. Sie stehen mit Rohrleitungen in Verbindung, die die Luft auf alle Räume des Bootes verteilen. Auch Anschlüsse für hochgespannte Preßluft sind vorhanden. An sie können durch Taucher Preßluftschläuche angeschlossen werden, die von dem Bergungsschiff aus mit hochgespannter Preßluft zum Ausblasen der Tauchtanks und lecken Räume gespeist werden. Die Anschlußstößen sitzen im Umbau des Turms, und von ihnen führen Rohrleitungen nach den einzelnen Tauchtanks und Räumen des Schiffes. An den Anschlußstößen sind Absperrhähne angebracht, deren Griffe durch ihre besondere Form und Markierungsringe so kenntlich gemacht sind, daß der Taucher auch in dunkler Wassertiefe nach dem Gefühl mit ihrer Hilfe die richtigen Tanks ausblasen kann, so wie es gerade die Lage, die Gewichtsverteilung oder die Verletzungen des gesunkenen Bootes verlangen.

Vielfach sind die U-Boote mit besonderen Hebehaken versehen, um das Heben des gesunkenen Bootes zu erleichtern. Diese Haken müssen mit Rücksicht auf die großen zu hebenden Gewichte sehr kräftig und schwer gebaut sein, z. B. würden auf einem 900-t-Boot, selbst wenn nicht alle seine Räume voll Wasser sind, die vier Hebehaken imstande sein müssen, eine Last von etwa 600 t zu tragen, das wäre etwa das Gewicht von sieben der größten Lokomotiven. Neben den Haken sind Bojen vor-



Abbildung 23.

Hebeschiff „Cyklop“.

gesehen, die beim Sinken des Bootes von innen gelöst werden können, hochschießen und ein Drahtseil an die Wasseroberfläche bringen, das durch die Öffnung des Hakens läuft. Mit Hilfe dieses Drahtseils kann dann das schwere Hebeeseil durch den Haken geschoren werden. Im Laufe des Weltkrieges sind die Hebehaken von den deutschen U-Booten verschwunden. Das ersparte beträchtliche Gewicht mußte militärischen Forderungen zugute kommen, auch waren Unfälle der U-Boote im Bereiche heimatllicher

Hebungsmittel so selten gegenüber den Verlusten vor dem Feinde, daß es unvorteilhaft gewesen wäre, für diese seltenen Fälle das große Gewicht der Haken mitzuschleppen.

In heimatlichen Gewässern sind zum Heben gesunkener U-Boote besondere Hebeschiffe zur Verfügung gestellt. Die deutschen Hebeschiffe Vulkan und Cyklop sind Doppelschiffe, die durch Brückenträger miteinander verbunden sind. In den Brückenträgern sind kräftige Winden untergebracht, an deren Lasthaken die durch die erwärmten Hebeösen gezogenen Stahldrahtseile angehängt werden. Sind keine Hebeösen vorhanden, so müssen Taucher schwere, aus Drahtseilen geflochtene Hebegurte unter dem U-Boot hindurchbringen. Cyklop hat 4 Lasthaken von je 300 t Hebekraft und ist außerdem mit allen Einrichtungen versehen, um die Boote mit Frischluft zu versehen oder mit Preßluft auszublasen. Die Hebeschiffe können gesunkene Boote nicht vollständig aus dem Wasser heben, sondern sollen nur irgendwelche Decköffnungen an die Wasseroberfläche bringen, um die Mannschaft zu bergen. Dann fährt das Hebeschiff mit dem unter Wasser hängenden U-Boot in ein großes Dock und legt es dort ab.

Alle Einrichtungen zur Rettung eines gesunkenen Bootes sind auf besonderen Bergungsplänen enthalten, aus denen auch die Inhalte aller Tanks und aller Schiffsräume sowie die Gewichtsverhältnisse des Bootes zu ersehen sind. Diese Pläne sind auf den Hebeschiffen und in allen Marinehäfen zur Hand.

Trotz der mancherlei Vorkehrungen für die Sicherheit des Bootes und der Besatzung bleibt das U-Boot-Fahren doch immer ein recht gefährvolles Geschäft. Während sich alle anderen Schiffe auf ihren großen Reserveauftrieb verlassen, ist das getauchte U-Boot schon bei dem kleinsten Wassereintrich in Lebensgefahr, und wie leicht kann ein Wassereintrich bei den zahllosen verwickelten Einrichtungen des U-Bootes, sei es durch eine Nachlässigkeit in der Herstellung, sei es durch einen Fehler in der Bedienung, herbeigeführt werden! Man muß sich nur vor Augen halten, daß die Dampfkessel an Land, die ähnlichen Druckbeanspruchungen unterliegen, im übrigen aber unendlich viel einfacher in der Konstruktion und Handhabung sind, durch ganz besondere technische Körperschaften dauernd überwacht werden, und daß ihre Bedienungsleute besonderen Fachprüfungen unterworfen werden. Beim U-Boot aber erfolgt die Bedienung zwar auch durch geschulte Leute, die aber häufig durch Seekrankheit, schlechte Luft und nervenaufreibende feindliche Gegenwirkung bis aufs Äußerste erschöpft sind.

**RAUMEINTEILUNG UND EINRICHTUNG.** Sowohl beim Einhüllenboot wie beim Zweihüllenboot ist der obere Teil des Schiffskörpers nur eine Art Blechgehäuse, das nicht wie bei anderen Schiffen wasserdicht ist, sondern frei vom Wasser durchströmt und durchflutet wird. An seiner Unterkante sind große Löcher eingeschnitten, die obere Fläche, das Deck, hat zahlreiche Luftlöcher, so daß sich beim Tauchen der zwischenliegende Raum schnell mit Wasser füllen kann. Der etwa 1 m hohe Aufbau erstreckt sich meist über das ganze Schiff, er bildet das Deck zur Bedienung der Geschütze und zum Aufenthalt der Mannschaft beim Manövrieren im Hafen. In dem wasserdurchfluteten Zwischenraum sind zahlreiche Rohrleitungen, Entlüftungsleitungen der Tauchtanks sowie große Stahlflaschen zur Aufnahme der Preßluft untergebracht.

Ein äußerlich auffallender schiffbaulicher Teil des U-Bootes ist der Turm. Er ist ebenso wie der Druckkörper aus starken Platten druckfest gebaut, häufig besteht er sogar aus 30–40 mm starken Nickelstahlpanzerplatten, denn er bleibt beim Tauchen am längsten feindlicher Artilleriewirkung ausgesetzt. Er ist der Aufenthaltsraum des

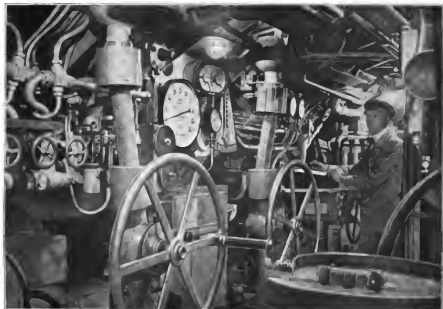


Abbildung 24.

Zentrale des Handels-U-Bootes „Deutschland“.

Kommandanten, der von hier durch das Sehrohr blickend das Schiff leitet. Der Turm hat vielfach Fenster, etwa handgroße dicke Glasscheiben, die beim Auftauchen einen Überblick geben sollen. Der Nutzen ist jedoch gering, und die Kommandanten ziehen es meist vor, schnell das oben in der Turmdecke angebrachte Einsteigeluk zu öffnen, um von der Turmdecke aus einen vollständigen Überblick zu nehmen. Die Decke des Turms, die Brücke, ist von einer Reeling aus Eisenblech umgeben und bietet der Mannschaft bei schlechtem Wetter einen leidlich geschützten Aufenthalt. Von hier aus leitet der Kommandant bei der Überwasserfahrt das Schiff.

Für die Leitung des Schiffes bei der Fahrt über Wasser sind im Turm alle nötigen elektrischen Befehlsapparate angebracht: Maschinentelegraphen, Drehzahlzeiger der Maschinen, Rudertelegraphen, Ruderlageanzeiger und eine Tochter des Kreiselkompasses. Dem Mann am Maschinentelegraph werden die Befehle von oben durch das Turmluk zugerufen. Für die Bedienung des Ruders ist ein Ruderrad auf der Brücke angebracht.

Bei der Tauchfahrt soll der Kommandant am Sehrohr möglichst ungestört sein, die Befehlsübermittler arbeiten dann in dem unterm Turm liegenden Raum, der Zentrale, und die Befehle werden ihnen durch das Luk zwischen Turm und Zentrale zugerufen. Nur die Torpedotelegraphen und -Abfeuerungen werden dann noch im Turm selbst bedient.

In der Zentrale sind alle Maschinen und Apparate vereinigt, die zum Manövrieren des Bootes notwendig sind. Hier leitet der Ingenieur die Unterwassersteuerung des Bootes nach den Befehlen des Kommandanten. In der Zentrale befinden sich

vor allen Dingen die drei Handräder zur Betätigung des Hauptruders und des vorderen und hinteren Tiefenruders. Umdrehungszeiger lassen den Gang der Maschine erkennen, elektrische Ruderzeiger geben die Lage der Ruder an. An verschiedenen Manometern, die mit dem Außenwasser in Verbindung stehen, erkennt der Tiefensteuerer die Tiefenlage des Bootes. Ein größeres Manometer mit weiter Teilung bis 25 m Tauchtiefe wird zum feinen Einstuern des Bootes auf Sehrohrtiefe beim Angriff benutzt. Ein zweites mit engerer Teilung bis 60 m gibt die größeren Tauchungen an, und ein drittes bis 100 m dient als Reserve und läßt bei unfreiwilligem Tieferfallen die Lage des Bootes erkennen. Wasserwagen nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren sind nach Graden geeicht und zeigen in einfacher Weise an, wie die Lage des Bootes der Länge (Trimm) und Breite (Krängung) nach zur Wagerechten ist. Ferner finden wir noch in der Zentrale die Verteilerstufen für Preßluft für die verschiedenen Tanks, die Verteilungshähne für Niederdruckluft zum Ausblasen der Tauchtanks nach dem Auftauchen, die Ventile und Pumpen zum Bedienen der Regler tanks und Trimmtanks. Ein Kreiselkompaß ist beim Handruder aufgestellt, ein Notsehrohr kann von der Zentrale aus benutzt werden, wenn die Hauptsehrohre etwa durch Zusammenstoß mit einem feindlichen Bewacher zerstört sind, ja sogar noch wenn der Turm durch Geschosse getroffen und voll Wasser gelaufen ist, denn der Turm kann von der Zentrale durch einen druckfesten Lukendeckel abgeschlossen werden. Die Fülle von Maschinen, Apparaten, Ventilen, Meßinstrumenten und Handrädern in der Zentrale

bietet selbst dem Techniker einen geradezu verwirrenden Anblick, und auch für die geschulte Mannschaft bedeutet die Anhäufung all dieser zum Teil sehr empfindlichen Dinge auf engem Raum große Schwierigkeiten bei der Bedienung und Instandhaltung. Bei neueren Booten wird vielfach ein Teil der Hilfsmaschinen in einem besonderen Raum der Zentrale aufgestellt und von dieser durch ein leichtes Schott getrennt, damit die Aufmerksamkeit der Mannschaft bei der Tiefensteuerung nicht durch die Geräusche dieser Maschinen gestört wird.

Vor der Zentrale und von ihr durch ein druckfestes Schott getrennt, schließt sich in der Regel der Wohnraum an, unter dessen Fußboden die Sammler-Batterien aufgestellt sind. Der Teil des Wohnraums unmittelbar an der Zentrale ist meist als Kommandantenkabine eingerichtet. Mit seiner Mahagonitafelung, einer Koje und einem kleinen Schreibtisch sieht er zwar recht behaglich aus, ist es aber keineswegs, denn



Abbildung 25.

Kommandantenkabine.

der ganze Verkehr der Mannschaft geht stets mitten hindurch, da für einen besonderen Gang kein Platz vorhanden ist. Erst bei den U-Kreuzern war es möglich, für einen besonderen Verkehrsgang Platz zu gewinnen. Der Kommandant muß unmittelbar an der Zentrale wohnen und schlafen, damit er bei plötzlichem Alarm stets schnell zur Hand ist.

Vor dem Kommandantenraum schließt sich der Wohnraum der Offiziere und Mannschaften an, rechts und links meist zwei Reihen Kojen übereinander, in der Mitte ein Gang.

Der vorderste Raum ist der Torpedoraum, bei größeren Booten vom Mannschaftsraum durch ein druckfestes Schott getrennt. Hier befinden sich die Torpedoausschötröhre und die Reservetorpedos, ferner der Antrieb für das vordere Tiefenruder und das Ankerspill. Die Welle des Ankerspills führt durch eine druckfeste Stopfbuchse nach dem oberhalb des Druckkörpers liegenden Kettenrad der Ankerkette. Diese läuft über die Kettentrommel und von ihr in einen wasserdurchflutenden Kasten. Man kann also unter Wasser ankern und an einer besonderen Anzeigevorrichtung ablesen, wieviel Umdrehungen die Kettentrommel gemacht hat und wieviel Ankerkette ausgelaufen ist. Die Ankerwinde wird durch einen Elektomotor angetrieben.

Nach hinten ist die Zentrale bei größeren Booten wiederum durch ein druckfestes Schott abgeschlossen. Es folgt oft noch ein Mannschaftsraum mit darunterliegender Batterie, genau so wie der vornliegende eingerichtet, doch schließt sich auch bei vielen Booten unmittelbar der Maschinenraum an. Er enthält die Dieselmotoren und die elektrischen Motoren für die Unterwasserfahrt sowie die dazugehörigen elektrisch getriebenen Kühlwasser-, Treiböl- und Schmierölpumpen.

Hinter dem Maschinenraum, wieder durch ein druckfestes Schott getrennt, folgt der hintere Torpedoraum mit seinen Torpedoröhren und Reservetorpedos sowie den Antrieben für das hintere Haupt- und die Tiefenruder.

**MASCHINENANLAGE.** Für die Maschinenanlage hat sich fast allgemein die Doppelanlage, bestehend aus einem Dieselmotor für die Überwasserfahrt und einem Elektomotor, gespeist durch eine Sammler-Batterie, für die Unterwasserfahrt, durchgesetzt. Es sind jedoch noch einige andere Lösungen denkbar und auch versucht worden, auf die wir später zurückkommen.

Die Anordnung ist stets so, daß von hinten gerechnet zuerst der Elektomotor auf die Schraubenwelle gesetzt ist und weiter vorne der Dieselmotor folgt. Bei der Überwasserfahrt geht der Elektomotor leer mit. Beim Laden der Sammler wird eine Kupplung in der Welle zwischen Schiffsschraube und Elektomotor gelöst, und der Elektomotor wirkt als Dynamo, von der Dieselmachine angetrieben. Es ist jedoch auch möglich, bei der Überwasserfahrt mit Dieselmachine gleichzeitig die Schraube zu treiben und zu laden, indem bei verminderter Fahrtgeschwindigkeit der Elektomotor als Dynamomaschine die überschüssige Leistung der Dieselmachine an die Sammler abführt. Unter Wasser wird eine Kupplung zwischen Dieselmachine und Elektomotor gelöst, und der letztere treibt das Schiff allein, gespeist durch die Sammler. Die Kupplung zwischen Dieselmachine und Elektomotor ist stets eine Reibungskupplung, damit sie betätigt werden kann, ohne daß die Maschinen stillgesetzt werden müssen, z. B. wenn beim Auftauchen die Dieselmachine sofort zur beschleunigten Verfolgung eines Feindes angekuppelt werden soll, ohne die Elektomotoren zu stoppen. Die Kupplung zwischen Elektomotor und Schiffsschraube ist meist eine einfache Klauenkupplung, weil sie in Ruhe bedient werden kann.

Bis etwa zum Jahre 1906 wurde zum Überwasserantrieb der U-Boote fremder





Petroleummotors war etwa 400 g je E.P.S. und Stunde. Der Dieselmotor braucht nur etwa 180 bis 220 g je E.P.S. und Stunde, denn mit seinem hohen Verdichtungs- und Verbrennungsdruck von 35 kg/qcm gegenüber nur 12 kg/qcm beim Verpuffungsmotor und mit seiner entsprechend erhöhten Verbrennungstemperatur nähert er sich bedeutend mehr den theoretischen Anforderungen des idealen Verbrennungsprozesses. Militärisch bedeutet das Verhältnis von 400 g zu 200 g, daß ein U-Boot mit Dieselmotoren doppelt soweit mit demselben Brennstoffvorrat fahren kann als ein U-Boot mit Verpuffungsmotoren.

Der Einführung der Dieselmotoren stellten sich bedeutende technische Schwierigkeiten entgegen. Sie liegen zum Teil in der hohen Beanspruchung der Zylinder und Kolben durch die hohen Verbrennungstemperaturen, zum Teil in den hohen mechanischen Beanspruchungen durch die großen Kolbenkräfte. 35 kg Verbrennungsdruck gegenüber 12 kg beim Verpuffungsmotor bedeuten, daß das ganze Getriebe der dreifachen Beanspruchung standzuhalten hat. Der Druck auf dem Kolben einer 1000-E.P.S.-Sechszylinder-Maschine beträgt z. B. 46000 kg, und dieser Druck tritt viermal in jeder Sekunde auf. Schwierigkeiten bietet auch die Bewältigung der Massenkkräfte. Ein Kolben mit Pleuelstange wiegt 500 kg und muß in jeder Sekunde siebenmal rund einen halben Meter auf und ab geschleudert werden. Ferner galt es noch die Forderung der Umsteuerbarkeit zu erfüllen, die bei Landmaschinen nicht auftritt. Und schließlich mußte das gewaltige Gewicht der Landdieselmotoren von 200 kg je E.P.S. auf etwa 22—25 kg heruntergedrückt werden, um den Dieselmotor der beschränkten Tragfähigkeit des U-Bootes anzupassen.

Der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg gelang es zuerst, alle diese Schwierigkeiten zu überwinden und einen brauchbaren U-Boot-Dieselmotor herauszubringen. Mit zwei solchen Motoren von je 850 E.P.S. wurde das 1912 fertiggestellte U 19 ausgerüstet. Wenig später kamen auch andere Maschinenfabriken mit brauchbaren Dieselmotoren heraus. Die Germania-Werft legte sich besonders auf die Entwicklung des Zweitaktmotors, Gebr. Körting A.-G., Daimler Marienfelde und Benz Mannheim bauten Viertaktmotoren. Es sind durchweg Sechszylinder-Motoren von 350—500 Umdrehungen in der Minute.

Ein ganz wesentlicher militärischer Vorzug des Dieselmotors ist seine vollkommene und daher rauchlose Verbrennung. Bei dem Petroleummotor mit seiner unvollkommenen Verbrennung entströmt dem Auspuffrohr eine dicke weiße Qualmwolke von halbverbrannten Ölen, die das U-Boot auf viele Seemeilen weit kenntlich macht und verrät. Im Auspuff der Dieselmachine sind alle Kohlenwasserstoffe zu der unsichtbaren Kohlensäure verbrannt. Auch die Betriebssicherheit der Maschine selbst wird durch die vollkommene Verbrennung erhöht, denn die Produkte der unvollkommenen Verbrennung verschmierten und verkokten die Ventile und führten Betriebsstörungen herbei.

Mit diesen Maschinen hatte die deutsche Technik dem Auslande einen erheblichen Vorsprung abgewonnen, und die hohe Leistung der deutschen U-Boote auf oft monatelangen Reisen beruht in erster Linie auf der Hochwertigkeit und Zuverlässigkeit ihrer Dieselmachines.

Die größte Schwierigkeit bei der weiteren Größensteigerung der Dieselmachine bot die Bewältigung der Wärme im Zylinder, und die Wärme ist es auch, die der Entwicklung der Dieselmachine bis jetzt eine Grenze gesetzt hat. Bekanntlich werden selbst in der vollkommensten Verbrennungsmachine, dem Dieselmotor, nur höchstens 32% der Verbrennungswärme in äußere Arbeitsleistung umgesetzt. 9% werden für

innere mechanische Verluste der Maschine verbraucht, 36% gehen mit den heißen Abgasen verloren, und 23% treten in die Wandung des Zylinders und Kolben über. Von dort müssen sie, damit diese Teile nicht in wenigen Minuten rotglühend werden, durch eine besondere Wasserkühlung nach außen abgeführt werden. Je größer der Zylinder wird, um so schwieriger ist die Abführung der Wandungswärme, denn der Gasinhalt und damit die Verbrennungsmengen steigen mit dem Kubus des Zylinderdurchmessers, die kühlende Oberfläche der Wandung wächst aber nur mit dem Quadrate des Durchmessers. Durch die Wandung muß also bei größeren Maschinen immer verhältnismäßig mehr Wärme abgeführt werden, und aus diesem Grunde muß bei größeren Zylinderdurchmessern nicht nur Wandung und Deckel des Zylinders mit Wasserkühlung versehen werden, sondern auch der Kolben. Über 500 mm Zylinderdurchmesser, entsprechend einer Leistung von 300 E.P.S. je Zylinder, ist man aus diesem Grunde bei schnelllaufenden Motoren überhaupt noch nicht hinausgekommen, für den Sechszylinder-Motor liegt also die Grenze etwa bei 1800 E.P.S. Eine weitere Leistungssteigerung ist bei Schnellläufern einstweilen nur durch Vergrößerung der Zylinderzahl möglich, und so hat die 3000-E.P.S.-Maschine der M. A. N. zehn Zylinder.

Die Dieselmachine wird als Zweitakt- und Viertaktmotor gebaut, und der Wettstreit zwischen den beiden Ausführungsarten ist noch nicht entschieden. Bei der Zweitaktmaschine erfolgt im Zylinder bei jeder Umdrehung eine Zündung und eine Arbeitsleistung, gegenüber nur einer Arbeitsleistung auf jede zweite Umdrehung beim Viertaktmotor. Die Konstruktion des Zweitaktmotors ist einfacher, weil die Steuerung nicht durch Ventile erfolgt, sondern selbsttätig durch Schlitze in der Zylinderwand, an denen der Kolben vorübergleitet. Dieser Vorteil wird allerdings bei größeren Schnellläufern zum Teil wieder dadurch hinfällig gemacht, daß durch die Schlitze nicht genügend Frischluft in die Zylinder hineingebracht werden kann und deshalb mehrere Frischluftventile im Kolbendeckel angeordnet werden müssen. Konstruktive Schwierigkeiten bietet bei der Zweitaktmaschine die Bewältigung der Wärmemenge, die doppelt so groß ist wie bei der Viertaktmaschine. Infolgedessen findet die Größensteigerung beim Zweitakt noch früher ihre Grenze als beim Viertakt Schnellläufer.

Die konstruktiven Einzelheiten der Dieselmachine sollen hier, soweit sie mit den bekannten Dieselmachines an Land übereinstimmen, nicht beschrieben werden. Bei der U-Boot-Dieselmachine fällt zunächst die verwickelte Steuerung auf, denn der Dieselmotor ist in der Regel zum Umsteuern für Vorwärts und Rückwärts und zum Anlassen in beiden Fahrtrichtungen eingerichtet. Auf manchen U-Booten ist die Dieselmachine freilich nur für Vorwärtsgang eingerichtet, und beim Manövrieren wird allein mit den Elektromotoren gefahren. Das Umsteuern der Dieselmachine erfolgt dadurch, daß die Steuerwelle mit doppelten Nocken für Vorwärts- und Rückwärtsgang zur Betätigung des Ein- und Auslaß- und des Brennstoffventils versehen ist und während des Stillstandes des Motors so verschoben wird, daß bald die Vorwärts-, bald die Rückwärtsnocken zum Eingriff kommen. Das Anlassen des Motors erfolgt mit Druckluft, indem ein besonderes Anlaßventil für die Dauer des Anlaufens mit einem Nocken der Steuerwelle in Eingriff und der Hebel des Brennstoffventils außer Eingriff gebracht wird. Auf jedem Zylinderkopf sind demnach vier gesteuerte Ventile angeordnet, bei einer Sechszylinder-Maschine 24 Ventile, die durch Hebel drei- bis viermal in der Sekunde betätigt werden. Der Anblick ist für den Laien geradezu verwirrend, und der Lärm, den das Auf- und Zuklappen dieser zahlreichen Ventile hervorruft, ist so stark, daß man sich im Maschinenraum nur durch Anschreien aus unmittelbarer Nähe verständigen kann.



Abbildung 27.

3000 E.P.S.-Schiffsölmachine der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg (Länge zirka 11,5 m, Höhe zirka 3 m).

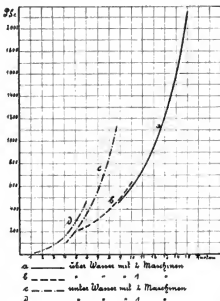


Abbildung 28. E. P. S. und Schiffsgeschwindigkeit.

Im Verhältnis zur wachsenden Geschwindigkeit zunimmt, sondern im Verhältnis zur dritten Potenz der Geschwindigkeit. Die Abbildung 28 der P.S.-Kurve zeigt deutlich, wie schnell der Widerstand bei den höheren Geschwindigkeiten zunimmt. Während bei 7,5 Knoten Fahrt 375 P.S. genügen, sind bei 15 Knoten nicht etwa doppelt, sondern 5,5 mal soviel P.S., nämlich 2100 P.S. erforderlich. Das Boot fährt also im allgemeinen mit einer sogenannten wirtschaftlichen Geschwindigkeit, Marschfahrt genannt, bei der ein Bruchteil der Höchstleistung von der Maschine verlangt wird. Bei Abbildung 29 zeigen Kurve a und b das Abnehmen des Fahrbereichs bei erhöhter Geschwindigkeit. Mit dem gleichen Brennstoffvorrat kann das U-Boot bei 7 Knoten Fahrt 6600 Seemeilen, dagegen bei 15 Knoten nur 2500 Seemeilen durchfahren.

U-Kreuzer mit Maschinen von je 1700 oder 3000 E.P.S. erhalten, damit diese großen Maschinen nicht dauernd bei der geringen Marschfahrtleistung oder beim Laden in Betrieb sein

Die Einblaspumpen, welche die Luft zum Einspritzen des Brennstoffs in die Zylinder auf 60–80 kg/qcm verdichten, sind meistens dreistufig und werden unmittelbar vom Dieselmotor angetrieben. Die Einblaspumpen werden reichlich bemessen, und die von ihnen gelieferte überschüssige Preßluft wird durch einen Zusatzkompressor weiter auf 160 kg/qcm verdichtet und zum Auffüllen der Preßluftflaschen des Schiffes benutzt. Vielfach haben die Einblaspumpen auch eine vierte Stufe, welche diese Verdichtung auf 160 kg/qcm selbst besorgt.

Ein großer Vorzug des Dieselmotors ist die Vollkommenheit seiner Brennstoffverbrennung auch bei verringerter Leistung. Die höchste Leistung des Dieselmotors wird nämlich nur selten bei der Verfolgung eines Feindes oder bei der Flucht über Wasser gebraucht. Wollte das Boot dauernd mit Höchstleistung fahren, so wäre sein Brennstoffvorrat in etwa acht Tagen erschöpft. Um einen größeren Fahrbereich zu erzielen, macht man sich die Eigentümlichkeit des Schiffes zunutze, daß sein Widerstand nicht

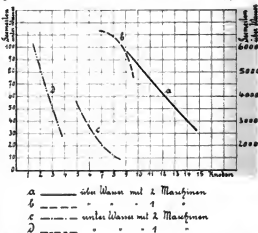


Abbildung 29.

Fahrbereiche.

müssen, noch besondere kleine Lade-Dieselmotoren von 300 K.W. Bei der Marschfahrt arbeiten diese mit ihrer Dynamo auf den Elektromotor der Schraubenwelle.

Beim Verpuffungsmotor sank bei verminderter Leistung die Brennstoffausnutzung noch erheblich unter das schon ungünstige Maß bei Höchstleistung, beim Dieselmotor bleibt Verdichtungsdruck und Verbrennungstemperatur unverändert. Das Diagramm wird nur schmaler (Abbildung 30), bleibt aber theoretisch einwandfrei, und die Verbrennung ist vollkommen, rauchlos und sparsam, was dem Fahrbereich zugute kommt.

Die Kühlung der Zylinder, Deckel und Auspuffleitungen erfolgt durch Seewasser, das durch die doppelten Wandungen dieser Teile gedrückt wird. Hierzu dient eine Kühlwasserpumpe, die entweder an die Maschine angehängt ist oder getrennt elektrisch angetrieben wird. Große Sorgfalt muß bei den schnellaufenden Dieselmotoren mit ihren hohen Druck- und Massenkräften der Schmierung zugewandt werden. Das Schmieröl wird von besonderen Pumpen durch die hohle Welle in alle Lagerstellen mit einem Druck von etwa 0,5—1 kg/qcm gedrückt, und zwar in größerer Menge, als eigentlich zum Schmieren notwendig wäre, damit es zugleich die Lagerfläche kühlt. Das Öl sammelt sich in der Wanne der vollkommen gekapselten Maschine und wird dann durch Kühler mit großen Oberflächen, die von Seewasser gespült sind, wieder abgekühlt und beginnt seinen Kreislauf von neuem. Ein Teil des Öls wird bei größeren Maschinen abgezweigt und durchströmt die Kolben zur Kühlung.

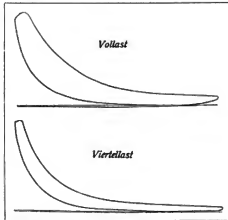


Abbildung 30. Vollast und Viertellast einer Dieselmotorschraube.

Die U-Boot-Dieselmotorschraube verlangt für ihre Bedienung eine ganz vorzüglich geschulte leistungsfähige und arbeitsfreudige Bedienungsmannschaft. Die vielen bewegten und vor allem schnell bewegten Teile bedürfen unaufhörlicher Überwachung und müssen häufig aufgenommen, gereinigt und nachgepaßt werden. Alle Arbeiten müssen in dem engen Raum in Öl, Schmutz und oft bei hoher Temperatur, häufig in ganz verwickelten Körperstellungen ausgeführt werden. Dabei werden manchmal bedeutende Kraftleistungen verlangt, z. B. wenn es gilt, einen Kolben, der schadhaft geworden ist, auszuwechseln. Nimmt man noch hinzu, daß die Mannschaft durch den tagelangen Aufenthalt im Boot bei schlechter Luft erschöpft ist und von der Seekrankheit angegriffen, daß eine richtige Teilung zwischen Arbeits- und Ruhezeit nicht vorgesehen werden kann, so wird man die vom U-Boot-Maschinenpersonal im Kriege gezeigten Leistungen erst voll zu würdigen wissen. Der Erfolg des U-Bootes ist nicht nur von der Tüchtigkeit und Entschlossenheit des Kommandanten abhängig, sondern in ebenso hohem Maße von der Opferfreudigkeit und Tüchtigkeit seines Maschinenpersonals. Das wurde von den U-Boot-Kommandanten in ihren Berichten auch oft genug zum Ausdruck gebracht, in der Öffentlichkeit ist es aber wenig bekannt.

Die elektrischen Motoren sind meistens Doppelmotoren auf einer Welle

Abbildung 31). Ihre Leistung ist ungefähr halb so groß wie die der Dieselmotoren. Doppelmotoren wählt man teils aus konstruktiven Gründen, weil sich dieselbe Leistung auf einen kleineren Durchmesser unterbringen läßt, vor allem aber mit Rücksicht auf das Manövrieren. Durch Schalten der beiden Motoren in Reihen oder parallel gewinnt man zwei Fahrtstufen, entsprechend der halben und der höchsten Umdrehzahl. Die Motoren werden durch einen Lüfter gekühlt, der einen Luftstrom durch die hohl gebauten Anker und danach im Kreislauf durch einen seewasserdurchströmten Kühler treibt. Trotz der Kühlung können die Motoren ihre Höchstleistung nur eine Stunde lang abgeben. Mehr ist auch nicht erforderlich, da dann die Sammler erschöpft sind, mit anderen Worten, das Boot kann mit Höchstgeschwindigkeit (etwa 9 Knoten) nur etwa eine Stunde unter Wasser fahren, und es legt dabei 9 Seemeilen zurück. Die Geschwindigkeit unter Wasser von 9 Knoten ist recht gering, jeder gewöhnliche Personendampfer auf Binnenwasser fährt so schnell, sie würde sich aber beim U-Boot nur unter einem ungeheuren Aufwand an Energie weiter steigern lassen, denn hier wächst der Widerstand noch schneller als beim Überwasserschiff. Der steile Verlauf der Kurve c in Abbildung 28 läßt das erkennen. Schuld daran sind die Aufbauten und Anhängsel des U-Bootes. Turm, Geschütze, Sehrohr, Minenabweiser, Tiefenruder. Ihr Widerstand allein ist oft das Drei- bis Vierfache von dem des glatten U-Boot-Körpers. Der Fahrbereich unter Wasser ist gleichfalls sehr gering, das Boot läuft deshalb nur selten und kurze Zeit mit Höchstgeschwindigkeit, wenn es sich unter Wasser eine günstige Angriffsstellung sichern will.

Der Fahrbereich unter Wasser wächst gleich ganz gewaltig, wenn die Geschwindigkeit vermindert wird. Kurve c und d auf Abbildung 29 zeigen, daß das Boot mit derselben Sammlerbatterie 80 Seemeilen bei 2 Knoten Fahrt, einer langsamen Fußgängergeschwindigkeit, und nur 10 Seemeilen bei 8 Knoten Fahrt unter Wasser zurücklegen kann. Das liegt teils an dem bereits erwähnten schnellen Abnehmen des Widerstandes bei verringerter Geschwindigkeit, teils an der erheblich günstigeren Ausnutzung der Sammler bei langsamer Entladung. Sie geben nämlich bei einstufiger

Entladung nur etwa 40% der hingenommenen Leistung heraus und bei mehrstufiger langsamer Entladung etwa 75%.

Vor eine ungewöhnliche Aufgabe sah sich die Elektrik gestellt, als es galt, Schaltvorrichtungen zu schaffen, um mit diesen Maschinen von über 500 P. S. zu manövrieren und Stromstärken von 2400 Ampere

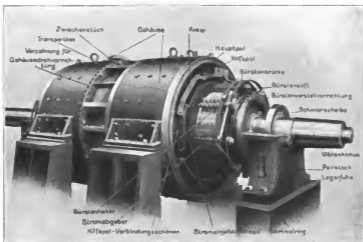


Abbildung 31.

Elektrischer Doppelmotor.

zu bewältigen. Man glaubte anfangs hier nicht mehr mit einfachen Handschaltern auskommen zu können und verwandte Schützenschaltungen, d. h. Schalter, die elektrisch durch starke Magnete betätigt wurden, zu deren Erregung ein schwacher Strom und ein kleiner Schalter genügt. Zwei grobe Fahrtstufen wurden, wie schon gesagt, durch die Reihen- und Nebeneinanderschaltung der Motoren gewonnen, eine weitere durch Teilung der Sammlerbatterie. Für jede dieser drei Hauptfahrtstufen waren wieder mehrere Anlaßstufen vorgesehen. Die sämtlichen Leitungen zur Betätigung der Schützen für die Hauptfahrt- und die Anlaßstufen wurden nach einem Walzenanlasser zusammengeführt und dort in einfachster Weise wie bei dem Anlasser von Straßenbahnmotoren betätigt. Weniger einfach war freilich der konstruktive Aufbau aller dieser Schützen und ihrer Erregerleitungen, es gab viele Störungen, und ihre Beseitigung in dem engen Raum des U-Bootes war zeitraubend und schwierig.

Da entdeckte man, daß es möglich ist, die U-Boot-Motoren mit großen Stromstärken anzulassen, weil die Anfahrbelastung verhältnismäßig gering ist. Die Motoren brauchen nicht sofort das ganze schwere U-Boot zu beschleunigen, sondern sie reißen zunächst nur die Schiffsschraube, Wirbel bildend, durchs Wasser und kommen so schnell auf Umdrehungen, daß die Stromstöße nur ganz kurze Zeit wirken. Nun konnte die ganze verwickelte Schützensteuerung fortfallen, es genügten zwei schwere Umschalter für die Reihen- und Nebeneinanderschaltung der Motoren und der Batterien und noch ein Schalter für einen Schutzwiderstand beim Anlassen. Die feinere Abstufung der Fahrtgeschwindigkeit zwischen den drei Hauptstufen wird durch Veränderung der Feldstärke bewirkt und das Umsteuern durch Umkehrung des Feldes. Erst bei den neuesten U-Booten mit ihren Motoren von 800 P. S. und mehr hat man zur Beschleunigung der Bedienung wieder für einzelne Schaltungen Schützen angewandt.

Die Blei-Sammler sind so gebaut, daß sie eine möglichst hohe Leistung bei geringem Gewicht und geringem Raumbedarf abgeben können. Deshalb sind die negativen und positiven Platten als Masseplatten ausgebildet, und um an Zwischenräumen zu sparen, sind sie unter Zwischenlegung einer siebartigen dünnen Hartgummiplatte und einer Furnierplatte aus weichem Holz unmittelbar aufeinandergepackt (Abbildung 33). Der Kasten besteht aus etwa 4 mm dicken Hartgummiplatten, die durch Vulkanisieren miteinander verlötet sind. Der Hartgummiddeckel ist wasserdicht vergossen und so eingerichtet, daß man die Zellen um 40° nach jeder Seite neigen kann, ohne

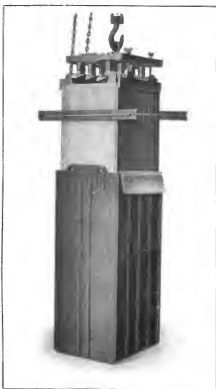


Abbildung 32.

Sammlerzelle.



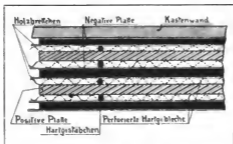


Abbildung 33. Anordnung der Platten im Sammler.

daß der Säureinhalt heraustritt. Das Gewicht des Sammlers beträgt für die abgegebene Kilowattstunde bezogen auf eine dreistündige Entladung 55 kg. Der Raumbedarf 26 l. Kein anderer Kraftspeicher birgt eine so hohe Leistung in so geringen Gewichts- und Raumeinheiten wie der Sammler, und vor allem hat keiner den Vorzug mit ihm gemein, daß er durch die Unterbringung im Schiffsboden gleichzeitig schiffbaulich als Ballast verwertet werden kann.

Auch der Edisonsammler ist nicht wettbewerbsfähig. Sein Raumbedarf ist größer, seine Lebensdauer geringer, und er gibt von der aufgenommenen Energiemenge kaum 50% gegenüber 75% des Bieisammlers wieder ab.

So muß man die Nachteile des Bleisammlers, seine Gefährlichkeit und Empfindlichkeit, in Kauf nehmen. Gefährlich ist er durch die Entwicklung von Knallgas bei der Ladung und von Chlorgas bei der Überflutung mit Seewasser. Das Knallgas wird bei der Ladung durch ein feinverzweigtes Röhrensystem, das zu jeder einzelnen Zelle hinführt, mit elektrischen Lüftern schon in der Zelle bis zur Unschädlichkeit verdünnt und abgesaugt, damit es sich nicht im Bootsinnern ansammeln kann. Trotzdem sind bei deutschen Booten Explosionen aufgetreten, jedoch war die Ursache stets eine Störung an der Lüftung. Die Chlorgasentwicklung infolge Zersetzung eingedrungener Seewassers ist bei Booten, die infolge eines Lecks gesunken waren, schon wiederholt der eingeschlossenen Mannschaft verderblich geworden.

Die Empfindlichkeit des Bleisammlers gegen unregelmäßige Behandlung bedingt die dauernde Überwachung jeder einzelnen Zelle durch Spannungs-, Säure- und Temperaturmessungen und regelmäßige Überladungen und vollständige Entladungen in bestimmten Zeitabschnitten. Der Kommandant ist dadurch häufig in der militärischen Ausnutzung des Bootes behindert, die Batterie darf aber nicht vernachlässigt werden, da sonst die Platten schnell sulfatieren und zerfallen.

Die normale Betriebsspannung der Batterie ist 220 Volt. Beim Laden steigt sie bis auf 340 Volt, bei der Entladung fällt sie auf 180 Volt. Da jede Zelle 2 Volt hat, sind meist 124 Zellen erforderlich. Größere Boote haben zwei solche Batterien.

Schaukurve 34 zeigt das eigentümliche Verhältnis zwischen Entladedauer und Fassungsvermögen. Entladet man den Sammler mit 480 Amp, so liefert er diese

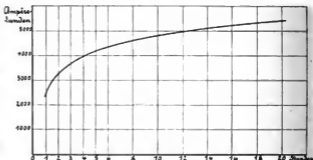


Abbildung 34. Leistungvermögen der Sammler in Amperestunden bei verschiedener Dauer der Entladungen.

10 Stunden lang, also 4800 Amp/Std.; 2000 Amp liefert er aber nur eine Stunde lang, also nur 2400 Amp/Std. In der Regel bezieht man das Fassungsvermögen auf eine Entladezeit von drei Stunden. Ein 900 t-Boot hat zwei Sammler von je etwa 770 Kilowattstunden, sie können also zusammen drei Stunden lang 550 P.S. an der Schraube liefern.

Die Sammler können 300 vollständige Entladungen aushalten, und ihre Lebensdauer beträgt etwa 2 bis 2 1/2 Jahre. Dabei muß die Batterie auch bei unbenutztem Boot dauernd gepflegt werden, sie muß mindestens jeden Monat einmal überladen und jeden dritten Monat vollständig entladen und wieder aufgeladen werden, damit die Platten sich nicht durch örtliche Entladungen zersetzen. Die Sammler erfordern demnach recht hohe Aufwendungen für Tilgung, Wartung und Stromkosten.

Alle elektrischen Maschinen an Bord sind so eingerichtet, daß sie bei den verschiedenen vorkommenden Spannungen der Sammler einwandfrei arbeiten, eine Forderung, deren Erfüllung dem Elektriker nicht geringe Schwierigkeiten bereitet. Auch das Licht muß durch Vorschaltwiderstände den wechselnden Spannungen angepaßt werden.

Um die Besatzung möglichst weitgehend gegen die schädlichen Gase der Sammler, die sich trotz der künstlichen Lüftung noch entwickeln können, zu sichern, sind die Sammler nicht wie bei den älteren Booten, z. B. dem deutschen U 1, frei im Raume aufgestellt, sondern unter einem besonderen dichten Deck unterhalb der Wohnräume (Abbildung 35). Das Deck enthält eine große Zahl luftdichter Klappen, durch die man an die Zellen zur Überwachung und Vornahme von Messungen herankann. Den Boden des Sammlerraumes bildet die Druckkörperwandung, und sie muß sorgfältig durch einen Gummiüberzug oder eine dicke Asphaltierung gegen die schädliche Einwirkung von etwa überspritzender Schwefelsäure aus den Zellen geschützt werden. Außerdem sind noch Leitungen vorgesehen, um Schwefelsäure, die z. B. durch das Bersten eines Zellenkastens in die Bilge gelangt ist, mit Seewasser wegzuspülen und die letzten Reste mit Kalkmilch zu neutralisieren.

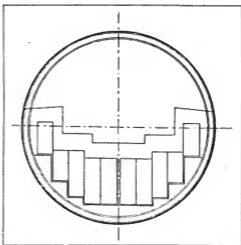


Abbildung 35. Aufsicht der Sammlerzellen.

Andere Antriebsarten für U-Boote sind vorgeschlagen, weil man die mit dem Sammlerbetrieb verbundenen Unannehmlichkeiten und Gefahren vermeiden wollte. Man dachte daran, das U-Boot, wie den Torpedo, mit hochverdichteter Luft anzutreiben, die in Flaschen mitgeführt wird. Der geringe Unterwasserfahrbereich, den man auf diese Weise erreichen kann, führte zu dem Vorschlag, auch bei der Unterwasserfahrt die Dieselmachine zu benutzen und die nötige Luft in Preßluftflaschen mitzunehmen. Die verbrauchten Verbrennungsgase sollten dann durch eine Luftpumpe nach außenbords gedrückt werden. Abgesehen von vielen technischen Mängeln, sind diese beiden Antriebsarten aus dem einen Grunde unausführbar, weil die aus-

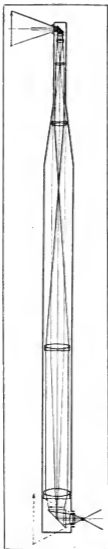


Abb. 36. Strahlengang  
im Sehrohr.

gestoßene verbrauchte Luft oder die Verbrennungsgase an die Wasseroberfläche steigen und das U-Boot mit Sicherheit verraten würden. Dagegen ist ein dampfelektrischer Antrieb vielfach, und besonders in Frankreich, ausgeführt worden. An Stelle des Dieselmotors wird eine Dampfmaschine zur Fahrt über Wasser und zum Laden der Sammler benutzt. Der Dampfkessel ist ein Wasserrohrkessel, der natürlich nicht mit Kohlen, sondern nur mit Öl geheizt werden kann. Das Öl wird mit kleinen Pumpen durch Düsen in den Feuerraum gedrückt und verbrennt mit 2 m langer Flamme, die schnell entzündet und schnell gelöscht werden kann. Mit der Ölfeuerung kann der Dampfkessel in etwa zehn Minuten nach dem Anstecken auf volle Leistung gebracht werden, bis dahin muß das U-Boot zunächst noch elektrisch über Wasser fahren. Ein Vorzug der Dampfanlage ist ihre hohe Forcierbarkeit, d. h. ihre erheblich größere Leistung bei gleichem Gewicht, gegenüber der Dieselmaschine. Die Dampf-U-Boote sollen daher auch Geschwindigkeiten von 20 Knoten erreicht haben, gegenüber 16 Knoten der Dieselboote. Sehr lästig wirkt die im Kessel aufgespeicherte Wärme bei der Tauchfahrt, und auch bei der Überwasserfahrt ist in dem völlig abgeschlossenen U-Boot-Druckkörper eine sehr kräftige Lüftung und Kühlung mit Röhrenkühlern notwendig, um die Wärme zu bewältigen. Im Gegensatz hierzu wirkt der Dieselmotor mit seinem hohen Luftverbrauch als ein sehr kräftiger Lüfter. Zwei 1000-E.P.S.-Dieselmotoren verbrauchen z. B. in 5 Minuten den ganzen Luftinhalt eines U-Bootes. Ein wesentlicher Nachteil des Dampftriebes ist der hohe Brennstoffverbrauch, der für die E.P.S. rund viermal so groß ist wie beim Dieselmotor; das bedeutet, daß der Fahrbereich des Dampf-U-Bootes unter gleichen Verhältnissen nur etwa  $\frac{1}{4}$  von dem des Dieselbootes ist. Ein weiterer Nachteil sind die großen Druckkörperdurchbrechungen, die für die Durchführung des Schornsteins notwendig sind. Ihr wasserdichter Verschluss bereitet bei den hohen Temperaturen, denen sie ausgesetzt sind, Schwierigkeiten. Die Bevorzugung der Dampfmaschine durch die Franzosen dürfte zum Teil mit darauf zurückzuführen sein, daß ihnen eine genügend leistungsfähige Dieselmaschine nicht zur Verfügung stand. Da die leichte schnelllaufende Dieselmaschine mit 3000 E.P.S. für die Einheit einstweilen ihre obere Grenze erreicht zu haben scheint, kommt für größere U-Kreuzer nur die Verwendung mehrerer Dieselmaschinen mit elektrischer Umsetzung auf den Schraubenmotor oder die Dampfmaschine, und zwar die Dampfturbine mit Ritzelgetriebe in Betracht. Für die Marschfahrt müßte der Dampfmaschine eine kleinere Dieselmaschine beigegeben werden, die mit elektrischer Umsetzung auf den Schraubenmotor arbeitet und mit ihrem geringen Brennstoff-

verbrauch einen großen Fahrbereich gewährleistet. Die Dampfmaschine würde dann nur ausnahmsweise zur Verfolgung und zur Flucht über Wasser gebraucht werden und dann allerdings Geschwindigkeiten von 20–25 Knoten ermöglichen.

**HILFSEINRICHTUNGEN DES U-BOOTES.** Das Sehrohr ist das Auge des U-Bootes. Seine Wirkung beruht auf der Verwendung von Prismen, wie sie durch die Prismenfernrohre allgemein bekannt geworden ist (Abbildung 36). Ein kräftiges Stahlrohr von 6–7 m Länge enthält in seinem oberen Teil das Objektiv, in seinem unteren das Okular, und der Lichtstrahl wird auf seinem Wege vom ersteren zum letzteren zweimal durch Prismenspiegel um 90° gebrochen. Optisch kann man das Sehrohr als eine Zusammensetzung von zwei mit den Objektiven einander zugekehrten astronomischen Fernrohren betrachten, die zusammen ein aufgerichtetes Bild ergeben. Das Sehrohr wird in einer Führungsbüchse auf der Turmdecke so geführt, daß man es nach allen Seiten drehen und außerdem auf und nieder bewegen kann, damit der Objektivkopf bei verschiedenen Tauchtiefen gerade über die Wasserfläche emporragt. Eine Stopfbüchse am unteren Ende der Führungsbüchse besorgt die Abdichtung gegen den hohen äußeren Wasserdruck.

Naturgemäß kann man mit einem solchen Sehrohr immer nur nach einer Seite und über einen beschränkten Teil des Horizonts, etwa 40°, sehen. Will der Kommandant einen völligen Umblick nehmen, so muß er das Sehrohr um eine ganze Umdrehung herumdrehen und dabei mit herumlaufen. Das ist recht unbequem und zeitraubend, und aus dem Bestreben, dem Kommandanten schnell einen völligen Überblick zu geben, entstanden die Rundblicksehrohre. Das obere Prisma ist zu einem Rotationskörper entwickelt, der ein kreisrundes, verkleinertes Bild des ganzen Horizonts im Okular entwirft (Abbildung 37). Gleichzeitig kann das Rundblicksehrohr noch mit einem gewöhnlichen Sehrohr verbunden werden, so daß in der Mitte des Horizontbildes ein vergrößertes Bild von einem beliebigen Teil des Horizonts entworfen wird. Die Rundblicksehrohre haben sich aber nicht eingebürgert. Das verkleinerte Rundbild des Horizonts war nicht deutlich genug und infolge seiner Lage — zur Hälfte über Kopf — so schwer zu übersehen, daß es dem Kommandanten doch nicht genug Sicherheit gewährte. Auch erwies sich der dicke Kopf des Sehrohrs als nachteilig, weil er zu leicht vom Gegner bemerkt wird.

Eine eigentümliche Erscheinung ist es, daß das Sehrohr dem Beschauer nur dann die obere Welt in den richtigen Größenverhältnissen zu zeigen scheint, wenn es mit einer Vergrößerung von 1,5 arbeitet. Beim einäugigen Sehen wirkt merkwürdigerweise ein Bild in wahrer Größe zu klein und zu fern-

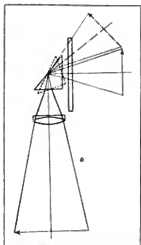


Abbildung 37.

Bild im Rundblicksehrohr.

liegend. Für den allgemeinen Überblick und die richtige Einschätzung der Entfernung haben daher die Sehrohre durchweg eine festeingestellte Vergrößerung von 1,5. Für die genauere Betrachtung, z. B. eines feindlichen Schiffes, kann eine sechsfache Vergrößerung eingeschaltet werden. Das geschieht durch Zwischenschalten von Linsen am oberen Prisma des Sehrohrs, wobei die Schaltbewegung mittels Drahtzuges im Inneren des Sehrohrs von unten her erfolgt. Durch einen einfachen Handgriff ist es also dem Kommandanten jederzeit möglich, die Vergrößerung ein- und wieder auszuschalten.

Als die Flugzeuge sich allmählich zu gefährlichen Gegnern der U-Boote entwickelten, wurden Sehrohre verlangt, mit denen man die ganze Himmelskuppel bis zum Zenit absuchen kann. Die Aufgabe wurde dadurch gelöst, daß im Kopfe des Sehrohrs ein kippbares Prisma angebracht wurde, durch das auch Lichtstrahlen aus dem oberen Teil der Himmelskuppel vor das Objektiv gebracht werden können. Die Zenitsehrohre haben sich aber nicht bewährt, trotzdem sie optisch gut durchgebildet waren. Es ist nämlich nicht möglich, ein Flugzeug, von dem man noch außerdem unter Wasser nichts hört, im Gesichtsfelde eines Fernrohrs zu suchen. Davon kann man sich selbst überzeugen, wenn man versucht, ein Flugzeug mit einem Doppelglas zu finden, ohne es vorher mit bloßem Auge festgestellt zu haben.



Abbild. 38. Objektivkopf eines Kippbildsehrohrs. (Die gestrichelten Strahlen gelten für eine um 45° gehobene Eintrittsachse.)

Immerhin erwies sich die Möglichkeit, durch Kippen des Kopfprismas das Gesichtsfeld um etwa 15° nach oben und unten zu bewegen, als sehr angenehm, denn beim Schlingern oder Stampfen des Bootes kann man das Ziel mit der Kippvorrichtung stets im Gesichtsfelde behalten. Die Zenitsehrohre wurden deshalb nicht weiter gebaut, aber das Prinzip des „Kippbildsehrohrs“ mit 30° Kippwinkel beibehalten (Abbildung 38).

Anfänglich war man mit dem großen Erfolge, ein ganz unsichtbares Boot geschaffen zu haben, vollkommen zufrieden und meinte, das Stückchen Sehrohr von etwa 140 mm Durchmesser könne überhaupt nicht bemerkt werden. Bald aber zeigte die Kriegserfahrung, daß das Sehrohr gar nicht dünn genug gemacht werden kann,

wenn es der Aufmerksamkeit des Feindes entgehen soll. Der untere Teil des Sehrohrs, welcher in der Buchse läuft, muß freilich dick und kräftig bleiben, denn ein dünnes Sehrohr würde bei hoher Fahrtgeschwindigkeit durch den Wasserdruck in Schwingungen versetzt oder gar verbogen werden und dem Kommandanten nur ein verschwommenes Bild geben. Der oberste Teil von 0,7 m Länge, der beim Angriff aus dem Wasser hervorragt, muß so dünn wie irgend möglich sein. Dem steht die Forderung entgegen, daß das Objektiv möglichst groß sein soll, um viel Licht hindurchzulassen und ein möglichst lichtstarkes Bild zu geben. Ohnehin geht schon auf dem Wege des Lichtstrahls durch die dicken Prismen und die verschiedenen Linsen ein großer Teil des Lichtes durch Reflexion an den Oberflächen und durch Absorption verloren. Bei einem gewöhnlichen Sehrohr müssen die Lichtstrahlen über 30 reflektierende Flächen durchdringen und einen etwa 200 mm langen Weg durch Glas zurücklegen. Dabei gehen durch Reflexion etwa 57%, durch Absorption etwa 24% des Lichts ver-

loren. Die Verkleinerung des Sehrohrdurchmessers zwingt außerdem zur Vermehrung der Zahl der Linsen, da man wegen des ungünstigeren Verhältnisses von Länge zu Durchmesser nunmehr drei oder vier Fernrohre gegeneinanderschalten muß, damit das Gesichtsfeld nicht zu klein wird.

Die ersten Sehrohre waren von oben bis unten gleichmäßig dick, bei U 1 120 mm. Bei Beginn des Weltkrieges 1914 hatten die deutschen Boote Sehrohre von 150 mm Schaftdurchmesser und 80 mm Flaschendurchmesser. Der Schaftdurchmesser mußte beibehalten werden, dagegen konnte der Flaschendurchmesser trotz der Einführung der Vergrößerung und des Kippbildes auf 55 mm verringert werden. Die nächste Stufe sind Sehrohre mit Vergrößerung von nur 33 mm Durchmesser, und schließlich wurden auch solche von 28 mm Durchmesser herausgebracht, die freilich nicht mehr die sechsfache Vergrößerung aufweisen.

Diese Sehrohre, die kaum dicker sind als ein kräftiger Spazierstock, waren besonders für das Mittelmeer gebaut, wo man bei der guten Beleuchtung mit einer kleinen Objektivöffnung auskommen kann, und wo andererseits die oft spiegelglatte Meeresoberfläche möglichst unsichtbare Sehrohre notwendig macht. Es ist einleuchtend, daß nur eine hochentwickelte optische und Glas-Industrie imstande ist, Sehrohre zu schaffen, die bei geringem Objektivdurchmesser ein genügend lichtstarkes und scharfes Bild ergeben. Der deutschen Marine konnten die optischen Anstalten Görz (Friedenau) und Zeiß (Jena) derartige Höchstleistungen bieten, durch die auch zweifellos der Wettbewerb des Auslandes weit in den Schatten gestellt wurde. Die wenigen im Laufe des Weltkrieges in deutsche Hände gefallenen Sehrohre von dem englischen „E 1“ und dem französischen „Turquoise“ bestätigen dies.

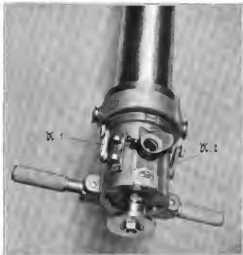


Abbildung 40. Sehrohr-Unterteil.  
(Okularkopf eines Zeisschen Kippbildsehrohrs.)



Abbild. 39. Oberes Ende eines Sehrohrs mit verjüngtem Oberteil.

Abbildung 40 zeigt das untere Ende des Sehrohrs; man erkennt die Gummimuschel des Okulars, die Kurbeln  $K_1$  und  $K_2$  zum Einschalten der Vergrößerung und Kippen des Bildes und die Handgriffe zum Drehen des Sehrohrs.

Besondere Sorgfalt muß der einwandfreien Führung des Sehrohrs in der Führungsbuchse zugewandt werden. Hat das Sehrohr mehr als  $\frac{1}{10}$  mm Luft in der Führung, so gerät es in Ersitterungen und gibt ein unscharfes, unbrauchbares Bild. Die Führungen werden deshalb so lang gemacht, wie es möglich ist, ohne die Bauhöhe des Bootes zu vergrößern.

Wichtig ist auch, daß das Sehrohr vollkommen wasserdicht ist. Ein einziger Wassertropfen, der durch irgendeine Undichtigkeit in das Sehrohr hin-

eingelangt und verdunstet, schlägt sich an der wassergekühlten Glasplatte des Objekts als feiner Schleier nieder. Das U-Boot ist dann blind und hilflos. Aus einem solchen geringfügigen Anlaß ging das französische U-Boot „Turquoise“ in den Dardanellen verloren. Der Kommandant konnte die Umgegend nicht erkennen, rannte mit seinem Boot auf den Strand, so daß es sich hoch herauschob und von der feindlichen Artillerie erledigt werden konnte. Die deutschen Boote sind deshalb mit Sehrohr-trockenapparaten ausgerüstet. Ein kleiner Lüftermotor wird mit Schläuchen an das Sehrohr angeschlossen, saugt den Luftinhalt aus dem Sehrohr ab und drückt ihn durch einen mit Chlorkalzium gefüllten Trockner wieder in das Sehrohr im ständigen Kreislauf hinein. Damit der ganze Luftinhalt des Sehrohrs an dem Kreislauf teilnimmt, ist ein Lüfterrohr innen an der Sehrohrwandung bis in den Kopf des Sehrohrs hochgeführt.

Zum Ein- und Ausfahren des Sehrohrs dient eine elektrisch betriebene Winde. Das Sehrohr hängt in Drahtseilen, die an einen Kugellagerring angreifen, so daß man das Sehrohr frei herumdrehen kann. Bei der Fahrt in größeren Wassertiefen muß man das Sehrohr ganz einfahren und unten auf den Schiffsboden stellen, sonst werden die Drahtseile durch den auf das Sehrohr wirkenden Wasserdruck überlastet, sie brechen, das Sehrohr saust herunter und geht zu Bruch. Auf den neueren Booten wird an das Sehrohr gleich eine Art Fahrstuhlplattform angebaut, auf der der Kommandant steht und mit dem Sehrohr auf und ab fährt. Wenn nämlich die Tiefensteuerung nicht einwandfrei gehandhabt wird oder wenn das Boot im flachen Wasser nicht tief genug tauchen kann, muß der Kommandant das Sehrohr dauernd ein- und ausfahren, damit nur ein möglichst kleiner Teil davon über Wasser sichtbar wird. Dabei muß er dann auf einer Leiter auf- und abklettern und kann auch sehr schwer von der

Leiter aus einen Rundblick durch das Sehrohr nehmen. Alle diese Übelstände vermeidet das Fahrstuhlsehrohr, und man nimmt deshalb gern den Nachteil in Kauf, daß für den Fahrstuhl ein platzraubender Schacht von etwa 1 m Durchmesser nötig wird, der bis auf den Schiffsboden heruntergeht.

Die kleinen U-Boote bis 200 t haben ein Sehrohr. Auf dem Turm angebrachte Sehrohre fallen leicht feindlichen Angriffen zum Opfer. Sie bilden den höchsten Punkt des tauchenden Bootes und werden daher häufig bei Rammversuchen noch erwischt, wenn das Boot selbst schon in geschützter Tiefe ist. Vielfach war deshalb noch ein Not-



Abbildung 41. Bugwelle eines 80 mm-Seehrohrs.

sehrohr in der Zentrale eingebaut, auf das aber neuerdings verzichtet wird, weil es bei Rammstößen meist ebenso wie die Turmsehrohre zerstört wurde. Die größeren Boote von über 600 t haben zwei Turmsehrohre, davon eines mit Fahrstuhl. Früher, als man noch glaubte, daß Sehrohre unsichtbar wären, sollte der Kommandant mit dem einen Sehrohr den Angriff leiten, der erste Offizier mit dem anderen Umschau

halten und das Boot sichern. Davon ist man freilich jetzt ganz abgekommen, es wird nur ein Sehrohr gebraucht und auch dieses nur selten und auch nur möglichst kurze Zeit gezeigt, um das Boot nicht zu verraten. Denn nicht nur durch das Sehrohr selbst wird das Boot kenntlich gemacht, sondern fast noch mehr durch die kleine Bugwelle, die es bei der Unterwasserfahrt aufwirft (Abbildung 41).

Die Länge des Sehrohrs muß in einem gewissen Verhältnis zur Länge des Bootes stehen. Längere Boote müssen beim Angriff in einer größeren Wassertiefe fahren, da sie bei ungenauem Tiefersteuern sonst leichter mit dem Bug oder Heck aus dem Wasser herauskommen würden. Aus der Forderung nach längeren Sehrohren erwachsen bei größeren Booten erhebliche Schwierigkeiten, das Rohr muß, um Ersitterungen zu vermeiden, entsprechend seiner Länge auch dicker gemacht werden, und ein dickeres Rohr als 150 mm läßt sich wegen seiner größeren Reibung in der Stopfbuchse nicht mehr von einem Manne freihändig herumdrehen und schnell einstellen. Aus dieser Notwendigkeit heraus wurde die Konstruktion der Standsehrohre geschaffen.

Beim Standsehrohr hat, wie der Name schon sagt, der Beobachter einen festen Stand am Okular. Es fährt nicht mehr das ganze Sehrohr auf und ab, sondern nur der obere Teil mit dem Objektiv (Abbildung 42). Der Lichtstrahl wird am unteren Ende des Objektivrohrs durch ein doppeltes Prisma senkrecht wieder nach oben geworfen und tritt nach abermaliger Brechung im Okularprisma durch das Okular aus. Der Okularteil des Sehrohrs, die äußere Hülse von etwa 500 m Durchmesser, ist über dem Schiffsboden drehbar gelagert und kann nun durch einen Elektromotor zusammen mit dem Objektivteil geschwenkt werden. Der Elektromotor wird in Leonardschaltung von einer besonderen Dynamo getrieben, so daß die Schwenkgeschwindigkeiten aufs feinste geregelt und jedes beliebige Ziel ganz genau angeschnitten werden kann. Der Kommandant sitzt auf einem Sattel an dem

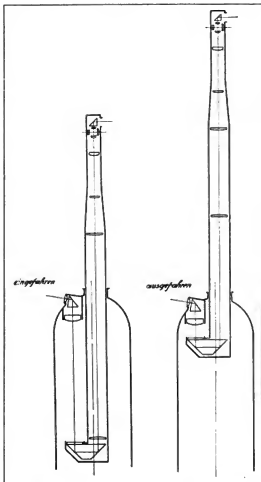


Abbildung 42.

Standsehrohr.



äußeren Okularrohr und fährt mit diesem herum. Bemerkenswert ist, daß das Standsehrohr gewissermaßen ein Fernrohr von veränderlicher optischer Länge darstellt. Bei eingefahrenem Sehrohr ist die optische Länge um die Einfahrtstrecke kleiner als beim ausgefahrenen Sehrohr, da ja das Okular feststeht und das Objektiv sich bewegt. Will man trotzdem in jeder Stellung ein scharfes Bild erhalten, so muß das Umkehrsystem von Linsen, das sich innerhalb des Objektivrohrs befindet, bei jeder Längenstellung des Sehrohrs an die entsprechende Stelle verschoben werden. Dies geschieht durch einen ziemlich verwickelten Antrieb, der einer auf eine Bronzewelle aufgewickelten Spiralkurve folgen muß.

Ein Nachteil des Standsehrohrs sind seine 46 Reflexionsflächen und der außerordentlich lange Glasweg von fast 600 mm. Die Standsehrohre geben daher kein so helles und scharfes Bild wie die einfachen Sehrohre.

Trotzdem werden die Standsehrohre bei großen U-Booten vorläufig die einzige mögliche Lösung darstellen, da sich mit einfachen Sehrohren keine ausreichende optische Länge erzielen läßt.

Kreiselkompaß. Ohne Kreiselkompaß wäre eine einwandfreie Navigation mit dem unter Wasser fahrenden U-Boot wohl kaum denkbar, denn der Magnetkompaß ist im U-Boot so gut wie gänzlich unbrauchbar. Der eiserne Druckkörper des U-Bootes saugt gewissermaßen die Kraftlinien des Erdmagnetismus in sich auf, so daß im Inneren des Druckkörpers nur eine sehr geringe Richtkraft des Erdmagnetismus bemerkbar wird. Außerdem wird die Magnetnadel durch den eigenen Magnetismus des Bootes abgelenkt, und dieser schwankt je nach der Stärke der in den Sammlern und Kabeln des U-Bootes umlaufenden starken Ströme. Die Ablenkung beträgt oft 90° und mehr und ist ganz unberechenbar, denn der magnetische Zustand des Bootes ist nicht nur von der augenblicklichen, sondern auch von der vorhergehenden Stromstärke abhängig (Hysterisis).

Eine leidlich brauchbare Lösung ist schließlich durch einen außerhalb des Druckkörpers angebrachten Kompaß gefunden worden. Diesen Kompaß umpülen die Kraftlinien des Erdmagnetismus ganz ungehemmt. Nun kann man natürlich einen solchen Kompaß bei der Tauchfahrt nicht beobachten. Er wird deshalb in einem druckwasserdichten Gehäuse untergebracht, das auf einem Rohre aufgestellt ist. Durch dieses Rohr projiziert eine im Kompaßgehäuse untergebrachte elektrische Lampe das Bild der Kompaßrose mit Hilfe verschiedener Linsen und Prismen auf eine Mattscheibe im Innern des Druckkörpers, die der U-Boot-Steuerer beobachten kann. Eine vollkommene Lösung bieten diese Lichtbildkompassse freilich nicht, denn auch sie sind immer noch dem eigenen ständig schwankenden Magnetismus des stählernen U-Bootes unterworfen.

So wäre die einwandfreie Navigation unter Wasser unmöglich, wenn nicht gerade zur rechten Zeit der Kreiselkompaß zu einem genauem und zuverlässigen Wegweiser entwickelt worden wäre. Auf die Wirkungsweise des Kreiselskompasses genauer einzugehen, würde hier zu weit führen. Es sei nur angedeutet, daß ein Kreisel stets bestrebt ist, seine Achsenrichtung im Raume beizubehalten; Beispiel: die Erde. Stellt man nun einen Kreisel an der Erdoberfläche so auf, daß die Achse gezwungen ist, in der wagerechten Ebene zu bleiben, sich aber frei drehen kann, so wird sie infolge der Erdumdrehung dauernd ihre Lage verändern müssen. Sie stellt sich dann von selbst so ein, daß diese Lageänderung eine möglichst geringe wird. Das ist der Fall, wenn sie die Richtung des Meridians, Nordsüd, einnimmt. Zum völligen Einschwingen braucht der Kreiselkompaß drei bis vier Stunden. Die Richtkraft oder Stetigkeit eines

Kreisels wächst, wie jedes Kind weiß, je schneller sich der Kreisel dreht, und wie der Physiker hinzusetzt, wächst sie annähernd mit dem Quadrat der Umdrehungszahl. Der Techniker zieht daraus die Folgerung, daß die Umlaufzeit des Kreisels so hoch getrieben werden muß, wie es die Festigkeit des Baustoffes irgend zuläßt. Die Kreisel der Schiffskompassse haben etwa 130 mm Durchmesser und machen elektrisch getrieben 20000 Umdrehungen in der Minute. Um sich einen Begriff von dieser Umdrehungsgeschwindigkeit zu machen, stelle man sich vor, daß das Kreiseldrehen, aus seinem Lager gehoben, frei auf dem Boden davonrollen könnte. Es würde dann mit 130 m in der Sekunde davonschießen, wogegen ein Schnellzug mit seinen 25 m in der Sekunde eine Schnecke wäre.

Die Genauigkeit des Kreiselkompasses ist so groß, daß seine Stellung nicht wie bei den besten Schiffskompassen nach Graden, sondern mittels einer besonderen kleinen Noniusrose nach Zehntelgraden abgelesen wird. Der Bootsteuerer kann also eine Neigung des Schiffes, nach irgendeiner Seite aus der Kursrichtung herauszupendeln, schon in den feinsten Anfängen bemerken, ihr entgegenwirken und so außerordentlich sauber steuern. Der einzige Feind des Kreiselkompasses ist schwerer Seegang. Bei ungewöhnlich heftigen Bewegungen des Bootes kann der Kreiselkompaß in seiner schwingenden Aufhängung anstoßen, und äußere Einwirkung ruft Ablenkungen hervor, die ihn ganz unzuverlässig machen.

Ein Beispiel möge wieder zeigen, von welchen winzigen Störungen in dem verwickelten Organismus des U-Bootes seine Lebensfähigkeit bedroht werden kann. U94 hatte in der Irischen See eine Störung am Kreiselkompaß gehabt. Der Kreisel war auseinandergenommen und wieder zusammengesetzt worden, und hatte sich noch nicht ganz wieder eingeschwungen, als das Boot in heftige feindliche Gegenwirkung geriet. Es hagelte Wasserbomben, und der Kommandant wollte sich unter Wasser von der Küste, die er nahe wußte, entfernen, um in der offenen See tiefer zu



Abbildung 43. Verschiedene Sehrohre.

gehen. Plötzlich stieß jedoch das Boot heftig auf Felsen, der schwere Seegang wirkte auch noch in der Tiefe, warf es wiederholt immer stärker und immer häufiger krachend gegen die Klippen, und statt ins freie Wasser kam das Boot augenscheinlich auf immer flachere Untiefen. Der Kommandant sah sich schließlich gezwungen, so weit aufzutauchen, daß er durch das Sehrohr einen Umblick nehmen konnte. Da stellte er denn fest, daß er sich mitten in der Brandung zwischen den Klippen befand, und daß die verfolgenden Wachtboote rund um die Klippen herumstanden, fleißig Wasserbomben abwarfen, aber sich nicht herantrauten, eben wegen der Klippengefahr. Gleichzeitig konnte er am Stand der Sonne feststellen, daß sein Kreiselpaß um  $180^{\circ}$  verkehrt zeigte. Nun war es ihm ein leichtes, das Sehrohr einzuziehen und unter Wasser unter Berücksichtigung des Kompaßfehlers abzulaufen. Die Untersuchung des Kreiselpasses ergab dann: beim Wiedereinbau des Kreisels waren zwei feine Drähtchen vertauscht worden, dadurch zeigte der Kreiselpaß statt nach Norden nach Süden, und das große kostbare Boot mit seiner Besatzung wäre um ein Haar der Vernichtung anheimgefallen.

Der Kreiselpaß bietet noch die große Annehmlichkeit, daß sich von einem Mutterkompaß aus durch elektrische Übertragung beliebig viele Tochterkompassantreiben lassen, die an den verschiedenen Steuerstellen und Kommandostellen des Bootes angebracht und sogar an beweglichen Kabeln versetzbar eingerichtet werden können.

Der Kompressor erzeugt die zum Ausblasen der Tanks und leerer Schiffsräume gebrauchte Preßluft. Die übliche Größe ist imstande, 20 l Preßluft von 160 kg/qcm in der Minute zu liefern, die in den erwähnten Stahlflaschen aufgespeichert wird. Die Preßluft hat noch vielen anderen Zwecken zu dienen, z. B. zum Auffüllen der Luftkessel der Torpedos, zum Betätigen der Reibungskupplungen, zum Betriebe von Werkzeugen, der Sirene, zum Ausblasen des Schlamms aus den Bodenventilen usw. Ein verwickeltes Leitungsnetz mit zahllosen Verbindungen, Ventilen und Hähnen führt die Luft von den stählernen Flaschen über eine zentrale Sammelstelle ihren verschiedenen Verwendungszwecken zu.

Ähnliche Leitungsnetze sind nun noch für viele andere Zwecke im U-Boot verlegt: für Treiböl, Schmieröl, Lüftung, Lenzleitungen der Pumpen, elektrisches Hauptstrom-, Hilfsmaschinen- und Lichtnetz, elektrische Kommandoelemente, Kreiselpaß, Funkentelegraphie, Fernsprechanlage usw. Sie bilden an den Wänden und an der Decke des Druckkörpers ein unentwirrbares Geflecht von Rohrleitungen und Kabeln, mit zahllosen Ventilen, Hähnen, Schaltern, Sicherungskasten usw. Für die Besatzung sind zum leichteren Einarbeiten und auch zum schnelleren Auffinden von Störungen vereinfachte Übersichtspläne all dieser Anlagen in bunten Farben an Bord gegeben. Außerdem gibt es noch Beschreibungen aller einzelnen Maschinen und Anlagen mit Skizzen, Bedienungsvorschriften und Beschreibung der häufigsten Störungen und ihrer Beseitigung. Nicht zum wenigsten ist es auf diese sorgfältige, bis ins kleinste gehende Vorarbeit zurückzuführen, daß die neuen Besatzungen sich nach so kurzer Schulung mit ihren Booten vertraut machen konnten.

Das Gebläse ist eine Hilfseinrichtung, die beim Auftauchen des U-Bootes gebraucht wird. Es wäre freilich wohl möglich, die Tauchtanks beim Auftauchen vollständig mit Preßluft auszublasen. Es würde aber eine große Kraftvergeudung bedeuten, wollte man die Preßluft erst auf 160 kg/qcm in den Stahlflaschen verdichten und die großen Verlustwärmemengen dabei durch Wasserkühlung abführen. Denn tatsächlich braucht man zum Ausblasen der Tanks nur einen Druck von 0,3 kg/qcm in

der Nähe der Wasseroberfläche. Auch militärisch wäre es verkehrt, den Preßluftvorrat, der die Sicherheitsschwimmkraft des Bootes verkörpert, für diese Zwecke zu verbrauchen. Man bläst deshalb nur einige cbm Preßluft in die Tauchtanks, damit das U-Boot an die Oberfläche kommt. Sobald der Turm über die Wasseroberfläche emporragt, saugt das elektrische Gebläse Luft von außen herein, drückt sie mit dem geringen Druck von 0,5 kg/qcm in die Tauchtanks und entleert diese vollständig. Das Gebläse ist nichts anderes als ein elektrisch betriebener Lüfterkreisel, meistens mit zwei bis drei hintereinandergeschalteten Kreiseln. Durch die Hintereinanderschaltung und eine außerordentlich hohe Umdrehungszahl von 6000 in der Minute wird die verhältnismäßig starke Druckwirkung von 0,5 kg/qcm erzielt. Das Gebläse hat 50 bis 150 P.S. und bläst die Tauchtanks in 1 bis 4 Minuten je nach der Größe des Bootes aus.

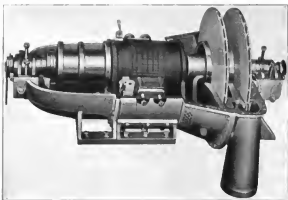
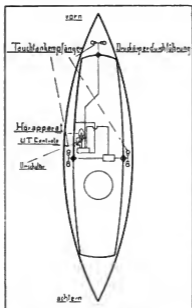


Abbildung 44. Zweistufiges Gebläse mit Elektromotor.

Die funkentelegraphische Einrichtung ist ein unentbehrliches Hilfsmittel bei der kriegerischen Arbeit des U-Bootes. Ausschließlich für die Zwecke der Funkentelegraphie hat jedes Boot zwei stählerne Masten, die bei der Unterwasserfahrt vom Innern des Bootes aus mit Elektromotoren umgelegt werden können. Zwischen den Masten sind die Antennendrähte gespannt, von welchen aus die elektrischen Wellen in den Äther entsandt werden, außerdem können noch bei umgelegten Masten die Netgabweiser als Notantenne benutzt werden. Die Netgabweiser sind etwa 10 mm starke Stahldrahtseile, die vom Bug des Bootes über den höchsten Punkt des Turmes nach dem Heck laufen und so über alle Aufbauten und Kanten an Deck des U-Bootes hinweggeführt sind, daß sich hinter diesen nirgend die vom Gegner gelegten Netze verfangen können. Um als Antenne zu dienen, sind die Netgabweiser durch vier hintereinandergeschaltete Porzellanisolatoren vom U-Boot-Körper elektrisch getrennt. Die Sender- und Empfangseinrichtung im U-Boot hier im einzelnen zu besprechen, würde zu weit führen. Es sei nur erwähnt, daß die zum Senden erforderlichen Hochfrequenz-Wechselströme in einem Umformer, den die Sammler speisen, erzeugt werden. Der Empfang erfolgt wie allgemein üblich mit dem Fernsprehörer. Die Wellenlänge beim Senden ist meist 400 m, für den Empfang kann jede Wellenlänge eingestellt werden. Auf den deutschen Booten sind die Systeme der Funken-A.-G. und der A.-G. Lorenz ausschließlich in Verwendung. Die übliche Stärke der Sender ist 0,5 Kilowatt Antennenenergie, die großen Boote haben 1 Kilowatt.

Die deutschen Boote haben im Weltkriege auf allen Kriegsschauplätzen mit der Heimat dauernd in Verbindung bleiben können, zum mindesten mit Hörempfang. Auf ihren langen Reisen von vier bis zu zwölf Wochen würden sie ohne die Funkentelegraphie jede Verbindung mit der Heimat verloren haben. So aber konnte ihnen der Verlauf der militärischen Ereignisse an Land mitgeteilt werden, Anweisungen

gegeben werden, wie sie durch Störungen von Transporten oder durch Verschuebung der die feindlichen Truppen unterstützenden Kriegsschiffe, z. B. bei den Dardanellen, in die Kriegshandlungen eingreifen könnten. Es wurden ihnen Nachrichten gegeben, welche anderen U-Boote in ihrer Nähe tätig waren, wie sie mit ihnen zusammen wirken sollten; oder die Boote meldeten auch nach Hause, welchen neuen feindlichen Gegenwirkungen und Listen sie sich ausgesetzt sahen, so daß andere unterwegs befindliche U-Boote wieder drahtlos gewarnt werden konnten. Auch untereinander verkehrten die Boote, vereinbarten gemeinsame Arbeit oder verteilten ihre Operationsgebiete, wenn sie sich nicht gegenseitig ins Gehege kommen wollten. In vielen Fällen haben auch Boote, die schwere Havarie hatten, drahtlos Hilfe anderer in der Nähe befindlicher Boote herbeigerufen, oder die Aussendung von Unterstützung aus den Heimatshäfen veranlassen können. Ganz besonders wichtig war es, daß die Boote sich bei der Heimreise rechtzeitig anmelden konnten. Es wurden ihnen dann drahtlose Anweisungen gegeben, welche Anmarschwege zuletzt von feindlichen Minen freigelegt waren, und die Treffpunkte verabredet, wo Begleitfahrzeuge sie erwarten und die Führung durch den minenverseuchten Gürtel vor dem Hafen annehmen konnten.



Abbild. 45. Anordnung der Unterwasser-Schallempfänger (Mikrophone).

Freilich mußten die U-Boote die drahtlosen Meldungen auch mit gewissen vorsichtigen Einschränkungen machen, denn auch die Feinde hatten die sogenannten Peilstationen allmählich recht gut entwickelt, sie konnten den Ort der U-Boote damit genau feststellen und ihre eigene Schifffahrt drahtlos warnen und umlegen. Solche Peilstationen sind drahtlose Empfangsstationen an Land mit einer Reihe von strahlenförmig gespannten Antennen, mit deren Hilfe man mit ziemlicher Genauigkeit feststellen kann, aus welcher Richtung eine funktelegraphische Sendung ausgespannt wird. Am Ton der Sendung kann der geübte Funkentelegraphist ohne weiteres erkennen, ob die Sendung von einer deutschen oder einer Markonistation erfolgt. Man kann also mit zwei weit voneinander aufgestellten Peilstationen je eine Richtung feststellen, in der sich ein deutsches U-Boot befindet. Der Schnittpunkt der beiden Richtungen ergibt die Stellung des Bootes. Will also ein Boot seine Lage verheimlichen, so darf es keine Meldungen abgeben. Natürlich wird die Funkentelegraphie auch dazu benutzt, um den Feind durch scheinbar harmlos oder achlos abgegebene Meldungen zu täuschen.

Meldungen, die der Feind nicht verstehen soll, werden mit verabredeten Schlüsseln gegeben. Der Feind sucht die Schlüssel durch Spionage zu erkunden oder sie aufzulösen, eine Aufgabe, an der besondere Wissenschaftler nach ausgeklügeltem System oft monatelang arbeiten. Der Krieg der Funkentelegraphisten gegeneinander ist ein Krieg für sich, der mit feinen geistigen Waffen geführt wird, und über dessen Listen und Ränke man allein ein ganzes Buch schreiben könnte.

Die Hörchapparate sind die Ohren des U-Bootes, die ihm beim Tauchen um so unentbehrlicher sind, als es vollkommen blind ist. Die Vorstellung von Jules Verne, daß das U-Boot unter Wasser seinen Weg mit einem mächtigen Scheinwerfer beleuchten könne, hat sich nicht verwirklicht, selbst in dem klarsten Wasser des Ozeans und in der Nähe der Wasseroberfläche kann man kaum den Bug des Bootes erkennen. Künstliches Licht vermag natürlich noch weit weniger durchzudringen als das Tageslicht. In den trübren Gewässern der Nordsee und gar in den schlammigen Fluß-

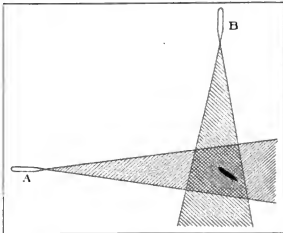


Abbildung 46. Zwei Bewacher erhörden ein U-Boot.

mündungen kann man durch die Glasfenster des Turmes höchstens einen schwachen Schimmer sehen, meist herrscht tiefe, schwarze Nacht. Da ist das einzige Hilfsmittel des U-Bootes das Gehör. Das Wasser überträgt jeden Schall und jede Erschütterung mit vierfacher Geschwindigkeit im Verhältnis zur Luft und mit außerordentlich viel größerer Tragweite. So kann man im U-Boot, wenn alles still ist, schon mit unbewaffnetem Ohre die Schraubengeräusche von tausend Meter weit entfernten Dampfschiffen hören. Zur Verbesserung der Hörwirkung sind nun an verschiedenen Stellen des U-Bootes nahe der Außenhaut Mikrophone angebracht, die vom Wasser umflutet sind und jede kleinste Schwingung des Wassers in elektrische Schwingungen umsetzen (Abbildung 45). Sie sind alle umschaltbar mit einem Fernspredhörer verbunden, durch den ein Mann der Besatzung dauernd die Umgebung abhört. Durch wechselweises Einschalten der rechts und links am U-Boot angebrachten Mikrophone stellt er fest, aus welcher Richtung ihm der Schall — meist handelt es sich ja um Schrauben- oder Maschinengeräusche — am deutlichsten zufließt, und weiß daher, in welcher ungefähren Richtung sich das feindliche Schiff befindet. Bei einiger Übung kann er auch aus dem Klang und Takt der Geräusche unterscheiden, um was für eine Art von Fahrzeug es sich handelt, z. B. ob um einen Fischdampfer oder einen Torpedobootzerstörer.

Außerdem können die Hörvorrichtungen noch zum Signalisieren von einem U-Boot zum anderen unter Wasser benutzt werden. Mit Gloden oder elektrisch schwingenden Membranen können Morsezeichen gegeben und Telegramme übermittelt werden, wobei Reichweiten bis zu 80 km erzielt wurden. Schließlich können die Hörchapparate in der auch bei Überwasserschiffen üblichen Weise zum Ansteuern von Glodenbojen oder mit Unterwassergloden ausgerüsteten Feuerschiffen, sei es im Nebel über Wasser oder auch bei der Tauchfahrt, benutzt werden.

Vorbedingung für die Verwendung der Hörchvorrichtung ist freilich, daß äußerster Ruhe im Boote herrscht. Vor allem hat auch der Feind hochentwickelte Hörchvorrichtungen und kann mit mehreren Bewachern, die sich an verschiedenen Stellen auf-

halten und zusammen arbeiten, den Ort eines U-Bootes recht genau nach dessen Geräuschen feststellen. Hört z. B. der Bewacher A (Abbildung 46) das U-Boot im Osten und der Bewacher B im Süden, so wissen sie ziemlich genau, an welcher Stelle sich das U-Boot aufhält, fahren nach dem Fleck hin und decken es mit Wasserbomben ein. Bis auf 30 km Entfernung sind z. B. von deutschen Küstenhochstellungen aus U-Boote nach ihren Schraubengeräuschen erhört worden. Bei der Konstruktion der Maschinen des U-Bootes muß daher mit äußerster Sorgfalt auf Geräuschlosigkeit geachtet werden. Der Elektromotor, der die Schiffsschrauben unter Wasser treibt, ist gewiß eine ungewöhnlich geräuschlos laufende Maschine, aber die mahelnden Geräusche selbst der langsam laufenden Schiffsschrauben haben sich nie ganz beseitigen lassen und werden dem U-Boot leicht zum Verräter. Bei geräuschloser Fahrt müssen die Hauptmaschinen so langsam wie möglich laufen, alle Hilfsmaschinen und Umformer werden abgestellt, die Rudermaschinen werden aus- und Handbetriebe eingekuppelt. Läßt sich der Gegner dann immer noch nicht abschütteln, so legt sich das U-Boot wohl ganz still an den Grund, vorausgesetzt, daß die Wassertiefe nicht zu groß ist.

**DIE LEBENSBEDINGUNGEN DER BESATZUNG.** Bei der Überwasserfahrt wird das U-Boot in der üblichen Weise durch elektrisch getriebene Lüfter mit frischer Luft versorgt. Die Lüfter saugen die Frischluft aus einem Lüfterkopf, der im wasserdurchfluteten Umbau des Turmes hochgeführt ist. Bei schwerem Seegang kommt es freilich vor, daß der Lüfterkopf durch Brecher überlaufen wird, und die Lüftung abgestellt werden muß. Von den elektrischen Lüftern drückt einer Luft durch ein besonderes Rohrnetz in alle Abteilungen des Schiffes, während der andere die verbrauchte Luft herausaugt. Bei der Überwasserfahrt werden die Lüfter, besonders im Hinterschiff, nur selten benutzt, denn hier üben, wie bereits gesagt, die Dieselmotoren eine äußerst kräftige Lüfterwirkung aus. Die Lüfterwirkung der Maschinen ist so stark, daß im Maschinenraum sofort ein spürbarer Unterdruck entsteht, wenn das Turmloch durch einen durchkriechenden Mann teilweise verstopft wird.

Bei der Unterwasserfahrt kann natürlich frische Luft nicht mehr zugeführt werden. Etwa 5 bis 12 Stunden lang kann die Mannschaft freilich von der eingeschlossenen Luftmenge ohne Beschwerden leben, und zwar um so länger, je weniger sie körperlich arbeitet. Dann aber muß die Lüftererneuerung in Tätigkeit treten, weil der Sauerstoff der Luft verbraucht und dafür eine übermäßige Anreicherung an Kohlendäure eingetreten ist. Das beschriebene Rohrsystem der Lüfter wird im Kreislauf geschaltet, und an den Saugstellen werden Luftreiniger vorgeschaltet (Abbildung 47). Die Luftreiniger bestehen aus einer Batterie von Blechhülsen, in denen Kalium- und Natriumhydroxyd in erbsengroßen Stücken auf möglichst großer Oberfläche verteilt ist. Diese Masse reinigt die Luft von der angereicherten Kohlendäure und nimmt gleichzeitig Wasser auf, sich dabei erwärmend. Nach einer bestimmten Benutzungsdauer läßt die Erwärmung nach, die Patronen sind dann gesättigt und können durch einen einfachen Handgriff gegen frische ausgewechselt werden. Der verbrauchte Sauerstoff wird aus mitgeführten Stahlflaschen, in denen sich auf 160 kg/qcm verdichteter Sauerstoff befindet, ersetzt, und die Zusatzmenge wird durch besondere Dosierungsapparate mit der Zahl der Besatzung in Einklang gebracht. Der Sauerstoffzusatz wird entweder unmittelbar ins Boot oder in die Lüftungskanäle geleitet. Luftreinigung und Sauerstoffzusatz sollen für einen dreitägigen Aufenthalt unter Wasser ausreichen.

Besonders unangenehm ist es aber, daß sich die übrigen Beimengungen der Luft nicht entfernen lassen, z. B. die Ausdünstungen der Menschen, der Speisen, des

Maschinenöls usw. Es wird zwar schon bei der Zusammensetzung der Nahrung für die Schiffsmannschaft darauf geachtet, daß sich möglichst keine üblen Dünste entwickeln können, trotzdem wird aber die Luft nach längerer Unterwasserfahrt immer mehr mit Beimengungen durchsetzt, die, ohne gerade giftig zu sein, das Wohlbefinden stark beeinträchtigen und Kopfschmerzen und Übelkeit hervorrufen. Neuerdings scheint sich die Aussicht zu öffnen, daß diese Dünste durch in den Luftweg eingeschaltete Filter aus gepulverter Holzkohle gebunden werden können.

Sehr groß ist auch immer der Feuchtigkeitsgehalt der Luft im U-Boot. Infolge der niedrigen Lage der Lüfteröffnungen über dem Wasser und der starken Abkühlung

des Bootskörpers durch das umhüllende Wasser ist die Luft stets bis nahe zum Sättigungspunkt mit Wasserdampf geschwängert. Er schlägt sich an den kalten eisernen Wandungen in Tropfen nieder, die herunterfallend Kleider und Proviant durchnässen und Schimmelbildung und Fäulnis hervorrufen. Eßwaren und Brot werden daher auch nach Möglichkeit in luftdichten Büchsen mitgeführt. Die Kleider der an Deck durchnässen Mannschaft im Boot zu trocknen, bleibt die größte Schwierigkeit. Zwar sind elektrische Heizapparate vorhanden, doch werden sie während kriegerischer Tätigkeit ungern benutzt, weil ihr hoher Stromverbrauch den Fahrbereich des Bootes beeinträchtigt. Im Bereiche der Wohnräume versucht man die Schweißwasserbildungen an den Wandungen des Druckkörpers dadurch zu verhindern, daß Wegerungen aus Holz oder Kork angebracht werden. Die hohe Luftfeuchtigkeit ist und bleibt aber eine der unangenehmsten Begleiterscheinungen des U-Boot-Lebens, ganz besonders bei warmem Wetter oder in den Tropen, weil sie den menschlichen Körper verhindert, sich durch Schwitzen Kühlung und Erleichterung zu verschaffen.

An die Widerstandsfähigkeit und Leistungsfähigkeit der U-Boot-Mannschaft werden durch alle diese ungünstigen Lebensbedingungen ganz ungewöhnlich hohe Anforderungen gestellt. Besonders müssen Herz und Lunge einwandfrei gesund sein. Die Mannschaften werden aufs sorgfältigste von Ärzten ausgesucht, und trotzdem ist der Verbrauch an Kräften recht groß, da viele sich auf die Dauer den Anstrengungen nicht gewachsen zeigen.

Um das Bild der Lebensführung zu vervollständigen, sei noch erwähnt, daß die Zubereitung der Nahrung in elektrisch geheizten Kochtöpfen erfolgt, und also auch unter Wasser ohne weiteres fortgesetzt werden kann. Schwierigkeiten bereiten dagegen die Aborte, denn ihre Entleerung gegen den hohen äußeren Wasserdruck macht besondere Druckpumpen erforderlich.

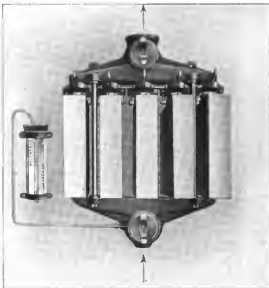


Abbildung 47. Luftreiniger mit eingesetzten Kalipatronen.



Die vorstehende kurze und daher grobzügige und oberflächliche Beschreibung der Einrichtungen des U-Bootes wird immerhin ahnen lassen, welch ungeheure Menge von hochwertigsten Maschinen und Apparaten, von feinfühligsten Instrumenten in dem engen Raume des Druckkörpers eines U-Bootes versammelt sind. In Landanlagen würde jedes einzelne dieser kostbaren Dinge einen reichlich bemessenen hellen, luftigen und trockenen Raum verlangen, damit es gut überwacht und bedient werden kann und einwandfrei arbeitet; im U-Boot ist alles durch-, in- und übereinander geschichtet. An manche Teile kann man erst heran, wenn andere vorher von ihrem Platz entfernt sind, an andere nur, wenn das Boot im Hafen ist oder im Dock liegt. Besonders schädlich ist die hohe Luftfeuchtigkeit, sie verursacht Korrosion der Metallteile und zerstört die Isolation der elektrischen Anlagen. Es ist begreiflich, daß es keinen Menschen geben kann, der alle diese technischen Sonderheiten vollkommen beherrscht und übersieht. Für jedes Gebiet müssen Fachleute an Bord mitgenommen werden, jeder muß sich selbständig mit seiner Arbeit abfinden und sich darauf verlassen, daß auch die anderen ihre Pflicht tun. Der leitende Ingenieur ist wieder im höchsten Maße auf die Zuverlässigkeit seines Unterpersonals angewiesen. Deutschland hatte beim Beginn des Weltkrieges ausgebildete Mannschaften für etwa 40 U-Boote, bis zum Ende des Weltkrieges hatte es Mannschaften für etwa 400 Boote ausgebildet. Eine solche Leistung ist nur dann möglich, wenn man bei der Ausbildung auf einer gründlichen allgemeinen Schulbildung weiterbauen und aus der Industriebevölkerung einen technisch vorgebildeten Mannschaftsbestand übernehmen kann. Im allgemeinen dauerte die Mannschafsausbildung während des Weltkrieges nur etwa sechs Monate, eine Leistung, die wohl höchstens von dem amerikanischen oder englischen Volke hätte erreicht werden können.

### 3. BEWAFFNUNG DER U-BOOTE

Der TORPEDO ist die Hauptwaffe des U-Bootes, weil er während der eigentlichen Angriffsstellung des U-Bootes — unter Wasser — angewandt werden kann. Er ist selbst ein kleines, höchst vollkommen eingerichtetes U-Boot und unterscheidet sich von diesem im wesentlichen durch seine kurze Laufzeit bei sehr hoher Geschwindigkeit. Während das U-Boot höchstens 9 Knoten unter Wasser laufen kann, schießt der Torpedo mit bis zu 40 Knoten dahin und gleicht den taktischen Nachteil der Schwerfälligkeit des U-Bootes zum Teil wieder aus.

Der Torpedo wird aus dem Ausstoßrohr mit Preßluft von 15 bis 30 kg/qcm hinausgeschossen. Das Ausstoßrohr hat vorn eine wasserdichte Mündungsklappe und hinten eine Ladeklappe. Der Torpedo liegt dauernd schußfertig in dem trockenen Ausstoßrohr. Er kann zum Nachsehen nach hinten herausgezogen werden. Erst kurz vor dem Schuß wird das Ausstoßrohr bewässert und die Mündungsklappe geöffnet. Die Ausstoßrohre liegen in der Regel längsschiffs, und zwar vorn im Bug des Bootes meist zwei bis vier, im Heck zwei. Vier Rohre im Bug haben gegenüber zwei den Vorteil, daß stets vier Torpedos schußfertig sind, denn das Nachladen von Reservetorpedos unter Wasser, verbunden mit dem nötigen Gewichtsausgleich, nimmt immerhin so viel Zeit, etwa zwei Minuten, in Anspruch, daß inzwischen die Schußgelegenheit meist verpaßt ist. Auch hat der Kommandant gern mehrere Torpedos schußklar, die auf verschiedene Laufstiefen eingestellt sind, denn oft erkennt er erst kurz vor dem Schuß, ob er ein tiefgehendes oder flachgehendes Ziel vor sich hat.

Man kann auch im wasserdurchfluteten Aufbau oder an demselben Ausstoßrohre anbringen wie bei den deutschen C-Booten, deren Druckkörper von Minen ausgefüllt



Abbildung 48.

U-Boot U 94.

ist und keinen Platz für Torpedos bietet. Diese Rohre haben aber den Nachteil, daß man an den Torpedo nur bei ruhigem Wetter heran kann, um ihn nachzusehen. Der Torpedo verlangt nämlich eine gewisse Pflege, die Preßluft, die seine Triebkraft hergeben soll, entweicht manchmal langsam aus dem Luftkessel, und der Geradlaufapparat muß in regelmäßigen Pausen erprobt werden, damit man sicher ist, daß er richtig arbeitet.

Außer den Ausstoßrohren gibt es auch noch Abgangsrohre. Es sind dies durchbrochene Gitterrohre, in denen der Torpedo dauernd vom Wasser umflutet lagert. Er wird abgeschossen, indem der Abgangshebel seiner Maschine herumgerissen wird, die Maschine springt an und treibt den Torpedo aus dem Rohr. Die Gitterrohre haben den Vorteil, daß man sie überall sehr bequem im wasserdurchfluteten Aufbau unterbringen kann, ihr Nachteil ist aber die Unmöglichkeit, die Torpedos in gutem Zustande zu erhalten. Wiederholt sind schon die Geradlaufapparate von Torpedos in den Abgangsrohren verrostet, der Torpedo ist im Kreise gelaufen und hat das eigene U-Boot in die höchste Gefahr gebracht.

Während ein Geschütz im beliebigen Winkel auf den Gegner eingerichtet werden kann, ist das Torpedoausstoßrohr fest längsschiff eingebaut. Der Kommandant muß also mit dem ganzen U-Boot zielen, was den Angriff taktisch sehr erschwert. Auch daß er dabei ungefähr auf den Feind zufahren muß, ist ein Nachteil, weil er in die Gefahr eines Zusammenstoßes kommt. Um diesen Übelstand zu mildern, hat man den Torpedo für Winkelschuß eingerichtet. Man schaltet eine besondere Einrichtung zwischen den Geradlaufapparat und das Steuer, durch die der Geradlaufapparat gewissermaßen betrogen wird und den Torpedo in einen bestimmten Winkel zur Abgangsrichtung weitersteuert. Das Zielen mit dem Winkelschuß ist jedoch nicht besonders sicher, weil der Bogen, den der Torpedo läuft, bis er auf den Winkel eingesteuert ist, mit in Rechnung gezogen werden muß.

Man hat auch versucht, Breitseitrohre für Torpedos einzubauen, die es dem Kommandanten ermöglichen, neben dem Gegner herzufahren, durch kleine Schwenkungen des U-Bootes das Breitseitrohr auf den Gegner zu richten und abzufeuern. Bei der großen Länge des Torpedos von 6—7 m und dem geringen Durchmesser des Druckkörpers von etwa 4—5 m ist aber der Einbau im Druckkörper unmöglich. Man kann außen am Druckkörper jedoch Abgangsrohre einbauen, die für gewöhnlich längsschiffs liegen, sich um ein hinteres senkrecht Gelenk drehen lassen und kurz vor dem Schuß durch den Fahrtstrom querschiffs herausgeklappt werden. Für die deutschen Boote kommen, wie gesagt, Abgangsrohre nicht in Frage, weil der Torpedo in ihnen

nur wenige Tage mit Sicherheit brauchbar bleibt und die deutschen Boote für wochenlange Unternehmungen gebaut wurden.

Außer den Torpedos in den Rohren nehmen die U-Boote noch eine Anzahl Reservetorpedos mit. Boote von 900 t haben im ganzen etwa 16 Torpedos, größere 20 und mehr.

Die Wirksamkeit des Torpedos ist von der Einrichtung des beschossenen Schiffes abhängig. Ältere Kriegsschiffe sind trotz ihrer reichlichen Schotteneinteilung oft durch einen einzigen Torpedo in wenigen Sekunden zum Sinken gebracht worden, besonders wenn sich die Munition entzündete. Auch Längsschotte haben sich als sehr gefährlich erwiesen, da das Schiff einseitig voll lief und kenterte, z. B. das Panzerschiff Torgut Reis, die ehemalige deutsche Weissenburg, die im Marmarameer torpediert wurde. Neuzeitige Linienschiffe und große Kreuzer haben unter Wasser einen besonderen Torpedopanzer, der nicht etwa an der Außenhaut liegt, sondern etwa 4 m weiter innenbords, wo die Explosionsgewalt des Torpedos schon geschwächt ist. Solche Schiffe können ohne großen Schaden einen oder mehrere Torpedotreffer aushalten. Z. B. hat der Kreuzer Göben vor den Dardanellen drei Minentreffer, die Torpedotreffern gleichzurechnen sind, gleichzeitig erhalten und konnte seine Unternehmung fortsetzen. Dagegen kann ein einziger Torpedotreffer in der Gegend des Hinterschiffs, der Schrauben und Ruder beschädigt, ein Linienschiff kampfunfähig machen. Auch ist die Torpedowaffe noch entwicklungsfähig, das Kaliber und die Sprengladung können noch erheblich verstärkt werden. Wenn also auch ein Torpedotreffer nicht mehr so tödlich auf ein Linienschiff wirkt wie vor der Zeit der Großlinienschiffe und der Torpedoschotte, so bleibt er doch stets eine sehr große Gefahr. Das U-Boot wird deshalb auf die taktische Verwendung der Kampf flotte auch fernerhin einen entscheidenden Einfluß ausüben und ihre Wirksamkeit erheblich beeinträchtigen.

Handelschiffe werden durch den Torpedoschuß dann noch am wenigsten gefährdet, wenn sie zahlreiche Schotten haben und unbeladen sind. Theoretisch soll eigentlich jedes größere Handelsschiff noch schwimmfähig sein, wenn zwei benachbarte Räume voll Wasser laufen, so daß also ein einzelner Torpedoschuß nicht tödlich sein könnte. In Wirklichkeit ist aber die Erschütterung bei der Explosion der 200 kg Ladung des Torpedos so gewaltig, daß auch noch andere als die unmittelbar getroffenen Schotten beschädigt und die ganzen Verbände des Schiffes gelockert werden. Beladene Schiffe sind oft nach einem Torpedotreffer mitten durchgebrochen. Vielfach hat auch die Ladung selbst den Druck der Explosion auf die benachbarten Schotten übertragen. Beladene Frachtdampfer, die im Maschinen- und Kesselraum getroffen sind, gingen fast immer unter, weil diese Räume gewissermaßen ihre Schwimmblase sind, nach deren Zerstörung ihnen nicht mehr genügend Reserveauftrieb verbleibt. Im allgemeinen haben sich die Handelsdampfer als sehr wenig widerstandsfähig gegen den Torpedoschuß erwiesen.

DIE MINE ist gleichfalls eine Unterwasserwaffe des U-Bootes. Diese Minen bilden mit ihrem Anker zusammen zunächst eine Einheit und sinken mit ihm an den Meeresgrund. Dort lösen sie sich von dem Anker und steigen auf, bis sie die richtige eingestellte Tiefe, etwa 2—3 m unter dem niedrigsten Wasserspiegel, erreicht haben, wo dann der Tiefensteller das Ankertau festkneift und die Mine festhält. Nähere Einzelheiten über die Mine bringt der betreffende Abschnitt dieses Buches.

Auf kleineren Booten, den deutschen C-Booten, sind die Minen in Schächten untergebracht, die den Druckkörper durchdringen und vom Wasser durchflutet sind (Abbildung 54). Die Einrichtung hat den Vorzug außerordentlich einfacher Bedienung.

Man braucht nur Haltekraggen beiseite zu drehen, auf denen die Minenanker ruhen, das Paket von Mine und Anker rutscht nach unten, der starke Strom des Wassers erfaßt infolge der Schrägstellung der Schächte den tellerförmigen flachen Anker und zieht die Mine völlig nach unten heraus. Bis zu drei Minen übereinander werden in einem Schacht aufbewahrt. Das Gewicht der geworfenen Mine muß sofort durch Fluten eines Ausgleichtanks wieder ausgeglichen werden, damit die Steuerung des Bootes nicht gestört wird. Die durchfluteten Minenschächte haben im übrigen denselben Nachteil wie die durchfluteten Torpedoabgangsrohre. Die Mine, besonders der empfindliche Tiefensteller, leidet im Seewasser und bleibt nur kurze Zeit, etwa zehn Tage, einwandfrei betriebsklar. Die Boote müssen also sehen, daß sie ihre Minen innerhalb dieser Zeit loswerden.

Günstiger in dieser Beziehung ist die Aufbewahrung der Minen im Druckkörper, doch ist hierbei wieder das Ausstoßen umständlicher. Die Minen werden in eine



Abbildung 49.

U-Kreuzer U 139.

Schleuse geladen, ein wagerechtes Rohr am hinteren Ende des Schiffes, das bis zu drei Minen gleichzeitig aufnehmen kann. Der innere Deckel des Rohres wird geschlossen, das Rohr wird geflutet, der äußere Deckel geöffnet und die Minen durch eine Transportvorrichtung nach hinten hinausgeschoben, bis sie frei wegfallen. Die technische Schwierigkeit liegt hier in den großen Verschlüssen, die gegen den hohen Wasserdruck von über 5 kg/qcm dichthalten müssen. Sie werden deshalb sehr schwer und schwerfällig und müssen durch besondere Elektromotoren betätigt werden. Der Vorzug dieser Einrichtung ist, daß man eine bedeutend größere Anzahl von Minen unterbringen kann, soweit es eben der Raum im Druckkörper zuläßt. Aus diesem Grunde, und außerdem weil die Minen beliebig lange betriebsfähig bleiben, ist die Minenschleuse die gegebene Lösung für weitreisende U-Kreuzer.

Eine besondere Art von Minen sind die Torpedominen, die durch die Torpedoausstoßrohre hinausgeschoben werden können und deshalb bedeutend kleiner sind. Auch ihre Wirkung am Ziel ist infolge der kleineren Sprengladung geringer. Sie haben mehr den Zweck, den Feind zu beunruhigen, ihn zur Aufwendung von Gegenmitteln und zum fleißigen Minensuchen zu zwingen. Hierdurch werden Wachboote und Minensucher gebunden, die an wichtigeren Stellen entbehrt werden müssen.

DIE ARTILLERISTISCHE BEWAFFNUNG entspricht eigentlich nicht dem Wesen des U-Bootes. Man hat sie ursprünglich kaum in Betracht gezogen, und erst die Anforderungen des Handelskrieges haben sie entwickelt. Wenn das U-Boot so ungünstig

zum Gegner steht, daß ein Torpedo nicht mehr angebracht werden kann, hat immer noch das weitreichende Geschütz Aussicht auf Erfolg. Auch ist der Torpedo eine recht kostspielige Waffe, er kostet an 25 000—30 000 M., und nur wenige Torpedos können vom U-Boot mitgeführt werden. Eine Granate kostet dagegen nur 20—30 M., und mehrere hundert Granaten lassen sich mit Leichtigkeit an Bord unterbringen.

Die ersten Geschütze hatten 5-cm-Kaliber und waren wohl mehr zur notdürftigen Verteidigung eines tauchunklaren Bootes bestimmt. Aber schon vor dem Weltkriege wurde in Deutschland ein 8,8-cm-U-Boot-Geschütz entwickelt. Man gab sich besondere Mühe, das Geschütz so einzurichten, daß es mit einer Klappvorrichtung rasch unter dem Deck des U-Bootes verstaut werden konnte. Hierdurch wollte man die glatte Form des U-Bootes erhalten, damit seine Geschwindigkeit unter Wasser nicht beeinträchtigt würde. Die Kriegführung hat nachher bald gezeigt, daß auch zur Bedienung der einfachsten und am schnellsten wirkenden Klappvorrichtung nie die nötige Zeit vorhanden ist. Die Mannschaft muß das Feuergeficht so schnell eröffnen und wieder abbrechen, daß das Geschütz fest und ständig feuerbereit an Deck stehen muß. Eine eigenartige Ausbildung verlangte das U-Boot-Geschütz, weil es bei der Unterwasserfahrt ständig von Salzwasser um- und durchspült wurde und dem hohen Wasserdruck ausgesetzt ist. Alle Teile mußten besonders einfach ausgeführt und gegen Korrosion geschützt und die Bremszylinder gegen den hohen Wasserdruck gesichert werden. Der beste und wirksamste Schutz ist freilich immer noch eine dicke Fettschicht. Auch für die Munition mußten neue Konstruktionen erdacht werden. Die Patronen wurden in druckwasserdichten Büchsen handlich in der Nähe des Geschützes untergebracht.

Die Verwendung der Geschütze im Handelskrieg löste die Bewaffnung der Handelsdampfer als Gegenwirkung aus, und es ergab sich die Notwendigkeit, das Kaliber der U-Boot-Geschütze zu steigern. So kam es auf das 10,5-cm- und schließlich auf das 15-cm-Geschütz. Während aber auf dem Handelsschiff die Grenze für die Kalibersteigerung nur durch die Kosten und die Erzeugungsfähigkeit der Fabriken gezogen ist, wachsen die Schwierigkeiten beim U-Boot mit zunehmender Kalibergröße ganz erheblich. Auf dem niedrigen wasserüberspülten Deck bereitet die Handhabung der 15-cm-Munition mit ihrer 45 kg schweren Granate schon die größten Schwierigkeiten. Auch das Richten des schweren 15-cm-Geschützes bei der beweglichen niedrigen Platt-

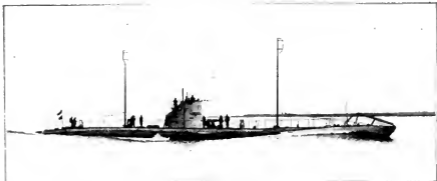


Abbildung 50.

U-B-3-Boot 49.

form des U-Bootes erfordert die größte Kraft und Geschicklichkeit. Es ist daher fraglich, ob das schnellfeuernde handliche 10,5-cm-Geschütz wirksamer ist oder das unhandlichere 15-cm-Geschütz mit seiner größeren Sprengwirkung am Ziel. Eine weitere Steigerung über 15-cm hinaus stellt ganz neue, fast unlösbar scheinende Aufgaben, da die Munition mit Aufzügen gefördert und mit Maschinen geladen werden muß, und alle diese Einrichtungen druckwasserdicht und gegen Salzwasser unempfindlich sein müssen. Schon beim 15-cm-Geschütz ergibt sich die Schwierigkeit, daß nach dem Verbrauch der in Büchsen gestauten Bereitschaftsmunition der weitere Nachschub durch einen Aufzug mit großen wasserdichten Verschußklappen erfolgen muß. Die 8,8- und 10,5-cm-Munition dagegen wird einfach von Hand zu Hand durch das Turmluk an Deck gereicht.

Ein Geschützkampf des U-Bootes gegen Kriegsschiffe, wenn es sich nicht um schwach bestückte kleine Bewacher handelt, ist immer ausgeschlossen. Beim Kampf gegen Handelsschiffe hat das U-Boot, gleiches Kaliber auf beiden Seiten vorausgesetzt, den Vorteil, ein großes, leicht zu treffendes Ziel vor sich zu haben, während es selbst nur eine kleine Zielfläche bildet. Schwere ins Gewicht fällt aber der Nachteil, daß das U-Boot eine niedrige, wasserüberspülte und schnell schwingende Geschützplattform gegenüber dem trockenen und langsamer schwingenden Handelsschiff darstellt und vor allem, daß das U-Boot, durch einen einzigen Treffer am Druckkörper verletzt, tauchunfähig wird, während der große träge Leib des Handelsschiffes schon manchen Treffer ohne Schaden vertragen kann. Trotzdem haben U-Boote unter entschlossener Führung und durch die Geschicklichkeit der Geschützbedienung oft stärkere Handelsdampfer niedergekämpft.

#### 4. DIE VERTEIDIGUNGSMITTEL DES U-BOOTES

Die eigentlichen Verteidigungsmittel des Kriegsschiffes, Panzer, der den Widerstand, oder Geschwindigkeit, welche die Flucht ermöglicht, braucht das U-Boot nicht, es verschwindet unter der Wasseroberfläche und ist gesichert. Aber in der Kriegführung löst jedes neue Hilfsmittel sofort eine Gegenwirkung aus, und so ist doch der Feind dem U-Boot schnell genug mit seinen Angriffswaffen unter die Wasseroberfläche gefolgt: Minen, Netze und Wasserbomben sind seine Gegenmittel.

Die MINEN, an sich nichts Neues, sind von den Engländern im letzten Jahre des Weltkrieges in einem Umfange gegen das U-Boot angewandt worden, von dem man sich früher keine Vorstellung hätte machen können. Anfänglich wurden nur solche Flußmündungen und Hafeneinfahrten mit Minen verseucht, durch die U-Boote ihren Weg nehmen mußten. Als Gegenmittel entwickelte sich sofort der Minensuchdienst. Auf dem minenfrei gemachten Wege läuft dann das U-Boot aus oder ein. Der Gegenzug des Feindes ist die Verwendung von U-Booten, die das Freimachen der Durchfahrtswege heimlich beobachten und sich entweder an dem Wege auf die Lauer legen, um das U-Boot zu torpedieren, oder den Weg unter Wasser unbemerkt wieder mit Minen verseuchen. Eine andere Kriegsliste ist die Verwendung von Kettenminen. Zwei oder drei Minen werden wie an einer Perlenkette übereinander an demselben Anker verankert. Wird die oberste weggefischt, so steigt die nächste stillschweigend an ihre Stelle, und der frei geglaubte Weg ist sofort wieder verseucht.

Das einfachste Mittel gegen die Minen ist das Drunterwegtauchen. Die Minen liegen durchschnittlich auf einer Tiefe von 3 m unter der Wasseroberfläche, und ihre Zündeinrichtungen sind in der Regel an ihrer oberen Seite angebracht. Fährt nun

das U-Boot auf einer größeren Wassertiefe durch ein Minenfeld, so kann es wohl die Ankertaue streifen, aber es bringt die Mine nicht zur Entzündung. Damit das Ankertau nicht am U-Boot festhakt und die Mine dadurch mitgeschleift wird, an das U-Boot heranklappt und explodiert, ist der U-Boot-Körper und alle seine Aufbauten auf das sorgfältigste so durchkonstruiert, daß nirgend etwas festhaken kann. Die hervorstehenden Tiefenruder und die Schiffsschrauben sind durch besondere Bleche und Leitstangen gegen das Hinterhaken von Minenankertauen geschützt. Die Geschütze und der Turmaufbau sind durch zwei starke, vom Bug bis zum Heck über sie hinweggespannte Stahldrahtseile, die Netzabweiser, gegen das Hinterhaken von Minen und Netzen gesichert. Eine Gegenwirkung gegen das Unterfahren von Minenfeldern ist wiederum die Verwendung der Krängungsminen, die schon zur Entzündung kommen, wenn sie um einen bestimmten Winkel zur Senkrechten geneigt werden. Das kann leicht eintreten, wenn das U-Boot gegen das Ankertau fährt; es tritt aber nicht mit Sicherheit ein, und da die Krängungsmine andererseits bei manchen Gelegenheiten unerwünscht zur Explosion gelangen kann, z. B. wenn sie durch Seegang oder Strom gekippt wird, so hat sie keine sehr ausgedehnte Verwendung gefunden. Ein wirksameres Mittel gegen das Unterfahren von Minensperren ist die Auslegung von Minen in den verschiedensten Wassertiefen, eine Taktik, die vielfach gegen die deutschen U-Boote, und vermutlich auch mit Erfolg, ausgeübt wurde.

Im allgemeinen ist eine Mine tödlich für das getroffene U-Boot, auf jeden Fall unter Wasser. U-Boote, die bei der Überwasserfahrt auf Minen liefen, haben sich stellenweise retten können. Z. B. erhielt U 21 mitten in der Nordsee einen Minentreffer am Heck, der beide Propeller zerstörte. Das Boot rief drahtlos Hilfe herbei und wurde glücklich eingeschleppt.

DIE NETZE werden in verschiedener Form angewandt. Schwere Sperrnetze werden quer über Durchfahrten oder Hafeneinfahrten gelegt. Sie sind aus 3—4 cm dicken Stahldrahtseilen hergestellt, und ihre Maschen sind mindestens  $2 \times 2$  m groß. Sie hängen an großen eisernen Bojen von mehreren Metern Durchmesser und müssen so tief herunterreichen, daß sie nicht untertaucht werden können. Der englische Kanal und die Dardanellen waren z. B. durch solche Netze gesperrt, außerdem fast alle Hafeneinfahrten von Bedeutung. Gegen die Netze sind die U-Boote mit Netzbrechern ausgerüstet (Abbildung 52), scharfe, feilenartige Schneiden aus hochwertigstem Stahl, die am Bug nach Art von Sägezähnen angeordnet sind. Oft genug ist es auch U-Booten gelungen, diese schweren Netze zu durchbrechen, besonders dann, wenn das Netz durch den Strom schon nach einer Seite steifgesetzt war und nicht mehr federnd ausweichen konnte. Auch fahren die U-Boote gerne über die Netze hinweg, nachts oder am Tage, wenn die Bewachung zu schwach oder durch Nebel behindert ist. Damit die Boote leichter über das Netz hinwegfahren können, hat man dem Bug eine schräg ausladende Form gegeben, die das Netz nach unten wegdückt.

Die Anzeigeneetze sollen das U-Boot nicht aufhalten, sondern nur seine Gegenwart verraten. Sie sind aus etwa 1 cm dickem Stahldraht in großen-Maschen hergestellt und werden durch zahlreiche Schwimmkörper, oft aus Glas, schwebend gehalten. Das U-Boot streift sie sich über und verrät sich durch die an der Oberfläche nachschleppenden Schwimmkörper, die oft auch mit selbsttätigen Leuchtvorrichtungen versehen sind. Durch Fahrterhöhung sucht es das Netz über der scharfen Kante seiner Netzbrecher zu zerreißen, oder es taucht so tief, daß es mit dem ganzen Netz unter der Oberfläche verschwindet. Sobald es die Verfolger abgeschüttelt hat, taucht es auf, und die Mannschaft entfernt mit Drahtscheren, Meißeln und Sauerstoffschneidapparaten die Überreste des Netzes.

Die Schleppnetze werden in den feindlichen Fahrwassern, die von den U-Booten benützt werden müssen, von einer ganzen Kette von Bewachern, meist Fischdampfern, planmäßig vorwärtsgeschleppt. Wenn sie durch Nordverfolgung ein U-Boot festgestellt haben, suchen sie es einzukesseln und dann durch Wasserbomben zu vernichten. Die Schleppnetze sind dem U-Boot weniger gefährlich, weil die Kette der Bewacher meist schon von weitem bemerkt und ausmanövriert werden kann.

So hat sich auch schon unter Wasser ein erbitterter Kampf und ein gegenseitiges Sichübertrumpfen der Angriffs- und Gegenmittel entwickelt, und das U-Boot fährt keineswegs mehr so sorglos und sicher unter Wasser wie in den ersten Kriegsjahren. Im Gegenteil, dieser neue stumme Kampf ist noch viel nervenaufreibender als der Torpedoangriff oder Geschützkampf, weil er ahnungslos und wehrlos von der U-Boots-Besatzung gekämpft wird. Oft gleitet ein Minenankertau schurrend an der Bordwand entlang, und die Mannschaft wartet beklommen, ob die Mine klarsehen wird, und kann sich dabei ausmalen, ob es sich wohl um eine Krängungsmine handelt. Oder ein Netz legt sich um das Boot, und die Mannschaft wartet in fieberhafter Spannung auf die krachenden Wasserbomben der Verfolger. Manchmal verwickelt sich das Boot rettungslos in dem Sperrnetz, und die Schrauben werden durch die Drahtseile festgeklemmt; dann gilt es, durch Maschinenmanöver mit äußerster Kraft voraus und zurück die hindernden Umschlingungen an der Schraube zu zerreißen oder sie vom U-Boot abzustreifen. Manchmal gelingt es auch, durch Fluten aller verfügbaren Wasserräume das Boot so schwer zu machen, daß es das Netz zerreißt. Einmal gelang es einem U-Boot, das mit Schleppnetzen vollkommen eingekreist war, mit Preßluft schnell aufzutauchen, mit äußerster Maschinenkraft in einem Hechtsprung über die Netzsperrn hinwegzusetzen und wieder tauchend zu verschwinden, ehe die verblüfften Bewacher ihre Geschütze richten konnten.

EINEN PANZER hat man erst neuerdings auf großen U-Booten eingeführt, um ihnen im Kampf mit bewaffneten Handelsschiffen größere Widerstandsfähigkeit zu verleihen. Schiffbaulich bedeutet der Panzer eine sehr unbequeme Mehrbelastung des an sich, wie wir sahen, schon wenig tragfähigen U-Bootes. Die Belastung beträgt sogar das Doppelte des Panzergewichts, denn der hochliegende Panzer würde die Stabilität des U-Bootes zu sehr verringern, und es muß deshalb eine entsprechende Vermehrung des Ballastes eintreten. Die Panzerung wird meist durch Verstärkung der Druckkörperhülle in ihren oberen, den feindlichen Treffern ausgesetzten Teilen bewirkt. Dabei werden die Blechhüllen der wasserdurchfluteten Aufbauten gewissermaßen als Krepierbleche ausgenutzt, sie bringen die auftreffenden Granaten zur Explosion, so daß der Druckkörperpanzer nur noch die Splitterwirkung auszuhalten braucht, und hier ein Panzer aus Spezialblech von 20—30 mm Stärke schon gute Dienste tut. Um den Druckkörper gegen unmittelbare Volltreffer genügend widerstandsfähig zu panzern, würde auch gar nicht genügend Gewicht zur Verfügung stehen. Besonders kräftig muß natürlich auch bel Panzerbooten der Turm gepanzert werden. Wegen seiner hohen Lage ist auch hier wieder die unerwünschte Vermehrung des Ballastes als Gegengewicht notwendig.

## 5. DIE VERSCHIEDENEN ARTEN VON U-BOOTEN

Die ersten U-Boote mit ihrer geringen Beweglichkeit und kleinem Fahrbereich sollten ausschließlich dem Hafenschutz dienen. Mit der allmählichen Entwicklung des Fahrbereichs und der Seefähigkeit ergab sich auch die Möglichkeit, in



Abb. 51 a

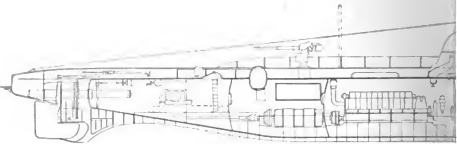
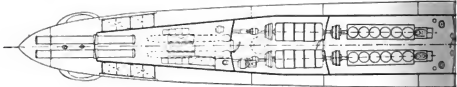


Abb. 51 b



### Erklärung der Zahlen zu den Abbild. 52 a und 52 b

1. Ruderantrieb — 2. Torpedoröhre — 3. Steuerstand — 4. Heck- und Bugspill — 5. Mannschaftswohnräume — 6. Schlußen — 7. Telefonhöjen — 8. Scheitämpfer — 9. Schiffsafel — 10. Kupplung — 11. Haupt-E-Maschine — 12. Rettungs-kupplung — 13. Ölmotoren — 14. Luftflaschen — 15. Boot — 16. Frischluftzuführung — 17. 15-cm-Geschütz — 18. 8,5-cm-Geschütz — 19. Munitionsräum — 20. Lademaschine — 21. Entfernungsmesser — 22. Hauptlenzpumpe — 23. Antennenschacht — 24. Sehrohr-Fahrtstuhlschacht — 25. Bereitschaftsmunition — 26. Samm. er — 27. Motorboot — 28. Nebelweiser — 29. Torpedo-Gelchschkopf —

Abb. 52 a

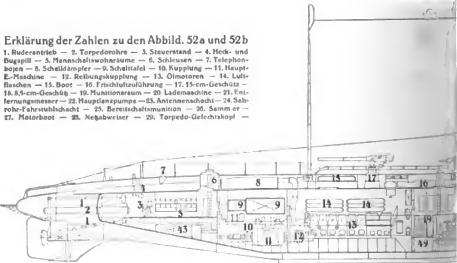
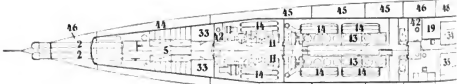
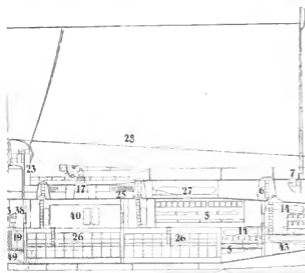
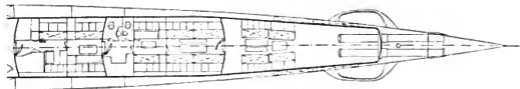
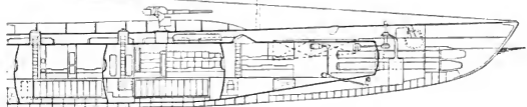


Abb. 52 b



Abbildungen 51 a und 51 b: U 93—98.



30. Tiefenruder — 31. Kistenkasten — 32. Notbrecher — 33. Proviantraum — 34. Küche — 35. Kühlraum — 36. Navigationsraum — 37. P-T-Raum — 38. Kreisellkompaß — 39. Verteiler-Kasten zum Ausblasen der Tauchtanks — 40. Wohnraum für Offiziere — 41. Wohnraum für drei Maschinisten — 42. Abort — 43. Trimmstanks — 44. Bunker — 45. Zusatzbunker — 46. Tauchtank — 47. Regler-tank — 48. Schmieröltank — 49. Kobbenkühlwassertank (U 139). Frischwassertank (U 140-411)



52a und 52b: U-Kreuzer, U 139—141

größerer Entfernung vom Stützpunkt zu wirken, doch galten noch kurz vor dem Weltkriege selbständige Unternehmungen von U-Booten auf mehrere hundert Seemeilen Entfernung als ungewöhnliche Leistungen. Dies war wohl auch mit auf die verschiedenen Unfälle zurückzuführen, denen das U-Boot in seiner Entwicklungszeit ausgesetzt gewesen war, und die den Eindruck erweckten, daß das U-Boot ein empfindliches und für den Besizer fast noch mehr als für den Feind gefährliches Spielzeug sei, das man nicht ohne Schutz unbegleitet über die See schicken dürfe. Erst im Weltkriege unter dem eisernen Druck der englischen Blockade wurde die eigentliche Aufgabe des U-Bootes als Blockadebrecher in helles Licht gerückt, und dem Unternehmungsgest der deutschen U-Boots-Kommandanten gelang es, den Beweis für die Lösbarkeit dieser Aufgabe, dem allgemeinen Vorurteil zum Trotz, zu bringen. Da sich die verschiedenen Abarten der U-Boote in der deutschen Marine trotz der überstürzten Kriegsentwicklung klar und folgerichtig herausgebildet haben, und über das Ausland in dieser Beziehung wenig bekannt ist, sollen die deutschen U-Boot-Typen den folgenden Betrachtungen zugrunde gelegt werden. Ihre Entwicklung war ein Werk der Unterseeboots-Inspektion, und es muß betont werden, daß die verschiedenen Arten von U-Booten, die auf Grund der im Weltkriege gestellten militärischen Anforderungen in größter Eile und ohne daß man sich auf reiche Erfahrungen hätte stützen können, entworfen wurden, sämtlich die an sie gestellten Anforderungen voll erfüllt haben. Dabei prägten sich die Anschauungen, die man über die voraussichtliche Dauer des Krieges hatte, in außerordentlicher Weise aus, denn anfänglich glaubte man die U-Boote mit der größten Schnelligkeit fertigstellen zu müssen, damit sie überhaupt noch im Weltkriege verwendet werden könnten. Aus diesem Grunde wählte man ihre Abmessungen stellenweise übertrieben klein, ohne dabei auf die militärischen Anforderungen verzichten zu wollen. Infolgedessen stellen diese Boote ein Höchstmaß von Leistungsfähigkeit in der kleinsten Hülle dar, worunter die Übersicht im Innern und die Unterbringung der Mannschaft leiden mußte. Auch ist ein kleines Boot natürlich nicht so seefähig wie ein größeres. Erst später ließ man sich mehr Zeit mit dem Bau und entwickelte die Größenverhältnisse der einzelnen Muster. Trotz dieser überstürzten Entwicklung wurde keines der von der Unterseeboots-Inspektion herausgebrachten Muster ein Fehlbau, alle haben sie den an sie gestellten Anforderungen voll entsprochen und konnten nach kurzen Probefahrten ohne bedeutende Umbauten oder Änderungen sofort in den Frontdienst treten. Dies ist im wesentlichen das Verdienst des Schiffbaukonstruktors der Unterseeboots-Inspektion, Marine-Baurat Dr.-Ing. Werner. Die sich bis in alle Einzelheiten und in alle Sondergebiete erstreckende hochwertige Leistungsfähigkeit der deutschen Techniker und ihre planvolle Zusammenfassung in der Unterseeboots-Inspektion gaben die Grundlage ab, auf der er seine Entwürfe aufbauen konnte.

**HAFENBOOTE.** Die deutsche Marine hat von vornherein zielbewußt auf das Hochsee-U-Boot hingearbeitet und auf das Hafen-U-Boot verzichtet. Die Entwicklung hat ihr recht gegeben, denn die Hafengebietverteidigung wird wirksamer durch Minen, Küstenbatterien und allenfalls Torpedoboote ausgeübt, während das U-Boot in unseren flachen und leicht mit Minen zu verseuchenden Küstengewässern wenig leistungsfähig ist. Immerhin besitzt doch die deutsche Marine einige U-Boote, die als Hafenboote angesprochen werden können. Sie wurden gleich im Beginn des Weltkrieges für die Verwendung an der flandrischen Küste gebaut und mußten so klein sein, daß sie mit der Eisenbahn in das besetzte Gebiet gefahren und dort zusammengebaut werden konnten. Es sind Einhüllenboote von 140—200 t Verdrängung,

## Deutsche U-Boote

Boot	Erste Indienststellung	Verdrängung über Wasser t	Verdrängung unter Wasser t	Länge m	Breite m	Tiefgang m	Dieselmotor E.P.S.	Elektronotor E.P.S.	Geschwindigkeit über Wasser km	Geschwindigkeit unter Wasser km	Fahrtbereich km	Torpedoröhre cm	Geschöße cm	Minen
<b>U-Boote</b>														
U 1	12. 06	238	283	42,3	3,6	3,17	2 × 200	2 × 200	9,2	6,5	1 400 (8)	1—45	—	—
U 2	7. 08	340	430	45,4	5,5	3	2 × 300	2 × 315	13,2	8,5	—	4—45	—	—
U 5—8	7. 10	505	636	57,3	5,6	3,5	4 × 225	2 × 520	13,4	10,2	3000 (9)	4—45	—	—
U 17—18	11. 12	564	691	62	6	3,4	4 × 350	2 × 560	15	9,5	4000 (9)	4—45	—	—
U 19—22	7. 13	650	837	64	6,1	3,6	2 × 850	2 × 550	15,5	9,5	10 400 (8)	4—50	1—6,8	—
U 43	4. 15	725	942	65	6,2	3,5	2 × 1000	2 × 550	15,3	9,7	11 400	6—50	1—10,5	—
U 105	7. 17	830	1000	71,5	6,3	3,8	2 × 1200	2 × 550	16,4	8,5	9 300 (8)	6—50	1—10,5	—
<b>U-B-Boote</b>														
U-B 1—17	1. 15	127	142	28,1	3,1	3	60	120	6,5	5	1 800 (5)	2—45	—	—
U-B 18—47	12. 15	263	292	36,1	4,3	3,7	2 × 140	2 × 140	9,1	5,8	6 000 (5)	2—45	1—6,8	—
U-B 48—	6. 17	516	651	55,3	5,8	3,7	2 × 550	2 × 380	11,8	8	8 400 (6)	5—50	1—10,5	—
<b>U-C-Boote</b>														
U-C 1—15	5. 15	168	183	34	3,1	3	90	175	6,2	5,2	780 (5)	—	—	12
U-C 16—79	6. 16	417	493	52,1	5,2	3,7	2 × 250	2 × 230	11,5	7	9 430	3—50	1—6,8	18
U-C 80—	6. 17	480	555	56,1	5,5	3,7	2 × 300	2 × 310	11,5	6,6	8 500	3—50	1—10,5	18
<b>Große Minen-U-Boote</b>														
U 71—80	12. 15	755	832	56,8	5,9	4,9	2 × 450	2 × 400	10,6	8	7 880 (8)	2—50	1—10,5	34—38
U 117—	5. 18	1117	1489	81,5	7,3	4,2	2 × 1200	2 × 600	14,5	8	11 500 (8)	4—50	1—15	42
<b>U-Kreuzer</b>														
U 139—	5. 18	1920	2450	92	9	5,3	2 × 1650	2 × 890	14,5	7,5	17 500 (8)	6—50	2—15	—
U 142—	Ende 18	2094	2430	97,5	9,05	5,3	2 × 300	2 × 1300	17,5	8,5	20 000 (6)	6—50	2—15	—
<b>Handels-U-Boote</b>														
U 151—157	7. 17	1512	1880	65	6,9	5,3	2 × 400	2 × 400	12,4	5,2	25 000 (5,3)	2—50	2—15	2—6,8



Abbild. 53. Bahntransport des vorderen Drittels eines U-B-1-Bootes.

Ausstoßrohren und einem Torpedo in jedem derselben. Ihre 60pferdige Dieselmachine erteilte über Wasser die geringe Geschwindigkeit von 6,5 Knoten, unter Wasser machten sie gar nur 5. Wenn sie auch manchen Erfolg aufzuweisen hatten, so erwies sich doch auf die Dauer ihre Geschwindigkeit als unzureichend. Falls ihnen ein Gegner nicht geradezu in den Raden lief, gelang es ihnen fast nie, sich unter Wasser auf Angriffstellung heranzupürschen. Sie wurden deshalb später durch Ansetzen eines anderen Vordertheiles meistens zu Minenbooten umgebaut. Die C-Boote (Abbildung 20 und 60) sind reine Minenboote ohne Torpedorohre. Sie können in ihren sechs durchfluteten Schächten 12 Minen mitnehmen. Da sie militärisch nur die Aufgabe haben, ihre Minen nach einem bestimmten Platz zu bringen und dort abzulegen, haben sie sich trotz ihrer geringen Geschwindigkeit recht gut bewährt.

Aber selbst diese kleinen Boote sind dank dem sparsamen Brennstoffverbrauch ihrer Dieselmachine doch schon etwas mehr als reine Hafenboote, sie haben einen Fahrbereich von über 1600 Seemeilen und haben weite Reisen, z. B. von Pola nach Konstantinopel, selbständig unternommen. Aus diesen beiden Urtypen haben sich die deutschen B-Boote, kleine Torpedo-U-Boote, und die C-Boote, kleine Minen-U-Boote entwickelt; wir werden später auf sie zurückkommen.

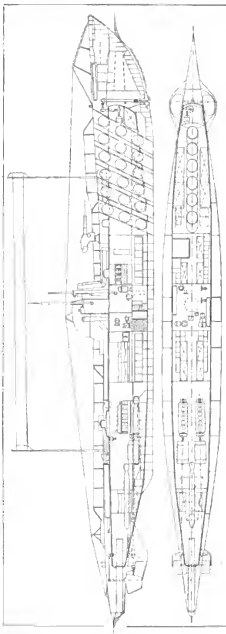
Das eigentlich deutsche HOCHSEE-U-BOOT (Abbildung 48 und 51) ist das Zweihüllenboot von etwa 700 - 900 t. Es verdankt sein Dasein dem zielbewußten Streben nach einem U-Boot, das selbständig längere Zeit die hohe See halten und fern vom Stützpunkt an den feindlichen Küsten wirken kann, die unserer eigentlichen Flotte infolge ihrer taktisch ungünstigen eingeklemmten Lage im Winkel der deutschen Bucht im allgemeinen verschlossen sein würden. Die Übersichtstafel der deutschen U-Boote kennzeichnet diesen Entwicklungsgang. Beachtenswert ist der Sprung im Fahrbereich vom letzten Petroleummotorboot U 15 zum ersten Dieselseboot U 19. Ihr Fahrbereich erlaubt es diesen Booten, trotzdem sie nicht eigentlich als U-Kreuzer angesprochen werden können, ohne Brennstoffergänzung bis an die Küste Nordamerikas zu laufen, dort sich einige Zeit aufzuhalten und wieder zurückzukehren, eine Leistung, die von vielen Fachleuten für unmöglich gehalten wurde und immer wieder die Vermutung nährte, daß Deutschland in der Nähe der amerikanischen Küste oder auf den Inseln des Atlantischen Ozeans

die in drei Stücken auf Sonderwagen nach Antwerpen gefahren, dort in wenigen Tagen zusammengeflanscht und vom Stapel gelassen wurden. Scheldeaufwärts und durch die Kanäle wurden sie nach Ostende gebracht und haben die Südküste Englands in kurzen, bis zu viertägigen Unternehmungen während des ganzen Weltkrieges unsicher gemacht. Es waren zwei Muster: die B-Boote (Abbildung 2) waren Torpedo-U-Boote mit zwei

über besondere U-Boot-Stützpunkte und Brennstoffversorgung verfügte. Die Bewaffnung der Boote besteht aus zwei bis vier Torpedobugrohren und zwei Heckrohren mit bis zu 16 Torpedos. Ihre beiden Geschütze hatten schon von U 21 ab 8,8 cm Kaliber, das dann auf 10,5 cm gesteigert wurde. Diese Boote sowohl wie die im folgenden beschriebenen B- und C-Boote können ohne Schwierigkeiten Kriegsfahrten von vier bis acht Wochen unternehmen.

Die B-BOOTE haben sich, wie gesagt, aus den kleinen B-Booten entwickelt, die, in ihren Maßen an das Eisenbahnprofil gebunden, in mancher Beziehung doch recht unzulänglich waren. Ihr Hauptmangel waren die geringe Geschwindigkeit und daß sie nur eine Maschine hatten. Kam an dieser eine Störung vor, so waren sie verloren. Der Merkwürdigkeit halber sei hier erwähnt, daß sich in zwei Fällen solche Boote doch noch im englischen Kanal, teils segelnd, teils mit günstigem Gezeitenstrom treibend und bei ungünstigem am Grund liegend, bis in die Nähe ihres flandrischen Stützpunktes durchgeschlagen haben und dann glücklich eingeschleppt wurden. Die Hauptabmessungen der B-Boote und ihre Entwicklung zeigt die Zusammenstellung.

Es geht daraus hervor, daß die letzten U-B-Boote (Abbildung 50) doch schon größer waren als die ersten U-Boote, eine weitere Größensteigerung war jedoch durch den Verwendungszweck der B-Boote ausgeschlossen. Sie wurden hauptsächlich an den feindlichen Küstengewässern und Hafeneinfahrten angesetzt, durften zu diesem Zweck nicht zu lang sein, damit sie auch in flacheren Gewässern verwendbar blieben, und mußten besonders schnell tauchen können. Ihre Torpedobewaffnung wuchs allmählich



Minen-U-C-3-Boot 97.

Abbildung 54.

bis auf fünf Ausstoßrohre, vier im Bug und eines im Heck, und zehn 50 cm Torpedos, das Geschützkaliber wuchs bis auf 10,5 cm, doch haben sie nur ein Geschütz. Die Boote sind schon richtige Hochseeboote und haben ohne Schwierigkeit Reisen von Deutschland nach Pola und Konstantinopel gemacht. Ihren großen Fahrbereich brauchten sie außer auf diesen Reisen auch schon bei ihren gewöhnlichen Unternehmungen, denn die zunehmende Minenverseuchung zu den Einfahrten der U-Bootstützpunkte zwang dazu, diese Gefahrenstellen möglichst selten zu passieren und dafür möglichst lange draußen wirksam zu sein.

Die C-BOOTE erhielten bei ihrer Vergrößerung (Abbildung 54) gleich eine Torpedobewaffnung. Die Bugrohre mußten aber an Deck untergebracht werden, weil in dem von sechs Minenschichten durchbrochenen Vorderteil des Druckkörpers kein Raum mehr verfügbar war. Die Zusammenstellung zeigt, wie auch bei diesen Booten die Forderung nach größerem Fahrbereich, besserer Unterbringung der Mannschaft auf längeren Unternehmungen die Abmessungen allmählich wachsen ließ.

GRÖßERE MINENBOOTE sind U 71—80, mit 36 im Druckkörper gelagerten Minen, die durch eine Schleuse am Heck des Bootes ausgestoßen werden. Diese Boote sind im Anfang des Krieges zu vorhandenen Maschinenanlagen gebaut worden, die für ausländische Rechnung hergestellt und nun beschlagnahmt waren. In der Absicht, den Bau möglichst zu beschleunigen, wurde der Einhüllentyp gewählt. Die Boote haben auch eine schwache Torpedobewaffnung von zwei Überwasser-Ausstoßrohren.

Ihre Fortentwicklung finden diese Minenboote in den Minen-U-Booten U 117 und folgenden. Sie sind mit ihrem Fahrbereich von 11500 Seemeilen richtige Unterseekreuzer und können ohne weiteres drei Monate lang fern vom Stützpunkt ihre Tätigkeit entfalten. Die ersten Boote dieser Art haben auch bereits derartige Unternehmungen an der amerikanischen Küste durchgeführt.

Die eigentlichen UNTERSEEKREUZER sind die Boote U 139 und folgende. (Abbildung 50 und 52.) Sie sollen in monatelangen Unternehmungen fern von der Heimat den Handelskrieg führen und sind deshalb mit zwei 15-cm-Geschützen stärker bewaffnet als die Minenkreuzer. Sie haben schon etwa 80 Mann Besatzung. Sie sind größer als die kleinen Kreuzer an der Jahrhundertwende und machen mit ihrem hohem Deck schon einen ganz gewaltigen Eindruck.

Ob das U-Boot in Zukunft eine weitere Steigerung seiner Größe erfahren wird, erscheint zweifelhaft. Das U-Boot wird wegen seines fehlenden Reserveauftriebes immer eine sehr empfindliche Waffe bleiben. Stets werden Verletzungen, die für andere Schiffe harmlos sind, und verhältnismäßig unbedeutende Bedienungsfehler, tödliche Folgen bei dem U-Boot herbeiführen können. Durch die wachsende Stärke der Besatzung und die Verteilung der Verantwortung auf eine größere Zahl von Leuten, die der Leiter weniger sicher in der Hand hat, wird die Gefahr der Bedienungsfehler noch vergrößert. Wohl kann das größere U-Boot auch einen stärkeren Panzerschutz erhalten, doch wird dieser wegen der geringen Tragfähigkeit und eigentümlichen Stabilitätsverhältnisse des U-Bootes nie so stark ausgebildet werden können, daß er eine auch nur leidliche Sicherheit gewährt. Eine weitere Gefahr liegt in der Größe an sich, denn das längere Unterseeboot kann bei Neigungen sehr viel schneller in gefährliche Wassertiefen kommen. Auch wird die Verwendung in flachen Gewässern und die Benutzung von Häfen mit seichten Einfahrten erschwert, wenn nicht überhaupt unter Wasser unmöglich gemacht. Ein U-Boot von 3 m Tiefgang kann bei 10 m Wassertiefe schon gut unter Wasser manövrieren, ein großes U-Boot von 4000—5000 t würde

schon an der Oberfläche etwa 6 m tief gehen und würde zur Tauchfahrt eine Wassertiefe von mehr als 20 m brauchen. Das würde bedeuten, daß es aus den meisten Hafeneinfahrten nicht unbemerkt ausfahren könnte.

Schließlich darf man den Kostenpunkt nicht vergessen, ein U-Boot von 900 t kostete gegen Ende des Weltkrieges etwa 5 Millionen Mark, ein solches von 5000—6000 t würde danach etwa 30 Millionen kosten. Inzwischen haben sich die Löhne und Kosten noch wieder verdoppelt, also auf 60 Millionen. Es ist doch sehr zweifelhaft, ob man solche Riesenwerte in einem Fahrzeug anlegen wird, das einer einzigen Mine, ja schon einem Bedienungsfehler zum Opfer fallen kann. Die mit der Größe des U-Bootes wachsenden technischen Schwierigkeiten und die zunehmende Empfindlichkeit des immer unübersichtlicher und verwickelter werdenden Apparats scheinen danach dem großen U-Boot keine besonders günstigen Entwicklungsmöglichkeiten offen zu lassen.

Die HANDELS-U-BOOTE (Abbildung 56 und 57) sind eine Frucht der englischen Blockade und des durch sie hervorgerufenen Rohstoffmangels in Deutschland. Was vorher über die Gewichtsverteilung im U-Boot und dem großen Aufwand für Rumpfgewicht und Maschinengewicht gesagt wurde, läßt von vornherein das U-Boot als wenig geeignet für die Handelsschiffahrt erscheinen. Man vergleiche nur die Maßstäbe der Gewichtsverteilung für das U-Boot und für das Handelsschiff (Abbildung 3). Bei ersterem sind 4% der Verdrängung für die „Ladung“, in diesem Fall Torpedo- und Geschützbewaffnung verfügbar, bei letzterem etwa 65%. Gewichtsersparnisse kann man beim U-Boot nur an der Maschinenanlage machen, indem man sich mit einer geringeren Geschwindigkeit begnügt. Am Rumpfgewicht ist wenig zu sparen, weil die Festigkeit bei großen Wassertiefen auch beim Handels-U-Boot vorhanden sein muß. Höchstens kann man wiederum unter Verzicht auf Geschwindigkeit das Handels-U-Boot breiter und gedrungener machen, so daß das Verhältnis von Rauminhalt zur Oberfläche, d. h. Rumpfgewicht, günstiger wird. Durch diese Ersparnisse konnte eine Ladefähigkeit von 34% der Verdrängung, nämlich etwa 525 t, erreicht werden.

Durch einen geschickten Kniff hat man die Ladefähigkeit der U-Boote noch beträchtlich erhöhen können. Man hat solche Ladung, die durch Seewasser nicht verdorben wird, in diesem Fall handelt es sich um Rohgummi, in den wasserdurchfluteten Räumen des Aufbau-Decks untergebracht. Bei der Tauchfahrt, wenn das U-Boot auf seinem Druckkörper allein schwimmen muß, schwimmt der Gummi in den wasserdurchfluteten Aufbauten auf und belastet den Druckkörper nicht. So konnte man eine Zuladung von 235 t unterbringen. Voraussetzung ist, daß das Ladegut, wie Gummi, annähernd das spezifische Gewicht 1 hat und im Seewasser nicht leidet. Die Ladefähigkeit beträgt demnach für trockene und nasse Ladung insgesamt 50% der Verdrängung. Es ist einleuchtend, daß diese geringe Ladefähigkeit des in Anschaffung und Betrieb kostspieligen Bootes außerordentlich hohe Fraditkosten bedingt. Nur unter den Verhältnissen des Weltkrieges, als Deutschland bestimmte Rohstoffe wie Gummi, Nickel, Wolfram, Platin um jeden Preis hereinbringen mußte, war das Handels-U-Boot lebensfähig.

In seiner inneren Einrichtung wirkt das Handels-U-Boot schon mehr wie ein Großschiff. Der große Druckkörper-Durchmesser von 5,7 m macht das Einziehen eines Decks und den Einbau von Kammern möglich, ein Verkehrsgang läuft auf dem Deck in der Mitte des Schiffes entlang, und rechts und links liegen kleine behagliche Kammern und Messen für die Offiziere und Unteroffiziere. Im Vorschiff liegen auf diesem Deck die Mannschaftsräume. Unter dem Deck sind die Laderäume und die Sammlerräume, in denen die Sammlerzellen offen aufgestellt sind. Über den Zellen



läuft eine kleine Fahrbühne, in der sich die Mechaniker von einer Zelle zur anderen kurbeln können, um ihre Messungen zu machen. Die Besatzungsstärke beträgt etwa 70 Mann. Auch das Überwasserschiff wirkt großschiffsmäßig. Das Deck liegt etwa 2,75 m über Wasser und bietet auch im Ozean noch bei ziemlichem Seegang einen trockenen Aufenthalt.

Als dann mit der Kriegserklärung Nordamerikas Deutschland die letzten Auslandsmärkte verschlossen wurden — die schwachen Neutralen kamen unter dem Drucke Englands und Amerikas als Lieferer nicht mehr in Frage — wurden die Handels-U-Boote zu Kriegsfahrzeugen umgebaut. Sie erhielten zwei 50-cm-Bugtorpedorohre und zwei 15-cm-Geschütze. Ihre große Tragfähigkeit erlaubte ihnen einen hohen Fahrbereich von etwa 25000 Seemeilen, so daß sie auf ihren Unternehmungen ohne Schwierigkeit ein Vierteljahr unterwegs sein konnten. Auch konnten zahlreiche Torpedos mitgegeben werden. Trotzdem haben diese Boote nur wenig kriegerische Erfolge gehabt. Infolge ihrer geringen Geschwindigkeit über und besonders unter Wasser kamen sie fast nie zum Torpedoschuß heran, und auch im Geschützkampf waren sie durch ihre Schwerfälligkeit gehemmt. In vielen Fällen gelang es dem Gegner, sich ihrem Feuerbereich durch überlegene Geschwindigkeit zu entziehen. Es

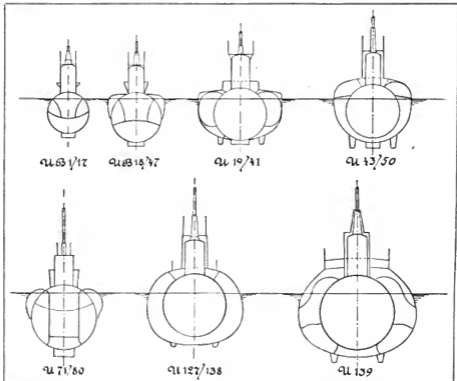


Abbildung 55.

Querschnitt deutscher U-Boote.

zeigte sich hier recht augenfällig, wie sehr das Kriegs-U-Boot bis an die Grenze der technischen Leistungsfähigkeit durchkonstruiert sein mußte, wenn es gegen Ende des Weltkrieges noch Erfolge haben sollte. Ein verhältnismäßig unbedeutender Verzicht auf Geschwindigkeit und Beweglichkeit, und schon ist das U-Boot als Waffe fast wirkungslos.

## 6. DIE HANDHABUNG DES U-BOOTES

**DAS TAUCHEN.** Vor dem Tauchen wird zunächst durch eine Dichtigkeitsprobe festgestellt, ob auch wirklich alle die zahlreichen Verschlüsse, die durch die Druckkörperwandung nach außen führen, fest verschlossen sind. Das Turmluk wird geschlossen, und mit einem elektrischen Lüfter wird Luft aus dem Boot gesaugt oder hineingedrückt, so daß ein Unter- oder Überdruck von 20 mm Wassersäule entsteht. Nun wird auch der Luftmast geschlossen und das Barometer beobachtet; verändert sich sein Stand nicht, so ist das Boot dicht und kann tauchen. Daß auch die Wirkung dieser Sicherheitsmaßregel durch einen Bedienungsfehler aufgehoben werden kann, beweist der Unfall von U 114 in der Kieler Förde im Jahre 1918. Nach der Dichtigkeitsprobe ist es üblich, den Luftmast eine kurze Zeit zu öffnen, um den Druckausgleich der Luft herzustellen. Anscheinend hatte hier ein Mann der Besatzung geglaubt, der Luftmast wäre nach dem Druckausgleich nicht wieder geschlossen worden; er wollte ihn deshalb schließen, öffnete aber das in Wirklichkeit geschlossene Ventil, ohne es zu wissen. Beim Tauchen stürzte nun so viel Wasser in die hinteren Räume des Schiffes, daß es achtern wegsackte, ehe man überhaupt feststellen konnte, von woher das Wasser kam. Der größte Teil der Mannschaft rettete sich nach vorn und schloß die wasserdichten Schotten hinter sich, acht Mann aber ertranken im Heckraum. Das Boot lag mit dem Heck am Grund und ragte mit dem Bug über Wasser. In wenigen Stunden konnte es gehoben und die Mannschaft geborgen werden.

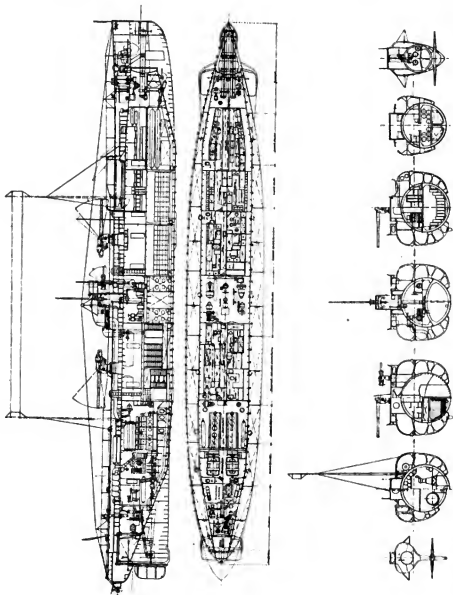
Vor dem ersten Tauchen muß das Boot, wie schon gesagt, ausgewogen werden. Die Tauchklappen werden geöffnet, dann auch vorsichtig die Entlüftungen der Tauch tanks, so daß diese sich langsam füllen. Allmählich sinkt das Boot unter Wasser, und wenn es sein richtiges Gewicht hat, so soll nach dem vollständigen Fluten der Tauch tanks noch ein Stückchen vom Turm aus dem Wasser ragen. Die Wasserverdrängung dieses Stückchens soll im allgemeinen etwa  $\frac{1}{1000}$  der Gesamtverdrängung betragen, bei einem 900 t Boot also etwa 900 l, und das durch die Kraft seiner Ruder ganz unter Wasser gedrückte Boot würde also einen „Restauftrieb“ von 900 kg behalten. Ist das Boot zu schwer, so würde es ganz wegsinken. Sobald man das bemerkt, schließt man die Tauchtankentlüftungen und erleichtert das Boot so lange durch Lenzen der Reglertanks, bis das richtige Gewicht hergestellt ist. Ist das Boot zu leicht, so würde es auch bei vollständig gefluteten Tauchtanks noch mit einem zu großen Teil des Turmes aus dem Wasser ragen. Dann flutet man die Regler, bis der richtige Restauftrieb eingestellt ist. Im Turm befindet sich ein Wasserstandsglas, das mit dem Außenwasser in Verbindung gesetzt werden kann, und an dem man unmittelbar die Größe des Restauftriebes ablesen kann. Man kann das Boot so genau auswiegen, daß es schließlich „im Seehrohr hängt“, also nur einige Kilogramm Restauftrieb hat. Ein kleines Kind könnte dann, am Seehrohr anfassend, das 900 t schwere Boot spielend auf und ab bewegen (abgesehen vom Formwiderstand!).

Meistens sinkt das Boot beim ersten Auswiegen nicht auf ebenen Kiel, sondern der Bug oder das Heck ragen aus dem Wasser. Dann wird schon vor dem Einstellen

des Restauftriebs zunächst der Trimm hergestellt, indem man aus dem einen Trimm-tank in den anderen Wasser hinüberpumpt. Ist das Boot so stark aus dem Trimm, daß es bedenkliche Neigungen annimmt, so schickt man schnell eine Anzahl Leute von dem einen Schiffsende zum anderen und stellt dann allmählich den richtigen Trimm durch Überpumpen von Trimmwasser und entsprechendes Zurückziehen der Leute wieder her.

Das Tauchen selbst, das völlige Verschwinden von der Wasseroberfläche ist ja die eigentliche Waffe des Unterseebootes, und der Techniker mußte sich daher bemühen, hier mit allen ihm verfügbaren Mitteln die höchste Vollkommenheit zu entwickeln. Vollkommenheit heißt aber beim Tauchen: Schnelligkeit. Wie schnell oft ein U-Boot verschwinden muß, mag ein Beispiel zeigen. Die gefährlichsten Feinde des U-Bootes, die Torpedobootzerstörer, laufen etwa 30 Knoten. Bei diesem Wetter kommen sie oft erst auf ganz kurze Entfernung dem U-Boot zu Gesicht, in 1000 oder wenigen 100 m. 1000 m legt aber der Zerstörer schon in einer guten Minute zurück, also eine Minute nach dem Insidtkommen kann er das Boot schon rammen. Das Feuergefecht kann er schon viel schneller eröffnen, und bei dieser geringen Entfernung mit tödlicher Wirkung. Es ist daher begreiflich, daß der Seeoffizier eigentlich von seinem U-Boot verlangt: Im Augenblick des Befehls zum Tauchen soll es schon auf 10 m Wassertiefe sein. Dies ist natürlich praktisch nicht erreichbar, aber immerhin sind die Tauchzeiten im Laufe der Entwicklung des U-Bootes ganz erheblich verkürzt worden. Die ersten U-Boote brauchten eine halbe Stunde zum Tauchen. Das erste deutsche U-Boot U 1 brauchte drei Minuten, die neuesten U-Boote brauchen etwa eine halbe Minute von dem Kommando „Schnelltauchen!“, bis sie auf Sehrohrtiefe, d. h. 9 m Wassertiefe, sind. Größere U-Boote brauchen etwa eine Minute. Nebenbei, als Fahrtiefe bezeichnet man immer den Tiefgang des Kiels unter der Wasseroberfläche. Am schnellsten tauchen die kleinen Boote, weil man sie scharf ankippen kann und mit 7° Neigung in die Tiefe schließen läßt. Auf Tiefe angekommen, können diese kurzen Bootchen mit Gegenruder schnell wieder in die Wagerechte gekippt werden. Mit ihnen hat man schon Tauchzeiten von 15 Sekunden erreicht, und es sieht sehr lustig aus, wenn so ein kleines Boot sich förmlich mit Hechtsprung in die Fluten wühlt, noch einige Augenblicke den Schraubenstrom in die Luft wirbeln läßt und dann spurlos verschwindet. Bei einem großen Boot wäre das zu gefährlich; der lange Bootskörper hat zuviel Führung im Wasser, er würde gleich zu tief hinunterschießen und in Tiefen kommen, in denen ein gefährlicher Druck herrscht. Man läßt daher große Boote nur mit etwa 3—5° Neigung tauchen.

Anfangs versuchte man die Tauchzeit dadurch zu verkürzen, daß man die Luft mit dem schon beschriebenen Gebläse aus den Tauchtanks heraussaugte. Von jedem Tauchtank führte eine Rohrleitung nach einem Hahnenkasten in der Zentrale, aus dem das Gebläse die Luft absaugte und nach außen beförderte. Die Einrichtung hatte den großen Vorzug, daß der leitende Ingenieur genau das Entlüften der Tauchtanks in der Zentrale überwachen und regeln konnte. Kam das Boot beim Tauchen aus dem Trimm, so konnte er durch verschieden schnelles Entlüften der vorderen und hinteren Tauchtanks den Trimm wiederherstellen. Der Nachteil war aber, daß die langen Entlüftungsröhre nach der Zentrale trotz des Gebläses das Abströmen der Luft verzögerten. Als daher die Forderung nach Abkürzung der Tauchzeit immer gebieterischer auftrat, entschloß man sich, die einzelnen Tauchtankgruppen für Vorschiff, Mittelschiff und Hinterschiff getrennt durch kurze dicke Rohrleitungen unmittelbar zu entlüften. Der Nachteil dieser Einrichtung ist freilich, daß der leitende Ingenieur die



Handels-U-Boot nach der Bewaffnung.

Abbildung 56.

Entlüftung der Tauchtanks und ihren Trimm nicht so gut mehr in der Hand hat. Wird z. B. im Hinterschiff die Entlüftung nicht rechtzeitig geöffnet, so kann das Boot sich vollkommen auf den Kopf stellen, die Akkumulatoren-Batterien laufen aus, es gibt Kurzschluß und Feuer im Schiff, und das Boot geht zugrunde. Es sind zwar besondere elektrische Alarm- und Rückmeldesignale zwischen Zentrale und Tauchtankentlüftungen angelegt, aber auch da sind Versager möglich, und jeder Versager wirkt tödlich. Schließlich hat man auch die Antriebe der vorderen und hinteren Entlüftung mit besonderen Übertragungsgestängen in die Zentrale geleitet. Nun hat zwar der Ingenieur alles unter Augen, aber auch an den Gestängen können Störungen auftreten.

Im feindlichen Kriegsgebiet fährt das U-Boot mit geöffneten Tauchklappen, so daß zum Tauchen nur die Entlüftungen der Tauchtanks aufgerissen zu werden brauchen, es schwimmt also gewissermaßen auf der Luftblase in den Tauchtanks. Bei Nebel



Abbildung 57.

Handels-U-Boot nach der Bewaffnung.

flutet man die Tauchtanks an den Enden des Schiffes vor, so daß das Boot nur durch die mittleren Tauchtanks knapp über Wasser gehalten wird und um so schneller zum Wagsack zu bringen ist. Möglichst wenige Öffnungen des Druckkörpers bleiben geöffnet: das Turmluk zum Verkehr zwischen Brücke und Bootsinnere, die Luftmaste für die Lufterneuerung im Boot, der Frischluftmast für die Dieselmachine, der Auspuff der Dieselmachines und die Öffnungen der Kühlleitungen der Dieselmachine. Der Untertreibtank, wenn ein solcher vorhanden ist, ist vorgeflutet, um durch Wassergewicht das Boot schneller nach unten zu bringen.

Auf das Kommando „Schnelltauchen!“ stürzt alles, was an Deck ist, durch das enge Turmluk in das Boot hinein. Dabei geht es recht unsanft zu, denn jede Sekunde kann Tod oder Leben bedeuten. Die Leute rutschen und fallen ins Boot hinein, und wenn sie sich nicht schnell genug zur Seite rollen, stürzen ihnen die Nachdrängenden auf den Kopf. Der Kommandant als Letzter schließt das Luk. Inzwischen müssen schon auf das schrille Alarmsignal hin die dafür abgeteilten Leute die Dieselmachine abgestellt und abgekuppelt und die Elektromotoren eingeschaltet haben, und sämtliche Öffnungen müssen geschlossen sein. Gleichzeitig werden die Entlüftungen der Tauchtanks geöffnet, die Tiefensteuerer nehmen ihre Arbeit auf und legen die Tiefenruder

auf Tauchstellung. Alle diese verschiedenen Handhabungen müssen getrennt voneinander von verschiedenen Leuten ausgeführt werden, es bleibt keine Zeit, zu überwachen, ob auch jeder auf seinem Posten ist und seine Handgriffe richtig ausführt, jeder muß sich blindlings auf den anderen verlassen, und ein einziges Versehen hat meist schon den Untergang des Bootes zur Folge. Nun stürzt das Wasser schnell in die Tauchtanks, in etwa 25 Sekunden sind sie geflutet. Das Boot nimmt durch den Druck der Tiefenruder eine Neigung an, und die Schiffsschrauben treiben es schräg nach unten in die Tiefe. Bei einer Neigung von 5° und neun Knoten Fahrt kommt das Boot in jeder Sekunde um 0,4 m tiefer, ist also schon in 10 Sekunden von seinem gewöhnlichen Tiefgang von 4 m auf die Schrohrtiefe von 9 m gekommen. Nimmt ein großes Boot infolge überstürzten Tiefenruderlegens eine Neigung von 10° an, so kommt es in jeder Sekunde um 0,8 m tiefer, ist also schon in 45 Sekunden auf 50 m angekommen, und der Bug des langen Bootes liegt noch etwa 6 m tiefer, also schon im Bereich des gefährlichen Druckes. In einem solchen Falle würde man einen Teil der Mannschaft nach hinten jagen, um das Boot schneller wieder in die Wagerechte zu bringen. Aus dieser Überlegung erhellt auch, welche Gefahren mit einer wesentlichen Steigerung der Unterwassergeschwindigkeit verbunden sein würden; bei Störungen der Trimmelage würde das Boot sehr schnell in gefährliche Wassertiefen hinabschießen. —

Bei dem Kommando „Tauchen!“ gibt der Kommandant auch gleich die Tiefe an, bis auf die getaucht werden soll. Will er zum Angriff übergehen, so geht er auf Schrohrtiefe, etwa 9 m. Befürchtet er Gegenwirkung mit Wasserbomben, so geht er bis zu 50 oder bei neueren Booten 60 m herunter. Die Tiefensteuerer beobachten nun sorgfältig an der Wasserrage die Kipplage des Bootes und stützen das Boot mit den Tiefenrudern, wenn die Neigung zu groß zu werden droht. Am Tiefenzeiger, einem einfachen Manometer, beobachten sie das langsame Sinken des Bootes und bringen es mit den Tiefenrudern wieder in die Wagerechte, sobald es sich der befohlenen Wassertiefe nähert. Nun wird das Boot auf kurze Zeit ein wenig mit dem Bug nach oben gekippt, damit auch die Luft aus den hinteren Ecken der Tauchtanks durch die Entlüftungsrohre abströmen kann, worauf die Entlüfterköpfe geschlossen werden. Dies ist notwendig, damit das Boot bei einem Unfall durch Einströmenlassen von Preßluft in die Tauchtanks sofort zum Auftauchen gebracht werden kann. Die Tauchklappen bleiben natürlich während der ganzen Unterwasserfahrt offen.

**FAHREN UNTER WASSER.** Beim Fahren unter Wasser hat das Boot, wie schon gesagt, einen Restauftrieb, der stets bestrebt ist, es mit einer geringen Kraft wieder an die Oberfläche zu ziehen. Dies vereinfacht das Tiefensteuern, denn es macht einen leichten, ständigen Ruderdruck an den Tiefenrudern notwendig, der den Auftrieb ausgleicht. So wird das Boot gewissermaßen zwischen Auftrieb und Tiefenruderdruck geführt. Ein völlig ausgewogenes Boot würde bald ein wenig Neigung haben nach oben, bald nach unten auszuschlagen, und würde sich unruhig steuern. Immerhin kommt es aber auch vor, daß die Boote je nach ihrer Eigentümlichkeit auch ohne Auftrieb oder sogar mit etwas Untertrieb gesteuert werden. Am saubersten muß die Tiefensteuerung gehandhabt werden, wenn das Boot zum Angriff auf Schrohrtiefe steuert. Der Schrohrkopf darf nicht unterschneiden, damit das Boot nicht blind wird, andererseits darf das Schrohr aber auch nicht zu weit hinausragen, weil es dann gesehen werden kann. Die Sorgfalt und Geschicklichkeit der Matrosen an den Tiefenrudern ist daher von ausschlaggebender Bedeutung beim Angriff. Häufig genug muß der Schuß ausfallen, weil das Schrohr im entscheidenden Moment unterschneidet.

Die Tiefensteuerung wird stark durch die Fahrtgeschwindigkeit des Bootes und durch die Ruderlage beeinflusst. Der Schub der Schiffsschraube wirkt als trimmende Kraft von wechselnder Stärke und ebenso der Schraubenwasserdruck auf das Ruderblatt. Aus diesem Grunde sind vor den Augen der Tiefensteuerer elektrische Zeiger angebracht, an denen sie stets die Maschinenumdrehungen und die Ruderlage ablesen können. Sehr störend wirkt auf das Tiefensteuern stärkerer Seegang. Auch schon aus dem Grunde ist der Seegang unangenehm, weil das Sehrohr bald überflutet, bald weit heraus sichtbar wird. Bei starkem Sturm ist es überhaupt nicht möglich, mit dem U-Boot einen Angriff zu fahren, ganz abgesehen davon, daß auch der Torpedo ebenso wie das große Mutter-U-Boot vom Seegang in seiner Tiefensteuerung gestört wird, bald zu tief geht und das feindliche Ziel unterschießt, bald aus dem Wasser springt, wobei die Maschine durchbrennt und zu Bruch geht. Am besten finden sich U-Boot und Torpedo noch mit dem Seegang ab, wenn er quer von der Seite kommt.

In größeren Tiefen wird der Einfluß des Seegangs innerer geringer. Bei stürmischem Wetter, wenn er an der Oberfläche doch nichts ausrichten kann, geht deshalb der Kommandant mit seinem Boot auf große Tiefe und bummelt dort mit langsamer Fahrt herum. Dort unten ist es friedlich und behaglich, das Boot schaukelt nur noch ganz leise, und die Mannschaft benützt die günstige Gelegenheit, um sich für neue, aufregungsvolle Kampfstage auszuruhen.

Auch bei der Tauchfahrt muß der leitende Ingenieur den Gewichtszustand des Bootes noch dauernd im Auge behalten. Der Trimm kann sich durch Bewegungen der Mannschaft im Boot verändern, oder das Boot muß neu ausgewogen werden, weil sich das spezifische Gewicht des umgebenden Wassers ändert. Das ist besonders in der Nähe der Küste und vor Flußmündungen häufig der Fall, wo Strömungen leichten süßen und schweren salzhaltigen Wassers durcheinanderlaufen. Auch in senkrechter Richtung schichten sich die Ströme, z. B. hat das Marmarameer bis zu 22 m Tiefe leichtes westlich fließendes Wasser, darunter schweres, ins Schwarze Meer strömendes, salzhaltigeres Wasser. Auf dem schweren Wasser können die U-Boote wie auf einer Tischplatte fahren, ohne sich viel um Gewichtszustand und Tiefensteuerung zu kümmern, und wollen sie tiefer, so müssen sie erst mehrere Tonnen Wasser in die Regler zufluten.

Das ANGRUNDLEGEN ist ein beliebtes Auskunftsmitel, wenn es gilt, sich dem Feinde zu entziehen, eine Weile abzuwarten und die Mannschaft auszuruhen. In der Kindheit des U-Bootes glaubte man vielfach, dem U-Boot zum Angrundlegen und um auf dem Grunde zu fahren, Räder geben zu müssen, doch lernte man bald, daß sie überflüssig sind, weil ja das Boot gewichtslos schwimmend auf dem Grunde entlang gleiten kann. Durch Fluten der Reglertanks kann man die Kraft, mit der es am Boden haftet, beliebig vergrößern. Herrscht Ebbe oder Flutstrom, wie in allen Gewässern der Nordsee und an der Küste des Ozeans, so kann man außerdem noch ankern, um das Boot am Grunde möglichst festzulegen, es mit dem Bug gegen den Strom zu drehen und dessen Treibwirkung zu verringern. Bei Seegang dürfen die Regler jedoch nur wenig fluten, denn das vermehrte Gewicht würde eine nach oben gerichtete Gegenkraft am Kiel hervorrufen, durch welche die Stabilität verringert wird. Das Boot würde dann heftig um den Auflagepunkt hin und her geworfen werden. Bei Verfolgungen ist das Angrundlegen, wie bereits erwähnt, eine beliebte List, weil man dann sämtliche Maschinen stillsetzen kann und dem Feinde die Hordverfolgung unmöglich macht.

Um ruhiger an Grund zu liegen, erhalten Zweihüllenboote vielfach zwei kurze

seitliche Kiele, die unter den kräftig gebauten, druckfesten Reglertanks neben der Zentrale angebracht sind. Diese Kiele erleichtern auch das Docken des Bootes.

Beim AUFTAUCHEN aus größerer Tiefe ist es im Bereich feindlicher Gegenwirkung nötig, das Boot auf Sehrohrtiefe einzusteuern, damit ein Umblick genommen werden kann. Während das Boot in größerer Tiefe vor Zusammenstoßen vollkommen sicher ist, ist die Übergangszeit besonders unangenehm, weil das Sehrohr zwar noch nicht über den Wasserspiegel emporragt, aber doch schon im Bereich des Tiefgangs feindlicher Bewacher ist und die Gefahr eines Zusammenstoßes vorliegt. Man nennt diese Übergangszeit den blinden Augenblick. Hat der Kommandant sich überzeugt daß die Luft rein ist, so läßt er das Boot schnell auftauchen.

Das Auftauchen wird bei Ein- und Zweihüllenbooten auf verschiedene Weise bewirkt. Erstere blasen nur einen besonderen kleinen Hilfsauchtank von wenigen Kubikmetern Inhalt aus, da sie ihre Hauptauchtanks wegen ihrer geringeren konstruktiven Festigkeit nur im Notfall unter Preßluftdruck setzen wollen. Der geringe Auftrieb des kleinen Tanks genügt, um sie in wenigen Sekunden an die Wasseroberfläche zu bringen, worauf dann die leistungsfähige Lenzpumpe die Tauchtanks in einigen Minuten lenzt und das Boot vollends heraushebt. In größerer Wassertiefe würde die Leistung der Pumpe der Menge nach zu gering sein.

Jedes Boot kann auch dynamisch mit den Tiefenrudern an die Oberfläche gebracht werden, und da der Ruderdruck bei hoher Fahrt mehrere Tonnen beträgt, kann man auf diese Weise das Boot mit dem Turm aus dem Wasser emporheben.

Bei den Zweihüllenbooten werden auch nicht alle Tanks mit der wertvollen Preßluft ausgeblasen, sondern man gibt nur wenige Kubikmeter Preßluft in die mittleren Tauchtanks. Das genügt, um das Boot wie einen Korken an die Oberfläche zu treiben. Sobald der Turm über Wasser ist, wird der Luftmast geöffnet, und durch ihn saugt das Gebläse Luft an, die es mit geringem Überdruck in die Tauchtanks drückt, so daß das Wasser durch die Flutklappen ausgetrieben wird. Das dauert je nach der Größe des Bootes 1 bis 4 Minuten. Sobald das Boot aufgetaucht ist, stürzt der Kommandant durch das Turmluk an Deck auf die Brücke, um die Lage zu übersehen. Gilt es einen Geschützkampf mit einem entweichenden Gegner aufzunehmen, so stürzt die Mannschaft an die Geschütze, damit das Boot nur so kurze Zeit wie möglich wehrlos an der Oberfläche liegt. Also beim Auftauchen muß, ebenso wie beim Tauchen, meist mit der größten Hast gearbeitet werden.

Bei der ÜBERWASSERFAHRT benimmt sich das U-Boot nicht viel anders als die gewöhnlichen Seeschiffe. Von ihnen unterscheidet es sich hauptsächlich durch das niedrige Überwasserschiff mit abgerundeten Kanten und durch das Fehlen eines Schanzkleides; die Wellen strömen daher leichter über das Boot dahin. Die Gewalt der Wellen ist dabei sehr groß, besonders wenn das Boot gegen die See anfährt, sie machen den Aufenthalt der Mannschaft an Deck unmöglich und richten häufig erhebliche Zerstörungen an den Überwasserteilen des U-Bootes an.

Nur auf dem Turm kann ein kleiner Teil der Mannschaft auch bei schwerem Wetter noch Schutz finden, wenn auch bis auf die Haut durchnäßt. Es ist auch schon vorgekommen, daß Leute vom Turm heruntergespült wurden. Die Brecher, die über den Turm hinbrausen, zwingen dann oft dazu, die Frischluftzuführungen zu schließen, so daß der Mannschaft und vor allem der Dieselmachine nur durch vorübergehendes Öffnen des Turmluks die nötige Frischluft zugeführt werden kann. Das sind dann Verhältnisse, in denen das U-Boot an der Grenze seiner Seefähigkeit angelangt ist.



## 7. DER U-BOOT-KRIEG

In keinem anderen Zweige der Kriegführung wird mit einem solchen Aufwand von Listen und Kniffen und mit einem solchen Reichtum von technischen Hilfsmitteln und sich gegenseitig immer wieder übertrumpfenden Gegenmitteln gekämpft wie im U-Boot-Krieg. Auch auf keinem anderen Gebiete wurde der Kampf mit einer solchen Rücksichtslosigkeit geführt. In allen anderen Zweigen des Kampfes hatten sich immerhin gewisse Gebräuche der Ritterlichkeit im Laufe der Jahrhunderte herausgebildet und waren teilweise durch das Völkerrecht in feste Form gebracht. Die U-Boot-Waffe war etwas völlig Neues, und der U-Boot-Handelskrieg als Antwort auf die Hungerblockade Englands gegen die deutsche Zivilbevölkerung fand ebensowenig wie diese eine rechtliche Grundlage im Völkerrecht. Durch ihre „Sperrgebietserklärung“ suchte die deutsche Regierung eine der Eigenart der neuen Waffe angepaßte neue Rechtsgrundlage zu schaffen. Gaben doch sogar die Amerikaner in ihrer Note vom 5. März 1915 an die englische Regierung und vom 23. Juli 1915 an die deutsche Regierung zu, daß die neuzeitigen Kriegsmittel auch neue Gesichtspunkte schaffen. England erkannte diesen Standpunkt aber nicht an und behandelte die U-Boote, wenn sie im Handelskrieg als solche, d. h. unter Wasser, arbeiteten, als außerhalb des Völkerrechts stehend. Die verhängnisvollen Folgen dieser Ablehnung für das Niveau der U-Boot-Abwehr im einzelnen zu beleuchten, ist nicht Aufgabe dieser Schrift, wir werden sie nur streifen, soweit die dabei angewandten technischen Mittel in Frage kommen.

Die eigentliche Waffe des U-Bootes ist der Torpedo, und seine Anwendung ist

gegen Kriegs- und Handelsschiff die gleiche. Das U-Boot fährt im Kriegsgebiet in der Regel über Wasser, und von seinem Turm spähen Kommandant und Offiziere eifrig nach feindlichen Schiffen aus. Bei klarem Wetter werden Dampfer schon auf sehr große Entfernung von bis zu 30 Seemeilen nach ihren Rauchwolken erkannt, Segelschiffe auf über 10 Seemeilen an den Segeln, die überm Horizonte sichtbar werden. Auch bei weniger sichtbarem Wetter bemerkt das U-Boot die großen gegnerischen Schiffe meist schon weit eher, als es von diesen erspürt werden kann. Den großen Vorteil, daß es den Gegner zuerst sieht, gilt es nun auszunutzen. Zunächst muß man den Kurs des Gegners feststellen. Allgemeine Anhaltspunkte dafür geben die üblichen Kurse, die von Schiffen in der fraglichen Gegend gefahren werden, z. B. haben die Schiffe in der Gegend westlich von Irland und England in der Regel westliche oder

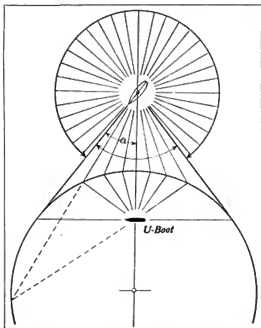


Abbildung 58.

Gefahrwinkel  $a$  für Torpedierung.

östliche Kurse, da sie von und nach den Vereinigten Staaten fahren. Einen genaueren Anhalt geben schon die Masten in ihrer gegenseitigen Stellung zueinander: sind sie nahe beieinander, so fährt der Gegner auf das U-Boot zu oder von ihm weg. Bei Seglern ermöglicht die Windrichtung und die Stellung der Segel eine genauere Kurs-schätzung.

Sobald der Kommandant den Kurs ungefähr erkannt und die Geschwindigkeit nach der Größe und Art des gegnerischen Schiffes eingeschätzt hat, überlegt er, ob der Feind sich in seinem Gefährwinkel befindet und ob es ihm möglich sein wird, auf Schußentfernung heranzukommen. Verbindet man nämlich U-Boot und Gegner mit einer Linie (Abbildung 58), so bildet der Kurs des Gegners mit dieser Linie einen bestimmten Winkel. Je spitzer dieser Winkel ist, um so größer ist die Gefahr für den Gegner, in den Schußbereich des U-Bootes zu kommen. Die Abbildung ist für eine Geschwindigkeit des U-Bootes (schwarz) von 8,5 Knoten, was annähernd der höchsten Unterwassergeschwindigkeit entspricht, und 14 Knoten für den Feind (weiß) angenommen. Die Treffpunkte für verschiedene Kurswinkel des Feindes liegen auf einem Kreise, und die Skizze zeigt, daß der Feind nicht mehr vom U-Boot erreicht werden kann, wenn sein Kurswinkel größer als (in diesem Falle)  $37^\circ$  wird. Selbst wenn man für den Feind die außerordentlich geringe Frachtdampfergeschwindigkeit von 9 Knoten annimmt, ist der Gefährwinkel nur  $70^\circ$ . Der Frachtdampfer muß also mit der Gefahr rechnen, innerhalb  $2 \times 70^\circ = 140^\circ$  von einem U-Boot angegriffen zu werden, die Angriffswahrscheinlichkeit ist also nur 0,4. Aus der Skizze erhellt recht deutlich, wie sehr das U-Boot beim Angriff durch seine geringe Unterwassergeschwindigkeit gehemmt ist, und welche große Bedeutung die Geschwindigkeit für den Feind als Sicherung gegen U-Boots-Angriffe hat. Besonders die schnellfahrenden Kriegsschiffe können sich vor U-Boots-Angriffen ziemlich sicher fühlen.

Hat der Kommandant des U-Bootes festgestellt, daß der Kurs innerhalb des Gefährwinkels liegt und die Möglichkeit eines Angriffs vorliegt, so steuert er mit seinem U-Boot nach dem in der Skizze dargestellten Grundgedanken einen Treffpunkt an. Solange es die Sichtverhältnisse zulassen, bleibt er dabei noch aufgetaucht, um die größere Geschwindigkeit über Wasser auszunutzen, dann geht er zur Tauchfahrt über. Hat er sich dem Gegner bis auf etwa zwei Seemeilen genähert, so muß er auch sparsam im Gebrauch des Sehrohrs sein, damit er nicht zu früh bemerkt wird. Nur auf kurze Zeit darf er es, besonders bei glattem Wasser, zeigen und einen kurzen Umblick nehmen.

Es gilt nun, das U-Boot so an den Gegner heranzumanövrieren, daß es auf richtige Schußentfernung kommt. Ist die Entfernung zu klein, so kann der Feind das Sehrohr sichten, abdrehen und dem U-Boot die schmale Seite zeigen, so daß es fast unmöglich ist, einen Torpedotreffer anzubringen; auch wächst bei zu kleiner Entfernung die Gefahr des Zusammenstoßes oder der Beschädigung des U-Bootes durch die Explosion am Ziel. Zwar wirkt die Explosion des Torpedos selbst kaum schädlich auf das U-Boot, z. B. rammte ein deutsches U-Boot im Mittelmeer einen Handelsdampfer wenige Sekunden nach dem Torpedoschuß, ohne daß die Erschütterung des Treffers im U-Boot Schaden angerichtet hätte. Aber ein anderes Boot wurde im Eismeer durch die gewaltige Detonation eines Munitionsdampfers, den es torpediert hatte, vernichtet. Auch verlangt der Torpedo eine gewisse Mindestschußentfernung, weil er sich erst der Höhe nach einsteuern muß. Beim Abfeuern liegt das Ausstoßrohr etwa 7 m unter Wasser, und der Torpedo ist für eine Lauftiefe von 2 bis 5 m, je nachdem ob man ein flach- oder tiefgehendes Schiff vor sich hat, eingestellt. Durch

seine manometrische Steuerung wird er zunächst scharf nach oben gesteuert, kommt dabei naturgemäß zu hoch, bei flacher Einstellung springt er sogar stellenweise aus dem Wasser, steuert dann wieder nach unten, wobei er wieder etwas zu tief kommt, und steuert sich so in flacher werdenden Wellen allmählich ein. Ist die Schußentfernung nun zu klein, so kann der Torpedo vor dem Einsteuern am Ziel sein und dieses mit einer tiefen Welle unterschließen. Ist die Entfernung zu groß, so wird der Winkel, in dem das Ziel erscheint, zu klein, und man schießt leicht seitlich vorbei. Auch ist eine lange Laufstrecke des Torpedos ungünstig, weil die aus ihm entweichende verbrauchte Preßluft eine deutlich sichtbare weiße Bahn an der Wasseroberfläche abzeichnet. Bei großer Schußweite kann der Gegner die Bahn leicht bemerken und dem Torpedo ausweichen. Die beste Schußentfernung liegt zwischen 150 und 800 m.

Hat der Kommandant das Boot auf richtige Entfernung heranmanövriert, so beginnt die eigentliche Schwierigkeit des Zielens. Wie schon gesagt, muß er mit dem ganzen Boot zielen, er muß aber auch um einen bestimmten Winkel vorhalten, welcher dem Geschwindigkeitsverhältnis seines Torpedos zum Gegner entspricht. Vorbedingung für das Treffen ist also die richtige Einschätzung der gegnerischen Geschwindigkeit. Anhaltspunkte dafür sind die Geschwindigkeit, mit der der Gegner das Gesichtsfeld des Sehrohrs durchwandert, die Höhe seiner Bugwelle, die Größe und der Typ des Gegners, wonach man bei Handelsschiffen ziemlich sicher auch auf eine bestimmte Geschwindigkeit schließen kann. Die Schätzung der Größe ist freilich wieder davon abhängig, ob man die Entfernung richtig eingeschätzt hat. An manchem kleinen Dampfer ist vorbeigeschossen worden, weil er in der Dämmerung oder im Nebel für einen großen, weit entfernten Dampfer gehalten wurde, oder umgekehrt. Hat der Kommandant Größe, Kurs und Geschwindigkeit des Gegners eingeschätzt, wofür ihm meist nur wenige Sekunden zur Verfügung stehen, so bestimmt er den Vorhaltewinkel nach einer Tabelle. Als Visier dient ein feiner Faden, der im Gesichtsfeld des Sehrohrs senkrecht angebracht ist. Das Sehrohr wird nun um den Vorhaltewinkel nach einer an der oberen Führungsbüchse angebrachten Gradeinteilung verdreht, und der Kommandant steuert sein U-Boot so, daß der Gegner durch das Gesichtsfeld des Sehrohrs läuft. Sobald der Faden die Mitte des Schiffes schneidet, feuert er den Torpedo ab, indem er auf den Druckknopf der elektrischen Abfeueleinrichtung drückt.

Vorher schon mußte der Torpedo schußfertig gemacht sein. Für jedes Ausstoßrohr ist im Turm des U-Bootes ein Telegraph angebracht, mit dem der Kommandant, sobald er die Möglichkeit erkennt, zum Schuß zu kommen, die Kommandos zum Bewässern des Ausstoßrohrs, zum Öffnen der Mündungsklappe, gegebenenfalls auch zum Einstellen des Winkelschusses gibt. Auch das Kommando zum Abfeuern kann mit diesem Telegraph gegeben werden, falls die elektrische Abfeuerung versagen sollte.

Nach dem Schuß liegt die Gefahr vor, daß der Bug des Bootes durch die im Torpedorohr vorhandene Ausstoßluft nach oben gedrückt wird, so daß das Boot sichtbar wird. Das Boot muß deshalb sofort nach dem Schuß mit den Tiefenrudern gestützt werden, häufig müssen auch noch Mannschaften nach vorn rennen, um die Trimmlage wiederherzustellen. Nun ist die nächste Sorge des Kommandanten, einen Zusammenstoß mit dem Ziele zu vermeiden. Wenn irgend möglich, weicht er hinter ihm aus, und wenn kein Raum mehr dazu vorhanden ist, taucht er unter ihm hindurch. Dabei ist es nicht selten vorgekommen, daß das U-Boot seine Sehrohre an einem schnell sinkenden Ziele beschädigt hat.

Ist das U-Boot zu früh an den Gegner herangeraten, so daß es nicht mehr genügend Raum hat, um einen Schuß anzubringen, so zieht es vor dem Bug des

Gegners vorüber und versucht ihn mit einem Schuß aus den Heckrohren abzutun. Wie schon gesagt, läßt sich der einfache Unterwasserangriff in sehr vielen Fällen deshalb nicht durchführen, weil der Kurs des Gegners außerhalb des Gefahrwinkels liegt. Das U-Boot braucht aber deshalb seine Angriffsabsichten nicht ohne weiteres aufzugeben, falls nur seine Überwassergeschwindigkeit größer ist als die Fahrt des Gegners. Frachtdampfer laufen in der Regel 9 bis höchstens 12 Knoten; es ist dem U-Boot also möglich, sie mit seinen 15 Knoten über Wasser zu überholen. Es läuft dabei in solcher Entfernung parallel zum Feind, daß es dessen Mastspitzen oder Schornsteinqualm noch gerade über dem Horizont beobachten kann, selbst aber nicht gesehen wird. Hat es den Gegner so weit überholt, daß er nunmehr innerhalb des Gefahrwinkels steht, so geht es in der vorher beschriebenen Weise zum Unterwasserangriff über. Man nennt dies Verfahren das Vorsetzmannöver.

Besonders beim Nachtangriff spielt das Vorsetzmannöver eine große Rolle; nachts bekommt man den Gegner meist erst so spät in Sicht, daß kein Angriff mehr angesetzt werden kann. Dafür ist aber das Vorsetzmannöver um so mehr erleichtert, denn das niedrige, wenig sichtbare U-Boot kann den hochragenden Handelsdampfer oft schon in wenigen hundert Metern Abstand überholen. Dabei sucht es sich die Seite aus, die ihm die günstigeren Lichtverhältnisse gibt, z. B. wenn es den Gegner gegen einen hellen Abendschimmer am Himmel sichten kann, selbst aber vor dem dunklen Hintergrund der Nachtseite unsichtbar bleibt. Es ist vorgekommen, daß ein U-Boot zweifeln Geleitzug in einer Nacht zwei-, dreimal überholt und sich jedesmal einen oder gar zwei Gegner herausgeplückt hat.

Einzelfahrende Handelsdampfer und schwachbestückte Bewachungsfahrzeuge wurden vom U-Boot nach Möglichkeit mit dem Geschütz angegriffen, hauptsächlich um die wenigen und teuren Torpedos zu sparen. Beim Geschützkampf muß sich das U-Boot zunächst in achtungsvoller Entfernung vom Gegner halten. Da es schon durch einen einzigen Treffer tauchunfähig gemacht werden kann, darf es nicht näher als etwa 5000 m an den Feind herangehen. Hier kommt wieder die Geschwindigkeit des U-Bootes ausschlaggebend in Betracht; ist nämlich der Gegner schneller, so kann er sich in verhältnismäßig kurzer Zeit aus dem wirksamen Feuerbereich des U-Bootes, dessen Grenze bei etwa 7000 m liegt, entfernen. Bei 4 Knoten Geschwindigkeitsüberschuß werden die 2000 m — von 5000 bis 7000 m — in 15 Minuten durchmessen, eine Zeit, die bei diesen Entfernungen und dem unsicheren Schießen vom U-Boot aus meist nicht zum Niederkämpfen des Gegners genügt. Dabei fällt für das U-Boot noch nachteilig ins Gewicht, daß es seine volle Geschwindigkeit oft nicht ausnützen kann, weil dabei das Deck zu sehr von Brechern überspült wird und die Bedienungsmannschaft sich nicht mehr am Geschütz halten kann. In diesem Zusammenhang sei nochmals auf die ungünstigen Erfahrungen mit den umgebauten langsamen Handels-U-Booten im Geschützkampf hingewiesen.

Ist der Gegner niedergekämpft, und hat er das Feuer eingestellt, so geht das U-Boot nahe an ihn heran, um ihn nach dem Vonbordgehen der Besatzung zu versenken. Das geschieht entweder durch Geschützfeuer oder schneller und wirksamer durch Sprengbomben. Einige Leute vom U-Boot rudern in dem kleinen Beiboot des U-Bootes zum Gegner oder lassen sich von dessen Rettungsbooten hinübersetzen und hängen die Sprengbomben an Tauen unter Wasser an die Bordwand des Gegners, wo sie durch eine langsam brennende Zündschnur zur Explosion gebracht werden.

Gegen die Torpedoangriffe des U-Bootes wurden vom Gegner bald eine ganze Reihe von Gegenmitteln entwickelt. Künstliche Bugwellen malte man auf die Schiffe,

um dem U-Boots-Kommandanten das Schätzen der Geschwindigkeit zu erschweren, es zeigte sich aber bald, daß die künstliche Bugwelle niemals mit einer natürlichen verwechselt werden kann. Das einfachste und wirksamste Gegenmittel ist der Zickzackkurs, das Schiff weicht bald rechts, bald links von seinem Kurs ab, und das auch noch auf verschiedene lange Zeit, um dem U-Boot jede Möglichkeit der Vorausberechnung zu nehmen. Das U-Boot wiederum sucht durch längere Beobachtung der verschiedenen Zickzacke den sogenannten Generalkurs des Feindes zu ermitteln und ihn dann durch ein Vorseßmanöver in seinen Gefährwinkel hineinzubringen. Trotzdem mußte aber noch mancher Schuß nach langwierigem und mühseligem Heranmanövrieren ausfallen, weil der Gegner im letzten Augenblick einen unvorhergesehenen Haken schlug. Fährt ein Schiff tagelang im U-Boot-verseuchten Gebiet, z. B. im Mittelmeer, so würde das dauernde Austüfeln von neuen Hakenschlägen die Navigation zu sehr erschweren und die Ortsbestimmung unsicher machen. Hier wurde meist eine regelmäßige Figur von gleichartigen Hakenschlägen gefahren, die nach einer bestimmten Zeit immer wieder auf den Generalkurs zurückführten. Die U-Boote suchten diese Figur zu ermitteln und richteten ihre Angriffe danach ein.

Als recht wirksames Gegenmittel erwies sich bei Handelsdampfern das Bemalen in bunten und überraschenden Farben. Die Erscheinung des Dampfers wurde dadurch so sehr entstellt, daß es den Kommandanten unmöglich war, die Größe und Entfernung richtig einzuschätzen, besonders wenn dieses Wetter herrschte. Immerhin blieb ihnen noch ein recht sicherer Anhalt für den Kurs des Gegners in der Maststellung und in der Erscheinung der Deckaufbauten. Der letzte Kniff der Gegner war daher, die Masten überdeckt ins Schiff zu setzen, z. B. den vorderen nahe an die Steuerbordseite, den achteren nach Backbord, und den Aufbauten und Kommando- brücken eine entsprechende schiefwinklige Form zu geben.

Ein weiteres wirksames Schutzmittel ist das Geleitzsystem. Im Geleitzug fahren mehrere Handelsdampfer zusammen, die durch schnelle Bewacher, Torpedoboote, Zerstörer und Motorboote gesichert werden. In der Regel fahren die Dampfer in breiter Dwarlinie, weil es dem U-Boot bei der Kiellinie zu leicht gemacht wird, sich den nächsten aufs Korn zu nehmen, wenn es beim ersten Schiff nicht zum Schuß gekommen ist. Die Dwarlinie ist an beiden Flügeln durch Bewacher geschützt, damit das Boot nicht die Flügelschiffe angreifen kann. Außerdem fahren auch noch Bewacher vor der Linie oder um sie herum, und alle Bewacher fahren die wildesten Zickzackurse. Auch der Geleitzug im ganzen fährt wieder Zickzackurse. Dem angreifenden U-Boot bleibt nichts anderes übrig, als sich unter Wasser unmittelbar vor die Dwarlinie zu setzen und einen der Dampfer zu torpedieren. Dabei ist es stets der großen Gefahr ausgesetzt, von einem anderen Dampfer gerammt zu werden, hat allerdings auch die Möglichkeit, auf die Dampfer, die gestaffelt vor ihm erscheinen (Abbildung 59), mehr als einen Torpedo anzubringen, oder wenn es an einem vorbeigeschossen hat, einen anderen zu treffen.

Mit Rücksicht auf die Bewacher muß das U-Boot den Anmarsch auf die Angriffsstellung vor dem Geleitzug unter möglichst sparsamer Benutzung des Schrohrs vornehmen. Sobald das Schrohr sichtbar wird, versuchen die Bewachungsfahrzeuge es zu rammen, und auch die Frachtdampfer des Geleitzuges steuern unmittelbar auf das U-Boot zu. Außerdem werfen die Bewacher dort, wo sie das U-Boot vermuten, möglichst zahlreiche Wasserbomben ab. Das sind Sprengkörper mit einem kleinen Propeller, der bei dem Niedersinken vom vorbeiströmenden Wasser gedreht wird und in bestimmter Wassertiefe die Ladung zur Entzündung bringt. In der Regel werfen

sie gleichzeitig Wasserbomben, die auf verschiedene Wassertiefen eingestellt sind, um das U-Boot auf jeden Fall zu treffen. Die Aussicht hierzu ist zwar nicht sehr groß — wenn man die Trefferprozentzahl der Wasserbomben ausrechnen könnte, würde sie wohl sehr gering ausfallen —, aber die Wirkung ist auch dann schon unangenehm, wenn die Wasserbomben in einer Entfernung unter 10 m vom U-Boot krepieren. Durch die heftige Erschütterung gehen Lampen aus, Schalter der elektrischen Maschinen fallen heraus, Meßinstrumente werden dejustiert und erschweren die Handhabung des U-Bootes. Noch durchgreifender ist die moralische Wirkung der Wasserbomben, denn infolge der hohen Leitfähigkeit des Wassers für Schall und Erschütterung schätzt die Besatzung die Wasserbomben stets näher am U-Boot, als sie in Wirklichkeit liegen, und das U-Boot wagt oft nicht, das Schrohr zu zeigen und einen Angriff einzuleiten. In einem Falle war der Kommandant, der sich mit gutliegenden Wasserbomben eingedeckt glaubte, gezwungen, einen Umblick zu nehmen, und konnte feststellen, daß der ihn suchende Bewacher über 1000 m ab war. Eine gefährliche Wirkung der in der Nähe des Bootes krepierenden Wasserbomben ist die Lockerung der Verbände der dünnen äußeren Hülle des U-Bootes. Dadurch werden die Brennstoffbunker undicht, das Treiböl steigt an die Oberfläche und zeichnet eine deutlich sichtbare Spur des U-Bootes ab, indem es die Oberfläche des Meeres glättet. Bei richtiger Einschätzung der für das Aufsteigen der Ölbläschen erforderlichen Zeit können die Bewacher den Ort des U-Bootes feststellen und es endgültig mit Wasserbomben zerstören. Das U-Boot freilich versucht durch Hakenslagen und Gegenkurse den Gegner abzuschütteln, doch ist dies oft nur sehr schwer oder erst bei Einbruch der rettenden Dunkelheit gelungen. Auf jeden Fall sind die Wasserbomben neben den Minen bei massenhafter Verwendung die wirksamsten Abwehrmittel gegen U-Boote.

In der Nähe der Handelshäfen, in denen die Frachtstraßen des großen Ozeans zusammenlaufen, vervielfachen sich die Abwehrmittel, und Flieger, Luftschiffe sowie Motorschnellboote, die sich auf dem offenen Ozean nicht halten können, erschweren hier dem U-Boot seine Tätigkeit. Gegen Flieger und Luftschiffe können sich die U-Boote zwar mit ihren auch für Steilschuß eingerichteten Geschützen verteidigen, doch sind ihre Trefferaussichten, besonders gegen die schnellen Flieger, recht gering, während ihnen eine Fliegerbombe leicht tödliche Verletzungen beibringen kann. Auch gegen die kleinen Motorschnellboote ist das U-Boot ziemlich machtlos, sie sind so

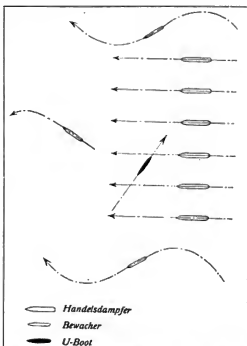


Abbildung 59. U-Boot-Angriff auf einen Geleitzug.

schnell heran, daß das U-Boot keine Zeit hat, sich auf diese winzigen mit 30 Knoten Fahrt heransausenden Ziele einzuschießen, während sie hingegen das U-Boot mit ihrem leichten Geschütz oder mit einem kleinen Torpedo aus geringer Entfernung erledigen können.

Die U-Boote ziehen es daher in der Regel vor, beim Angriff dieser Gegner wegzutauchen, und das gerade ist im wesentlichen deren Absicht. Sie verhindern das U-Boot auf diese Weise, seine Geschütze gegen einzelfahrende Frachtdampfer zu gebrauchen, und zwingen es, seine Batterie durch dauerndes Unterwasserfahren zu erschöpfen. Auch der Gefahrwinkel wird für alle Handelsschiffe bedeutend kleiner, sobald das U-Boot sich ihnen nur unter Wasser nähern kann. Von Fliegern und Luftschiffen wird behauptet, daß sie von ihrem hohen Augenpunkt aus auch die unter Wasser fahrenden U-Boote gut erkennen können, besonders in dem klaren Wasser des Mittelmeeres, während diese Gefahr für das U-Boot an den Küsten Englands nicht so sehr groß sein dürfte. Ob die praktischen Erfolge der Luftstreitkräfte in dieser Richtung besonders groß waren, ist nicht bekannt geworden; immerhin wird die Befürchtung, von Luftstreitkräften auch unter Wasser entdeckt zu werden, manches U-Boot zu längeren tiefen Tauchfahrten veranlaßt haben. Besonders unangenehm für das U-Boot ist das Auftauchen in einem von Fliegern bewachten Gebiet, weil der Flieger nicht durch das Schrohr entdeckt werden kann, sondern erst wenn der Kommandant aus dem Turmluk heraus ist, und dann kann es vielleicht schon zu spät sein. Ist das U-Boot tagsüber dauernd unter Wasser gedrückt worden, so kann es auch die Nacht nicht zu den erfolgversprechenden Nachtangriffen ausnützen. Es muß von der Küste abstehen, eine ruhigere, von Bewachern freie Gegend aufsuchen, dort seine Batterie über Wasser aufladen und möglichst noch in der Nacht wieder über Wasser nach der Hafeneinfahrt zurückkehren. Die kurzen Sommernächte bieten für dieses alles nicht genug Zeit, so daß die Wirksamkeit des U-Bootes in dieser Jahreszeit an der Küste erheblich eingeschränkt ist.

Trotz dieser Schwierigkeiten und trotz der außerordentlichen Gegenwirkung in der Nähe der Küste mußten die U-Boote doch hier ihre allergrößte Tätigkeit entfalten, denn hier, wo alle Wege zusammenführen, konnten ihnen die Frachtdampfer nicht ausweichen, während auf dem freien Ozean jeder Handelsdampfer und jeder Geleitzug sich einen anderen Weg suchte. War ein U-Boot an einer Stelle des Ozeans überhaupt nur gesichtet, so wurde sofort der ganze Verkehr drahtlos umgeleitet, und das U-Boot mußte einen zeitraubenden Marsch in ein anderes Gebiet antreten, das noch nicht als U-Boot-verdächtig gelten konnte. Das einzige Mittel gegen diese drehtlose Umlegung der Handelswege wäre eine so dichte Besetzung des Sperrgebietes mit U-Booten gewesen, daß überhaupt kein unverseuchter Pfatz zum Umlegen mehr vorhanden gewesen wäre, dazu hätten aber mehrere hundert U-Boote gehört, und die standen Deutschland nicht zur Verfügung.

Ein besonderes und ziemlich trübes Kapitel der U-Boot-Abwehr sind die U-Boot-Fallen, bei deren Anwendung von der Anschauung ausgegangen wird, daß der U-Boot-Krieg gegen die Gesetze des Völkerrechts verstößt und daß der U-Boot-Fahrer deshalb außerhalb des Gesetzes und außerhalb jeder menschlichen Rücksicht steht. Dabei liegt andererseits dem Gedanken der U-Boot-Falle das Vertrauen auf das Menschlichkeitsgefühl der U-Boot-Kommandanten zugrunde. Man rechnet damit, daß sie ein als wehrlos oder hilflos erscheinendes Schiff nicht ohne weiteres versenken, sondern sich ihm über Wasser nähern, um zunächst die Besatzung zu bergen. Ist dann aber das U-Boot nahe genug herangekommen, so klappen plötzlich irgendwelche Ver-

kleidungen zur Seite, sei es ein nachgemachter Deckaufbau oder ein vorgetäushtes Rettungsboot, Geschütze werden sichtbar und eröffnen aus nächster Nähe ein vernichtendes Feuer auf das U-Boot. Oft wird auch vorher zur Täuschung ein Geschützkampf mit dem U-Boot ausgefochten. Die U-Boot-Falle hißt nach kurzer Zeit die weiße Fahne als Zeichen der Ergebung, und erst wenn das U-Boot nahe heran ist, um die Besatzung in die Boote gehen zu lassen und das Schiff zu versenken, fällt plötzlich die Maske. Der Gegenzug ist wiederum, daß die U-Boote sich an den niedergekämpften Gegner, der sich ergeben will, erst unter Wasser heranmachen, ihn sorg-

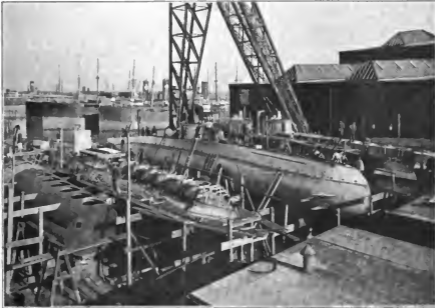


Abbildung 60.

Reihenbau von U-C-1-Minenbooten.

fältig durch das Schrohr in größter Nähe untersuchen und erst auftauchen, wenn er ganz unverdächtig erscheint. Vereinzelt waren jedoch U-Boot-Fallen so geschickt maskiert, daß sie auch diese Besichtigung überstanden und dem beruhigt auftauchenden U-Boot gefährlich wurden. Eine andere List war die Verbindung von Abwehr-U-Booten mit derartigen U-Boot-Fallen. Das verteidigende U-Boot hielt sich unter Wasser und torpedierte das angreifende, wenn es sich dem die weiße Fahne zeigenden Dampfer näherte.

Ein sehr bemerkenswerter Zug der U-Boot-Abwehr ist der ungeheure Aufwand, den sie in jeder Beziehung erfordert. Die Zickzackkurse verlängern die Fahrten der Dampfer und verringern ihre Ausnutzung. Die Geleitzüge zwingen dazu, die Dampfer in den Häfen warten zu lassen, bis der Geleitzug zusammengestellt ist, und sie dann mit einer Geschwindigkeit fahren zu lassen, die der des am langsamsten fahrenden Teilnehmers im Geleitzug entspricht. Die Bewaffnung der Tausende von Handelsdampfern mit Geschützen lenkt die Erzeugung der Geschütz- und Munitionsfabriken von anderen



Kriegsschauplätzen ab und bindet ein Heer von geschulten Geschützbedienungen. Bewacher, Torpedoboote, Motorboote, Fischdampfer, Flieger, Luftschiffe müssen in übergroßer Zahl angewandt werden, weil man nie weiß, wo sich das U-Boot aufhält, und weil man mit seinem Auftreten an jedem Orte rechnen muß. Es sind wohl nie mehr als 40 deutsche U-Boote zu gleicher Zeit im Kriegsgebiet tätig gewesen, und doch geht die Bewacherzahl in die Tausende. Ebenso steht es mit den Minensuchern und Minenräumern. Eine Hafeneinfahrt, in der einmal U-Boot-Minen gefunden worden sind, muß täglich abgefischt werden, obwohl sie vielleicht monatelang nicht wieder von U-Booten heimgesucht wird. Die Aufwendungen für die viele Kilometer langen und bis 50 m tiefen Netze, die schnell durch Rost und Seegang zerstört werden und erneuert werden müssen, sind ganz gewaltige.

So hat die Bedeutung des U-Boot-Krieges nicht allein in der Blockade und in der Vernichtung von Frachten gelegen, sondern auch die Bindung von zahllosen Menschenkräften und ungeheuren technischen Mitteln belastete den Gegner erheblich, und bewirkte eine Entlastung auf anderen Kriegsschauplätzen.

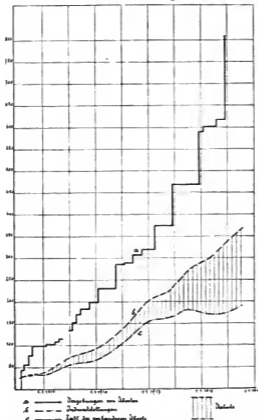


Abbildung 61. Die Entwicklung der deutschen U-Boot-Flotte im Weltkrieg.

Die Gesamtsumme von 1,7 Milliarden Mark spielt im Verhältnis zu den Kriegskosten und in Anbetracht der starken Wirkung des U-Boot-Krieges keine große Rolle.

## 8. DER AUFBAU DER DEUTSCHEN U-BOOT-FLOTTE

Die Schaukurven (Abbildung 61) zeigen die Entwicklung der deutschen U-Boot-Flotte im Kriege. Im August 1914 hatte Deutschland 28 fahrbereite U-Boote. Bemerkenswert ist das stetige Anwachsen der Indienststellungen (Kurve B) und die starke Zunahme der Verluste vom Beginn des uneingeschränkten U-Boot-Krieges an, die sogar Anfang 1918 zeitweilig ein Sinken der Zahl der U-Boote herbeiführte. Am Schluß des Weltkrieges waren etwa 180 fahrbereite U-Boote vorhanden. Die Kurve A der Vergebungen zeigt das Anwachsen der Bestellungen trotz der zunehmenden Schwierigkeiten bei der Bereitstellung der Arbeitskräfte und Beschaffung der Baustoffe.

Auf Kurvenblatt 62 zeigt die untere Kurve das Anwachsen der für U-Boot-Neubauten angewandten Mittel.

Die obere Kurve zeigt das Steigen des Baupreises, 5400 Mark für die Tonne bedeutet also einen Baupreis von 5000000 Mark für ein U-Boot von 1000 t Ende 1918, während der Preis eines solchen Bootes bei Kriegsbeginn 2600000 Mark war.

Die Bauzeit eines U-Bootes ist je nach der Größe sehr verschieden. Bei einer glatt arbeitenden Friedensindustrie kann man durch vorbereitende Bestellungen und Arbeiten eine sehr kurze scheinbare Bauzeit erzielen, während des Krieges aber war die Industrie in jeder Beziehung überlastet, und die konstruktiven Unterlagen wurden erst kurz vor Inbau-gabe fertig, so daß keine Vorarbeiten gemacht werden konnten. So ergab sich für ein mittelgroßes U-Boot von 800 t eine Bauzeit von 14 Monaten, hinzu kamen 2 Monate für Probe-

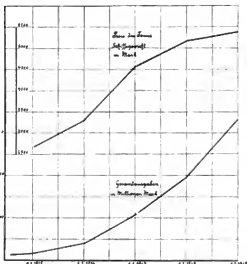


Abb. 62. Preise und Kosten der U-Boot-Neubauten.

fahrten und für kleine Nacharbeiten und eine Schulzeit von etwa 3 Monaten für die Besatzung. Während dieser Schulzeit sollen sich Offiziere und Besatzung selbständig an das U-Boot und seine besonderen Eigenschaften gewöhnen, nachdem sie schon vorher in der U-Schule unter Anleitung im U-Boot-Fahren ausgebildet waren. Bis zur Frontreise des Bootes vergingen also etwa 20 Monate.

Um sich einen Begriff von der Wirksamkeit einer Flotte von rund 180 in Dienst gestellten U-Booten zu machen, muß man zunächst 20—40 absetzen, die noch mit Probefahrten und bei den Schulfahrten ihrer Besatzungen beschäftigt sind. Weitere 15—20 Boote bilden die U-Schule und dienen für die erste Vorbildung der Mannschaften. Von den restlichen Booten kann man etwa 33 bis 40% als frontbereit annehmen, während die übrigen in Reparatur sind. Die Reparatur wird teils durch feindliche Beschädigungen notwendig gemacht. Vor allem muß aber jedes U-Boot nach jeder längeren Fahrt in allen seinen verwickelten und empfindlichen Teilen sehr gründlich nachgesehen werden, auch bedingt die eingangs erwähnte hohe Drehzahl und Leichtigkeit aller Maschinen an Bord, daß auch die Abnutzung und Haverien ein ungewöhnliches Maß, verglichen mit Landanlagen, erreichen. Z. B. muß der Dieselmotor nach drei-, manchmal schon nach einer vierwöchigen Unternehmung vollständig abgebaut werden, damit die Lager justiert und nötigenfalls neu ausgegossen werden können. Es bleiben also von der Flotte von 180 U-Booten nur rund 40—50 übrig, die auf den Kriegsschauplätzen in Tätigkeit sind.

Um so bemerkenswerter ist der tief einschneidende Erfolg, den eine so kleine Anzahl von Booten bei der Zerstörung feindlichen Frachtraumes und der Hemmung des feindlichen Handels ausüben konnte, und es läßt sich leicht ermesen, daß ein rechtzeitig vorgenommener Ausbau der deutschen U-Boot-Flotte sehr wohl die entscheidende Wendung hätte herbeiführen können. Die Gründe, weshalb dieser Ausbau nicht erfolgte, zu ermitteln, ist nicht Aufgabe der vorliegenden Arbeit. Es ist auch

fraglich, ob bei einer längeren Dauer des Weltkrieges die Entscheidung durch die U-Boote herbeigeführt worden wäre, denn ihre Wirkung war schon in seinem letzten Abschnitte im Abklingen. Die Zahl der Versenkungen von Handelsdampfern nahm stetig ab, dagegen wuchs der besonders in Amerika in großartigem Maßstabe abgezogene Neubau von Handelsdampfern, so daß der Weltfrachtraum gegen Schluß des Weltkrieges bereits wieder im Wachsen war. Außerdem wurden fast ebenso viele U-Boote versenkt, wie in Deutschland neue gebaut wurden.

Danach ergibt sich das eigentümliche Bild, daß das U-Boot nur einmal in der Weltgeschichte die Gelegenheit gehabt hat, durch den Handelskrieg eine entscheidende Wendung herbeizuführen, und daß diese Gelegenheit um das geringe Maß von einem, höchstens zwei Jahren verpaßt worden ist. Abgesehen hiervon wird die Verwertung des U-Bootes als Blockademittel voraussichtlich durch internationale Abmachungen geregelt und eingeschränkt werden.

Damit würde das U-Boot jedoch keineswegs als wirksame Waffe vom Kriegsschauplatz verschwinden. Wie bei der Bewertung des Torpedoschusses gegen Kriegsschiffe ausgeführt wurde, bleibt es immer ein furchtbarer Gegner auch der Großkampfschiffe. Diese können nicht mehr wie einst stilliegend eine Blockade ausüben oder einen Kriegsschauplatz längere Zeit beherrschen, sondern die Furcht vor einem U-Boot-Angriff wird sie zwingen, unablässig in hoher Fahrt zu bleiben. Da die Schiffe immer für den Fall eines Treffens, bei dem sie stundenlang mit höchster Fahrt laufen müssen, und für die Heimfahrt, vielleicht eine beschleunigte Flucht, etwa die Hälfte ihres Brennstoffvorrats freihalten müssen, so können sie sich nur zwei bis vier Tage auf dem Kriegsschauplatz halten. Das U-Boot bringt damit eine Schwäche des gewaltigen Großkampfschiffes an den Tag, die bisher auch von vielen Fachleuten nicht beachtet wurde. Man liest immer von den vielen Tausenden Seemeilen Fahrbereich der Linienschiffe und großen Kreuzer. Diese Zahlen gelten aber nur für ganz langsame Marschgeschwindigkeit. Strategisch ist der Fahrbereich unter Berücksichtigung der oben geschilderten Verhältnisse sehr viel kleiner. Mißt man ihn nicht nach Strecke, sondern nach Zeit, so zeigt sich, daß eine Flotte nur wenige Tage die See halten kann. Eine Wirksamkeit über einen Ozean hinüber, oder schon nur von Deutschland aus nach der Ostküste von England, wäre ohne reichausgestattete Kohlenstationen eine Unmöglichkeit.

Diese Verhältnisse werden durch das U-Boot erst zu ihrer vollen Schärfe ausgeprägt. Es zwingt die Flotte nicht nur, wie gesagt, zu beschleunigter Fahrt und hohem Kohlenverbrauch, es zwingt sie auch, sich mit einem Schleier von U-Boot-Abwehrrn, Torpedobooten, Motorbooten, Flugzeugen und Luftschiffen zu umgeben. Alle diese Fahrzeuge sind noch kurzlebiger auf See als das Linienschiff. Sie sind ungeheuerliche Brennstoffresser und können nur Stunden, höchstens zwei Tage, die See halten. Trotz eines gewaltigen Aufwandes an Material und Menschen für die U-Boot-Abwehr wird die Wirkungsdauer der Schlachtflotte auf See durch die Eigenart ihrer Beschützer noch weiter heruntergedrückt.

Weder die hochentwickelte U-Boot-Abwehr noch der verbesserte Schutz der Schlachtschiffe gegen Torpedotreffer können verhindern, daß Strategie und Taktik des Seekrieges fortan entscheidend durch das U-Boot beeinflusst werden.

## 1. DIE VORGESCHICHTE DES TORPEDOS

Solange es Kriegsschiffe gibt, so lange ist der Wunsch nach Schaffung einer möglichst wirksamen Unterwasserwaffe erkennbar, und mit Recht, bietet doch die Zerstörung des Unterwasserschiffes die größte Aussicht auf völlige Vernichtung des Ganzen. Als erste Bestrebung in dieser Richtung muß der Rammsporn angesehen werden. Schon die Römer verwandten ihn bei ihren Kriegsschiffen, und in allen Epochen des Kriegsschiffbaues bis in die Neuzeit taucht er wieder auf. Der Wert dieser Unterwasserwaffe war aber ein schwankender, durch Schutz des Unterwasserschiffes mit schwersten Holzarten konnte der Rammsporn machtlos gemacht werden. Dazu kam, daß zur Vernichtung der Holzschiffe genügend andere tödliche Waffen vorhanden waren. Mit Einsetzen des Eisenschiffbaues, als der Eisenpanzer die Wirkung der Granaten verringerte, trat jedoch die Frage der Unterwasserwaffe erneut in den Vordergrund. Der Rammsporn konnte den Forderungen der modernen Seekriegführung auf die Dauer nicht genügen, er kann auch kaum als wirkliche Angriffswaffe angesprochen werden, denn seine Anwendung beschränkt sich auf Gelegenheitsfälle und ist für das eigene Schiff immerhin nicht ganz ungefährlich.

Aus diesem Entwicklungsgang heraus tauchte das Problem der Unterwasserartillerie auf. Die Verwendung von Geschossen mußte von vornherein zu einem Mißerfolg führen, weil das Wasser der für die Durchschlagskraft notwendigen Geschwindigkeit einen zu großen Widerstand entgegensezt. Trotzdem sind auch in dieser Richtung vor Einführung des Torpedos langjährige Versuche gemacht worden. Als einziger Weg, der zum Ziele führen konnte, blieb schließlich übrig die Kraftäußerung explodierender Stoffe, die durch ein geeignetes Mittel an den feindlichen Schiffskörper herangetragen werden, auszunutzen. Das Schwierige hierbei war, das Mittel zu finden, den Sprengstoff den vorher beabsichtigten Weg zurücklegen zu lassen. An Konstruktionsideen hat es wie wohl bei allen technischen Problemen nicht gemangelt. Die Verwirklichung der Idee war das Schwere, und es hat mehrerer Jahrzehnte bedurft, die Aufgabe in befriedigender Weise zu lösen. Aber nicht allein infolge technischer Schwierigkeiten blieb die Torpedowaffe von Enttäuschungen nicht verschont, sondern sie hatte wie jede junge Waffe mancherlei Vorurteile zu überwinden, und es ist psychologisch nur zu erklärlich, daß diese in den meisten Staaten gerade aus den Kreisen der Seeoffiziere auftauchten. Nachdem jedoch einmal der Beweis erbracht war, daß in dem Torpedo eine konkurrenzfähige Waffe erstehen würde, ging die Entwicklung mit schnellen Schritten vorwärts. Die sich immer reicher entfaltende Technik und der Aufschwung der physikalischen und chemischen Wissenschaften waren dabei nicht unwesentlich förderlich.

Die ersten mit Torpedo bezeichneten Instrumente waren sogenannte Treibtorpedos, d. h. mit Sprengstoff gefüllte Schwimmkörper, bei denen es der Wasserströmung überlassen wurde, die Vorwärtsbewegung zu bewirken. Erwähnt werden solche Treibtorpedos schon bei der Eroberung von Antwerpen, eine eigentliche konstruktive Ent-

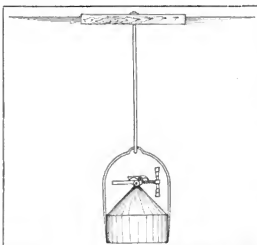


Abbildung 1.

Treibtorpedo 1868.

wicklung läßt sich jedoch nur bis zur Zeit der Seekriege von 1812 zurückführen. Wegen Fehlens anderer unterseeischer Waffen hat sich der Treibtorpedo trotz seiner recht primitiven Form noch viele Jahrzehnte in der Marine erhalten; Abbildung 1 zeigt eine Konstruktionsausführung aus dem Jahre 1868.

Die Treffaussichten dieser Art Torpedos waren selbstverständlich sehr geringe, deshalb müssen die Bestrebungen, den Sprengstoff durch das eigene Schiff an den Feind heranzutragen, als ein weiterer Abschnitt in der Entwicklung der Torpedowaffe bezeichnet werden. Die Form dieser zweiten Art von Torpedos war eine recht mannigfaltige. Teils wurden die Sprengkörper als Bojen ausgeführt, die mittels Lei-

nen von dem eigenen Schiff an das Ziel geschleppt wurden, teils wurden sie an langen Stangen befestigt, die nach vorn oder nach der Seite das eigene Schiff genügend weit überragten. Angewandt wurden diese Torpedos von allen Arten von Schiffen, vom Schlachtschiff bis zum kleinsten Boot; die letztere Art der Torpedos, die sogenannten Stangentorpedos, benutzten allerdings in erster Linie die Boote, weil diese sich für solches Kampfmittel besonders eignen. Abbildung 2 zeigt ein Stangentorpedoboot aus dem Jahre 1878.

Aber diese Art Waffe war, trotzdem sie bis zur Kriegsbrauchbarkeit gekommen war — dies vielleicht gerade nur wegen ihrer Einfachheit —, von vornherein nicht weiter entwicklungsfähig und mußte schwinden, sobald Besseres geschaffen war. Sie war und blieb ein Nahkampfmittel und konnte neben der Schwesterwaffe, der Artillerie, deren ständiges Streben auf Vergrößerung der Gefechtsentfernung gerichtet war, nicht bestehen. Unter diesem Zwange entstand die dritte Gruppe von Torpedos, die gesteuerten Torpedos. Die Mannigfaltigkeit der hier auftauchenden Konstruktionsideen ist noch größer als bei den früheren Arten. Einen Tiefensteuermechanismus besitzen diese Torpedos noch nicht, es sind in allen Fällen kleine Boote, die an der Oberfläche schwimmen und von Land aus oder von dem schießenden Schiff aus die

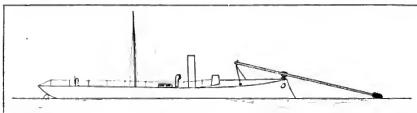


Abbildung 2.

Stangentorpedo 1878.

Antriebskraft für die Vorwärtsbewegung erhalten. Durch sich abwickelnde Röhrensysteme wird der Torpedomaschine Druckluft, oder durch Kabel elektrischer Strom zugeführt, oder die Propeller werden durch mechanische Drahtzüge unmittelbar gedreht. Eine Ausführungsform nach letzterem Prinzip zeigt Abbildung 3. Diese Torpedos blieben also vom Augenblick des Abschusses an bis zur Detonation mit dem schießenden Schiff in Verbindung stehen, sie bildeten gewissermaßen ein Mittelding zwischen den getragenen und den später zu behandelnden geschossenen Torpedos. In der gegenseitigen Abhängigkeit zwischen Torpedo und Schiff und damit in der gegenseitigen Behinderung muß bei aller Bewunderung für die genialen Erfinder der Grund erblickt werden, daß diese an sich viel höher entwickelten Torpedoarten nicht bis zur praktischen Verwendbarkeit, ja nicht einmal über das Versuchsstadium hinausgekommen sind, eine um so bemerkenswertere Tatsache, als die primitiven Treib- und Stangentorpedos sich viele Jahrzehnte in der Front erhalten haben.

Eine eigene im Torpedogeschöß befindliche Treibkraft tritt damit als eine Lebensbedingung jedes Unterwassergeschosses hervor. Diese Vorbedingung führte als nächst-

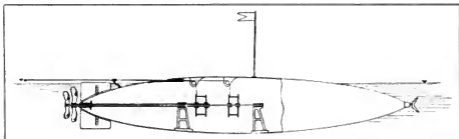


Abbildung 3.

Gesteuertes Torpedo 1850.

liegend zu dem Entwurf von sogenannten Raketentorpedos, und nach den theoretischen Erwägungen ist ihr Treibsatz von allen Kraftquellen, die für Antrieb von Torpedos benutzt werden können, einer der vorteilhaftesten. Die angefertigten Versuchs-Raketentorpedos entsprachen auch abgesehen von ihrer Treibkraft in bezug auf Form, Gewicht und Wirkungsweise von Anfang an in hohem Maße den Forderungen eines militärisch brauchbaren Unterwassergeschosses. Aber auch die Raketentorpedos sind nicht über das Versuchsstadium hinausgekommen, die Versuche schelтерten alle an der Unzuverlässigkeit der zur Verwendung gekommenen Treibsätze.

Hier erst setzt die Entwicklung des ureigentlichen Vorläufers unseres heutigen Torpedos, des Maschinentorpedos, ein. Der Gedanke muß dem österreichischen Kapitän Luppilus zugesprochen werden. Dieser machte der österreichischen Marine den Vorschlag, kleine Boote mit eigener Maschinenkraft und geeigneten Steuereinrichtungen und mit einer größeren Menge Sprengstoff beladen gegen den Feind zu senden. Zur Ausführung des Gedankens setzte er sich mit dem Maschinenfabrikanten Robert Whitehead in Fiume in Verbindung, und letzterem ist es in bewundernswürdiger Weise gelungen, den Gedanken zu verwirklichen. Robert Whitehead ist der Erfinder des heute in allen Marinen eingeführten und zu einer Unterwasserwaffe ersten Ranges vervollkommenen Torpedos. Whitehead erkannte sehr bald die Mängel der von Luppilus vorgeschlagenen Waffe: Sichtbarkeit durch den Feind, störender Einfluß der Wellenbewegung und vor allem die zu geringe zu erwartende Wirkung einer

solchen Waffe, handelte es sich doch eigentlich um eine Überwasserwaffe. Er arbeitete deshalb nach eigenen Gedanken einen Torpedo aus: aus dem Boot machte er einen floßartigen Körper von sehr geringem Auftrieb bei genügender Stabilität, statt Dampf verwendete er komprimierte Luft zum Antrieb der Maschine und versah außerdem den Torpedo mit einer Steuereinrichtung. Nach zweijähriger intensiver Arbeit, im Jahre 1862, hatte er das erste Modell eines solchen Torpedos fertiggestellt. Wenn dieser Torpedo auch beim Schuß noch völlig versagte, so zeigte er doch einwandfrei, daß der eingeschlagene Weg der richtige war und unbedingt zum Ziele führen mußte. Die erste notwendige Änderung, die sich herausstellte, war die Verbesserung des Tiefensteuerapparats. Zur Erzielung eines gleichmäßigen Tiefenlaufes genügte die anfangs allein angewandte hydrostatische Druckplatte nicht, erst in dem mit der Tiefenplatte parallelgeschalteten Pendel wurde ein geeignetes Mittel gefunden, den hydrostatischen Druck zu regulieren. Nach Schaffung dieses Mechanismus, der im Jahre 1872 fertiggestellt war, hatte der Whitehead-Torpedo einen solchen Grad der Vervollkommnung erlangt und waren seine technischen Leistungen und physikalischen Eigenschaften derartige, daß mehrere Staaten zu seiner Einführung schritten. England, Frankreich und Rußland marschierten an der Spitze dieser, die deutsche Marinebehörde schloß sich diesen Staaten zunächst noch nicht an. Diese Zurückhaltung, die wohl auf ein gewisses Mißtrauen zurückzuführen war, fand einige Jahre später ihre Rechtfertigung. Als die anderen Marinen bereits Massenvorräte an Torpedos besaßen, trat eine bedenkliche Existenzkrise für die Waffe auf, dadurch, daß der zweite für die Torpedowaffe unentbehrliche Teil, das Lancierrohr, fehlte bzw. bei einer Verwendung an Bord versagte. So einfach sich das Lancieren des Torpedos von einer Landstation gestaltet hatte, so erhebliche Schwierigkeiten setzten sich dem Schießverfahren vom bewegten Schiff aus entgegen.

Die deutsche Marineverwaltung sah aber der Entwicklung der Torpedowaffe nicht untätig zu. Nachdem durch Versuche festgestellt war, daß das Whitehead-Torpedomaterial bei den von uns gestellten verschärften Anforderungen noch keineswegs eine brauchbare Kriegswaffe darstellte, wurden mit eigenen Mitteln die erforderlichen Änderungen auf Grund eingehender Erprobungen vorgenommen. Nebenher wurden die Konstruktionsbedingungen für die zu schaffenden Ausstoßrohre ermittelt und bei beiden, sowohl beim Torpedo wie beim Lancierrohr, als Richtschnur dabei festgehalten, daß so nahe wie möglich an das gefechtsmäßige Schießen herangekommen werden müsse. 1882 waren die Versuche so weit gefördert, daß ein erster Abschluß stattfinden und mit den Vorarbeiten für die Einführung begonnen werden konnte. Als Einführungsjahr der Torpedowaffe in die deutsche Marine gilt das Jahr 1884. Die Konstruktion des damals zur Einführung gelangten Torpedos zeigt die Abbildung 4.

Infolge ihrer besonderen Eigenart nahm die Weiterentwicklung wenn auch stetig, so doch zunächst verhältnismäßig langsam ihren Fortgang. Dies ist damit zu erklären, daß jede auch noch so geringe Veränderung nur auf Grund sorgfältigster und damit zeitraubendster Versuche ausgeführt werden durfte. Die Erfahrung lehrte, daß bei einem so hoch entwickelten, aber nur auf empirischem Wege entstandenen Instrument jeder kleinste Teil einen Einfluß, und zwar vielfach einen nicht bekannten Einfluß auf das Wirken des Gesamtmechanismus ausübte. Daraus erhellt z. B., welche Arbeit der Übergang vom Stahl- zum Bronzetorpedo Ende der achtziger Jahre darstellte, eine Maßnahme, die der Forderung der Front nach besserer Haltbarkeit im Seewasser und leichterer Konservierungsmöglichkeit an Bord entsprechen sollte. Aber die umfangreichen Versuche bei Einführung von Änderungen brachten es von selbst

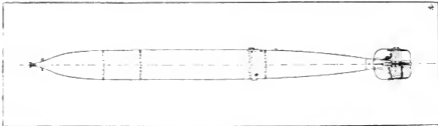


Abbildung 4.

Whitehead Fischtorpedo 1864.

mit sich, daß man einen Einblick in die Physiologie des Torpedos und eine Erweiterung der torpedobalistischen Kenntnisse erhielt, was auf anderem Wege nicht möglich gewesen wäre und was für den Kriegswert der Waffe außerordentlich wertvoll war.

Nebenher ging selbstverständlich mit gleichen Schritten die Entwicklung des nicht minder wichtigen Teiles der Torpedowaffe vor sich, der Lanciervorrichtungen, in der Folge mit Torpedorohr bezeichnet. Auch hier gelang es, durch jahrelange Schießversuche einheitliche Systeme von Über- und Unterwasserrohren, von Bug-, Heck- und Breitseitrohren auszubilden, so daß die Flotte planmäßig damit ausgerüstet werden konnte.

Die ständige Erweiterung der militärischen Anforderungen in bezug auf die Sprengwirkung, Schußentfernung und Geschwindigkeit, letzteres besonders in richtiger Erkenntnis, daß die Geschwindigkeit des Torpedos ein bestimmter Faktor für seine Treffsicherheit ist, führte zu einer Kalibervergrößerung; Anfang der neunziger Jahre ging man vom 35-cm-Torpedo zum 45-cm-Torpedo über.

Die Einführung einer besonders einflußreichen grundsätzlichen Neuerung ist noch zu erwähnen. Trotz aller Bemühungen war es bisher nicht möglich gewesen, die Torpedos über 400 m mit einiger Genauigkeit zu schießen; da machte die Erfindung des Obryschs Geradlaufapparates allen diesen Schwierigkeiten ein Ende. Dieser Apparat, der auf dem Prinzip eines schnell rotierenden Kreisels beruht, bildete ein vorzügliches Mittel, den Kurs des Torpedos auf beliebige Entfernung zu beherrschen.

Seitdem die einzelnen Marinen zur Selbstanfertigung von Torpedos schritten, haben sich gesonderte Systeme von Torpedos herausgebildet; die deutsche Torpedowaffe hat sich gegenüber der aller anderen Staaten bei weitem am meisten von der ursprünglichen Whiteheadschen Konstruktion entfernt. Die besonderen Erfahrungen, die verschiedene militärische Auffassungsweise über die Verwendung, damit zusammenhängend die an die Waffe gestellten Anforderungen und letzten Endes der Stand der Technik sind die Ursachen für dieses Auseinandergehen.

Die deutsche Marineverwaltung hat seit dem Jahre 1878 die Weiterentwicklung der Torpedowaffe durch Einrichtung einer eigenen staatlichen Torpedofabrik und durch Schaffung eines Spezial-Ingenieurkorps in eigene Hände genommen. Auf welchen Stand der Vervollkommnung und Kriegsbrauchbarkeit die Torpedowaffe dadurch gelangt ist, ist durch die Erfolge derselben in dem Weltkriege genügend bekannt geworden. Abgesehen von der Tatsache, daß bestimmte Arten von Kriegsfahrzeugen, wie z. B. die Unterseeboote, durch die Benutzung der Torpedowaffe überhaupt erst ihre Existenzberechtigung erhalten haben, ist die Torpedowaffe neben ihrer Schwesterwaffe, der Artillerie, zu einer voll konkurrenzfähigen und für die Seekriegführung bedeutungsvollen Waffe herangewachsen. Nicht allein ihre greifbaren Erfolge dürfen



bei Beurteilung ihres Wertes als Maßstab herangezogen werden, sondern auch der gewaltige Einfluß, den das bloße Vorhandensein einer Torpedowaffe auf die gesamte Flottentaktik ausgeübt hat. Die Torpedoreichweite ist ein Grund für das Wachsen der Gefechtsentfernungen, da der artilleristisch Überlegene die Entscheidung möglichst außerhalb der Torpedoreichweite suchen wird und muß. Die Torpedowaffe wirkt dadurch wie eine vermutete Minensperre und schafft dem Gegner Schwierigkeiten und Zeitverluste. Selbst wenn also in manchen Seegefechten der Torpedo nicht aktiv in die Erscheinung getreten ist, so bleibt sein Einfluß doch bestehen. Auf diese Weise hat die Torpedowaffe einen nicht unwesentlichen Einfluß auf die Entwicklung der Artillerie ausgeübt.

Aus Vorstehendem erhellt, wie wichtig die Sicherung der Überlegenheit unserer Torpedowaffe aus militärischen Gründen und damit zusammenhängend die Geheimhaltung des jeweiligen augenblicklichen Standes ihrer tatsächlichen Leistungen ist.

## 2. DER MODERNE TORPEDO

**DAS TORPEDOKALIBER.** Wie bereits im vorigen Kapitel angedeutet wurde, liegt es nicht im militärischen Interesse, wenn Angaben gerade über das neueste Torpedomaterial der Öffentlichkeit preisgegeben werden. Unter diesen Angaben sind besonders solche zu verstehen, die Aufschluß über die Leistung der in der Front befind-



Abbildung 5.

Torpedo neuerer Konstruktion.

lichen Torpedos geben, d. h. über die drei Faktoren Schußweite, Geschwindigkeit und Sprengladung. Diese drei Werte sind aber in erster Linie bestimmend für das Kaliber eines Torpedos, für seine Größe. Wir haben gesehen, wie die immer höher geschraubten militärischen Anforderungen die Kalibersteigerung herbeiführten. Von dem 35-cm-Torpedo ging man bald zum 45-cm-Torpedo und später zum 50- bzw. 53-cm-Torpedo und zu noch größeren Kalibern über. Entsprechend wuchsen Längen und Gewichte, der anfänglich etwa 4 m lange Torpedo wurde 7 bis 8 m lang und sein Gewicht stieg von etwa 136 kg auf 1000 bis 1200 kg und sogar noch mehr bei den neuesten Torpedos. Ob ein Stillstand in der Frage des Torpedokalibers eingetreten ist, kann selbstverständlich nicht angegeben werden, ins Unermeßliche wird die Kalibersteigerung jedoch nicht fortgesetzt werden. Die Weiterentwicklung der Torpedowaffe, die wie in allen anderen Zweigen der Technik eine Notwendigkeit ist, wird auf anderem Gebiete liegen, auf Vervollkommnung der Waffe. Für die Vervollkommnung des Torpedos ist aber gerade das Kaliber nicht von ausschlaggebendem Einfluß, am wertvollsten war die Vergrößerung des Torpedos noch für die Erhöhung der Laufstrecke. Bezüglich der Laufstrecke ist aber dem Torpedo eine Höchstgrenze gesetzt, und diese ist von den modernen Torpedos annähernd erreicht. Die Höchstgrenze ist bedingt durch die praktische Verwendungsmöglichkeit im Gefecht und durch die Grenze der Sichtbarkeit auf See. Die Steigerung der beiden anderen Faktoren für die Leistung, der Geschwindigkeit und der Sprengladung, wird man zunächst durch andere



Felix Schwormstädt: An Bord des deutschen Torpedoboots, das während des Gefechts bei Hornariff am 17. August 1915 einen englischen Kreuzer und ein englisches Torpedoboot durch zwei Treffer vernichtete.

Zu Zuhörst: Torpedowesen.

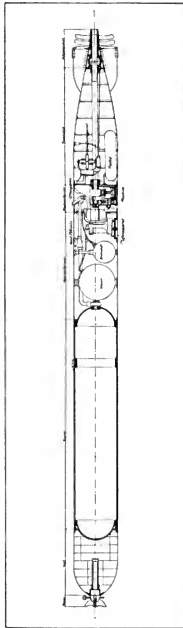


Mittel als durch Kalibervergrößerung zu erreichen suchen, „durch möglichste technische Vervollkommnung der Torpedoeinrichtungen“; zu einer Kalibersteigerung wird man deshalb nur ungern übergehen. Bei der Torpedowaffe ist überhaupt in der Kaliberfrage eine größere Stetigkeit zu beobachten als bei der Artillerie. Dies hat nicht etwa seinen Grund in zu geringem Fortschreiten der Torpedotechnik, sondern in den großen praktischen und militärischen Schwierigkeiten, die mit einem Wechsel des Torpedokalibers verknüpft sind. Ein Umarmieren bereits fertiger Schiffe kommt in den meisten Fällen praktisch überhaupt nicht in Frage, weil die Schiffe eine schwerere als für sie vorgesehene Torpedoarmierung aus Gewichts- und Platzrück-sichten nicht tragen können. Dazu kommen die anderen Nachteile einer nicht einheitlichen Armierung der Schiffe eines Geschwaders, wie z. B. keine gleichmäßige taktische Verwendbarkeit, Nichtauswechselbarkeit der Torpedos und damit Notwendigkeit eines größeren Reservebestandes.

Auch die praktische Handhabung der Waffe unter den eigenartigen Bordverhältnissen spielt bei Wahl des Kalibers eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Bereits jetzt haben die Torpedos Abmessungen angenommen, die z. B. einen Transport von Hand nicht mehr zulassen, sondern umfangreiche maschinelle Hilfseinrichtungen benötigen. So ist es verständlich, daß besonders auf kleineren Schiffen die für die Torpedowaffe erforderlichen Hilfsmaschinen Raum und Gewichte beanspruchen würden, die sich mit der Eigenart des Fahrzeuges nicht mehr vertragen könnten.

Abgesehen von den verschiedenen militärischen Anforderungen, die z. B. an einen Großkampfschiff- und einen Unterseeboottorpedo zu stellen sind, ist die Platz- und Gewichtsfrage mit ein Grund dafür, daß ebenso wie bei der Artillerie mehrere Torpedokaliber in der Front eingeführt sind; die Größe des Torpedos ist also kein Maßstab für seine Güte.

Die Einrichtungen aller Torpedoarten sind jedoch im wesentlichen die gleichen. Zum Verständnis des Zwecks und der Wirkungsweise der einzelnen Torpedomechanismen und des



Längsschnitt durch einen 53-cm-Torpedo.

Abbildung 6.

Zusammenarbeitens des Ganzen genügt es deshalb, wenn im nachstehenden die allgemeine Konstruktion beschrieben wird.

Abbildung 5 zeigt die äußere Ansicht eines Torpedos neuerer Konstruktion.

EINTEILUNG DES TORPEDOS. Der Torpedo besteht aus sechs Hauptteilen, die, vom Kopf beginnend, in nachstehender Reihenfolge angeordnet sind: 1. Kopf mit Pistole; 2. Kessel; 3. Tiefenapparatkammer; 4. Maschinenkammer; 5. Auftriebskammer; 6. Schwanzstück.

Die Form und die Größenverhältnisse der einzelnen Teile sind aus Abbildung 6 zu erkennen.

Der Kopf ist der eigentliche Träger des Sprengstoffes, und es muß bei Betrachtung der Zusammenstellungszeichnung auffallen, welchen verhältnismäßig kleinen Teil des gesamten Torpedos die Sprengladung ausmacht. Den Hauptanteil haben die maschinellen Einrichtungen nebst Kessel, und so erklärt sich auch der große materielle Wert eines Torpedos.

An den Kopf schließt sich der wertvollste Teil des Torpedos, der Luftkessel, an. Ältere Torpedos hatten zwischen Kopf und Kessel noch eine besondere Schwimmkammer, und bei den allerersten Torpedos war in dieser Kammer der Tiefenapparat untergebracht. Diese Auftriebskammer konnte später fortfallen, weil durch den Kessel selbst genügend Vorderauftrieb geschaffen wurde und vollends der Einbau des Tiefenapparats vor dem Kessel sich als sehr unzweckmäßig erwies, weil bei dieser Anordnung das Rudergestänge durch den Kessel geführt werden mußte, eine recht unangenehme Konstruktion. Kopf und Kessel sind durch Quer- oder Längsschrauben oder besser noch durch beide Arten von Schrauben miteinander verbunden. Der Kopf läßt sich schnell vom Torpedo abnehmen.

An den hinteren Kesselflansch schließt sich, fest mit dem Kessel verbunden, die Tiefenapparatkammer an. In dieser sind außer dem Tiefenapparat, nach dem die Kammer ihren Namen erhalten hat, noch einige andere Vorrichtungen, Ventile, Wasser- und Brennstoffbehälter u. a., untergebracht. An dieser Stelle weichen allerdings einige Torpedotypen von der beschriebenen Art vollkommen ab, indem die Tiefenapparatkammer ganz wegfällt und der Tiefenapparat in der Maschinenkammer untergebracht ist. Auf die Gründe für diese Abweichungen wird später zurückgekommen werden.

An die Apparatkammer schließt sich die Maschinenkammer an. Diese enthält die Hauptantriebsmaschine und eine große Anzahl von Hilfsmaschinen. Die Maschinenkammer ist der einzige Raum, der nicht wasserdicht ist; sie hat mehrere Durchbrechungen, die nötig sind, um verschiedene Hilfsmaschinen zwecks Bedienung zugänglich zu machen. Die Apparate der Maschinenkammer arbeiten also im Wasser. Zwischen Tiefenapparat- und Maschinenkammer kann jeder Torpedo auseinandergenommen werden. Die Verbindung stellen ebenso wie bei dem Kopf Längs- oder Querschrauben her.

Weiter folgt die Auftriebskammer oder auch Tunnelstück genannt. Sie ist mit der Maschinenkammer aus einem Stück hergestellt und von ihr nur durch ein wasserdichtes Schott getrennt. Das Tunnelstück ist, abgesehen von der Notwendigkeit des Auftriebes und der Formgebung für den Torpedo, zur Aufnahme einiger Hilfseinrichtungen vorgesehen, die in der Maschinenkammer keinen Platz mehr fanden und die ihrer Wirkungsweise nach in einem trockenen Luftraum arbeiten müssen, z. B. der Geradlaufapparat. Die Auftriebskammer ist durch eine oder mehrere wasserdicht verschließbare Pforten zugänglich.

An das Tunnelstück schließt sich als letzter Teil das Schwanzstück an. Es nimmt

die Flossen, die Tiefen- und Geradlaufruder und die Antriebspropeller auf. — Bei Betrachtung der Zusammenstellung des Torpedos ist zu erkennen, daß der Konstrukteur der besonders scharf gestellten Forderung nach gedrängtester Ausführungsform und geringster Gewichtsbeanspruchung bei schwierigsten Festigkeitsbedingungen in ganz hervorragender Weise gerecht geworden ist. Es kann wohl mit Recht gesagt werden, daß auf keinem Gebiete der Technik in dieser Beziehung so hohe Anforderungen gestellt werden wie im Torpedobau. Alles was an Raum und Gewicht bei den einzelnen Konstruktionsteilen gespart wird, kann bei konstruktiv festgelegten äußeren Abmessungen des Torpedos auf Verlängerung des Kopfes oder des Kessels verwandt werden, ist also gleichbedeutend mit Vergrößerung der Sprengladung bzw. Gewinn an Laufstrecke oder Geschwindigkeit.

**DER TORPEDOKOPF.** Der Torpedokopf ist eine wasserdichte Kammer, aus etwa 1 bis 1,5 mm Stahlblech nahtlos hergestellt. Die äußere Form ist so gewählt, daß bei größtem Volumen die günstigsten Wasserlinien und glatte Übergänge geschaffen werden. Wie ein Vergleich der Abbildungen 4 und 6 zeigt, sind die Köpfe der modernen Torpedos im Gegensatz zu denen der älteren sehr völlig, fast halbkugelförmig gehalten, eine Form, die sich auf Grund von empirischen Schußergebnissen und Schleppversuchen ergeben hat. Der Kopf ist konstruktiv von dem Torpedo getrennt und nur durch eine Reihe von Schrauben mit demselben verbunden. Dies ist deshalb vorgesehen, weil je nach dem beabsichtigten Zweck des Schusses, zur Übung oder zum Gefecht, ein besonderer Kopf auf den Torpedo aufgesetzt werden muß. Man unterscheidet demnach einen Übungs- und einen Gefechtskopf; für jeden Torpedo werden diese beiden Köpfe angefertigt. In bezug auf äußere Form, Gewicht und Schwerpunktage unterscheiden sie sich nicht voneinander, um möglichst gleiche ballistische Eigenschaften bei beiden Arten von Schüssen zu sichern. Nur durch einen anderen Farbanstrich sind sie gewöhnlich äußerlich kenntlich gemacht; die Gefechtsköpfe sind meist rot gestrichen.

Der Gefechtskopf ist möglichst vollkommen mit dem Sprengstoff angefüllt; letzterer wird entweder in zugepaßten Scheiben in den Kopf verpackt oder bei manchen Sprengstoffarten in den Kopf gegossen, wo er später erstarrt. Bei älteren Torpedos wurde fast durchweg als Sprengladung nasse Schießbaumwolle verwandt, durch Pressen derselben wurde der Effekt der Explosion ganz erheblich gesteigert. Bei modernen Torpedos sind selbstverständlich brisantere Sprengstoffe, wie z. B. Ammonal oder Trinitrotoluol, eingeführt. Durch die verschiedensten chemischen und physikalischen Variationen ist man in der Lage, jede gewünschte Brisanz hervorzuufen. Dies ist durch genaues Studium der Vorgänge bei der Explosion und die Erkenntnis der ausschlaggebenden Faktoren (Lage des Sprengzentrums, Zündungsenergie, Detonationsgeschwindigkeit, Gasmenge und Explosionstemperatur) möglich geworden und muß als ein besonderes Verdienst der Wissenschaft anerkannt werden. Die Menge der Gefechtskopfladung ist von 10 kg bei den ersten Torpedos auf 150 kg und mehr bei den neuesten Konstruktionen angewachsen. Diese qualitative und quantitative Beschaffenheit der Sprengladung erklärt zur Genüge die katastrophalen Wirkungen eines heutigen Torpedotreffers.

Zum Zünden der Gefechtskopfladung dient die Gefechtspistole. Diese enthält die besondere Initialladung, welche die zur vollen Ausnutzung der Explosionsenergie erforderliche rasche starke Zündung hervorruft. Bei Verwendung von nasser Schießbaumwolle ist die Initialladung z. B. trockene Schießbaumwolle. Die Zündung der Initialladung geschieht mittels einer mechanisch zur Explosion gebrachten Sprengkapsel.

Die Konstruktion einer Gefechtspistole zeigt Abbildung 7. Der mit vier weit vorstehenden Greifnasen versehene Schlagbolzen stößt mit seiner Spitze auf ein paar Zündhütchen, die eine Sprengkapsel und damit die Initialladung zur Explosion bringen. Der Schlagbolzen wird durch drei oder vier kupferne Scheerstifte in seiner Lage gehalten und wird gegen unbeabsichtigtes Stoßen bei der Bedienung durch einen Vor-

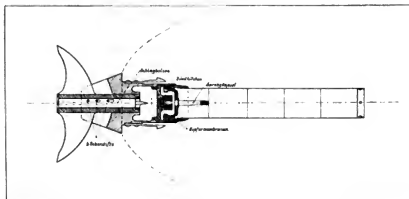


Abbildung 7.

Gefechtspistole.

steckbolzen gesichert. Sowohl Initialladung wie Sprengkapsel und Zündhütchen müssen vor Wasser geschützt sein, hierdurch hat sich die besondere Konstruktion der Pistole ergeben.

Außer den oben beschriebenen Stoßpistolen haben sich in einigen Marinen, allerdings nur ganz vereinzelt, sogenannte Pendelpistolen Eingang verschafft. Sie beruhen im Prinzip darauf, daß durch das plötzliche Abstoppen der Bewegung beim Auftreffen auf die Schiffswand ein Pendel nach vorn schnell, welches dadurch auf mechanischem Wege einen Schlagbolzen auslöst. Die Pendelpistolen sind im hinteren Teil des Kopfes angeordnet. Wenn hierin auch ein gewisser Vorteil liegt, indem gerade im vorderen Teil des Kopfes für Ausnutzung durch den Sprengstoff kein Platz verlorenght und dadurch das Sprengzentrum näher an die Schiffswand heranrückt, so überwiegen doch die Nachteile der Pendelpistole gegenüber der Stoßpistole, bestehend in komplizierterer Konstruktion und nicht so sicherem Arbeiten. Der eigentliche Grund für die Einführung der Pendelpistole trotz dieser Mängel ist in der gleichzeitigen Einführung einer besonderen Art von Schutz-Breschiermittel zu suchen, welches die Anordnung eines anderen Konstruktionsteils im vorderen Kopf nicht gestattet.

Die zweite Art der zu jedem Torpedo gehörenden Köpfe sind die Übungsköpfe. Wie bereits erwähnt, sind sie so konstruiert, daß sie dieselben ballistischen Eigenschaften beim Übungsschuß sichern wie beim Gefechtsschuß. Sie sind, um ein Verbeulen beim Transport zu verhindern, mit Holz, Kork oder Harz gefüllt und durch Bleiballast auf das richtige Gewicht gebracht. Ihrem Verwendungszweck entsprechend sind die Übungsköpfe mit Einrichtungen versehen, die ein leichteres Auffinden eines zu Übungszwecken geschossenen Torpedos ermöglichen. In den Kopf ist ein Behälter eingebaut, der zur Aufnahme einer geeigneten Substanz dient, die beim Tagschuß

Rauch entwickelt und beim Nachtschuß eine Flamme erzeugt. Die Übungspistole ist ebenfalls, ihrem Verwendungszweck entsprechend, etwas anders eingerichtet als die Gefechts-pistole. Die Greifnasen sind als Haken ausgebildet, über die beim Einfangen und Schleppen des Torpedos eine Leine geworfen werden kann.

Zu erwähnen ist noch eine andere Art von Köpfen, die für Sonderzwecke benutzt werden, die sogenannten Registrierköpfe. Diese Köpfe sind im Inneren mit den mannigfaltigsten Meß- und Registrierapparaten ausgerüstet, die automatisch den Tiefenlauf, die Krümmungen, Nelungen, Abweichungen vom Kurs und die Geschwindigkeit anzeigen. Diese Köpfe werden aber nur bei den Erprobungen und dem Einschießen der Torpedos verwandt.

**DER TORPEDO-LUFTKESSEL.** Den materiell wertvollsten Teil des Torpedos und, wenn von einem solchen überhaupt gesprochen werden kann, den wichtigsten Teil bildet der Luftkessel. Er dient zur Aufspeicherung der für den Antrieb der Maschine erforderlichen Energie, sein Fassungsvermögen ist demnach ein ausschlaggebender Faktor für die Leistung des Torpedos. Da der Inhalt des Kessels eine durch das Kaliber des Torpedos gegebene unveränderliche Größe darstellt, so liegt die Möglichkeit einer Leistungssteigerung in der Erhöhung des Gebrauchsdruckes bis zu einer zulässigen Höchstgrenze. Es handelt sich also bei Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Torpedos um eine reine Materialfrage, und wie einige später angegebene Festigkeitswerte zeigen werden, kann mit Recht behauptet werden, daß bei Herstellung eines modernen Torpedokessels das Hervorragendste, was auf dem Gebiete der Materialerzeugung überhaupt geleistet wird, zur Nußanwendung kommt.

Die Kessel der ersten Torpedos waren aus gewöhnlichen Eisenblechen genietet und später nahtlos hergestellt. Die Güte dieses Materials war nicht besonders, sie gestattete die Verwendung nur ganz geringer Drucke (10 bis 35 Atm.), dazu kam die erhebliche Schwierigkeit der Konservierung im Seewasser. Diese Mängel der Stahlkessel führten sehr bald zur Herstellung von Bronzekeßeln. Die Bronze hat sich viele Jahre hindurch als Kesselmaterial behauptet; sie gestattete die Anwendung von Gebrauchsdrucken bis zu 100 kg. Aber auf die Dauer konnte dieses Material den immer höher gestellten Anforderungen nicht genügen. Bronze besitzt nämlich eine Eigenschaft, die seine Verwendung als Luftkesselmaterial recht bedenklich erscheinen läßt. Durch die dauernd wechselnde Beanspruchung ändert das Bronzematerial in ganz kurzer Zeit seine Struktur: ursprünglich schnig, erhält es später kristallinisches Gefüge, die anfänglich zähe Bronze wird spröde. Elastizitätsgrenze und Dehnung ändern sich derartig, daß die Sicherheit in Frage gestellt wird und bei Beibehaltung des Gebrauchsdruckes die Gefahr von Explosionen entsteht. Die Schußzahl der Torpedos mit Bronzekeßeln war infolgedessen eine ganz beschränkte.

Man schritt also zur Verwendung von Stahl bei Anfertigung von Luftkesseln. Der Stahl konnte durch inzwischen erfundene verfeinerte Verfahren in ganz hervorragender Güte hergestellt werden, und durch Zusätze von Chrom und besonders Nickel (bis 6%) wurden ihm noch die Eigenschaften gegeben, die für diesen Sonderzweck erwünscht waren.

Ein Bild von der Vorzüglichkeit des heutzutage verwendeten Kesselmaterials geben nachstehende mittlere Festigkeitszahlen: Bruchgrenze 95—110 kg, Elastizitätsgrenze 75—80 kg, Dehnung 10—12%. Der Gebrauchsdruck ist bis auf 175 Atm. gesteigert, ein Zersprengen des Kessels tritt bei etwa 420—440 Atm. ein.

Die Konstruktion des Luftkessels ist aus dem Übersichtsblatt Abbildung 6 zu erkennen. Die Wandstärke des Kessels beträgt etwa 10 mm, die Böden sind aus Festig-



keitsgründen halbkugelförmig gestaltet und mit Rücksicht auf Luftdichtigkeit mit einem Gewinde von besonderer Form (Hakenform, Abbildung 8) in den Kesselflansch eingeschraubt, und zwar in warmem Zustand, und verlötet. An den Stellen, an welchen außen am Kessel sogenannte Warzen (über den Zweck derselben wird im Kapitel „Rohre“ geschrieben werden) angebracht sind, ist der Kessel im Inneren mit Verstärkungen versehen.

Mit Rücksicht auf die hohe Beanspruchung der Kessel und ihren großen Wert wird die peinlichste Sorgfalt auf ihre Behandlung gelegt. Besondere Kesselprotokollbücher begleiten die Torpedos auf allen ihren Wegen, und bestimmte Vorschriften geben eine Gewähr dafür, daß alle Vorkommnisse, die einen Einfluß auf den Zustand des Kessels haben könnten, zu Buch genommen werden.

**DIE TORPEDOMASCHINE.** Ebenso wie alle anderen Konstruktionsteile des Torpedos, so hat auch die Maschine eine ständig fortschreitende Entwicklung durchgemacht; durch ihre stete Vervollkommnung ist es gelungen, sie auf den Stand ihrer heutigen Leistungsfähigkeit zu bringen. Welche Anforderungen an die Torpedomaschine in bezug auf Leistung und Material gestellt werden, wird meist erheblich unterschätzt in Unkenntnis der gewaltigen Kräfte, die erforderlich sind, einen Torpedo mit einer Geschwindigkeit von 40 Knoten (1 Knoten = Geschwindigkeit von 1 Seemeile [1852 m] pro Stunde) und mehr durch das Wasser zu bewegen. 150 bis 200 P.S. und mehr bei etwa tausend Umdrehungen leistet eine moderne Torpedomaschine, und diese Zahlen müssen erst recht Bewunderung hervorrufen, wenn beachtet wird, welchen kleinen Raum und welch geringes Gewicht die Maschine beansprucht.

Festgestellt sei, daß das Maschinensystem während des ganzen Entwicklungsganges nicht gewechselt hat; die Brotherhood-Maschine mit einfach wirkenden Kolben, die Whitehead bereits bei seinem ersten Torpedo im Jahre 1874 anwandte, haben die Torpedos heute noch. Der Grund ist wohl in der besonderen Geeignetheit dieses Maschinensystems für Torpedozwecke zu erblicken. Die Brotherhood-Maschine paßt sich organisch ganz besonders gut der zylindrischen Torpedoform an und gestattet dabei eine direkte Übertragung der Kurbelbewegung auf die Schraubenwelle.

Es hat an Anregungen und Versuchen zur Einführung anderer Maschinensysteme nicht gefehlt, aber alle erwiesen sich bei den Erprobungen als nicht so brauchbar, und es gelang ihnen nicht, die Brotherhood-Maschine zu verdrängen. Mehrfach-Expansionsmaschinen und langhubige Zweizylindermaschinen tauchten auf, sie bewährten sich nicht. Der Ölmotor erwies sich als zu schwer und unzuverlässig im Betriebe, besonders erfüllte er nicht die aus ballistischen Gründen zu stellende Be-

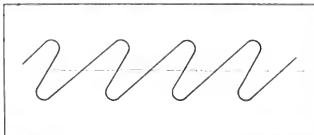


Abbildung 8.

Kesselgewinde. für Torpedozwecke er-

dingung gleichmäßigen Ganges und sofortiger Aufnahme der Geschwindigkeit. Auf den ersten Blick besonders verlockend schien die Verwendung der Turbine im Torpedo. Es wurden auch, trotzdem die Schwierigkeiten und Nachteile der Verwendung der Turbine

kannt wurden, seit einer ganzen Reihe von Jahren Versuche aufgenommen, bisher aber ohne befriedigendes Ergebnis. Die Luftverbräuche konnten hauptsächlich wegen der Spaltverluste nicht so herabgemindert werden wie bei der Kolbenmaschine. Störend ist auch die erforderliche Übersetzung, die Turbine arbeitet nur ökonomisch bei etwa der zehnfachen der für die Propeller brauchbaren Umdrehungszahl. Auch die Raumausnutzung ist nicht so ideal, wie es scheint; die Turbine kann nicht den vollen Durchmesser des Torpedos ausnutzen, da an dem Turbinengehäuse vorbei Rohrleitungen und Gestänge für andere Hilfsmaschinen zu führen sind. Die bisherigen negativen Ergebnisse besagen jedoch keineswegs, daß die Turbine als Antriebsmaschine für Torpedos endgültig auszuschalten ist; nach den Erfolgen der Turbine auf anderen Gebieten der Technik wird sie auch auf dem Gebiete des Torpedowesens noch eine Zukunft erhalten.



Abbildung 9. Vierzylinder-Maschine mit Ölgefäßen.

Die Torpedomaschine war anfangs dreizylindrig und wurde durch einen rotierenden Flachschieber gesteuert. Die neueren Maschinen sind vierzylindrig und haben Kolbenschieber oder Ventile zur Steuerung. Abbildung 9 zeigt eine Maschine eines neueren Torpedos und Abbildung 10 einen Schnitt durch eine solche. Der Zylinderkörper ist in einem Stück aus Bronze gegossen, einzelne Teile wie Kolben, Laufbuchse sind mit Rücksicht auf die zur Anwendung kommenden hohen Temperaturen bei den Heißluft- und Dampftorpedos aus Stahl gefertigt. Besondere Sorgfalt ist auf ausreichende Schmierung der gleitenden Teile gelegt, das Öl wird unter Druck den Lagern zugeführt. Das Kurbelgehäuse unter Öl zu setzen, wie bei Gasmotoren üblich, ist hier nicht möglich, weil es zwecks Ableitung der verbrauchten Luft mit der hohlen Propellerwelle in Verbindung stehen muß.

**DIE HEIZVORRICHTUNG.** Die ersten Torpedos benutzten die durch einen Druckregulator auf die Betriebsspannung reduzierte Kesselluft unmittelbar zum Antrieb der Maschine; bei gegebenem Kesselinhalt und feststehendem Luftverbrauch der Maschine war der Gesamteffekt also ein begrenzter, eine Steigerung war nicht möglich. Bei dem ständigen Drängen der Front nach Steigerung der Leistung des Torpedos lag da der Gedanke nahe, das Luftvolumen durch Anwärmen zu vergrößern. Die ersten Versuche, die Luft im Kessel durch eine Heizvorrichtung anzuwärmen, scheiterten an der praktischen Ausführbarkeit und Unzuverlässigkeit im Betriebe. Das andere Verfahren, die Luft durch eine in die zur Maschine führende Luftrohrleitung eingeschaltete Heizvorrichtung anzuwärmen, erwies sich als geeigneter. Die Versuche in dieser Richtung nahmen von Anfang an einen günstigen Verlauf, und nach etwa zweijähriger Erprobung war die Einrichtung so zuverlässig im Betriebe, daß ihrer Einführung in die Front nichts mehr im Wege stand. Seit dem Jahre 1905 etwa haben alle Torpedos, die konkurrenzfähig sein sollen, eine solche Heizvorrichtung. Der Leistungs-

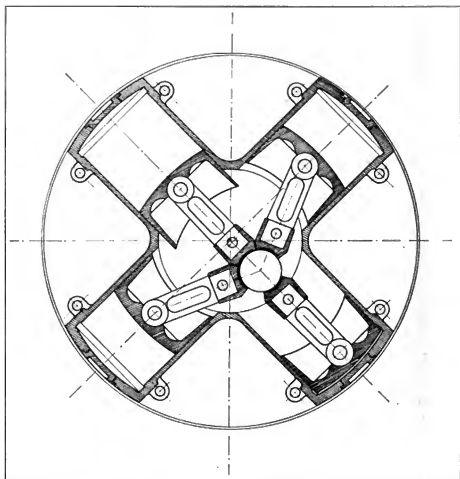


Abbildung 10.

Schnitt durch eine Vierzylinder-Maschine.

gewinn durch die Einführung der Heizvorrichtung betrug annähernd 100%, ein ganz bedeutender Sprung, den die Entwicklung der Torpedowaffe damit tat. Als Brennstoff wurde allgemein Spiritus verwandt und zum Zünden eine besonders konstruierte Zündpatrone von langer Brenndauer. Bemerkt sei bei dieser Gelegenheit wieder, daß die Schwierigkeiten nicht in der Schaffung der Konstruktion als solcher lagen, sondern in der Erfüllung der durch die Ballistik des Torpedos zu stellenden Bedingungen: sofortiges Anspringen der Vorrichtung beim Schuß und absolute Gleichmäßigkeit der Temperatur während des ganzen Laufes.

Die Anwärmung der Luft geschah bis auf 200—230 Grad, höhere Temperaturen konnten mit Rücksicht auf die Haltbarkeit der Maschine nicht angewandt werden.

Die Betriebssicherheit setzte hier also eine Grenze, theoretisch war eine Erhöhung der im Torpedo aufgespeicherten Energiemenge durch Mitgabe einer größeren Brennstoffmenge oder durch Verwendung eines Brennstoffes von größerem Heizwert, wie Benzin, Paraffinöl oder Petroleum, möglich. Diese Erkenntnis führte endlich zur Einführung der Verdampfeinrichtung. Neuere Torpedos sind also, wenn nicht besondere militärische Anforderungen ein anderes System verlangen, Dampftorpedos.

Als Brennstoff wird bei Dampftorpedos wegen seines hohen Wärmewertes meist Petroleum verwendet. Die mitgeführte Menge wird so bemessen, daß die Kesselluft bzw. der Sauerstoffgehalt derselben zur Verbrennung des Petroleums gerade ausreicht. Die Menge des zur Verdampfung gelangenden Wassers ergibt sich sodann aus der in dem Brennstoff aufgespeicherten Wärmemenge und der zulässigen Dampftemperatur, diese beträgt 300 bis 400 Grad. Durch die Einführung der Dampftorpedos ist gegenüber den Heißlufttorpedos eine weitere Leistungssteigerung von etwa 50% erzielt worden.

Es sind hauptsächlich zwei Konstruktionen von Verdampfern zur Einführung gekommen; beide ähneln den vorausgegangenen Luftanwärmevorrichtungen, nur daß an geeigneter Stelle Wasser hinzugeführt wird. Eine der beiden Ausführungsformen zeigt Abbildung 11. Bei dieser Ausführung wird das Wasser durch Druckluft nach der Wasserbrause im Verdampfer gepreßt und der Brennstoff durch denselben Wasserdruck nach der Brennstoffdüse. Diese Anordnung hat den Vorteil einer automatischen Temperaturregullierung. Bei der anderen Ausführungsform wird der Brennstoff durch Luftdruck und das Wasser durch eine besondere Pumpe zum Verdampfer gebracht. Bei diesem Verfahren ist eine Sicherheitseinrichtung zur Vermeidung zu hoher Temperaturen bei etwaigem Versagen der Pumpe erforderlich. Bei Verwendung einer Wasserpumpe ist der Einbau eines Wassergefäßes überflüssig, weil Seewasser zur Verdampfung benutzt werden kann; es wird dadurch erheblich an Raum gespart, und dies war besonders wertvoll für die Änderung der Heißlufttorpedos in Dampftorpedos, weil die nachträgliche Unterbringung eines Wassergefäßes nicht mehr möglich war.

DER TIEFENSTEUERAPPARAT. Der Tiefensteuerapparat dient zur Bewegung der Horizontalruder, durch welche der Torpedo unter Überwindung etwaigen Auftriebes oder Untertriebes oder sonstiger störender äußerer Einflüsse während seines ganzen Laufes auf der vorher eingestellten Tiefe und in horizontaler Lage gehalten werden soll. Die ursprüngliche Verwendung der hydrostatischen Platte allein war, wie früher bereits angedeutet, unzureichend, die Torpedolaufbahn glich einer starken Wellenlinie, der Torpedo kam nicht zur Ruhe. Erst die Hinzuziehung des Pendels, welches die Wirkung der Tiefenplatte

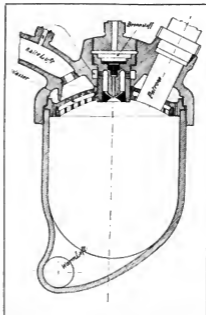


Abbildung 11. Schnitt durch den Verdampfer.

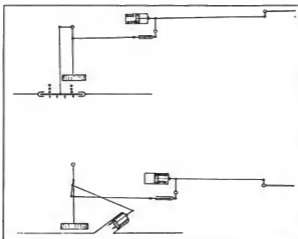


Abbildung 12.

Prinzip des Tiefenapparats.

verschiebt sich der Kolben. Diese Bewegung des Kolbens übertragen, welche ihrerseits einen entsprechenden Ausschlag auf die Horizontalruder hervorruft in dem Sinne, daß der Torpedo auf seine eingestellte Tiefe zurücksteuert. Das Pendel schlägt aus, wenn der Torpedo eine Neigung zur Horizontalen einnimmt. Dieser Pendelausschlag bewirkt ebenfalls durch Vermittlung der Steuermaschine einen solchen Ruderausschlag, daß der Torpedo das Bestreben hat, in seine horizontale Lage zurückzukehren.

Auch bei der Entwicklung des Tiefenapparates haben sich zwei verschiedene Systeme herausgebildet, von denen jedes seine Vorzüge und Nachteile hat. In Abbildung 12 sind diese beiden Systeme schematisch dargestellt. Im Prinzip unterscheiden sich beide dadurch voneinander, daß bei dem einen Tiefenkolben und Pendel getrennt voneinander, also jedes für sich auf die Steuermaschine wirken, während bei dem anderen Tiefenplatte und Pendel starr miteinander verbunden sind, also nur ihr gemeinsamer Einfluß auf die Steuermaschine zur Geltung kommt. Konstruktiv unterscheiden sie sich dadurch voneinander, daß bei dem einen ein Kolben, der wasserdicht in einem Zylinder eingeschliffen ist, angewendet ist, bei dem anderen dagegen eine durch Gummi abgedichtete Platte. Äußere Ansichten dieser beiden gebräuchlichsten Tiefenapparate zeigen die Abbildungen 13 und 14.

Die Tiefen lassen sich durch verschiedenes Span-

abschwächt, führte zu einem Erfolg.

Die Tiefendruckvorrichtung beruht auf folgendem Prinzip: In einem nach außen offenen Zylinder befindet sich ein Kolben, auf den einerseits der hydrostatische Druck, andererseits eine Feder wirken. Solange die beiden auf den Kolben wirkenden Kräfte im Gleichgewicht sind, d. h. der Torpedo sich auf der eingestellten Tiefe befindet, bleibt der Kolben in Mittelstellung stehen. Wenn der hydrostatische Druck, d. h. die Tiefe, in welcher der Torpedo sich befindet, zu- oder abnimmt wird auf die Steuermaschine



Abbildung 13. Tiefenapparat mit Tiefenplatte.

nen der Tiefenfeder von 0 bis 21 m einstellen. Diese verschiedenen Tiefeneinstellungen sind vorgesehen, um den verschiedenen Tiefgängen der Ziele — man will das Schiff möglichst tief treffen — Rechnung zu tragen. 12 m werden eingestellt bei gefechtsmäßigem Übungsschießen, bei dem die Schiffe unterschossen werden, um die Torpedos und Schiffe nicht zu beschädigen.

Neben dem Tiefenapparat ist die Steuermaschine der zweite wesentliche Teil des Tiefensteuermechanismus. Um

die Ruderblätter gegen den Druck des Wassers zu bewegen, der durch die hohe Geschwindigkeit des Torpedos ein ganz erheblicher ist, ist eine sehr große Kraft erforderlich, welche die Tiefenplatte und besonders das Pendel nicht hergeben. Deshalb ist zwischen Tiefenapparat und Ruder die Steuermaschine eingeschaltet. Sie ist wie alle anderen Hilfsmaschinen im Torpedo eine Luftmaschine. Konstruktion und Wirkungsweise sind aus Abbildung 15 zu erkennen. Der Verteilungsschieber steht durch ein Gestänge mit dem Tiefenapparat in Verbindung. Durch die bekannte Wirkungsweise des Wechselschiebers ist erreicht, daß jeder Stellung des Verteilungsschiebers eine ganz bestimmte Stellung des Kolbens und damit der Ruderblätter entspricht.

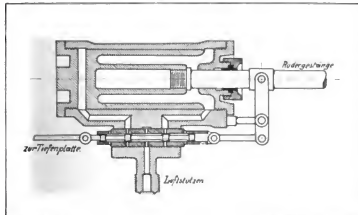


Abbildung 15.

Tiefensteuer-Maschine.



Abbildung 14.

Tiefenapparat mit Tiefenkolben.

Auf konstruktive Einzelheiten einzugehen, führte zu weit, es muß aber hier besonders hervorgehoben werden, daß die vorliegenden Konstruktionen das Endergebnis sehr langwieriger Versuche darstellen. Rechnungen führen hier nicht zum Ziele, die vorteilhaftesten Größen für Tiefenkolbenhub und Pendel-

weg können nur empirisch ermittelt werden. Aus ihnen und aus den günstigsten Ruderausschlägen ergeben sich die Einrichtungen des Übertragungsgestänges. Bei jeder Torpedoneukonstruktion ändern sich die Verhältnisse, und besonders bei jeder Geschwindigkeitszunahme vermehren sich die Schwierigkeiten: Dauern des einwandfreien Arbeiten aller Teile, Leichtgängigkeit, richtige Adjustierung sind Vorbedingung für einen guten Tiefenlauf. Genaue Vorschriften sorgen für eine ständige Beobachtung und Wartung der Tiefenmechanismen, und eine umfangreiche Prüfung derselben bildet einen Hauptpunkt der vorbereitenden Arbeiten beim Klarmachen des Torpedos zum Schuß.

**DER GERADLAUF-STEUERAPPARAT.** Mit der Weiterentwicklung des Torpedos bezüglich seiner Leistung — welche Faktoren hierzu gehören, haben wir an anderer

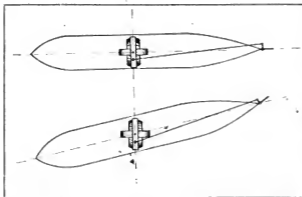


Abbildung 16.

Prinzip des Kreiselapparats.

Stelle erfahren — haben auch die Bestrebungen zur Verbesserung seiner Treffsicherheit gleichen Schritt gehalten. Die ersten Torpedos waren noch nicht mit einem Geradlaufapparat ausgerüstet, bei den damaligen geringen Schußweiten von 400 m trat die Notwendigkeit eines solchen auch noch nicht so in die Erscheinung. Als jedoch später durch die Verbesserung des Kesselmaterials die Möglichkeit größerer Schußweiten an sich gegeben war, trat durch das Fehlen eines Gerad-

laufapparats eine gewisse Krisis ein; die größere Energiemenge konnte nicht zweckentsprechend ausgenutzt werden, weil bei Schüssen über 400 m die Streuung des Torpedos so groß wurde, daß der Schuß militärisch unbrauchbar war. Da wurde durch den Kreiselapparat ein Mittel gefunden, das theoretisch unbegrenzte Schußentfernungen zuließ. Der Geradlaufapparat muß deshalb als eine der wichtigsten Erfindungen auf dem Gebiete des Torpedowesens bezeichnet werden.

Die Wirkung des Geradlaufapparats beruht auf der Anwendung des physikalischen Kreiselgesetzes: Ein Kreisel, der um seine Achse schnell rotiert, ist bestrebt, seine Drehungsebene beizubehalten. Ein solcher Kreisel ist im Torpedo angeordnet, und zwar so, daß seine Rotationsebene in der vertikalen Längsebene des Torpedos liegt. Um den Einfluß der beim Torpedolauf auftretenden Kränkungen des Torpedos auf den Kreisel auszuschalten, ist derselbe kardanisch aufgehängt. Wird der Torpedo während seines Laufes seitlich abgelenkt, so nimmt der Kreisel bzw. der äußere Ring relativ zum Torpedo eine andere Lage ein. Diese Veränderung der gegenseitigen Lage wird dazu benutzt, die Vertikalruder so zu legen, daß der Torpedo wieder zurückgesteuert wird. Abbildung 16 zeigt schematisch die Verbindung zwischen Kreisel und Ruder und die Wirkung auf die Ruder bei einer Ablenkung des Torpedos. In Wirklichkeit ist zwischen Kreisel und Ruder eine Steuermaschine eingeschaltet, welche die zum Bewegen der Ruder erforderliche Kraft hergibt. Abweichend von der vorher be-

schriebenen Tiefensteuer-  
maschine arbeitet die G.-  
A.- (Geradlaufapparat-)  
Steuermaschine nur auf  
Maximalausschläge, auch  
gibt es keine feste Mittel-  
lage. Die G.-A.-Ruder  
bleiben so lange in einer  
Endlage stehen, bis durch  
Gegensteuern die andere  
Endlage eintritt. Der Tor-  
pedolauflauf setzt sich also aus  
vielen kleinen Rechts- und  
Linkskurven zusammen,  
der Generalkurs ist aber  
die ursprüngliche Rotations-  
ebene des Kreisels.

Dieses Prinzip ist bei  
allen G.-A. bis heute bei-  
gehalten worden, die  
Weiterentwicklung hat sich  
lediglich auf Vervollkom-  
mung und Erzielung grö-  
ßerer Betriebssicherheit  
erstreckt.

Nachstehend sollen noch einige besondere Anforderungen an den G.-A., die ihrer-  
seits einen Schluß auf die Konstruktion zulassen, angedeutet werden. Das Anlassen  
des Kreisels erfolgt erst im Augen-  
blick des Schusses und muß beendet  
sein, bevor der Torpedo das Lancier-  
rohr verlassen hat, weil schon beim  
Eintritt des Torpedos in das Wasser  
die erste größere Ablenkung eintritt.  
Da der Torpedo mit etwa 15 bis 20 m  
pro Sekunde Geschwindigkeit aus-  
gestoßen wird, muß das Anlassen  
nach höchstens einer halben Sekunde  
beendet sein. Wenn berücksichtigt  
wird, daß der Kiesel 8000—10000  
Umdrehungen macht, so ist zu er-  
klären, daß zum Antrieb eine recht  
kräftige Anlaßvorrichtung gehört. Zum  
Anlassen des Kreisels benützt man  
entweder eine Feder oder eine Luft-  
turbine. Abbildung 17 zeigt einen  
G.-A. mit Federantrieb. Die Feder-  
trommel sitzt seitlich vom Kiesel und  
greift in eine Verzahnung, die in die



Abbildung 17.

Geradlaufapparat mit Federantrieb.



Abbild. 18. Geradlaufapparat mit Luftturbinenantrieb.

die



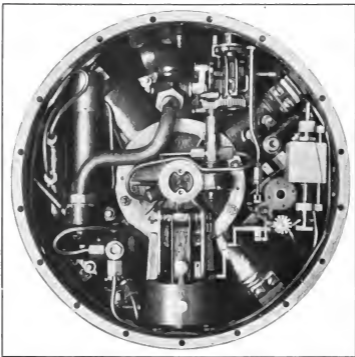


Abbildung 19.

Blick in die Maschinenkammer.

Kreiselachse eingeschritten ist. Abbildung 18 stellt einen G.-A. mit Luftantrieb dar, die Kreiselachse wird im Augenblick des Anlassens mit einer Luftturbine gekuppelt.

Der Kreisel muß während des ganzen Laufes seine Richtkraft behalten, die Umdrehungen dürfen also nicht wesentlich abnehmen. Um letzteres bei den langen Laufstrecken der modernen Torpedos zu sichern, ist ein dauernder Antrieb des Kreisels vorgesehen. Am Umfang des Kreisels sind Schaufeln ein-

gefräst, gegen die düsenartig ein Luftstrom stößt. Die Beaufschlagung muß selbstverständlich an solcher Stelle gewählt werden, daß dadurch ein Ablenken des Kreisels nicht eintritt. Eine Konstruktion benutzt auch diese Düse gleichzeitig zum ersten Anlassen des Kreisels; Federtrommel bzw. Turbine können dann wegfallen. Der Kreisel läuft in Kugellagern und ist sorgfältig ausgewuchtet und ebenso wie die Ringe genau ausbalanciert.

Der G.-A. ist wohl der empfindlichste Teil im Torpedo, er bedarf deshalb noch sorgfältigerer Wartung und Bedienung als der Tiefenapparat. Auch er wird vor dem Schuß einer genauen Prüfung unterzogen, denn es kommt hier nicht nur darauf an, einen möglichst geraden Lauf des Torpedos zu sichern, sondern auch Versager auszuschalten, die unter Umständen schwere Gefahren für das eigene Schiff bedeuten.

**WEITERE HILFSAPPARATE.** In den vorhergehenden Kapiteln sind die hauptsächlich zum Antrieb und zum Steuern des Torpedos wichtigen Einrichtungen besprochen worden. Um den Torpedo zu einer ballistisch wirklich brauchbaren und militärisch uneingeschränkt verwendbaren Waffe zu machen, sind noch eine ganze Reihe anderer Hilfseinrichtungen erforderlich. Ihr Vorhandensein, ihre nach richtigen Grundsätzen durchgeführte Konstruktion und ihr einwandfreies Arbeiten sind ebenso Vorbedingung für den brauchbaren Torpedoschuß, wie dies von den vorher beschriebenen Apparaten nachgewiesen wurde. Überhaupt hat beim Torpedo ein Versagen

des scheinbar nebensächlichsten Teiles meist einen Ausfall des Ganzen zur Folge, man kann die erwähnten Hilfsapparate also keineswegs als weniger wichtig bezeichnen. Eine Beschreibung aller dieser Apparate würde weit über den Rahmen des Buches hinausgehen, es kann deshalb nur eine Aufzählung derselben und eine Andeutung ihres Zweckes vorgenommen werden. Abbildung 19 zeigt die zusammengedrückte Anordnung dieser Apparate in der Maschinenkammer.

Der Druckregler. Er hat den Zweck, den Kesseldruck auf den für den Antrieb der Maschine geeigneten Arbeitsdruck zu reduzieren und diesen Arbeitsdruck während des ganzen Laufes des Torpedos trotz allmählichen Sinkens der Kesselspannung auf konstanter Höhe zu halten. Durch Verändern der Spannung der Reglerfeder kann der Arbeitsdruck und damit die Tourenzahl der Maschine beliebig verändert werden. Durch diese Einrichtung ist es möglich, jedem Torpedo zwei Geschwindigkeiten zu geben, eine hohe Geschwindigkeit für den Nachnahschuß und eine niedrige Geschwindigkeit für den Tagweitschuß. Das Produkt aus Geschwindigkeit und Laufstrecke ist so gewählt, daß die im Kessel aufgespeicherte Energie beim Schuß restlos aufgebraucht wird. Abbildung 20 zeigt einen Schnitt durch einen Druckregulator.

Die Maschinensper-  
rung. Sie hat den Zweck, bei Überwasserschuß das volle Anspringen der Maschine in der Luft so lange hinauszuschieben, bis der Torpedo in das Wasser ein-

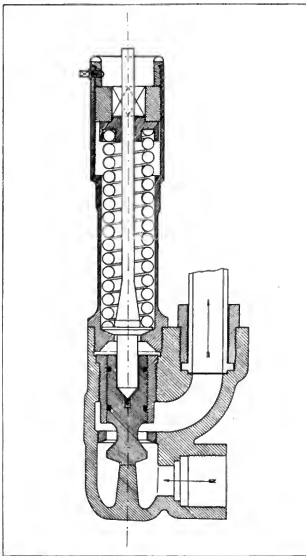


Abbildung 20.

Druckregulator.

getreten ist, bis dahin läuft die Maschine mit geringen Umdrehungen. Volles Anspringen bei Leerlauf würde die Maschine aus Festigkeitsgründen nicht vertragen. Betätigt wird die Einrichtung durch eine an der Unterseite des Torpedos angebrachte Klappe, die sogenannte Wasserschlagklappe.

Das Absperrventil. Es bildet den Hauptluftabschluß nach dem Kessel. Durch Öffnen dieses Ventils erhalten erst die Maschine und die übrigen Apparate Luft und werden in Betrieb gesetzt. Das Öffnen geschieht im Augenblick des Schusses durch Zurücklegen eines Hebels, der am Torpedo etwas hervortragt und durch eine besondere Einrichtung am Rohr betätigt wird.

Die Stoppvorrichtung. Sie hat den Zweck, den Torpedo nach Ablauf einer vorher beliebig eingestellten Laufstrecke zum Stoppen zu bringen. Das Einstellen der Laufstrecke geschieht an einem Markenrad, welches mit dem Absperrventil in Verbindung steht. Bestimmt wird die Laufstrecke durch Maschinenumdrehungen, die Einrichtung erhält ihren Antrieb von der Maschinenwelle.

Die Tiefenrudersperrung. Im Augenblick des Lancierens und während des ersten Teiles des Torpedolafes ist der Einfluß des Tiefenapparates meist schädlich und muß ausgeschaltet werden. Die Zeitdauer dieses Ausschaltens, die beim Einschießen jedes Rohres besonders ermittelt wird, kann am Torpedo durch ein Markenrad eingestellt werden. Für einen guten Niedergang des Torpedos genügt aber das Ausschalten des Tiefenapparates nicht allein, die Ruder müssen auch eine ganz bestimmte feste Lage haben. Das Einstellen dieser Ruderstellung gestattet die Vorrichtung ebenfalls.

Die Geradlauf-Rudersperrung. Ebenso wie bei den Tiefenrudern ergibt sich für die G.-A.-Ruder die Notwendigkeit, sie in besonderen Fällen eine bestimmte Zeitlang und in bestimmter Seitenlage zu sperren.

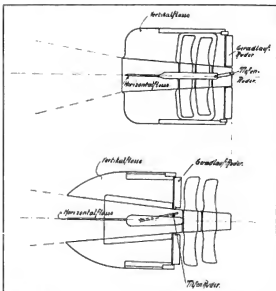


Abbildung 21.

Schwanzstück-Konstruktionen.

Die Sicherheitsvorrichtung. Es kommt häufig vor, besonders bei Unterwasser-Breitseiltröhen, daß der Torpedo weit über 90 Grad krängt, ja sogar ein- oder mehreremal überschlägt. Es ist verständlich, daß das Pendel dann einen willkürlichen Einfluß auf die Ruder ausüben wird. Um einen eventuell schädlichen Einfluß auszuschalten, werden durch obige Vorrichtung die Ruder ein für allemal so betätigt, daß sie auf Flachersteuerung wirken, daß der Torpedo also nicht in den Grund gehen kann.

Die Sinkvorrichtung. Die Torpedos sind mit Rücksicht auf das Wiedererlangen bei Übungsschüssen so geballastet, daß sie bei gestoppter Maschine an der Oberfläche schwimmen. Für den

Gefechtstorpedo ist es aus erklärlichen Gründen erwünscht, daß er, falls er sein Ziel verfehlt hat, nach Ablauf seiner Laufstrecke untergeht. Dies vermittelt die Sinkvorrichtung. Durch sie wird zu gegebener Zeit ein Ventil nach dem Tunnelstück geöffnet, so daß dieses voll Wasser läuft.

Die Öleinrichtung. Erwähnt werden soll noch, daß der Torpedo mit einer umfangreichen Schmiervorrichtung für die Luftschmierung, Kurbelwelle, alle Lager und gleitenden Teile, Steuermaschinen, Druckregler u. a. versehen ist. Das Öl wird durch Luftdruck an die Verbrauchsstelle gedrückt, Filter sorgen für Reinigung des Öls und eine Unterbrechervorrichtung für seine gleichmäßige Verteilung.

**DAS SCHWANZSTÜCK.** Den hinteren Abschluß des Torpedos bildet das Schwanzstück. Seine äußere Form hat sich im Laufe der Entwicklung des Torpedos fast nicht verändert, und dies ist erklärlich, denn seine Form ist die natürliche, die einzige, die überhaupt in Betracht kommt. Wohl haben sich bei den verschiedenen Entwicklungsstellen unterschiedliche Konstruktionen herausgebildet, aber die im Schwanzstück unterzubringenden Einrichtungen und ihre allgemeine Anordnung sind dieselben.

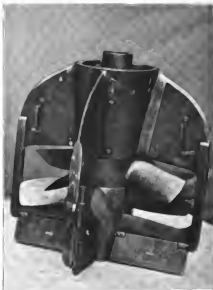


Abbildung 22. Schwanzstück.

Die von dem Schwanzstück aufzunehmenden Einrichtungen sind die Horizontal- und Vertikalflossen, die Horizontal- und Vertikalruder und die beiden Propeller nebst den zum Bewegen der Ruder und Propeller notwendigen Getrieben.

Die beiden gebräuchlichsten Schwanzstückformen zeigt Abbildung 21. Wie die beiden Skizzen erkennen lassen, unterscheiden sie sich dadurch voneinander, daß bei dem einen die Propeller vor den Rudern angeordnet sind, bei dem anderen hinter den Rudern ganz am Ende des Torpedos. Der Vorteil der vorderen Propelleranordnung liegt in der besseren Steuerwirkung, der der hinteren Propelleranordnung in der größeren Einfachheit der Konstruktion; hier fällt die komplizierte Umführung des Rudergestänges um die Propeller fort. Abbildung 22: Schwanzstück, vom Torpedo abgenommen.

Der Zweck der einzelnen Einrichtungen des Schwanzstückes ist leicht zu erkennen. Die Flossen sollen die nachteiligen Rollbewegungen des Torpedos vermindern. Gleichzeitig dienen sie zur Aufnahme der Ruderachslager und zur Befestigung von Gleitstücken zur besseren Führung des Torpedos im Lanzierrohr.

Propeller zum Antrieb des Torpedos sind zwei, und zwar entgegengesetzt laufende, erforderlich, weil bei Benutzung nur eines Propellers infolge des Reaktionsdruckes ein starkes Krängen des Torpedos eintreten würde. Der hintere Propeller sitzt unmittelbar auf der Maschinenwelle, der vordere Propeller sitzt auf der äußeren Welle, die ihre entgegengesetzte Drehrichtung durch ein Kammrädergetriebe in der Schwanzstücknabe erhält. Die älteren Torpedos hatten zweiflügelige Propeller, die neueren haben

drei- oder vierflüglige. Die Form der Propeller hat sich im Laufe der Jahre entsprechend den wachsenden Anforderungen selbstverständlich auch verändert. Alle heutzutage zur Verwendung kommenden Propeller, sei es die flache Griffithschraube oder die stark gekrümmte Hirschschraube, müssen, was ihren Nutzeffekt anbelangt, als äußerst vollkommen bezeichnet werden. Auch dies ist wieder als das Ergebnis langjähriger Versuche und Erfahrungen zu bezeichnen.

Am Schluß des Kapitels, welches den praktischen Aufbau des Torpedos darstellt, kann nicht unterlassen werden, darauf hinzuweisen, daß die Entwicklung der Torpedowaffe sich nicht nur, wie vielleicht aus vorstehendem hervorgehen könnte, auf empirische Ermittlungen gegründet hat, sondern daß die Torpedotechnik auch alle Gebiete der technischen Wissenschaften umfaßt. Ohne Zuhilfenahme dieser wäre es wohl nicht möglich gewesen, den Torpedo zu einem so vollkommenen und leistungsfähigen Instrument zu gestalten. Um ein Beispiel aus dem Gebiete der Wärmetechnik herauszugreifen, sei festgestellt, daß die Torpedomaschine in Verbindung mit der Verdampfeinrichtung eine Wärmekraftmaschine darstellt, die, was den Wärmeeffekt anbelangt, bisher von keiner anderen Maschine erreicht werden konnte, und die intermittierende Zündung der Motoren, die in der Torpedotechnik als Mangel erkannt worden ist, wird vielleicht auch noch einmal im Motorenbau verworfen und durch eine für alle Zylinder gemeinsame und außerhalb derselben angeordnete ununterbrochene Zündung ähnlich der Heizvorrichtung des Torpedos ersetzt werden.

### 3. DIE TORPEDO-AUSSTOSZROHRE

ÜBER TORPEDOBALLISTIK. Unter Torpedoballistik versteht man die Lehre von den Bewegungsverhältnissen des Torpedos während des Schusses. Wenn diese den Torpedo eigentlich nur selbst betreffenden Eigenschaften unter dem Abschnitt Rohre behandelt werden, so geschieht dies aus ganz bestimmten Gründen.

Der Torpedofachmann zerlegt die Torpedolaufbahn der verschiedenen Behandlungsweisen wegen zweckmäßig in zwei streng voneinander zu trennende Abschnitte: den Niedergang und den beruhigten Tiefenlauf. Der Niedergang ist der erste Teil der Laufbahn vom Verlassen des Rohres an bis zum Eintritt des beruhigten Tiefenlaufes; er ist 50 bis 100 m lang, mitunter auch 200 m und mehr.

Der eigentliche Tiefenlauf ist der verhältnismäßig leichter zu beherrschende Teil der Laufbahn. Dies ist dadurch begründet, daß es hauptsächlich innere, durch das



Abbildung 23.

Tiefenlauf-Diagramm.

Zusammenarbeiten der einzelnen Torpedomechanismen hervorgerufene Kräfte sind, die den Lauf des Torpedos ungünstig zu beeinflussen suchen. Diese Kräfte sind konstant, oder selbst wenn sie unregelmäßig sind, werden sie leichter erkannt, so daß sich auch Maßnahmen treffen lassen, ihrem Einfluß entgegenzuarbeiten. Der ideale Tiefenlauf ist der, bei dem der Torpedo ohne Abweichungen der Höhe und Seite nach auf gleicher Tiefe und mit konstanter Geschwindigkeit seinen Weg zurücklegt. Abbildung 23 zeigt das Diagramm eines Tiefenlaufes, wie es mittels eines Registrierkopfes beim Einschließen eines jeden Torpedos aufgezeichnet wird. Bei Torpedogeswindigkeiten bis zu etwa 30 Knoten ist es bei dem heutigen Stand der Torpedotechnik nicht be-

sonders schwer, den idealen Tiefenlauf zu erreichen, die Schwierigkeiten treten erst bei höheren Geschwindigkeiten auf. Es ist dies erklärlich, wenn bedacht wird, daß, je größer die Geschwindigkeit, desto größer auch das Übersteuern und die Beunruhigungen beim Lauf des Torpedos werden, die durch Unregelmäßigkeiten im Gang der Maschine entstehen, durch Fehler im Arbeiten des Tiefenapparats oder durch Versagen eines Einzelteils.

Den ersten Teil der Torpedobahn, den Niedergang, zu beherrschen, ist weit schwieriger. Die während dieses Teiles den Torpedolauf beeinflussenden Kräfte sind hauptsächlich äußere, und diese sind so verschiedenartig und ständig wechselnd, daß sich bestimmte Regeln für ihre Bekämpfung eigentlich überhaupt nicht aufstellen lassen.

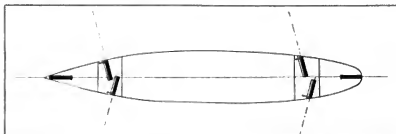


Abbildung 24.

Rohranordnung auf Panzerschiffen.

Z. B. wird der Torpedo beim Überwasserschuß von einem schnellfahrenden und meist in starken Bewegungen befindlichen Torpedoboot willkürlich von einer See erfaßt und unberechenbar herumgeworfen, oder er ist beim Unterwasserbreitseiteuschuß den bei jeder Schiffsgeschwindigkeit verschiedenen Wasserströmungen ausgesetzt. Dazu kommt, daß sich der plötzlich unter Druck gesetzte Druckregulator, die Verdampfer-einrichtung und die Maschine erst auf gleichmäßigen Betrieb einspielen und der Tiefenapparat und die anderen Mechanismen einstellen müssen. Kurzum, alle im Torpedo verfügbaren Mittel, wie Rudersperrung, sind nicht imstande, den beim Eintritt ins Wasser auftretenden, momentan wirkenden kolossalen Kräften wirksam entgegenzuarbeiten. Hier muß also der Rohrkonstrukteur mit seinen Mitteln eingreifen. Durch geeignete Wahl der Rohrkonstruktion ist es möglich, die nun einmal nicht aus der Welt zu schaffenden, den Torpedo nachteilig beeinflussenden Kräfte von dem Torpedo abzuhalten oder wenigstens so abzuschwächen, daß er sie überwinden kann. Das richtige Lancieren ist Vorbedingung für den brauchbaren Torpedoschuß, das Ausstoßrohr ist das Mittel zum Zweck. Das Torpedorohr bildet deshalb einen ebenso wichtigen und im Laufe der Jahre gleichwertig entwickelten Teil der Torpedoar-mierung wie der Torpedo selbst. Die Beschreibung dieses Teiles der Torpedowaffe soll Aufgabe nachstehender Abhandlung sein.

**TORPEDO-AUSSTOSZROHRE AUF SCHLACHTSCHIFFEN.** Ein modernes Schlachtschiff ist außer der Artillerie auch mit Torpedorohren ausgestattet. Bei der großen Leistungsfähigkeit der neuen Torpedos ist es geboten, möglichst viele Rohre und möglichst nach allen Seiten gerichtet anzuordnen. Durch Einführung des Winkelschuß-G.-A. und einer Schnelladeeinrichtung ist es möglich geworden, die Zahl der Rohre eines Schiffes zu verringern, ohne den Gefechtswert zu beeinträchtigen, ein wesentliches Moment, da die Zahl der Rohre wegen der erheblichen Gewichts- und

Raumbeanspruchung immerhin nur eine begrenzte sein kann. So hat sich die in Abbildung 24 dargestellte Rohranordnung ergeben, nach jeder Seite zwei Breitseitrohre und ein Bug- und ein Heckrohr. Die Rohre sind zweckmäßig an den Schiffsenden gelegen, weil der Raum mittschiffs von der Kessel- und Maschinenanlage in Anspruch genommen wird.

Die Rohre sind ausschließlich Unterwasserrohre mit Rücksicht auf den erforderlichen Schutz gegen Artilleriefeuer. Der Konstruktion nach unterscheidet man zwei Arten von Rohren: Bug- und Heckrohre einerseits und Breitseitrohre anderseits.

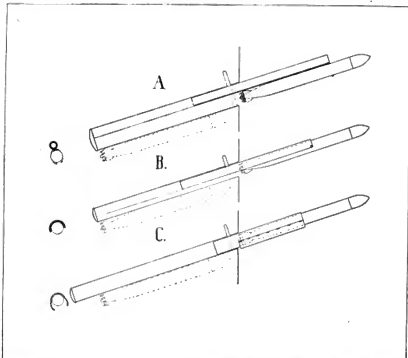


Abbildung 25.

Drei Systeme von Unterwasser-Breitseitrohren.

Die Ausführung der ersten ist verhältnißmäßig einfacher. Die Torpedorohre haben 1 bis 2 mm größeren Durchmesser als der zugehörige Torpedo und sind im Gegensatz zu den Geschütrohren sehr dünnwandig, etwa 8 bis 10 mm stark. Mit Rücksicht auf Seewasserbeständigkeit sind sie ebenso wie alle Armaturen aus Bronze hergestellt. Nach außenbords sind die Rohre abgeschlossen durch eine Mündungsklappe, nach dem Torpedoraum hin durch einen Bodenverschluß; beim Laden wird also der Bodenverschluß geöffnet, beim Schuß die Mündungsklappe. Der Ausstoß des Torpedos erfolgt mit komprimierter Luft, durch welche dem Torpedo 15 bis 20 m pro Sekunde Geschwindigkeit erteilt werden, je nachdem für den Niedergang erwünscht ist.

Recht umfangreich sind die für den Betrieb des Rohres erforderlichen Armaturen.

Einige der wichtigsten seien nachstehend aufgezählt: der Haltebolzen, der den Torpedo mittels einer oben am Kessel angeschraubten Warze (Abbildung 6) vor dem Schuß festhält und im Augenblick des Schusses freigibt; der Öffnungshaken, der beim Schuß den Öffnungshebel am Torpedo betätigt und dadurch das Anspringen der Maschine veranlaßt; die Ausstoßvorrichtung mit Ausstoßpatronen, Ausstoßventilen und Patronenfüllvorrichtung; die Abfeuvorrichtung, bestehend aus Handabzug und elektrischer Abfeuerung; Winkelschuß-Einstellvorrichtung; ferner Rohrentwässerungseinrichtung, Bewegungsvorrichtung für die Verschlüsse, Ladevorrichtung u. a.

Ein wichtiges Kapitel bilden die Verblockungen eines Torpedorohres, das sind Einrichtungen, die ein Bedienen des Rohres nur in ganz bestimmter Reihenfolge zulassen und dadurch bei etwaigen Bedienungsfehlern durch das Personal oder bei Versagern Materialbeschädigungen und womöglich Gefahren für das Schiff abwenden. Z. B. verhindert eine Verblockung das gleichzeitige Öffnen von Mündungsklappe und Bodenverschluß, damit der Raum nicht voll Wasser laufen kann, oder eine andere, daß die Mündungsklappe beim Schuß noch geschlossen ist, weil sonst der Torpedo gegen die Mündungsklappe geschossen und an dieser detonieren würde. Die Zahl der Verblockungen beträgt bei einem Bugrohr 8—10.

Weit komplizierter ist die Konstruktion der Unterwasserbreitseitrohre, weil diese eine Einrichtung erfordern, durch die der Torpedo noch außerhalb des Rohres eine Zeitlang geführt wird, damit er nicht durch Fahrtstrom abgebrochen wird. Die Führung ist auf verschiedene Weise möglich; es haben sich hier drei Systeme entwickelt, die in Abbildung 25 schematisch dargestellt sind. A. Die Führung geschieht durch einen kurz vor dem Schuß ausgefahrenen kräftigen Balken, an dem sich der Torpedo mittels vorn an seinem Kessel angebrachter Hakenwarzen so lange hält, bis das Schwanzstück frei von der Rohrmündung ist. B. Die Führung geschieht durch einen den Torpedo nach vorn gegen den Wasserstrom schützenden halbrunden Schild. C. Der Torpedo wird gleichzeitig mit einem rohrartigen Gehäuse ausgestoßen, das in einer äußeren

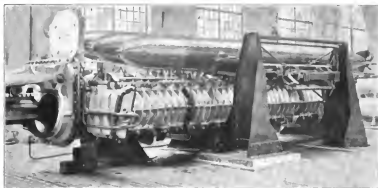


Abbildung 26.

Unterwasser-Breitseit-Rohr-System A.

Stellung festgehalten wird und nach hinten Klappen öffnet, so daß der Torpedo frei abschwimmen kann. Alle drei Systeme sind eingeführt und so vervollkommenet, daß sie ein Schießen bis zu den höchsten Schiffsfahrten gestatten. Eine Ausführungsform nach A zeigt Abbildung 26 und nach C Abbildung 27.



Infolge dieser Einrichtung müssen die Breitseitrohre viel kräftiger gebaut werden, und durch die maschinelle Ausfahrvorrichtung des Balkens und die damit zusammenhängenden Einrichtungen werden die Armaturen und die erforderlichen Verblockungen umfangreicher.

Die Breitseitrohre werden entweder ebenso wie die Bugrohre durch einen Bodenverschluß geladen oder, weil dies oft die Breite der Schiffe nicht zuläßt, durch einen Deckelverschluß, der die ganze Länge des Rohres einnimmt. Die Betätigung des

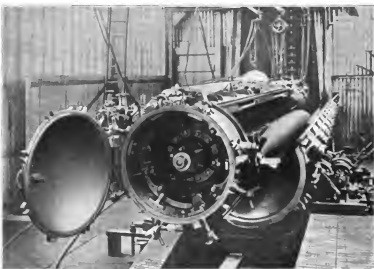


Abbildung 27.

Unterwasser-Breitseit-Rohr-System C.

Deckels geschieht ebenfalls maschinell. Diese Rohrkonstruktion bietet den Vorteil einer größeren Ladegeschwindigkeit. Das Laden geschieht bei neueren Rohren automatisch, die Reservetorpedos liegen über dem Rohr, von wo sie die Ladevorrichtung wegnimmt (Abbildung 26).

**DAS TORPEDOBOOTSROHR.** Das Torpedoboot zählt mit zu den Fahrzeugen, die den Torpedo als Hauptwaffe führen. Es verdankt sein Entstehen hauptsächlich dem Bestreben, den Torpedoschuß auf möglichst kurze Entfernung und unbemerkt anzubringen. Die Entwicklung der Torpedoboote war insofern in hohem Maße von dem Stande der torpedotechnischen Errungenschaften abhängig. Als die Fortschritte der Torpedotechnik eine erweiterte Verwendung des Torpedos ermöglichten, indem außer dem Nahschuß noch der Weitschuß geschaffen wurde, konnten erhebliche Displacementssteigerungen der Boote vorgenommen werden, was wiederum der Geschwindigkeit, dem Aktionsradius und der Seefähigkeit zugute kam. Aus diesem Entwicklungsgang heraus ist der moderne Zerstörer entstanden mit einer so starken Torpedoarmierung, wie in Abbildung 28 dargestellt.

Die Torpedoarmierung auf Torpedobooten besteht ausschließlich aus Überwasserrohren. Um eine möglichst große Vielseitigkeit in der Verwendung zu erzielen, sind die Rohre schwenkbar. Die Aufstellung entspricht den taktischen Anforderungen: zwei Rohre mit Hauptschußrichtungen nach vorn, die Doppelrohre nach den Seiten.

Die Rohre selbst müssen stark fundamentierte und kräftig gebaut sein, um dem Seeschlag genügend Widerstand zu leisten. Im übrigen sind die Überwasserrohre viel einfacher als die Unterwasserrohre. Die Konstruktion eines Überwasserrohres

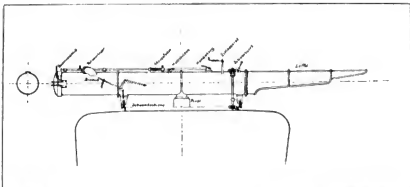


Abbildung 28.

Skizze eines Torpedobootsrohres.

zeigt Abbildung 29. Es besteht aus zwei Teilen, dem eigentlichen Rohr und dem sogenannten Löffel. Letzterer dient zur Führung des Torpedos, an ihm hängt der Torpedo mittels einer am Kessel befestigten T-förmigen Warze so lange, bis das Schwanzstück vom Rohr freifallen kann. Das Rohr ist entweder aus Blechen zusammengenietet oder aus Bronze gegossen. Überwasserrohre haben nur hinten einen Verschuß, vorn sind sie dauernd offen. Die Armatur ist sehr einfach, was sehr willkommen ist, da sie, allen Witterungseinflüssen ausgesetzt, leicht zu konservieren sein muß. Den Hauptbestandteil derselben bildet das Abzugsgestänge; es ist dies eine in mehreren Lagern geführte, parallel zur Achsenrichtung des Rohres verschiebbare bronzene Stange. Das Bewegen des Gestänges im Augenblick des Schusses versieht eine kräftige Feder; gehalten wird das Gestänge in gespannter Stellung durch die Abzugsvorrichtung. Das Gestänge betätigt beim Schuß den Haltebolzen, wodurch der Torpedo freigegeben wird, den Öffnungshaken, wodurch die Maschine angelassen wird, und schließlich die Ausstoßvorrichtung.

Der Ausstoß erfolgt im Gegensatz zu den Unterwasserrohren durch Pulver, nur in Sonderfällen auch durch Luft. Zum Ausstoß genügt eine Patrone von etwa 500 g Schwarzpulver; für den Achterauschuß werden aus ballistischen Gründen zwei solcher Patronen verwendet. Das Zünden der Patronen versehen durch das Abzugsgestänge betätigte Friktionszündschrauben. Einige einfache Verblockungen sind ebenfalls vorhanden, z. B. eine solche, die ein Anschließen des eigenen Bootes verhindert.

An sonstigen Einrichtungen sind zu erwähnen das auskuppelbare Schwenkwerk, die Rohrbremsen, der Zielapparat und die Ladevorrichtung.

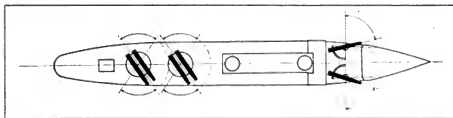


Abbildung 29.

Rohranordnung auf Torpedobooten.

Eine wichtige Einrichtung ist noch zu nennen, die Sicherheitsstellung der Pistole. Um zu verhindern, daß die an sich schußsichere Gefechtskopfladung durch Vermittlung der Initialladung der Pistole bei etwaigem Geschößtreffer zur Detonation kommen



Abbildung 30.

Torpedobootsrohr in der Werkstatt montiert.

gehalten. Die Anordnung der Tragearme ist in Abbildung 30 vorn am Löffel zu erkennen.

DAS UNTERSEEBOOTS-AUSSTOSZROHR. Seine bisher bei weitem umfangreichste Verwendung hat der Torpedo durch den Unterseebootskrieg erhalten; wenn bei den Großkampfschiffen der Wert der Torpedowaffe hauptsächlich ein moralischer war, d. h. dem Gegner infolge des Vorhandenseins eines Torpedos mit bestimmter Reichweite schwierige taktische Manöver aufgezwungen wurden, so sind in dem Weltkrieg von U-Booten Tausende von Torpedos tatsächlich verschossen worden. Der U-Boots-Krieg hat also erst einen greifbaren Beweis für die Leistungsfähigkeit des

kann, wird die Gefechtspistole bei schußklarem Torpedodurchbesondere Tragearme so weit außerhalb des Kopfes festgehalten, daß die Initialladung keinen Einfluß mehr auf die Kopfladungsausüben kann. Erst im Augenblick des Schusses schießt sich die Pistole in den Kopf und wird hier durch Klinkfedern

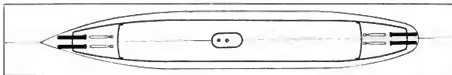


Abbildung 31.

Rohranordnung auf U-Booten.

Torpedos erbracht und gleichzeitig wertvolles Material geliefert für die Weiterentwicklung der Waffe und ihre praktische Handhabung an Bord.

Ursprünglich waren die U-Boote nur mit einem Bugrohr armiert; die Unterbringung von mehr Rohren war wegen der außerordentlich beschränkten Raumverhältnisse

einfach nicht möglich. Die stete Vergrößerung des Displacements der Boote brachte auch eine Verstärkung der Torpedoarmierung mit sich, oder richtiger umgekehrt, in der Erkenntnis des militärischen Wertes der Unterseebootswaffe zwang die Verstärkung und Verbesserung der T-Armierung zu einer ständigen Vergrößerung der Boote. Die neuen Unterseeboote tragen eine Armierung von zwei bis vier Bugrohren und zwei Heckrohren. Jedes Rohr führt einen schußklaren Torpedo, und außerdem gehört zu jedem Rohr noch mindestens ein Reservetorpedo. Die allgemeine Anordnung von Rohren und Torpedos zeigt Abbildung 31.

Was die Rohre selbst anbelangt, so sind sie im Prinzip ebenso konstruiert wie die Bugrohre auf Kampfschiffen, nur sind sie mit Rücksicht auf die besonderen schiffbaulichen Forderungen ungemein gedrängt und ohne Einschränkung ihrer Stabilität leicht gebaut.

Sie sind aus Bronzegegossen und für Tauchtiefen von 50 bis 100 m drucksicher. Der Ausstoß des Torpedos erfolgt mit Luft, die Armaturen und ebenso die Verblockungen sind deshalb allgemein dieselben wie bei anderen



Abbildung 32.

Fertig montierte Bugrohre eines U-Bootes.

Unterwasserrohren. Eine aus tauchtechnischen Gründen erforderliche Einrichtung ist zu erwähnen: die Befeuchtungsanlage für die Rohre. Weder durch den Schuß noch durch das Nachladen von Torpedos darf der Trimm des Bootes wesentlich verändert werden, d. h. es dürfen keine Gewichte im Boot hinzukommen oder fortfallen oder stark verschoben werden. Beim Schuß ist durch das Eindringen von Wasser in das Rohr der Gewichtsausgleich von selbst geschaffen, der Torpedo hat ein spezifisches Gewicht annähernd gleich 1. Beim Wiederladen des Rohres darf aber dieses Wasser nicht, wie bei anderen Rohren üblich, nach außenbords gedrückt werden, sondern muß im Bootinneren verbleiben. Für diesen Zweck ist für jedes Rohr ein besonderer Tank, der sogenannte Torpedotank, vorgesehen. Ebenso muß das Rohr vor dem Öffnen der Mündungsklappe aus einem besonderen Tank bewässert werden, damit nicht von außenbords Wasser in das Rohr gelangt und dadurch das Boot mehr belastet. Eine mit allen Armaturen und Verblockungen fertig montierte Gruppe von vier Bugrohren zeigt Abbildung 32.

Um die Torpedoarmierung der Boote zu verstärken, hat man vielfach an Deck, also außenbords, sogenannte Abgangsrohre aufgestellt. Es sind dies eigentlich nur gitterförmige Rahmen, die dem Torpedo eine Führung geben und aus denen er sich im Augenblick des Schusses mit eigener Maschinenkraft herausarbeitet; die Ausstoß-

vorrichtung fehlt also; die Abgangsrohre sind außerordentlich einfach und trotzdem militärisch recht brauchbar. Ihr Nachteil besteht darin, daß der Torpedo ständig im Wasser lagert, wodurch eine besondere Sorgfalt bei seiner Konservierung notwendig wird.

Unterwasserbreitseitrohre, eine dringende militärische Forderung, gibt es bisher auf U-Booten noch nicht, weil die geringe Breite der Boote den Einbau solcher Rohre nicht zuließ. Ein zwar nicht ganz vollwertiger, aber immerhin brauchbarer Ersatz ist durch die Einführung des Winkelschusses gegeben. Bei neueren Torpedos läßt sich mittels einer Einrichtung am Rohr durch einen einfachen Handgriff jeder beliebige Schußwinkel einstellen; bei einem eingestellten Winkel von beispielsweise 90 Grad

BB beschreibt der Torpedo nach Verlassen des Rohres einen kurzen Bogen nach links und steuert dann senkrecht zur Rohrachse in geradem Kurs weiter. Der Ersatz des Breitseitrohres durch den Winkelschuß ist insofern kein vollwertiger, als das Zielverfahren kein ganz genaues ist. Da in der Deplacementssteigerung der Unterseeboote aber sicher vorläufig kein Stillstand eintreten wird, so werden die Raumverhältnisse noch eine weitere Verstärkung der Torpedoausrüstung und besonders den Einbau von Breitseitrohren zulassen. Letztere Frage erhält noch eine besondere Bedeutung dadurch, daß durch das Größerverwerden der Boote diese immer schwerfälliger und manövrierunfähiger werden und aus taktischen Gründen immer mehr auf den Breitseitschuß angewiesen sind.

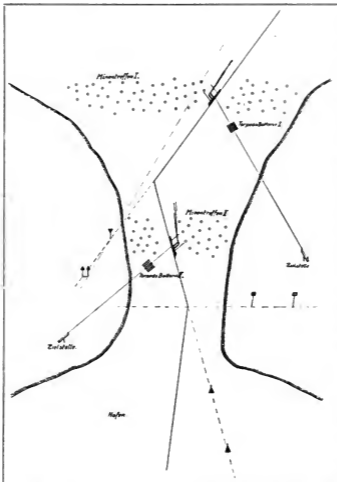


Abbildung 33.

T-Batterie bei Hafenverteidigung.

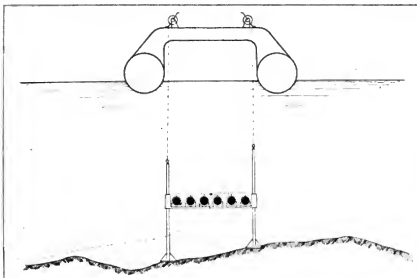


Abbildung 34.

Schema einer Torpedobatterie.

**DIE TORPEDOBATTERIE.** Bisher ist von dem Torpedo nur als Offensivkampfmittel gesprochen worden, mit der Torpedobatterie findet er aber auch als reine Defensivwaffe Verwendung. Als solcher dient er zur Verteidigung von Hafeneinfahrten, gewissermaßen als Vervollständigung der Minensperren. Die zum Schutz eines Hafens ausgelegten Minensperren müssen stets für die eigene Schifffahrt eine Durchfahrt freilassen; um aber auch diese Lücke in der Minensperre unbedingt zu sichern, dienen die Torpedobatterien. Abbildung 33 zeigt ein Beispiel einer Hafenschutzanlage durch zwei Minentreffen und entsprechend zwei Torpedobatterien.

Die Batterie selbst besteht aus sechs parallel nebeneinander angeordneten, durch eine Eisenkonstruktion starr miteinander verbundenen Rohren. Das Ganze ruht auf vier der Länge nach verstellbaren Säulen, die ein horizontales Lagern selbst bei unebenem Grund ermöglichen. Die Rohre sind meist Abgangsrohre, d. h. der Torpedo wird nicht mit Luft ausgestoßen, sondern arbeitet sich mit eigener Maschinenkraft aus der gitterförmigen Führung heraus.

Die Batterie wird mittels eines besonderen Schwimmfloßes (Abbildung 34) an Ort und Stelle gefahren und hier mit beabsichtigter Schußrichtung versenkt. Dann wird das Floß entfernt, und die Batterie ist vollkommen unsichtbar. Abgefeuert wird auf elektrischem Wege von einer versteckten Landstation. Die Torpedos sind mit Rücksicht auf die besonderen Anforderungen für Batteriezwecke in Einzelheiten abweichend von den normalen Typen konstruiert und gebaut. Der Kessel z. B. ist wegen Seewasserbeständigkeit entweder aus Bronze, oder, wenn aus Stahl, dann mit einem Kupferüberzug versehen; das Hauptluftabsperrentil hat eine Membrandichtung, um jeden Luftverlust durch etwaige Undichtigkeiten des Ventils bei dem langen Lagern zu verhüten.

Bei der Konstruktion der Torpedos war jedenfalls darauf Bedacht zu nehmen,

daß dieselben mehrere Wochen, ja sogar Monate ohne die geringste Möglichkeit einer Konservierung und Bearbeitung im Seewasser liegen müssen.

**SONSTIGE VERWENDUNG DES TORPEDOS.** Außer den bisher beschriebenen sind im Laufe des Krieges eine ganze Reihe anderer Verwendungsmöglichkeiten für den Torpedo geschaffen worden. Wie auch bei dem Landkriege die mannigfaltigsten Hilfswaffen, so verdanken auch solche Torpedoarmierungen ihre Entstehung meist augenblicklichen militärischen Bedürfnissen. Hierzu rechnen z. B. die Ausrüstung der Hilfskreuzer, Wachtschiffe, Fischdampfer u. a. mit Torpedorohren. Die Rohre, fast durchweg einfache Überwasserrohre, wurden vielfach nur provisorisch aufgebaut, meist versteckt hinter einer unscheinbaren Verkleidung. Sie bildeten für diese sonst ungeschützten und artilleristisch verhältnismäßig schwach armierten Fahrzeuge ein wirksames Verteidigungsmittel und bei sich bietender Gelegenheit eine beachtenswerte Angriffswaffe.

Diese Armierungen bieten an sich nichts Neues; vom militärischen und torpedotechnischen Standpunkt aus interessant muß jedoch die Torpedoarmierung schnellfahrender Motorboote bezeichnet werden. Gerade kleinere Boote werden ja in der ersten Zeit nach seiner Einführung dazu benutzt, um den Torpedo unbemerkt an den Feind heranzutragen. Aber in dem Maße, wie die allgemeine Steigerung der Schiffsgeschwindigkeiten einsetzte, verloren diese mit Abgangsrohren bewaffneten Fahrzeuge ihre Existenzberechtigung. Erst die Schaffung sehr schnell fahrender Motorboote ließ die Frage einer Ausrüstung dieser Fahrzeuge mit Torpedos neu beleben. Die technischen Schwierigkeiten hierbei waren die, daß solche Boote nicht imstande waren, ohne erhebliche Einbuße an Geschwindigkeit größere Gewichte, besonders an ihrem Bug, zu tragen. Viele Projekte, wie der Einbau von Heckrohren, erwiesen sich aus militärischen Gründen nicht als brauchbar; ein Boot, welches überraschend einen Angriff fahren soll, muß den Torpedo nach vorn schießen können. Dazu kamen ganz erhebliche ballistische Schwierigkeiten, wenn nicht eine bedeutende Fahrtverminderung



Abbildung 35.

Torpedoschuß vom Flugzeug.

im Augenblick des Schusses in Kauf genommen werden sollte. Schließlich gelang es aber doch, diese Schwierigkeiten durch geeignete Konstruktion des Rohres und Anwendung verschiedener Hilfsmittel zu überwinden, so daß in dem Torpedomotorboot eine sehr wirk-

same Waffe für den Küstenkrieg entstanden ist. Die Erfolge der mit Torpedos arrierten Motorboote an der flandrischen Küste sind ein Beweis für den Wert solcher Waffen.

Als ein Kampfmittel ganz moderner Art muß das Torpedoflugzeug bezeichnet werden. Dieses erfüllt auch in hohem Maße die vom militärischen Standpunkt aus zu stellende Forderung an den Träger der Waffe, nämlich die Waffe so schnell und so nahe wie möglich an den Feind heranzutragen. Auch hier schienen anfangs die Gewichtsfragen unüberwindliche Schwierigkeiten der Durchführung des Projektes im Wege zu stehen. Nachdem es aber dank der außerordentlich hohen Entwicklung des Flugzeugbaues gelungen war, die Flugzeuge, und zwar in diesem Falle die Wasserflugzeuge, so auszustatten, daß sie fähig waren, Gewichte zu tragen, die denen eines modernen Torpedos entsprachen, war das Problem für den Torpedotechniker gelöst. An Stelle eines Ausstoßrohres wurde eine Abwurfvorrichtung konstruiert, die den Torpedo nach dem Anlassen der Torpedomaschine einfach fallen ließ, und der Niedergang konnte nach Abschluß der Versuche gut beherrscht werden. Zum Schuß muß das Flugzeug selbstverständlich aus größeren Höhen heruntergehen, Abwurfhöhen von 10 bis 20 m sind die geeignetsten (Abbildung 35 zeigt einen Schuß aus 30 m Höhe). Ein Schießen des Torpedos wie bei den vorher beschriebenen Torpedobewaffnungen ist deshalb nicht erforderlich, weil dem Torpedo durch die Flugzeugbewegung bereits eine reichlich große axiale Geschwindigkeit innewohnt. Die Schußgenauigkeit ist infolge der Einrichtung des G.-A. dieselbe wie bei Verwendung von Ausstoßrohren, der Torpedo steuert genau in den Kurs ein, den er auf Grund des Zielverfahrens im Augenblick des Abfeuerns erhalten hatte, gleichgültig, welche Bewegungen er während des Fallens oder Aufschlagens auf das Wasser macht. Das Zielverfahren ist dasselbe wie z. B. beim Torpedobootsschuß; dem Flugzeug kommt zustatten, daß es aus der Höhe das gesamte Gefechtsbild überblicken und schnell die günstigste Angriffsposition einnehmen kann. Wenn außerdem bedacht wird, daß das Torpedoflugzeug die allgemeinen Eigenschaften besitzt, die vom militärischen Standpunkt erwünscht sind: kleine Kampfinheit, ständige Gefechtsbereitschaft und größte Bewegungsfreiheit, so liegt der Schluß wohl nicht zu fern, daß in dem Torpedoflugzeug einmal eine Zukunftswaffe entstehen wird.

**DAS SCHIESSVERFAHREN.** Ein Schießverfahren wie mit den Geschützen ist bei der Torpedowaffe nicht möglich; die Geschwindigkeit, mit welcher der Torpedo die Strecke bis zum Ziele durchläuft, ist im Verhältnis zu der Geschwindigkeit des Zieles viel zu gering. Die Zeit, die der Torpedo für seine Laufbahn braucht, ist abhängig von seiner Geschwindigkeit und von der Entfernung des Zieles. Da während dieser Laufzeit das in Fahrt befindliche Ziel — es kommen fast ausschließlich bewegliche Ziele in Betracht — mehr oder weniger auswandert, darf das Ausstoßrohr im Augenblick des Abkommens nicht auf das Ziel gerichtet sein, es muß um einen bestimmten Winkel, den sog. Vorhaltwinkel, vorgehalten werden. Beim Schießen mit älteren Torpedos mit den geringen Laufstrecken von etwa 400 m wurde das Maß des Vorhaltens geschätzt; die Übung in diesem Schützen erhielten die Schützen, die Rohrmeister, durch besondere Ausbildung im praktischen Schießdienst. Bei den später eingeführten größeren Laufstrecken der Torpedos genügte dies Verfahren aber nicht mehr: zum Ermitteln des erforderlichen Vorhaltwinkels mußte ein Zielapparat benutzt werden.

Das Prinzip des Zielapparats ist aus Abbildung 36 zu erkennen, es beruht auf der Ähnlichkeit des Zielapparatdreiecks mit dem Abkommdreieck, letzteres gebildet aus





Hauptzielstelle und mehreren Reservezielstellen. Die Hauptzielstelle befindet sich auf Panzerschiffen im Kommandoturm, auf Torpedobooten auf der Kommandobrücke und auf Unterseebooten im Turm. Die Zielstelle ist außer mit dem Zielapparat mit den verschiedensten Hilfsapparaten ausgerüstet; zum Abfeuern dient die Abfeuer-einrichtung, bestehend aus Zündmaschine und Abfeuerleitung; zur Übermittlung von Befehlen dienen ein besonderer Signalgeber, ein Winkelbefehlsgeber, eine Fernsprechleitung und Sprachrohre. Die Ausführung von gegebenen Befehlen wird durch automatische Rückmeldung nach der Zielstelle angezeigt; zum Teil sind die Telegraphen mit den entsprechenden Einrichtungen am Rohr direkt verblockt, so daß Versager ausgeschaltet werden und das Zusammenarbeiten des ganzen Betriebes möglichst sichergestellt ist.

**4. BISHERIGE ERFOLGE UND ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNG DER TORPEDO-WAFFE**

Von den mannigfaltigsten Waffen, deren sich die Kriegführung zu Wasser und zu Lande bedient hat, ließ sich schon durch die Friedensübungen ein ziemlich anschauliches Bild ihrer Wirkung und ihres Gefechtwertes entwerfen. Eine Ausnahme hiervon machte die Torpedowaffe. Dies hatte seinen Grund hauptsächlich darin, daß die Übungen im Frieden mit Rücksicht auf den hohen materiellen Wert der Torpedos nicht so angelegt werden konnten, wie es der Ernstfall erheischt hätte, und daß keinerlei praktische Erfahrungen über den Effekt eines modernen Torpedotreffers an einem modernen Kriegsfahrzeuge vorlagen. Die Fälle, in denen bis zum Ausbruch des Weltkrieges der Torpedo gegen den Feind verwandt worden ist, sind, wie aus nachstehender Aufzählung hervorgeht, so spärlich, daß sie nicht in Anspruch nehmen können, einen wesentlichen Einfluß auf die Entwicklung der Waffe ausgeübt zu haben.

Überhaupt zum erstenmal wurde am 28. Mai 1877 von dem englischen Kriegsschiff Shah ein Torpedo gegen das peruanische Schiff Huascar geschossen, allerdings ohne Erfolg; der Schuß wurde bemerkt und der Huascar konnte dem Torpedo ausweichen.

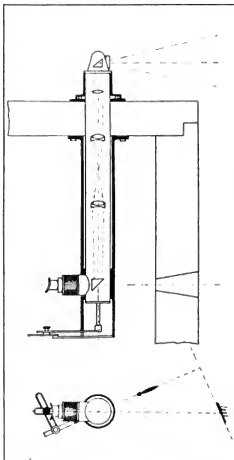


Abbildung 37. Torpedo-Zielsehrohr.

Die erste wirkungsvolle Torpedierung erfolgte erst viele Jahre später, am 22. April 1891, indem der Torpedozerstörer Admiral Lynch in der Caldera-Bucht das Schlachtschiff Blanca Encalada mit dem größten Teil seiner Besatzung versenkte. Im Jahre 1895 sind zwei Fälle von Torpedierungen zu verzeichnen, die des brasilianischen Panzerschiffes Aquidahan vor Santa-Catarine und des chinesischen Panzerschiffes Ling-Yuen im Hafen von Weihaiwei.

Zum erstenmal eine planmäßige Verwendung erhielt der Torpedo im Russisch-Japanischen Kriege durch die Unternehmungen der japanischen Torpedoboote. In der Nacht vom 8. zum 9. Februar 1904 wurden bei einem Angriff einer japanischen Flottille auf die auf der Außenreede von Port Arthur vor Anker liegende russische Flotte allein vier, wahrscheinlich sogar sechs Panzerschiffe und zwei bis drei Kreuzer versenkt. Im Laufe des Krieges wurden noch eine ganze Reihe weiterer russischer Schiffe durch Torpedos vernichtet, so die Panzerschiffe bzw. Kreuzer Peresswjat, Sewastopol, Knäs Suwarow, Navarin, Wladimir Monomack, Saissol Weliki, Admiral Nolinoff, Dimitri Donskoi und außerdem mehrere Hilfsschiffe und Torpedoboote.

Bis zum Ausbruch des Weltkrieges 1914 trat dann in der kriegsmäßigen Verwendung des Torpedos eine vollständige Pause ein. Dies hinderte aber nicht daran, die Waffe selbst und ihre taktischen Verwendungsmöglichkeiten weiter auszubauen, ja, in dieser Zeitspanne hat ihre Entwicklung wohl den größten Sprung nach vorn gemacht.

Die Erfolge der Torpedowaffe in dem Weltkriege sind zur Genüge bekannt und noch zu frisch in der Erinnerung, um an dieser Stelle aufgezählt werden zu müssen. Die Versenkung von drei Linienschiffen durch U 9 innerhalb weniger Minuten oder die Wirkungen der Torpedoexplosionen an Handelsschiffen — wie Abbildung 38 zeigt, wurden diese buchstäblich auseinandergerissen — sind Tatsachen, die eines weiteren Kommentars nicht bedürfen.

Der Krieg hat gezeigt, daß der Torpedo heutzutage keine Zufallschance mehr ist, die hauptsächlich moralischen Wert besitzt. Und wenn der Torpedowaffe schon jetzt eine so große Bedeutung zugestanden werden muß, obgleich ihre Entwicklung noch lange nicht abgeschlossen ist, so kann mit Recht angenommen werden, daß ihr noch eine größere Zukunft in der Seekriegführung beschieden sein wird.



Abbildung 38. Wirkung eines modernen Torpedos.

Der Wert der Torpedowaffe wird nicht geschmälert werden können, indem man versucht, den Torpedo als aktive Waffe durch Vergrößerung der Gefechtsdistanz zu eliminieren. Der Torpedo wird mit seiner Schwesterwaffe, der Artillerie, bei dem Wettlauf um die Reichweite Schritt halten können. Noch sind nicht alle Mittel, die der Technik zur Verfügung stehen, voll ausgenutzt; durch Sauerstoffsättigung der Luft, durch Thermitheizung oder andere Verfahren können dem Torpedo Energiemengen mitgegeben werden, die zur Erzielung der praktisch überhaupt anwendbaren Schußweiten vollauf genügen werden, und durch



Philipp Breumüller: Torpedoschuss vom Schnellboot.

Zu Zuhörerb. Torpedobasen.



Vervollkommnung des Maschinensystems, insonderheit der Turbine, werden Torpedogeschwindigkeiten erreicht werden, die ein Entkommen vor dem Torpedo unmöglich machen werden.

Die relativ geringe Präzision des Torpedoschusses ist zur Zeit noch ein Faktor, der mit einigem Recht Mißtrauen gegen den Torpedo erwecken kann. Aber gerade in diesem Punkte sind für den Torpedo Möglichkeiten für seine Weiterentwicklung



Abbildung 39. Kriegsschiff mit ausgefahrenen Schutznetzen.

und Vervollkommnung vorhanden, die für die Artillerie überhaupt nicht in Betracht kommen. Der Torpedo wird zwangsläufig drahtlos gesteuert werden, dadurch wird sein Lauf so korrigiert werden können, daß er unfehlbar auf sein Ziel zustrebt. Wenn dieses Problem vorläufig auch noch nicht verwirklicht werden konnte, so liegt es doch vollständig im Bereich der Ausführbarkeit. Die Technik wird sogar noch einen Schritt weiter gehen, sie wird Mittel finden, die es ermöglichen, daß der Torpedo selbsttätig seinem Ziele folgt, bis er es erreicht und vernichtet hat. Die von den Schiffspropellern ausgehenden nicht zu beseitigenden Geräusche können im Torpedo durch Unterwasserschallempfänger aufgenommen und durch geeignete Vorrichtungen so auf einen Steuerapparat übertragen werden, daß der Torpedo dem Ausgangspunkt des Geräusches zustrebt. Ein Treffer in den Propellern würde aber das Schiff zur Manövrierunfähigkeit verdammen und seinen Ausfall für den weiteren Verlauf des Gefechtes zur Folge haben.

Aber selbst mit solchem Erfolge wird sich die Torpedowaffe nicht zufrieden geben, eine vollständige Vernichtung des Gegners ist ihr Ziel. Wie sich auch der Ausbau und die Konstruktion der zukünftigen Schiffe gestalten wird, der Torpedo wird bei der durchaus noch nicht abgeschlossenen Verbesserung des Sprengmittels seine Wirkung nicht verfehlen.

Und dann wird noch zu einem letzten Mittel gegriffen werden: man wird sich in Zukunft nicht damit begnügen, das feindliche Schiff überhaupt zu treffen, seine empfindlichste Stelle wird man sich für den Angriff aussuchen. Statt an der Bordwand, die durch Panzer, durch mehrere Schottwände oder in manchen Fällen durch Schutznetze (Abbildung 39) verhältnismäßig gut geschützt werden konnte, wird man die Detonationsstelle unter den Kiel des Schiffes verlegen. Ob es aber dem Schiffbau gelingen wird, hiergegen einen Schutz zu finden, erscheint doch fraglich. Die bisher gebräuchliche Stoßzündung wird also verschwinden und an ihre Stelle eine elektrische Zündvorrichtung treten.

In folgender Weise wird also in Zukunft die Torpedowaffe in die Seekriegführung eingreifen:

Die in ihrem Hafen startbereit liegenden Geschwader von Torpedoflugzeugen

werden mittels F.-T. schnell auf den Kampfplatz beordert; nachdem sie aus großer Höhe die günstigste Kampfsituation erkannt haben, setzen sie aus sicherer Entfernung den Torpedo zum Schuß an; mittels der Fernlenkeinrichtung steuern die Flugzeuge den Torpedo bis in die Reichweite der Unterwasserschallapparate und überlassen dann die weitere Führung der automatisch wirkenden Unterwasserschall-Steuereinrichtung; der Torpedo untersteuert sein Ziel, die elektrische Zündvorrichtung tritt unter dem Kiel in Tätigkeit und bringt dem feindlichen Schiff eine Verletzung bei, die unabwendbar seinen Untergang zur Folge hat.

---

## DIE SEEMINE

VON TORPEDER-OBERLEUTNANT KIEP

**EINLEITUNG** Ein Rückblick auf den beendeten Weltkrieg zeigt die überragende Bedeutung, welche die Minenwaffe erlangt hat und die sie voraussichtlich auch für die Seekriegführung der Folgezeit immer beibehalten wird. Die Technik setzte die Mine in den Stand, sich als ebenbürtige Waffe neben ihre Schwesterwaffe, den Torpedo, zu stellen und mit ihr als anerkannte Hauptwaffe an die Seite der Schiffsartillerie zu treten.

Über das Wesen der Mine, ihre Eigenarten und ihren technischen Ausbau sind der Öffentlichkeit nur spärliche Mitteilungen zugegangen. Es war natürlich, daß alle Marinen bestrebt waren, in ihren Veröffentlichungen über das Minenwesen sich strenger Zurückhaltung zu befleißigen, so daß es selbst den technisch Gebildeten kaum möglich war, sich ein zuverlässiges Bild von der Minenwaffe und den mit ihr zusammenhängenden Fragen zu entwerfen. Es wird daher von Interesse sein, zunächst das Wesen der Mine selbst einer kurzen Betrachtung zu unterziehen, und dann, dem Gang der historischen Entwicklung folgend, den technischen Aufbau der Minenwaffe und den heutigen Stand der Minentechnik eingehender kennenzulernen.

**1. DAS WESEN DER SEEMINE** Unter „Seemine“ verstehen wir in bestimmter Tiefe unter der Wasseroberfläche festgehaltene, schwimmende Hohlkörper, die mit Sprengstoffen geladen sind und den Zweck haben, anfahrende feindliche Schiffe zu zerstören. Es ist zu unterscheiden zwischen „Treibminen“, die frei unter der Wasseroberfläche beweglich sind, und solchen Minen, die durch Verankerung fest an eine bestimmte Stelle gebunden sind. Wenn von Seeminen allgemein gesprochen wird, ist immer die verankerte Mine gemeint. Die Treibmine ist eine Abart, die nur in ganz beschränkten Ausnahmefällen Anwendung findet. Die verankerte Mine besteht im wesentlichen aus dem Minengefäß, dem Ankertau und dem Anker. Alle drei Teile haben gleich wichtige Funktionen auszuführen und sind mit all den technischen Einrichtungen ausgerüstet, die zum sachgemäßen Arbeiten der Mine erforderlich sind. Hierzu gehören vor allem die Zündeinrichtungen, Sicherheitsvorrichtungen und Tiefenapparate. Nach der Art der zur Verwendung kommenden Zündeinrichtungen müssen die Minen in zwei grundsätzlich voneinander verschiedene Minensysteme eingeteilt werden. Wir unterscheiden abhängige und unabhängige Minen.

Die abhängigen Minen werden unter Benutzung langer Kabel auf elektrischem Wege gezündet. Die Kabel führen zu einer Landstation, in welcher sich die elektrische Stromquelle befindet. Die Zündung kann nun in der Weise erfolgen, daß von der Landstation aus das sich nähernde feindliche Schiff beobachtet wird, und der Zündstrom in dem Augenblick durch das Kabel geschickt wird, in dem das Schiff sich unmittelbar über der Mine befindet. In diesem Falle spricht man von elektrischen Beobachtungsminen. Sie können nur mit Erfolg angewandt werden, wenn besonders konstruierte Visiereinrichtungen, wie die von dem österreichischen Baron



von Ebner im Jahre 1859 zur Anwendung gebrachte Camera obscura, den Augenblick der Deckung von Schiff und Mine auch tatsächlich erkennen lassen. Als wesentlicher Faktor der Beobachtungsmine ist zu beachten, daß eine Berührung der Mine durch das feindliche Schiff zum Zwecke der Zündung nicht erfolgt. Eine andere Gruppe bilden die abhängigen Kontaktminen. Sie sind so eingerichtet, daß sie bei Annäherung feindlicher Schiffe unter Strom gesetzt werden können, wobei jedoch ein besonderer Kontaktapparat auf oder in der Mine den Stromkreis so lange unterbricht, bis das gegenfahrende feindliche Schiff durch Stoß oder Erschütterung den Stromschluß herbeiführt.

Als besonderes Charakteristikum für abhängige Minen ist zu beachten, daß sie stets mit einer Landstation verbunden sind.

Die abhängigen Minen erfordern infolge ihrer langen Kabelverbindungen viel Arbeit und Zeit zum Auslegen. Sie finden nur zum Schutz von Innenhäfen, Flußmündungen und Flüssen Verwendung und werden dort bei längerer Kriegsdauer periodisch aufgenommen und ausgewechselt.

Die unabhängigen Minen arbeiten ohne jede Verbindung mit Land. Es sind selbsttätig wirkende Kontaktminen, die mit vollständigem, stets aktionsbereitem Zündmechanismus ausgerüstet sind. Sie können also in den ihrer Verankerung entsprechenden Wassertiefen auch auf offener See ausgelegt werden und sind somit für eine offensive Verwendung geeignet.

Die technische Ausführung der einzelnen Minensysteme weicht sogar innerhalb derselben Gruppen erheblich voneinander ab. Fast jeder Staat ist in der Entwicklung des Minenwesens selbständig vorgegangen und hat seine spezifischen Minenarten herausgebracht. Hier drängt sich die Frage auf, welches Land sich zuerst mit der Minenwaffe befaßt hat, und wie weit überhaupt die Anfänge des Minenwesens zurückreichen.

## 2. DIE GESCHICHTLICHE ENTWICKLUNG

Die Vorläufer der Seemine entdeckten wir bereits im sechzehnten Jahrhundert. Bei der Belagerung von Antwerpen im Jahre 1585 verwendeten die Holländer sogenannte Sprengschiffe, die in großer Zahl dem feindlichen Geschwader entgegengetrieben wurden. Die Sprengschiffe waren mit einem Uhrwerk ausgerüstet, das nach abgelaufener Zeit den Zündmechanismus betätigte. Die Holländer hatten mit dieser Waffe bemerkenswerte Erfolge. 800 Spanier büßten durch Sprengschiffe ihr Leben ein. Die Sprengschiffe waren aber bis dahin immer noch Überwasserwaffen, und von ihrer Weiterentwicklung ist uns nichts überliefert. Fast zweihundert Jahre lang scheinen Versuche zum Sprengen feindlicher Schiffe nicht unternommen zu sein. Erst spät im 18. Jahrhundert wies der Amerikaner David Bushnell seinen Landsleuten die bis dahin unbekannte Möglichkeit einer Pulverexplosion unter Wasser nach. Er konstruierte ein Fahrzeug, das auf seinem Rücken ein Pulvermagazin trug. Das Fahrzeug sollte unter Wasser durch Handbetrieb an das feindliche Schiff heranbewegt werden, und dort sollte das Pulvermagazin vom Fahrzeug aus mittels Stiftschraube in dem Boden des Schiffes befestigt werden. Bushnells Minenfahrzeug war also gleichzeitig das erste Unterseeboot. Erfolge waren Bushnell mit seiner Erfindung nicht beschieden. Die Unternehmung gegen die englische Fregatte „Eagle“ im Jahre 1776 scheiterte, weil es nicht gelang, die Befestigungsschraube der Mine in den Schiffsboden hineinzubohren. Ebenso scheiterten weitere Versuche. Bemerkenswert ist, daß die ersten Überlieferungen und Versuche den rein

offensiven Charakter der Minenvorläufer zeigen. Sowohl die Sprengschiffe der Holländer als auch Bushnells Minenboot waren Angriffswaffen, die an den Feind herangetragen wurden.

Der Schöpfer der unter Wasser verankerten Seemine, die zunächst nur defensiven Charakter trug, war der amerikanische Philanthrop Robert Fulton. Er war begeisterter Anhänger internationaler Abrüstungen und glaubte mit dem Ausbau der

Minenwaffe alle Kriegsschiffe nutzlos machen und so den allgemeinen Völkerfrieden herbeiführen zu können. Fultons verankerte Seemine (Abbildung 1) war eine selbsttätige Kontaktmine. Auf dem Minengefäß war der Abzug eines Gewehrschlusses montiert, der durch den Stoß eines gegenfahrenden Schiffes einen Gewehrlauf abfeuerte und dadurch die aus hundert Pfund Schwarzpulver bestehende Ladung zur Entzündung brachte. Mit diesen Minen wurden 1813 bei der Blockade der amerikanischen Häfen durch die Engländer bei Fort Hudson und Fort Richmond die ersten defensiven Hafensperren gelegt.

Der Amerikaner Colt, der Erfinder des Revolvers, beschäftigte sich in dieser Zeit gleichfalls mit der Minenfrage und wandte im Jahre 1841 zum erstenmal die elektrische Zündung für Minen an, die später eine so wichtige Rolle im Minenwesen spielen sollte.

Im Jahre 1848 machte Werner von Siemens den Versuch, den Kieler Hafen gegen dänische Schiffe zu sperren. Er verwandte dazu anfangs Fässer und später durch Kautschuk wasserdicht gemachte Leinwandsäcke, die mit Schwarzpulver gefüllt waren und von Land aus elektrisch gezündet werden konnten.

In dem bald darauf ausbrechenden Krimkriege (1854–56) haben die Russen in großem Umfange Minen gegen die alliierten Streitkräfte verwandt, besonders bei der Verteidigung der Häfen von Sebastopol, Sveaborg und Kronstadt. Sie gebrauchten zum Teil Beobachtungsminen, bei denen die Coltsche elektrische Zündung Anwendung fand, zum Teil wurden Minen mit chemischer Zündeinrichtung, System Nobel-Jacobi, ausgelegt. Das Wesen dieser chemischen Zündungen bestand darin, daß beim Stoß eines Schiffes gegen die Mine die auf ihr befestigten Glasröhren zertrümmert wurden

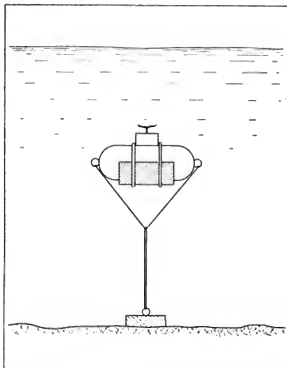


Abbildung 1. Fultons selbsttätige Kontaktmine 1805.

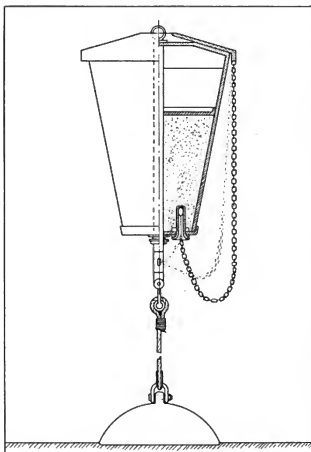


Abbildung 2. Singers selbsttätige Kontaktmine 1846.

kommenden Minen gehörten vorwiegend dem System Singer (Abbildung 2) an. Diese selbsttätigen Kontaktminen waren mit einer mechanischen Zündeinrichtung ausgestattet. Ein auf dem Deckel des konischen Minengefäßes liegendes Bleigewicht fiel durch den Stoß des anfahrenden Schiffes herab und betätigte in Verbindung mit einer Kette eine Friktionszündschraube. Neben diesen Singer-Minen wurden jedoch auch viele Minen primitiveren Charakters angewandt, die zu vielen Versagern der Minensperren führten. Trotzdem war den Südstaaten mit ihren Minen ein voller Erfolg beschieden. 18 Kriegsschiffe der Nordstaaten wurden durch Minentreffer völlig vernichtet; eine große Anzahl weiterer Schiffe erlitt schwere Beschädigungen. Der Eindruck, den diese Minenerfolge hervorriefen, wird am besten durch die Äußerungen des Admirals Porter in seinem offiziellen Bericht über die Blockademaßnahmen gekennzeichnet, in dem

und die in den Glasröhren befindliche Schwefelsäure über eine Mischung von chloresurem Kali und Zucker geleitet wurde. Die hierdurch entstehende Flamme brachte die Pulverladung zur Explosion. Die Minen traten mehrfach in Tätigkeit, verursachten aber mit ihrer nur 25 Pfund betragenden Pulverladung keinen nennenswerten Schaden.

Bisher hatte also die Minenwaffe noch keine kriegerischen Erfolge aufzuweisen, die ihre Existenzberechtigung bewiesen hätte. Erst im amerikanischen Bürgerkrieg war es der Minenwaffe möglich geworden, einen nachhaltigen Einfluß auf die Kriegsmaßnahmen auszuüben. Die Südstaaten versuchten die Überlegenheit der Nordstaaten an Kriegsschiffen durch umfangreiche Verwendung von Seeminen auszugleichen. Gegen die blockierende Nordstaatenflotte wurden zahlreiche Minensperren gelegt. Die zur Verwendung

er die Behauptung aufstellt, daß Minensperren eine bessere Hafenverteidigung darstellten als Küstenforts. In der Tat ergab eine Gegenüberstellung der gegenseitigen Leistungen ein verblüffendes Resultat: durch Minen waren 18 Schiffe versenkt worden, während durch Artilleriefeuer nicht ein einziges Schiff vernichtet worden war.

Die sichtbaren Erfolge im amerikanischen Sezessionskriege hatten zur Folge, daß die Minenwaffe nun fast von allen Staaten als Verteidigungswaffe eingeführt wurde. Auch Deutschland nahm die Mine für seine Verteidigungszwecke in Anspruch, und bereits im Deutsch-Französischen Kriege 1870—71 wurden die Nord- und Ostseehäfen durch regelrechte Minensperren geschützt. Zur Verwendung kamen Minen mit mechanischer und elektrischer Zündung.

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts verfügte wohl jede Seemacht über eine eigene, gut durchkonstruierte Mine, die den damaligen Ansprüchen genügte.

Die Japaner hatten eine selbsttätige Kontaktmine (Abbildung 3) eingeführt, die auf elektrischem Wege gezündet wurde. Den Strom lieferten zwei in das Minen-

gefäß eingebaute Trockenelemente (A). Er führte über einen Kontaktapparat zum Zünder (B) und von da über zwei zur Sicherheit eingeschaltete mechanische und chemische Zeitunterbrecher (E und F) zur Batterie zurück. Der Kontaktapparat bestand aus dem Kontaktknopf (D) und dem Kontaktring (G). Beim Anstoß eines Schiffes geriet der auf starker Spiralfeder ruhende Kontaktknopf in Schwingung und federte gegen den Kontaktring, wodurch der Stromkreis geschlossen wurde und die Zündung erfolgte.

Bei den Franzosen fand vielfach die abhängige Kontaktmine, wie sie in Abbildung 4 dargestellt ist, Verwendung. Der Kontakt in der von der Landstation ausgehenden Zündleitung wurde dadurch hergestellt, daß bei der durch den Stoß des Schiffes erfolgenden Krängung des Minengefäßes die in dem Becher B bewegliche Kontaktkugel A den metallischen Schluß zwischen Becher und dem isoliert aufgesetzten Verschlussschutz herbeiführte.

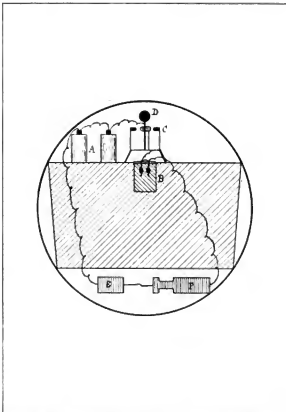


Abbildung 3. Schematische Darstellung einer japanischen Elektrokontaktmine.

Bei den Franzosen fand auch die reine Beobachtungsmine, die nur durch den Beobachter in der Landstation gezündet werden kann, als Grundmine (Abbildung 5) viel Anklang, weil der große Niveauunterschied bei Ebbe und Flut in den Häfen Frankreichs das Auslegen in bestimmter Tiefe unter der Wasseroberfläche verankelter Minen vielfach verbietet. Es ist augenscheinlich, daß Minen, die in Gewässern von etwa 8 m Niveauunterschied ausgelegt worden sind, entweder während der Ebbeperiode sichtbar an der Oberfläche erscheinen müssen und so dem Feinde ungefährlich sind, oder aber, wenn dieser Zustand verhindert werden soll, die Minen bei Flut etwa 9—10 m unter der Oberfläche verankert werden müssen. In solchem Falle würde aber die Minensperre bei Hochwasser völlig unwirksam sein, da auch die Schiffe mit größtem Tiefgang die tiefstehenden Minen frei passieren können.

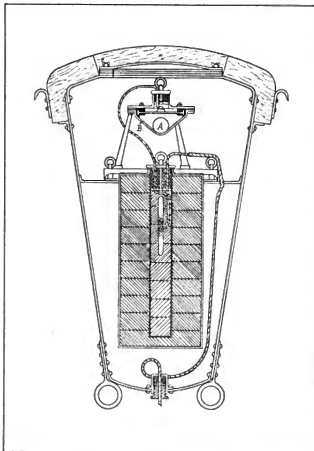


Abbildung 4.

Französische Elektro-Kontaktmine.

nach der Tiefe des Hafens, in dem die Minen ausgelegt werden sollen. In Frankreich werden Grundminen mit Ladungen bis zu 700 kg noch heute verwandt. Solche Minen sind natürlich recht schwer und unhandlich im Gebrauch, so daß sie vielfach bereits im Frieden ausgelegt und nur in größeren Zeitabschnitten zu Untersuchungen ausgewechselt werden.

### 3. DIE MINE IM RUSSISCH-JAPANISCHEN KRIEGE

Mit Beginn des 20. Jahrhunderts war in der Entwicklung des Minenwesens zwar eine gewisse Stufe erreicht worden,

der Wasseroberfläche verankelter Minen vielfach verbietet. Es ist augenscheinlich, daß Minen, die in Gewässern von etwa 8 m Niveauunterschied ausgelegt worden sind, entweder während der Ebbeperiode sichtbar an der Oberfläche erscheinen müssen und so dem Feinde ungefährlich sind, oder aber, wenn dieser Zustand verhindert werden soll, die Minen bei Flut etwa 9—10 m unter der Oberfläche verankert werden müssen. In solchem Falle würde aber die Minensperre bei Hochwasser völlig unwirksam sein, da auch die Schiffe mit größtem Tiefgang die tiefstehenden Minen frei passieren können.

Die Grundminen, die direkt auf dem Meeresgrunde aufliegen sollen, müssen, um wirksam zu sein, eine ganz erheblich größere Sprengladung haben als die kurz unter der Wasseroberfläche verankerten Minen. Die Größe der Ladung richtet sich

aber gleichzeitig trat ein augenfälliger Stillstand ein. Die Staaten hatten jeder für sich ein hinreichendes Mineninstrument geschaffen und glaubten nun auf diesem Gebiete ihre Schuldigkeit getan zu haben. An großzügige Erfolge der immer noch defensiven Minenwaffe vermochte man damals nicht ernstlich zu glauben. Das Interesse der Seemächte wurde auch durch den einsetzenden Wettbau in Linienschiffen viel zu sehr auf die Entwicklung von Schiffsartillerie und Panzerung konzentriert.

Da brach der Russisch-Japanische Krieg aus, in dem die Minenwaffe eine entscheidende Rolle spielen sollte. Auf beiden Seiten wurden Minen in umfangreichem Maße angewandt. Die Russen scheinen für den Minenkrieg besser gerüstet gewesen zu sein. Sie begannen sofort mit der Sperrung ihrer wichtigsten Häfen. Bereits am 10. Februar 1904 wurde die Hafeneinfahrt von Port Arthur planmäßig durch Minenfelder gesperrt. Am 11. Februar legte der Minenleger „Jenisei“ eine größere Sperre in den Eingang zur Dalny-Bucht. Beim Legen der 301. Mine trat ein Versager ein, der diese Mine wieder an die Oberfläche kommen ließ. Beim Beseitigen des Versagers berührte „Jenisei“ eine von ihm gelegte Mine derselben Sperre, welche explodierte und den Minenleger augenblicklich in die Tiefe riß. Der zur Hilfe eilende Kreuzer „Bojarin“ erlitt dasselbe Schicksal.



Abbildung 5. Grundmine oder Beobachtungsmine.

Die Mine hatte sich gleich zu Beginn des Krieges als zweischneidige Waffe erwiesen. Der Grund wird jedoch hauptsächlich in der noch mangelhaften technischen Ausführung der Minenwaffe und in der mangelhaften Ausbildung von Offizieren und Mannschaften in der Handhabung des Minenkrieges zu suchen sein.

Die Japaner rüsteten das Spezialschiff „Koryu Maru“ und fast alle Torpedoboote zum Minenlegen aus. In der Nacht zum 13. April legten sie ihr erstes Minenfeld vor Port Arthur an einer Stelle, die als Aufmarschgebiet der feindlichen Flotte gelten mußte. Am nächsten Tage entsandte Admiral Togo ein schwaches Geschwader in die Nähe des blockierten Hafens, um die Russen zum Angriff herauszulocken. Togo selbst hielt sich mit seiner Hauptmacht außer Sichtweite. Die Kriegsliste hatte vollen Erfolg. Noch während des Vormittags lief das russische Geschwader aus Port Arthur aus und geriet unmittelbar darauf auf das japanische Minenfeld. Das Flaggschiff „Petropawlowsk“ erhielt einen Minentreffer an seiner Steuerbordsseite. Das 11000 tons große Schiff sank innerhalb zwei Minuten mit fast der ganzen Besatzung. Das Schlachtschiff „Pobjeda“ (12670 tons) geriet ebenfalls auf eine Mine und wurde schwer beschädigt.

Dieser furchtbare Schlag traf die Russen ganz unerwartet. Mit dem Auftreten feindlicher Minen an der eigenen Küste konnten sie nach den bisherigen Erfahrungen auch nicht rechnen. Die japanische Unternehmung hatte mit einem Schlage die bisher rein defensive Mine in die Reihe der Offensivwaffen gerückt, und das mit durchschlagendem Erfolg.

Die offensive Verwendung der Mine wurde jetzt beiderseits mit größter Anstrengung betrieben. In der Nacht zum 15. Mai legten die Russen auf hoher See in 10 sm Abstand von Port Arthur eine Minensperre an einer Stelle, die von der japanischen Blockadeflotte regelmäßig berührt wurde. Die Minen waren in 100 Fuß Abstand voneinander in einer Ausdehnung von 1 sm durch den Dampfer „Amur“ ausgelegt. Der Erfolg war überwältigend. Bereits am folgenden Tage liefen nacheinander die japanischen Linienschiffe „Hatsuse“ (15000 tons) und „Yashima“ (12500 tons) in das Minenfeld. „Hatsuse“ sank sofort, während „Yashima“ anfänglich noch schwimmfähig blieb und erst gegen Abend auf dem Heimwege strandete. Zwei ihrer besten Schiffe verloren die Japaner an einem einzigen Tage, das war ein Drittel des gesamten Linienschiffsbestandes! Die Folge hiervon war, daß der Minenkrieg auf die Spitze getrieben wurde und die Gewässer planlos verseucht wurden. Beide Parteien hatten die Übersicht über die von ihnen ausgelegten Minenfelder völlig verloren und hatten sich somit der eigenen Bewegungsfreiheit beraubt.

In der offensiven Verwendung der Minenwaffe taten die Japaner nochmals einen großen Schritt vorwärts, als sie in der Seeschlacht am 10. August durch ihre Torpedoboote Minen vor die feindliche Kurslinie warfen, wodurch die Russen zum Ausweichen und zur Einnahme einer ungünstigen Kampfstellung gezwungen wurden. Hier wurde zum erstenmal die Mine als taktisches Kriegsmittel in offener Seeschlacht verwendet.

Die Vernichtung des russischen Geschwaders durch die japanische Belagerungsarmee bereitete der weiteren Verwendung der Minenwaffe ein Ende. Es muß aber hervorgehoben werden, daß nach allen Urteilen die Minenwaffe tatsächlich im Russisch-Japanischen Kriege eine entscheidende Rolle gespielt hat. Wäre das russische Port-Arthur-Geschwader durch die japanischen Minenfelder nicht völlig eingeschlossen und damit zur Aktionslosigkeit verurteilt worden, so hätte sein Eingreifen wahrscheinlich einen gänzlichen Umschwung des Kriegsglücks zugunsten der Russen zur Folge gehabt.

#### 4. DIE NEUZEITIGE ENTWICKLUNG DES MINENWESENS

Die außerordentlich großen Erfolge der Minenwaffe verfehlten ihre Wirkung auf die übrigen Seemächte nicht. Mit der Beendigung des Russisch-Japanischen Krieges begann eine neue Phase in der Entwicklung der Seemine. Die unmittelbarste Folge war die sofortige Bereitstellung größerer Minenvorräte in allen Staaten. Zugleich wurde mit großer Energie an der technischen Vervollkommnung der Mine gearbeitet. Die Erfahrungen des Krieges boten genügend Unterlagen und Fingerzeige für die einzuschlagende Richtung.

Bevor die neuzeitliche Entwicklung des Minenwesens näher besprochen wird, sei dem Leser in der Abbildung 6 das Gesamtbild einer modernen Mine vergegenwärtigt. Das Bild zeigt eine vollständige deutsche Mine in wurffertigem Zustande. Der große eiförmige Körper bildet das Minengefäß, welches die Sprengladung in sich birgt. Aus dem Deckel des Gefäßes sehen wir eine Anzahl Bleikappen als Teile der Zündeinrichtung hervorragen. Unterhalb des Gefäßes ist an einem hängenden Bügel der Tiefenapparat der Mine sichtbar. Den unteren Teil bildet der kastenartige gußeiserne Anker, der das Ankertau enthält und einen stuhlartigen Aufbau zur besseren Lagerung des Minengefäßes erhalten hat. Seitlich am Ankerkasten sind vier Rollräder vorhanden, mit deren Hilfe die Mine in den Deckschienen der Minenschiffe transportiert wird. Mine und Anker sind durch eine lange Verbindungszange miteinander fest verbunden. Die Verbindung löst sich erst, nachdem die Mine auf den Grund gefallen ist.

Die nach dem Russisch-Japanischen Kriege einsetzende Entwicklung bewegte sich nach den vorliegenden Erfahrungen folgerichtig auf dem Wege, die Mine als Angriffswaffe auf eine hohe Stufe zu bringen.

**DIE SPRENGLADUNG.** Da die Schiffbautechnik nicht müßig blieb und gegen Minen- und Torpedogefahr eine Erhöhung der Schwimmfähigkeit moderner Schiffe durch Vervollkommnung des Schotten- und Doppelbodensystems anstrebte, mußte bei der Entwicklung der Minenwaffe vor allem darauf Bedacht genommen werden, ihre Wirkung am Ziel zu erhöhen. Die Wirkung der Mine hängt im wesentlichen von der Art und Größe der Ladung ab. Von den Russen und Japanern waren Minen mit 30 bis 35 kg Schießwolle benutzt worden. Die Schießwolle ist als hochwertiger Sprengstoff noch lange von fast allen Nationen beibehalten worden. Um sie für die Verarbeitung gefahrloser und für den Kriegsfall schußsicher zu machen, hatte man die Schießwolle im Wasserbade auf einen Wassergehalt von 15—20% gebracht. Neben der Schießwolle wurden auch Ammonsalpeter und Pikrinsäure eingeführt. Erst in neuester Zeit, vornehmlich während des Weltkrieges, wurden alle bisherigen Sprengstoffe durch das Trinitrotoluol verdrängt. Hierfür waren nicht so sehr sprengtechnische als hauptsächlich praktische Gründe maßgebend. Trinitrotoluol ist einer derjenigen hochnitrierten aromatischen Kohlenwasserstoffe, die infolge ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften zu den besten brisanten Sprengstoffen rechnen. Es ist etwas schwächer als die als Sprengstoff bisher unerreicht dastehende Pikrinsäure. Demgegenüber hat Trinitrotoluol den Vorzug völlig gefahrloser und bequemer Handhabung. Es ist ein chemisch stabiler, unempfindlicher und vollkommen unveränderlicher Sprengstoff, der im Gegensatz zur Pikrinsäure weder bei der Herstellung noch bei der Verarbeitung gesundheitsschädliche Wirkungen ausübt. Trinitrotoluol findet in gepreßtem und in gegossenem Zustand als Minenladung Verwendung. Für die Raumausnutzung in der Mine ist zweifellos das Eingießen des Sprengstoffes die vorteilhafteste Methode. Es trifft sich günstig, daß das Schmelzen des Trinitrotoluols gleichzeitig die beste Verdichtungsmethode des Sprengstoffes darstellt. Die Wirkung eines brisanten Sprengstoffes ist ja nicht allein von seiner Menge, sondern auch von seiner Konzentrierung, von seiner Ladedichte —  $\frac{\text{Ladegewicht in g}}{\text{Verbrennungsraum in cm}^3}$  — sehr



Abbildung 6.

Deutsche Bleikappenmine.



wesentlich abhängig. Die Dichte des geschmolzenen Trinitrotoluols wechselt zwischen 1,54 und 1,57, wenn die Masse unter gewöhnlichem Atmosphärendruck erstarrt. Nach dem Verfahren von C. E. Bichel von der Sprengstoff-A.-G. Carbolit in Hamburg wird bei einem Überdruck von 3–4 Atm. ein kubisches Gewicht von 1,62 erzielt.

Die Größe der Ladungen, die noch vor dem Weltkriege durchschnittlich 60–100 kg bei allen Minen betrug, wurde im Laufe des Krieges auf etwa 200 kg gebracht. Gegenüber den Minen des Russisch-Japanischen Krieges bedeutet das eine Erhöhung der Sprengladung auf das Sechs- bis Siebenfache. Die Sprengwirkung wurde an und für sich schon durch die größere spezifische Dichte des neuen Sprengstoffes (1,62) bedeutend erhöht. Bei der früher verwendeten Schießwolle konnte im Scharftrockenprozeß nur ein spezifisches Gewicht von 1,2–1,3 erzielt werden. Es muß bei der Gegenüberstellung der Ladungen noch berücksichtigt werden, daß die russisch-japanischen Minen in ihrer 35-kg-Sprengstoffladung noch 20% Wasser enthielten.

Die Größe der Sprengwirkung explosiver Stoffe hängt aber nicht allein von ihrer chemischen Beschaffenheit, sondern in besonderem Maße von dem gewählten Initialimpuls ab. Initialzündung oder Initialimpuls nennt man die Anregung, welche ein sensibles, einer exothermen Umwandlung fähiges System nötig hat, um explosiv zu zerfallen. Beschaffenheit und Intensität eines Initialimpulses beeinflussen nicht nur den Beginn, sondern auch den weiteren Verlauf explosiver Reaktionen, und zwar in so hohem Grade, daß man sogar sagen kann, die explosive Leistung hängt mehr vom Initialimpuls als von dem Sprengstoff selbst ab. Für die Auslösung der chemischen Umsetzung kann jede beliebige Art von Energie in Betracht kommen. — Stoß, Schlag, Druck, Reibung, Wärme, Funken, Licht, Elektrizität und chemische Energie sind imstande, die Auslösung von Sprengstoffen einzuleiten. Die sensiblen Stoffe verhalten sich aber den einzelnen Initialimpulsen gegenüber sehr verschieden. So ist trockene Schießwolle gegen Stoß sehr empfindlich, Trinitrotoluol dagegen gar nicht.

Im Minenwesen wird seit den letzten Jahrzehnten fast ausschließlich die Sprengkapselzündung als Initialimpuls angewandt. Man kann sie auffassen als eine Vereinigung von Funken- und Schlagzündung. Die hohe Bedeutung der Sprengkapselzündung für die Minentechnik liegt darin, daß durch sie auch dann noch eine explosive Umsetzung herbeigeführt werden kann, wenn jede andere Zündungsart versagt. Der Hauptbestandteil in Sprengkapseln ist immer noch Knallquecksilber, welches mit Kaliumchlorat vermischt wird. Auch Bleiazid, das Bleisalz der Stickstoffwasserstoffsäure, findet als Initialsprengstoff für Sprengkapseln mit Vorteil Verwendung. Bleiazid ist ein hochexplosiver Sprengstoff, der gegen Feuchtigkeit ganz unempfindlich ist, während Knallquecksilber in löstiger Weise hygroskopisch ist und immer eines streng wasserdichten Abschlusses bedarf.

Was die durch Sprengkapselzündung hervorgerufene Umsetzung für die praktische Verwendung der Sprengmittel im Minenwesen so wertvoll macht, das ist die außerordentlich große Geschwindigkeit, mit welcher die Zersetzung unter diesen Umständen sowohl ausgelöst als auch restlos fortgepflanzt wird. Die Geschwindigkeit spielt bei der Bestimmung der Größe der dynamischen Wirkungen eines Explosionsvorganges eine große Rolle. Das Wesen einer Explosion besteht ja in der plötzlichen Entwicklung eines großen Gasvolumens aus einem viel kleineren Anfangsvolumen der Sprengmasse. Je schneller diese Entwicklung vor sich geht, desto größer muß die Spannkraft der Gase sein, welche die mechanischen Zerstörungen ausübt.

Durch die gesteigerten militärischen Anforderungen, die in bezug auf Stabilität an die Sprengstoffe gestellt wurden, trat der Zustand ein, daß die Sprengkapsel-

zündung nicht mehr imstande war, die unempfindlichen Minenladungen restlos zur Detonation zu bringen. Man mußte daher für die einwandfreie Abwicklung des Detonationsprozesses sogenannte Zwischenzündungen oder Detonatoren von höherer Empfindlichkeit einschalten. Für nasse Schießbaumwolle wurden Detonatoren aus trockener Schießwolle gewählt, während für gegossenes Trinitrotoluol Zwischenzündungen aus gepreßtem Trinitrotoluol verwendet wurden. Die Sprengkapsel selbst wurde in besondere Sprengbüchsenladungen gebettet, so daß für die Übertragung der Detonation folgende Reihenfolge feststeht: Sprengkapsel, Sprengbüchsenladung, Zwischenzündung und Hauptladung.

Für die Sprengbüchsenladungen werden hauptsächlich Explosivkörper aus der Gruppe der nitrierten, aromatischen Amine verwendet, und zwar insbesondere das Hexanitrodiphenylamin, das als gelber Farbstoff unter dem Namen „Aurantia“ oder „Kaiser-gelb“ bekannt ist, und das Tetranitromethylanilin, das in der Praxis kurz „Tetra“ oder „Tetryl“ genannt wird. Neuerdings kommt von den sechsfach nitrierten Diphenylamin-derivaten auch das Hexanitrodiphenylsulfid und -sulfobenzid zur Verwendung.

Mit den erwähnten Initialimpulsen, Sprengbüchsenladungen und Zwischenzündungen werden Detonationsgeschwindigkeiten bis zu 7000—8000 m pro Sekunde erzielt.

Die Reihe der Faktoren, von denen die Wirkungen der Mine abhängig sind, ist noch keineswegs erschöpft. Die Theorie der Mine liegt doch darin, möglichst große Sprengstoffmassen in einen Raum einzuschließen, welcher zu klein ist, um das beträchtliche, sich plötzlich entwickelnde Gasvolumen bei dem Atmosphärendruck enthalten zu können. Je weniger der Raum an Volumeneinheiten den Raum der Sprengstoffmasse übersteigt, desto größer wird die Wirkung sein. Der Erfolg muß am größten sein, wenn Raumvolumen und Sprengstoffvolumen im Verhältnis wie 1 : 1 stehen, d. h. wenn der Raum vollständig mit Sprengstoff ausgefüllt ist. Dieser Zustand ist unter Berücksichtigung der vielen sonstigen Anforderungen, die an die moderne Streumine gestellt werden, praktisch nicht erreichbar. Selbstverständlich hat man diese Überlegungen beim Minenbau nicht außer acht gelassen, wie die weiteren Ausführungen über die Konstruktion der Minengefäße erkennen lassen.

**DAS MINENGEFÄß.** Das Minengefäß bildet den wichtigsten Teil der Mine. Es ist ein Hohlkörper aus Eisenblech, welcher den Zweck hat, die Sprengladung in sich aufzunehmen und diese in bestimmter Tiefe unter der Wasseroberfläche schwimmend zu halten, bis das feindliche Schiff durch Gegenstoßen die Explosion der Ladung herbeiführt. Das Minengefäß muß daher gleichzeitig die vollständige Zündeinrichtung aufnehmen. Um diese Aufgaben sämtlich erfüllen zu können, darf der Innenraum des Minengefäßes nicht ganz mit Sprengstoff ausgefüllt sein. Es muß so viel freier Luftraum gelassen werden, daß ein hinreichender Restauftrieb verbleibt, der unter Berücksichtigung des Eigengewichtes des Gefäßes, des Gewichtes der Sprengladung, der Armaturen und des bei größeren Wassertiefen nicht unerheblichen Gewichtes des Ankertaues, die Schwimmfähigkeit des Gefäßes bei nicht zu geringer Stabilität sicherstellt. Die äußere Form des Minengefäßes ist dabei nicht gleichgültig, da auch unter ungünstigen Bedingungen, wie sie in strömenden Gewässern gegeben sind, ein möglichst senkrechter Stand der Mine im Wasser erreicht werden soll. Eine rein zylindrische Form würde im Strom zum Beispiel recht nachteilig wirken, besonders würde die Bodenfläche dem Strom einen derartigen Angriffspunkt bieten, daß das Minengefäß in eine fast horizontale Lage gebracht und erheblich unter die beabsichtigte Tiefenlage heruntergedrückt würde. Man wird geneigt sein, zu glauben, daß die Lage der Mine im Wasser, ob horizontal oder senkrecht, an und für sich gleichgültig sei,

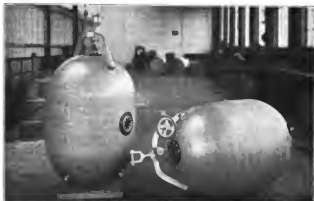


Abbildung 7.

Deutsche Minengefäße.

Sprengladung selbst im Augenblick der Zündung in die vorteilhafteste Stellung zum Sprengobjekt zu bringen. Die Sprengladung muß so nahe wie möglich an das Schiff herangebracht werden; denn die dynamische Wirkung ist um so größer, je geringer die Entfernung des Sprengzentrums vom Ziel ist.

Die praktischen Versuche haben ergeben, daß die Kugelform und ein kurzer Zylinder mit Halbkugeln als Boden- und Deckelstücke, der sich also der Eiform nähert, den Anforderungen am meisten genügen. Es muß aber betont werden, daß der ideale Zustand bei weitem nicht erreicht ist, und daß der weiteren Entwicklung der Minenwaffe hier noch ein dankbares Feld der Tätigkeit offenliegt. Die Eiform der Minengefäße ist besonders von Deutschland bevorzugt und zum Teil auch von Rußland und Frankreich eingeführt worden, während die Kugelform in allen anderen Marinen vorherrscht (Abbildungen 7 und 8).

Die Wandstärke der Minengefäße richtet sich danach, in welchen Wassertiefen die Minen Verwendung finden sollen und welches Material verarbeitet worden ist. Sie ist daher bei den einzelnen Staaten und bei den zahlreichen Minentypen sehr verschieden. Sie schwankt zwischen 1,5 und 6 mm.

Der Innenraum der Minengefäße wird fast durchweg so ausgenutzt, daß der untere Teil für die Unterbringung der Ladung Verwendung findet, und der obere Teil den Auftriebsraum bildet. Durch die Verlegung des Schwerpunktes in die untere Hälfte wird die erwünschte Stabilität der Mine erreicht. Die Sprengladung wurde noch bis vor wenigen Jahren in Prismenplatten- oder Ringstückform gepreßt und dann sorgfältig in den Ladungsraum des Minengefäßes unter Vermeidung größerer Zwischenräume eingepackt. Die Engländer verpackten die nasse Schießwolle in luftdicht verschlossenen kupfernen Packgefäßen, die in Form und Größe den bekannten amerikanischen Petroleumblechgefäßen glichen und verhindern sollten, daß Feuchtigkeitsverluste an der Schießwolle eintraten. Mit der Einführung des Trinitrotoluols als Minensprengstoff ist das Laden der Mine erheblich vereinfacht. Trinitrotoluol, das bei 80° schmilzt, wird in geschmolzenem Zustande in den Ladungsraum der Mine eingegossen.

Der Ladungsraum ist meistens vom Auftriebsraum durch einen starken Zwischenboden getrennt. Dadurch soll ein unmittelbarer Einschluß des Sprengstoffes, also

wenn nur der Querschnitt, das Herabdrücken der Mine unter die beabsichtigte Tiefenlage, nicht zu groß ausfällt. Das ist ein Irrtum. Der möglichst senkrechte Stand der Mine im Wasser ist notwendig, um einmal die am oberen Teil der Mine angebrachten Zünd- oder Kontakteinrichtungen dem anfallenden feindlichen Schiffe gegenüber in eine nach allen Richtungen gleichmäßige günstige Lage und andererseits die

eine Verdämmung der Ladung, erreicht und die Sprengwirkung erhöht werden. Der günstige Einfluß des verdämmenden Zwischenbodens ist durch Sprengversuche nachgewiesen. Man ging daher in der Verdämmung der Ladung noch einen Schritt weiter und schloß im Ladungsraum des Minengefäßes die Ladung in besondere Ladekästen aus starkem Eisenblech ein. Damit war auch gleichzeitig der ungünstige Einfluß des über dem Ladungsraum befindlichen Luftraumes ausgeglichen. Über Wert oder Nachteil des Luftraumes, der ja an und für sich als Auftriebsraum nicht entbehrt werden kann, ist man allerdings in Minenfachkreisen noch verschiedener Ansicht. Einerseits ist es zweifellos, daß der Luftraum im Augenblick der Explosion den sich bildenden Gasen eine augenblickliche, wenn auch geringe Entspannung gestattet und daher die Sprengwirkung abschwächen muß. Andererseits darf nicht verkannt werden, daß durch die gebotene Möglichkeit der Entspannung die Gase in eine bestimmte Richtung gelenkt werden. Da nun der Auftriebsraum in der Richtung nach der Wasseroberfläche zu liegt, wird die Hauptmenge der Gase direkt auf das Ziel geleitet und die dynamische Wirkung folgerichtig erhöht werden.

Wohl von der Überlegung ausgehend, den Durchmesser des zwischen Sprengmasse und Schiff liegenden Luftraumes so klein als möglich zu machen, ist man in Frankreich und England bei einigen Minentypen von der sonst üblichen Teilung der Mine in oberen Auftriebsraum und unteren Ladungsraum abgewichen und hat in Richtung der Vertikalachse der Mine einen zylindrischen Ladekasten, durch das ganze Kugelgefäß hindurchgehend, eingebaut. Der Ladekasten ist somit von allen Seiten mit einem gleichmäßigen Luftkissen von geringem Durchmesser umgeben. Allerdings ist der Ladekasten nicht ganz mit Sprengstoff gefüllt, weil sein oberer Teil für die Aufnahme der Abfeuevorrichtung eingerichtet ist. Bei allen anderen Minenarten befindet sich die gesamte Zündeinrichtung oder wenigstens der größere Teil im Auftriebsraum.

Der Boden eines jeden Minengefäßes ist für die Befestigung des Minenankertaus eingerichtet. Bei Minen mit hydrostatischer Tiefeneinstellung ist das Ankertau durch den unterhalb des Minengefäßes angebrachten Tiefenapparat hindurchgeführt, während bei den übrigen Systemen die Befestigung des Ankertaus einfach mittels Augflansch und Schäkel geschieht.

**DAS MINENANKERTAU UND DER MINENANKER.** Das Ankertau



Abbildung 8.

Belgisches Minengefäß.

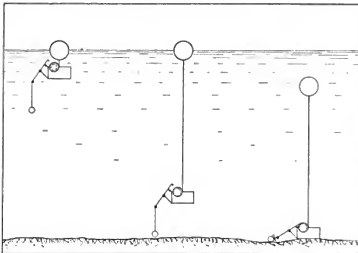


Abbildung 9. Schematische Darstellung der Minenverankerung mittels Voreilgewicht.

verbindet das Minengefäß mit dem auf dem Grunde liegenden Anker. Da es durch den bei einem normalen Minentyp etwa 150 kg betragenden Auftrieb des Minengefäßes dauernd belastet ist und dauernd, besonders bei stürmischem Wetter und in strömendem Gewässer, auf Durchscheuern und Zerreißen beansprucht wird, werden für die

Fabrikation von Minenankertauen besondere Anforderungen gestellt. Vor allem wird eine hohe Bruchfestigkeit vorgeschrieben. Die noch im Russisch-Japanischen Kriege verwandten Eisendrahtankertae sind durch Stahldraht ersetzt worden. Eisendrahtankertae sind von den Engländern noch in den ersten Jahren des Weltkrieges benutzt worden, wodurch das schnelle Abreißen und Vertreiben der englischen Minen zu erklären ist, das oft schon nach wenigen Monaten eintrat. Deutsche Minenfelder sind dagegen oft mehr als zwei Jahre völlig intakt geblieben. Der im Seewasser sehr schnell zu erwartenden Korrosion der Ankertae hat man durch starkes Verzinken und Asphaltieren des Ankertaues wirksam vorgebeugt. Der Umfang der gebräuchlichen Minenankertae beträgt 2—5 cm. Das Ankertau ist, von wenigen Ausnahmefällen abgesehen, auf eine Trommel aufgerollt, die in oder auf dem Minenanker befestigt ist.

Der Minenanker ist aus Gußeisen geformt und hat je nach dem Auftrieb des zugehörigen Minengefäßes ein Gewicht von 200—600 kg. Bestimmend für die Gestalt des Ankers ist, daß der Anker außer seiner Hauptaufgabe, das Minengefäß unter allen Verhältnissen sicher auf dem Meeresgrunde zu verankern, noch den Zweck erfüllen soll, das Minengefäß vor dem Werfen einwandfrei zu lagern, das Ankertau in sich aufzunehmen und der Mine an Bord und im Depot als bequemes Transportmittel zu dienen. Der Anker ist daher immer durch vier oder mehr Rollräder zum Wagen ausgebaut. Bei einigen Minenarten fährt der Anker in Schienenspuren, die an Deck der Schiffe oder der Depotlager befestigt sind (Abbildung 6), bei anderen Anker sind die Rollräder so angeordnet, daß die Minen in frei über Deck führenden Transportgerüsten hängend transportiert werden können (Abbildung 12).

**DIE TIEFENEINSTELLUNG.** Mit der Art der Verankerung ist auch gleichzeitig das System für die selbsttätige Tiefeneinstellung der Mine gegeben. Die selbsttätige Tiefeneinstellung war bei den früheren, nur für die Küsterverteidigung bestimmten Minen unbekannt. Die Lage der Hafensperren war bereits im Frieden ausgearbeitet. Die Wassertiefen waren also genau bekannt, und es blieb nur übrig, vor dem Werfen

der Minen hiernach das Ankertau abzumessen und entsprechend zu befestigen, um die gewünschte Tiefenlage der Mine zu erhalten. Diese Methode war selbstverständlich zeitraubend und für Offensivminen, die stets bereit sein müssen, sofort geworfen zu werden, nicht verwendbar. Es mußte daher nach einem System gesucht werden, welches gestattet, die Mine ohne zeitraubende Vorbereitungen auch in unbekanntem Wassertiefen so zu verwenden, daß sie den beabsichtigten Tiefstand unter der Wasseroberfläche einnahm.

In der Praxis haben sich hierfür besonders zwei Arten der Tiefeneinstellung bewährt, und zwar die Verankerung mittels Voreilgewicht und die Tiefeneinstellung durch die hydrostatische Platte. Beide Methoden sind grundsätzlich voneinander verschieden.

Die Verankerung mittels Voreilgewicht ist in Abbildung 9 (nach Nauticus) schematisch dargestellt. Wird die Mine geworfen, so bleibt das Minengefäß zunächst an der Oberfläche schwimmen, und der Anker sinkt unter Abrollen des Ankertaus von der auf dem Anker horizontal gelagerten Ankertautrommel auf den Grund. Am Anker hängt an einer Leine, deren Länge nach der gewünschten Tiefenlage der Mine eingestellt werden kann, das Voreilgewicht. Die Leine ist mit einem Sperrhebel verbunden, der mit einer Sperrvorrichtung der Ankertautrommel in Verbindung steht. Solange das Voreilgewicht die Leine und somit den Sperrhebel belastet, kann die Ankertautrommel sich drehen und das Ankertau abrollen. Stößt das Voreilgewicht auf den Grund, so hört die Belastung auf und der Sperrhebel arretiert die Ankertautrommel. Da das Abrollen des Ankertaus sofort aufhört, der Minenanker aber noch um das an der Voreilgewichtsleine eingestellte gewesene Stück weiter fällt, so muß auch die bisher an der Oberfläche schwimmende Mine diese Abwärtsbewegung um die gleiche Strecke mitmachen, d. h. sie wird so viel Meter unter die Wasseroberfläche gezogen, als vorher an der Leine abgemessen waren. Die Abbildungen 10, 11 und 12 veranschaulichen die gebräuchlichsten Systeme von Voreilankern.

Die Tiefeneinstellung durch die hydrostatische Platte stellt nahezu eine Umkehrung der vorgeschriebenen Methode dar. Die geworfene Mine bleibt zunächst fest mit dem Anker verbunden und fällt mit ihm auf den Grund. Am unteren Teil der Mine ist der Hydrostat befestigt, dessen Tiefenplatte auf der einen Seite durch den Wasserdruck, auf der anderen Seite durch eine regulierbare Feder belastet wird. Die Feder ist vor dem Werfen nach dem in der gewünschten Tiefenlage auf der Tiefenplatte ruhenden Wasserdruck eingestellt worden. Kurze Zeit nach dem Werfen beginnt die Mine aus dem Anker zu steigen, wobei der vor dem Werfen verblockte Tiefenapparat entschert wird. Solange die Mine sich unterhalb der eingestellten Tiefe befindet, überwindet der Was-



Abbildung 10.

Englischer Voreilanker.

serdruck den Federdruck, die Tiefenplatte verharrt in ihrer ursprünglichen Stellung, und das Ankertau, welches durch den Tiefenapparat hindurchgedrungen ist, kann frei auslaufen. Die Mine wird nun eine Tiefe erreichen, in welcher Wasserdruck und Federdruck auf der Tiefenplatte sich ausgleichen. Steigt die Mine nur um eine geringe Strecke weiter, so überwindet der Federdruck den Wasserdruck und hebt die Tiefenplatte von ihrem Sitz ab. Die Tiefenplatte meldet also gewissermaßen: „Die Mine ist in der gewünschten Tiefe angelangt.“ Durch diesen Vorgang wird gleichzeitig ein Klemmechanismus ausgelöst, der das ablaufende Ankertau festklemmt und die Mine am weiteren Steigen verhindert.

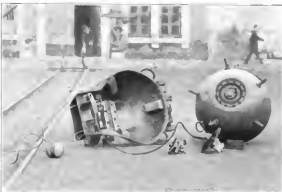


Abbildung 11. Russische Bleikappenmine mit Vorellanker.

arbeitet, wird durch die Hebelübertragung (HÜ) die Sperrklinke (Spk) ausgerückt, und diese gibt ihrerseits die Führungsstange (Fs) frei, die mit Hilfe der übergestreiften Spiralfeder den Halteklöß (H) nach außen schnellen läßt. Der Halteklöß faßt hinten einen der an der Trommelscheibe sitzenden Ansätze (As) und bringt damit die Rotation des Hydrostaten zum Stehen. Gleichzeitig tritt die Kolbenbremsung (K) in Tätigkeit und preßt das auslaufende Ankertau fest.

**DIE VERWENDUNGSGRENZE.** Die Verwendung der verankerten Seemine findet dort ihre Grenzen, wo die dem System eigene Ankertaulänge geringer ist als die Wassertiefe. Die Ankertaulänge der Mine wird von Uneingeweihten meistens überschätzt. Im Russisch-Japanischen Kriege waren die Minen für eine Wassertiefe von 70–100 m konstruiert. Nach den vorhergehenden Ausführungen über Minengefäße und Anker mag die Vermutung bestehen, die Konstruktion der Mine an und für sich hätte mit der Ankertaulänge nichts zu tun, so daß die Länge beliebig gesteigert werden könnte. In Wirklichkeit besteht aber zwischen Konstruktion der Mine und der Ankertaulänge ein unmittelbarer Zusammenhang, und jede wesentliche Vergrößerung der Ankertaulänge bedingt konstruktive Abänderungen der Mine selbst.

Als normalen Auftrieb hatten wir für eine moderne Mine 150 kg angenommen und die gebräuchlichsten Ankertaustärken auf 1,5–5 cm Umfang angegeben. Der Auftrieb wird aber nur imstande sein, so viel Ankertau zu tragen, als seine eigene Kraft ausgleichen kann. Ein 3-cm-Ankertau wiegt z. B. pro 100 m rund 50 kg, d. h. eine Ankertaulänge von 300 m würde den Auftrieb einer normalen Mine restlos vernichten und die Mine zum Sinken bringen. Man darf aber mit der Ankertaulänge nicht einmal bis an die Grenze der Tragfähigkeit allzu nahe herangehen. Etwa ein

Die Arretierung des auslaufenden Ankertaus kann auch in anderer Weise erreicht werden. Die Abbildung 19 veranschaulicht die Wirkungsweise des Tiefenapparates der russischen Pendelstoßmine. Hier bewegt sich der Hydrostat beim Steigen der Mine andauernd um die Vertikalachse der Mine und wickelt dabei das auf einer Trommel unter der Mine sitzende Ankertau ab. Sobald die hydrostatische Platte (HP) in der eingestellten Tiefe ar-

Drittel des Gesamtauftriebs einer Mine muß erhalten bleiben, um eine Mindeststabilität der Mine im Wasser unter allen Umständen sicherzustellen und das Abwickeln des Ankertaues in der letzten Phase des Steigens der Mine bzw. Fallens des Ankers überhaupt zu ermöglichen. Die Verwendungsgrenze einer Mine mit 150 kg Auftrieb und 3-cm-Ankertaue müßte aus den genannten Gründen bereits bei 200 m liegen. Einer beliebigen Erhöhung des Auftriebs stehen aber ebenfalls unüberwindbare Schwierigkeiten gegenüber. Die Erhöhung des Auftriebs bedeutet eine Vergrößerung der äußeren Abmessungen des Minengefäßes und haben eine Erhöhung des Anker gewichts zur Folge. Mit jeder dieser Vergrößerungen wachsen aber die Schwierigkeiten, die Mine mit Menschenkraft zu transportieren und an Bord überhaupt oder in hinreichender Zahl unterbringen zu können.

Bei Minen mit hydrostatischem Tiefensteller liegen die Verhältnisse noch ungünstiger. Hier wird das Minengefäß gezwungen, zunächst mit dem Anker auf den Grund zu gehen. Das Minengefäß wird also dem Wasserdruck ausgesetzt, welcher der jeweiligen Wassertiefe entspricht. Ein Minengefäß, das eine Gesamtoberfläche von 30000 qcm hätte, würde demnach in 100 m Tiefe einen Gesamtoberflächendruck von 300000 kg auszuhalten haben. Diese große Belastung, die mit jedem Meter Tiefe um 0,1 kg/qcm zunimmt, läßt sich bei den zur Verwendung kommenden Blechstärken nicht erheblich steigern. Für jedes Minengefäß gibt es je nach der Konstruktion eine bestimmte kritische Tiefe, über die hinaus eine Verwendung unmöglich ist, da Formveränderungen und schließlich Zerdrücken des Gefäßes die unausbleibliche Folge wären. Die zurzeit gebräuchlichen Minengefäße halten etwa einer Belastung von 15—20 kg/qcm stand, können also mit hydrostatischem Tiefensteller nur bis zur Tiefe von 150 bis 200 m Verwendung finden. Es ist aber der Technik gelungen, auch dieser Schwierigkeiten Herr zu werden; denn nach den feindlichen Meldungen über Schiffsverluste müssen von der deutschen Marine Minen in mehr als 300 m Tiefe ausgelegt worden sein, also in Tiefen, für die nach dem bisherigen Stand der Minentechnik eine Verwendung von verankerten Minen nicht in Frage kam. In welcher Weise das Problem gelöst worden ist, darüber sind bisher keine Nachrichten in die Öffentlichkeit gedrungen.

**DIE ZÜNDUNG UND SICHERUNG DER MINE.** Die Zündrichtungen der modernen Minen haben alle das eine gemeinsam, daß die Initiierung der Sprengladung überall durch Sprengkapseln erfolgt. Nur die Auslösung der Sprengkapseln erfolgt verschieden, entweder durch die Wärmewirkung des elektrischen Stromes, die ein durch den Sprengsatz der Spreng-

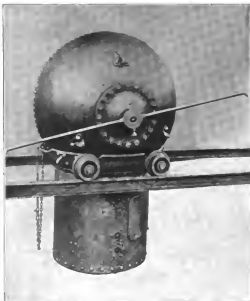


Abbildung 12. Englische Mine mit Drehhebelzündung und Voreilenker.





Abbildung 13. Russische Bleikappenmine, Innenraum mit Zünd- und Kontakteinrichtung.

kapsel gelegtes Platindrächtchen zum Glühen bringt, oder auf mechanischem Wege durch Anstechen einer Zündpille oder Zündschraube, die ihren Feuerstrahl auf die Sprengkapsel überleitet.

Bei den elektrischen Zündungsarten unterscheiden wir die Bleikappenzündung und die Kontaktzündung. Bei der Bleikappenzündung ist keine konstante Stromquelle vorhanden, sondern Elektroden und Elektrolyt der Zündelemente werden bis unmittelbar vor der Zündung getrennt aufbewahrt. Die Abbildung 13 zeigt eine aufgeschnittene russische Bleikappenmine, die das System der Bleikappenzündung deutlich veranschaulicht. Die in die Gefäßwand eingebauten, nach innen und außen her austretenden 5 Zylinder stellen die 5 Elemente der Zündbatterie dar.

Die inneren Messingzylinder enthalten die trockenen Elektroden, die aus je 2 Kohle-Zinkplattenpaaren bestehen. Die 5 nach außen hervorstehenden Hörner sind die eigentlichen Bleikappen. Sie enthalten je eine Glasröhre, die mit dem Elektrolyt — meistens Chromsäure — gefüllt sind. Von den Elektroden gehen die Zünderdrähte (Z) aus, die, zu Plus- und Minuspoldrahtgruppen (P) vereinigt, über die Kontakteinrichtung (K) zu der in dem Ladegast (L) sitzenden Sprengbüchse (Sp) und damit zur Sprengkapsel führen. Die auf der Abbildung links vom Beschauer sitzende Bleikappe ist aufgeschnitten. Die Stärke der Bleiwandung und die Anordnung der Kohle-Zinkplattenpaare in der Elementhülse sind deutlich erkennbar.

Der Zündvorgang solcher Bleikappenminen ist folgender: Das feindliche Schiff, welches die Mine berührt, wird auf alle Fälle auch eine der fünf Bleikappen treffen. Die Bleikappe wird zerstört und die in ihr befindliche Glasröhre zertrümmert werden. Die frei werdende Chromsäure fließt nach unten ab und gerät in die Elementhülse. Das Kohle-Zinkelement wird elektromotorisch wirksam und sendet einen Strom durch die äußere Leitung, der stark genug ist, das Platindrächtchen in der Sprengkapsel augenblicklich zum Erglühen zu bringen und dadurch die Detonation der Mine einzuleiten.

Die deutsche Bleikappenmine in der Abbildung 6 hat ungefähr dieselbe Einrichtung. Das deutsche System ist von den Engländern in den letzten Kriegsjahren an der Hand angetriebener Minen nachgeahmt worden.

Die elektrische Kontaktzündung unterscheidet sich von der Bleikappenzündung durch das Vorhandensein einer dauernd wirksamen Stromquelle. Diese wird durch mehrere Trockenelemente oder durch eine Akkumulatorenbatterie gebildet. Der Stromkreis ist durch Stromschließer unterbrochen. Als Stromschließer sind entweder mehrere Kontakthörner in ähnlicher Weise wie die Bleikappen auf dem Minengefäß angeordnet, oder im Inneren des Gefäßes sind Zitterkontakte, wie sie die Abbildungen 3, 8 und

im Detail Abbildung 16 veranschaulichen, befestigt. Bei dem Gegenfahren eines Schiffes wird durch Umlagen der Kontakthörner oder durch die Schwingungen des Zitterkontaktes der Stromkreis geschlossen und die Zündung herbeigeführt. Einige Staaten haben auch andere, hiervon abweichende Kontakteinrichtungen im Gebrauch, die aber keine allgemeine Verwendung gefunden haben.

Die mechanischen Zündeinrichtungen gehen alle von demselben Prinzip aus, die Sprengkapsel durch eine Zündpille zu detonieren, die durch einen auf Federkraft gesetzten Schlagbolzen angeschlagen wird. Die verschiedenen Systeme unterscheiden sich nur durch die Art und Weise, wie die Schlagbolzeneinrichtung arretiert wird und wie die Aktivierung beim Gegenstoßen des Schiffes erfolgt. Von den Franzosen und Engländern werden für die Arretierung und Betätigung des Schlagbolzens häufig Pendelvorrichtungen benutzt. Die 0,3–0,5 kg schweren



Abbildung 14. Mechanische Zündvorrichtung der französischen Breguet-Mine, Pendel mit gesicherter Stellung.



Abbildung 15. Mechanische Zündvorrichtung der französischen Breguet-Mine, Pendel mit entschärfter Stellung.

meistens in einem kardanischen Ringssystem. Die Pendelstange trägt oberhalb des Aufhängepunktes einen schirmförmig gebogenen Teller, der den Arretierhebel als Auflager dient. Gerät beim Gegenstoßen des Schiffes das Pendel in Schwingung, so gleiten die Arretierhebel an der Rundung des Tellers ab, der Schlagbolzen wird freigegeben und durch die Schlagbolzenfeder auf die Zündpille geschlagen.

Mit der Konstruktion der Zündeinrichtungen muß der Bau der Entschärfer- und sonstigen Sicherheitseinrichtungen Hand in Hand gehen. Obwohl eigentlich alle Sicherheitseinrichtungen an der Mine das Entschärfen der Waffe für bestimmte Zeit oder für gewisse Fälle bezwecken, so umfaßt der Begriff „Entschärfer-einrichtung“ doch nur diejenige ganz bestimmte technische Vorrichtung, welche nach dem Völkerrecht vor-

handen sein muß, um die Mine unschädlich zu machen, sobald sie sich von der Verankerung losreißt. Die von den Signatarmächten der zweiten Haager Friedenskonferenz in dem „Abkommen über die Legung von unterseeischen Kontaktminen“ vereinbarten Beschlüsse bestimmen im Artikel 1: „Es ist untersagt, verankerte, selbst-



Abbildung 16. Zitterkontakt einer russischen Mine.

tätige Kontaktminen zu legen, wenn diese nicht unschädlich werden, sobald sie sich von der Verankerung losgerissen haben.“

Dieses Problem ist von den Seemächten in fast allen Fällen durch Ausnutzung des Wasserdrucks oder der Auftriebskraft des Minengefäßes gelöst worden.

Eine auf Verwendung des Wasserdrucks beruhende Entschärfereinrichtung haben die Franzosen an ihrer Pendelmine, System Breguet, eingeführt. Diese Tiefendruckvorrichtung ist oberhalb der mechanischen Abfeuvorrichtung in einen glockenförmigen Deckel des Minengefäßes eingebaut. Ihr wesentlicher Bestandteil ist eine Gummimembrane, die je nach dem Tiefstand der Mine von dem dort herrschenden Wasserdruck einseitig belastet wird. Auf der Gegenseite versucht eine starke Spiralfeder die Membrane dauernd nach außen zu drücken. Innen ist eine zylindrische Achse mit der Membrane derart verbunden, daß sie jede Bewegung der Membrane mitmachen muß. Die Achse steht am unteren Ende mit zwei klauenartigen Winkelhebeln in Verbindung, die bei unbelasteter Membrane mit ihren Klauen

das darunter befindliche Pendel festhalten und an jeder Bewegung hindern. An einer Querstange der Achse ist ferner ein Drahtstropp befestigt, der auf der anderen Seite mit einem Winkelhebel in Verbindung steht. Der freie Arm des Winkelhebels ist zu einer Platte ausgearbeitet, die sich bei unbelasteter Membrane zwischen Schlagbolzen und Zündhütchen legt. In diesem Zustande befindet sich die Mine vor dem Werfen oder wenn sie, vom Ankertau losgerissen, an der Oberfläche schwimmt. Wird die Mine geworfen und verankert sie sich in bestimmter Tiefe unter Wasser, so wird die Membrane durch den Wasserdruck nach innen gedrückt, die Achse wird mit nach innen genommen und das Hebelsystem arbeitet. Die Klauenhebel heben sich dabei von dem Pendel ab, und der Plattenarm des Winkelhebels gibt die Bahn für den Schlagbolzen frei. Die Mine steht dann in aktionsfähigem Zustande: die Mine ist scharf.

Die Abbildung 14 zeigt die Zündvorrichtung einer Breguet-Mine mit gesichertem Pendel und verblocktem Schlagbolzen, Abbildung 15 veranschaulicht die Stellung der Hebel bei belasteter Membrane.

Die Engländer haben eine Mine mit mechanischer Zündvorrichtung eingeführt, bei welcher das anfahrende Schiff durch Drehung eines auf der Mine sitzenden zweiarmigen Hebels die Auslösung der Schlagbolzeneinrichtung bewirkt (Abbildung 12 und 18). Die gleiche Konstruktion ist in der englischen Marine auch mit einer Pendel-

auslösung in Gebrauch. Die Abbildung 17 gibt einen deutlichen Überblick über den Mechanismus. Interessant ist, daß hier Wasserdruck- und Auftriebsentschärfer gleichzeitig Verwendung finden.

Der unter Federspannung stehende Schlagbolzen (F) ist nach oben hin zu einem breit ausladenden Bügel (H) ausgearbeitet, in dessen Mitte das Pendel (A) schwingt. Der Bügel ist oben durch einen aufgenieteten Ring abgeschlossen. In etwa halber Höhe des Bügels sind zwei kleine Flanschen angelenket, die dem später beschriebenen Auftriebsentschärfer als Widerlager dienen.

Oben auf dem Minengefäß ist die Wasserdruckmembrane angebracht. Die Membranplatte (B), welche durch eine Spiralfeder nach außen gedrückt wird, ist fest mit einer Achse verbunden, die am unteren Ende einen Hohlzylinder, den Stempelhalter (C), trägt. Von dem Stempelhalter wird der Pendelstempel (D) getragen, der in einem Kugellager endigt. Das Kugellager hängt bei unbelasteter Membrane etwa 1 mm über dem schirmförmigen Pendelteller. Der Pendelstempel trägt oberhalb des Kugellagers einen Ring, der zwei Winkelhebeln, den Arretierhebeln (E) der Schlagbolzeneinrichtung, als Auflager dient. Die kurzen Arme des Winkelhebels greifen unter den oberen Ring des Schlagbolzenbügels, so daß das ganze Schlagbolzensystem in den Winkelhebeln hängt und durch den Ring des Pendelstempels und weiterhin, durch den Stempelhalter und Membranteller getragen, auf der Feder des Wasserdruckentschärfers lastet. Die starke Entschärferfeder arbeitet also gegen die Kraft der Schlagbolzenfeder, macht diese unwirksam und sichert so die ganze Zündeinrichtung. Erst nachdem die Mine unter Wasser steht, werden durch den Wasserdruck Membranteller mit Achse und Stempelhalter nach innen geschoben, und der Pendelstempel legt sich mit seinem Kugellager auf den schirmförmigen Pendelteller und wird dort durch die Schlagbolzenfeder dauernd festgehalten. Das vorher frei bewegliche Pendel ist jetzt träge geworden. Nur ein kräftiger Stoß, wie ihn ein gegenfahrendes Schiff ausübt,

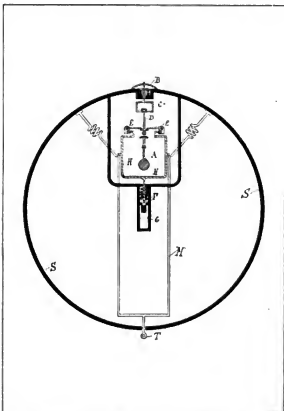


Abbildung 17. Schematische Darstellung der englischen Mine mit Schlagbolzenzündung und Pendelauslösung.

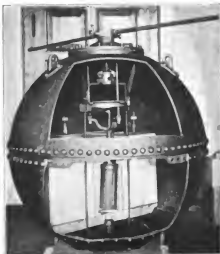


Abbildung 18. Englische Mine mit Schlagbolzenzündung und Drehhebelauslösung.

die Federn gegen die auf halber Höhe des Schlagbolzenbügels angenieteten zwei kleinen Flanschen gezogen wird. Dadurch wird der Schlagbolzen verblockt. Ist die Mine verankert, so zieht der starke Auftrieb das Gestänge des Auftriebsentschärfers nach unten, so daß die Bahn für den Schlagbolzen frei ist.

Hat sich die Mine vom Ankertau losgerissen, so treten beide Sicherungen wieder automatisch in Kraft. Der Auftriebsentschärfer schnellt sofort in seine alte Lage zurück, sobald der Zug am Ankertau aufhört. Die Entschärferfeder drückt Membranteller und Stempelhalter in dem Augenblick wieder nach oben und sichert damit die Zündeinrichtung, in dem die losgerissene Mine an der Oberfläche erscheint.

Außer diesen „Entschärfern“ gibt es noch die verschiedensten Arten von Zeitsicherungen. Diese sollen die Mine so lange ungefährlich machen, als die Bedienungsmannschaften vor dem Werfen an der Mine arbeiten und das minenlegende Fahrzeug nach dem Werfen sich noch in der Gefahrzone der Mine befindet.

Wir haben zu unterscheiden zwischen mechanischen und Schmelzstück-Zeitsicherungen. Die mechanischen Zeitsicherungen bestehen aus Glycerinbremsen oder Uhrwerken, die als Unterbrecher in die elektrische Zündleitung eingeschaltet sind oder die mechanischen Entschärfereinrichtungen festsetzen. Erst nach Ablauf einer bestimmten Zeit nach dem Werfen der Mine,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  oder 1 Stunde, wird durch das inzwischen erfolgte Zusammenpressen der Glycerinbremse die Verblockung der Entschärfereinrichtungen freigegeben, oder das Uhrwerk hat inzwischen eine Kontaktplatte fortbewegt, die nach Ablauf der eingestellten Zeit den Kontakt in der Zündleitung herstellt.

Die Schmelzstück-Zeitsicherungen finden in der gleichen Weise Anwendung. Ein zylindrisches oder rechteckiges Schmelzstück aus Salmiak, Alau, Jodkalium, Bromkalium oder auch Zucker wird so in den Stromkreis eingeschaltet, daß es diesen unterbricht. Erst nach längerem Ausliegen im Wasser ist das Schmelzstück aufgelöst und die Zündleitung durch einen Federkontakt wieder geschlossen.

ist imstande, das Pendel beiseitezuschleudern. Dadurch verlieren Pendelstempel und in der Folge die Arretierhebel ihre Auflage, und der Schlagbolzenbügel wird freigegeben. Durch die Schlagbolzenfeder wird der Schlagbolzen auf die Zündpille geschlagen, welche detoniert und die Ladung der Sprengbüchse (G) und der ganzen Mine zur Explosion bringt. Der Schlagbolzen ist aber nicht unter allen Umständen imstande, auf dem vorgeschriebenen Wege zu zünden. Im Minengefäß sitzt noch eine Verblockung, der Auftriebsentschärfer. Dieser wird durch ein Gestänge (M) gebildet, das mit zwei starken Spiralfedern oben am Minengefäß befestigt ist. Nach unten endigt das Gestänge in einem Augbolzen, der mit Stopfbüchseninrichtung durch den Boden des Gefäßes hindurchgeführt ist und zur Befestigung des Ankertaus dient. Unterhalb der Spiralfeder trägt das Gestänge einen Ring, der durch



Philipp Braumüller: Minenexplosion.

Zu Kiep: Die Seemine.



Die Eigenart der Seekriegführung erfordert häufig, daß ein durch Minen gesperrtes Gebiet nach Tagen oder Wochen wieder durch eigene Streitkräfte befahren werden muß. Da ein Wegräumen der Minen an feindlicher Küste durch eigene Minenräumverbände nicht angängig ist, muß die Mine instand gesetzt werden, sich selbst zu beseitigen. Hierzu dienen die Zeiteinrichtungen, die fast durchweg durch Uhrwerke oder Schmelzvorrichtungen dargestellt werden. Sie schließen nach einem in gewissen Grenzen beliebig wählbaren Zeitraum einen Stromkreis, den Versenkzunderstromkreis, der eine kleine Patrone zum Detonieren bringt. Diese schlägt ein Loch in die Gefäßwand, so daß Seewasser eindringt und die Mine nach kurzer Zeit untergeht. Andere Zeiteinrichtungen bilden von vornherein eine Öffnung in der Wand des Minengefäßes, die zunächst durch eine Schmelzmasse verschlossen ist. Je nach dem Durchmesser der Schmelzmasse ist das Seewasser in- stände, sich nach einem, zwei, drei oder mehr Tagen nach Auflösung der Masse den Weg in das Innere

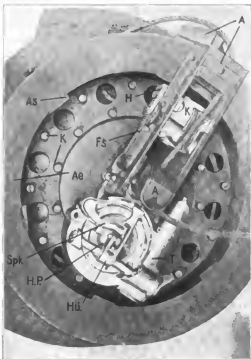


Abbildung 19. Hydrostatischer Tiefensteller an russischer Pendelstoßmine.

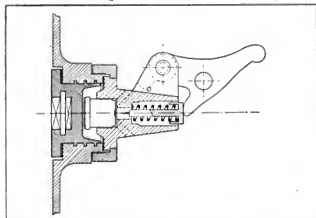


Abbildung 20. Sinkpatrone der russischen Pendelstoßmine.

Die Technik im XX. Jahrhundert. VI.

des Minengefäßes frei zu machen und die Mine zu versenken.

Einige Staaten haben die Minen auch zum selbsttätigen Versenken eingerichtet für den Fall, daß sie sich von der Verankerung losgerissen haben. Es soll dadurch vermieden werden, daß an der Oberfläche treibende Minen die Lage von ganzen Minensperren verraten. Die Sinkpatrone der russischen Pendelstoßmine (Abbildung 20) ist so konstruiert, daß, ähnlich wie bei den Zeit-



einrichtungen, durch eine Patrone ein Loch in die Gefäßwand geschlagen wird. Beim Auftauchen der Mine an der Oberfläche wird durch die von dem Gestänge einer Wasserdrucksicherung ausgeführte Aufwärtsbewegung ein Hammer ausgelöst, der mit kräftigem Schlag den Hebel der Sinkpatrone nach unten schlägt. Hierbei wird der Schlagbolzen durch den Hebel auf das Zündhütchen der Sinkpatrone getrieben, so daß die Detonation erfolgt.

Hiermit hätten die Besprechungen über die wichtigsten technischen Einrichtungen der neuzeitigen selbsttätigen Kontaktminen ihren Abschluß gefunden. In den Abbildungen 21 bis 25 sollen dem Leser noch einige bemerkenswerte Minentypen fremder Staaten vor Augen geführt werden.

Der italienischen Tosi-Mine (Abbildung 21) gebührt deswegen besondere Erwähnung, weil hier einmal das Prinzip der Stabilität der Minengefäße durchbrochen ist. Bei diesem System ist durch Anbringen der Sprengladung im oberen Teil des Gefäßes ein labiler Zustand herbeigeführt worden. Man hat hierdurch ein bequemes Entschärfen der Mine erreicht. Das Abfeuern der Mine erfolgt hier sonderbarerweise auch in Umkehrung des bisherigen Prinzips, indem nicht der Schlagbolzen auf das Zündhütchen schlägt, sondern beim Anstoßen des Schiffes die bisher in erhöhter

Stellung gehaltene Sprengbüchse ihrer Unterlage beraubt wird und mit ihrer Zündpille auf einen unter ihr angebrachten spitzen Dorn geschleudert wird. Reißt die Mine vom Ankertau los, so kippt sie infolge ihres labilen Zustandes sofort um 180° um. Die Sprengbüchse kommt somit nach unten zu liegen, so daß ein Herabfallen auf den Dorn unmöglich gemacht ist.

Die Zündeinrichtung der französischen Breguet-Mine (Abbildung 22) ist bereits an anderer Stelle besprochen.

Die Einzelteile der russischen Pendelstoßminen in Abbildung 23 lassen die Größenverhältnisse der Sinkpatrone (S) zum Minengefäß deutlich erkennen. Neben der Pendelstoßmündung (P), dem Tiefensteller (T) und der Sprengbüchse (A) zeigt die Abbildung auch den zur Sinkpatrone gehörigen Hammer (B).

Die kleine russische Bleikappenmine (Abbildung 24) interessiert besonders hinsichtlich der eigenartigen Karrenform des Ankers.

Die Abbildung 25 soll erläutern, daß auch abweichend von Einrich-



Abbildung 21.

italienische Tosi-Mine mit Anker.

tungen und Abmessungen der bisher behandelten Normalminen für besondere Zwecke kleine Minen mit geringer Ladung Verwendung finden. Die russische Bojenmine, die gegen leichte Streitkräfte, Motorboote und dergleichen, gelegt wird, hat eine Ladung von etwa 15 kg.

**5. TREIBMINEN**

Nach den Beschränkungen, die man gemäß Artikel 1 der II. Haager Konferenz bereits dem Gebrauch verankerter Minen auferlegt hat, und mit denen die Gefahr losgerissener treibender Minen eingeschränkt werden sollte, muß es als selbstverständlich gelten, daß die Anwendung eigens konstruierter Treibminen von den meisten Seemächten stark bekämpft wurde. Treibminen sind ein zweischneidiges Schwert, und die Erfahrungen im Sezessionskriege und im Russisch-Japanischen Kriege haben gezeigt, daß sie, wahllos angewandt, den eigenen Schiffen ebenso gefährlich werden können wie den feindlichen.

Trotzdem wurde die Treibmine von der Konferenz als Kriegswaffe völkerrechtlich anerkannt. Es wurde aber die außerordentlich starke Einschränkung zur Bedingung gemacht, daß die Treibminen so eingerichtet sein müssen, daß sie spätestens eine Stunde, nachdem der sie Legende die Aufsicht über sie verloren hat, unschädlich werden. Da unter solchen Umständen die Anwendung der Waffe nur in ganz besonderen Fällen möglich ist, ist es nicht zu einer allgemeinen Einführung solcher Minen gekommen.

In Deutschland und England sind Treibminen konstruiert worden, die eine Erfindung des schwedischen Physikers Leon darstellen und nach ihm benannt worden sind.

Die deutsche Konstruktion (Abbildung 26 und 27) ist von der Firma Siemens-Schuckert ausgeführt worden. Die äußere Form der Mine ist so gewählt, daß sie aus Torpedo-Lancierrohren geschossen werden kann, falls es die Verhältnisse nicht gestatten, sie einfach durch Überbordwerfen auszulegen. Nach dem Ausstoßen oder Werfen sinkt die Mine langsam abwärts und beginnt nach bestimmter, durch ein Uhrwerk regelbarer Zeit ihre Tätigkeit. Sie bewegt sich mittels eines elektromotorisch angetriebenen Propellers unter der Oberfläche und wird durch einen Hydrostaten gesteuert. Der Hydrostat bewirkt die Ein- und Ausschaltung des Propellersmotors. Er enthält eine Membrane, die einerseits vom Wasserdruck, andererseits durch eine einstellbare Feder beeinflusst wird. Sinkt die Mine, die etwas schwerer ist als ihr Auftrieb, allmählich unter, so überwindet der zunehmende Wasserdruck schließlich die Federkraft und drückt die Membrane nach innen. Bei dieser Bewegung treten zwei



Abbildung 22. Französische Breguet-Mine.

mit der Membrane verbundene Kontakte in Berührung und schalten den Motor ein. Die Mine wird nun durch den Propeller aufwärtsgetrieben, bis der Wasserdruck sich so weit verringert hat, daß die Feder die Membrane wieder zurückschleibt und der Motorstromkreis dadurch unterbrochen wird. Die Mine sinkt darauf infolge ihrer Schwere wieder abwärts und das Spiel wiederholt sich so lange, bis eine Zeiteinrichtung den Stromkreis für dauernd ausschaltet oder die Batterie erschöpft ist. Ein besonderes Kontaktuhrwerk gestattet für beliebige Zeit — z. B. für die Dauer der Ebbe — den Stromkreis zu unterbrechen. Als Stromquelle findet eine Batterie aus Edisonzellen Verwendung. Die Sprengladung der Mine beträgt 100 kg. Die Zündung wird durch einen im oberen Teil der Mine angebrachten Zitterkontakt herbeigeführt, der beim Gegenstoßen des Schiffes einen besonderen, ebenfalls von der Edisonbatterie gespeisten Zündstromkreis schließt.

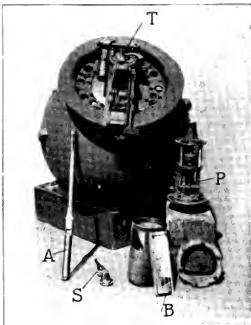


Abbildung 23.

Russische Pendelstoßmine.

umhertreibt, ehe sie an flacher Küste von der Strömung an Land gespült wird. Diese frei umhertreibenden Minen bilden selbstverständlich für die Handelsschiffahrt eine gewisse Gefahr. Es ist nicht immer sichergestellt, daß die Entschärfereinrichtung der Mine in Tätigkeit tritt, sobald die Mine an die Oberfläche getreten ist. Es kommt zuweilen vor, daß bei lange Zeit im Wasser liegenden Minen sich die mechanischen Teile der Entschärfereinrichtungen festsetzen, so daß solche Minen auch in treibendem Zustande scharf bleiben. Derartige Versager haben z. B. noch mehrere Jahre nach dem Russisch-Japanischen Kriege zu Verlusten an Handelsschiffen geführt. Immerhin wird die Treibminen Gefahr zum Nachteile der Schiffahrt in vielen Kreisen erheblich überschätzt. In dem Kapitel „Zündung und Sicherung der Mine“ ist gezeigt worden, wie alle Nationen bestrebt gewesen sind, ihren Minen betriebssichere Entschärfereinrichtungen mitzugeben. Versager dieser Einrichtungen können daher nur als Ausnahmefälle angesehen werden, d. h. eine treibende Mine wird im allgemeinen gefahrlos sein. Dennoch ist von den zuständigen Marinebehörden Vorsorge getroffen

worden, daß Patrouillenfahrzeuge auf Treibminen Jagd machen und sie durch Abschießen beseitigen. Auch andere Schiffe, selbst Handelsschiffe, beteiligen sich an der Vernichtung der Treibminen, indem sie diese durch Beschießen zum Sinken bringen.

Geschieht das Abschießen der Minen mit Geschützen, so ist die Gewähr gegeben, daß die Minen vollkommen unschädlich gemacht werden. Die einschlagende Granate bringt entweder die Mine in ungefährlicher Entfernung zur Detonation, oder sie zerstört die Zündeinrichtung so gründlich, daß eine Zündung der Mine nicht mehr erfolgen kann. Unsachgemäß ist es dagegen auf jeden Fall, Treibminen durch Gewehrfeuer unschädlich machen zu wollen. Nur durch einen Zufallstreffer kann durch kleinkalibrige Geschosse, wie Gewehrkugeln, eine Detonation der Minen herbeigeführt werden. Die Minen werden wohl nach mehreren Treffern zum Sinken gebracht werden.

aber in den meisten Fällen wird die Beschädigung der Mechanismen durch die Beschießung so gering sein, daß eine Zündung der Minen durch Berührung auch noch nach dem Sinken erfolgen kann. Somit wäre durch das Abschießen der Minen nur ein Scheinerfolg erzielt worden. Wohl wäre die Gefahr an der Wasseroberfläche beseitigt worden, aber die Mine wäre zu einer viel bestimmteren Gefahr auf dem Meeresgrunde geworden, weil noch hinzukommt, daß eventuell Wasserdrucksicherungen, welche die Mine an der Wasseroberfläche entschärft hielten, beim Sinken der Mine wieder in umgekehrter Richtung arbeiten und die Mine in Scharfzustand versetzen. Solche Minen bilden besonders eine erhebliche Gefahr für die Seefischerei, da sie häufig von den Grundnetzen der Fischer erfaßt werden und entweder durch Detonation auf dem Grunde die Fanggeräte zerstören oder nach dem Aufholen der Netze an der Wasseroberfläche explodieren und Schiff und Besatzung Schaden zufügen.



Abbildung 24. Kleine russische Bleikappenmine mit Anker.



Abbildung 25. Russische Bojenmine.



noch im amerikanischen Sezessionskriege für Minenladungen verwandte Schwarzpulver konnte auch bei erheblicher Steigerung der Ladung die verlangten Wirkungen sehr bald nicht mehr garantieren. Das Schwarzpulver, das zu den impulsiven Sprengmitteln rechnet, hat eine mehr treibende, schiebende Wirkung, die dem starken neuzeitigen Innenschuß der Schiffe nicht bis zur Katastrophe gefährlich werden kann. Der Übergang zu den brisanten Sprengstoffen, welche imstande sind, die bei dem Explosionsvorgang in ihrer Nähe befindlichen starren Massen bis zur Atomisierung zu zerschmettern, war notwendig. Die nasse Schießwolle mit 20% Wassergehalt, die bis zum Weltkriege als Minenladung vorherrschte, wurde in den letzten Jahren infolge der gesteigerten Anforderungen, die man an die Ladedichte des Sprengstoffes zu stellen gezwungen war, durch das Trinitrotoluol fast völlig verdrängt. Man geht daher nicht fehl, wenn man die Wirkungen der modernen Mine allgemein nach der Sprengwirkung des Trinitrotoluols berechnet.

Wenn die sprengtechnischen Eigenschaften des Trinitrotoluols im Vergleich zu denen der Schießwolle betrachtet werden, so finden wir, daß Schießbaumwolle pro Kilogramm Sprengstoff 901 Liter, Trinitrotoluol aber nur 850 Liter Gasmenge entwickeln. Dagegen besitzt aber Trinitrotoluol eine außerordentlich große Detonationsgeschwindigkeit, die z. B. bei Verwendung von Knallquecksilbersprengkapseln zur Initiierung und Dynamit als Übertragungsladung 7620 m pro Sekunde beträgt, während Schießbaumwolle unter gleichen Bedingungen nur 5230 m/sek. erreicht. Die dynamischen Wirkungen von Trinitrotoluol müssen demnach bedeutend größer sein.

Das Maximum des Gasdruckes, also den Wert zu ermitteln, bei dem die Erwärmung der bei dem Explosionsvorgang sich bildenden Zersetzungsprodukte und damit auch die Spannung dieser Gase den Höhepunkt erreicht hat, stößt auf Schwierigkeiten. Die

für die Berechnung von Gasdrücken aufgestellten, unter dem Namen Gay-Lussacsche und Boyle-Mariottesche bekannten Gesetze gelten nur für Atmosphärendruck und für Temperaturen bis zu 500 bis 600° und ergeben für die bei den Explosionsvorgängen auftretenden sehr starken Drücke und sehr hohen Temperaturen keine einwandfreien Resultate. Auch die Berthelotschen Betrachtungen über das „charakteristische Produkt“ der Sprengstoffe können als Gradmesser für die Wirkungen der Explosionsstoffe nicht dienen, weil darin einer der für die Beurteilung wichtigsten Faktoren, die Detonationsgeschwindigkeit, nicht berücksichtigt ist.

Da alle theoretischen Ermittlungen nur Annäherungswerte ergeben, hat man versucht, durch direkte Messung des Gasdruckes mit Druckmessern auf praktischem Wege zum Ziele zu gelangen. In diesen sogenannten Druck-



Abbildung 25. Detonation einer Mine 5 m unter der Wasseroberfläche.



Abbildung 29. Schwere Beschädigung eines Torpedobootzerstörers durch Minentreffer.

In den Jahren 1873—74 sind durch die Engländer zahlreiche Versuche mit solchen Apparaten, den „Crusher gauges“, ausgeführt worden. Zu diesem Zwecke war der alte eiserne Raddampfer „Oberon“ so hergerichtet worden, daß seine Unterwasserteile dem damals stärksten Panzerschiff H. S. „Herkules“ entsprachen. Gegen „Oberon“ wurden Minen mit 15—227 kg Ladung in den verschiedensten Entfernungen zur Explosion gebracht. Als Ergebnis wurden nur relative Werte bekannt. Nach General Abbot soll das Endresultat der Versuche bewiesen haben, daß bei einem Gasdruck von 5500 lbs. pro Quadratzoll die Widerstandskraft des „Herkules“ gebrochen und die Zerstörung gelungen war. Nach Armstrong, „Torpedo and Torpedo-vessels“, soll Kolonel Budnill die Genauigkeit des Resultats angezweifelt und demgegenüber nachgewiesen haben, daß der erforderliche Gasdruck „to produce a fatal effect on an iron-clad is much nearer 12000 lbs. on the square inch than 5500 lbs.“. Diese Werte treffen selbstverständlich für die heutige Schiffbaukonstruktion nicht mehr zu.

Es ist erklärlich, daß im allgemeinen mit den Druckapparaten zuverlässigere Werte ja nur für gewisse Entfernungen gemessen werden können, da die Apparate in unmittelbarer Nähe der explodierenden Mine zerschmettert werden würden.

Mit besonderen Apparaten sind jedoch Versuche gelungen,

bomben werden kleine Mengen von 10—100 g des Sprengstoffes zur Entzündung gebracht und die erreichte Druckstärke durch Federindikatoren registriert. Die Ermittlung der Höchstwerte für Explosivstoffe gelingt aber nach dieser Methode nicht, da sich solche Apparate nur für geringe Ladedichten und geringe Sprengstoffmengen eignen.

Für die Feststellung der dynamischen Wirkungen ganzer Minenladungen müßten die Werte durch geeignete Apparate unter Wasser festgestellt werden. Die Technik hat derartige Instrumente bereits in die Praxis eingeführt.



Abbildung 30. Torpedobootzerstörer, dessen Vorderteil durch Minentreffer vernichtet ist.

die den gewaltigen Gasdruck einer vollen Minenladung festgestellt haben. Die Apparate registrierten, daß 180 kg Trinitrotoluol im Augenblick der Explosion bei direkter Anlage am Ziel 25000 t pro m<sup>2</sup> Gasdruck auslösten.

Trotz aller wertvollen Anhaltspunkte, die durch diese Meßmethoden geboten werden, entscheidet für die grundlegende und endgültige Beurteilung der Waffe ihr militärischer Erfolg. In dem Weltkriege ist die Mine in einem nie geahnten Umfange angewandt worden, so daß Tausende von Kriegs- und Handelsschiffen durch Minentreffer vernichtet oder beschädigt wurden. Es ist anzunehmen, daß aus dem dadurch gewonnenen Material Schlüsse gezogen werden, die zu einer weiteren bedeutenden Vervollkommnung der Minenwaffe führen müssen und die technische Weiterentwicklung der Mine in ein viel intensiveres Stadium treiben werden, als es nach den Erfahrungen des Russisch-Japanischen Krieges der Fall war.

Es muß trotz der bisher bekannt gewordenen Erfolge angenommen werden, daß die neuzeitige Mine mit etwa 150—200 kg Ladung nicht genügt, um ein modernes Großkampfschiff durch einen Treffer zum Sinken zu bringen. Den Nachrichten zufolge soll allerdings das englische Großkampfschiff „Audacious“ (24000 t) durch eine einzige deutsche Mine versenkt worden sein. Die Tatsache, daß eine Reihe anderer Panzerschiffe nach Minentreffern schwimmend erhalten werden konnte, läßt aber vermuten, daß „Audacious“ naheinander auf mehrere Minen geraten ist, oder daß andere, besonders günstige Umstände bei der Versenkung mitgewirkt haben. Aus dem Russisch-Japanischen Kriege ist erinnerlich, daß auf der „Petropawlowsk“ durch die Minenexplosion eine Munitionskammer mit 18 Torpedoköpfen mitdetonierte. Ohne diesen Umstand wäre die Vernichtung des Schiffes durch die 35 kg starke Sprengladung der japanischen Mine nicht möglich gewesen.

Aus den Pressenachrichten wissen wir, daß sogar eine große Anzahl Handelsschiffe, die doch einen ähnlich starken Innenschutz wie Kriegsschiffe nicht besitzen, nach Minentreffern schwimmend den Hafen erreichen konnten.

Hierbei muß allgemein berücksichtigt werden, daß Minen, die ein Schiff unter allen Umständen versenken, überhaupt nicht konstruiert werden können. Die Mine kann nur dann zum vollen Erfolge führen, wenn sie unmittelbar oder in geringer Entfernung von der Bordwand zur Explosion kommt; denn die Abnahme der Sprengwirkung geschieht ungefähr proportional dem Quadrat der Entfernung des Sprengzentrums vom Ziel. Sehr wesentlich für den Totalerfolg ist auch, daß die Mine an einer empfindlichen Stelle des Schiffes auftrifft. Treffer an der Seite des Schiffes erfolgen unter für den Erfolg ungünstigeren Bedingungen als solche, die am Schiffsboden erfolgen, weil die Schiffseite einen viel stärker ausgebauten Innenschutz besitzt. Ferner wird es für die Erhaltung der Schwimmfähigkeit eines Schiffes sehr wesentlich sein, welcher Teil des Schiffes getroffen wird. Trifft die Minenexplosion die großen Heiz- und Maschinenräume, wird die Katastrophe leichter eintreten als bei Treffern im Vorderschiff, bei denen die bessere Schotteneinteilung eine Lokalisierung des Wassereintruchs erleichtert. Um eine genügende Breitwirkung zu erzielen, ist aber ein gewisser Widerstand des Schiffskörpers erforderlich. Daraus ist es zu erklären, daß viele, besonders leergehende Handelsschiffe, die Treffer in die großen Laderäume erhielten, verhältnismäßig geringe Beschädigungen davontrugen. Die großen, freien Räume setzen dem Hineinschießen der Explosionsgase wenig Widerstand entgegen und vermitteln die sofortige Entspannung der Gase, bevor die angrenzenden Schiffsverbände in Mitleidenschaft gezogen werden.

Für die Wirkung der Explosionskräfte ist es auch nicht gleichgültig, in welcher



Tiefe unter der Oberfläche die Zündung erfolgt. Unmittelbar oder in geringer Entfernung unter der Oberfläche detonierende Minen werden dem Schiffe weniger gefährlich werden, weil ein großer Teil der Gase sofort die Wasseroberfläche durchbricht und dort frei explodieren kann. Erst mehrere Meter unter dem Wasserspiegel beginnt die Zone, bei welcher die Wassermengen die Minenladung derart verdämmen, daß die größte Sprengwirkung gegen das Ziel erwartet werden kann.

Welche gewaltigen Kräfte eine Minenexplosion auslöst, läßt die photographische Aufnahme Abbildung 30 ermessen. Das ganze Vorderteil eines Hochseetorpedobootes ist durch die Explosion der Mine abgerissen und vernichtet worden. Die interessante Aufnahme dokumentiert aber gleichzeitig, daß der Zerstörer trotz der schweren Beschädigung in den Hafen eingeschleppt werden konnte. Die nächstliegenden Schotten und Verbände müssen demnach die gewaltige Belastung ausgehalten haben! Man weiß nicht, was mehr bewundert zu werden verdient, die große Leistungsfähigkeit der Minenwaffe oder der hohe Stand der Schiffbautechnik.

Der Kampf zwischen Minenwaffe und Innenschuß der Schiffe hat durch den Weltkrieg neue Nahrung erhalten. Es kann als sicher gelten, daß alle Seemächte der Verwendung in Zukunft das größte Interesse entgegenbringen werden.

Selbst wenn der Völkerbundgedanke in idealer Form verwirklicht und damit die Frage der Abrüstung der offensiven Kampfmittel akut werden sollte, würde gerade der kräftige Ausbau der aktiven Minenverteidigung aller Küsten ein Mittel sein, die Friedensgarantien der Welt zu erhöhen.

---

# DIE MODERNEN SCHIESZ- UND SPRENGSTOFFE

VON DR. K. STEPHAN

**1. ALLGEMEINES** Unter Schieß- und Sprengstoffen versteht man solche chemischen Verbindungen oder Gemenge derselben, die imstande sind, durch einen äußeren Anstoß oder Anreiz, wie Stoß, Schlag, Reibung, Wärme oder auch chemische Energie in verhältnismäßig ganz kurzer Zeit unter Entwicklung von hohen Temperaturen und Gasen zu zerfallen, wobei die letzteren einen gewaltigen Druck auf die umgebende Materie ausüben, indem sie, falls diese widerstandsfähig genug ist, wie das bei den Feuerwaffen der Fall ist, das Geschloß aus dem Lauf mit großer Gewalt hinaustreiben oder aber, wie bei den Sprengstoffen, zertrümmernd auf den diese einschließende Materie einwirken.

In dieser Definition liegt gleichzeitig der Verwendungszweck der beiden Gruppen von Substanzen enthalten. Während die Schießstoffe ausschließlich für den Krieg und die Jagd bestimmt sind, also zum Töten von Menschen und Tieren, haben die Sprengstoffe eine eminent hohe kulturelle Aufgabe zu erfüllen. Die Bodenschätze unserer Erde, wie Erze, Kohlen, Salze oder natürliche Gesteine, können in den gewünschten Mengen nur durch Sprengstoffe gefördert und den Menschen nutzbar gemacht werden. Straßen- und Tunnelbauten sind heute ohne Sprengstoffe nicht denkbar. Störende Hindernisse aller Art, wie unterseeische Riffe, Schiffe, welche in Hafeneingängen versunken sind, können am raschesten und sichersten nur durch Sprengung beseitigt werden.

Der älteste und bekannteste Schieß- und Sprengstoff ist das aus Salpeter, Kohle und Schwefel bestehende Schwarzpulver. Bis in die siebziger und achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts mußte diese nützliche Substanz allein alles das leisten, was heute die vielen modernen Explosivstoffe mit viel besserem Erfolg tun. Wenn es auch nicht die Absicht ist, sich in dem Vorstehenden über die historische Entwicklung der Explosivstoffe zu verbreiten, so ist es doch nicht zu vermeiden, bei dem Schwarzpulver ein wenig zu verweilen und sich klarzumachen, was es im Laufe der Zeiten geleistet hat. Die Erfindung des Schwarzpulvers ist in sagenhaftes Dunkel gehüllt. Sicher ist nur, daß bereits im 7. Jahrhundert nach Christi Geburt im Orient Zündsätze für militärische Zwecke gebraucht wurden, die fast genau die Zusammensetzung des heutigen Schwarzpulvers hatten. Aber in jenen alten Zeiten wurden solche Zündmassen nicht zum Schleudern von Geschossen, sondern zur Herstellung von Brandraketen, Brandtöpfen und sogenanntem griechischem Feuer verwendet, welche den Zweck hatten, Schiffe und Baulichkeiten des Feindes in Brand zu setzen oder diesen durch Entwicklung erstickender Gase zu vertreiben, ähnlich wie es heute z. B. durch Gasgranaten geschieht, nur nannte man damals die von Hand oder durch Schleudermaschinen dem Feinde zugeworfenen Geschosse Stinktöpfe.

Die Kunst, mit Hilfe des Schwarzpulvers zu schießen, also ein Projektil aus einer Röhre auf den Feind zu schleudern, ist zweifellos deutschen Ursprungs. Ob man das Verdienst dieser Erfindung dem sagenhaften Freiburger Franziskanermönch

Konstantin Anklüger, genannt Berthold Schwarz, zu Freiburg i. Br. zuzuschreiben hat, wird wohl stets in Dunkel gehüllt bleiben. Sicher ist aber, daß vom Jahre 1313 ab sich von Süddeutschland aus die Benutzung von Geschützen und Feuerröhren rasch über das übrige Deutschland, Frankreich und England und damit über die damals bekannte Welt ausbreitete. Auch haben die ersten Werkstätten, in denen Feuerwaffen hergestellt wurden, in süddeutschen Städten wie Freiburg i. Br., Ulm, Nürnberg und Augsburg gestanden.

Bereits im Jahre 1515 erwähnt Fronsperger, daß das Pulver aus 66% Salpeter, 22% Schwefel, 11% Kohle zusammengesetzt sei. Diese Zusammensetzung wurde mit geringer Abweichung durch mehr als drei Jahrhunderte innegehalten, denn im Jahre 1846 war ein Pulver für mittlere Geschütze ganz ähnlich zusammengesetzt, nämlich mit 66,7% Salpeter, 20% Schwefel und 13,3% Kohle.\*

Bis in die Mitte der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts wurde das Schwarzpulver allein für militärische Zwecke verwandt. Der Dreißigjährige Krieg, die Kriege Friedrichs des Großen, die Freiheitskriege und die Kriege von 1864, 1866 und 1870/71 kennen als Treibmittel für Geschosse nur dies alte Schwarzpulver.

Auch der Berg- und Wegebau benutzte jahrhundertlang kein anderes Sprengmittel als das alte und bewährte Schwarzpulver. Erst durch Erfindung des Gurdynamits durch Nobel (1867) und des Gelatinedynamits durch denselben Forscher (1875) wurde in dieses Monopol Bresche gelegt. Aber auch heute noch wird viel Schwarzpulver zu Sprengungen verwendet, namentlich in weichen Gesteinen, wo es sich mehr um eine schiebende als um eine zertrümmernde Wirkung handelt, also besonders in Steinbrüchen, wo es darauf ankommt, möglichst große und rißfreie Werkstücke zu erhalten.

Dem Zwecke dieses Buches entsprechend kommt es nicht darauf an, einen geschichtlichen Überblick über die Entwicklung der Schieß- und Sprengstoffe zu geben, sondern lediglich einen gemeinverständlichen Überblick über den Stand dieser Technik im 20. Jahrhundert. Es muß daher dieses kulturhistorisch so außerordentlich wichtige und interessante Thema verlassen werden, um auf den eigentlichen Gegenstand dieses Kapitels, die Wirkung und Gewinnung der modernen Schieß- und Explosivstoffe, zu kommen.

## 2. ALLGEMEINES VERHALTEN VON SCHIESZ- UND SPRENGSTOFFEN

Die chemischen und physikalischen Vorgänge, welche sich bei Zerlegung von Explosivstoffen abspielen, sind so vielseitige und komplizierte, daß sie sich nicht in bestimmte Regeln fassen und durch bestimmte Formeln ausdrücken lassen. Fast jeder einzelne Sprengstoff verhält sich je nach seiner chemischen Zusammensetzung, Art der Zündung während und nach der Zündung vorliegenden Verhältnissen, in bezug auf seine Sprengleistung und die dabei entstehenden Zersetzungsprodukte anders. Man ist daher genötigt, nach rein empirischen Methoden zu verfahren, wenn es sich um den Vergleich und die Bewertung neuer Sprengmittel handelt. Es haben sich aber doch eine ganze Reihe von Regeln und Gesetzmäßigkeiten allmählich herausgebildet, so daß man heute von einer methodischen Prüfung der Sprengstoffe sprechen kann. Ehe aber auf diese Prüfungs-methoden eingegangen wird, sollen die bei der Explosion eines Sprengstoffes sich abspielenden Vorgänge betrachtet werden.

\* Guttman, „Industrie der Explosivstoffe“, Seite 161.

Wenn irgendein Sprengstoff frei in der Luft aufgehängt zur Explosion oder Detonation gebracht wird, so bemerken wir dabei eine Reihe von Erscheinungen. Erstens eine Lichterscheinung in Form eines Aufblitzens, zweitens einen Knall, drittens die Entwicklung von Dämpfen oder Gasen und viertens das Auftreten hoher Temperaturen.

Da bei allen explosiven Vorgängen Wärme frei wird, so haben wir es mit sogenannten exothermen Reaktionen zu tun. Die in den Sprengstoffen aufgespeicherte Energie wird durch innere Verbrennung frei und wandelt sich in die zumeist gasförmigen Verbrennungsprodukte, wie Wasser, Kohlensäure, Kohlenoxyd, Stickstoff und gelegentlich auch in Stickoxyd um. Dabei werden aber sehr hohe Temperaturen entwickelt. So liefert z. B. Nitroglycerin Temperaturen bis zu 3400°, Schießwolle bis zu 2850° und Schwarzpulver bis zu 2700°. Diese hohen Temperaturen bewirken nun, daß die entwickelten Gase durch Ausdehnung ihr Volumen ungemein vergrößern, und zwar beträgt das Volumen der Gase im Augenblick der Explosion, also bei Temperaturen von etwa 3000°, rund das Zehnfache wie das bei 0° und einem Barometerstand von 760 mm. Aber noch eine andere Wirkung wird durch die hohen Verbrennungstemperaturen ausgelöst. Die mit den heißen Gasen in Berührung kommenden Stoffe, z. B. die Wandungen von Geschüßröhren, werden bis zur Schmelztemperatur erhitzt, wodurch Ausbrennungen der Züge, Unsicherheit des Schusses und schließlich ein Zerreißen der Läufe und Rohre bewirkt werden kann. Man hat zwar durch Zumischen gewisser Salze zu den Treibmitteln diesem Mangel bis zu einem gewissen Grade abzuwehren versucht, weil die Erfahrung gezeigt hat, daß solche, wie z. B. Chlorkalium, Kochsalz usw., die Verbrennungstemperaturen herabsetzen, also gleichsam „kühlend“ wirken. Aber ganz haben sich die gefürchteten Ausbrennungen nicht vermeiden lassen, namentlich bei schweren Geschüßen, in deren Riesenrohren gewaltige Mengen von Pulver zur Verbrennung gelangen. Derartige Riesenrohre haben daher nur eine kurze Lebensdauer, Anfangsgeschwindigkeit und Reichweite der Geschosse nehmen schon nach 40 bis 50 Schüssen wesentlich ab, obwohl das Gewicht der Pulverladung dasselbe geblieben ist.

Es entsteht nun die weitere Frage: Welche Energiemengen werden bei explosiven Vorgängen frei und welche mechanische Arbeit kann durch sie geleistet werden? Bekanntlich kann die in einer verbrennlichen Substanz enthaltene Energiemenge durch Bestimmung der Wärmemenge gemessen werden, die bei der Verbrennung frei wird. Dies geschieht in der kalorimetrischen Bombe, auf deren Beschreibung und Handhabung hier nicht näher eingegangen werden kann. In dem Nachstehenden sind die kalorischen Werte einer Reihe von Sprengstoffen und, um einen Vergleich zu haben, auch die anderer verbrennlichen Substanzen aufgeführt.

#### ENERGIEINHALT DER WICHTIGSTEN EXPLOSIVSTOFFE\*

(bezogen auf 1 kg Explosivstoff, konstantes Volumen und flüssiges Wasser)

1. Sprenggelatine (7% Kollodiumwolle) . . . . .	1640 Kalorien
2. Nitroglycerin . . . . .	1580 "
3. Nitromanit . . . . .	1520 "
4. Nitroglycerinpulver (40% Nitroglycerin) . . . . .	1290 "
5. Dynamit . . . . .	1290 "
6. Schießwolle (13% Stickstoff) . . . . .	1100 "
7. Schießwollpulver . . . . .	900 "

\* Nach Dr. H. Brunswig, „Die Explosivstoffe“, Seite 13.

8. Kollodiumwolle (12% Stickstoff) . . . . .	730 Kalorien
9. Ammonsalpetersprengstoff (Ammonsalpeter mit 10% Nitronaphthalin) . . . . .	930 "
10. Pikrinsäure . . . . .	810 "
11. Trinitrotoluol . . . . .	730 "
12. Schwarzpulver . . . . .	685 "
13. Ammonsalpeter . . . . .	630 "
14. Knallquecksilber . . . . .	410 "
15. Petroleum . . . . .	12000 "
16. Steinkohle . . . . .	8000 "
17. Trockenes Holz . . . . .	3500—4000 "

Bei dem Betrachten der vorstehenden Tabelle kommt man zu dem überraschenden Resultat, daß selbst unsere sprengkräftigsten Substanzen in bezug auf ihren in Kalorien ausgedrückten Energiegehalt weit hinter dem unserer gebräuchlichen Heizstoffe, wie Kohle, Petroleum und Holz, zurückbleiben. Wollte also jemand daran denken, irgendeinen Explosionsmotor an Stelle von Benzin mit Sprengstoffen zu betreiben — und derartige Vorschläge sind früher vielfach gemacht worden —, so würde derselbe einen überraschend geringen Nutzeffekt erzielen. Woran liegt das, wie ist der scheinbare Widerspruch zu erklären, und wie sind trotzdem die gewaltigen Arbeitsleistungen zu erklären, welche durch unsere Sprengstoffe hervorgerufen werden?

Nehmen wir z. B. den Fall, Schießwolle detoniert. Dabei werden nur 1100 Kalorien frei. Der Zerfall der Schießwolle in seine gasförmigen Verbrennungsprodukte Wasser, Kohlensäure, Stickstoff und Kohlenoxyd erfolgt aber so ungemein schnell,\* daß ein gewaltiger Stoß auf die umgebende Materie ausgeübt wird. Würde Schießwolle im Verbrennungsraum eines Gewehrlaufes detonieren, so würde der Gewehrlauf zerschmettert werden. Wird dagegen die Schießwolle in eine zelluloidartige Masse verwandelt und dadurch der Zerfall dieser so behandelten Schießwolle bei der Zündung auf etwa 1000 m pro Sekunde verlangsamt, dann treiben die Explosionsgase das Projektil aus dem Lauf heraus, ohne diesen zu zersprengen. Bei Untersee-Minen, die eine Schießwollladung enthalten, muß dagegen die Schießwolle bei der Zündung so schnell als möglich detonieren, damit nicht nur die Umhüllung der Mine zersprengt, sondern auch noch das über die Mine fahrende Schiff zerstört wird. Es kommt also auf die Geschwindigkeit an, mit der die Schieß- und Sprengstoffe in ihre gasförmigen Endprodukte unter Entwicklung sehr hoher Temperaturen (bis etwa 3000°) zerfallen, und nur so ist das Zustandekommen so gewaltiger Kraftleistungen zu erklären, wie wir sie bei dem Verlauf jeder Sprengung beobachten können. In der nachstehenden Tabelle ist für einige der wichtigsten Explosivstoffe der Energieinhalt für 1 kg Substanz in Meterkilogramm Arbeit angegeben:\*\*

1. Sprenggelatine (7% Kollodiumwolle) . . . . .	700 000	5. Nitroglycerinpulver mit 40% Nitroglycerin . . . . .	550 000
2. Nitroglycerin . . . . .	670 000	6. Schießwolle m. 13% Stickstoff . . . . .	465 000
3. Nitromanit . . . . .	645 000	7. Schießwollpulver . . . . .	380 000
4. Dynamit (75% Nitroglycerin) . . . . .	550 000	8. Kollodiumwolle mit 12% Stickstoff . . . . .	310 000

\* Detonationsgeschwindigkeit bis zu 5000—6000 m in der Sekunde.

\*\* Nach Brunswig, Seite 13.

9. Ammonsalpeter-Sprengstoff (Ammonsalpeter mit 10% Nitronaphthalin) . . . . .	385 000	11. Trinitrotoluol . . . . .	312 000
10. Pikrinsäure . . . . .	345 000	12. Schwarzpulver . . . . .	290 000
		13. Ammonsalpeter . . . . .	265 000
		14. Knallquecksilber . . . . .	175 000

Aber nicht allein auf diesen eigentlichen Verbrennungsvorgang kommt es bei der Bewertung unserer Sprengstoffe an, sondern auch darauf, wie leicht und wie schwer er sich auslösen läßt. Diese Eigenschaft ist bei den einzelnen Sprengstoffen äußerst verschieden. Man spricht daher von der verschiedenen Sensibilität derselben.

Unter Sensibilität versteht man die relative Empfindlichkeit gegen gewisse physikalische Einwirkungen. Als solche kommen Wärme, Stoß und Schlag, Reibung und das Verhalten gegen detonierendes Knallquecksilber in Betracht, auf weld letzteres noch besonders eingegangen werden wird. Die Schlagempfindlichkeit eines Sprengstoffes wird durch Prüfung mittels Fallhammers bestimmt; wie groß die Unterschiede hierbei sind, kann aus folgender Tabelle\* (Seite 320) ersehen werden.

Aus dieser Tabelle ist deutlich die große Verschiedenheit der einzelnen Substanzen in bezug auf Schlag zu erkennen. Während z. B. Knallquecksilber schon bei einem Gewicht des Fallbären (Fallgewichtes) von nur 100 g bei einer Fallhöhe von 5—10 ccm detoniert, findet das beim Schwarzpulver erst bei einem Gewicht des Fallbären von 2 kg bei 10—15 ccm Fallhöhe statt, bei dem gleichen Gewicht bei Pikrinsäure (gepreßt) erst bei einer Fallhöhe von 100—110 ccm und Trinitrotoluol bei 150—160 cm.

Die Empfindlichkeit gegen Wärme ist bei den einzelnen Sprengstoffen ebenfalls sehr verschieden. Während Stoffe wie Knallquecksilber, Nitroglyzerin und Bleiazid beim freien Erhitzen z. B. auf einem Eisenblech sofort stark detonieren, verpuffen andere ohne Knall, wie z. B. Ammonsalpetersprengstoffe und Schießwolle, wieder andere, wie z. B. Pikrinsäure und Trinitrotoluol, brennen ruhig und mit ruhender Flamme ab. Auch die Reibungsempfindlichkeit zeigt große Unterschiede. Werden die betreffenden Stoffe mit Sand oder Glaspulver verrieben, so explodieren einzelne, wie z. B. Gemenge von chloresurem Kali und Kohle, Knallquecksilber, Zyanisilber, Bleiazid, heftig, andere sind ganz indifferent, wie z. B. Pikrinsäure, Trinitrotoluol und Schwarzpulver.

Ein ganz besonderes Verhalten zeigen unsere Sprengstoffe aber gegen detonierende Knallquecksilbersprengkapseln. Unter Sprengkapseln versteht man einseitig verschlossene Röhrcn aus dünnem Kupferblech, welche mit wechselnden Mengen eines Sprengsatzes gefüllt sind, deren Hauptbestandteil Knallquecksilber ist. Während des Krieges wurde auch an Stelle von Knallquecksilber vielfach Bleiazid angewendet. Diese Sprengkapseln werden in wechselnden Größen Nr. 1—12 hergestellt und enthalten von dem Detonator 0,3—5 g. In diese Sprengkapsel wird entweder das Ende einer Zündschnur oder ein elektrischer Glühzylinder gesteckt und durch deren Betätigung die Sprengkapsel gezündet. Diese Sprengkapseln üben auf ihre Umgebung einen so gewaltigen Stoß aus, daß auch solche Stoffe, welche auf anderem Wege nur schwer oder gar nicht zur Explosion gebracht werden können, mit Sicherheit gezündet werden. Die Erfindung der Sprengkapseln durch Nobel 1867 ist eine der wichtigsten Errungenschaften der Gesamtsprengstofftechnik, denn nur durch ihre Anwendung ist es möglich geworden, aromatische Nitrokörper wie Pikrinsäure, Di- und Trinitrotoluol, Trinitroanisol, Di- und Trinitrobenzol, aber auch feuchte Schießwolle und solche

\* Nach Brunswig, Seite 18.

SENSIBILITÄT VON EXPLOSIONSBLEN SUBSTANZEN GEGENÜBER DER FALLHAMMERPROBE

Lfd. Nr.	Bezeichnung der explosiblen Substanz	Zusammensetzung der explosiblen Substanz	Fallrohren in cm, bei denen Explosion erfolgte							
			0,1	0,25	Gewicht des Fallrohres in kg	1,0	2,0	5,0	20,0	
1	Jodstickstoff	N <sub>2</sub> J <sub>2</sub>	unter 5	—	—	—	—	—	—	—
2	Knallquecksilber	Hg (CN O) <sub>2</sub>	5—10	unter 5	—	—	—	—	—	—
3	Nitroglycerin	C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> 75% Nitroglycerin	5—10	unter 5	—	—	—	—	—	—
4	Gurdynamit	23% Kieselgur 65,5% Nitroglycerin	5—10	unter 5	—	—	—	—	—	—
5	Gelatinedynamit	1,5% Nitrocellulose 27,0% Nitronalpulver 8,0% Holzmehl	—	—	—	—	—	—	—	—
6	Dinitroglycerin	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> OH	10—15	5—10	unter 5	—	—	—	—	—
7	Gemenge von Kaliumchlorat mit Schwefel	KClO <sub>3</sub> S	15—20	10—15	5—10	unter 5	—	—	—	—
8	Nitrocellulose (trocken)	—	30—40	15—20	5—10	5—10	5—10	unter 5	—	—
9	Blätpulver	Gelatinerierte Nitrocellulose	40—50	20—30	10—15	10—15	10—15	5—10	unter 5	—
10	Nitrocellulose (feucht, mit 15% Wasser)	—	über 200	70—80	15—20	10—15	10—15	5—10	unter 5	—
11	Schwarzpulver	75% Kaliumalpulver 10% Schwefel 15% Kohle	—	über 200	190—200	100—110	30—40	5—10	unter 5	—
12	Pikrinsäure (los)	C <sub>6</sub> H <sub>2</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> OH	—	—	über 200	100—110	5—60	unter 5	—	—
13	Pikrinsäure (gepreßt)	—	—	—	über 200	140—150	80—90	unter 5	—	—
14	Trinitrotoluol (gepreßt)	C <sub>6</sub> H <sub>2</sub> (NO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	—	—	über 200	150—160	80—90	unter 5	—	—
15	Ammonalpulver	NH <sub>4</sub> ·NO <sub>3</sub>	—	—	—	—	—	über 200	—	—
16	Ammonalpulversprengstoff	95,5% Ammonalpulver 4,5% Trinitronaphthalin	—	—	über 200	140—150	70—80	unter 5	—	—

Sprengstoffe, welche als Grundlage den an sich ziemlich unempfindlichen Ammonsalpeter enthalten, in der Sprengstofftechnik zu benutzen. Auf die Zusammensetzung aller dieser Sprengmittel wird noch später näher eingegangen werden. Wie unentbehrlich und wie umfangreich die Anwendung der Sprengkapseln ist, geht aus der einfachen Überlegung hervor, daß heute jede Granate und jede Mine letzten Endes durch eine Sprengkapsel gezündet wird. Das gleiche gilt für die vielen Sprengschüsse, die täglich im Berg- und Wegebau abgetan werden, ja, man kann wohl ohne Übertreibung sagen, daß der Umfang des heutigen Bergbaues ohne Sprengkapseln nicht mehr denkbar ist. Über die eigenartige Wirkung der Sprengkapseln, welche vor allem darin beruht, die Explosion größerer Mengen von Sprengstoffen mit Sicherheit auszulösen oder, wie man sich ausdrückt, zu „Indizieren“, ist viel geschrieben und viel theoretisiert worden; man kann heute wohl annehmen, daß eine kombinierte Wirkung eines Explosionsstoßes und einer lokalen sehr hohen Erhitzung vorliegt und daß durch das Zusammenwirken dieser beiden Faktoren der sogenannte „Initialimpuls“ ausgelöst wird, welcher schlagartig die Explosion auf die eigentliche Sprengstoffmasse überträgt.

Wie sind nun die Sprengkapseln zusammengesetzt? Zunächst werden auf geeigneten Ziehmaschinen einseitig geschlossene Röhrchen aus Kupferblech von etwa 5 bis 8 mm Durchmesser und 11 bis 50 mm Länge hergestellt. Diese Röhrchen werden in einer besonderen mechanischen Apparatur mit einem Gemisch aus Knallquecksilber und chloresaurem Kali, das durch etwas Gummiarabikumlösung zusammengeklebt und dann gekörnt ist, gefüllt und der eingefüllte Knallsatz mit einem Druck von etwa 250 kg pro qcm mit Hilfe einer Kniehebelpresse zusammengepreßt. Wenn der untere Teil des Knallsatzes durch Trinitrotoluol, Tetranitromethylanilin oder Hexanitrodiphenylamin ersetzt ist, dann zeigen diese Sprengkapseln ein wesentlich besseres Initiationsvermögen gegenüber Sprengstoffen, als die aus reinem Knallsatz hergestellten Sprengkapseln. Die Dichte des in die Kupferhülsen eingepreßten Sprengsatzes aus Knallquecksilber und Kaliumchlorat beträgt etwa 2,8. Dagegen ist die Dichte des eingepreßten Satzes geringer, wenn das Knallquecksilber teilweise durch aromatische Nitroverbindungen ersetzt ist.

Um an Quecksilber zu sparen, ist das Knallquecksilber während des letzten Krieges vielfach durch Bleiazid ( $Pb(NH_2)_2$ ) ersetzt worden. Gewöhnlich besteht jedoch der größte Teil des Sprengsatzes in den Bleiazidkapseln aus aromatischen Nitroverbindungen, die nur mit einer verhältnismäßig geringen Menge Bleiazid überdeckt sind. Da die Empfindlichkeit des Bleiazides gegen Flammenzündung verschieden sein kann und daher Versager bei Anwendung von Bleiazidkapseln nicht ausgeschlossen sind, so werden sie nur in solchen Fällen gebraucht, wo eventuell Versager nicht gefährlich werden können.

Durch eine Pressung werden jedesmal eine größere Anzahl Kapseln hergestellt. Die Füllung geschieht automatisch. Der ganze Apparat steht hinter einer Panzerplatte, so daß die Arbeiter durch diese vor Schaden bewahrt werden.

Die Sprengkapseln werden in verschiedenen Größen hergestellt. Je nachdem ein leicht oder schwer zu Detonation zu bringender Sprengstoff benutzt werden soll, braucht man eine Sprengkapsel mit einer geringen oder hohen Ladung. Für Gelatinedynamit genügt z. B. Kapsel wie Nr. 3, für Ammonsalpetersprengstoffe Nr. 8, für Trinitrotoluol Nr. 6 und Pikrinsäure Nr. 8.

Die Sprengkapseln werden in der Weise betätigt, daß in ihre freie Öffnung eine Zündschnur oder ein elektrischer Glühzünder eingeführt wird. Beim Zünden trifft



der Feuerstrahl das Knallquecksilber, dieses detoniert und überträgt die Explosion auf die Unterladung (Tetranitromethylanilin, Hexanitrodiphenyl), welche sie in verstärktem Maße an die eigentliche Sprengpatrone weitergibt. In der nebenstehenden



Abbildung 1. Sprengkapsel mit Zündschnur.

Abbildung ist eine Sprengpatrone mit Sprengkapsel und Zündschnur abgebildet.\*

Es entsteht nun die selbstverständliche Frage: Mit welcher Geschwindigkeit pflanzen sich Explosionsvorgänge fort, oder mit welcher Geschwindigkeit breitet sich die Explosionswelle aus? Man ist zu der Erkenntnis gekommen, daß die Explosionswelle eine dem Schalle verwandte Erscheinung ist, und zwar pflanzt auch sie sich in dem Sprengstoff mit gleichbleibender Geschwindigkeit fort. Man hat Vorrichtungen ersonnen, um die Explosionswellen zu messen (Berthelot, Vieille und Dautriche), aber es würde zu weit führen, dieselben hier näher zu beschreiben. Es seien daher nur in der nachstehenden Tabelle die Resultate solcher Versuche angeführt. Die angeführten Geschwindigkeiten beziehen sich auf Meter in einer Sekunde. Die Tabelle ist dem schon mehrfach erwähnten Werk von Brunswig, „Die Explosivstoffe“ (S. 45) entnommen.

#### GESCHWINDIGKEIT DER EXPLOSIONSWELLE

Lfd. Nr.	Bezeichnung des explosiblen Systems	Geschwindigkeit m
1	2 Vol. Wasserstoff + 1 Vol. Sauerstoff	2810
2	2 Vo. Kohlenoxyd + 1 „	1090
3	Nitroglyzerin . . . . . in 3 mm weiten Röhren	1000—2000
4	Gurdynamit . . . . . 3 „	2300—2700
5	desgl. . . . . 30 „	6000—7500
6	Sprenggelatine . . . . . 30 „	7700
7	Ammonsalpetersprengstoff . 30 „	2900
8	desgl. . . . . 50 „	3900
9	Pikrinsäure . . . . . 30 „	7500—8500
10	Kaliquecksilber . . . . . 6,5 „	3900
11	Nitromannit . . . . . 2 „	6900—7700
12	Nitrozellulose, gepreßt auf die Dichte 0,7	3800
13	desgl. „ „ „ 1,17	4800
14	desgl. „ „ „ 1,27	5400

Wie aus der Tabelle ersichtlich, handelt es sich hier um ganz außerordentlich hohe Geschwindigkeiten, die die Schallgeschwindigkeiten (360 m in der Sekunde) um das Vielfache übertreffen.

Eng zusammen mit der Explosionsgeschwindigkeit hängt der Explosionsdruck, also die plötzliche Drucksteigerung am Orte der Explosion. Er ist es der das Projektil aus dem Lauf treibt und die mechanische Arbeit leistet, welche der Zweck jeder Sprengung ist. Die unter hoher Wärmeentwicklung entstehenden Gase oder Dämpfe üben auf ihre Umgebung deswegen einen so gewaltigen Druck aus, weil sie als zu-

\* Vergl. Brunswig, „Die Explosivstoffe, Einführung in die Chemie explosiver Vorgänge“ Seite 31 (Göschens Verlag).

sammendrückbare Mischung die durch den chemischen Vorgang frei werdende Energie außer als Wärme auch als Spannkraft in sich aufzunehmen imstande sind. Alle Messungen, welche darauf hinauslaufen, den Explosionsdruck zahlenmäßig zu bestimmen, beziehen sich auf bereits weit fortgeschrittene Explosionen, also auf solche, bei denen durch Wärmeleitung oder Strahlung schon ein gewisser Energieverlust stattgefunden hat. Die viel größeren Drücke, welche unmittelbar nach beendeter Auslösung einer explosiven Umsetzung entstehen, sind nicht bekannt.

Explosionsdruck und Explosionsgeschwindigkeit führen uns direkt zu dem Begriff der Brisanz. Je größer die Explosionsgeschwindigkeit und die Menge der explosiven Gase eines Sprengstoffes ist, desto größer ist seine Brisanz. Wird z. B. eine Dynamitpatrone lose auf einem Granitstein liegend zur Detonation gebracht, so wird dieser zertrümmert, während Schwarzpulver oder Nitrozellulosenpulver abbrennen, ohne irgendeinen Eindruck zu hinterlassen. Man bedient sich zur Bestimmung der Brisanz des Trauzelschen Bleiblockes. Ein Würfel aus massivem Blei von 200 mm Kantenlänge besitzt eine Bohrung von 125 mm Tiefe und 25 mm lichter Weite. In diese Bohrung werden, ähnlich wie in einem Bohrloch, 10 g des Explosivstoffes eingeführt, mit Sprengkapselzündung versehen und das Loch mit Sand lose verdammt. Ist der Schuß abgetan worden, so mißt man mit Wasser die Ausbauchung nach, welche durch die Explosion in dem Bleiblock entstanden ist. Je größer die Ausbauchung ist, desto höher ist die Brisanz.

Über die Brisanz einiger wichtiger Explosivstoffe gibt folgende Tabelle (nach Brunswig) Auskunft.

BRISANZ EINIGER WICHTIGER EXPLOSIVSTOFFE

Lfd. Nr.	Bezeichnung des Explosivstoffes	Ausbauchung im Bleiblock ccm	Wertverhältnis	
			nach der Ausbauchung	nach der vorhandenen Energie
1	Nitromannit	650	125	136
2	Nitroglycerin	600	115	120
3	Sprenggelatine (8% Kollodiumwolle)	520	100	100
4	Schießwolle (13% Stickstoff)	420	81	123
5	Gelatinedynamit (60% Nitroglycerin)	410	79	132
6	Gurdynamit (75% Nitroglycerin)	350	67	85
7	Kollodiumwolle (12% Stickstoff)	250	48	108
8	Pikrinsäure	300	58	118
9	Ammonsalpetersprengstoff	300	58	95
10	Trinitrofoluol	270	52	118
11	Nitroglycerinpulver (40% Nitroglycerin)	150	29	37
12	Schießwollpulver	150	29	54
13	Knallquecksilber	150	29	116
14	Schwarzpulver	30	6	15

**3. SCHIESZPULVER ODER TREIBMITTEL**

Um ein Geschoß aus dem Lauf der Feuerwaffe herauszuschleudern, braucht man ein Treibmittel, d. h. einen Stoff, der durch eine explosive Verbrennung einen solchen Gasdruck in dem Rohr erzeugt, daß das Projektil mit großer Geschwindigkeit herausgetrieben wird. Bis in die Mitte der achtziger Jahre

des vorigen Jahrhunderts bediente man sich hierzu fast ausschließlich des Schwarzpulvers, dann wurde dies aber durch das Nitrozellulose- bzw. Nitroglycerinpulver verdrängt, welche Pulver fast rauchlos verbrennen und einen auf das Pulvergewicht berechneten doppelten bis dreifachen Gasdruck erzeugen. Hierdurch wurde die Anfangsgeschwindigkeit der Geschosse derart gesteigert, daß man zur Einführung der kleinkalibrigen Feuerwaffen übergehen konnte. Man konnte das geringere Gewicht des Geschosses durch größere Anfangsgeschwindigkeit ausgleichen und erzielte eine flachere Flugbahn, was in bezug auf die Treffsicherheit erwünscht war. Aber über das Schwarzpulver ist doch noch einiges zu sagen. Heute wird es fast nur noch als Jagdpulver verwendet. Von seinem Gebrauch als Sprengmittel wird später noch die Rede sein. Im frühen Mittelalter wurde es vielfach als Mittel zur Herstellung von Feuerwerkskörpern und Brandgeschossen verwendet. Das berühmte Feuerbuch des Marcus Gräcius (8. Jahrhundert n. Chr.) erwähnt bereits ein „ignisvolans“, ein fliegendes Feuer, das aus 2 Teilen Kohle, 1 Teil Schwefel und 6 Teilen Salpeter bestand, also einer Mischung, welche ihrer Zusammensetzung nach dem späteren Geschütts- bzw. Sprengpulver sehr nahe kam. Als Treibmittel zum Schleudern von Geschossen wird es zuerst in der ersten Hälfte des 14. Jahrhunderts (1313) benutzt, und nimmt man heute als ziemlich sicher an, daß der Freiburger Franziskaner Mönch Konstantin Anklüter, genannt Berthold Schwarz, als Erfinder der Kunst, mit Pulver zu schießen, anzusehen ist.\* Es ist hier nicht der Ort, darauf näher einzugehen; es muß aber darauf hingewiesen werden, daß diese Erfindung zu den Großtaten des menschlichen Geistes gehört, denn durch sie wurde die gesamte Kriegstechnik aller Kulturvölker umgestaltet und allmählich zu dem gemacht, was wir heute als Rüstzeug der modernen Heere bewundern.

Das Schwarzpulver besteht aus einem innigen Gemenge von 75 Gewichtsteilen Kalisalpeter, 10 Gewichtsteilen Schwefel und 15 Gewichtsteilen Kohle.

Von dieser Normalzusammensetzung, die sich auch erst im Laufe der Zeit herausgebildet hat, wird in den verschiedenen Ländern nur unwesentlich abgewichen.

Die einzelnen Bestandteile des Schwarzpulvers werden in Kugelmühlen aus Holz oder Eisen mit Hilfe von Bronzekugeln möglichst fein gemahlen, Salpeter und Schwefel häufig zusammen, um ein Zusammenballen des letzteren zu vermeiden. Dann werden in einer ähnlichen hölzernen Trommel, die mit dickem Sohlenleder ausgeschlagen ist, die drei Substanzen in dem richtigen Verhältnis eingebracht, mit Pockholzkugeln noch weiter vermahlen und dabei innig gemischt. Das so erhaltene lockere Pulvermehl ist für Feuerwerkszwecke wohl geeignet, nicht aber für Schieß- und Sprengzwecke. Dazu muß es noch stark verdichtet werden. Es wird nun mit etwa 10—20% Wasser angefeuchtet und auf schweren Kollergängen bearbeitet. Hierbei können leicht Explosionen auftreten infolge der gleitenden Reibung der schweren Läufe auf der Unterlage; man hat daher die Läufe so aufgehängt, daß sie nicht die Unterlage berühren können. Nun läßt man die Pulvermasse durch geriffelte Bronze-Quetschwalzen gehen und preßt sie unter einer hydraulischen Presse zu Kuchen aus. Hierdurch wird eine bedeutende Verdichtung erzielt. Die Kuchen werden hier auf Riffelwalzen gekörnt und in rotierenden eichenen Trommeln geglättet. Das so polierte Pulver wird bei 40—50° getrocknet und durch Sieben auf eine gewünschte Korngröße gebracht. Es hat nun ein spezifisches Gewicht von 1,5 bis 1,6 und eine schiefergraue Farbe.

Funken und Flamme bringen es leicht zur Verpuffung, wobei ein dichter weißer

\* Vergl. Dr. R. Escales, „Schwarzpulver und Sprengsalpeter“ (Leipzig 1914) Seite 6 u. f.

Rauch entsteht, der hauptsächlich aus Kaliumkarbonat, Kaliumsulfat und Schwefelkalium besteht. Unter den gasförmigen Produkten der Explosion sind hauptsächlich Kohlen säure, Kohlenoxyd und Stickstoff zu nennen.

Der Versand von gekörntem Pulver geschieht in dichten Leinensäcken, welche in mit Papier ausgeklebten Holzkisten verpackt werden. Das staubige Mehlpulver wird in lederne Säcke verpackt.

**DIE MODERNEN RAUCHLOSEN PULVER.** Die Einführung des rauchlosen Pulvers war erst möglich, als man gelernt hatte, die Schießwolle dauernd haltbar zu machen und ihr eine Form zu geben, die ein gleichmäßiges Abbrennen ermöglicht. Löst man Schießwolle in Azeton, Amylacetat oder Alkohol-Äther, so kann man sie in eine kolloidale, plastische Masse, ähnlich dem Zelluloid, überführen, welche nach dem Verdampfen des Lösungsmittels eine wesentlich geringere Verbrennungsgeschwindigkeit besitzt als lockere oder gepreßte Schießbaumwolle.

Bereits die Entdecker der Schießwolle, Schönbein und Böttger (1846), hatten versucht, sie an Stelle von Schwarzpulver in Handfeuerwaffen zu verwenden. Ihre Brisanz war aber zu groß. Außerdem kamen in Schießwollbetrieben durch Selbstzersehung eine Anzahl schwerer Unfälle vor, so daß man von dem anfangs mit Begeisterung aufgenommenen neuen Treibmittel bald wieder abkam. Erst nachdem Abel durch Einführen der in der Papierfabrikation gebräuchlichen Wasch- und Mahlholländer den Weg angegeben hatte, um dauernd haltbare Schießwolle herzustellen, wurde aus ihr Zelluloid hergestellt, und vom Zelluloid ausgehend fand man in der gelatinirten Schießwolle das für die Herstellung des rauchlosen Pulvers geeignete Material.

Heute kann man in der Hauptsache zwei wesentlich voneinander verschiedene rauchlose Pulver unterscheiden: die reinen Nitrozellulose-Pulver und die Nitroglycerin-Pulver, welche letztere neben Nitrozellulose bis zu 40% Nitroglycerin enthalten. Außerdem kommen noch Pulver vor, welche neben Nitrozellulose Nitrokohlenwasserstoffe, wie Trinitrotoluol, Dinitrobenzol enthalten.

**NITROZELLULOSE-PULVER.** Wird Zellulose, z. B. Baumwollzellulose (Linters) mit einem Gemisch von 3 Teilen konz. Schwefelsäure, 1 Teil konz. Salpetersäure bei etwa 40° nitrirt, so bildet sich Nitrozellulose, genauer ausgedrückt: der Trisalpetersäureester der Zellulose ( $C_6H_7O_5[NO_2]_3$ ); nach der Konzentration der zur Nitrierung verwandten Säure kann man Produkte erzielen, welche mehr oder weniger Stickstoff enthalten. Hochnitrierte Schießwolle enthält bis zu 13,8% Stickstoff, Kollodiumwolle 11 bis 12%, Lackwolle unter 11%.\* Diese drei Sorten von Nitrozellulose unterscheiden sich außerdem noch durch ihre verschiedene Löslichkeit. Die Schießwollen sind die am schwersten, die Lackwollen die am leichtesten löslichen Nitrozellulosen.

Die Nitrierung erfolgte früher in irdenen Töpfen, heute werden ganz allgemein Nitrierzentrifugen angewendet. Die Zeitdauer einer Nitrierung beträgt etwa 30 Minuten. Danach wird die Wolle von der Säure abgeschleudert und mit viel Wasser gewaschen. Es schließt sich hieran der Stabilisierungsprozeß an, indem durch langwieriges Waschen und Mahlen in Holländern die letzten Reste der Säure entfernt werden. Zuletzt wird noch mit verdünnter Sodalösung gekocht. Wenn ein Erhitzungsversuch im Laboratorium die vollständige Stabilität der Wolle ergeben hat, ist auch diese Operation beendet. Das Wasser wird durch Schleudern entfernt, und nun ist das Material für die Bereitung des rauchlosen Pulvers fertig. Auf Einzelheiten dieser recht umfangreichen

\* So genannt nach ihrem Verwendungszweck.

und komplizierten Fabrikation kann hier nicht eingegangen werden und muß auf entsprechende Spezialwerke verwiesen werden.\*

Während des Weltkrieges mußte an Stelle von Baumwollzellulose von den Mittelmächten Holzzellulose verwendet werden. Wenn auch die Fabrikation durch dieses wesentlich unreinere und andersartige Ausgangsmaterial nicht unerheblich erschwert wurde, so gelang es doch, ein tadelloses Pulver daraus herzustellen.

Die ausgeschleuderte Wolle muß zum Zwecke der Weiterverarbeitung in flüchtigen Lösungsmitteln, wie Äther-Alkohol, Azeton oder gewisse Ester, gelöst oder richtiger zu einer knetbaren Masse angerührt werden. Zuvor ist es jedoch nötig, die Wolle gründlich von Wasser zu befreien. Dies wird durch Verdrängen, d. h. durch Auswaschen des Wassers mit 95% Alkohol mit Hilfe sogenannter Alkoholzentrifugen erreicht. Bekanntlich sind die hochnitrierten Nitrozellulosen fast alle unlöslich in Alkohol, so daß das Wasser leicht durch den Sprit entfernt werden kann. Die alkoholfeuchte Wolle wird darauf in Knetwerke gebracht, ähnlich denen, welche in Großbäckereien gebraucht werden, und hier mit Äther-Alkohol, Azeton oder gewissen Estern niedriger Fettsäuren unter schwacher Erwärmung zu einer zähen, teigartigen Masse verknetet. Der Masse werden in der Knetmaschine noch kleinere Prozentsätze gewisser Stoffe zugesetzt, welche die Lagerbeständigkeit der Pulver erhöhen sollen. Es handelt sich hier meist um Harnstoffderivate\*\*. Ihre Wirkung in den Pulvern ist so zu deuten, daß diese Stoffe jedwede beginnende Zersetzung verhindern, indem sie die dabei entstehende salpetrige Säure sofort unter Bildung von indifferentem Stickstoff und Wasser beseitigen. Welche Bedeutung diese Stabilisatoren haben, erhellt aus der einfachen Tatsache, daß seit Einführung derselben keine Selbstentzündungen von Pulvern mehr vorkamen, trotz der gewaltigen Mengen, die während des Weltkrieges hergestellt wurden. Zu wech verheerenden Katastrophen ein ungenügend stabilisiertes Pulver den Anlaß geben kann, erhellt aus der Geschichte des französischen B-Pulvers. Durch Selbstentzündung desselben flog bekanntlich das Schlachtschiff „Liberté“ im Hafen von Toulon am 25. September 1911 in die Luft, und sah sich darauf die französische Regierung genötigt, das gesamte Pulvermaterial von Heer und Marine aus dem Verkehr zu ziehen und umarbeiten zu lassen. In dieser Zeit war Frankreich aus Mangel an Pulver nahezu wehrlos.

Außer den Stabilisatoren werden den Pulvermassen aber noch geringe Mengen anderer Stoffe zugesetzt, welche bewirken sollen, daß die Verbrennungstemperatur im Augenblick der Detonation herabgesetzt und das Pulver nicht zu spröde wird. Meist wird hierzu Paraffin genommen. Die grauschwarze Farbe wird entweder durch eingekneteten Graphit oder durch Polieren des fertigen Pulvers mit Graphit erzielt.

Wenn die Pulvermasse in den Knetmaschinen gehörig durchgearbeitet ist, kann die eigentliche Formgebung vorgenommen werden. Im wesentlichen hat man für rauchlose Pulver zwei verschiedene Formen zu unterscheiden, das Plättchenpulver und das Röhrenpulver. Ersteres wird in der Weise hergestellt, daß die Pulvermasse durch erwärmte Walzenstühle mehrmals hindurchgezogen und zu dünnen Platten ausgewalzt wird. Diese Platten werden in Warmhäusern gelagert, bis sie genügend trocken, d. h. bis die angewendeten Lösungsmittel (Alkohol-Äther) verdunstet sind. Alsdann kommen sie auf Schneidmaschinen, wo sie in kleine quadratische Plättchen je nach der gewünschten Größe zerschnitten werden.

\* Dr. Richard Escalas, „Die Schießbaumwolle“ (Verlag von Veit & Co., Leipzig 1905).

\*\* Sie sind unter dem Namen Zentralit und Stabilit bekannt.

Das Röhrenpulver wird aus der gleichen Pulvermasse in Strangpressen erzeugt. Durch starken hydraulischen Druck wird die Masse in Form einer Röhre aus dem Mundstück einer Presse, ähnlich wie es bei der Fabrikation der Teigwaren geschieht, herausgedrückt. Die Pulverstränge werden nun in besonderen Räumen unter gleichzeitiger Wiedergewinnung der flüchtigen Lösungsmittel (Alkohol, Äther, Azeton) getrocknet und auf die gewünschte Länge geschnitten. Alsdann sind sie als Füllung für Kartuschen ohne weiteres verwendbar. Das so hergestellte Nitrozellulosenröhrenpulver wird z. B. in Deutschland für leichte und schwere Feldgeschütze und Fliegerabwehr verwendet.

**NITROGLYZERINPULVER.** Wo es darauf ankommt, besonders kräftige Treibwirkungen, also große Anfangsgeschwindigkeiten der Geschosse zu erzielen, wie dies bei den Geschützen der Marine notwendig ist, ferner bei allen Geschützen mit kurzem Rohr, wie Haubitzen und Mörser, verwendet man das Nitroglycerinpulver. Dieses Pulver besteht aus 20—40% Nitroglycerin und 60—80% Nitrozellulose. Das Nitroglycerin hat nämlich die bemerkenswerte Eigenschaft, auf Nitrozellulose — ähnlich wie die bekannten Gelatinierungsmittel (Amylazetat, Azeton, Äther-Alkohol) — unter Bildung eines Gels einzuwirken. Die hohe Brisanz des Nitroglycerins wird dadurch vermindert und wegen der schnelleren Verbrennung dieses Pulvers im Vergleich zu Nitrozellulosepulver ein wesentlich höherer Gasdruck erzielt als beim Nitrozellulosepulver. Als Nachteil der Nitroglycerinpulver müssen aber die bei der Verbrennung auftretenden hohen Temperaturen (über 3000°) mit in den Kauf genommen werden. Demzufolge ist der Verschluß an Geschützrohren infolge von Ausbrennungen bei der Verwendung von Nitroglycerinpulvern besonders groß.

Die Herstellung des Nitroglycerinpulvers geschieht in der Weise, daß man geeignete Nitrozellulose mit 12,5—12,8% Stickstoff in viel Wasser aufrührt. Die Affinität der Nitrozellulose zum Nitroglycerin ist so groß, daß selbst bei Gegenwart von Wasser eine vollständige Bindung der Bestandteile eintritt und das danach vom Reaktionsprodukt abgeschleuderte Wasser vollkommen frei von Sprengöl ist. Diese Nitrozellulose und Nitroglycerin gleichzeitig enthaltende Masse, die sogenannte Pulverrohmasse, wird zur Entfernung des Wassers durch heiße Quetschwalzen geführt, wobei das meiste Wasser verdampft oder in flüssiger Form abfließt. Der letzte Rest wird durch Trocknung in Heizräumen entfernt.

Ist so die Rohmasse vorbereitet, so wird sie genau in der bei dem Nitrozellulosepulver beschriebenen Weise in Knetwerke gebracht und dort unter Zusatz von Gelatinierungs- und Lösungsmitteln (Azeton, Essigester, Ameisenester) in der Wärme gut durchgeknetet. Danach ist die ganze Masse in ein steifes Gel, d. h. in eine steife, kleisterartige Masse übergegangen, in welcher irgendwelche Faserreste oder ungelöste Bestandteile nicht mehr zu bemerken sind. Die weitere Verarbeitung erfolgt ebenfalls wie beim Nitrozellulosepulver in der Weise, daß die Masse entweder zu dünnen Platten ausgewalzt oder in Strangpressen in Röhrenform übergeführt wird. Es schließt sich hieran ein längerer Trockenprozeß an, der so lange fortgesetzt werden muß, bis fast alle flüchtigen Lösungsmittel verdampft sind. Alsdann werden die Platten zu quadratischen Plättchen, die Röhren in verschiedener Länge (120 cm für 30,5 cm-Marinegeschütze, 5 mm für 21 cm-Mörser) zerschnitten. Schließlich werden die Plättchenpulver und die ganz kurz geschnittenen Röhrenpulver, die als Ringpulver bezeichnet werden, in großen Poliertrommeln graphitisiert, d. h. mit einem Überzug von Graphit versehen, welcher die Oberfläche für Elektrizität leitend macht und einer möglichen Entzündung durch elektrische Ladung vorbeugen soll. Während die Nitrozellulosepulver meist braun gefärbt sind, sind die Nitroglycerinpulver stets schwarz.

**GEMISCHTE PULVER.** Für einige besondere Zwecke werden auch sogenannte gemischte Pulver hergestellt. Sie bestehen aus Nitrozellulose, Nitroglycerin und aromatischen Nitrokörpern, wie Pikrinsäure, Dinitrobenzol, Trinitrotoluol. Sie haben aber heute keine große Anwendung mehr, da man ganz allgemein zu den Nitrozellulose- und Nitroglycerinpulvern zurückgekehrt ist.

Für Jagdzwecke werden noch Pulver hergestellt, bei denen Nitrozellulose mit Salpeter oder Chloraten versetzt ist. Die aus Nitrozellulose durch Behandeln mit Azeton, Äther, Alkohol und anderen flüchtigen Lösungsmitteln hergestellte plastische Masse wird mit Salpeter oder Chlorat innig durdgeknetet und dann auf Röhren oder Blättchen verarbeitet. Nach dem Verdunsten des Lösungsmittels wird das trockene Pulver mit Wasser behandelt, wodurch ein großer Teil des Salpeters oder Chlorates herausgelöst wird. Das zurückbleibende Pulver besteht entweder aus kleinen viereckigen Plättchen oder es hat die Form von grobkörnigem Gries. Durch das Auslaugen mit Wasser ist dieses Jagdpulver porös und locker geworden und ist daher auch brisanter als das für Heereszwecke verwendete rauchschwache Pulver. Da das rauchschwache Jagdpulver infolge seiner Porosität fast das gleiche Ladevolumen wie das alte Schwarzpulver hat, so wird es aus diesem Grunde von Jägern, welche die alte Patronengröße bei kräftigerer Schußwirkung benutzen wollen, vielfach angewendet.

#### 4. PRÜFUNG DER PULVERSORTEN

Das aus Salpeter, Kohle und Schwefel bestehende Schwarzpulver ist bei trockener Lagerung nahezu unbegrenzt haltbar. Man hat Beispiele, daß derartige Pulver nach Lagerung von hundert und mehr Jahren von ihrer Wirksamkeit nichts eingebüßt haben. Anders ist dies bei den rauchlosen Pulvern, die als Hauptbestandteile Nitrozellulose und Nitroglycerin enthalten. Die Nitrozellulose ist ein Salpetersäureester der Zellulose. Die Salpetersäure ist darin nicht allzu fest gebunden, und schon bei Gegenwart sehr geringer Mengen von Säure kann es in Selbstzersehung übergehen und sich spontan entzünden. Das ist natürlich eine ungeheure Gefahr für Pulverlager aller Art. Es dürfte noch in aller Erinnerung sein, wie das französische Kriegsschiff „Liberté“ im Hafen von Toulon ohne besonderen äußeren Anlaß infolge von Selbstzersehung des B-Pulvers in die Luft flog. Auch die österreichische Militärverwaltung hatte in den ersten Jahren der Nitrozellulosefabrikation sehr schwere Explosionsunfälle zu beklagen. Allmählich hat man aber auch gelernt, diese Gefahr zu beseitigen, und heute sind die rauchlosen Pulver bei richtiger Überwachung der Fabrikation und Lagerung viele Jahre hindurch haltbar, ohne etwas von ihrem Wirkungswert einzubüßen. Die Voraussetzung hierfür ist aber eine absolut zuverlässige und beständige Nitrozellulose. Diese wird, wie bereits in dem Kapitel „Nitrozellulose“ gesagt wurde, erreicht durch einen sehr gründlichen Wasch- und Mahlprozeß in Holländern, dem sich noch ein Kochprozeß mit Sodalösung anschließt. Er ist beendet, wenn ein Laboratoriumsversuch ergeben hat, daß die Wolle tatsächlich stabil ist (Abel-Test). Das genügt aber noch nicht; es muß auch noch das fertige Pulver auf Stabilität geprüft und laufend kontrolliert werden. Das geschieht in der Weise, daß das Pulver in ein Glasrohr geschüttet, das auf 135° erhitzt wird. Der im oberen Teil des Glasrohres aufgehängte blaue Lackmustrreifen darf bei Nitrozellulosepulver durch Abspaltung von salpetriger Säure nicht vor 1½ Stunde gerötet werden, rote Dämpfe dürfen erst nach 2 Stunden auftreten und Explosionen nicht vor 5 Stunden vorkommen. Findet dies statt, so ist aus dem Pulver durch Zersetzung salpetrige Säure abgespalten worden, und es ist als „unstabil“ zu verwerfen. Für Nitroglycerinpulver

liegen die entsprechenden Zeiten bei 30 bzw. 45 Minuten und 5 Stunden. Andere Stabilitätsprüfungen arbeiten bei niederen Temperaturen und verlangen dementsprechend wesentlich längere Zeit bis zur Zersetzung des Pulvers.

Um den Wirkungswert des Pulvers zu bestimmen, der je nach der Art der Fabrikation stark schwanken kann, sind noch einige Feststellungen nötig. Es muß durch kalorimetrische Messung der Verbrennungswert, durch eine Schußprobe der Gasdruck im Rohr und die Anfangsgeschwindigkeit des Projektils beim Verlassen des Laues ermittelt werden.

Der Verbrennungswert des Pulvers wird in einer besonders stark konstruierten Berthelotschen Bombe bestimmt, ähnlich wie es für Brennstoffe geschieht, indem man die durch die Verbrennung einer bestimmten Menge Substanzen in einem geschlossenen Raume erzeugte Wärme mittels eines Wasserkalorimeters ermittelt.\*

Der Gasdruck im Rohr, z. B. in dem Gewehrlauf wird durch Stauchung eines kleinen Kupferzylinders bestimmt. Das Rohr hat eine seitliche Bohrung, in welche der Stauchapparat eingeschraubt ist. Er besteht aus einem Stahlzylinder, dessen Stempel auf einen weichen Kupferzylinder von genau bestimmtem Maß drückt. Der mittels Mikrometers genau gemessene Grad der Stauchung des Kupferzylinders gibt den Maßstab für den Gasdruck im Rohr. An genau gleichen Kupferzylindern ist durch hydraulischen Druck empirisch ermittelt worden, wieviel hundert Atmosphären Druck einer bestimmten Stauchung entsprechen.

Der Gasdruck der Pulvergase im Geschützrohr wird etwas anders mit Hilfe des sogenannten Meßeis bestimmt. Dieses Meßeis hat äußerlich die Form eines Eis und enthält den zu stauchenden Kupferzylinder. Es wird auf den Boden der Kartusche gelegt und fliegt beim Schuß aus der Mündung des Geschützes heraus. Gewöhnlich fliegt es nur 1–2 m vor dem Rohr.

Der Gasdruck muß sich natürlich nach der Konstruktion der Waffe richten. Dieselbe soll aus praktischen Gründen möglichst leicht sein. Deshalb schreibt der Konstrukteur die Höchstdrucke vor und muß der Pulverfachmann sich danach richten. Er kann dies durch besondere Operationen, wie z. B. durch Oberflächenveredlung des Pulvers, erreichen. Es wird dadurch bewirkt, daß es anfangs, also kurz nach der Entzündung, langsamer brennt und dadurch der Gasdruck vor der Bewegung des Geschosses ganz langsam ansteigt, sonst würde er bei der gewünschten hohen Anfangsgeschwindigkeit den für die betreffende Waffe zulässigen Maximalgebrauchsdruck überschreiten. Bei den deutschen Infanteriegewehren beträgt z. B. der Gebrauchsdruck nicht über 2000 Atm. In besonderen Fällen, z. B.

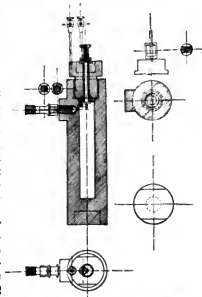


Abb. 2. Calorimeterbombe für die Bestimmung des Verbrennungswertes von Pulver.

\* Abbildung, A. Stettbader, „Schieß- und Sprengstoffe“ Seite 51 und 52 (Verlag von Veit & Co., Leipzig 1920).



bei Benutzung von Gewehrgranaten kann er ausnahmsweise bis auf 3500 Atm. ansteigen.

Die Anfangsgeschwindigkeit des Projektils nach dem Verlassen des Rohres wird in der Weise gemessen, daß das Geschöß nacheinander zwei mit Drähten bespannte Rahmen durchschlagen

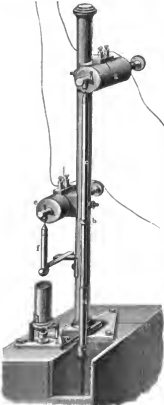


Abbildung 3. Apparat zur Aufzeichnung der Anfangsgeschwindigkeit von Geschossen nach Boulenger.

Es versteht sich ganz von selber, daß zur Bewertung eines Pulvers auch der Stickstoffgehalt herangezogen wird, der in bekannter Weise nach Lunge oder Schulze-Thiemann ermittelt wird.

Für militärische Zwecke kommen also nur solche Treibmittel in Anwendung, welche auf Lagerbeständigkeit und Wirkungswert genau geprüft sind und in allem den aufgestellten ziemlich strengen Anforderungen genügen.

## 5. ZIVILE SPRENGMITTEL Die Anwendung

von Sprengmitteln in Bergwerken, Steinbrüchen, bei den verschiedensten Bauarbeiten und zur Landesmelioration ist so recht eine Errungenschaft der Neuzeit. Lange nachdem das Schwarzpulver für militärische Zwecke eingeführt war, fand es erst Verwendung im Bergwerks- und Baubetrieb. Die erste Angabe, daß Sprengungen mit Schwarzpulver ausgeführt wurden, findet sich im Chemnitz Berggerichts-buche vom Jahre 1627, und wird ein Tiroler Bergmann, Namens Caspar Weindl, als der Ausführende genannt. Von dieser Zeit an hat sich die Sprengstofftechnik verhältnismäßig sehr schnell über alle Kulturstaaten verbreitet. Ohne ihre Mithilfe wäre der gegenwärtige gewaltige Bergbau aller Länder, der Bau von Bahnstrecken, Straßen und Tunneln nicht denkbar. Wir

\* Abbildung, Guttman, „Schieß- und Sprengstoffe“ Seite 222 (Verlag von Vieweg & Sohn).

haben es also hier mit einer Erfindung zu tun, welche in ganz hervorragendem Maße fördernd auf die Zivilisation eingewirkt hat. Der Verbrauch an zivilen Sprengmitteln übertrifft in normalen Zeiten den für militärische Zwecke um ein Vielfaches.

Bis in die siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts wurde fast ausschließlich Schwarzpulver angewendet. Durch die Erfindung des Dynamits von Nobel (1866) und der Sprenggelatine (1875) von demselben Forscher und Techniker wurden der Sprengtechnik neue, gewaltige Mittel zugeführt, die sich im Laufe der nächsten Jahrzehnte zu einer nahezu unüberschbaren Zahl gesteigert haben. Es ist daher nicht leicht, eine sichere Systematik für dieselben durchzuführen. Es existieren so viele Mischungen und Übergänge von einem Sprengstoff zum anderen, daß man häufig im Zweifel sein kann, welcher Gruppe man sie zuteilen soll. Mit Ausnahme der nitrierten Kohlenwasserstoffe (Trinitrotoluol, Dinitrobenzol, Dinitronaphthalin) und der nitrierten Phenole, z. B. Pikrinsäure, werden bestimmte chemische Individuen nicht angewendet, sondern nur Gemenge. Der zuerst angewendete Sprengstoff, das alte Schwarzpulver, bestehend aus 74 Teilen Salpeter, 10 Teilen Schwefel und 16 Teilen Kohle, ist hierfür das Prototyp. Der Salpeter ist der sauerstoffabgebende, Kohle und Schwefel der sauerstoffaufnehmende Teil, die mit ersterem zusammen neben den unflüchtigen Salzen zu expandierenden Gasen Kohlensäure, Stickstoff und wenig Kohlenoxyd verbrennen. Da das Schwarzpulver gelegentlich als Treibmittel bereits abgehandelt worden ist, soll hier nicht weiter darauf eingegangen werden.

Bei der Anwendung eines Sprengmittels muß man sich in erster Linie darüber klar sein, was erreicht oder was vermieden werden soll. Die Bedürfnisse der einzelnen Betriebe sind so verschieden, die Wünsche und örtlichen Bedingungen so wechselnd, daß es durchaus erwünscht ist, eine möglichst große Auswahl der verschiedensten Sprengmittel zu haben. Fast jede große Sprengstoffabrik kommt diesem Bedürfnis im weitesten Umfange nach, indem sie unter einem „geschützten Namen“ ihre Erzeugnisse anbietet, wodurch leider die Übersichtlichkeit über die einzelnen Erzeugnisse wesentlich erschwert wird.

Während man Sprengungen mit Schwarzpulver in der Weise ausführt, daß man in das zu sprengende Gestein durch lange Meißel oder Bohrer tiefe, röhrenartige Löcher bohrt, diese unten mit einer gewissen Menge Sprengpulver füllt, eine Zündschnur bis in das Pulver steckt, den über dem Pulver befindlichen Raum mit Letten oder Sand verdämmt und alsdann die Zündschnur in Brand setzt, so verfährt man bei den modernen Sprengmitteln ganz anders, denn die meisten derselben können durch eine Zündschnur überhaupt nicht zur Detonation gebracht werden. Dazu bedarf es der „Sprengkapsel“. Schon einleitend wurde auf die Wichtigkeit der Sprengkapseln für die gesamte Sprengtechnik hingewiesen. Es sei daher an dieser Stelle nur kurz wiederholt, daß man unter Sprengkapsel unten geschlossene, dünnwandige Kupferröhren von 5—8 mm Durchmesser versteht, die mit einem Knallsalz, bestehend aus Knallquecksilber, Bleiazid und anderen hochbrisanten Stoffen, in ihrem unteren Ende gefüllt sind. In diese Sprengkapsel wird eine Brennzündschnur oder ein kleiner elektrischer Widerstandszünder hineingesteckt und dort mit einer Zange festgeklemmt. Werden diese Zünder betätigt, so explodiert durch die entstehende Zündflamme zunächst die Sprengkapsel, und diese bringt durch Explosionsstoß den eigentlichen Sprengschuß zur Detonation.

Die Auswahl der Sprengstoffe zur Erreichung eines gewissen Zweckes ist nicht immer ganz einfach. Soll er z. B. dazu dienen, bei einem Tunnelbau hartes Granitgestein zu sprengen, so wird man einen hochbrisanten Stoff, z. B. Gelatinedynamit,

nehmen, der zertrümmernd auf das Gestein wirkt, so daß es nach erfolgter Sprengung bequem in kleineren Stücken abgefahren werden kann. Eine andere Wahl muß man treffen, wenn es sich in Steinbrüchen darum handelt, möglichst große, rißfreie Werkstücke durch Sprengung von dem Gebirge abzutrennen. Da nimmt man wenig brisante Stoffe, welche nur eine Art schiebende und spaltende Wirkung ausüben. Neben dem alten Schwarzpulver, das gerade in Steinbrüchen wegen seiner geringen Brisanz auch heute noch viel angewendet wird, benützt man jetzt vielfach Petroklastit oder Gesteinswestfalit. In Steinkohlengruben ist es wieder ganz anders. Dort handelt es sich nicht nur darum, Kohle und Gestein durch Sprengen von dem Gebirge loszulösen und zu zerkleinern, sondern auch um die Vermeidung der gefürchteten Schlagwetter und Kohlenstaubexplosionen. Dies kann bis zu einem gewissen Grade durch solche Sprengstoffe erreicht werden, welche bei verhältnismäßig tiefer Temperatur und kurzer Flammendauer detonieren. Derartige Sprengstoffe erhalten vielfach als Hauptbestandteil Ammonitrat (Ammonsalpetersprengstoffe), aber auch durch Zuzischen von kristallwasserhaltigen Salzen (Glaubersalz, Magnesiumsulfat, Ammoniumoxalat) zu an sich hochbrisanten Stoffen, z. B. Sprenggelatine, kann der gleich günstige Effekt erzielt werden.

Ferner dürfen die bei der Explosion entstehenden Gase nicht giftig sein, damit die Bergleute vor Ort in den engen Stollen nicht durch die „Nachschwaden“ gefährdet werden. Der Sprengstoff muß also möglichst vollständig in Kohlensäure, Wasser und Stickstoff zerfallen. Kohlenoxyd und Stickoxyd dürfen sich nur in ganz untergeordneter Menge bilden.

Neben diesen besonderen sprengstofftechnischen Erfordernissen müssen aber die zivilen Sprengstoffe noch beim Transport auf der Eisenbahn und beim Hantieren einigermaßen sicher sein, so daß sie nicht etwa durch rauhe Behandlung, also durch Stoß oder Schlag, ja selbst nicht durch einen zufälligen Brand detonieren. Man verlangt daher mit Recht auch „Handhabungssicherheit“ von den modernen Sprengmitteln. Bei dem Transport auf der Bahn bestehen für jeden Sprengstoff ganz besondere Bestimmungen, ebenso für die Verpackung.

Die zivilen Sprengstoffe sind fast alle Mischungen der verschiedensten Chemikalien und Stoffe. Ehe an die Klassifizierung und an die Aufzählung der wichtigsten herangegangen werden kann, soll erst die Herstellung einiger der wichtigsten Bestandteile kurz geschildert werden.

NITROGLYZERIN ist die Muttersubstanz einer großen Anzahl gerade der wichtigsten Sprengstoffe (Dynamit, Sprenggelatine, Wetterdynamit). Chemisch betrachtet ist das Nitroglyzerin der Trisalpetersäureester des Glycerins,  $C_3H_5(O.NO_2)_3$ . Es wird her-

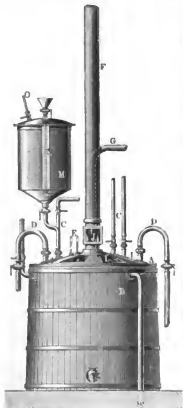


Abbildung 4. Apparat zur Herstellung von Nitroglyzerin.

gestellt durch Nitrieren von Glycerin, indem man dieses in ein Gemenge von 3 Teilen konz. Salpetersäure in 5 Teile konz. Schwefelsäure unter gutem Rühren mit Luft bei einer Temperatur von 20—25° einfließen läßt. Durch Kühlung muß dafür gesorgt werden, daß diese Temperatur nicht überschritten wird. Die Apparatur besteht aus Blei. In dem oberen Teil derselben sind Schaulöcher angebracht, durch welche der Gang der Operation genau beobachtet werden kann. Sobald sich aus irgendwelchen Gründen rote Dämpfe von Stickoxyden entwickeln, ist Gefahr im Verzuge und muß der Zulauf des Glycerins abgestellt und nötigenfalls die ganze Charge durch Öffnen eines Notventils in ein tiefer stehendes Wasserbassin abgelassen werden. Jedoch tritt diese Sicherheitsmaßregel nur selten in Tätigkeit.\*

Die Nitrierung verläuft ziemlich schnell und ist eine Charge von 100 kg in 20 bis 30 Minuten fertig. Der gesamte Inhalt des Nitriergefäßes wird in ein Scheidegefäß gelassen, in dem sich die spezifisch schwerere Mischsäure (1,7) von dem Nitroglycerin (1,6) trennt.\*\*

Die Mischsäure wird von dem Nitroglycerin abgezogen und gelangt zur Nachscheidung, wo sich die letzten Tropfen des Nitroglycerins in dem oberen Teil des konisch zulaufenden Apparates absetzen, und später zur Denitrierung, wo die Salpetersäure wiedergewonnen und die Schwefelsäure regeneriert wird. Das Nitroglycerin wird ebenfalls abgezogen und in einen besonderen Bleiapparat geleitet, in dem ein sehr gründlicher Waschprozeß unter gleichzeitiger Rührung mit Luft folgt. Zuletzt wird noch mit verdünnter Sodalösung gewaschen. Das gewaschene Sprengöl muß absolut neutral sein,

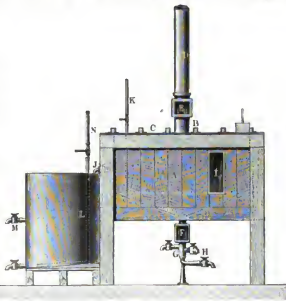


Abb. 5. Apparat zum Scheiden der Mischsäure vom Nitroglycerin.

da es sonst nicht haltbar sein würde und ein saures Öl zu den verhängnisvollsten Zersetzungen des fertigen Sprengstoffes oder Pulvers führen kann. Das neutrale Öl wird nun noch von suspendierten Verunreinigungen durch Filtration durch Flanell gereinigt und durch eine Schicht getrockneten Kochsalzes zum gleichzeitigen Trocknen hindurchgeschickt. Dann ist es verwendungsbereit. Aus 100 Gewichtsteilen Glycerin werden 230 Gewichtsteile fertiges Nitroglycerin erhalten (Theorie 246%). Es ist hier nicht der Ort, um genauer darauf einzugehen, wie sowohl die Abfallsäure als auch die Waschwässer von mitgerissenem Nitroglycerin befreit werden. Es muß aber betont werden, daß die

\* Abbildung, Guttman, „Schieß- und Sprengmittel“ Seite 123 (Verlag von Vieweg & Sohn).

\*\* Abbildung, Guttman, „Schieß- und Sprengmittel“, Seite 126 (Verlag von Vieweg & Sohn).

Herstellung des Nitroglycerins einen hochgefährlichen Betrieb darstellt, der nur unter Innehaltung ganz bestimmter und unerlässlicher Vorsichtsmaßregeln möglich ist. Meist ist eine derartige „Ölanlage“ an den Hang eines Hügels gebaut. An der höchsten Stelle befindet sich das Nitrirhaus, wohlverwahrt hinter Sandwällen. Durch eigenes Gefälle wird sowohl das erzeugte Nitroglycerin als auch die benutzte Nitrirsäure zu den Wasch-, Filter- und Nachscheidehäusern geleitet, die ebenfalls durch starke Sandwälle geschützt sind. Die Zuführung geschieht nicht durch geschlossene Rohrsysteme, sondern meist durch offene, aber verdeckte Rinnen, welche mehrfach unterbrochen sind, damit eine etwaige Explosion nicht sofort von einem Hause zum anderen überspringen und die ganze Anlage zerstören kann. Nähere Angaben über die Fabrikation des Nitroglycerins sind aus der vorzüglichen Monographie des Dr. R. Escales, „Nitroglycerin und Dynamit“, Verlag von Veit & Co. (Leipzig 1908), zu ersehen.

Nitroglycerin oder Sprengöl wird seiner großen Empfindlichkeit gegen Stoß und Schlag und seiner öligen Beschaffenheit wegen nicht selber als Sprengstoff angewendet, sondern nur in Mischung oder Verbindung mit anderen Stoffen, die ihm eine handliche Form geben. Alfred Nobel hat durch seine Erfindung des Dynamits im Jahre 1866 sich das Verdienst erworben, das Nitroglycerin in eine für die Sprengstofftechnik brauchbare Form zu bringen. Er ließ das Sprengöl von Kieselgur aufsaugen und erhielt ein trockenes, patronierfähiges Pulver, das aus 75% Nitroglycerin und 25% Kieselgur bestand. Loses, in Papierhüllen verpacktes Dynamit brennt an einer offenen Flamme ruhig ab. Durch einen Initialimpuls, also durch eine Sprengkapsel (Nr. 3), detoniert es mit großer Brisanz. Die Fabrikation erfolgt in der Weise, daß man die durch Kalzinieren vorgereinigte Kieselgur in Bronzetrögen von Hand, seltener mechanisch durch allmähliches Zulaufen des Sprengöls sehr gut durchmischt. Danach wird es noch gesiebt und stellt nun eine an frische Gartenerde oder Brotkrume erinnernde Masse dar. Die Einfüllung in Papierpatronen erfolgt in der üblichen Weise.

**SPRENGGELATINE.** Nitrozellulose besitzt eine merkwürdige Verwandtschaft zum Nitroglycerin. Die Körper gelatinieren miteinander und können leicht in ein steifes Gelee verwandelt werden. Da die Sprenggelatine ausschließlich aus hochbrisanten Stoffen besteht, ohne jede Beimischung indifferenter Stoffe, wie es z. B. die Kieselgur im Dynamit ist, so ist die Sprenggelatine dem Dynamit an Wirkung noch überlegen. Die Zündung erfolgt auch hier durch Sprengkapseln; an freier Flamme entzündet, brennt sie ruhig ab.

Die Sprenggelatine besteht aus 7—10% Kollodiumwolle mit einem Stickstoffgehalt von etwa 11% und aus 93—90% Nitroglycerin. Die Mischung bzw. Gelatinierung der beiden Substanzen wird in kupfernen oder bronzenen Mischtrögen ausgeführt, die durch Warmwasser geheizt oder auch durch Kaltwasser gekühlt werden können. Es wird zuerst die Kollodiumwolle, dann das Nitroglycerin hineingegeben und unter vorsichtigem Erwärmen auf höchstens 60° gut durchgemischt. Früher erfolgte dies von Hand, jetzt meist durch Maschinenkraft mittels eines langsam laufenden Knetwerks, ähnlich wie es Bäckereien benutzen. Es entsteht so eine zähe, gummiartige Masse von gelber Farbe, die beim Drücken kein Sprengöl austreten läßt. Mittels Schraubenpatroniermaschinen wird die weiche Masse wie eine Wurst bequem in Papierhüllen gebracht. In dieser Form wird sie verwendet. Die Sprenggelatine hat, abgesehen von der größeren Sprengleistung, noch den Vorteil, daß sie sich infolge ihrer weichen Beschaffenheit bequem und gefahrlos in die Bohrlöcher einführen läßt.

Durch Zumischen der allerverschiedensten Substanzen zu der Sprenggelatine, wie

Zumischpulver, kristallwasserhaltige Salze, Nitrokohlenwasserstoffe usw., werden eine große Anzahl anderer Sprengstoffe daraus hergestellt.

**NITROKOHLENWASSERSTOFFE und GLYZERIN.** Die Nitrokohlenwasserstoffe und die nitrirten Phenole sind lange Zeit nicht als Sprengstoffe beachtet worden. Erst seit Einführung der Initialzündung hat man gelernt, auch diese sehr sprengkräftigen Substanzen zu verwenden. Sie zeichnen sich durch sehr große Widerstandsfähigkeit gegen Stoß und Schlag aus. Sie verbrennen am offenen Feuer mit stark verbrender Flamme, ohne zu detonieren.

Die Pikrinsäure, chem. Formel  $C_6H_2.OH.(NO_2)_3$ , hat lange Jahre als gelber Farbstoff gedient, ehe man sie als Sprengstoff für Granatfüllungen benutzte. Es ist das Verdienst von Eugen Turpin (1886), klar erkannt zu haben, daß Pikrinsäure ohne Beimengung anderer sauerstoffabgebender Stoffe durch kräftige Initialzündung mittels Sprengkapseln oder besonderer „Detonatoren“ zur Explosion gebracht werden kann. Die sprengstofftechnische Wirkung ist eine sehr bedeutende. Vermöge ihrer großen Detonationsgeschwindigkeit ist die Pikrinsäure selbst der Sprenggelatine überlegen.

	Ladedichte	Detonationsgeschwindigkeit in m/Sek.	Stoßkraft* in Sek. kg/m
Schwarzpulver . . . . .	1,04	300	4578
Donarit (80 Ammonsalpeter, 12 Trinitrotoluol, 4 Sprenggelatine, 4 Mehl) . . . . .	1,31	4137	872312
Schießbaumwolle . . . . .	1,25	6383	2076589
Gurdynamit, 75% . . . . .	1,58	6818	2369272
Trinitrotoluol . . . . .	1,55	7618	2957896
Sprenggelatine . . . . .	1,63	7700	3021916
Pikrinsäure . . . . .	1,55	8183	3412920

Gegen Stoß und Schlag ist die Pikrinsäure sehr unempfindlich (vergleiche Tabelle auf Seite 320). Da Pikrinsäure bei 122° schmilzt, bietet es einige Schwierigkeit, dieselbe in geschmolzenem Zustande in Hohlgeschosse einzuführen; man hat daher andere aromatische Nitrokörper der Pikrinsäure zugesetzt, wodurch der Schmelzpunkt erniedrigt und ein bequemes Einfüllen ermöglicht wird. Solche Zusatzstoffe sind Nitronaphthalin, Dinitrotoluol, Trinitrokresol u. a. Bei Zusatz von 71 Gewichtsteilen Dinitrotoluol zu 122 Gewichtsteilen Pikrinsäure wird z. B. der Schmelzpunkt auf 47° erniedrigt.

Der in der Pikrinsäure enthaltene Sauerstoff genügt aber nicht zur vollkommenen inneren Verbrennung zu Wasser, Stickstoff und Kohlensäure. Es werden daher bei der Detonation stets recht erhebliche Mengen von Kohlenoxyd gebildet (50% und mehr), daneben wird aber auch durch Reduktion des Kohlenoxyds etwas Methan gebildet. Der starke Gehalt an Kohlenoxyd in den bei der Detonation von Pikrinsäure entstehenden „Schwaden“ bedingt die relativ hohe Giftigkeit derselben, wenn sie in geschlossenen oder schlecht ventilirten Räumen zur Anwendung kommt, z. B. in Bergwerksstollen.

Die Pikrinsäure in Form solcher Mischungen wird in den verschiedenen Ländern unter recht verschiedenen Namen angewendet. In Frankreich wird sie Melinit, in

\* Dr. R. Escalas, „Nitrosprengstoffe“ Seite 342.

England Lyddit, in Japan Schimose und in Österreich das Ammoniaksalz derselben Ekrasit genannt.

Trotz der großen Beständigkeit der Pikrinsäure gegen Stoß und Schlag und der gewaltigen Sprengwirkung haftet ihr doch ein recht erheblicher Mangel an. Sie ist, wie schon ihr Name sagt, eine Säure, und zwar eine ziemlich starke, und bildet mit Alkalien und Metalloxyden bei Gegenwart selbst geringer Mengen Wasser Salze. Diese Salze, „Pikrate“ genannt, sind aber gegen Stoß und Schlag sehr empfindlich. Es ist daher verschiedentlich vorgekommen, daß infolge der Bildung von Metallpikraten, welche inizierend auf die daneben befindliche Pikrinsäure wirken, folgenschwere Explosionen eintraten, z. B. von Lyddit-Granaten im Moment des Abfeuerns (Rohrkrepierer). Man hat sich daher in neuerer Zeit von der Pikrinsäure als Sprengstoff etwas abgewendet und bemüht, an ihre Stelle hochnitrierte aromatische Kohlenwasserstoffe, wie z. B. das Trinitrotoluol oder Trinitrobenzol, bei denen die Möglichkeit der Bildung gefährlicher Salze nicht besteht, zu setzen. Von diesen wird noch weiter unten gesprochen werden.

Die Herstellung der Pikrinsäure erfolgt nach altbewährtem Verfahren der technischen Großindustrie. Phenol (Karbolsäure) wird zuerst mit konz. Schwefelsäure sulfuriert und dann nitriert. Die Reinigung erfolgt durch Auswaschen oder, wenn es sich um ganz besonders reine Ware handelt, durch Umlösen aus kochendem Wasser-Schp. 120—121,5°.

TRINITROTOLUOL, im Handel Trotyl oder auch Tutol genannt, ist das 1. 2. 4. 6. Trinitrotoluol-Schp. bzw. Erstarrungspunkt 80,6°. Es war während des Krieges das am meisten benutzte Füllmaterial für Granaten. Da es als nitrierter Kohlenwasserstoff nicht mehr fähig ist, Salze zu bilden, greift es Metalle nicht an und ist aus diesem Grunde der Pikrinsäure überlegen (siehe oben). Vermöge seines niedrigen Schmelzpunktes läßt es sich bequem in Hohlgeschosse eingießen. Auch werden Preßkörper daraus hergestellt, mit denen Granaten angefüllt werden. Man erhält durch das Pressen eine größere Dichte des Trinitrotoluols (bis 1,59) und damit eine größere Brisanz.

Die Herstellung erfolgt durch stufenweise Nitrierung von Toluol, es wird zuerst das Mononitrotoluol, dann das Di- und schließlich das Trinitrotoluol hergestellt. Die Reinigung erfolgt entweder durch Waschen des geschmolzenen Nitrierungsproduktes mit warmem Wasser oder durch Kristallisation aus flüchtigen Lösungsmitteln.

Wichtig als Sprengstoffe sind auch noch folgende aromatischen Nitroprodukte, so das Dinitrotoluol, das Di- und Trinitrobenzol, das Nitronaphthalin und das Trinitroanisol. Alle diese Stoffe wurden während des Krieges im allergrößten Maßstabe nach bekannten Verfahren hergestellt.

Eine besondere Stellung unter den aromatischen Nitrokörpern nimmt noch das Tetranitroanilin (Tetryl) und das Hexanitrodiphenylamin ein, da sie sich nicht von aromatischen Kohlenwasserstoffen, sondern von aromatischen Basen (Anilin und Diphenylamin) ableiten. Der erste Körper wird vielfach als Unterladung in Sprengkapseln benutzt.

Weitere Rohprodukte für die Herstellung von Sprengstoffen sind noch das Ammonitrat, die Chlorate und Perchlorate.

Das AMMONITRAT, welches von der chemischen Großindustrie nach altbekannten Verfahren im größten Maßstabe fabriziert wird, ist der Hauptbestandteil der wettersicheren Ammonsalpetersprengstoffe, es ist gegen Stoß und Schlag ganz unempfindlich und kann nur durch kräftige Initialzündung zur Detonation gebracht werden. Es wird

in Mischung mit den verschiedensten sauerstoffaufnehmenden Stoffen, wie Harz, Naphthalin und Öl, verwendet. Die bei der Explosion entstehenden Explosionsflammen vermögen Grubengas nicht zu entzünden. Da die Ammonsalpetersprengstoffe auch sehr handhabungssicher sind, so unterliegen sie keinen besonderen Schwierigkeiten auf dem Eisenbahntransport.

CHLORATE und PERCHLORATE werden durch Elektrolyse ebenfalls von der chemischen Großindustrie als Kali oder Natronsalze geliefert. Auf ihre besondere Darstellung einzugehen, würde hier zu weit führen. Man hat lange die Chloratsprengstoffe vernachlässigt, weil man mit Recht ihre große Empfindlichkeit gegen Reibung, Stoß und Schlag fürchtete. Aber auch das hat man zu überwinden gelernt, indem man den Chloratmischungen ölige Substanzen, wie Rizinusöl, Teer, Harz und Gemische aromatischer Nitroverbindungen, zusetzte. Die Chloratsprengstoffe lassen sich sowohl durch Sprengkapsel als auch durch Zündschnur zur Explosion bringen. Die Perchlorate sind im Gegensatz zu den Chloraten wesentlich beständiger und weniger empfindlich, obschon sie mehr Sauerstoff enthalten.

Während fast alle anderen Sprengstoffe Stickstoff enthalten und sich indirekt von der Salpetersäure ableiten, hat man es bei den Chloratsprengstoffen mit stickstofffreien Sprengstoffen zu tun. Dieser Umstand war während des Weltkrieges von der allergrößten Bedeutung, denn die stickstoffhaltigen Sprengmittel mußten für militärische Zwecke vorbehalten bleiben. Durch die Chloratsprengstoffe konnten aber auch Bergwerksbetriebe und Steinbrüche mit brauchbaren Sprengmitteln beliefert werden.

Bekannte Chloratsprengstoffe sind der Cheddit, die Persalite, Silesia, Permonite.

Es ist kaum möglich, die vielen zivilen Sprengstoffe in ganz bestimmte Klassen einzuteilen, da es zu viele Übergänge von der einen zu der anderen Form gibt. Man unterscheidet aber doch einige große Gruppen, die hier angeführt werden sollen.

1. Ammonit, im wesentlichen aus Ammonnitrat bestehend, sehr handhabungssicher.

2. Karbonit. Sie enthalten neben verschiedenen Salpeterarten und verbrennlichen Stoffen an sich explosive Substanzen, wie z. B. nitrierte Chlorhydrine und Nitroglycerin. Sie sind weniger handhabungssicher als die Ammonite, haben aber den Vorzug hoher Schlagwettersicherheit.

3. Wetterdynamite, das sind Gurdynamite, denen kristallwasserhaltige Salze zugefügt wurden, um die Schlagwettersicherheit zu erhöhen.

4. Chlorat- und Perchloratsprengstoffe (siehe oben).

5. Schwarzpulver und schwarzpulverähnliche Sprengmittel. Eingangs besprochen.

6. Nitrosprengstoffe, die Nitrokörper des Toluols, des Benzols oder anderer aromatischer Verbindungen enthalten (siehe oben).

7. Flüssige Luft. Dieses Sprengmittel ist das jüngste. Schon Linde, der Erfinder der flüssigen Luft, hatte beobachtet, daß man Patronen, die mit Kohlenstaub, Mehl oder anderen organischen Substanzen gefüllt sind, nach dem Tränken mit flüssiger Luft mittels Sprengkapsel zur Detonation bringen kann. Die Gewalt der Explosion kommt bei richtiger Wahl der Bedingungen der des Dynamits gleich. Es ist später viel Arbeit auf die Ausbildung der Lindeschen Erfindung verwendet, und sind auch recht gute Resultate erzielt worden. So sind z. B. besondere Kannen für den Transport der flüssigen Luft konstruiert und die zu tränkenden Patronen verbessert worden. Es leuchtet ohne weiteres ein, daß das Sprengen mit flüssiger Luft, bei dem der Sprengstoff erst in der Grube, also im Moment der Tauchung entsteht, viele Vorzüge



in bezug auf Sicherheit der Betriebe und des Transports besitz. Auch sollen die Nachschwaden weniger giftig sein. Als Nachteil muß aber angesehen werden, daß es nur schwer ist, eine größere Anzahl Sprengschüsse in gleicher Stärke gleichzeitig abzutun, da die flüssige Luft, je nach der Zeit des Besatzes der Bohrlöcher, ungleich verdampft. Auch soll die „Sprengluft“ nicht in Gruben anwendbar sein, in denen schlagende Wetter vorkommen, da bei diesem Sprengmittel sehr hohe Temperaturen entstehen. Die Zukunft wird auch hier lehren, den guten Kern von der Schale zu trennen.

Zum Schluß mag noch eine Tabelle ziviler Sprengstoffe folgen, welche jedoch nicht den Anspruch auf Vollständigkeit erheben kann.\*

**Ammonal:** Mischung aus Ammoniumnitrat und Aluminium, und zwar soll sich das Verhältnis von 95%  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  und 5% Al. bewährt haben. Manchmal setzt man auch Holzkohle oder ähnliche Körper zu.

**Ammonfördit I:** 85% Ammoniumnitrat, 4% Mehl, 3,8% Nitroglycerin, 0,2% Kollodiumwolle, 2% Glycerin, 1% Diphenylamin, 4% Kaliumchlorid.

**Ammonkarbonit:** 90% Ammoniumnitrat, 6% Mehl, 3,8% Nitroglycerin, 0,2% Kollodiumwolle. Bei der Fabrikation wird die Hygroskopizität des Ammoniumnitrats nach dem D. R.-P. 129481 durch Umhüllung mit verkleistertem Mehl nahezu unschädlich gemacht.

**Ammonit:** 88% Ammoniumnitrat und 12% Dinitronaphthalin. (Ist ein englischer Sicherheitssprengstoff.)

**Astralit:** Handhabungssicherer Ammonsalpetersprengstoff, bestehend aus zirka 80% Ammonsalpeter, Trinitrotoluol und geringen Mengen von Mehl, Holzmehl, Paraffinöl, sowie höchstens  $\frac{1}{2}$ % gel. Nitroglycerin.

**Bellit I:** 83,5% Ammoniumnitrat und 16,5% Dinitrobenzol.

**Bellit III:** 93,5% Ammoniumnitrat und 6,5% Dinitrobenzol. (Bellit I und III sind englische Sicherheitssprengstoffe.)

**Bobbinite:** 62—65 T. Kaliumnitrat, 17—19,5 T. Holzkohle, 1,5—2,5 T. Schwefel, 13—17 T. Kupfersulfat und Ammoniumsulfat. Die Mischung wird zu einem Zylinder gepreßt und mit Paraffin bedekt.

**Brookit:** Nach dem engl. Pat. 2977 von 1903 hergestellte Mischung aus Bariumchlorat und Aluminiumpulver.

**Chromammonit:** siehe unter Köln-Rottweiler Chromammonit.

**Dahmenit A:** 91,3% Ammoniumnitrat, 6,475% Naphthalin, 2,22—5% Kaliumbichromat.

**Fördit I:** 25,5% Nitroglycerin, 1,5% Kollodiumwolle, 5% Nitrotoluol, 4% Dextrin, 3% Glycerin, 37% Ammoniumnitrat, 24% Kaliumchlorid.

**Fulminit:** Handhabungssicherer Ammonsalpetersprengstoff, bestehend aus zirka 80% Ammonsalpeter, Trinitrotoluol, geringe Mengen von Holzmehl, Paraffinöl und Schießbaumwolle.

**Gelatine-Astralit:** Handhabungssicherer und ungefrorebarer Ersatz für Gelatine-Dynamit, bestehend aus gelatinisiertem Dinitrochlorhydrin, höchstens 5% Nitroglycerin, aromatischen Nitrokörpern, Salpeter und Kohlehydraten.

**Gelatine-Karbonit:** 25,3% Nitroglycerin, 0,7% Kollodiumwolle, 6,9% Gelatine (3,5 Glycerin, 1 Leim), 25,6% Natriumchlorid, 41,5% Ammoniumnitrat.

\* Nach Bücher, „Auskunftsbuch für die chemische Industrie“, 9. Auflage, Seite 1171.

**Karbonit I:** 25% Nitroglycerin, 30,5% Natriumnitrat, 39,5% Mehl, 5% Kaliumbichromat. Die Herstellung dieses Sprengstoffes, welcher eine stärkere Wirkung als das unten genannte Kohlenkarbonit zeigt, ist durch D. R.-P. 97852 geschützt.

**Karbonit II:** 30% Nitroglycerin, 24,5% Natriumnitrat, 40,5% Mehl, 5% Kaliumbichromat. Von noch stärkerer Sprengwirkung als Karbonit I.

**Kohlen-Karbonit:** 25% Nitroglycerin, 34% Kaliumnitrat, 1% Bariumnitrat, 38,5% Weizenmehl, 1% Lohmehl, 0,5% Soda. Ältester der Karbonitsprengstoffe. Er gilt als einer der sichersten von allen Sicherheitsprengstoffen.

**Köln-Rottweiler-Chromammonit:** 1. Für Kohle: 75% Ammoniumnitrat, 14% Kaliumnitrat, 6% Trinitrotoluol, 4,5% Chromammoniakalaun, 0,5% Vaseline. 2. Für Gestein: 78% Ammoniumnitrat, 0,2% Kaliumnitrat, 17% Trinitrotoluol, 2,5% Chromammoniakalaun, 0,5% Vaseline.

**Koronit:** 38–40 T. Nitroglycerin, 1–1,5 T. lösliche Schießwolle, 26–28 T. Ammoniumnitrat, 3–5 T. Kaliumnitrat, 11–14 T. stearinsäure Tonerde, 8–11 T. Roggenmehl, 2–4 T. Holzmehl, 2–4 T. flüssiges Paraffin.

**Negropowder (Negerpuder):** 86–90 T. Ammoniumnitrat, 9–11 T. Trinitrotoluol, 1–3 T. Graphit.

**Neu-Nobellite:** Schlagwetter- und kohlenstaubsichere Sprengstoffe, bestehend aus gelatiniertem Nitroglycerin, Salpeterarten, Alkalichloriden, Pflanzenmehlen, Glycerin und Kalziumkarbonat.

**Nobellite:** Schlagwetter- und kohlenstaubsichere Sprengstoffe, bestehen aus gelatiniertem Nitroglycerin, kohlenstoffreichen Verbindungen, Salpeterarten und Alkalichloriden.

**Permonit:** besteht in der Hauptsache aus Ammoniaksalpeter, Kaliumperchlorat und Trinitrotoluol, wird namentlich in den Kaligruben benutzt.

**Petrokastit:** Gemisch von Salpeter, Schwefel, Steinkohlenpech und Kaliumbichromat. Es ist nur in geschlossenem Raume (Bohrloch) explosiv, während es sonst ruhig abbrennt. Man entzündet es wie Schwarzpulver mittels Schnur (ohne Sprenghütchen). Laut Verfügung fällt es nicht unter das Sprengstoff-Gesetz. Es darf als Stückgut mit der Bahn versandt werden.

**Rhexit:** 64% Nitroglycerin, 18% Natriumnitrat, 7% Holzmehl, 11% Holzmoder (ist ein österreichischer Sicherheitsprengstoff).

**Roburit I:** 87,5% Ammoniumnitrat, 7% Dinitrobenzol, 0,5% Kaliumpermanganat, 5% Ammoniumsulfat.

**Roburit III:** 87% Ammoniumnitrat, 11% Dinitrobenzol, 2% Chlornaphthalin.

**Sicherheits-Dynamit:** 24% Nitroglycerin, 1% Schießbaumwolle, 75% Ammoniumnitrat.

**Sicherheits-Gallerte-Dynamit:** 32,25% Nitroglycerin, 1,25% Kollodiumwolle, 1,05% Leim, 1,05% Dextrin, 4,3% Glycerin, 22,6% Ammoniumnitrat, 10,8% Natriumnitrat, 18% Mehl, 5,5% Kaliumchlorid, 3,2% Wasser.

**Vigerit:** 76% Ammoniumnitrat, 10% Kaliumnitrat, 2% Harz, 2% Kaliumchlorat, 10% nitrierte Kohlenwasserstoffe. (?)

**Westfalit I:** 95% Ammoniumnitrat, 5% Harz.

**Westfalit II:** 91% Ammoniumnitrat, 4% Kollodiumwolle, 5% Harz.

**Westfalit, verbessert:** 92% Ammoniumnitrat, 3% Kaliumbichromat, 5% Harz.

**Wetterdynamit:** 32% Nitroglycerin, 14% Kieselgur, 34% Kristallsoda.

**Wittenberger Wetterdynamit:** 25% Nitroglycerin, 34% Kaliumnitrat, 1% Bariumnitrat, 38,5% Roggenmehl, 1% Holzmehl, 0,5% Natriumbikarbonat.

### Als Literatur für die Schieß- und Sprengstoffe kommt besonders in Betracht:

„Zeitschrift für das gesamte Schieß- und Sprengstoffwesen“, herausgegeben von Dr. Richard Escales. München SW 2, I. F. Lehmann Verlag. Erster Jahrgang 1906 erschienen. — „Schieß- und Sprengmittel“, von Oskar Guttman. Braunschweig 1900, Verlag von Vieweg & Sohn. — „Die Explosivstoffe, Einführung in die Chemie der explosiven Vorgänge“, von Dr. H. Brunawig. Berlin und Leipzig 1914, G. J. Göschens Verlag. — „Die Explosivstoffe“, von Dr. H. Brunawig. Leipzig 1909, Verlag von Johann Ambrosius Barth. — „Schieß- und Sprengstoffe“, von Alfred Stettbacher. Leipzig 1920, Verlag von Veit & Co. — „Schwarzpulver und Sprengsalpeter“, von Dr. Richard Escales. Leipzig 1914, Verlag von Veit & Co. — „Die Schießbaumwolle“, von Dr. Richard Escales. Leipzig 1915, Verlag von Veit & Co. — „Nitroglyzerin und Dynamit“, von Dr. Richard Escales. Leipzig 1908, Verlag von Veit & Co. — „Nitrosprengstoffe“, von Dr. Richard Escales. Leipzig 1915, Verlag von Veit & Co. — „Ammonsalpetersprengstoffe“, von Dr. Richard Escales. Leipzig 1909, Verlag von Veit & Co. — „Chloratsprengstoffe“, von Dr. Richard Escales. Leipzig 1910, Verlag von Veit & Co. — „Initialsprengstoffe“, von Dr. Richard Escales und Dr. Alfred Stettbacher. Leipzig 1917, Verlag von Veit & Co. — „Spreng- und Zündstoffe“, von Kast. Braunschweig 1908. — „Herstellung der Sprengstoffe“, von A. Voigt. Halle 1914, Verlag von Wilhelm Krapp.

---

**1. EINFÜHRUNG** Der uralte Kampf um die Eroberung der Luft findet in der Mythologie seine gebührende Würdigung. Dieser Kampf schien so hoffnungslos und das Ziel so reizvoll und phantastisch, daß die Streiter in diesem Ringen ganz besonders von der Sage umwoben wurden. Es war das kühnste Unterfangen, allen bekannten Naturgesetzen zum Trotz, die Erdschwere von sich abzuschütteln. Kein Wunder, daß auf diesem Gebiet neben Berufenen viel Träumer und Phantasten um die Palme stritten. Am endgültigen Erfolg gebührt auch den letzteren ein Teil, denn sie stärkten den Glauben, solange das Wissen fehlte.

Das erste Ziel war die Loslösung vom Boden, der Aufstieg in den Luftraum. Es würde zu weit führen, die Geschichte der Versuche, so verschieden sie im einzelnen auch zu bewerten sind, von Leonardo da Vinci über den Schneider von Ulm und Montgolfier zu skizzieren. Uns interessiert nur das Grundsätzliche, soweit es auch für unser heutiges Flugwesen noch von Bedeutung ist. Frühzeitig beginnen die Eroberer der Luft zwei verschiedene Wege zu verfolgen, zwei Wege, die auch noch heute maßgebend für das gesamte Gebiet der Luftfahrt sind. Leichter oder schwerer als die Luft, das war die Frage. Beide Wege haben zum Ziel geführt, und es soll heute noch nicht entschieden werden, welchem Weg der endgültige Vorzug gebührt. Dem Laien wird es im allgemeinen verständlicher sein, wenn man den der Schifffahrt analogen Weg einschlägt und danach strebt, leichter zu werden als das Element, in dem man sich bewegen will. Die Natur aber weist uns im Anschauungsunterricht durch das Beispiel des Vogels auf den anderen Weg und lehrt uns, die im Luftmeer befindlichen Kräfte auszunutzen. Ballon und Drache (Flugzeug) haben uns tatsächlich in das Luftmeer geführt. Späteren Zeiten ist es vorbehalten, darüber zu entscheiden, ob beide Rivalen nebeneinander bestehen bleiben sollen, oder ob einer und welcher von beiden das Feld zu räumen hat. Uns will es scheinen, als ob die Entwicklungsmöglichkeiten des schwerer als die Luft wiegenden Flugzeuges die unbegrenzteren sind als des durch seine Gasfüllung leichter als die Luft gemachten Ballons. Bei dem augenblicklichen Stand unserer Entwicklung sind die beiden Arten des Luftfahrzeuges unentbehrlich.

Im gas- oder mit warmer Luft gefüllten Ballon fand der Mensch zunächst das Mittel, sich von der Erde zu heben und sich längere Zeit im Luftmeer zu halten. Der Drachen schien unterlegen, da er nur begrenzte Gleitflüge erlaubte. Die lange Periode der Freiballonfahrten, in der sich der Mensch von einer gasgefüllten Kugel im Luftmeer gehalten von den Luftströmungen herumtreiben ließ, war in vielen Jahren die der Allgemeinheit allein bekannte Betätigung der Luftfahrt. Sie hatte eine praktische Bedeutung insofern, als sie den Menschen tatsächlich fortbewegte. Dieser Periode verdanken wir unsere erste Kenntnis des Luftmeeres und die Entwicklung zahlreicher für die Luftfahrt wichtiger Instrumente und Hilfsmittel. Daneben blieben die schüchternen Gleitversuche unserer Drachenflieger fast bedeutungslos. Die stille Arbeit dieser Pioniere konnte erst allgemeine Bedeutung gewinnen, wenn die Frage der Eigenbewegung der Luftfahrzeuge gelöst war. Das Problem der Lenkbarkeit der

Luftfahrzeuge, das auch in weiteren Kreisen Interesse erregte, konnte nur dadurch gelöst werden, daß das Luftfahrzeug eine Eigenbewegung erhielt, d. h. daß es in eine Bewegung gegen die es umgebende Luftschicht gesetzt wurde. Der naheliegende Vergleich mit dem Boot schafft hier am besten Klarheit. Steuer oder Segel wirken nur, wenn ein von der Wasserströmung unabhängiger Druck ausgeübt wird. Dieser Druck wird hier durch die Maschinenkraft, durch die in Ruderschläge umgesetzte Armkraft oder durch den Wind geschaffen. Fehlen derartige das Boot in seinem Verhältnis zum Wasser bewegende Kräfte, so treibt es trotz aller Ruderflächen willenlos in der Strömung. Nicht anders liegen die Verhältnisse bei dem sehr komplizierten Vogelflug. Die Luft hat dieselbe Eigenart wie das Wasser, sie ist elastisch. Ein derartiger Körper wird jedem gegen ihn gerichteten Druck ausweichen, wenn nicht die Druckgeschwindigkeit seine Elastizität übersteigt. Ein ganz langsam durch das Wasser gezogenes Ruder übt deshalb auch keine Wirkung aus. Die Luft ist nun noch in weit höherem Maße elastisch als das Wasser und außerdem als gasförmiger Körper stark zusammendrückbar. Eine gegen die Luft gerichtete Kraftäußerung muß, um zu wirken, mit einer derartigen Schnelligkeit erfolgen, daß die Luft nicht ausweichen kann. Hierzu ist erfahrungsgemäß eine Geschwindigkeit von etwa 50—70 km in der Stunde erforderlich. (Geschwindigkeit der ersten schwach lenkbaren Luftschiffe 28 km, der ersten Flugzeuge 72 km).

Durch die Ruderschläge der Flügel wird beim Vogel die bewegende Kraft geschaffen. Außerdem ist der Vogel ein gewandter Gleitflieger und nutzt oft lediglich die Luftströmung zu seiner Bewegung aus. Ein Vogel steht tatsächlich nie im Luftmeer, sondern bewegt sich stets zu der ihn umgebenden Luftschicht, mag er auch in seinem Verhältnis zur Erde unbeweglich sein. Die Luft in sich ist nicht frei von Bewegung, die Luft bewegt sich vielmehr im allgemeinen in ihrem Verhältnis zur Erde, und die einzelnen Luftschichten bewegen sich wieder gegeneinander. Die Bewegung eines fliegenden Körpers darf also nur auf die den Körper umgebende Luftschicht bezogen werden. Die Bewegung des Vogels oder des Flugzeuges gegen die Erde müssen wir uns zusammengesetzt denken aus der Eigenbewegung des Vogels und der Bewegung der Luft. Im Luftmeer selbst kann nur ein Körper ruhen, der nicht schwerer als die Luft ist, z. B. der Gasballon. Der motorlose, sogenannte Freiballon bewegt sich wohl in seinem Verhältnis zur Erde, nie aber in seinem Verhältnis zur umgebenden Luftschicht (abgesehen vom Auftrieb).

Um die Luftfahrzeuge lenkbar zu machen, mußte ihnen eine Eigenbewegung gegeben werden. Nach dem System des Segelbootes war dies nicht zu erreichen, da das Luftfahrzeug sich nicht in zwei verschiedenen Elementen bewegt und daher nicht in der glücklichen Lage war, die Kraft des einen Elementes auszunutzen, um sich in seinem Verhältnis zu dem anderen Element zu bewegen. Es handelte sich also darum, eine bewegende Kraft für das Luftfahrzeug zu finden. Hierbei ist es von untergeordneter Bedeutung, ob diese Kraft auf dem Umweg über besondere Ruderflächen oder unmittelbar durch eine Änderung der Richtung des Kraftangriffs (schwimmender Mensch) zur Lenkbarkeit benutzt wurde. Ein Flug ohne Eigenbewegung ist für uns nur als Gleitflug denkbar, der selbstverständlich durch aufsteigende Luftströmungen scheinbar unterbrochen werden kann. Durch die Bewegung des fliegenden Körpers wird eine Druckdifferenz über und unter den Flächen erzeugt. Der Druck der Luft unter den Flächen muß naturgemäß höher sein als der Druck der umgebenden Luft, damit sich der Körper in der Luft halten kann. Ist die Differenz des Druckes über und unter den Flächen größer als das Gewicht des fliegenden Körpers, so steigt dieser, ist sie kleiner, so gleitet er abwärts. Würde die Druckdifferenz plötzlich aufhören,

so fällt der Körper schnell. Diese notwendige Druckdifferenz kann nur durch eine Bewegung, d. h. durch eine Kraft erzielt werden. Einen Drachen ziehen wir zu diesem Zweck möglichst schnell an einer Schnur durch die Luft gegen den Wind. Der Gleitflieger nutzt die Schwerkraft hierzu aus und bewegt sich deshalb abwärts. Der Vogel betätigt sich entweder als Gleitflieger, oder er leistet mit Hilfe seiner Muskelkraft eine besondere Schwebearbeit. Da nun beim sogenannten Segelflug der Vögel Flügelschläge uns nicht sichtbar sind, so können wir annehmen, daß die Schlagbewegungen so gering sind, daß sie sich unserer Beobachtung entziehen. Andere Erklärungen gehen dahin, daß die Quelle der Leistung der Schwebearbeit lediglich in der Energie des Flugmediums liegt und daß daher bei zur Erdoberfläche ruhender Atmosphäre der Segelflug nicht möglich ist. Wenn auch der Vogel in der Ausnutzung der Strömungen der Atmosphäre uns Erdgeborenen weit überlegen ist, so steht doch fest, daß ein dauerndes Segeln ohne Leistung einer besonderen Arbeit in strömungsfreier Atmosphäre nicht möglich ist. Wir mußten also unseren Drachenfliegern, wenn wir mehr als gleiten wollten, eine eigene Kraft geben.

Der Segelflugsport, dessen Anhängerschar in den letzten Jahren stark gewachsen ist, ist durch die vorangegangenen Ausführungen für unsere Zwecke genügend geklärt. Eine unmittelbar praktische Bedeutung dürfte er nicht gewinnen, falls die Natur nicht eine uns unbekannte Kraft im Luftmeer geheimnisvoll verborgen hält und uns diese eines Tags freigibt. Der motorlose Segelflug ist ein Gleitflug. Eine mittelbar praktische Bedeutung muß dem Segelflugsport unzweifelhaft zuerkannt werden, da er auf das Motorflugwesen befruchtend wirkt.

Auf anderen Grundsätzen als das Drachenflugzeug mit Motor und als das Segelflugzeug beruht das theoretisch mögliche Schwingenflugzeug. Die Motorkraft wird hier unmittelbar ohne den Umweg über die Tragflächen zum Heben ausgenutzt. Den Auftrieb erzeugen hier die dementsprechend ausgebildeten Flügel der nach oben gerichteten Luftschraube. Ein Aussetzen des Motors hebt also nicht wie beim Drachenflieger die Geschwindigkeitserzeugung auf, die dann von der Schwerkraft übernommen wird, sondern den Auftrieb. Darin liegt das Gefährliche dieses Systems, das praktisch keine Bedeutung gewonnen hat.

## 2. DAS TRIEBWERK

**D**ER MOTOR. Die Schwierigkeit, eine für Luftfahrzeuge geeignete Kraftquelle zu finden, war ungewöhnlich groß, da das Verhältnis von Leistung zum Eigengewicht unserer vorhandenen Maschinen so ungünstig war, daß diese Maschinen bei weitem nicht in der Lage waren, ihr eigenes Gewicht durch die Luft zu schleppen. Der Techniker wurde hier vor neue Aufgaben gestellt. Er mußte lernen, beim Bau seiner Maschinen mit einem Bruchteil des Gewichtes auszukommen, das er bisher unbedenklich verwenden durfte. Die Arbeit, die hier zu leisten war, geht am besten aus der Gegenüberstellung einiger Zahlen hervor. Unsere leichten Motore für landwirtschaftliche Zwecke wiegen zirka 80 kg pro P.S. Der erste Daimler-Motor für ein Parceval-Luftschiff wog zirka 6 kg pro P.S. Unsere heutigen Flugmotore gehen in ihrem Gewicht bis unter 1 kg pro P.S. Die erste Maschine hat unseres Wissens der Franzose Henri Giffard 1852 in einem Lenkballon eingebaut. Er benutzte hierzu einen dreipferdigen Dampfmotor, der eine dreiflügelige Schraube trieb. Es war ihm gelungen, durch Verwendung eines für damalige Zeiten unerhörten Drucks und durch Verdopplung der Kolbengeschwindigkeiten das Gewicht auf 50 kg pro P.S. herabzusetzen. Der Betriebsstoffverbrauch belief sich auf 20 kg pro P.S./Stunde. Unter Zugrundelegung dieser Gewichte würde die Maschinen-

anlage unseres bisher stärksten Flugzeuges — eines 1800 pferdigen Siemens-Riesenflugzeuges — einschließlich der für einen einstündigen Flug notwendigen Betriebsstoffe allein die Kleinigkeit von 126000 kg wiegen. Das Flugzeug würde dementsprechend etwa ein Gesamtgewicht von 600000 kg haben müssen. Hierzu wäre bei einer Flächenbelastung von 50 kg pro qm ein Flächeninhalt von allein 12000 qm erforderlich. Diese kurze Abschweifung mag genügen, um zu zeigen, welche Arbeit von unseren Maschinenbauern geleistet werden mußte und tatsächlich geleistet ist, um auf den heutigen Stand unseres Flugwesens zu kommen.

Die Pionierarbeit hat hier der Automobilbau getan. Ihm verdanken wir die Entwicklung des leichten zuverlässigen Benzinmotors. Die Verwendung der Dampfmaschine kam wegen ihres hohen Gewichtes und wegen der großen Gewichte des Brennstoffes nicht in Frage. Der Kohlenverbrauch pro P.S./Stunde beträgt zirka 2000 g, während der Benzinverbrauch sich nur auf 225 g beläuft. Dieser Nachteil der Dampfmaschine konnte auch durch ihre höhere Betriebssicherheit nicht aufgehoben werden.

Daimler gebührt das Verdienst, mit seinem schnelllaufenden Benzinmotor für Kraftwagen gleichzeitig die Kraftquelle für unsere Luftfahrzeuge geschaffen zu haben. Die überraschend schnelle Entwicklung des Automobilwesens und die zahlreichen Wettbewerbe führten sehr bald zu einer Vervollkommnung des Motors, die seine Verwendung in Luftfahrzeugen möglich machte. Es ist hier weder beabsichtigt, die Entwicklung der Motore noch eine technische Erklärung derselben zu geben. Wir wollen hier nur feststellen, welche besonderen Forderungen an die Motore von Luftfahrzeugen gestellt werden mußten, wie weit diese Forderungen erfüllt sind und welche Entwicklung wir für die Zukunft erhoffen. Die Notwendigkeit des geringen Gewichtes der Maschine und des Brennstoffes ist bereits erklärt. Die Betriebssicherheit der Maschine war natürlich für Luftfahrzeuge von weit höherer Bedeutung als für Automobile. Das Luftschiff, daß sich infolge der Auftriebskraft der Gasfüllung auch ohne maschinelle Kraft in der Luft hält, konnte hier in seinen Forderungen bescheidener sein als das Flugzeug, das beim Aussetzen der Maschine zum Gleitflug und zur Landung gezwungen ist. Außerdem mußte im Flugzeug fast dauernd die Hergabe der Höchstleistung des Motors gefordert werden. Mit der Vermehrung der Pferdestärken der Flugmotore haben auch die Flugzeuge einen erheblichen Kraftüberschuß gewonnen, der die Schonung des Motors durch Drosselung gestattet. Während im Kriege die vorhandene Kraft im allgemeinen voll ausgenutzt werden mußte, wird der friedliche Luftverkehr grundsätzlich eine Kraftreserve der Luftfahrzeuge fordern. In welcher Art diese am zweckmäßigsten geschaffen wird, soll später näher ausgeführt werden. Der leichte Bau der Flugzeuge bedingt weiter einen möglichst erschütterungsfreien, ruhigen Gang. Der Gesamtschwerpunkt des Motors darf deshalb trotz der Bewegung seiner einzelnen Teile nicht seine Lage ändern, und der Antrieb muß ein möglichst gleichmäßiger sein. Zunächst wurden für Luftfahrzeuge wie auch für Automobile Viertakt-Vierzylinder-Motore verwendet. Es kommt hier bei jedem Zylinder auf vier Arbeitsleistungen eine Nutzleistung. Zu einem Antrieb gehören deshalb vier abwechselnd arbeitende Zylinder. Die Ausbalancierung der Massen war bei diesem Viertakt- und Vierzylinder-Motor, der vom Automobilwesen übernommen wurde, gut. Da die Gleichförmigkeit des Antriebs jedoch nicht befriedigte, ging man allmählich im Flugwesen zur Verwendung von Viertakt- und Sechszylinder-Motoren über, bei denen sich die Arbeitsleistungen teilweise überdecken und dadurch einen ruhigeren Gang bewirken. Im Laufe der Jahre ist eine große Zahl von verschiedenen Motoren zur Verwendung gelangt. Mit vereinzelt Ausnahmen waren es Viertakt-Motore. Ihrer Art nach können

wir sie gliedern in Standmotore und Umlaufmotore. Die Umlaufmotore, die im Kriege mehr bei unseren Gegnern als bei uns verwendet sind, können wieder ihrer Stärke und der Zylinderzahl nach unterschieden werden. Bei diesen Motoren steht

die Kurbelwelle fest, und die Zylinderschwingen sich im Kreise herum. Die Luftkühlung ist hier besonders wirkungsvoll. Der Vorteil der Motore liegt in ihrem geringen Gewicht und kleinen Umfang. Die große Schwungmasse ergibt einen regelmäßigen Gang und einen guten Wirkungsgrad der Luftschraube. Diesen Vorteilen steht der Nachteil des hohen Betriebsstoffverbrauchs und der geringen Betriebsdauer gegenüber. Ihrer Eigenart entsprechend sind diese Motore vornehmlich in Jagdflugzeugen verwendet, bei denen unter Ver-

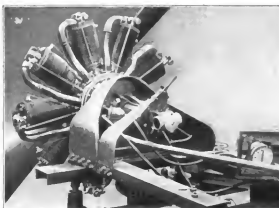


Abbildung 1. Umlaufmotor „Le Rhone“ der Motorenfabrik Oberursel, 9-Zylinder-Leistung: 205 P.S., Gewicht: 168 Kilo, Benzinverbrauch: 170 gr, Ölverbrauch: 30,2 gr.

zir diese Motore vornehmlich in leichten Sportflugzeugen verwenden. Im Luftverkehr erscheint ihre Anwendung unter Berücksichtigung der geforderten großen Flugdauer und des diesen Motoren eigentümlichen hohen Betriebsstoffverbrauchs sowie ihrer kurzen Lebensdauer wegen nicht zweckmäßig. Die führenden deutschen Firmen für den Bau von Umlaufmotoren sind die Motorenfabrik Oberursel und Siemens.

In Deutschland wurden in überwiegendem Maße Standmotore verwendet. Im Gegensatz zu Frankreich wurden diese Motore bei uns im allgemeinen wassergekühlt,



Abbild. 2. Einbau des 200-P.S.-Benzmotors im Junkers-Infanterieflugzeug.

während Frankreich vielfach die Luftkühlung bevorzugte. Unter den wassergekühlten Standmotoren können wir nach der Stellung der Zylinder stehende, liegende, V-förmige u. a. unterscheiden. Am gebräuchlichsten ist bei deutschen Motoren die stehende Anordnung der Zylinder. Die Pferdestärke der Flugmotore begann im Jahre 1903 mit 16 P.S.

und steigerte sich dann über 50, 70, 85, 100 in zahlreichen Zwischenstufen bis auf 500 und 600 P.S. im Weltkriege. Italien ist bereits noch höher gegangen. In mehrmotorigen Flugzeugen erreichte schon im Kriege die Gesamtstärke 1800 Pferdekkräfte.

Die Stärkesteigerung der Pferdekkräfte unserer Motore ist im wesentlichen der durch



den Krieg bedingten gewaltsamen Entwicklung des Flugwesens zuzuschreiben. Die dauernden Forderungen nach erhöhter Leistung waren bis zu einer gewissen Grenze am einfachsten und schnellsten durch Vermehrung der Pferdekräfte zu erfüllen. Die wirtschaftlichen Bedenken, die dagegen sprachen, mußten naturgemäß zurücktreten. Eine gewisse Enttäuschung brachte erst die Steigerung über 200 P.S. Der Leistungsgewinn im Flugzeug war verhältnismäßig gering, und man versuchte jetzt eifriger als bisher die Leistungen der Flugzeuge durch konstruktive Änderungen am Flugzeug selbst unabhängig von den Motoren zu erhöhen.

Auf die Entwicklung der Motoren wirkte der Krieg insofern ein, als er dauernd zur Erhöhung der Leistung, zur Erleichterung der Gewichte und zur Erhöhung der Betriebssicherheit anregte. Die wichtigste Errungenschaft aber, die unser Motorenbau dem Kriege verdankt, ist die Entwicklung der überverdichtenden und überdimensionierten Motoren. Bei diesen Motoren blieb auch in größeren Höhen die bei normalen Motoren infolge der veränderten Luftzuführung stark abnehmende Leistung konstant. So wurde es möglich, auch mit kriegsmäßig belasteten Flugzeugen Höhen von 7000 m in praktisch brauchbaren Zeiten zu erreichen. Führend in diesen Neukonstruktionen sind die Maybach-Motorenwerke und die Bayerischen Motorenwerke. Gleichzeitig einsetzende Versuche, dasselbe Ziel in vollkommenerer Weise durch die Verbindung von Motor und Kompressor zu erreichen, führten zu recht aussichtsvollen Einzelerfolgen. Diese Versuche sind aber leider nicht mehr bzw. noch nicht zu einem Abschluß gelangt, der ihre Verwendung in der praktischen Luftfahrt erlaubt. Auf die Bedeutung des Höhenfluges muß gerade im Hinblick auf die friedliche Zukunftsentwicklung des Flugwesens hingewiesen werden. Der Flug in größeren Höhen (über 5000 m) bringt infolge der geringen Luftdichte eine erhebliche Abnahme der Widerstände. Bei gleichbleibender Maschinenkraft bedeutet das also einen nennenswerten Geschwindigkeitszuwachs, der besonders für weite Ozeanflüge angestrebt werden muß.

Dank der außerordentlichen Entwicklung, die der Krieg unseren Flugmotoren gebracht hat, verfügen wir heute über zuverlässige, leichte und ruhig arbeitende Flugmotore in zahlreichen Stärkeabstufungen. Der Prozentsatz der Motordefekte während des Fluges hat sich ständig vermindert. Trotzdem können wir auch heute den Benzinmotor nicht als eine absolut zuverlässige Maschine ansehen. Mit zunehmender Dauer der Flüge werden infolge der Ermüdung des Materials häufigere Defekte zu erwarten sein. Dieser Umstand ist bei der Maschinenanlage von Flugzeugen, die ohne Zwischenlandung weite Strecken zurücklegen sollen, zu berücksichtigen.

Die wirtschaftlichen Forderungen der Zukunft zwingen zur Vermeidung jedes unnötigen Kraftverbrauchs. Diese Forderung wird unsere Motorenindustrie einerseits veranlassen, den umgekehrten Weg wie im Frieden zu gehen und wieder schwächere Motore zu bauen. Vornehmlich das Sportflugzeug wird mit einem schwachpferdigen Motor von nicht mehr als 30 P.S. auszurüsten sein. Es ist interessant, festzustellen, daß bereits heute in Frankreich bei Motoren in Sportflugzeugen die Pferdestärke auf 10 P.S. herabgesetzt ist, sich also unter der Stärke hält, mit der im Jahre 1903 unsere ersten Flugzeuge ausgestattet waren (16 P.S.). Andererseits ist für den Luftverkehr der geringe Betriebsstoffverbrauch sowohl mit Rücksicht auf die Gewichts- wie auf die Kostenfrage wichtiger als das Gewicht der Maschine selbst. Hoffentlich gelingt es, den von Maybach beschrittenen Weg der Herabsetzung des Betriebsstoffverbrauchs erfolgreich weiter zu verfolgen.

Wenn wir bisher nur vom Benzinmotor als Kraftquelle gesprochen haben, so ist es deshalb geschehen, weil wir, von praktisch unwesentlichen Versuchen abgesehen, eine

brauchbare andere Kraftmaschine noch nicht gefunden haben. Die zahlreichen Versuche, den Benzinmotor mit der Luftschaube durch andere Mittel, z. B. Turbinen, zu ersetzen, haben bisher nicht zu einem greifbaren Erfolge geführt. Für die nächste Zeit dürfte ein solcher kaum zu erwarten sein, da der Flugmotor eine unserer wirtschaftlichsten Kraftmaschinen ist. In der beigegebenen Tafel sind die Leistungen unserer am weitesten entwickelten Standmotore angegeben (Tafel 1).

### MOTORE DER BAYRISCHEN MOTORENWERKE

Motortype	B.M.W. 2	B.M.W. 3a	B.M.W. 4	B.M.W. 5
Nominelle P.S. . . . . . P.S.	120	185	220	400
Zylinderzahl . . . . .	6	6	6	12
Normale Dauerleistung am Boden bei 1400 Umdrehungen der Kurbelwelle pro Minute P.S.	140	185	220	400
Normale Drehzahl des Propellers pro Minute .	1400	1400	1400	900
Leistung bleibt konstant bis Flughöhe von . m		3500	4500	5000
Leistung kann am Boden vorübergehend erhöht werden (Spitzenleistung) bis auf . . . P.S.		240	265	500
Brennstoffverbrauch pro P.S. und Stunde . . g	230	200	190	190
Schmierölverbrauch pro P.S. und Stunde . . g	12	10	8	8
Motorgewicht, betriebsfähig, jedoch ohne Wasser, Öl und Nabe (einschl. Unterseßungsgetriebe*) kg	210	285	295	550*
Gewicht des Wasserinhalts des Motors . . kg	9	12,5	10	19,5
Gewicht des Öls im Motorgehäuse . . . kg	3,5	4,0	4,0	5,0
Gewicht der Propellernabe . . . . . kg	5,2	6,5	6,5	13,0

#### Vergleichszahlen

bezogen auf ein normales Verkehrsflugzeug bei einer durchschnittlichen Flughöhe von 1000 m

	Flugzeug mit Normal-Motor 185 P.S.		Flugzeug mit B.M.W.-Motor 185 P.S.	
	Vollgas	gedrosselt	Vollgas	gedrosselt
Tourenzahl pro Minute . . . . .	1400	1050	1400	1050
Leistung . . . . . P.S.	185	80	185	80
Geschwindigkeit . . . . . km/Std.	125	95	125	95
Brennstoffverbrauch pro P.S. und Stunde . . g	220	320	195	200
Brennstoffverbrauch pro Stunde . . . . . kg	41	26	36	16
Brennstoffvorrat . . . . . kg	200	200	200	200
Flugdauer in Stunden . . . . .	4,9	7,7	5,6	12,5
Aktionsradius . . . . . km	620	730	700	1200

#### Hauptdaten

des ebenfalls überdichteten, etwas älteren Maybach-Flugmotors Typ M.b.IV.a

Gewicht des betriebsfertigen Motors ohne Wasser, Öl und Nabe . . . . . 400 kg  
 Leistung bei 1400 Umdrehungen am Boden (nicht vollgeöffneter Vergaser) . . . . . 245 P.S.

\* Die Type B.M.W. 5 ist mit Unterseßungsgetriebe versehen.

Leistung in 1800 m Höhe (vollgeöffneter Vergaser) . . . . .	240 P.S.
Benzinverbrauch pro P.S./Stunde . . . . .	210 g
Ölverbrauch pro P.S./Stunde . . . . .	12,5 g

**DIE LUFTSCHRAUBE.** Die Luftschraube entspricht in ihrem Aufbau der gewöhnlichen Schraube. Ihr Gewindengang ist die Bahn, die das Schraubenblatt durch die Luft beschreibt, und die Ganghöhe, bei Luftschrauben Steigung genannt, ist der Weg, der in Richtung der Drehachse bei einer Umdrehung zurückgelegt wird. Der Zweck der Schraube ist die Umsetzung der Arbeitsleistung des Motors in eine Bewegung des Flugzeuges. Ihre Kraftäußerung erfolgt parallel zur Achse und ist als Reaktion eines zur Achse parallelen Luftstroms anzusehen. Die Schraube bringt also einen Luftstrom mit starker Reaktion hervor. Man stellt sich die Wirkung der Schraube am einfachsten so vor, daß die Luft von dem Propeller ausgesaugt wird und durch

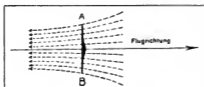


Abbildung 3. Flugrichtung.

Propellerkreis hindurchströmt. Dieser Luftstrom, Schraubenstrahl genannt, hat zu Beginn seines Entstehens den größten Querschnitt, der sich in der Propellerebene auf den Durchmesser des Propellers reduziert und ein Ende hinter dem Propeller seinen engsten Querschnitt und damit seine höchste Stömungsgeschwindigkeit erreicht.

Die Marschgeschwindigkeit des Propellers ist gleich der Geschwindigkeit des Schraubenstrahls in der Propellerebene A—B. Diese Marschgeschwindigkeit des Propellers wird vom Flugzeug selbst nicht erreicht, da ein Teil der hier vorhandenen Kraft auf die Arbeitsleistung entfällt, die die Luft im Schraubenstrahl zurückwirft.

Zwischen der Luftsäule a und den Luftsäulen b entsteht daher eine Differenz (a—b), die man als den Slip der Schraube bezeichnet. Zu diesem fest gegebenen Slipverlust treten auf dem Wege vom Motor über die Schraube zur Bewegung des Flugzeuges selbst noch weitere in der Praxis sehr verschiedenen hohe Verluste hinzu, die durch die Reibung der Luft am Propellerblatt, durch Wirbelbildungen usw. bewirkt werden. Diese mechanischen Verluste sind von hoher praktischer Bedeutung, da eine Verminderung der Propellerverluste von 1% sich in eine Erhöhung des Wirkungsgrades des Motors von etwa 3% umsetzt. Die zweckmäßigste Konstruktion und Wahl der Schraube ist daher für die wirtschaftliche Ausnutzung des Flugzeuges bedeutungsvoll. Die Art der Schraube ist abhängig von der Motorleistung, der Geschwindigkeit des Flugzeuges und dem Ort ihrer Anbringung am Flugzeug.

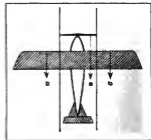


Abbildung 4.

Die Schraubenflügel selbst sind in ihrem Profil nach ähnlichen Grundsätzen gebaut wie die Tragflächen der Flugzeuge; sie sind gewissermaßen senkrecht zur Fahrtrichtung gestellte rotierende Flächen. Die Flächen der Schraubenflügel müssen in einem gewissen Stoßwinkel gegen die Luft drücken, um mit Hilfe ihrer Geschwindigkeit sich in der zusammendrückbaren Luft den notwendigen Widerstand zu schaffen.

Als Material für die Schrauben ist fast ausschließlich Holz (Nußbaum, Esche, Mahagoni, Kiefer u. a. m.) verwendet worden. Versuche mit anderem Material haben bisher nicht zu befriedigenden Ergebnissen geführt. Die Schraube wird aus einer

Anzahl dünner Holzplatten hergestellt, die zu einem Block verleimt, zugeschnitten, ausbalanciert und poliert werden. Diese Art der Herstellung gibt den Schrauben die erforderliche Festigkeit, ermöglicht die sorgfältige Formgebung und die weitestgehende Prüfung des Materials.

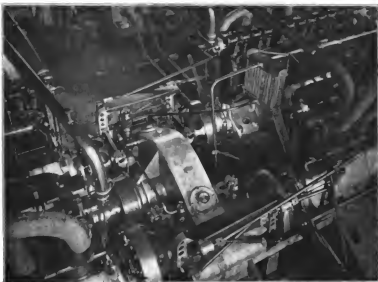


Abbildung 5. Maschinenanlage im Linke-Hoffmann-R-Flugzeug.

Gleichzeitig wird hierdurch auch eine verhältnismäßig große, wenn auch keineswegs vollständige Unempfindlichkeit gegen Witterungseinflüsse, die leicht zu einem Verziehen der Schrauben führen, bewirkt. — Das Gebiet der Luftschraubentechnik ist außerordentlich vielseitig und kann schon deshalb erhöhte

Interesse beanspruchen, weil es für die Luftfahrt von hoher praktischer Bedeutung ist. Eine Bedeutung, die noch lange bleiben wird, da in absehbarer Zeit nicht mit einem Ersatz der Luftschraube durch ein anderes Mittel zu rechnen ist. Wie jeder Flieger aus der Praxis weiß, ist dieser Zweig des Flugwesens noch bei weitem nicht erschöpfend bearbeitet. Wir dürfen gerade bei Arbeiten auf diesem Gebiet eine wesentliche Steigerung der Leistungsfähigkeit der Flugzeuge erwarten. Für eine eingehendere Beschäftigung mit dem Luftschraubenproblem verweise ich auf die kleine Schrift: Bord „Die Luftschraube“ (Karl Schmidt, Berlin). Auf die Verwendung als Druck- und Zugschraube und die Verwendung



Abbildung 6. Hauptzahnrad im Getriebe des Linke-Hoffmann-R-Flugzeugs.

mehrerer Schrauben an einem Flugzeug werden wir bei Besprechung der einzelnen Flugzeugtypen noch zurückkommen. Die Versuche mit verstellbaren Schrauben sind noch im Anfangsstadium.

Mit der dauernden Vergrößerung der Flugzeuge änderte sich auch die Maschinenanlage derselben. Es war nicht mehr möglich, die erforderliche Pferdestärke durch einen Motor allein dem Flugzeug zu geben. Außerdem erschien auch aus Gründen der Betriebssicherheit eine Unterteilung der Maschinenkraft erwünscht. Es wurden deshalb mehrere Motore in ein Flugzeug eingebaut, die in einzelnen Typen zu einem Aggregat zusammengefaßt wurden. Nunmehr bestand das Triebwerk der Flugzeuge nicht mehr allein aus Motor und Schraube, sondern es kamen Kupplungen, Getriebe und Wellen hinzu. Bei der Besprechung der Riesenflugzeuge werden wir auf diese komplizierten Anlagen noch zurückkommen.

### 3. DAS FLUGZEUG!

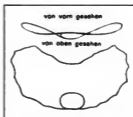
**DAS TRAGWERK.** Das Idealflugzeug würde äußerlich einem der guten Flieger unter den Vögeln, etwa der Möwe, im Fluge ähneln müssen. Man würde also nur einen Flügel mit einem Rumpf, der seiner Form nach den glatten Luftabfluß begünstigt, sehen. Alles, was das Flugzeug von diesem Bilde unterscheidet, ist störendes, wenn auch teilweise unvermeidliches Beiwerk, das hoffentlich immer weiter beschränkt wird. Im Laufe der folgenden Darstellung und an Hand der beigefügten Bilder werden wir sehen, daß wir uns diesem Ideal in letzter Zeit wesentlich genähert haben.

Die Tragflächen haben, wie ihr Name besagt, die Aufgabe, das Flugzeug zu tragen, d. h. ihm den erforderlichen Auftrieb zu geben. Zum Tragwerk gehören außer den Flächen selbst die Teile, die lediglich der Befestigung der Flächen dienen. Außer den Flächen tragen bei entsprechender Ausbildung auch noch andere Teile, z. B. der Rumpf, in allerdings bescheidenem Maße zur Erzeugung des Auftriebes bei. Die Wirkung der Flächen im Fluge besteht darin, daß die beschleunigte Luft unter den Flächen zusammengedrückt einen Druck gegen diese ausübt, der mindestens um das gesamte Gewicht des Flugzeuges stärker sein muß als der Druck der umgebenden Luft. Um die Verdichtung der Luft zu begünstigen, werden die Flächen im schwachen Winkel zur Flugrichtung eingestellt. Im Profil ist die Fläche nach oben stärker gewölbt, auf der unteren Seite weist sie eine schwache Wölbung nach innen auf. Die Form und die Stellung der Flächen ist für die Leistung des Flugzeuges und für dessen Stabilität von großer, für den motorlosen Flug von ausschlaggebender Bedeutung. Im ersten Stadium des Flugwesens fehlten sowohl die praktischen Erfahrungen wie die wissenschaftlichen Grundlagen für die geeignete Formgebung der Fläche. Das Beispiel, das uns die Natur im Vogelflügel gab, war nicht ohne weiteres nachzuahmen, da es weder genügend bekannt war, noch sich technisch mit den uns zur Verfügung stehenden Mitteln nachahmen ließ. Noch heute sind wir hiervon weit entfernt, da wir bis jetzt nicht in der Lage sind, unseren Tragflächen eine der wesentlichsten Eigenschaften des Vogelflügels, nämlich die Veränderlichkeit der Ausdehnung im Fluge, zu geben. Bei unseren ersten Flugzeugen finden wir fast durchweg eine starke Anlehnung an den gewöhnlichen Drachen, wie er jedem aus seiner Kindheit bekannt sein dürfte. Der leichten Bauart wegen wurde vielfach die Form der Kastendrachen bevorzugt. Die ersten Flugzeuge waren vornehmlich ihrer schwachen motorischen Kraft und der damit zusammenhängenden geringen Geschwindigkeit wegen in sehr hohem Maße abhängig von den Launen des Wetters, von deren Herrschaft wir uns heute nahezu vollkommen befreit haben. Die auf das Flugzeug einwirkenden Kräfte

sind auf die einfachste Form gebracht die Zugkraft der Schraube, die Energie der Luft und die Schwerkraft. Je ungünstiger das Verhältnis dieser Kräfte ist, desto abhängiger wird der Flieger von den jeweiligen Strömungen der Luft. Damit findet die früher dem Flieger eigentümliche Scheu vor unruhigem Wetter und das den alten Konstruktionen eigene Streben nach automatischer Stabilität der Flugzeuge die verständliche Erklärung.

In dem Verlangen, durch die Form der Flächen die Stabilität des Flugzeuges möglichst zu steigern, wurden die Konstrukteure durch Beobachtungen bestärkt, die an dem Flugsamen der Zanonía gemacht waren. Man hatte einen ungewöhnlich weiten und stabilen Flug dieses Samens beobachtet und nie ein Überschlagen desselben bemerkt. Nach der Zanoníaform gebaute Gleitflieger ergaben günstige Resultate, während die Verwendung derselben Form für das Motorflugzeug enttäuschte. Die Zanoníaform verursachte derartig hohe Luftwiderstände, daß ein Geschwindigkeitsverlust eintrat, der die Steuerfähigkeit stark beschränkte. Es wurde deshalb die Form etwas geändert und ihr gewissermaßen die schroffsten Verstöße gegen die Gesetze des Luftwiderstandes genommen. Diese Form bleibt aber in den Flächenbildungen fast aller als Tauben bezeichneten Flugzeuge zu erkennen; schwache Anklänge finden sich auch noch bei den Flächen der älteren Doppeldecker.

Vornehmlich die deutschen Konstrukteure blieben verhältnismäßig lange bei dem Wunsch, die automatische Stabilität der Flugzeuge zu erhöhen. Man wölbte die Flächenenden nach oben, man gab ihnen von vorn gesehen eine V-Stellung, neigte die untere Fläche nach oben bzw. auch noch die obere nach unten.



Abbild. 7. Samen der Zanonía.

Von oben gesehen erhielten sie eine schwache Pfeilstellung, die obere Fläche wurde größer als die untere gemacht und dergleichen mehr.

Erhalten hat sich in unseren modernen Flugzeugen nur die größere Ausbildung der oberen Fläche, die infolge der höheren Widerstandserzeugung die Kippgefahr im Gleitflug vermindert; ferner finden wir oft eine schwache V-förmige Stellung und vereinzelt auch die Pfeilform. Die früher



Abbildung 8. Rumpiertaube 1913, 100 P.S. Mercedes.

sehr beliebte tiefe Fläche mit elastischen Enden hat einer schmalen Fläche Platz gemacht. Die Mehrzahl dieser früheren Versuche fielen dem Luftwiderstand des Flugzeuges zur Last, sie beeinträchtigten also die Geschwindigkeit und damit die Steuerfähigkeit. Wright war der erste, der die Vorzüge der vollkommen durch den Führer beeinflussten Stabilität erkannte und sich zunutze machte. Er gab seinen Flächen eine weniger Widerstände erzeugende Form und erhielt die Seitenstabilität durch Ver-

winden der Tragflächenenden, wie dies noch heute geschieht. — An der Profilform der Fläche ist die Entwicklung ebenfalls nicht spurlos vorübergegangen. Bis in die jüngste Zeit hielt man sehr niedrige Flächenprofile, die man auch heute noch vor-

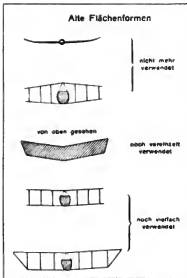


Abbildung 9. Alte Flächenformen.

wiegend findet, für die günstigste Form, da man glaubte, daß sie die geringsten Widerstände erzeugte. Von diesem Irrtum sind wir erst durch die Forschungen von Professor Junkers befreit worden. Nach dem heutigen Stande unseres Wissens, das selbstverständlich nicht als abgeschlossen betrachtet werden darf, erscheinen die folgenden Größenverhältnisse für die Fläche am günstigsten. Profilhöhe zur Flächentiefe 1 : 5, Spannweite zur Tiefe 6 : 1, Abstand der Flächen mindestens gleich Tiefe derselben. Der Zweck der Fläche, Auftrieb zu erzeugen, wird dadurch erreicht, daß an ihrer Unterseite eine Luftverdichtung, an der Oberseite eine Luftverdünnung oder, kürzer gesagt, unten eine Druck- und oben eine Saugwirkung entsteht. Dieser Zweck wird begünstigt durch eine schwache Wölbung, die etwa  $\frac{1}{15}$  der Sehnenlänge beträgt, und durch einen Anstellwinkel, der den Flächen zur Flugrichtung gegeben wird. Dieser beträgt ungefähr 3—5°. Die stärkste Dicke der Fläche liegt im vorderen Teil, nach hinten läuft sie spitz aus.

Auf die Fläche wirken im Fluge folgende Kräfte ein:

1. In Richtung der Bewegung die Zugkraft der Schraube, die Strömungswiderstände und die Oberflächenreibung.
2. In der vertikalen die Erdanziehung, die Auftriebskraft und eine verdrehende Kraft, die die Vorderkante der Fläche nach unten und die Hinterkante nach oben drücken will.
3. Die horizontal senkrecht zur Flugrichtung gerichtete Seitenabtriebskraft.

Die unter 3 genannte Kraft wirkt von beiden Seiten gleich stark und hebt sich auf. Die unter 2 genannte verdrehende Kraft wirkt gleich stark in entgegengesetzter Richtung und bleibt mithin für den Vortrieb und Auftrieb ohne Einfluß.

Diese Kraft würde aber das Flugzeug auf den Kopf stellen, wenn dies nicht durch die Anordnung einer Hilfsfläche verhindert würde, die eine entsprechend starke, hebende Wirkung auf die Vorderkante der Fläche ausübt. Diese Hilfsfläche wird gleichzeitig als Höhensteuer benutzt und deshalb um eine Achse drehbar gemacht. Die unter 1 genannten, in der Richtung der Bewegung angreifenden Kräfte werden, soweit sie als Widerstand und Reibung auftreten, durch den Zug der Schraube überwunden. Die unter 2 genannten Kräfte wirken entgegengesetzt, so daß der Auftrieb die Erdanziehung überwindet.

Mit wachsendem Anstellwinkel wächst die Auftriebskraft, gleichzeitig aber auch der Widerstand. Da aber die Auftriebskraft von der Geschwindigkeit des Flugzeuges abhängig ist, tritt nun wieder ein Verlust an Auftriebskraft infolge zunehmenden Widerstandes ein. Das Verhältnis vom Auftrieb zum Widerstand ist von ausschlaggebender

Bedeutung für die Leistungen des Flugzeuges. Je günstiger das Verhältnis ist, desto bessere Leistungen (Geschwindigkeit und Tragfähigkeit) werden mit gleicher Propellerkraft erzielt.

Über die günstigste Zahl und Anordnung der Flächen gingen die Meinungen stets auseinander und sind auch heute noch nicht völlig einig geworden. In den ersten Jahren des Flugzeugbaues haben wir schon Typen von einer bis zu zwanzig Flächen

gehabt. Wir können hier nicht den langen Weg der Irrungen im Flugzeugbau nachgehen, so interessant er auch sein mag. Ein kurzes Nachdenken über den Vorgang der Luftströmungen bei durch die Luft gezogenen Flächen zeigt, daß der Wirkungsgrad der Flächen nicht einfach durch ihre Zahl multipliziert werden kann. Uns interessiert hier nur das praktisch Mögliche. Die mögliche Zahl der übereinanderliegenden Tragflächen wird begrenzt durch die mögliche Höhe des Flugzeuges. Der Abstand der Flächen voneinander ist von Spannweite und Flächentiefe abhängig. Wird der Abstand zu gering bemessen, so wirken die Flächen nicht. Bei willkürlicher Vermehrung der Flächen würde man also zu konstruktiv unmöglichen Flugzeughöhen kommen. Die Zahl der übereinanderliegenden Flächen ist daher bei Gebrauchsflugzeugen nicht über drei gegangen, wenn man nicht die bei einzelnen Typen durch eine Umkleidung tragend ausgebildete Fahrgestellachse als vierte Fläche rechnen will.

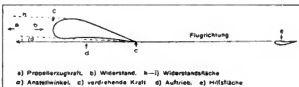


Abbildung 10.

Eindecker und Doppeldecker haben stets erfolgreich nebeneinander bestanden. Einem der beiden Systeme konnte daher auf Grund praktischer Erfahrungen nicht unbedingt der Vorzug gegeben werden; nach den neuesten Ergebnissen dürfte nun doch wohl der Eindeckerform der Vorrang einzuräumen sein. Solange wir auf eine Verspannung oder Verstrebung der Flächen angewiesen waren, bot der Doppeldecker gewisse konstruktive Vorteile. Es ließ sich auch bei ihm mit geringerer Spannweite mehr Fläche unterbringen, ein Vorteil, der besonders bei Flugzeugen mit geringer Geschwindigkeit ins Gewicht fiel. Solange die Scheu vor hohen Flächenbelastungen infolge der mangelnden Geschwindigkeit berechtigt war, erscheint die Vorliebe für den Mehrdecker verständlich. Vor einem Jahrzehnt waren Flächenbelastungen von 25 kg pro qm das höchste, heute gehen wir auf 60 kg und darüber. Im Fluge ist die höhere Flächenbelastung bei entsprechender Geschwindigkeit vollkommen unbedenklich. Für die Landung hat sie insofern Bedenken, als mit ihr die Landungsgeschwindigkeit und damit die Schwierigkeit der Landung wächst.

Versuche, mehrere Flächen hintereinander anzuordnen, führten zu Fehlergebnissen. Der Wirkungsgrad war schlecht, und die Flugeigenschaften litten. Dagegen ist vielfach mit guter Wirkung eine Staffelung der Flächen beim Mehrdecker angewendet. Der Anstellwinkel der rechten und linken Fläche ist bei Einschraubenflugzeugen ungleich, da die infolge der einseitigen Drehung des Propellers entstehende Kreiswirkung durch die Flächenstellung für das Flugzeug aufgehoben werden muß. Der Anstellwinkel beider Flächen nimmt nach außen zu stark ab, da hierdurch die Seitenstabilität gefördert wird.

Die dünne Fläche konnte, wenn sie nicht praktisch unmögliche Gewichte erreichen sollte, nicht eine derartige Festigkeit bekommen, daß sie keiner Abstützung bedurfte



(Beanspruchung auf Torsion). Wir sehen daher Stiele und Kabel, die die Beanspruchung der Flächen aufnehmen. Diese zum Tragwerk gehörenden Teile sind selbst nicht auftrieberzeugend, vermehren aber erheblich die Widerstände; sie gestalten also das Verhältnis „Widerstand — Auftrieb“ ungünstiger. Diese ungünstige Wirkung versuchte man mit einigem Erfolg dadurch einzuschränken, daß man diesen Teilen durch eine Umkleidung günstigere Stromlinienformen gab, und daß man ihre Zahl verminderte. Man ging daher bei Doppeldeckern von je drei Stielpaaren auf zwei und in einigen Fällen auf ein Paar auf jeder Seite herab. Vollkommen ausschalten ließ sich jedoch die schädliche Wirkung dieser Tragwerkteile erst, als man zu dem starken Flächenprofil überging und damit in die Lage versetzt wurde, die Fläche selbst konstruktiv so zu gestalten, daß sie auch ohne außenliegende Abstützungen die erforderliche Festigkeit erhielt. Das Gewicht wurde dadurch nicht wesentlich verändert.

**DAS LEITWERK.** Anfängliche Versuche, ohne besondere Steuerorgane auszukommen und das Flugzeug lediglich durch vermehrte oder verminderte Tourenzahl des Motors bzw. durch Verlegen des eigenen Gewichts zu steuern, schlugen bald fehl. Man braucht besondere Ruderorgane sowohl zur Erhaltung der Stabilität als zur Lenkung des Flugzeuges. Mehrschraubenflugzeuge sind hier nicht ausgenommen; sie könnten auf besondere Organe zur Seitensteuerung und Erhaltung der Querstabilität verzichten und hierzu lediglich die einseitige stärkere oder schwächere Betätigung der Luftschrauben benutzen, wenn nicht gerade diese Typen bei einseitigen Maschinendefekten die Ruderflächen besonders dringend gebrauchten, um die Wirkung des ungleichen Zuges auszugleichen.

Von dem Streben nach hoher automatischer Stabilität durch die Form der Flächen ist man, wie wir bereits gesehen haben, immer mehr abgekommen, weil eine derartige Stabilität im allgemeinen auf Kosten der Flugeistung geht und auch nur bei verhältnismäßig ruhigem Wetter ein befriedigendes Ergebnis zeitigt. Ein labiles, auf jeden Steuerausschlag leicht reagierendes Flugzeug ist in der Hand des durchgebildeten Führers das sicherere Fahrzeug. Ob man später auf anderem Wege, etwa mit Hilfe des Kreisels, eine automatische Stabilität der Flugzeuge herstellen wird, mag dahingestellt bleiben.

Die Wirkung aller Ruder beruht auf der Erzeugung von Luftwiderstand nach einer Seite bei ihrer Betätigung, da sie gegen die Flugrichtung eingestellt werden. Jede Ruderbewegung übt also eine einseitig bremsende Wirkung aus. Jede unnötige Ruderbetätigung bringt daher einen Verlust. Hier liegt der vornehmste Grund dafür, daß das Ergebnis der Wettbewerbe nicht allein von den Eigenschaften der Maschine, sondern vom Können des Führers abhängt. In der zweckmäßigen Betätigung der Ruder liegt die Haupttätigkeit des Führers. Jeder Anfänger neigt zu einem zu häufigen und starken Gebrauch des Steuers und bringt damit das Flugzeug zur dauernden Unruhe. Ein Flugzeug wird so ausbalanciert, daß es ohne Eingriff seitens des Führers in der richtigen Lage während des Fluges liegt. Eine Steuerbetätigung ist daher nur nötig, wenn plötzliche Änderungen der Luftströmungen (Böen) das Flugzeug angreifen oder der Führer die Richtung ändern will.

Ein Ruder dient der Höhensteuerung und Erhaltung der Längsstabilität. Die Längsstabilität ist abhängig von der Innehaltung einer gewissen, je nach dem Maße der Flächenbelastung verschiedenen Geschwindigkeit. Bei starker Neigung des Flugzeuges nach oben sinkt die Geschwindigkeit; der Druck auf die Steuer und damit die Steuerfähigkeit läßt nach. Die Grenze der erlaubten Aufwärtsbewegung liegt dort, wo die an den Flächen sich bildende Druckdifferenz geringer wird als das Eigengewicht

des Flugzeuges. Wird diese Grenze überschritten, so sackt das Flugzeug durch bzw. rutscht ab. Bei genügender Entfernung vom Boden gewinnt das Flugzeug im Fall die erforderliche Fahrt, um wieder steuerfähig zu werden. Für den Führer macht sich der zu starke Geschwindigkeitsverlust in dem Nachlassen des Drucks auf die Ruder bemerkbar. Umgekehrt nimmt bei Zunahme der Neigung nach unten die Geschwindigkeit zu. Auch diese Geschwindigkeitszunahme kann einen Grad erreichen, bei dem ebenfalls die Steuerfähigkeit verlorengeht. Je größer der Kraftüberschuß ist, desto stärker läßt sich das Flugzeug gefahrlos ziehen. Wir finden daher bei den beweglichen Jagdflugzeugen eine im Verhältnis zur Geschwindigkeit geringe Flächenbelastung.

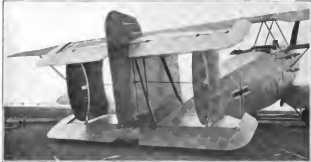


Abbildung 11. Leitwerk des Linke-Hoffmann-R.-Flugzeuges.

Das Seitensteuer dient gleichzeitig zur seitlichen Richtungsänderung und zur Erhaltung der Querstabilität. Durch die bremsende Wirkung auf einer Seite wird die entsprechende Fläche gesenkt, da durch den Geschwindigkeitsverlust die Luft hier verdünnt und auf der anderen Seite durch die Geschwindigkeitszunahme verdichtet wird. Auf der einen Seite wird also der Auftrieb vermindert und auf der anderen vermehrt. Jede Seitenbewegung nimmt mithin die Form einer Kurve an.



Abbildung 12. Führerstand im Riesenflugzeug.

Außerdem verwendet man allgemein noch ein besonderes Querruder zur Erhaltung der Querstabilität. Dieses Querruder sitzt meistens in der Form sogenannter Verwindungsklappen am äußeren hinteren Rande der oberen Fläche. Früher wurde vielfach die

ganze Fläche zu diesem Zweck verwunden. Konstruktive Rücksichten aber haben die allgemeine Verwendung der Verwindungsklappen eingeführt. Die Verwindung der ganzen Fläche stellte auch reichlich hohe Ansprüche an die Armkraft des Führers. Die Ruderflächen für die Höhen- und Seitensteuerung befinden sich an dem Schwanzende. Vor den Ruderflächen, in einer Ebene mit diesen, liegen die Dämpfungsflächen, Höhenflosse und Kielflosse, die zur Erhöhung der Stabilität beitragen. Früher wurde teils statt des Schwanztyps der Kopftyp gebaut, wodurch sich die Lage der Ruderflächen entsprechend änderte.

Die Steuerfähigkeit eines Flugzeuges hängt im wesentlichen von seiner Geschwindigkeit, der Größe der Ruderflächen und dem Kraftüberschuß ab. Von weiterem Einfluß ist das Verhältnis von Spannweite zur Länge, die Gewichtsverteilung und auch das Gesamtgewicht des Flugzeuges, da mit diesem das Trägheitsmoment wächst.

Die Betätigung der Steuer erfolgt vom Führersitz aus im allgemeinen derart, daß Höhensteuer und Verwindung durch ein Rad oder einen Knüppel mit der Hand und das Seitensteuer durch einen Hebel mit dem Fuß bedient werden. Die Ruderflächen werden durch auf Rollen laufende Kabel mit dem Steuer verbunden. Bei Anwendung von Doppelsteuerung, z. B. in Riesenflugzeugen, sind die Steuer der beiden Führer zu zwangsläufiger gemeinsamer Arbeit gekuppelt.

Der Rumpf verbindet die Tragflächen mit den Hilfs- und Ruderflächen. Er dient im allgemeinen zur Aufnahme der Maschinen, der Betriebsstoffe, der Besatzung und der Fracht. Das Fahrgestell bzw. die Schwimmer sind meistens an ihm befestigt. Die einfachste und für viele Flugzeugarten auch günstigste Bauweise verwendet nur einen Rumpf. Je nach der Ausbildung des Schwanz- oder Kopftyps läßt sich beim Einrumpfflugzeug nur eine Zug- oder eine Druckschraube, bei dem allgemein üblichen Schwanztyp also nur eine Zugschraube verwenden. Die Verwendung von Druckschrauben beim Schwanztyp führt zum Mehrumpfsystem, das auch vielfach bei einer Dezentralisation der Maschinenanlage benutzt wird, wobei die Seitenrumpfe oft nur in Form kurzer Gondeln ausgebildet werden.

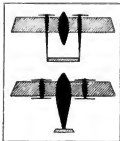


Abbildung 13.

Das Mehrumpfsystem bietet den Vorteil der leichteren Möglichkeit der Trennung von Benzin, Motor und Besatzung. Besonders für Passagierflugzeuge dürfte es vorteilhaft sein, einen von Maschinen und Betriebsstoffen freien Rumpf zu haben. Andererseits wächst aber mit der Zahl der Rumpfe der Widerstand und im allgemeinen auch das Gewicht. Dank des starken Profils der Fläche ist in letzter Zeit ein Ausweg, der die wesentlichsten Vorteile des Ein- und Mehrumpfsystems in sich vereinigt, damit gefunden, daß die Maschinenanlage und die Betriebsstoffe in den Flächen untergebracht werden, die hierzu in der Nähe des Rumpfes noch eine unbedenkliche Verdickung erfahren.

Bei deutschen Flugzeugen finden wir seit langen Jahren ausschließlich den Vollrumpf, während in anderen Ländern, vorzugsweise in Frankreich, vielfach der offene Gitterrumpf angewendet wurde. Der Vollrumpf bietet ohne Gewichtserhöhung den Vorteil des besseren Luftabflusses. Ein Vergleich der Rumpfbildungen älterer und moderner Flugzeuge läßt deutlich das Streben erkennen, die Rumpfform immer besser den Luftströmungen anzupassen und damit unnötige Widerstände und Wirbelbildungen zu vermeiden.

Der Rumpf ist im allgemeinen aus demselben Material hergestellt wie die Flächen,

d. h. aus Holz und Stoff oder aus Metall. Wir finden vielfach eine Furnierholz-  
bekleidung und am vorderen Teil auch oft eine Blechbekleidung des Rumpfes.

Bei der Festigkeit des Rumpfes muß außer der allgemeinen Beanspruchung auch Gewicht und Lage der in ihm untergebrachten Nutzlast berücksichtigt werden. Wir unterscheiden hier zwischen bleibenden und abnehmenden Gewichten. Letztere (Betriebsstoffe, Bomben, Abwurfkräften) müssen im Schwerpunkt untergebracht werden, damit eine Gewichtsveränderung im Flug nicht die Ausbalancierung des Flugzeuges aufhebt. Der Führer findet seinen Sitz besser vom Schwerpunkt entfernt, da sich alle Lagenveränderungen des Flugzeuges ihm alsdann deutlicher fühlbar machen.



Abbild. 14. Staaken-R.-Flugzeug mit 3 Rümpfen, Hauptrumpf ohne Motore.

**UNTERGESTELL.** Nach verschiedenen kurzen Versuchen mit besonderen Abflugvorrichtungen ist man allgemein dazu übergegangen, das Flugzeug je nach seinem Verwendungszweck auf ein Fahrgestell oder auf Schwimmer zu setzen, oder aber den Rumpf selbst als Boot auszubauen. Für Schnee- und Eislandungen hat man mit



Abbildung 15. Eisernes Rad mit Stahlabfederung im Linke-Hoffmann-R.-Flugzeug.

gutem Erfolg ein Untergestell ähnlich den Schlittenkufen angewendet. Das Fahrgestell besteht im allgemeinen aus einem etwas vor dem Schwerpunkt liegenden gummibereiften Räderpaar, das untereinander durch eine Achse und mit dem Rumpf durch Stahlrohr- oder Holzgabeln verbunden ist. Die Höhe des Fahrgestells ist derart zu bemessen, daß der Propeller auch bei bewachsenem Boden nicht mit der Erdoberfläche in Berührung kommt. Die Abfederung der Räder ist für den glatten Verlauf von Start und Landung bedeutungsvoll, da das Fahrgestell bei harten Landungen starken Beanspruchungen, die bei Landungen mit Seitenwind auch als seitlich schiebender oder scherender Druck auftreten, ausgesetzt ist. Zum Schutz des Schwanz-

ein kleines Laufrad angebracht. Bei großen schweren Flugzeugen finden wir oft mehrere Räderpaare, die bisweilen

bedenklicher Weise konstruktiv mit den unteren Flächen verbunden werden mußten. Je größer die Spannweite, desto größer muß auch die Spurweite der Räder sein, um Beschädigungen der Flächenenden bei unebenem Boden oder etwas schiefem Aufsetzen der Maschine zu vermeiden. Zahl und Größe der Räder ist vom Gewicht der Maschine abhängig. Der Ersatz der gummbereiften Räder durch Holzräder ist mit Ausnahme von ganz leichten Sportflugzeugen bisher nicht voll geglückt. Mit gutem Erfolg hat nur Linke-Hoffmann (Breslau) seinem jüngsten Riesenflugzeug eiserne Räder gegeben.

Bei Wasserflugzeugen werden an die Stelle der Laufräder der Landflugzeuge Schwimmer gesetzt. Es sind dies wasserdichte, bootsförmige Hohlkörper von meist rechteckigem Durchschnitt, die im allgemeinen aus Furnierholz oder Aluminiumblech hergestellt und in mehrere wasserdichte Schotten eingeteilt sind. Die Tragfähigkeit der Schwimmer wird so berechnet, daß ein Schwimmer allein genügt, um das ganze Flugzeug zu tragen. Die Festigkeit der Schwimmer muß nicht nur unter Berücksichtigung der bei Start und Landung eintretenden Belastung berechnet werden, sondern sie hat auch den Anforderungen zu genügen, die ein stundenlanges Rollen oder Treiben stellt, wie es nach einem Niedergehen auf hoher See erfolgt. An die Seetüchtigkeit der Schwimmer werden so erhebliche Anforderungen gestellt, daß das Gewicht der Schwimmer um ein Mehrfaches höher ist als das des ganzen Fahrgestells der Landflugzeuge.

Eleganter als das Schwimmerflugzeug wirkt das Flugboot, bei dem früher die Anordnung von Motor und Schraube größere Schwierigkeiten machte, da wenigstens die Schraube nicht an dem im Wasser liegenden Boot befestigt sein kann. Die Entwicklung der Seetüchtigkeit hat vornehmlich in Deutschland früher bei Schwimmern als bei Flugbooten zum Erfolg geführt. Heute ist jedoch die Seetüchtigkeit der Flugboote



Abbild. 16. L.V.G.-Wasserflugzeug auf Schwimmern, 200 P.S. Benzmotore.

derjenigen der Schwimmer nicht mehr unterlegen. Die Zeit des Seeluftverkehrs wird zweifellos zu einer Bevorzugung der Flugboote führen. Die Verbindung von Land- und Wasserflugzeug ist verschiedentlich, aber, soweit bekannt, bisher erfolglos versucht worden. Die Ausbildung des Untergestells ist für die Betriebssicherheit von höchster Bedeutung. Weit aus die Mehrzahl der Unfälle ereignen sich bei Start und Landung. Derartige Unfälle werden durch Fußgestellbrüche stark begünstigt und können vornehmlich beim Start katastrophale Folgen haben. An der Festigkeit des Untergestells darf also nicht zu sehr gespart werden. Andererseits ist dies gerade der Teil des Flugzeuges, der während des Fluges keinerlei nützliche Arbeit verrichtet und nur das tote Gewicht und noch empfindlicher den Fortbewegungswiderstand erhöht. Dem Schwimmer kann allerdings eine Auftriebswirkung gegeben werden, die aber doch zu ihrem Widerstand im ungünstigen

Verhältnis bleibt. Vielleicht gelingt es auch auf diesem Gebiet den Vogelbau nachzuahmen und das Fußgestell während des Fluges im Rumpf oder in den Flächen verschwinden zu lassen.

Je höher das Fahrgestell, desto größer werden Gewicht und Widerstand, außerdem wächst — ebenso wie bei einem Verlegen der Radachse nach hinten



Abbildung 17.

Rumpler-Flugboot 1913, 100 P.S. Benz.

— die Gefahr des Überschlagens. — Die sorgfältige Durchbildung von Fahrgestell, Boot oder Schwimmer, Teile, die man als notwendiges Übel bezeichnen kann, ist für die praktische Verwertung des Flugzeuges von nicht zu unterschätzender Bedeutung.

#### 4. DAS HILFSGERÄT DES FLIEGERS

Das Flugzeug soll ausgestattet sein mit den Instrumenten zur Prüfung der Maschinenanlage, mit den Hilfsinstrumenten für Steuerung und Navigation, mit dem Verständigungsgerät, der Beleuchtungsanlage und den Schutzmitteln.

Ein Umdrehungszähler zählt die Umdrehungen der Motorwelle und zeigt die Zahl auf einem dem Führer sichtbaren Zifferblatt an. Der Umdrehungszähler zeigt dem Führer, ob die Maschine regelmäßig und mit der günstigsten Umdrehungszahl arbeitet, und gibt ihm gleichzeitig einen Anhalt über die Lage der Längsachse des Flugzeuges, da die Umdrehungszahl mit zunehmender Aufwärtsstellung der Längsachse abnimmt und umgekehrt zunimmt. Das Thermometer, im Kühlwasser des Motors angebracht, mißt die Temperaturzahl des Kühlwassers und gibt dem Führer damit eine weitere Kontrolle über das Arbeiten der Maschine. Das Thermometer gewinnt an Bedeutung bei Versagen des Umdrehungszählers, einigen Maschinendefekten und mehrmotorigen Flugzeugen. Bei Verwendung von Getrieben wird auch deren Temperatur durch Thermometer ständig überwacht. Bei mehrmotorigen Flugzeugen mit dezentraler Anlage werden elektrische Fernthermometer angewendet, um vom Führerstand aus die Temperaturen aller fraglichen Maschinenteile zu prüfen. Der Betriebsstoffverbrauch wird auf sogenannten Benzinzuhren angezeigt, deren Wichtigkeit besonders bei eintretender Undichtigkeit eines Tanks oder einer Leitung in die Erscheinung tritt. Bei Verwendung von unter Druck stehenden Tanks zeigt ein Manometer die Druckstärke an.

Der Geschwindigkeitsmesser, zu dem ein Schalenkreuz- oder ein Druck- oder Saugrohr benutzt wird, mißt die Geschwindigkeit des Flugzeuges zur umgebenden Luft. Da von der Arbeit der Luftschaube die Luft in der Umgebung des Flugzeuges in Mitleidenschaft gezogen wird und auch von den Veränderungen der Lage des Flugzeuges nicht unbeeinflusst bleibt, kann der Geschwindigkeitsmesser nur Vergleichswerte für ein und dieselbe Maschine von ungefährender Genauigkeit angeben. Der Geschwindigkeitsmesser gibt dem Führer einen Anhalt für die Lage der Längsachse des Flugzeuges und trägt mit zur Bestimmung der Navigation bei.

Der Höhenzähler beruht auf der Messung des Luftdrucks, er mißt also nicht die Höhe, sondern den Luftdruck. Seine Höhenangaben sind also unter Berücksichtigung der Luftdruckverhältnisse zu benutzen. In Flugzeugen sind bisher nur Aneroidbarometer verwendet worden, da Quecksilberbarometer der Beanspruchung im Flugzeuge nicht gewachsen sind. Außer dem Höhenzähler, der die Höhen (Luftdruck) auf einem Zifferblatt anzeigt, wird ein als Höhenschreiber ausgebildetes Barometer mitgeführt, das die Höhenlagen während des Fluges in Form einer Kurve registriert. Die ungenauen Höhenangaben, deren Fehler unter ungünstigen Verhältnissen bei 2500 m Flughöhe bereits 500 m betragen kann, lassen die Schaffung eines Meßgeräts notwendig erscheinen, das infolge der Berücksichtigung von Luftdruck, Temperatur und Feuchtigkeit die tatsächlichen Höhen richtig anzugeben imstande ist. Ein derartiges Instrument wird wesentlich zur Erhöhung der Sicherheit des Flugwesens beitragen.

Während die richtige Lage der Längsachse mit Hilfe des Umdrehungszählers und auch des Geschwindigkeitsmessers geprüft werden kann, wird zum Anzeigen der Queralage ein besonderer Neigungsmesser, Pendel oder Libelle, verwendet.

Diese Instrumente sind aber gegen Beschleunigung nicht unempfindlich, ihre Angaben sind daher nur insofern von Wert, als sie Gleichgewichtsstörungen anzeigen. Eine seitliche Neigung der Maschine wird daher nur angezeigt, wenn die Maschine dabei geradeaus fliegt, nicht aber wenn sie richtig in der Kurve liegt oder ihr Gleichgewicht behält.

In den letzten Jahren ist als Neigungsmesser der Kreisel verwendet, der die Horizontale unabhängig von den Bewegungen des Flugzeuges ständig anzeigt. Dieses Instrument bedeutet einen erheblichen Fortschritt, da es den natürlichen Horizont künstlich ersetzt.

Das für die Navigation wichtigste Instrument ist der Kompaß, der zugleich auch dem Führer bei unsichtigem Wetter, vornehmlich bei Wolken, dafür einen Anhalt gibt, daß er geradeaus und nicht dauernd in Kurven fliegt. Die magnetischen Teile im Flugzeug üben eine ablenkende Wirkung auf den Kompaß aus, die entweder genau geprüft und bei seiner Benutzung in Anrechnung gebracht oder durch besondere Ausgleichmagneten aufgehoben sein muß. Neuerdings baut man den Kompaß vielfach im Schwanzende des Flugzeuges ein, um ihn diesen ablenkenden magnetischen Einflüssen zu entziehen, und überträgt seine Richtungsweisung auf elektrischem Wege nach dem Führerstand (Selen-Kompaß). Versuche, auch den Kreiselkompaß im Flugzeug zu verwenden, scheiterten bisher an dem hohen Gewicht desselben.

Bei großen Flugzeugen mit dezentraler Anlage und örtlicher Trennung der Besatzung in verschiedenen Gondeln ist ein besonderes Verständigungsgerät notwendig. Akustische Mittel haben bisher versagt, weil die Gehörnerven bei längerem Flug derart abtumpfen, daß die Verständigung nicht mehr möglich war. Optisches Gerät in Gestalt eines Maschinentelegraphen wie auch die Anwendung der Rohrpost haben besser befriedigt, obwohl auch hier noch starke Mängel zu beseitigen sind.

An die Instrumentenanlage im Flugzeug sind eine Reihe schwer zu erfüllender und teilweise widersprechender Forderungen zu stellen. Zuverlässigkeit, genaue Angaben, Unempfindlichkeit gegen Erschütterungen, geringes Gewicht sind die vornehmsten Forderungen. Die Mehrzahl der Instrumente muß so angebracht sein, daß ihre Messungen bequem und schnell vom Platze des Führers aus abgelesen werden können. Starke Unruhe des Zeigers oder zu große Trägheit erschwert dem Führer die Prüfung.

Flugzeuge, die auch bei Nacht Verwendung finden, d. h. alle auch für weitere Flüge bestimmte Flugzeuge, müssen dementsprechend auch mit einer Beleuchtungsanlage

versehen sein, die das sichere Ablesen der Instrumente und die Arbeit im Flugzeug ermöglicht (Maschinenanlage, Betriebsstoffanlage, Kartenlesen im Befehlsstand). Zur Stromquelle werden teilweise Akkumulatoren, teilweise Dynamos und Pufferbatterien verwendet. Vorteilhafterweise dürfte diese Anlage mit der Kraftquelle für die Funkentelegraphie oder mit den Flugmotoren selbst verbunden werden. Das zuverlässige Arbeiten der Beleuchtungsanlagen hat große Schwierigkeiten gemacht, zu deren Erklärung es beitragen mag, daß in einem Riesenflugzeug allein über 1000 m elektrische Leitungen verlegt waren. Der Geschwaderflug im Felde erforderte die äußere Kennzeichnung der Flugzeuge bei Nacht durch Positionslampen (Backbord, Steuerbord), die auch in den friedlichen Luftverkehr aus Sicherheitsgründen übernommen werden müssen.

Für die Nachtlandung wird das Flugzeug von den Beleuchtungsanlagen ausgebauter Häfen dadurch unabhängiger gemacht, daß es selbst mit starken, das Landungsfeld beleuchtenden Lampen ausgestattet wird. Die Lampen, die ihren Lichtschein vorwärts in die Flugrichtung mit leichter Abwärtsneigung werfen, werden je nach dem Sitz der Schrauben an der unteren Kante der Rumpfnase, am Fahrgestell oder an den Vorderkanten der unteren Fläche angebracht. Diese Einrichtung hat sich bei Landungen außerhalb von vorbereiteten Häfen vorzüglich bewährt.

Die Notwendigkeit der funkentelegraphischen Einrichtungen ist schon gelegentlich der Navigation besprochen worden. Für das Friedensflugzeug wird es, von Spezialfällen abgesehen, nur zweckmäßig sein, größere Flugzeuge mit einer Empfangs- und Sendestation auszurüsten, deren Reichweite der Aufgabe des Flugzeuges entsprechen muß. Für den Fernverkehr bedeutet die funkentelegraphische Ausstattung eine unerläßliche Sicherheitsmaßnahme. Bei der Gewichtsberchnung der funkentelegraphischen Einrichtung darf nicht übersehen werden, daß zu ihrer Bedienung die Vermehrung der Besatzung um einen Mann notwendig ist.

Das Rettungsboot, das dem Flugzeug lange gefehlt hat, ist ihm nun auch in Form eines Fallschirmes geworden. Die praktische Anwendung des Fallschirmes im Kriege hat gezeigt, daß er seiner Aufgabe voll gerecht wird. Im stark besetzten Verkehrsflugzeug wird seine zweckmäßige Anbringung noch Schwierigkeiten machen, die jedoch zu überwinden sind.

Bei alten Fliegern begegnet man zuweilen einer souveränen Verachtung vielen Instrumenten gegenüber. Hierin steckt insofern ein gesunder Kern, als alles Unnötige und jede Spielerei unbedingt als toter Ballast abgewiesen werden muß. Die Vervollkommnung der notwendigen Instrumente und Ausrüstungsstücke nimmt dagegen in der Entwicklung des Flugwesens eine wesentliche Stelle ein, denn sie ist erforderlich, um Betriebssicherheit und Leistungsfähigkeit zu steigern.

## 5. DAS FLUGWESEN IM WELTKRIEGE

### DI E FLUGZEUGE BEI KRIEGS- AUSBRUCH.

Durch den Ausbruch des Weltkrieges wird der erste Abschnitt der Entwicklung des Flugwesens etwas gewaltsam beendet. Das Ergebnis dieser ersten Periode war die Schaffung eines gebrauchsfähigen, leidlich betriebssicheren, aber noch wenig leistungsfähigen Flugzeuges. Abgesehen von der gleichzeitig nebeneinanderlaufenden Entwicklung der Land- und Wasserflugzeuge finden wir noch keine klare Gliederung der Flugzeugtypen nach verschiedenen Aufgaben. Die Unterschiede in diesen Typen der Vorkriegszeit sind rein technischer Art. Man versuchte auf verschiedenen Wegen — Ein- und Mehrdecker, Ein- und Mehrschraubenflugzeuge, in vereinzelt en Fällen auch durch versuchsweisen Einbau



mehrerer Motoren — die besten Flugleistungen zu erzielen. Nehmen wir die Weltrekordleistungen der Vorkriegszeit, so müssen wir auch bei einem Vergleich mit der Jetztzeit den hohen Stand des damaligen Flugwesens anerkennen. Die Weltrekordzahlen aus dem Jahre 1914 sind die folgenden:

Höhe . . . .	8150 m
Länge . . . .	1900 km
Zeit . . . .	24 Stunden, 12 Minuten
Geschwindigkeit	200 km
Tragfähigkeit .	15 Personen.

Es ist nicht uninteressant, hierbei festzustellen, daß der Weltrekord in Höhe, Länge und Zeit in deutschen Händen lag. Diese Rekordzahlen geben aber ein falsches Bild von dem Stand des damaligen Flugwesens, wenn man sich nicht daneben die



Abbildung 18.

Rumpler-Eindecker 1914, 100 P.S. Mercedes.

praktisch bedeutungsvolleren Durchschnittsleistungen vergegenwärtigt. Zahlenangaben von Rekordleistungen waren damals noch mehr als heute mit großer Vorsicht zu bewerten. Vielfach fehlen überhaupt die Möglichkeiten zu einwandfreien Messungen. Der Wert dieser Rekordzahlen ist daher mehr ein vergleichsweiser, der auch schon stark verliert, wenn der Vergleich sich nicht auf gleichzeitige Leistungen bezieht. Unser Gebrauchsflugzeug bei Kriegsausbruch war eine etwa 100pferdige Maschine, die mit zwei Personen und den Betriebsstoffen für etwa vier Stunden bei einer Geschwindigkeit von etwa 90 km schwer eine größere Höhe als 1500 m erreichte. Von besonderen Leistungen einzelner abgesehen, war das Flugzeug damals noch in nennenswerter Weise vom Wetter abhängig. Der Kraftüberschuß war eben verhältnismäßig gering, eine Tatsache, die ihre Begründung vor allem in den ungünstigen Widerstandsverhältnissen der damaligen Flugzeuge findet. Es entbehrt daher nicht jeder Berechtigung, wenn man in den ersten Kriegsmonaten die Luftwaffe eine Schönwetterwaffe nannte. Motordefekte waren bei längeren Flügen immerhin noch häufig genug, um öfters die Veranlassung zu unbeabsichtigten Landungen zu geben.

Das Wichtigste, was wir der ersten Periode des Flugwesens verdanken, war die Überzeugung, daß das Flugzeug nicht eine Spielerei, sondern ein praktisch brauchbares und reich entwicklungsfähiges Mittel war. Die Bedingungen, die damals noch vom Flugzeug an das Wetter gestellt wurden, hat der große Lehrmeister Krieg schnell beseitigt.

Die Aufgabe, die die Heeresverwaltung bei Kriegsausbruch dem Flugwesen stellte, war die Ergänzung der durch die Kavallerie versehenen strategischen Aufklärung.

Vom militärischen Standpunkt aus war diese Aufgabe gewissermaßen als Prüfung der Tauglichkeit der neuen Waffe anzusehen. Die Entwicklung des Kriegswesens selbst



Abbildung 19.

L. V. G. B. 3, 120 P. S. Mercedes.

hat dann sehr bald die Aufgaben der Luftwaffe stark erweitert und andererseits schärfer bezeichnet. Die Aufgaben, die der Krieg brachte, gaben der Technik die Marschroute, auf der sie sich zu bewegen hatte. Diese Marschroute stellte derartig gewaltige Ansprüche, daß zur Verfolgung hiermit nicht in Zusammenhang stehender technischer Versuche keine Zeit blieb. Dafür waren jedoch die Mittel und die praktischen Erfahrungen, die der Krieg lieferte, so außerordentlich reich, daß wir den Einfluß des Krieges auf die Entwicklung des Flugwesens nicht hoch genug einschätzen können. Wir dürfen aber nicht vergessen, daß die Entwicklung nur möglich war auf der soliden Grundlage, die die Vorkriegszeit geschaffen hatte.

**KRIEGFÜHRUNG UND LUFTWAFFE.** Die Heeresleitung stand erklärlicherweise dem jüngsten Geschenk, das ihr die Technik gemacht hatte, zunächst etwas skeptisch gegenüber. Man verließ sich lieber auf das altbewährte Mittel der Heereskavallerie, die auch während des Bewegungskrieges im wesentlichen den an sie gestellten Anforderungen gerecht werden konnte. Die Tätigkeit unserer wenigen Flugzeuge bei Beginn des Krieges konnte selbstverständlich die der Kavallerie nicht vollständig ersetzen.



Abbildung 20. D. F. W. 3stieliger Militärdoppeldecker 1914, 100 P. S. Mercedes.

Es war aber nicht nur die zu geringe Zahl oder das Vorhandensein der technischen Mängel, die eine großzügige Verwendung der Luftwaffe ausschloß, sondern es sprach hier auch die nicht genügende Schulung der Flugzeugbesatzung für ihre besondere militärische Aufgabe und das mangelnde Verständnis der Führung für die bei der Verwendung der Luftwaffe zu berücksichtigende technische Eigenart des Flugzeuges mit. Endlich kam die Abhängigkeit vom Wetter hinzu, die doch immerhin in den ersten Kriegsmonaten vom militärischen

Standpunkte aus recht störend empfunden werden mußte. Im Stadium des Bewegungskrieges lag auch im Jahre 1914 noch kein zwingender Grund für die umfassendere Verwendung der Luftwaffe vor. Da trat eine an sich vom Flugwesen unabhängige Entwicklung des Krieges ein, die die Bedeutung der Luftwaffe schnell in den Vordergrund schob und aus einem interessanten militärtechnischen Versuch eine zwingende Notwendigkeit machte.

Die Heeresmassen kamen zunächst auf dem westlichen Kriegsschauplatz zum Stehen und verwandelten sich aus getrennten, sich schnell bewegenden und verändernden Gruppen in zwei starre, nahezu unbeweglich gegenüberstehende geschlossene Mauern, die an beiden Enden an unüberwindliche Hindernisse angelehnt waren. Hier hatte die Aufklärungstätigkeit der Erdwaffen ein Ende. Man sah nur noch die vorderste Linie des Gegners, über die es für den Erdenwurm kein Hinwegsehen mehr gab. Die Heeresleitung wurde damit der Unterlagen beraubt, die sie für eine zweckmäßige Leitung brauchte; ihr war gewissermaßen eine Binde vor die Augen gelegt. Gewaltsame Erkundungen der Infanterie, Horchstollen der Pioniere sowie Agentenmeldungen konnten allenfalls unsichere Teilergebnisse zeitigen. Der Beobachter im Fesselballon sah wohl etwas weiter, aber auch sein Gesichtsfeld war nicht der Tiefe des feindlichen Heeres gewachsen. Hier konnte nur der Flieger helfen, der senkrecht von oben dem Gegner in die Karten gucken konnte und dem der Weg nicht durch den Schutzwall auf der Erde versperrt wurde.

Jetzt beginnt ein gewaltiger Aufschwung des Flugwesens. Flugzeug auf Flugzeug verläßt die heimatlichen Werkstätten, die Erfahrungen in der Fabrikation wachsen, die Feldformationen verdoppeln, vervielfältigen sich und mit ihr die Zahl der Flieger. Neue Anregungen fließen aus wesentlich erweitertem Kreis den Konstrukteuren zu. Die Aufklärungstätigkeit liegt jetzt fast ausschließlich den Fliegern ob. Die Artillerie braucht das Flugzeug, um die Lage ihrer Ziele festzustellen und die Wirkung des eigenen Schießens zu beobachten und zu korrigieren. Die Folge dieser regen Tätigkeit der Flugwaffe ist die Vermehrung und Verbesserung der Abwehr. Die Zeit, in denen man in einer Höhe von 800 m ungestraft über den feindlichen Linien fliegen durfte, war schnell vorbei. Die Front rief nach immer höher steigenden und schnelleren Flugzeugen. Die Flugtechniker mußten diesen Forderungen gerecht werden, ohne die Zeit zu grundlegenden Konstruktionsänderungen, zu zeitraubenden Versuchen zu haben. Die Front forderte eine höhere Tragfähigkeit. Es sollten mehr Betriebsstoffe, Waffen, Bomben, photographisches Gerät, funkentelegraphische Einrichtungen mitgenommen werden. Die Front forderte eine wesentlich höhere Wendigkeit der Flugzeuge, um sich der Erdabwehr besser entziehen zu können und im Luftkampf nicht an Gewandtheit dem Gegner nachzustehen. Die Instrumente bedurften der Vervollkommnung. Das Flugzeug war keine Schönwetterwaffe mehr, sondern mußte möglichst regelmäßig, ohne Rücksicht auf die Wetterlage, seine Aufgaben lösen. Der Tag reichte nicht mehr aus zur Bewältigung der vielfachen Aufgaben. Der Nachtflug wieder erforderte eine gewisse Stabilität und ließ höhere Landungsgeschwindigkeiten unerwünscht erscheinen, da man mit dem vorhandenen Material an Flugzeugführern rechnen mußte, deren Ausbildungszeit immer weiter herabgesetzt werden mußte.

Alle diese Forderungen stürmten auf den Flugtechniker ein. An oberster Stelle stand aber stets der Ruf nach vermehrter Produktion. Militärische Rücksichten waren in erster Linie maßgebend. Die Materialfrage wurde immer schwieriger. Ersatzstoffe mußten verwendet werden. So erklärt sich, daß man zur Erfüllung der Frontforderungen den technisch einfachsten Weg ging. Man vermehrte die Motorenstärke, ver-

mehrte die Zahl der Pferdekräfte in unseren Flugzeugen. Die P.S.-Zahl unserer Flugmotoren betrug:

1914	80—100
1915	120—160
1916	150—220
1917	160—260
1918	160—260

Diese Zahlen geben nur die Stärken der gebräuchlichsten Motoren an, ohne vereinzelte Abweichungen zu berücksichtigen. Jedenfalls zeigen sie, daß bereits 1917 eine Grenze erreicht war. Die weitere Vermehrung der Pferdekräfte wäre zweifellos möglich gewesen, sowohl durch den Einbau stärkerer Motoren als auch durch den Einbau mehrerer Motoren in ein Flugzeug. Das letztere Mittel benutzte man für Spezialflugzeuge. Im allgemeinen aber zeigte sich, daß die Vermehrung der Pferdekräfte allein doch ein recht grobes und nur bedingt wirkungsvolles Mittel war, um die Flugleistungen zu erhöhen. Der Zuwachs an Pferdekräfte kommt keineswegs rein den Leistungen zugute. Vermehrung der Maschinen- und Betriebsstoffgewichte bedingen eine allgemein stärkere und damit schwerere Konstruktion der Zelle.

Es mußten also noch andere Wege gefunden werden, um die erforderlichen Leistungen zu erreichen. Einer dieser bereits frühzeitig erkannten Wege war die Spezialisierung der Flugzeuge nach ihren Aufgaben. Das Streben nach Spezialisierung war gleichzeitig an der Front und bei der Industrie entstanden. Man hatte erkannt, daß die verschiedenartigen Forderungen des Krieges sich nicht mehr von ein und demselben Flugzeug erfüllen ließen. Diese Forderung des Spezialflugzeuges fand jedoch einigen Widerstand bei der Heeresverwaltung, die aus gewichtigen Gründen, die auf dem Gebiete des Nachschubs, der Ausbildung und Organisation lagen, möglichst lange beim Universalflugzeug bleiben wollte. Die für die Schaffung von Spezialflugzeugen sprechenden Gründe gewannen aber schließlich die Oberhand.

Während des gesamten Krieges können wir unabhängig von größeren konstruktiven Änderungen bei allen Flugzeugtypen das eifrige Streben nach Verfeinerung der Formen, nach Erleichterung des Gewichts und nach Vermeidung alles Entbehrlichen beobachten.

**DIE EINZELNEN TYPEN.** Wir können davon absehen, die große Zahl der verschiedenen Typen, die während des Krieges entstanden sind, hier aufzuzählen. Für uns ist zunächst von Interesse, die Hauptgruppen kennenzulernen, die mit Rücksicht auf die verschiedenen Aufgaben entstanden sind. Wir wollen auf die Weise den Zusammenhang zwischen Verwendungszweck und Konstruktion erkennen. Dieses Verhältnis wird auch bei der künftigen Entwicklung unserer Friedensflugzeuge maßgebend sein.

Die strategische Fernaufklärung forderte ein Flugzeug, das vermöge seiner Flugleistungen möglichst der feindlichen Einwirkung entzogen war, damit seine Insassen nicht durch die Notwendigkeit, sich in Kämpfe einzulassen, an der Lösung ihres Auftrages gehindert wurden. Zum Schutz gegen die Erdabwehr mußten große Höhen aufgesucht werden, zum Schutz gegen feindliche Flieger war außerdem eine große Geschwindigkeit notwendig. An die Tragfähigkeit und Wendigkeit wurden bescheidene Anforderungen gestellt. Für Nachtflüge kam dies Flugzeug nicht in Betracht. Wir können nun im Laufe des Krieges eine Menge von Typen feststellen, die diesen Forderungen entsprechen. Die verschiedenen Firmen überbieten sich gegenseitig, und so entstand ein reger und fruchtbarer Wettbewerb. Die Unterschiede in den Leistungen sind im allgemeinen von der Zeit der Entstehung abhängig. Die führenden Flug-

zeuge auf diesem Gebiet waren größtenteils die von Rumpler, Albatros, D.F.W. und L.V.G. Die Leistungen wurden erzielt, wie bereits angegeben, vornehmlich durch Erhöhung der Pferdestärke und prozentuale Herabsetzung des Gewichts. Auf diese Weise wurde eine Herabsetzung der Leistungsbelastung, d. h. des Gewichtsanteils, der auf eine Pferdekraft entfällt, erzielt.

Andere Forderungen als an das Aufklärungsflugzeug mußten an das Jagdflugzeug gestellt werden. Sollte es die Luft beherrschen, so mußte es in seinen Flugeigenschaften, soweit sie sich auf Steigfähigkeit, Geschwindigkeit und Wendigkeit beziehen, überlegen sein. Seine Bewaffnung mußte selbstverständlich derart sein, daß es von allen anderen



Abbildung 21. Rumpler C. IV u. VII, 260 P.S. Mercedes bzw. 245 P.S. Maybach. Führendes Flugzeug in der Fernaufklärung 1917/18.

Flugzeugen in der Luft gefürchtet wurde. Sein Wirkungsbereich war dagegen örtlich begrenzt, und eine andere Aufgabe außer dem Kampf wurde ihm nicht überwiesen. Das Jagdflugzeug konnte deshalb als Einsitzer ausgebildet werden, brauchte nur mit wenigen Betriebsstoffen versehen zu sein und konnte auf die Mitnahme allen Geräts, mit Ausnahme der Waffen, verzichten. Es wurde deshalb das leichteste Flugzeug, das im Kriege zur Entwicklung gelangt ist. Insofern kann es als Vorläufer des Sportflugzeuges angesehen werden. Um aber seine überlegenen Flugeigenschaften zu erreichen, mußte es doch mit verhältnismäßig hoher Pferdekraft ausgerüstet werden. Charakteristisch für das Jagdflugzeug ist die sehr geringe Leistungsbelastung, die ihm die Möglichkeit gab, sich zum Akrobaten der Luft zu entwickeln. Bei den Jagdflugzeugen finden wir aber auch die ersten Versuche, die Leistungen auch auf anderen Wegen zu steigern. Es ist der Flugzeugtyp, bei dem am schärfsten das Streben nach Verminderung der Luftwiderstände hervortritt. Während wir bei allen anderen Flugzeuggattungen in Deutschland die Beibehaltung der Doppeldeckerform beobachten, wechselt die Zahl der Tragflächen bei Jagdflugzeugen häufig. Hier finden wir auch den von Professor Junkers stammenden Gedanken der verspannungslosen Flächen zunächst in der Praxis. Sowohl Junkers selbst bringt einen verspannungslosen Eindecker als Jagdflugzeug heraus und auch Fokker baute im Jahre 1917 einen verspannungslosen Dreidecker, der längere Zeit mit großem Erfolg an der Front geflogen wurde. Fokker wandte hier auch bereits die starken Flächenprofile nach dem System von Professor Junkers an. Später ging Fokker wieder zum Doppeldecker über, bei dem er zwar auf die Verspannung verzichtete, aber die Flächen doch abstützen mußte. Aus diesem Doppeldecker entwickelte sich zum Schluß, durch Fortlassung der unteren Fläche, ein Eindecker mit hochliegendem Tragdeck. Bei allen moderneren Jagdflugzeugen finden wir eine starke Einschränkung der Streben und Kabel. Während wir bei den Jagdflugzeugen verschiedener Konstruktion kaum wesentliche Gewichtsunterschiede wahrnehmen können, wird die Bedeutung der schäd-

lichen Widerstände weniger gleichmäßig berücksichtigt, und so finden wir noch bis zum Kriegsende Jagdflugzeuge mit Stielen und Verspannung. Die Leistung ist dann meistens durch einen entsprechend stärkeren Motor erreicht. Hinsichtlich ihrer Motoren weisen ebenfalls die Jagdflugzeuge eine größere Mannigfaltigkeit auf, als wir sie bei anderen Flugzeugarten finden. Wir finden hier Rotations- und Standmotoren und haben noch bei modernsten Flugzeugen einen ungewöhnlich hohen Unterschied in der Pferdestärke, die sich in Schwankungen von 100—200 P.S. bewegt. Führend für den Jagdflugzeugbau waren die Albatroswerke und Fokker. Letzterer gehört zu den wenigen deutschen Flugzeugbauern, deren Arbeitsgebiet während des Krieges ausschließlich auf Jagdflugzeuge beschränkte und hier allerdings hervorragende Erfolge erzielte. Wir dürfen hierin vielleicht einen Fingerzeig für die künftige Entwicklung erblicken, der dahin deutet, daß nicht nur eine Spezialisierung der Typen, sondern auch eine Spezialisierung der Firmen auf den Bau eines bestimmten Typs angebracht sein kann.



Abbildung 22. Jagdflugzeug Albatros D. XI. 1.

Das Jagdflugzeug von Professor Junkers, das weniger zur militärischen Bedeutung gelangt ist, bietet dafür im Hinblick auf die technische Weiterentwicklung viel Interessantes. Dieses Jagdflugzeug weist alle charakteristischen Merkmale des Junkerschen Konstruktionsprinzips auf, das erst in jüngster Zeit, in der Zeit des beginnenden Luftverkehrs, zur allgemeinen Anerkennung in allen flugtechnisch entwickelten Ländern gekommen ist. Wir finden hier schon die vollkommen freitragende Fläche, das starke Flächenprofil und die Metallkonstruktion. Die Bedeutung der Junkersschen Konstruktion ist vom militärischen Standpunkt aus ebenso hoch zu bewerten wie vom verkehrstechnischen und wirtschaftlichen Standpunkt. Wir werden später auf die Junkerssche Konstruktion noch zurückkommen. Hier wollen wir nur noch die Leistungen seines Jagdflugzeuges in Zahlen dem Leser vor Augen führen und zum Vergleich diejenigen eines anderen während des Jahres 1917 lange mit Erfolg geflogenen Jagdflugzeuges geben: Junkers' Flugzeug: P.S. 185, Vollgewicht: 834 kg, Geschwindigkeit: 220 km, Gipfelhöhe: 7600 m. Albatros D. III: P.S. 160, Vollgewicht: 886 kg, Geschwindigkeit: 160 km, Gipfelhöhe: 6500 m.

Neben der Fernaufklärung und der Luftjagd bedurfte die Truppenführung auch der Flugzeuge zur ständigen Nahaufklärung und zum Einschießen der Artillerie. An die Leistungen dieser sogenannten Arbeitsflugzeuge konnten etwas geringere Anforderungen gestellt werden. Man verwendete deshalb im allgemeinen für diesen Zweck etwas ältere, weniger moderne Typen. Allmählich wurde aber auch diesen Flugzeugen durch die Abwehrmaßnahmen des Gegners die Lösung ihrer Aufgaben so erschwert, daß man ihnen einen besonderen Schutz begeben mußte. Hierfür sind verschiedene Flugzeugarten, unter anderem auch Jagdflugzeuge verwendet worden. Später aber

führte diese Schutz Aufgabe zur Schaffung eines besonderen Typs, der gewissermaßen ein Mittelding zwischen Jagd- und Aufklärungsflugzeug darstellt. Einer der hervorragendsten Vertreter dieses Typs war von der Hannoverschen Waggonfabrik und den Halberstädter Flugzeugwerken herausgebracht. Dieser Typ war zweisitzig, zeichnete sich durch gute Wendigkeit aus und war auch leidlich schnell, blieb aber doch in seinen Leistungen erheblich hinter den Jagdflugzeugen zurück.

Mit der wachsenden Heftigkeit des Krieges verschwand immer mehr die scharfe Trennung zwischen Erd- und Luftkampf. Die feindlichen Erdtruppen sollten unmittelbar vom Flugzeug aus bekämpft werden. Eine Wirkung konnte da nur erzielt werden, wenn das Flugzeug sich auf wenige Meter der Truppe näherte, die ihrerseits bald lernte, sich mit Hilfe der Maschinengewehre der lästigen Angreifer zu erwehren. Neben der eigentlichen Kampfaufgabe hatten diese Flugzeuge noch den Zweck, die Verbindung zwischen Führung und vorderster Schützenlinie herzustellen, wenn die anderen Verbindungsmittel versagten. Selbst die Versorgung der Truppe mit Munition und Verpflegung wurde zeitweise durch Abwurf von diesen Flugzeugen aus versehen. Diese eigenartige, außerordentlich schwierige und opferreiche Tätigkeit der Luftwaffe wurde das Infanteriefliegen genannt. Man mußte hierzu zweisitzige Flugzeuge verwenden, weil es für den Führer nicht möglich war, neben der Steuerung des Flugzeuges die militärischen Aufgaben zu bewältigen. Man hatte zunächst schnelle und wendige Flugzeuge gewöhnlicher Bauart eingesetzt. Die eintretenden sehr hohen Verluste ließen aber eine Panzerung unumgänglich erscheinen. Mehrere Firmen brachten nun Flugzeuge heraus, bei denen die Betriebsstoffe, die Besatzung und teilweise auch der Motor gepanzert waren. Das abgebildete Junkersflugzeug, das auf Wunsch der Heeresverwaltung als Doppeldecker ausgebildet war, trägt einen 5 mm starken Chromnickelstahlpanzer, der Motor, Besatzung und Betriebsstoffe gegen M.-G.-Feuer wirksam schützt. Auch dieses Flugzeug hat, wie die Abbildung zeigt, von der Verstrebung dicht am Rumpf abgesehen, wieder freitragende, verspannungslose dicke Flächen und ist ebenfalls vollkommen aus Metall hergestellt. Trotz der Panzerung wiegt das Flugzeug vollbelastet nur 2076 kg, so daß die Leistungsbelastung



Abbildung 23. Junkers' Infanterie-Flugzeug, Chromnickelstahlpanzerung.

bei Verwendung des 220-P.S.-Benzmotors noch nicht ganz 10 kg pro P.S. erreicht. In der Flächenbelastung konnte bis auf 45 kg pro qm heraufgegangen werden, da Steigleistungen von diesem Flugzeug nicht gefordert wurden. Die Geschwindigkeit betrug 155 km, eine wesentliche Erhöhung derselben wäre mit Rücksicht auf den Verwendungszweck des Flugzeuges untunlich gewesen, da bei sehr geringen Höhen die Erdoberfläche so schnell am Auge des Beobachters vorbeizieht, daß derselbe nur mit Mühe Einzelheiten, die er beobachten soll, in sich aufnehmen kann.

Als Bombenflugzeuge wurden in den ersten beiden Kriegsjahren die tragfähigsten zweiseitigen Flugzeuge nebenbei verwendet. Die Menge der vom einzelnen Flugzeug getragenen Abwurfmunition war sehr gering. Sollte der Angriff eine nennenswerte Wirkung erzielen, so mußte man entweder eine sehr große Zahl von Flugzeugen und Personal einsetzen, oder es mußten besonders tragfähige Spezialflugzeuge für diesen Zweck gebaut werden. Da die Heeresleitung weiter entfernte Ziele angreifen wollte, war auch die Vergrößerung des Aktionsradius notwendig, wodurch eine weitere Erhöhung der mitzunehmenden Last eintrat. Die Bombenflugzeuge sind für uns von besonderem Interesse, da ihre Aufgabe sich von allen im Kriege gestellten Aufgaben am meisten denen des friedlichen Luftverkehrs nähert. Das Bombenflugzeug sollte eine möglichst große Nutzlast möglichst weit tragen und erfüllte diese Aufgabe am besten, wenn es sie mit verhältnismäßig geringem Betriebsstoffverbrauch durchführte. Je geringer der Betriebsstoffverbrauch pro kg/km, desto größer wurde die Bombenmenge, desto besser der Zweck des Flugzeuges erfüllt. Wir sehen also, daß das Bombenflugzeug auch in wirtschaftlicher Hinsicht sich dem Friedensflugzeug anpaßt.

Von einem einzelnen Versuch abgesehen, in dem man lediglich durch Vermehrung des Flächeninhalts die Tragfähigkeit erhöhen wollte, führte der Wunsch nach weitreichenden Lastträgern zum Bau der mehrmotorigen Flugzeuge. Am besten konnten diese Forderungen des Bombenflugzeuges erfüllt werden, wenn lediglich seine Verwendung bei Nacht in Aussicht genommen wurde. Bei der Verwendung am Tage mußten doch wieder höhere Flugleistungen auch auf anderem Gebiet verlangt werden, da mit feindlichen Angriffen gegen diese Flugzeuge zu rechnen war. Im letzten Kriegsjahre wurden auch tatsächlich die Bombenangriffe von deutscher Seite, mit Ausnahme von Sonderfällen, lediglich unter dem Schutze der Dunkelheit ausgeführt. Die Verwendung bei Nacht brachte naturgemäß den Wunsch der besonders erhöhten Betriebssicherheit mit sich, da die Durchführung einer Notlandung bei Nacht mehr Gefahrmomente in sich birgt als eine solche bei Tage. Mit der größeren Entfernung der Ziele unserer Bombenangriffe und vornehmlich mit der Wahl von jenseits des Kanals liegenden Zielen gewann die Betriebssicherheit weiter an Bedeutung für die Bombenflugzeuge. Wir sehen auch hier wieder eine Parallele zwischen Bombenflugzeug und Verkehrsflugzeug.

Der Einbau mehrerer Motoren in den als Großflugzeuge bezeichneten Bombenflugzeugen wurde zunächst dadurch veranlaßt, daß uns genügend starke Motoren nicht zur Verfügung standen. Man mußte also, wenn man eine nennenswerte Erhöhung der Pferdekkräfte erzielen wollte, sich zum Bau von mehrmotorigen Flugzeugen entschließen. Die Überlegung und die Erfahrung ergibt aber auch, daß die Unterteilung der Maschinenkraft große Vorteile bietet. Der Motor ist eben noch nicht absolut betriebssicher, und sein Mangel an Betriebssicherheit wächst erheblich mit zunehmender Dauer der Flüge. Selbst unsere Automotoren, die auf eine längere Entwicklung zurückblicken können, sind keineswegs frei von Pannen. Prozentual dürften die Defekte bei Flugmotoren wohl gewiß nicht häufiger auftreten als bei Automotoren, da letztere im allgemeinen eine weniger sorgfältige Pflege genießen und außerdem häufig auch sehr starken Erschütterungen auf schlechten Straßen ausgesetzt sind. Andererseits ist aber die Belastung des lange mit Vollgas laufenden Flugmotors eine wesentlich größere, und endlich kann der ganze Apparat der Betriebsstoffversorgung im Flugzeug nicht so stabil gehalten werden wie im Kraftwagen.

Das erste zweimotorige Flugzeug hat meines Wissens Rumpler gebaut. Die Motoren lagen in der Rumpfspitze in verschiedenen Ebenen hintereinander und trieben zwei



unmittelbar hintereinander auf der gleichen Welle sitzende Schrauben an, deren hintere vermöge einer Kettenübertragung untersezt war. Diese Konstruktion besitzt lediglich historisches Interesse für uns. Der Wirkungsgrad einer derartigen Anordnung ist natürlich ungünstig, und auf sie wurde deshalb beim Bau der Großflugzeuge nicht zurückgegriffen. Die Motoren wurden bei den Großflugzeugen rechts und links vom Rumpf zwischen die Flächen gesezt. Selbstverständlich war hiermit eine wesentliche Verstärkung der bis zu den Motoren gehenden Flächenteile notwendig. Der Bau ist dann so durchgeführt, daß das erste Flächenfeld auf beiden Seiten, in dem die Motoren eingebaut wurden, konstruktiv mit dem Rumpf verbunden wurde. Der abnehmbare Teil der Fläche begann also erst jenseits dieses ersten Feldes. Durch diese Motorenanordnung war die Möglichkeit gegeben, an Stelle der Zugschrauben Druckschrauben zu verwenden, denen im allgemeinen ein besserer Wirkungsgrad nachgesagt wird, der damit erklärt wird, daß die Luft hinter dem Propeller in ihrem Abfluß nicht durch das Tragwerk behindert wird. Der Nachteil der Druckschrauben besteht darin, daß sie durch herumfliegende Steine, Erdklumpen usw. beim Laufen auf dem Stand und beim Start eher Beschädigungen ausgesetzt sind. Dieser Nachteil wurde dadurch beseitigt, daß die Druckschrauben an ihren Flügelenden mit einem Messingblechschuß versehen wurden. Grundsätzlich unterscheidet sich die Konstruktion des Großflugzeuges nicht von der anderer Flugzeuge. Durch die neuartige Motor- und Propelleranordnung war jedoch eine stärkere Wirkung des Seitensteuers erforderlich. Bei Ausfall eines Motors wirkte der Druck bzw. Zug der einen seitlich sitzenden noch arbeitenden Schraube derart, daß das Flugzeug sich in Kurven um die Seite des ausgefallenen Motors bewegen wollte. Durch eine entsprechende Erhöhung der Steuerwirkung gelang es jedoch bald, die Großflugzeuge auch nach Ausfall eines Motors im Geradeausflug zu erhalten. Eine längere Fortsetzung des Fluges ist jedoch in diesem Fall im allgemeinen nicht möglich. Trotzdem wächst die Betriebssicherheit durch den zweiten Motor insofern, als die Gleitfähigkeit des Flugzeuges bei noch einem laufenden Motor wesentlich vergrößert wird. Im Kriege bedeutete dies unter Berücksichtigung der verhältnismäßig kurzen Dauer der meisten Flüge bereits einen erheblichen Gewinn. Die Hauptsache für das Kriegsflugzeug war schließlich bei einsetzendem Motordefekt die Erreichung der eigenen Linien.

Die Leistungen der Großflugzeuge haben am besten befriedigt, wenn sie als Nachtflugzeuge gebaut und verwendet wurden. Der mögliche Verzicht auf Steigfähigkeit und Geschwindigkeit gestattete dann die Ausnutzung der einmal gegebenen Leistungsfähigkeit zur Erhöhung der Tragfähigkeit. Man konnte den Flächeninhalt vermehren und erzielte hiermit gleichzeitig den Vorteil einer weiteren Vermehrung der Gleitfähigkeit bzw. wurde sogar in die Möglichkeit versetzt, den Flug mit einem Motor allein nach Entlastung des Flugzeuges fortzusetzen. Im Kriege war die Entlastung durch schnellen Abwurf der Bombenlast über feindlichem Gebiet verhältnismäßig leicht durchführbar. Das erstrebte Ziel, die Herabsetzung der Flächenbelastung, war damit schnell erreicht. Hier liegen die Verhältnisse für das Verkehrsflugzeug erheblich ungünstiger, das nur selten in der Lage sein wird, sich bei eintretendem Maschinendefekt seiner Fracht zu entledigen. Hier bleibt nur ein Mittel, nämlich der Abwurf der infolge des Maschinendefekts und unter Berücksichtigung der Lage des nächsten Flughafens überflüssig gewordenen Betriebsstoffmenge. Zu diesem Zweck müssen die Betriebsstoffbehälter mit einer Vorrichtung versehen sein, die leicht und schnell ihre Entleerung gestattet, ohne daß dadurch ein Benzingasgemisch im Flugzeug entsteht. Diese Vorrichtung sollte im Interesse der Betriebssicherheit allgemein gefordert werden,

damit vor einer schwierigen Landung, die die Möglichkeit eines Bruches nicht ausschließt, das Flugzeug von seinen feuergefährlichen Betriebsstoffen befreit werden kann.

Das Streben, die Bombenangriffe weiter hinein in das feindliche Land zu tragen und auch jenseits des Kanals liegende Ziele anzugreifen, führte zur Forderung der Erhöhung

der Betriebssicherheit und des Aktionsradius. Es entstand hier ein gewisser Konkurrenzkampf zwischen Flugzeug und Luftschiff. Letzteres war, vom militärischen Standpunkt aus gesehen, vornehmlich durch seinen größeren Aktionsradius für die Lösung gewisser Aufgaben noch dem Flugzeug überlegen. Die außerordentliche Empfindlichkeit der Luftschiffe gegen feindliche Einwirkungen ließ jedoch ihren Ersatz durch Flugzeuge dringend erscheinen. Das Luftschiff mit seinem riesenhaften gasgefüllten Ballonkörper, seiner verhältnismäßig geringen Geschwindigkeit und dem sehr starken Mangel an Wendigkeit bot dem feindlichen Flieger ein sehr verlockendes Ziel, das er mit einem einzigen wohlgezielten Schuß vernichten konnte. Diese Umstände führten zur Entwicklung der Riesenflug-



Abbildung 24.

Rumpler-Großflugzeug, 2 260 P.S. Mercedes.

zeuge. Diese Umstände führten zur Entwicklung der Riesenflug-



Abbildung 25.

Friedrichshafener Großflugzeug 2 260 Mercedes.

zeuge. Es ist hier zur Klärung notwendig, sich das Verhältnis von Nutzlast und Flugdauer klarzumachen. Ein Großflugzeug, das eine Gesamtnutzlast von 1500 kg tragen kann, wird folgende Belastungstabelle ergeben:

Besatzung . . . . .	255 kg	gleichbleibende Last . . . . .	505 kg
Ausrüstung . . . . .	150 kg	Betriebsstoffe für eine Stunde	120 kg
Bewaffnung . . . . .	100 kg		625 kg

In diesem Fall bleibt also für die reine Nutzlast, hier Bomben, noch eine Tragfähigkeit von 875 kg übrig. Wird die Flugdauer auf sieben Stunden verlängert, so

tritt eine Mehrbelastung an Betriebsstoffen um 720 kg hinzu, und die reine Nutzlast sinkt auf 150 kg herab. Es sei hier bemerkt, daß die Verhältnisse in der Praxis sich noch etwas ungünstiger gestalten, da man stets mit einer Betriebsstoffreserve versehen sein muß und bei der Berechnung der Flugdauer auch die Windströmungen in Anrechnung zu bringen hat. Winde wirken stets verlängernd auf jeden Flug ein, bei dem dieselbe Strecke hin und zurückgelegt werden muß.

Der Riesenflugzeugbau entwickelte sich auf verschiedenen Wegen. Diese Verschiedenheiten wurden durch die Frage herbeigeführt, auf welche Weise mehr als zwei Motoren am besten in einem Flugzeug untergebracht werden können. Die Konstrukteure, die sich an das Großflugzeug anlehnten und die Motoren rechts und links zwischen den Flächen einbauten, mußten sich zunächst darüber entscheiden, ob sie die Motoren neben- oder hintereinander setzen wollten. Den ersten Weg hat unseres Wissens zunächst der Russe Sikorski eingeschlagen. Bei deutschen Konstruktionen nahm man hiervon Abstand, weil man das große Drehmoment fürchtete, das bei vollkommen einseitigem Maschinendefekt infolge der weiten Auslagerung der Motoren entstehen mußte. In jüngster Zeit sind auch bei uns die Bedenken gefallen, und man dürfte daher diese Motorenanordnung auch in Zukunft bei deutschen Flugzeugen finden. Bei den ersten Riesenflugzeugen konnte man sich jedoch zu dieser Konstruktion nicht entschließen, und es blieb daher nur der Weg übrig, die Motoren hintereinanderzusetzen. Hiermit aber tauchte eine neue Schwierigkeit auf, die Frage der Anordnung der Schrauben. Die einfachste Lösung war die, die Schrauben entsprechend der Motorenanordnung hintereinanderzusetzen und auf Druck und Zug arbeiten zu lassen. Der Nachteil, der dadurch entstand, daß diese Schrauben sich gegenseitig in ihrem Wirkungsbereich störten, wurde möglichst durch verschiedene Steigung und Drehrichtung der Schrauben ausgeglichen. Immerhin blieb ein Leistungsverlust bestehen. Wenn wir diese Konstruktion trotzdem in überwiegendem Maße sowohl bei deutschen wie bei fremden Riesenflugzeugen angewendet sehen, so ist das darauf zurückzuführen, daß sie technisch am einfachsten keine der sonst unvermeidlichen Komplikationen brachte. Man opferte hier also in gewisser Hinsicht einen Teil der Leistungsfähigkeit zugunsten der Betriebssicherheit. Eine geringe Abweichung hiervon finden wir bei den Flugzeugen, die außerdem noch einen Motor in der Rumpfspitze haben. Bei einer der ersten Konstruktionen verwendete man einschließlich dieses Rumpfmotors insgesamt nur drei Motoren und konnte infolgedessen die Motorenanordnung rechts und links zwischen den Tragflächen in derselben Weise wie bei Großflugzeugen durchführen, mit dem einzigen Unterschied, daß die Wirkung der mittelsten Schraube in der Entfernung der Seitenmotoren vom Rumpf berücksichtigt werden mußte. Bei anderen Konstruktionen zog man es vor, die Anordnung der hintereinandersitzenden Schrauben zu vermeiden und statt dessen die beiden Motoren einer Seitenkabine zu gemeinsamer Arbeit auf eine Zug- oder Druckschraube zu vereinigen. Hierzu war naturgemäß der Einbau von Kuppelungen, Übertragungswellen und dem Getriebe notwendig. Diese Konstruktionen sind für die kommende Entwicklung des Flugwesens insofern von hoher Bedeutung, als sie uns die Möglichkeit gaben, ohne Vermehrung der Schraubenzahl die Anzahl der Motoren zu vermehren. Wenn man auch vorübergehend von der Möglichkeit der Kuppelung mehrerer Motoren keinen Gebrauch macht, so wird man doch zweifellos bei weiterer Entwicklung unserer Verkehrsflugzeuge wieder zu diesem Konstruktionsmittel greifen müssen. Es ist deshalb von Bedeutung, sich über die bisherige Entwicklung dieser komplizierten Maschinenanlagen in Flugzeugen einen Überblick zu verschaffen.

Es entstehen jetzt verschiedene Typen von Riesenflugzeugen, die sich in folgender Art unterscheiden lassen:

Zwei Motoren im Rumpf, je zwei Motoren in den Seitenkabinen, insgesamt drei Schrauben; es sind also je zwei Motoren gekuppelt.

Ein Motor im Rumpf, je zwei Motoren in den Seitenkabinen, insgesamt drei Schrauben. Die Seitenmotoren sind gekuppelt, der Rumpfmotor arbeitet allein.

Je zwei Motoren in den Seitenkabinen, insgesamt vier Schrauben; jeder Motor arbeitet also allein, der Rumpf ist frei von Motoren.

Ein Motor im Rumpf, je zwei Motoren in den Seitenkabinen, insgesamt fünf Schrauben; jeder Motor arbeitet also allein.

Diese bisher erwähnten Typen sind in größerer Menge tatsächlich gebaut (Zeppelinwerft Staaken) und vielfach an der Front verwendet worden. In den Seitenkabinen wurden grundsätzlich Motoren gleicher Art und gleicher Stärke verwendet, während Art und Stärke der Rumpfmotoren sich in mehreren Fällen von denen der Seitenmotoren unterschied. Wenn auch die Kuppelung mehrerer Motoren hier zeitweilig fallen gelassen wurde, so blieb man doch mit einer kurzen Ausnahme bei der ständigen Verwendung fester Kuppelungen und einfacher Unterseßungsgetriebe. Es hatte sich ergeben, daß bei Verwendung von Schrauben, die ebenso wie der Motor mit 1400 Umdrehungen liefen, die Wirkung dieser Schrauben infolge ihres geringen Durchmessers und der Größe des Flugzeuges ungünstig war. Der Wirkungsbereich dieser Schrauben war in weit höherem Maße als bei kleineren Flugzeugen durch Flächen, Streben, Kabel und endlich durch die Motorengondel selbst beeinträchtigt. Außerdem ist erfahrungsgemäß bei langsamen Flugzeugen die Wirkung schnelllaufender Schrauben ungünstiger als die Wirkung langsamlaufender Schrauben mit größerem Durchmesser. Man unterseßte also die Schrauben derart, daß sie mit 900 Umdrehungen liefen, und erzielte hiermit einen erheblich besseren Wirkungsgrad. Die Kuppelungen und Getriebe verursachten im ersten Jahre recht bedeutende Schwierigkeiten und führten zu zahlreichen Defekten. Später ist es jedoch gelungen, diese Schwierigkeiten im wesentlichen zu überwinden und ein einwandfreies Arbeiten zu erzielen. Im Unterschied zu den vorgenannten Typen baute die Firma Aviatik ein viermotoriges Riesenflugzeug, bei dem in den Seitenkabinen Motoren verschiedener Stärke (200 und 500 P.S. Benz) verwendet wurden. Dieser Typ ist erst gegen Kriegsende fertiggestellt und konnte infolgedessen nicht mehr genügend erprobt werden. Die Ergebnisse scheinen jedoch befriedigt zu haben. Alle bisher erwähnten Riesenflugzeugtypen können wir zusammenfassen in die Gruppe der Riesenflugzeuge mit dezentraler Maschinenanlage. Diese Gruppe zeichnet sich vornehmlich durch ihre konstruktive Einfachheit und durch die Möglichkeit aus, Motoren, Besatzung und Betriebsstoff zu trennen. Als Kriegsflugzeug hatte sie außerdem den Vorteil, daß sich die Bewaffnung zweckmäßiger bei ihr durchführen ließ. Diesem Vorteil steht der Nachteil gegenüber, daß durch die Dezentralisation der Maschinenanlage größere Widerstände geschaffen werden, daß die Gewichtsverteilung eine ungünstigere wird, und daß endlich zur Bedienung der Maschine mehr Personal erforderlich ist. Es muß hier hervorgehoben werden, daß das Charakteristikum der Riesenflugzeuge nicht nur in der Zahl der Motoren, sondern in der Möglichkeit der Wartung der Motoren während des Fluges besteht. Die Motoren mußten also so eingebaut werden, daß sie auch während des Fluges möglichst von allen Seiten zugänglich waren und daß ein Monteur tatsächlich an ihnen arbeiten konnte. Wer sich die Mühe macht, die Ursachen zu studieren, die in der Praxis zu Notlandungen geführt haben, wird die Feststellung machen, daß die überwiegende Zahl

derselben auf geringfügige Defekte an der Maschine oder an den Betriebsstoffzuleitungen zurückzuführen ist, die ohne weiteres während des Fluges hätten behoben werden können, wenn diese Teile zugänglich und ein geschulter Monteur an Bord gewesen wäre.

Der Gruppe der Riesenflugzeuge mit dezentraler Maschinenanlage steht diejenige der Riesenflugzeuge mit zentraler Anlage gegenüber. Diese zweite Gruppe ist während



Abbildung 26.

Staaken-R.-Flugzeug, 5245 P. S. Maybach, 3 Schrauben.

des Krieges tatsächlich nicht zu derselben praktischen Bedeutung gekommen wie die erste Gruppe. Für die technische Entwicklung aber ist sie deshalb von nicht geringerem Interesse. Diese Konstruktionen lehnen sich äußerlich an das einmotorige Flugzeug insofern an, als sie die gesamte Maschinenanlage im Haupttrumpf unterbringen. Diese Aufgabe war nur zu lösen durch die Kuppelung mehrerer Motoren. Wir finden zunächst ein dreimotoriges Siemensflugzeug, dessen Motoren auf ein Zentralgetriebe arbeiten. Von diesem Zentralgetriebe gingen zwei Wellen zu den rechts und links seitlich zwischen den Flächen sitzenden Schrauben. Diese Maschinenanlage bestand also aus den auslösbaren Kuppelungen zwischen Motor und Zentralgetriebe, aus dem Zentralgetriebe selbst, aus den Übertragungswellen vom Zentralgetriebe zum Propellergetriebe, aus den Propellergetrieben und den Propellern. Ein Vergleich mit dem Triebwerk des normalen einmotorigen Flugzeuges, bei dem der Motor direkt auf die auf seiner Welle sitzenden Schraube arbeitet, zeigt den Umfang der in diesem Riesenflugzeug geschaffenen Komplikationen und gibt am besten einen Anhalt dafür, mit welcher Unmenge von Defekten während der ersten Zeit hier zu rechnen war. Wenn der Motor nicht versagte, trat ein Kuppelungsdefekt ein, oder das Getriebe lief sich heiß, oder es versagte die Übertragung vom Getriebe zur Schraube. Diese Konstruktion stellte



Abbildung 27. Siemens-R.-Flugzeug mit geteiltem Rumpf im Fluge. Zentrale Anlage, 2260 Mercedes, 2 Schrauben.

an den Techniker ganz erhebliche Anforderungen, die nur mit Hilfe langer Versuche und großer Erfahrungen zu lösen waren. Das Bedenkliche bei dieser Maschinenanlage war der Umstand, daß ein Defekt im Zentralgetriebe die gleiche Wirkung hatte wie ein Motordefekt in einmotorigen Flugzeugen. Es ist deshalb kein Wunder, daß man sich im Kriege immer mehr von dieser Konstruktion abwandte und zu der einfacheren de-

zentralen Maschinenanlage übergang. Trotzdem ist dank der Einsicht der Leitung der Fliegertruppen und dank dem Eifer der Flugzeugindustrie an diesem Maschinentyp dauernd weitergearbeitet worden. So ist es gelungen, eine wesentliche Verbesserung und Erhöhung der Betriebssicherheit zu erzielen, obwohl diese Arbeit noch nicht als abgeschlossen angesehen werden kann. Der dreimotorigen Maschinenanlage von Siemens folgte eine viermotorige von Linke-Hoffmann und A. E. G. Bei letzterer wurde das Zentralgetriebe in zwei Getriebe unterteilt, die durch eine Losreißkuppelung verbunden waren. Man wollte hierdurch erreichen, bei Defekt eines Getriebes eine Schraube in vollem Gang erhalten zu können. Die Anordnung der Schrauben blieb die gleiche. Später baute Siemens ein sechsmotoriges Flugzeug mit vier Schrauben derart, daß vier Motoren auf zwei Schrauben und der Rest der Motoren ebenfalls auf zwei Schrauben arbeitete. Auch hier war eine Unterteilung des Getriebes wie beim A. E. G.-Flugzeug angewandt. Um die Nachteile des Zentralgetriebes zu vermeiden, bauten die Deutschen Flugzeugwerke Leipzig ein Flugzeug, bei dem die vier

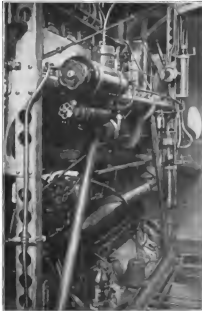


Abbildung 25. Maschinenraum im D. F. W. R.-Flugzeug. 2 Motore übereinander angeordnet.

dürfte dieser Typ eher die Nachteile als die Vorteile des dezentralen und zentralen Systems in sich vereinigen. Die bisher erwähnten Riesenflugzeuge mit zentraler Maschinenanlage hatten durchweg ihre Schrauben zwischen den Tragflächen rechts und links angeordnet. Diese Anordnung führte zu einer Verbindung von Triebwerk und Tragwerk, die recht erhebliche Nachteile hat, da jeder Motor- und Schraubendefekt außerordentliche Beanspruchungen des Tragwerks hervorruft. Tatsächlich hat auch dieser Umstand zu katastrophalen Unfällen geführt. Dieser Nachteil läßt sich bei gleicher Schraubenanordnung dadurch vermeiden, daß trotz ihrer seitlich herausgerückten Lage die Schraube lediglich mit dem Rumpf verbunden wird.

Das Verdienst, das Riesenflugzeug mit zentraler Maschinenanlage in seiner Entwicklung wesentlich gefördert zu haben, gebührt den Linke-Hoffmann-Werken, Breslau. Diese bauten ein viermotoriges Flugzeug, in welchem die vier Motoren im Rumpf vereinigt auf ein gut durchgebildetes Zentralgetriebe arbeiteten. Von diesem Zentralgetriebe stellt eine großdimensionierte, dünnwandige Welle die Verbindung mit dem

Motoren im Rumpf untergebracht waren. Jeder dieser Motoren trieb aber allein eine Schraube an. Die Schrauben saßen rechts und links zwischen den Flächen als Zug- und Druckschrauben und waren, um eine gegenseitige Störung zu vermeiden, in verschiedenen Ebenen angebracht. Es ist selbstverständlich, daß die Komplikationen der Übertragung der Motorkraft auf die Schraube in diesem Fall gewiß nicht geringer sind als bei Verwendung von Zentralgetrieben. Abgesehen von der günstigeren Gewichtsverteilung, die dem Flugzeug recht gute flugtechnische Eigenschaften gaben,

einen an der Rumpfspitze angebrachten 1000pferdigen Propeller her. Bei diesem Flugzeug treten die Vorteile der zentralen Maschinenanlage erst voll in die Erscheinung. Äußerlich unterscheidet sich dies Flugzeug, abgesehen von den Größenverhältnissen,



Abbildung 29.

D.F.W.R.-Flugzeug, 4260 Mercedes.  
Zentrale Anlage, 4 Schrauben.

keineswegs von einem kleinen einmotorigen Flugzeug. Durch die Maschinenanlage werden also keinerlei Widerstände erzeugt. Die Gewichtsverteilung ist ebenfalls gleich günstig wie im kleinen Flugzeug. Die Maschinenanlage, die übersichtlich in einem Raum zusammengefaßt ist, ist leicht von einem Mann zu bedienen. Alle Zuführungsleitungen sind wesentlich verkürzt. Die An-

wendung einer Schraube im Verein mit den vorgenannten Eigenschaften sichert dem Flugzeug gute flugtechnische Leistungen.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß unter Berücksichtigung unseres heutigen Entwicklungsstandes die dezentrale Anlage mit direktem Schraubenantrieb oder unter Anwendung eines einfachen Untersetzungsgetriebes ihrer größeren Einfachheit und damit ihrer höheren Betriebssicherheit wegen für Flugzeuge, die dem öffentlichen Verkehr übergeben werden sollen, den Vorzug verdienen. Eine höhere Leistungsfähigkeit dagegen dürfte mit der zentralen Anlage, wie sie der Linke-Hoffmann-Typ aufweist, zu erreichen sein. Es ist auch anzunehmen, daß es gelingen wird, diesem

Typeingliche, vielleicht sogar noch höhere Betriebssicherheit im Laufe der weiteren Entwicklung zu geben. Die Forschungsergebnisse von Professor Junkers werden auch für den Bau von



Abbildung 30. Linke-Hoffmann-R.-Flugzeug, zentrale Anlage, 1000 P.S., 1 Schraube.

Riesenflugzeugen nutzbar gemacht werden. Damit wird die Frage der zentralen oder dezentralen Maschinenanlage einer wesentlichen Änderung unterworfen. Bei Anwendung des freitragenden, verspannungslosen Systems mit starken Flächenprofilen dürfte es gelingen, die Motoren in den Flächen selbst so einzubauen, daß sie nicht

oder nur unwesentlich aus diesen herausstehen. Damit fällt einer der Hauptnachteile der dezentralen Anlage, der erhöhte Luftwiderstand, fort. Es bleibt aber der Vorteil des motorfreien Rumpfes bestehen, der im Hinblick auf die Verwendung als Passagierflugzeug erheblich ins Gewicht fallen wird.

Bei der Bewertung der Leistungen unserer Riesenflugzeuge ist in Betracht zu ziehen, daß dieselben wesentlich später geboren sind als die kleinen Typen. Sie befinden sich also noch weit mehr als diese im Anfangsstadium der Entwicklung, und es können dementsprechend auch noch größere Erwartungen an die zukünftige Entwicklung gestellt werden. Das Großflugzeug entspricht nicht den Forderungen, die

an ein mehrmotoriges Flugzeug gestellt werden müssen. Hier dürfte die künftige Entwicklung dahin führen, daß das Großflugzeug einerseits von dem einmotorigen Flugzeug mit stärkerem Motor (siehe Italien), anderseits von dem Riesenflugzeug abgelöst wird. Von seiner hohen Bedeutung während



Abbildung 31. Junkers-Flugzeug, Marine C.I, 185 P. S. mit Duraluminium-Schwimmern.

des Krieges abgesehen, scheint uns der Hauptwert des Großflugzeuges darin zu bestehen, daß es den notwendigen Übergang, die Entwicklungsstufe zum Riesenflugzeug darstellt.

Aus der Entwicklung des Flugwesens während des Krieges ergibt sich vor allem die Notwendigkeit der Spezialisierung der Flugzeuge nach den ihnen zugeteilten Aufgaben. Höchstleistungen sind nur dort erzielt worden, wo dieser Grundsatz zur Anwendung gelangt ist. In jenen Fällen, wo man versuchte, die von verschiedenen Aufgaben gestellten Forderungen zu verquicken, führte dies im allgemeinen zu dem Ergebnis, daß man einen Typ erhielt, der keiner Forderung voll gerecht wurde. Dieselbe Entwicklung können wir auch auf allen anderen Gebieten des Verkehrswesens beobachten. Andererseits gibt es selbstverständlich eine Reihe von gemeinsamen Punkten, die alle Flugzeuge unabhängig von ihrem Verwendungszweck verbinden. So bleibt für die Leistungsfähigkeit, gleichgültig nach welcher Richtung hin diese besonders entwickelt werden soll, das Verhältnis vom Auftrieb zum Widerstand maßgebend. Technische Errungenschaften eines Flugzeugtyps sind deshalb möglichst bald von den anderen Typen zu übernehmen. So sehen wir, wie im Kriege der Höhenmotor keineswegs auf das Jagdflugzeug beschränkt bleibt, sondern, soweit dies praktisch möglich war, von allen anderen Flugzeugarten übernommen wurde und hier, wenn nicht zur Erhöhung der Steigfähigkeit, zur Steigerung von Geschwindigkeit und Tragfähigkeit benutzt wurde.

Im Seeflugzeugwesen geht die Entwicklung, in großen Zügen betrachtet, den gleichen Gang wie auf dem Lande. Als besondere militärische Erscheinung tritt hier das Torpedoflugzeug hinzu. Der Wunsch, Flugzeuge in Mutterschiffen, selbst in U-Booten mitzunehmen, führt zu Spezialkonstruktionen. Die Grundlagen der Ent-



wicklung sind aber hier wie dort dieselben. — Ähnlich liegen die Verhältnisse im feindlichen Auslande. Abgesehen von der zahlreicheren Verwendung von Rotations-

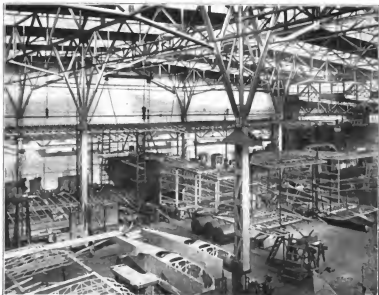


Abbildung 32. Ein Blick in eine Flugzeugwerft. Linke-Hoffmann-Werke, Breslau.

motoren und derochweitergehenden Steigerung der Pferdestärken der einzelnen Motoren, vollzieht sich auch hier die Entwicklung in ähnlichen Bahnen. Es ist im allgemeinen der Weg vom Universal- zum Spezialflugzeug, vom schwächeren zum stärkeren Motor, schließlich zum Höhenmotor. Es ist das Streben nach Gewichts- und Widerstandsverminderung; letzteres führt allerdings nicht wie bei uns zur freitragenden Fläche. Hier kann Deutschland das Prioritätsrecht in Anspruch nehmen. Jedenfalls hat die deutsche Flugzeugtechnik allein den Kampf erfolgreich aufgenommen gegen die gesamte Flugzeugindustrie der zivilisierten Welt.

## 6. DAS ERGEBNIS DES KRIEGES FÜR DAS FLUGWESEN

Das traurige Bild, das sich uns bietet, wenn wir die Bilanz des Krieges ziehen, trifft für das Flugwesen nur insoweit zu, als es sich um den Einfluß des Friedensvertrages auf unser Flugwesen handelt. Die Erkenntnis unserer technischen Überlegenheit und die richtige Wertung der Bedeutung der Luftfahrt in kommenden Zeiten sind die Veranlassung zum Diktat jener harten Paragraphen geworden, die unsere Luftflotte zerschlagen und unsere Entwicklung auf dem Gebiet der Luftfahrt knebelt. Es ist hier nicht der Ort, auf eine kritische Würdigung des Friedensvertrages und seiner Wirkungen einzugehen. Uns interessiert vornehmlich das, was uns auch die Entente nicht rauben kann: der Schatz an Wissen und Können, den uns die Kriegsjahre gegeben haben und den wir für friedliche Zwecke nutzen wollen.

Auf dem Gebiet der Kraftanlagen im Flugzeug ist die Entwicklung vom 100pferdigen bis zum 600pferdigen Motor gegangen. Italien hat uns hier mit seinen 700pferdigen Motoren überflügelt. Selbst im Bau von Rotationsmotoren, den wir infolge der Materialbeschränkung zurückstellen mußten, hat uns doch die Entwicklung zum kon-

struktiv hervorragend durchgebildeten 200pferdigen Motor gebracht. Es ist gelungen, die Gewichte auf unter 1 Kilo pro P.S. herabzusetzen. Die Betriebssicherheit ist wesentlich gesteigert. Durch Überverdichtung ist die sonst mit zunehmender Höhe stark abnehmende Leistung bis etwa 4000 m konstant erhalten. Für die wirtschaftliche Ausnutzung des Flugzeuges bedeutet diese Errungenschaft einen wesentlichen Fortschritt, der uns gestattet, ohne Mitnahme unnötigen Maschinengewichts größere Höhen zur Vermehrung der Eigengeschwindigkeit und damit der größeren Wirtschaftlichkeit der Flugzeuge aufzusuchen. Im Bau besonderer Kompressoranlagen zu dem gleichen Zweck sind wir zwar im Versuchsstadium stehengeblieben. Immerhin ist es uns gelungen, ein mit einer Kompressoranlage ausgerüstetes Flugzeug, das ohne diese mehr als 60 Minuten brauchte, um auf 3000 m Höhe zu kommen, mit Hilfe des Kompressors trotz des vermehrten Gewichts in etwa 60 Minuten auf annähernd 6000 m zu bringen. Wir sehen Konstruktionsverbesserungen unserer Motoren, die eine Herabsetzung des Betriebsstoffverbrauchs bewirken. Der Schnellläufer-Motor ist ebenfalls im Kriege geschaffen. Er wurde an der Front kaum verwendet, weil er vom Höhenmotor vor seiner Vollendung überholt wurde. Die Zusammenfassung mehrerer Motoren zu einem Aggregat ist in verschiedener Art erfolgreich ausgeführt und hat uns wertvolle Erfahrungen für den Bau von Kupplungen, Getrieben und Übertragungswellen geliefert. Unsere Konstruktionsmöglichkeiten im Flugzeugbau haben hierdurch eine erhebliche Erweiterung erfahren.

Die Entwicklung der Luftschrauben von der 100pferdigen bis zur 1000pferdigen hat Schritt mit der Entwicklung der Maschine gehalten. Versuche mit Schrauben mit verstellbarer Steigung sind durch die Einführung der Höhenmotoren und durch die Kompressorversuche veranlaßt worden. Leider haben sie noch nicht zu einem befriedigenden Ergebnis geführt, das möglichst bald erzielt werden muß, um den Wert der Höhenmotoren vollständig ausnutzen zu können.

Im Bau der Flugzeugzelle selbst haben wir die Entwicklung von der Taube mit ihrem Wirrsal von Spannkabeln und Drähten, ihren Tragbrücken, den verbogenen Flächen mit elastischen Enden bis zum spannungslosen, freitragenden Metall-eindecker durchlaufen. In der Vermeidung schädlicher Luftwiderstände, in der Ausbildung zweckmäßiger Formen, die dem Luftströmungsverlauf entsprechen, haben wir einen ansehnlichen Schritt vorwärts getan. In der Kleinarbeit, in der Werkstättenarbeit sind wir zu einer erheblichen Vervollkommnung gelangt.

Der Übergang vom stabilen zum labilen Flugzeug hat uns von den Launen des Wetters nahezu völlig unabhängig zu Herren der Luft gemacht. Die Industrie hat nicht nur gelernt, durch stetig wachsende Sorgfalt und Erfahrung in der Materialbearbeitung der Erfüllung der Forderung höchster Festigkeit bei geringstem Gewicht immer näher zu kommen, sondern sie hat es auch verstanden, den eintretenden Mangel an einzelnen Stoffen durch Verwendung von Ersatzstoffen auszugleichen.

Die Instrumente wurden vervollkommen und trugen wesentlich dazu bei, die Gebrauchsfähigkeit der Flugzeuge zu steigern. Zum alten Höhenmesser, Tourenzähler und Kompaß trat der Geschwindigkeitsmesser, das elektrische Fernthermometer, der Maschinentelegraph, der Kreiselneigungsmesser, ein die Steiggeschwindigkeit anzeigendes Variometer und endlich der den magnetischen Einflüssen im Flugzeug entzogene Selenkompaß. Nachtflugzeuge wurden mit einer sorgfältigen sicheren Beleuchtungsanlage versehen, funktentelegraphische Einrichtungen ermöglichten den Wechselverkehr mit der Erde und anderen Flugzeugen. Photographische Apparate, auch als Reihenbildner ausgeführt, gaben noch aus Höhen von 7000 m vollendet scharfe Bilder. Die

Sauerstoffversorgung ermöglicht dem Menschen den längeren Flug in Höhen, die wir ohne dieses Hilfsmittel nicht ertragen können. Die Bewaffnung geht ihren Weg von der Pistole bis zum motorgesteuerten, durch den Propellerkreis schießenden Maschinen-gewehr. Die Gewichte der Bomben wachsen bis auf das 220fache, das Torpedo und die Mine wird vom Flugzeug übernommen. Das Flugzeug wird durch Panzerplatten geschützt. Der Fallschirm, früher nur im Ballon verwendet, wird nun zum üblichen Ausrüstungsstück im Flugzeug.

Das Ergebnis dieser technischen Fortschritte ist ein entsprechendes Anwachsen der praktischen Leistungen. Die Geschwindigkeiten verdoppeln sich, die Flughöhen vervierfachen sich, die Tragfähigkeit steigt bis zum Neunfachen. Die Betriebssicherheit wächst in einem Maße, daß man unbedenklich im ganzen Geschwader in dunkler Nacht über das Meer fliegen konnte. Die Beweglichkeit wurde nahezu unbegrenzt und läßt das Looping und seitliche Überschlagen zu einer selbstverständlichen Übung der Jagdflieger werden. In nachstehender Tabelle sollen die Leistungen von 1914 und 1918 den Lesern gegenübergestellt werden. Die Tabelle gibt nicht Rekordzahlen, sondern die Durchschnittsleistungen an, wie sie allgemein erreicht wurden.

	1914	1918
Geschwindigkeit . . . . .	100 km	180 km
Steigfähigkeit . . . . .	55 Min. 1500 m	23 Min. 6000 m
Nußlast . . . . .	450 kg	4700 kg
Pferdestärke der Motoren . . . . .	100	500
Anzahl der Motoren in einem Flugzeug . . . . .	1	6
Anzahl der Schrauben an einem Flugzeug . . . . .	1	5
Leistung der Schrauben . . . . .	100 P.S.	1000 P.S.
Flugdauer . . . . .	2 Std.	9 Std.
Photographisches Gerät . . . . .	25 cm Brennw.	Reihenbildner, 120cm Brennw.
Flughöhe . . . . .	1000 m	6000 m
Funkentelegraphie . . . . .	Versuchsstadium	Wechselverkehr, Peilung
Bombengewicht . . . . .	4,5 kg	1100 kg
Frontfliegerverbände . . . . .	41	309
Frontflugzeuge . . . . .	218	5000
Zahl der hergestellten Flugzeuge . . . . .	bis Aug. 1914: 598	bis 1. Jan. 1919: 47637
Flugzeugfabriken . . . . .	8	53
Monatliche Produktion an Flugzeugen . . . . .	Aug. 1914: 109	Okt.: 2195
Monatliche Produktion an Motoren . . . . .	78	1878
Betriebsstoffverbrauch monatlich . . . . .	600 t	7000 t
Zahl der täglichen Photoaufnahmen . . . . .	Mai 1915: 400	4000

Die gewaltige Kraftanstrengung des Krieges und die rücksichtslose Ausnutzung aller verfügbaren Mittel haben mehr oder weniger in allen am Kriege beteiligten Ländern das Flugwesen eine im Verhältnis zur Kürze der Zeit außerordentliche Entwicklung nehmen lassen. Durch den Krieg ist das Flugzeug vom Versuchsobjekt zum praktisch völlig brauchbaren Luftfahrzeug geworden. Der Einfluß des Weltkrieges wird deshalb in der Geschichte des Weltkrieges nie unerwähnt bleiben dürfen. Durch ihn sind wesentliche Grundlagen für die weitere Entwicklung geschaffen. Diese Tatsache behält auch ihre Bedeutung, wenn wir zugeben, daß der Krieg das Flugwesen einseitig entwickelt hat. Das war bedingt durch die ausschließlich militärische Verwendung des Flugzeuges. Immerhin waren die vom Krieg gestellten Aufgaben so mannigfaltig, daß sich manche Parallele zwischen Kriegs- und Friedensflugzeug finden lassen wird.

Die Entwicklung der Flugzeuge von 1912 bis 1920

Art	Jahrgang	P.S.	Vollgewicht	Nutzlast	Geschwindigkeit	Belastung pro P.S.	Bemerkungen
Rumpler-Eind.	1912	100	650	200	90	6,5	
Nieuport-Macchi	1912	80	650	255	110	8,1	
Macchi-Parasol	1913	80	660	280	125	8,2	
Albatros . . .	1914/15	120	1070	340	105	9	
Macchi-Farman	1914	100	1040	290	110	10,4	
LVG. . . . .	1914/15	120	1020	310	115	8,5	
Rumpler . . .	1915	160	1330	510	140	8,3	
Albatros . . .	1915	160	1271	500	135	8,0	
Fokker . . .	1915	80	563	200	140	8,0	Einsitzer
Albatros . . .	1916	220	1584	516	150	7,2	
Fokker . . .	1916	120	671	200	150	5,6	Einsitzer
Albatros . . .	1916	2220	3150	1080	140	7,1	Großflugzeug
Albatros . . .	1917	160	886	661	170	5,5	Einsitzer
Rumpler . . .	1917	280	1630	580	165	6,2	
Fokker . . .	1917	110	571	190	200	5,2	Einsitzer, Dreidecker
Rumpler . . .	1917	2260	3620	1230	160	7,0	Großflugzeug
Gotha . . . .	1917	2260	3620	1235	160	7,0	Großflugzeug
Junkers . . .	1917	220	2176	400	155	9,7	Inf.-Flugzeug, gepanzert
Staaken . . .	1917	4280	11600	3600	120	9,2	Riesenflugzeug
Rumpler . . .	1918	280	1485	435	175	5,7	
Fokker . . .	1918	185	871	230	200	4,7	Einsitzer
Rumpler . . .	1918	185	805	200	200	4,3	Einsitzer
Junkers . . .	1918	185	834	180	240	4,5	Einsitzer, Metall
Junkers . . .	1918	160	1155	400	190	7,2	
Gotha . . . .	1918	2260	3706	1030	160	7,1	Großflugzeug
LVG. . . . .	1918	2260	4100	1140	130	8,0	Großflugzeug, Dreidecker
Staaken . . .	1918	5260	13000	4500	130	10,0	Riesenflugzeug
Fokker . . .	1919	185	1900	700	170	10,2	Verkehr
Junkers . . .	1919	160	1640	750	170	10,4	Verkehr
LVG. . . . .	1919	220	1420	480	160	6,4	Verkehr
Voughton-Paul	1919	100	785	265	190	7,6	Verkehr, Metall
Mercy . . . .	1919	10	180	85	126	18,0	Sport

In bezug auf die zu erstrebenden Leistungen werden die Kriegs- und Friedensforderungen letzten Endes übereinstimmen. Höchste Betriebssicherheit, möglichste Steigerung der Geschwindigkeit, große Tragfähigkeit sind zweifellos beiden gemeinsame Forderungen. Dasselbe gilt nur bedingt von der Steigfähigkeit, der Beweglichkeit und den Ansprüchen an die Start- und Landeeigenschaften. Andererseits treten wirtschaftliche Forderungen beim Kriegsflugzeug vollkommen zurück, soweit sie sich nicht, wie eben beim Bombenflugzeug, zufälligerweise mit den militärischen Aufgaben decken.



Abbildung 33. D. F. W.-Höhenweltrekordflugzeug, entwickelt aus dem D. F. W.-Kriegstyp. Erzielte im Juni 1919, gesteuert von Oblt. Franz Zeno Diemer, mit 9300 m den Weltrekord in Höhe.

nicht gebraucht wird. Die Geschwindigkeit der Kriegstypen hat einen Grad erreicht, der auch für Verkehrszwecke im wesentlichen genügen dürfte. Die Tragfähigkeit hat einen Grad erreicht, der die praktische Verwendung des Flugzeuges auf Entfernungen bis zu etwa 1200 km ohne Zwischenlandung im regelmäßigen Betrieb gestattet. Hier würde etwa bei unseren alten Riesenflugzeugen sich noch eine reine Nutzlast von annähernd 1000 kg ergeben. In wirtschaftlicher Hinsicht ist aber das Kriegserbe weniger erfreulich, da die erzielten Leistungen ohne Rücksicht auf den erzielten Kraftverbrauch herbeigeführt sind. Für die künftige Entwicklung muß also mit allem Eifer daran gegangen werden, das Verhältnis von Auftrieb zum Widerstand zu verbessern.

Die Betriebssicherheit setzt der Verwendung insofern Schranken, als sie für den Flug bei starken Nebelbildungen noch nicht ausreicht. Wir werden hierauf noch später gelegentlich der Würdigung des Flugzeuges als Verkehrsmittel zurückkommen.

Ein reiches Erbe hat uns endlich der Krieg in der Fülle geschulten Personals für die praktische Anwendung der Luftfahrt hinterlassen.

## 7. VOM KRIEGS- ZUM FRIEDENSFLUGZEUG

Höchste Leistungsfähigkeit war die vornehmste Forderung des Krieges, größte Betriebssicherheit verbunden mit guter Wirtschaftlichkeit muß vom Friedensflugzeug verlangt werden.

Die Forderung der Wirtschaftlichkeit erfüllt das Flugzeug am besten, das bei ge-

So erklärt es sich, daß ähnlich wie im Schifffahrtswesen die Übernahme von Kriegsfahrzeugen in das Verkehrswesen mindestens wirtschaftliche Mißerfolge zeitigt. Verschiedene Aufgaben fordern eben verschiedene Konstruktionen. Wir müssen also zwischen Kriegs- und Friedensflugzeug einen scharfen Trennungsstrich ziehen. Trotzdem entwickelt sich naturgemäß das Friedensflugzeug aus dem Kriegsflugzeug. Deshalb ist es notwendig, hier kurz zusammenzufassen, welches Erbe uns der Krieg im Flugwesen hinterlassen hat. Die Steigfähigkeit ist in einem Maße entwickelt, wie sie zunächst von Verkehrsflugzeugen

ringstem Anschaffungspreis und größter Lebensdauer mit den niedrigsten Betriebskosten die größte Last am weitesten trägt. Maßgebend ist in erster Linie der Betriebsstoffverbrauch pro Kilogramm reiner Fracht auf den Kilometer. Die Lösung dieser Aufgabe muß sowohl bei der Konstruktion der Kraftmaschine wie des Flugzeuges selbst berücksichtigt werden. Im Kriege handelte es sich, von einzelnen Bombenflügen abgesehen, um verhältnismäßig kurze Flüge. Das Gewicht des Motors war da von größerer Bedeutung als das der Betriebsstoffe. Das Streben ging deshalb dahin, die Motorengewichte immer weiter herabzudrücken. Wir haben hierin derartige Fortschritte gemacht, daß eine wesentliche Gewichtsverminderung für die nächste Zukunft kaum zu erwarten sein dürfte. Nach Messungen bei der Taube ergibt sich für das beim Flug tätige Muskelwerk ein Gewicht von  $\frac{1}{3}$  des Gesamtgewichts des Vogels. Umgerechnet auf ein P.S. beträgt das Gewicht etwa 12 kg, also annähernd das 12fache des Gewichts unserer Flugmotoren. Wir haben hier also die Natur bereits erheblich überflügelt. Beim Maschinenflug kommt nun aber das Brennstoffgewicht hinzu, das bei Verwendung von Benzin mit etwa 225 g für die P.S.-Stunde berechnet wird. Gelingt es nun bei einem 200pferdigen Motor, der 300 kg wiegen soll, das Maschinengewicht um etwa 10 % herabzusetzen, so gewinnt das Flugzeug, abgesehen von der dadurch ermöglichten allgemeinen Erleichterung, einen Zuwachs an Nutzlast von etwa 30 kg. Setzt man dagegen den Betriebsstoffverbrauch um 10 % herab, so würde der Gewinn an Nutzlast bei einem Flug von 6stündiger Dauer etwa der gleiche sein, da der normale Betriebsstoffverbrauch des 200pferdigen Motors etwa 50 kg beträgt. Mit zunehmender Flugdauer wächst dagegen der Gewinn, während der durch Herabsetzung des Maschinengewichts erzielte Gewinn konstant ist. Wir sehen also, daß schon aus diesem Grunde allein die Herabsetzung des Betriebsstoffverbrauchs für lange Flüge wichtiger ist als die Herabsetzung des Maschinengewichts. Mit dem geringeren Benzinverbrauch sinken natürlich auch die Flugkosten. Bei einem 1000pferdigen Flugzeug, das einen Mindestverbrauch von 225 kg Brennstoff in der Stunde hat, bedeutet eine Verminderung des Verbrauchs von 10 % unter Zugrundelegung der heutigen Preise bereits eine Ersparnis von etwa 200 M. pro Flugstunde. Wichtiger aber ist die Gewichtsersparnis auch vom wirtschaftlichen Standpunkt aus. Eine Vorbedingung für das Zustandekommen des transozeanischen Luftverkehrs ist die Konstruktion von Flugzeugen, die nicht durch ein übermäßiges Gewicht an mitzuführenden Betriebsstoffen bis an die Grenze ihrer Tragfähigkeit belastet werden müssen.

Von großer Wichtigkeit sind die Bestrebungen, die auf eine Erhöhung des Nutzeffekts des Motors und der Schrauben hinzielen. Bei der überhasteten Entwicklung während der Kriegsjahre mußte auf diesem Gebiete manches versäumt werden. Die Forderung nach Erhöhung der Wirtschaftlichkeit aber rückt diese Arbeiten in den Vordergrund. Dem Flugzeug-Konstrukteur steht nicht mehr wie im Kriege eine beliebig hohe Pferdekraft zur Erzielung der geforderten Leistungen zur Verfügung. Jede Pferdekraft kostet Geld. Es gilt jetzt also, die Leistungen durch den Bau des Flugzeuges selbst ohne Vermehrung der Motorstärke zu erhöhen. In der Verwendung des geeigneten Materials und in der geschicktesten Verarbeitung desselben wurde auch während des Krieges nach dem Grundsatz verfahren: höchste Festigkeit bei geringstem Gewicht. Die Verwendung des Dur-Aluminiums, wie sie vornehmlich von den Zeppelinwerken und von Prof. Junkers gehandhabt wird, entspricht diesem Grundsatz am vollkommensten und dürfte deshalb immer mehr Nachahmung finden. Mußten in den Kriegsflyzeugen teils besondere Verstärkungen angebracht werden, um Waffen einzubauen, Bomben aufzuhängen und dergl. mehr, so wird das Friedensflugzeug,

soweit es nicht zu sportlichen oder wissenschaftlichen Zwecken Verwendung findet, durch den Einbau der Sitze für die Passagiere oder durch die Anbringung besonderer Abstützungen für die Fracht belastet werden. Schließlich werden auch dem Komfort einige Opfer gebracht werden müssen.

Zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit trägt in wesentlichem Maße die Vermehrung der Geschwindigkeit und Tragfähigkeit bei. Hier sind nun die bereits bei den Kriegs-



Abbildung 34.

L. V. G.-Limousine 1919, 220 P.S.

flugzeugen besprochenen Forschungen von Prof. Junkers bahnbrechend gewesen. Das Streben nach Verminderung der Fortbewegungswiderstände konnte erst einen durchschlagenden Erfolg erzielen, wenn es gelang, möglichst alle Widerstand erzeugenden Teile im Flugzeug zu vermeiden, die nicht am Tragen, also an der Erzeugung des Auftriebs beteiligt sind. Zu diesen Teilen gehört, vom Fahrgestell abgese-

hen, in erster Linie das außerhalb der Flächen liegende Tragwerk, also die Spannungskabel und Stiele. Je schneller die Flugzeuge wurden, desto schädlicher wirkte der Widerstand dieser Teile, da die Widerstände mit dem Quadrat der Geschwindigkeit wachsen.

Während des Krieges verminderte sich bei den meisten Typen die Zahl der Stiele und Kabel; gerade der Widerstand der letzteren ist infolge der Vibration besonders ungünstig. Wir finden deshalb auch verschiedentlich Konstruktionen, bei denen zum Tragen unter Fortlassung der Spannungskabel ausschließlich Stiele verwendet sind. Die freitragende Fläche von Junkers mußte einen bedeutenden Geschwindigkeitszuwachs bringen, der allein schon das Flugzeug wirtschaftlich wesentlich günstiger gestaltete, da eben mit derselben Arbeitsleistung die zu befördernde Last entsprechend weiter getragen wurde. Mit der Geschwindigkeit nimmt aber auch die Tragfähigkeit zu, da auch die Auftriebskräfte mit dem Quadrat der Geschwindigkeit wachsen. Die Belastung des Flugzeuges konnte mithin eine höhere werden. Endlich ist aber auch der Auftrieb abhängig von dem Querschnitt der Fläche und dem Verhältnis von Breite zu Tiefe. Das im vorderen Teil sehr hohe, nach hinten spitz auslaufende Profil, das die Unterbringung des gesamten Tragwerkes innerhalb der Fläche ermöglicht, weist nun nachgewiesenermaßen besonders günstige Auftriebsverhältnisse auf und trägt also darum zur Erhöhung der Tragfähigkeit des Flugzeuges bei. Wenn wir das Verhältnis des Betriebsstoffverbrauchs zur beförderten Last und zur zurückgelegten Strecke, das für die Wirtschaftlichkeit des Flugzeuges maßgebend ist, bei Flugzeugen untersuchen, wie wir sie in der Kriegszeit verwendet haben, und bei den nach dem Junkersschen System erbauten, mit gleicher Motorstärke ausgestatteten Flugzeugen, so ergibt sich ein Resultat, das die Richtigkeit des von Junkers beschrittenen Weges deutlich zeigt. — Die Wirtschaftlichkeit des Betriebs ist ferner vom Verbrauch an Personen und Material abhängig. Naturgemäß muß auch von diesem Gesichtspunkt aus die Wirt-

flugzeugen besprochenen Forschungen von Prof. Junkers bahnbrechend gewesen. Das Streben nach Verminderung der Fortbewegungswiderstände konnte erst einen durchschlagenden Erfolg erzielen, wenn es gelang, möglichst alle Widerstand erzeugenden Teile im Flugzeug zu vermeiden, die nicht am Tragen, also an der Erzeugung des Auftriebs beteiligt sind. Zu diesen Teilen gehört, vom Fahrgestell abgese-

schaftlichkeit mit der Tragfähigkeit und Geschwindigkeit wachsen. Vergleichen wir wieder ein Kriegsflugzeug gleicher Motorenstärke mit dem Junkersschen Verkehrsflugzeug, so ergibt sich, daß das erstere mit zwei Mann Besatzung in sechs Stunden 400 kg 800 km weit trägt. Das Junkers-Flugzeug dagegen befördert mit derselben Besatzung 750 kg in weniger als fünf Stunden über dieselbe Entfernung. Unter Anrechnung von Tragfähigkeit und Geschwindigkeit leistet das zweite Flugzeug daher mehr als das Doppelte der Leistung des ersteren. Diese Leistung wird mit demselben Besatzungs- und Wartepersonal, Betriebsstoffverbrauch und Aufwand an Hafenmaterial erzielt. Es bleibt also nur die Frage der Kosten des Flugzeuges selbst. Da die beiden Flugzeugarten unter sehr verschiedenen Verhältnissen gebaut sind, läßt sich diese Frage zahlenmäßig nicht vollständig beantworten. Die Maschinenanlage ist dieselbe, für sie kann also derselbe Kostenaufwand eingesetzt werden. Die Herstellung der Flugzeugteile mag im zweiten Fall einen geringen Mehraufwand an hochwertigem Material und an Arbeitszeit erfordern. Dieser unwesentlichen Kostenerhöhung steht aber eine wesentlich größere Lebensdauer und ein geringerer Aufwand an Pflegearbeit gegenüber. Darin liegt die große Überlegenheit der Metallkonstruktion, daß sie eben dem Flugzeug eine längere Lebensdauer gibt, als dies bei der Holz- und Stoffkonstruktion der Fall ist. Das spannungslose System spart die schwierige Arbeit des Nachspannens. Von nicht zu unterschätzender Bedeutung sowohl für die Wirtschaftlichkeit wie auch für die militärische Wertung ist auch die Unempfindlichkeit gegen Witterungseinflüsse. Das Metallflugzeug ist bei vorübergehender Verwendung nicht mehr auf das Vorhandensein kostspieliger Hallen angewiesen, und damit wächst die Verwendungsmöglichkeit beträchtlich.

Die Umstellung vom Kriegs- auf das Friedensflugwesen fordert eine gewisse Richtungsänderung der Entwicklung. Die bisweilen geäußerte Ansicht, daß die Bedingungen von Kriegs- und Friedensflugwesen grundsätzlich verschieden sind, kann jedoch nicht geteilt werden. Letzten Endes kommt es in jedem Fall darauf an, Betriebssicherheit und Leistungsfähigkeit zu steigern, und wenn man sich über die wechselseitigen Beziehungen zwischen Geschwindigkeit, Steigfähigkeit und Tragfähigkeit klar wird, so ergibt sich, daß ein durch die Konstruktion erzielter Leistungsgewinn beim Friedensflugzeug lediglich in anderer Richtung auszunutzen ist als beim Kriegsflugzeug. Neu hinzu tritt beim Friedensflugzeug die Rücksicht auf die Wirtschaftlichkeit, die jetzt an hervorragende Stelle getreten ist.

Die Entwicklung des Friedensflugwesens nach dem Kriege zeigt trotz ihrer Jugend doch schon die wesentlichsten Kennzeichen, die auch für die kommenden Jahre charakteristisch bleiben werden.

Als Neuerscheinung tritt zunächst das Sportflugzeug auf. Diesem eigentümlich ist die Verwendung schwächster Motoren, die sich zurzeit um etwa 30 P.S. herum bewegen. Wir können noch mit einer weiteren Herabsetzung rechnen. In Italien ist bereits ein Wettbewerb für schwachmotorige Flugzeuge ausgeschrieben, bei dem die Pferdestärke 10 P.S. nicht überschreiten darf. Die Eigentümlichkeit des Sportflugzeuges tritt am besten durch einen Vergleich mit einem der schwachmotorigen ersten Kriegsflugzeuge hervor.

Flugzeugtyp	P. S.	Vollgewicht	Geschwindigkeit	Belastung pro P.S.	Nutzlast	Betriebsstoffverbr. pro kg/km
Albatros B. 14 .	120	1070	105	2,66	320	0,820
Nieuport-Macchi	30	255	125	3,16	95	0,570



Die Gegenüberstellung der Daten ergibt auch hier, wenn wir die letzte Rubrik betrachten, die den Betriebsstoffverbrauch pro Kilometer und Kilogramm angibt, eine wesentlich bessere Ausnutzung der angewendeten Kraft. Das Interessante an diesem Flugzeuge ist die Tatsache, daß wir uns mit ihm dem Ziel nähern, das Flugzeug des Privatmannes oder — um ein vielleicht deutlicheres Scherzwort zu gebrauchen — das Flugzeug des armen Mannes zu schaffen. Es scheint kein triftiger Grund dagegen zu sprechen, daß es uns in wenigen Jahren gelingen wird, Sportflugzeuge mindestens zum gleichen Preise wie Kleinautos auf den Markt zu bringen.

Lebhafter hat sich die Unternehmungslust im Bau von Verkehrsflugzeugen betätigt, und es ist eine verständliche Erscheinung, daß man zunächst an den Umbau der Kriegsflugzeuge in Verkehrsflugzeuge ging. Die Unmenge vorhandenen Materials verführte hierzu. Diese Umbauten sind für uns ohne Interesse, denn die so entstandenen Verkehrsflugzeuge gehören eben ihrer technischen Eigenart nach in die Klasse der Kriegsflugzeuge. Bemerkt werden soll hier nur, daß dieser Umbau zu der Erfahrung geführt hat, daß das Kriegsflugzeug für die wirtschaftliche Verwendung ungeeignet ist.

In der Masse und Mannigfaltigkeit der Neubauten ist selbstverständlich das siegreiche freie Ausland dem geknebelten Deutschland überlegen. In England finden wir bereits, daß sich die einzelnen Fabriken auf den Bau bestimmter Typen festzulegen beginnen. So baut z. B. die „Gasport Aircraft Co.“ ein für den Handelsverkehr in Indien bestimmtes Wasserflugzeug von 700 P.S. und einen Sporteinsitzer von 50 P.S. Die „Nieuport General Aircraft Co.“ baut unter Verwendung von 320-P.S.-Motoren zweimotorige Dreidecker für Südafrika. Bei den meisten Firmen finden wir ein großes mehrmotoriges und ein kleines einmotoriges Flugzeug im Bau, während „Avro“ sich auf den Bau eines 35-P.S.-Sportflugzeuges beschränkt. Charakteristisch für die ausländischen Typen ist die starke Anlehnung an die Kriegsflugzeuge. Als einzige Neuerung tritt neben dem schwachmotorigen Sportflugzeug eigentümlicherweise eine Begünstigung der Dreideckerform hervor. Der Riesenflugzeugbau ist durch die Inausrichtung der Ozeanüberquerung und durch die Veranstaltung anderer Rekordflüge in England und Amerika angeregt worden, wesentliche neue Wege sind jedoch auch hier nicht begangen. Es hat sich aber wohl allgemein die Erkenntnis durchgesetzt, daß für lange Flüge nur Flugzeuge Verwendung finden dürfen, die dank der Unterteilung ihrer Maschinenkraft eine höhere Betriebssicherheit aufweisen. Dieser Grund wird zweifellos zum Ausbau des Riesenflugzeugwesens führen. Die Entwicklung des Luftverkehrs vom Nah- zum Fernverkehr muß eine Steigerung der Bedeutung der Riesenflugzeuge bewirken. Erfahrungsgemäß ist die überwiegende Zahl der Notlandungen durch Maschinendefekte verursacht worden. Unser heutiger Flugmotor ist ebenso wie der Automobilmotor noch nicht vollkommen zuverlässig. Durch dauernde Beobachtung und nötigenfalls kleine Eingriffe läßt sich seine Zuverlässigkeit wohl erheblich steigern, erreicht aber für sehr lange Flüge noch nicht die notwendige Vollkommenheit. Bis wir also eine absolut zuverlässige Maschine haben, helfen wir uns am besten damit, daß wir dem Flugzeug mehrere voneinander unabhängige Motoren geben, die auch beim völligen Stillstand eines Motors die Fortsetzung des Fluges gestatten. Zweimotorige Flugzeuge dürften hierfür kaum in Frage kommen, da sie bei Ausfall eines Motors den Flug nicht fortsetzen können, wenn ihnen nicht ein unwirtschaftlich hoher Kraftüberschuß gegeben werden soll. Ein bemerkenswerter Unterschied zwischen den Riesenflugzeugen fremder Konstruktionen und unseren deutschen Typen liegt darin, daß die Zugänglichkeit der Maschinenanlage und die Reparatur-

möglichkeit an derselben während des Fluges scheinbar bisher nur in Deutschland vollkommen durchgeführt ist.

Abgesehen von dem hervorgehobenen Unterschiede ist das Riesenflugzeug nichts anderes als eine Vergrößerung des normalen Flugzeuges und ist mithin denselben Gesetzen wie dieses unterworfen. Wir können daher auch für das Verkehrs-Riesenflugzeug eine ähnliche Entwicklung annehmen, wie sie das kleinere Verkehrsflugzeug bereits genommen hat.



Abbildung 35. Staaken-R-Flugzeug 1917, 2/160 Mercedes, 4/200 P.S. Benz, 1 Zug-, 2 Druckschrauben. Der Bordmonteur in seiner Gondel.

Mit Genugtuung dürfen wir feststellen, daß Deutschland trotz Niederlage und Revolution das erste Land gewesen ist, das sich beim Friedensflugzeug bewußt vom Kriegsflugzeug losgelöst hat. Das Junkerssche Flugzeug, im Kriege kaum zur Beachtung gelangt, hat die Führung im Verkehrsflugwesen übernommen und wird selbst von unseren früheren Feinden als überlegen anerkannt. Wenn auch bei uns noch teilweise nach anderen Grundsätzen gebaut ist, so dürften die Gründe hierfür in wirtschaftlichen Schwierigkeiten zu suchen sein. Das verspannungslose Metallflugzeug mit freitragender Fläche und starkem Flügelprofil erscheint uns als die heute überlegene Konstruktion, die den kürzesten Weg vom Kriegs- zum Friedensflugzeug weisen dürfte. Einige vergleichende Zahlen müssen die vorstehenden Ausführungen ergänzen. Wir nehmen hier die Daten annähernd gleichzeitig entstandener Verkehrsflugzeuge. Die beiden ersten sind in starker Anlehnung an die Kriegsflugzeuge entstanden, die beiden letzten sind nach dem verspannungslosen, freitragenden System erbaut:

Flugzeugtyp	P.S.	Vollgewicht	Nutzlast	Geschwindigkeit	Nutzlast pro P.S.	Betriebsstoff pro kg/km
D. F. W.-V. . .	220	1470	500	150	2,27	0,660
Rumpler-V. . .	160	1330	510	150	3,19	0,470
Fokker-V. . .	185	1900	700	170	3,79	0,349
Junkers-V. . .	160	1640	750	170	4,99	0,285

Die vorangegangenen Ausführungen zeigen die Richtung, in der sich das Flugwesen entwickelt hat. Ich möchte nun den Leser bitten, sich möglichst in die Bilder des Junkers- und Fokkerflugzeuges zu vertiefen und sie mit der alten, mit unzähligen Kabeln verspannten Taube zu vergleichen. Wir erinnern hierbei an das über den Luftwiderstand Gesagte. Das wird auch dem Laien helfen, über die etwas plumpe Form des Junkersschen Flugzeuges hinweg die konstruktiven Vorteile desselben zu erkennen.

Wenn wir hier nicht zwischen Land- und Wasserflugzeug unterschieden haben, so geschah dies, weil alles Gesagte für beide gilt; der Unterschied liegt nur in dem



Abbildung 36. Junkers' Verkehrsflugzeug auf Schwimmern, 160 P.S. Mercedes.

Untergerüst. Die Verkehrsaufgabe des Flugzeuges dürfte die Entwicklung der Wasserflugzeuge gerade für den Fernverkehr begünstigen. Hier wird dann wieder der Kampf zwischen Schwimmer und Boot einsetzen. Das Schwimmerflugzeug verletzt nicht nur das Schönheitsempfinden, sondern wird auch in seinen Leistungen durch die plumpen Schwimmkörper beeinträchtigt. Es scheint daher die Entwicklung zu einer Begünstigung des Flugbootsystems zu führen.

Ebensowenig wie die mannigfachen Aufgaben des Krieges von einem Universaltyp erfüllt werden konnten, wird das friedlichen Zwecken dienende Flugwesen auf Spezialtypen, die der verschiedenen Verwendung angepaßt sind, verzichten können. Wir müssen

daher die Friedensaufgaben erkennen und prüfen, welche Verwendungsmöglichkeiten das Flugzeug in der Praxis finden wird.



Abbildung 37.

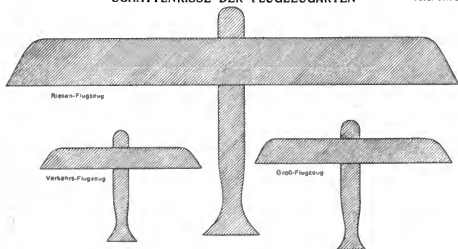
Fokker-Verkehrsflugzeug, 185 P.S. B. M. W.

### Vergleich zwischen den einzelnen Spezialflugzeugen

Flugzeugart	Vollgewicht kg	Nutzlast kg	P. S.	Geschwindigkeit std.-km	Spannweite m	Flächenbelastung kg	Belastung pro P.S. kg	Nutzlast pro P.S. kg
Sportflugzeug . . . . .	255	95	30	126	4,0	21,25	8,5	2,83
Jagdflugzeug . . . . .	886	225	160	170	9,0	43,3	5,5	1,4
Verkehrsflugzeug . . . . .	1900	700	185	170	16,0	42,0	10,2	3,8
Zweis. Kriegsflugzeug . . . . .	1320	430	220	165	11,8	35,2	6,0	2,0
G.-Flugzeug . . . . .	3706	1030	520	160	21,7	47,0	7,1	2,0
R.-Flugzeug . . . . .	12000	4000	1040	140	42,0	37,5	11,5	4,0
Infant.-Flugzeug, gepanz.	2176	400	220	155	16,0	45,0	9,9	1,8

SCHATTENRISE DER FLUGZEUGARTEN

Tafel Nr. 3



Gewichte:

1000 kg

10 500 kg

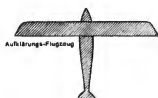
2400 kg

Pferdestärke

160

1225

520



1050 kg

640 kg

100 kg

260

185

10

## 8. DIE PRAKTISCHE ANWENDUNG DES FLUGWESENS

**DAS FLUGZEUG ALS VERKEHRSMITTEL.** In der Beurteilung des Flugzeuges als Verkehrsmittel begegnen wir oft den widersprechendsten Ansichten. Wir sind heute weit genug, um die vornehmsten Eigenschaften des Luftverkehrsmittels, um seine Vorzüge und seine Nachteile anderen Verkehrsmitteln gegenüber erkennen zu können. Die Kenntnis der Eigentümlichkeit des Luftverkehrsmittels und die Erkenntnis der Verkehrsbedürfnisse werden allein die Grundlage für eine richtige Beurteilung des Luftverkehrs geben können.

Das Flugzeug ist zunächst allen anderen uns bekannten Verkehrsmitteln an Geschwindigkeit überlegen. Es ist ferner das einzige Verkehrsmittel, das über den ganzen Erdball verkehren kann und bei dem eine grundsätzliche Trennung zwischen Land- und Wasserfahrzeug fortfällt. Endlich ist das Flugzeug unabhängig von Vorbereitungen seines Weges. Seine Verkehrswege sind unbegrenzt und sind tatsächlich vorhanden. Naturgemäß erleidet diese Unabhängigkeit in der Praxis eine gewisse Beschränkung, da sie nur für den einmaligen Flug zutrifft. Die Einrichtung eines regelmäßigen Verkehrs erfordert selbstverständlich gewisse Vorbereitungen und Anlagen. Diese sind jedoch im Verhältnis zu den Anforderungen anderer Verkehrsmittel, besonders der Eisenbahn und des Automobils, derartig gering, daß wir hier eine wesentliche Überlegenheit des Flugzeuges feststellen können. Es sind also drei besondere Vorteile, die das Flugzeug den anderen Verkehrsmitteln gegenüber besitzt, die Geschwindigkeit, die örtlich unbegrenzte Verwendungsfähigkeit und die Unabhängigkeit von Vorbereitungen seines Weges. Diesen Vorteilen gegenüber sind als Nachteile zu erkennen: die geringe Tragfähigkeit, d. h. die im Verhältnis zu aufgewendeten Maschinenkraft geringe Nutzlast. Empfindlicher ist der weitere Mangel einer gewissen Abhängigkeit von der Wetterlage. Der räumlichen Unabhängigkeit tritt hier eine zeitliche Abhängigkeit entgegen. Für die Beurteilung der praktischen Verwendungsmöglichkeiten des Flugwesens ist gerade diese Abhängigkeit vom Wetter von hervorragender Bedeutung. Diese Abhängigkeit, die früher in weit höherem Maße bestand, ist heute bereits so weit überwunden, daß wir bei allen praktisch vorkommenden Windstärken, selbst bei Regen, Schneetreiben und Gewitter fliegen können. Lediglich starke Bodennebelbildungen können heute dem Flieger verhängnisvoll werden. Die Landung bei starkem Bodennebel bedeutet für den Flieger unzweifelhaft eine große Gefahr. Weitere Schwierigkeiten, deren vollständige Überwindung jedoch durch den Ausbau unserer Instrumente und vielleicht auch durch die Entwicklung der automatischen Stabilität der Flugzeuge bald erreicht werden kann, bringt der Flug bei vollständig dunkler Nacht unter geschlossener dichter Wolkendecke. Der Flieger ist im allgemeinen daran gewöhnt, für die Steuerung der Maschine sich des natürlichen Horizonts, wie er ihn auch in mondloser, aber sternklarer Nacht vorfindet, zu bedienen. Fällt nun dieser natürliche Horizont fort, so braucht der Führer statt dessen einen künstlichen Horizont, der ihm mit dem Kreiselneigungsmesser gegeben ist. Hier handelt es sich also nur darum, die Betriebssicherheit eines bereits vorhandenen Instrumentes zu vervollkommen und das Mißtrauen der Führer gegen die Instrumente zu überwinden. Das Wichtigste, das uns fehlt, ist also ein Hilfsmittel, um bei dichtem Nebel zu landen. Die Einschränkung, die hier die Verwendungsmöglichkeit des Flugzeuges als Verkehrsmittel erfährt, ist jedoch in Zahlen ausgedrückt außerordentlich gering. Es wurde z. B. bereits im Jahre 1913 in Johannisthal an 336 Tagen des Jahres geflogen. Die Abhängigkeit des Flugzeuges vom Wetter ist jedenfalls erheblich geringer, als dies während langer Zeit bei der Schifffahrt der Fall war.

Wir wollen jetzt feststellen, wieweit die Eigenschaften des Flugzeuges den tatsächlichen Verkehrsbedürfnissen entsprechen. Ein Bedürfnis nach Geschwindigkeit bzw. nach Zeitersparnis ist zweifellos vorhanden, und dieses Bedürfnis wächst mit der Länge der Strecke. Bei kurzen Strecken wird nun der tatsächliche Zeitgewinn des Reisenden durch den unvermeidlichen Weg vom und zum Flugplatz stark beschränkt, und tritt dann noch die Gebundenheit an einen bestimmten Flugplan hinzu, so wird kaum ein Zeitgewinn zu erzielen sein, der den erhöhten Unkosten entspricht. Wir können also annehmen, daß die Einrichtung fester Luftlinien auf kurzen Strecken nur in dem Fall einem tatsächlichen Verkehrsbedürfnis entspricht, in dem andere Verkehrsmittel nicht zur Verfügung stehen. Fällt jedoch die Bindung an einen festen Flugplan für den Reisenden hier fort und kann er den Flug zu jeder beliebigen Zeit durchführen, so dürfte doch in wirtschaftlich hochentwickelten Ländern das Publikum sich hier bald an das neue Verkehrsmittel gewöhnen. Auf kurzen Strecken erscheint also nicht die Form fester Luftlinien, sondern die des Luftdroschkenverkehrs am geeignetsten. Anders liegen die Verhältnisse bei weiten Entfernungen. Die Belastung der Reisedauer durch den Weg vom und zum Flugplatz fällt hier kaum ins Gewicht. Das Flugzeug, das etwa dreimal so schnell wie der D-Zug ist, sich den kürzesten Weg suchen kann und nicht durch eine Reihe von Zwischenlandungen Zeitverluste erleidet, wird hier seinem Benutzer einen wesentlichen Zeitgewinn bringen. Der Zeitgewinn wächst naturgemäß, wenn der Weg über das Meer oder über noch nicht von der Eisenbahn erschlossene Gebiete führt. Hier wird sich zweifellos die Einrichtung fester, regelmäßig verkehrender Luftlinien als zweckmäßig erweisen. Diese großen Luftlinien, die naturgemäß nur wenige Hauptorte berühren können, werden wieder durch Zubringerlinien gespeist werden. Dadurch ergibt sich eine Gliederung des Luftverkehrs in den Luftdroschkenverkehr, den Zubringerverkehr und den Großluftverkehr. Diese Klarlegung der Aufgabe, die der Luftverkehr stellen wird, erlaubt uns einen Schluß zu ziehen auf die wahrscheinliche Entwicklung der Verkehrsflugzeugtypen. Die Luftdroschke wird im allgemeinen nur auf kurzen Strecken eine oder zwei Personen befördern müssen. Hier dürfte also ein schwachmotoriges, wenig tragfähiges Flugzeug Verwendung finden. Entfernung und Fracht wächst bereits im Zubringerdienst, der deshalb schon etwas stärkere Typen erfordert. Bei beiden Aufgaben wird es sich vornehmlich um den Verkehr auf dem Festlande handeln, ein Verkehr also, der durch eintretende Notlandungen nicht katastrophal beeinflußt wird. Bei der hohen Betriebssicherheit unserer modernen Motoren dürften hier grundsätzlich einmotorige Flugzeuge Verwendung finden.



Abbildung 38.

Junkers' Limousine, Innenausstattung.

Bei der hohen Betriebssicherheit unserer modernen Motoren dürften hier grundsätzlich einmotorige Flugzeuge Verwendung finden.

Im Großluftverkehr haben wir dagegen mit einer erhöhten Frachtmenge und mit wesentlich erweiterten Flugstrecken zu rechnen. Diese Strecken dürfen natürlich nicht durch die Rücksichtnahme auf etwa erforderlich werdende Notlandungen ausgemacht werden. Gerade hier muß der Vorteil der örtlich unbegrenzten Verwendungsmöglichkeit in die Erscheinung treten. Diese Strecken werden sich ständig erweitern und



Abbildung 39. D. F. W. Limousine, Innenansicht.

zum transozeanischen Verkehr führen. Hier wird also ein Flugzeug gebraucht, das mit Rücksicht auf die mitzuführende Betriebsstoffmenge und auf die hohe Fracht besonders tragfähig sein muß. Das Flugzeug wird der Dauer seiner Flüge entsprechend vervollkommenet eingerichtet sein müssen. Den Fluggästen, die sich lange an Bord aufhalten, muß ein größerer Komfort geboten werden. Funkentelegraphische Einrichtungen, reichliche Ausstattung mit Instrumenten, sicher arbeitende Beleuchtungseinrichtungen für die Nacht müssen dies Flugzeug zur Durchführung längerer Flüge befähigen. Die höchsten Anforderungen sind hier aber an die Betriebssicherheit zu stellen. Ich verweise hier auf die früher gemachten Ausführungen. Die Aufgabe des Großluftverkehrs wird also einen besonderen Flugzeugtyp erfordern, den wir bereits früher unter der Bezeichnung des Riesenflugzeuges kennengelernt haben. Wir verstehen darunter ein Flugzeug mit tunlichst mindestens dreifach unterteilter Maschinenanlage, die während des Fluges ständig bewacht und gewartet wird von Spezialmonteuren. Im Hinblick auf die transozeanischen Flüge liegt es nahe, das Riesenflugzeug als Flugboot auszubauen oder eine Kombination zu schaffen, die das Niedergehen auf Land und Wasser gestattet.

Die praktische Anwendungsmöglichkeit des Flugwesens hängt nicht allein von der technischen Durchführbarkeit, sondern in gleichem Maße von der Wirtschaftlichkeit ab. Wir haben bereits früher gesehen, auf welchem Wege die Wirtschaftlichkeit erhöht werden kann, und daß dies tatsächlich auch mit Erfolg geschehen ist. Die Frage der Wirtschaftlichkeit steht auch in gewissem Zusammenhang mit der Verwendung verschiedener Flugzeugtypen. Die Wirtschaftlichkeit von Riesenflugzeugen wird vielfach bezweifelt.

Die folgende Tabelle ist auf Grund der tatsächlich von einem einmotorigen, einem zweimotorigen und einem R.-Flugzeug im Luftverkehr bei der gleichen Aufgabe und unter den gleichen Bedingungen getragenen Höchstmengen zusammengestellt. Die Flugzeuge stammen aus denselben Baujahren.

Flugzeugtyp	Leistung P.S.	Besatzung	Gesamtnuß- lastohne Be- satzung kg	Nußlast pro P.S. kg	Nußlast pro Pers. kg
L.V.G. C 6 . .	200	2	430	2,15	215
Friedrichsh. G. .	520	3	1545	2,97	515
Staakener R. .	1200	6	4110	3,42	685

Da die Eigengeschwindigkeit der Flugzeuge verschieden ist, soll im Folgenden gezeigt werden, welche reine Nutzlast die drei Flugzeugtypen über eine Strecke von 420 km befördern können.

Flugzeugtyp	Betriebsstoffe für 420 km kg	Reine Nutzlast kg	Nutzlast pro Betriebsstoff-kg	Nutzlast pro Person kg
L.V.G C6 . .	168	262	1,56	131
Friedrichsh. G. .	420	1125	2,68	375
Steakener R. .	1085	3025	2,76	505

Diese Tabellen — nicht das Ergebnis theoretischer Untersuchungen, sondern der Niederschlag der Praxis — beweisen, daß die Tragfähigkeit des Riesenflugzeuges günstiger ist und deshalb auch die Wirtschaftlichkeit nicht ungünstiger sein kann als die der Vergleichstypen, wenn man nicht etwa die Unwirtschaftlichkeit von den hohen Anschaffungskosten herleiten will, was wohl bei vorübergehender Verwendung berechtigt sein mag, nicht aber bei einem dauernden Betrieb.

Das Flugzeug hilft tatsächlich einem bestehenden Mangel im Verkehrswesen ab. Die bisherigen Versuche auf diesem Gebiet sind deshalb nicht als vorübergehende Erscheinungen, sondern als der Beginn eines großen allgemeinen weltumspannenden Luftverkehrs anzusehen. Die Frage der Rentabilität derartiger Unternehmungen kann nicht im Rahmen dieser Ausführungen eingehend erörtert werden. Es dürfte aber kaum zweifelhaft sein, daß sich das Flugzeug in wirtschaftlicher Hinsicht sicher als dem Automobil gleichwertig oder überlegen erweisen wird.

**DAS FLUGZEUG ALS SPORTMITTEL.** Das Sportflugzeug ist seit langem die Sehnsucht weiter Kreise. Der Flug vereinigt die Reize der Ballonfahrt, des Segelns und des Motorsports. Er erzieht den Menschen zur Selbstbeherrschung und Geistesgegenwart. Für das gesamte Flugwesen aber ist die Entwicklung des Flugsports von hoher Bedeutung, da sie ihm die notwendige breite Basis gibt. Der Flugsport schafft der Flugzeug- und Motorenindustrie die erforderlichen Aufträge. Er trägt zur Erforschung des Luftmeeres, zur Sammlung flugtechnischer Erfahrungen und vornehmlich zur Gewöhnung des Publikums an die Luftfahrt bei. Für den Luftsport spielt aber die Kostenfrage eine entscheidende Rolle. Eine nennenswerte Ausdehnung kann der Sport nur annehmen, wenn Vereine, die heute den Segel- oder Rudersport treiben, mit annähernd gleichen Mitteln sich im Flugsport betätigen können. Das ist natürlich nur möglich, wenn das billige schwachmotorige Flugzeug zur Entwicklung gelangt.

**DAS FLUGZEUG IM DIENSTE DER WISSENSCHAFT.** Die Wissenschaft wird sich das Flugzeug in immer weiterem Maße dienstbar machen. Die Erforschung der Luftströmungen und Beobachtungen allgemein meteorologischer Art werden sowohl von allen regelmäßig verkehrenden Flugzeugen nebenbei als auch von Spezialflugzeugen ausschließlich betrieben werden. Ganz besonders aber dürfte das Flugwesen neugestaltend auf die Landesaufnahme wirken. Mit Hilfe der im Kriege ausgebildeten photographischen Kameras, vornehmlich des Reihenbildners, lassen sich maßstabsgerechte Karten in kürzester Zeit mit einem Kostenaufwand herstellen, der auch nicht entfernt an denjenigen heranreicht, den die topographische Aufnahme erfordert. In fremden Erdteilen mit unentwickeltem Kartenwesen dürfte man sehr bald zur Verwendung des Flugzeuges auf diesem Gebiet übergehen. Auf diese Weise ist auch



die Herstellung von Karten unzugänglicher Gebiete möglich. Bei der Erforschung unbekannter Gebiete wird das Flugzeug wertvolle Vorarbeiten leisten können. Auch in der Polarforschung liegt seine Verwendung durchaus im Reiche der Möglichkeit. Für die wissenschaftlichen Zwecken dienenden Flugzeugtypen lassen sich begrifflicherweise keine bestimmten Normen aufstellen. Hier werden Spezialflugzeuge verwandt werden müssen, die eben dem besonderen Zweck angepaßt sind.

**DAS FLUGZEUG ALS WAFFE.** Diese Ausführungen würden unvollständig sein, wenn nicht die Bedeutung des Flugzeuges als Waffe kurz gestreift wird. Trotz Friede, Völkerbund und Pazifismus wird das Flugzeug als Waffe eine immer gewaltigere Bedeutung gewinnen. Dem technischen Fortschritt ist es zum wesentlichen zuzuschreiben, daß der Krieg auf der Erde bei annähernd gleich starken Gegnern zu einem Grabenkampf werden mußte. Unterseeboot und Flugzeug dehnen nun den Kriegsschauplatz von der fast zur Linie zusammengeschrumpften Fläche zum praktisch unbegrenzten Raum aus. Wenn wir vorhin vom Einfluß des Krieges auf das Flugwesen gesprochen haben, so müssen wir jetzt dieses Thema umgekehrt behandeln. Der künftige Krieg bedingt auf vielfachem Gebiet Änderungen, deren Bedeutung von allgemeinstem Interesse ist. In einigen Jahrzehnten wird sich das Flugwesen so weit entwickelt haben, daß der Kriegsschauplatz unbegrenzt wird. Der moderne Krieg wird somit immer mehr vom Kampf der Armeen zum Kampf der Völker. Es kann heutzutage nicht mehr als ein allzu kühnes Phantasiegebilde angesehen werden, wenn wir uns den künftigen Krieg so vorstellen, daß auf der Erde selbst gewissermaßen nur einige Posten eine Art Grenzschutz ausüben, daß der Kampf sich aber vornehmlich in der Luft, unter dem Wasser und vielleicht auch unter der Erde abspielen wird. Riesengeschwader werden die Kriegerklärung dadurch überbringen, daß sie ungeheure Massen von Sprengstoffen in die feindlichen Hauptstädte und in die Zentren der Industrie schleudern. Zu ihrer Abwehr wieder werden gewaltige Jagdgeschwader dauernd den eigenen Luftraum zu sperren versuchen. Das Ergebnis werden Schlachten im Luftmeer sein, wie sie im vergangenen Weltkriege an besonders heißen Tagen schon als schwache Andeutung zu erkennen gewesen sind. Wir können uns heute noch nicht die Rückwirkung eines derartigen Luftkrieges auf unser gesamtes öffentliches Leben vorstellen, wohl aber ist die Einwirkung erkennbar, die diese Entwicklung auf unsere industriellen Anlagen haben wird. Die örtliche Konzentration der Industrie, wie wir sie im Rheinland, in Westfalen und in Oberschlesien haben, und wie wir sie auch in England und anderen Ländern finden, könnte leicht in einem künftigen Kriege verhängnisvoll werden.

Die praktische Anwendung des Flugwesens umfaßt weit mehr Gebiete als die hier erwähnten. Wir mußten uns hier darauf beschränken, die Hauptgebiete hervorzuheben, auf denen das Flugzeug bereits mit Erfolg tätig gewesen ist.

## 9. DER FLUG

**D**as Fliegen ist keine schwarze Kunst, sondern eine Fähigkeit, die jeder normale Mensch erlernen kann.

Zum Start wird die Maschine gegen den Wind gestellt. Während des Startes bewegt sich das Flugzeug sowohl noch in seinem Verhältnis zur Erde wie schon in dem zur Luft. Der Start gegen den Wind wird deshalb kürzer, weil durch den in entgegengesetzter Richtung strömenden Wind das Flugzeug in seinem Verhältnis zur Luft auf diese Weise eine Geschwindigkeit bekommt, die aus seiner Fahrgeschwindigkeit und der Windgeschwindigkeit über dem Erdboden zusammengesetzt ist.

Vor dem Start wird die Maschine gewissenhaft geprüft, der richtige Gang der

Steuer nachgesehen und der Motor abgebremst. Alsdann gibt der Führer unter gleichzeitigem Druck auf das Tiefensteuer Vollgas. Er drückt das Steuer so lange nach vorn, bis die Geschwindigkeit groß genug wird, um allein den Schwanz des Flugzeuges hochzuhalten. Das Steuer wird nun so gestellt, daß die Längsachse des Flugzeuges wagrecht liegt. Hat das Flugzeug genügend Fahrt, so hebt es sich allein vom Boden ab, oder es bedarf dazu eines leichten Anziehens des Höhensteuers. Die Startlänge ist bei verschiedenen Flugzeugen, dem Verhältnis von Widerstand und Auftrieb entsprechend, zu dem hier noch die Fahrwiderstände treten, verschieden lang. Bei Maschinen mittlerer Leistung beträgt sie bei schwachem Winde etwa 70 Meter. Grundsätzlich ist es richtiger, einen langen Start zu machen, als die Maschine vorzeitig mit ungenügender Fahrt vom Boden abzuheben. Während des Fluges selbst sollen die Steuer so wenig wie möglich betätigt werden. Der Führer kennt die Mindestgeschwindigkeit, mit der seine Maschine steigen darf. Bis zu diesem Grade darf er das Höhensteuer anziehen. Ein zu starkes Ziehen der Maschine führt zunächst zu einem Nachlassen des Steigens oder auch einem schwachen Sacken. Wird die Maschine stark überzogen, so rutscht sie über einen Flügel ab.

Es ist eine eigentümliche Beobachtung, die man in der Praxis immer wieder machen kann, daß in der Nähe von Flugplätzen gelegene hohe Hindernisse, wie Wälder, Telegraphenleitungen und dergleichen mehr, eine Anziehungskraft auf den Flieger ausüben. Die Erklärung hierfür ist darin zu suchen, daß der unerfahrene und unvorsichtige Flieger die Maschine überzieht, um ein in gleicher Höhe befindliches Hindernis zu überfliegen. Richtiger ist es, die Maschine eher etwas zu drücken und sie einen Überschuß an Kraft gewinnen zu lassen, den man im Notfall zu einem kleinen Sprung ausnutzen darf. Das Maß der zulässigen Veränderung der horizontalen Lage des Flugzeuges hängt naturgemäß von dem Kraftüberschuß der Maschine ab. Dieser ist, wie wir in den vorangegangenen Ausführungen gesehen haben, außerordentlich verschieden. Der Führer muß seine Maschine kennen, wenn er sie ausnutzen will. Kennt er die Maschine nicht, wird er klüger tun, eine zu weitgehende Vorsicht anzuwenden, als aus mißverstandenen Schneid Experimente zu machen, deren Gefahr er nicht übersehen kann.

Während des Fluges ist für den Flieger nur seine Bewegung zur umgebenden Luftschicht maßgebend. Sein Verhältnis zur Erde darf ihn nur insofern interessieren, als es sich darum handelt, das gesteckte Ziel zu erreichen. Seine Bewegung zur Luft kann nun der Flieger unmittelbar mit dem Auge nicht wahrnehmen, da die Luft ein unsichtbares Element ist. Hierin liegt die Hauptschwierigkeit des Fliegens. An Stelle des Auges muß nun das Gefühl und das Instrument treten. Das Gefühl für die Gleichgewichtslage ist anscheinend im Menschen sehr verschieden ausgebildet. Die Mehrzahl der Flugzeugführer, die angeblich nur nach ihrem Gefühl die Maschine steuern, verlieren ihre Sicherheit, wenn sie längere Zeit in Wolken fliegen müssen. Dies kann als Beweis dafür angenommen werden, daß eben diese Führer bei der Steuerung des Flugzeuges doch ihr Verhältnis zum Horizont unwillkürlich beobachten. In der Nacht geben die Sterne dem Führer den gewünschten Anhalt. Fallen diese aus und ist auch die Sicht nach unten unmöglich, so treten beim Nachtflug dieselben Schwierigkeiten auf wie beim Flug in den Wolken. Von einzelnen besonders Begnadeten abgesehen, brauchen wir also zur Steuerung des Flugzeuges einen Anhalt an dem natürlichen Horizont. Ist uns dieser genommen, müssen Instrumente uns den Ersatz liefern. Das Fliegen nach Instrumenten bedarf besonderer Übung. Auch dies ist keine Kunst, aber es muß sorgfältig erlernt werden. Hierzu gehört eine

dauernde Beobachtung der Instrumente unter normalen Verhältnissen, damit man in der Lage ist, im Falle der Not sie richtig zu benutzen.

Will der Führer die Flugrichtung ändern, so muß er das Flugzeug eine Kurve beschreiben lassen, die um so steiler werden soll, je enger sie geflogen wird. Die innere Fläche erhält bei der seitlichen Richtungsänderung weniger Fahrt, ihr Auftrieb sinkt. Damit verändert sich die Druckmittelpunktage. Dieser Änderung muß durch die Neigung der Maschine Rechnung getragen werden.

Bei Übergang aus einer Luftschicht in die andere ist das Trägheitsmoment zu berücksichtigen. Steigt z. B. die Maschine aus der Luftschicht einer starken Gegenströmung in die Schicht einer mit dem Flugzeug gleichlaufenden starken Strömung, so hat es im Verhältnis zu dieser im ersten Augenblick eine sehr viel geringere Bewegung, die selbstverständlich sehr schnell auf die frühere Höhe kommt. Immerhin kann bei sehr unruhiger Luft dieser Umstand zu einer wesentlichen Beeinträchtigung der Steigleistung führen.

Der größte Prozentsatz der Brüche ereignet sich erfahrungsgemäß bei der Landung. Auch hier liegt die Schwierigkeit, umgekehrt wie beim Start, in dem Übergang von der Bewegung zur Luft in die Bewegung zur Erde. Grundsätzlich landet man deshalb auch wieder gegen den Wind, damit die Geschwindigkeit zur Erde gleich der Eigengeschwindigkeit des Flugzeuges, weniger der Strömungsgeschwindigkeit des Windes ist.

Das Fliegen erlernt der Mensch dadurch, daß er in einem mit Doppelsteuer versehenen Flugzeug mit einem durchgebildeten Flieger fliegt und hierbei die Steuerbewegungen mitfühlt. In der ersten Zeit des Flugwesens erfolgte die Ausbildung derart, daß dem Anfänger theoretisch das Fliegen erklärt wurde und dieser theoretischen Unterweisung alsdann eine praktische Ergänzung dadurch erfolgte, daß man den Anfänger mit einer Maschine auf dem Boden rollen ließ. Beherrschte er anscheinend genügend die Steuerbewegungen, so

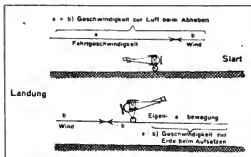


Abbildung 40.

Start und Landung.

überließ man ihn bereits bei seinem ersten Fluge seinem Schicksal. Diese Methode hatte zweifellos den Nachteil, daß sie zu verhältnismäßig viel Unfällen führte. Ihr Vorteil aber bestand darin, daß der Schüler im eigensten Interesse zu einer weit intensiveren Beschäftigung mit der Materie im Geiste veranlaßt wurde. Das ist aber eine wesentliche Forderung, die an den Flugzeugführer gestellt werden muß. Auf die Dauer und unter schwierigen Verhältnissen wird schließlich doch nur derjenige ein guter Führer sein, der die Eigenart der Maschine und des Luftmeeres mit dem Verstande erfaßt hat und seine Erkenntnis schnell und richtig zu nutzen weiß.

Das Fliegen ist, abgesehen von seiner großen praktischen Bedeutung, ein hervorragendes Erziehungsmittel, das den Menschen wie kein anderer Sport zur Selbstbeherrschung, zur Konzentration der Gedanken und zur Aufmerksamkeit erzieht. Darin liegt die erzieherische Wirkung des Fliegens, daß der Flieger für große Unachtsamkeiten die Todesstrafe zu gewärtigen hat.

10. NAVIGATION

Es ist für den Luftfahrer leicht, seinen Weg zu finden, solange die Erde unter ihm sichtbar ist, sei es bei hellem Tageslicht oder in schöner Mondscheinnacht. Auch in mondloser Sternennacht wird er mit Hilfe von Wasserflächen, Flüssen und Städten die Orientierung nach dem Boden halten können. Schwieriger ist die Aufgabe auf dem freien Meer außerhalb der Küstensicht, über Wolken oder bei bedeckter Nacht. Der Kompaß allein genügt hier nicht. Er zeigt wohl die Richtung, aber nicht die Abtrift, die das Luftfahrzeug durch die herrschenden Luftströmungen erleidet. Die Bewegung des Flugzeuges erfolgt zu der es umgebenden Luft; sein Verhältnis zur Erde, das für die Navigation maßgebend ist, richtet sich nicht allein nach der Bewegung des Flugzeuges, sondern auch nach dem Verhältnis der Bewegung der Luftschicht, in der sich das Flugzeug befindet, zum Erdboden. Für die Navigation ist also die Kenntnis der eigenen Bewegung und der umgebenden Luftschicht erforderlich. Die Kenntnis der eigenen Bewegung erhält der Flieger durch mehr oder weniger ungenau anzeigende Geschwindigkeitsmesser und durch die Erfahrung mit seiner Maschine. Die Kenntnis der Bewegung der umgebenden Luftschicht muß ihm von außen zugetragen werden. Praktisch geschieht das auf die Weise, daß der Flieger vor dem Start Windmessungen aus allen für ihn in Betracht kommenden Höhenschichten und möglichst von mehreren auf seinem Wege liegenden Orten erhält.

Soll der Flieger von A. nach B. fliegen, so stellt er zunächst die Entfernung und den Kompaßkurs unter Berücksichtigung von Deklination und Deviation fest. Alsdann berechnet er nach der ihm gegebenen Windmessung die Abtrift und den Vorhaltewinkel, den er wählen mußte, um sein Ziel zu erreichen. Hierbei errechnet er auch gleichzeitig die Dauer des Fluges, und kann demzufolge die mitzunehmende Betriebsstoffmenge bestimmen. In der nachstehenden Skizze ist diese einfachste Art der Navigation dargestellt.

Es ist einleuchtend, daß diese Navigation recht grobe und ungenaue Ergebnisse liefert, deren Fehler mit jeder Änderung der Luftströmungen wachsen. Hat der Flieger zeitweilig die Sicht nach dem Boden frei, so kann er seinen Kurs berichtigen. Funkentelegraphisch dem Flugzeug während des Fluges gegebene Windmessungen von den von ihm überflogenen Orten tragen weiter zu einer Verminderung der Navigationsfehler bei. Die Mängel dieses Navigationssystems sind in der Praxis kaum störend empfunden worden, weil die zutage tretenden Fehler bei der Kürze der Flüge weniger ins Gewicht fielen. Die Riesenflugzeuge, die zu weiteren Flügen verwendet wurden, bedienten sich zur Navigation der funkentelegraphischen Peilung. Ihr F. T.-Ruf wurde von mehreren voneinander entfernten Empfangsstationen aufgenommen, die in verschiedenen Winkeln zur Fluglinie lagen. Mit Hilfe einer besonderen Vorrichtung stellten diese Stationen den Winkel fest, aus dem der Ruf kam, und gaben diesen Winkel an eine Zentralstation, die nunmehr aus den Schnittlinien der verschiedenen Winkel den Ort des Flugzeuges bestimmte und diesen dem Flugzeug mitteilte. Der Nachteil dieses Systems beruht darin, daß bei einem regen Luftverkehr die funkenden Flugzeuge sich gegenseitig stark stören würden. Zweckmäßiger erscheint deshalb das Verfahren, das von den Luftschiffen angewandt wurde, und das

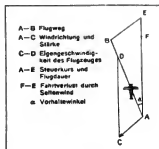


Abbildung 41.

insofern sich von dem eben geschilderten System unterscheidet, als hier die Peilung der Erdstationen vom Luftschiff aus erfolgt. Die Erdstationen senden also und das Luftfahrzeug hört und mißt den Winkel.

Die einwandfreie Navigation im Luftfahrzeug bei ungünstigen Wetterlagen wird zunächst nur mit Hilfe der Funktelegraphie möglich sein. Die Anwendung des Sextanten stößt im Luftfahrzeug auf ungewöhnliche Schwierigkeiten, da die Messungen durch die dauernde Vibration mit genügender Genauigkeit nicht durchgeführt werden können. Die praktische Regelung der Navigation dürfte in der Art erfolgen, daß das Netz der Funkenstationen wesentlich ausgebaut wird und die einzelnen Stationen mit verschiedenen Kennungen in regelmäßigen Zeitabständen ihre Wettermeldungen funken. Die Flugzeuge nehmen diese Meldungen auf und peilen gleichzeitig die Stationen an. Zu diesem Zweck müssen die Flugzeuge mit einer kleinen drehbaren Rahmenantenne ausgerüstet werden.

Die zahlreichen optischen Signalstationen, die während des Krieges eingerichtet waren und aus Scheinwerfern, Blink- und Drehfeuern, farbigen Leuchtkränzen und Leuchtpurkanonen bestanden, werden in der Art der Seezeichen zur Bezeichnung der Luftwege ausgebaut werden. Für den ständigen Friedensbetrieb ist es jedoch nötig, daß in dies Nachrichtennetz ein wohldurchdachtes System hineingebracht wird, das auch die Veranlassung zur Schaffung besonderer Luftkarten sein dürfte.

Die Grundlagen der Navigation sind naturgemäß die rechtzeitigen und vollständigen Wettermeldungen. Der Wetterdienst ist mit der Luftfahrt untrennbar verbunden, er ermöglicht erst eine weitgehende praktische Anwendung derselben. Sein Ausbau oder richtiger Wiederaufbau ist deshalb für das Flugwesen eine Lebensfrage.

Die Aufgabe der Navigation ist es nicht allein, das Fahrzeug an einen bestimmten Ort zu bringen, sondern es auf dem günstigsten, d. h. im allgemeinen kürzesten Wege dorthin zu bringen. Die Navigation ist also auch von nicht zu unterschätzender wirtschaftlicher Bedeutung. Von ihrer geschickten Durchführung wird der Betriebsstoffverbrauch pro Kilometer Nutzstrecke stark beeinflußt werden. Für die Betriebssicherheit aber ist ihre Bedeutung noch höher zu bewerten. Zur geschickten Navigation gehört eine auf langer Erfahrung beruhende Kenntnis des Luftmeeres.

## 11. FLUGZEUG UND LUFTSCHIFF

Das Luftschiff ist vermöge der ihm durch seine Gasfüllung gegebenen Auftriebskraft unabhängiger von seiner Maschinenanlage als das Flugzeug, dem seine Auftriebskraft allein durch die Eigenbewegung gegeben wird. Diese Eigenart verleiht dem Luftschiff eine im Vergleich zum Flugzeug überlegene Betriebssicherheit. Dieser Überlegenheit muß so lange eine praktische Bedeutung zuerkannt werden, bis es gelungen ist, dem Flugzeuge die Fähigkeit zu geben, ohne sichtbaren natürlichen Horizont sicher zu fliegen und auch bei hohem Bodennebel sicher zu landen. Die Wertung dieser dem Luftschiff zurzeit eigenen Überlegenheit kann von sehr verschiedenem Standpunkt aus erfolgen. Der Flug ohne natürlichen Horizont ist für das Luftschiff leichter als für das Flugzeug, obwohl auch nicht völlig gefahrlos. Eintretende Maschinendefekte, die ihrer Art nach das Flugzeug zur Landung zwingen, rufen beim Luftschiff an sich diese Wirkung noch nicht hervor. Dieses kann sich in der Luft halten, den Maschinendefekt beheben und den Flug fortsetzen. Selbstverständlich verliert aber das Luftschiff durch eintretende Maschinendefekte, je nach dem Umfang derselben, einen Teil seiner Eigenbewegung bzw. diese Bewegung vollständig. Es wird nun je nach der Stärke des eingetretenen Verlustes abhängiger von den herrschenden Luft-

strömungen werden, die nach dem Maß ihrer Stärke und der Eigenbewegung des Schiffes dieses mehr oder weniger in Richtung der Windströmungen abtreiben. Bei starkem Winde oder vollständigem Stillstand aller Motoren wird es auch nach gelungener Reparatur der Motoren nicht immer möglich sein, eine günstige Landungsstelle zu erreichen. Die eingetretenen Luftschiffverluste sind zum Teil auch tatsächlich auf das Abtreiben der Schiffe nach Defektwerden der Maschinenanlage zurückzuführen. Die überlegene Geschwindigkeit der Flugzeuge bedeutet zweifellos eine Erhöhung der Betriebssicherheit, da das Flugzeug für die Zurücklegung derselben Strecke nicht so lange der Gefahr ausgesetzt ist wie das langsamere Luftschiff. Dieser Umstand gewinnt an praktischer Bedeutung bei schwankenden, gefahrvollen Wetterlagen oder bei eingetretenem Defekt irgendwelcher Art, die die Flugfähigkeit an sich noch nicht aufhebt, aber die Landung auf dem nächsten geeigneten Platz wünschenswert erscheinen läßt. Die örtliche Vereinigung von Gas, Benzin und Explosionsmotor im Luftschiff stellt schließlich noch eine höhere Gefahr dar als die Vereinigung von Motor und Benzin allein, wie wir sie im Flugzeug haben. Dieser Nachteil des Luftschiffes wird behoben sein, wenn es gelingt, das Wasserstoffgas durch Heliumgas zu ersetzen. Zurzeit dürfte der Vergleich der Betriebssicherheit dieser beiden Luftfahrzeuge wohl zu dem Ergebnis führen, daß für sehr lange Strecken, die keine Notlandungsmöglichkeiten bieten, dem Luftschiff der Vorzug gebührt.

Eine zweifellose Überlegenheit besitzt das Luftschiff in seinem wesentlich stärkeren Auftrieb, mithin also in seiner größeren Tragfähigkeit. Im Flugzeug ist vorläufig sehr viel eher die Grenze erreicht, wo die für die Durchführung des Fluges selbst erforderlichen Gewichtsmengen (Besatzung, Betriebsstoffe, Hilfsgerät) die gesamte Tragfähigkeit in Anspruch nehmen. Ozeanüberquerungen bedeuten bei unserem heutigen Stand für Flugzeuge Rekordleistungen, die wirtschaftlich unmittelbar nicht ausgenutzt werden können. Luftschiffe vermögen jedoch bei derartig langen Fahrten noch recht reichliche Frachten mitzunehmen. Der Aktionsradius der Luftschiffe ist also zurzeit wesentlich größer als der der Flugzeuge. Hiermit wird der zunächst wichtigste Punkt der ganzen Frage dahin entschieden, daß augenblicklich das Luftschiff für sehr weite Strecken noch unentbehrlich ist.

Wie aber wird sich das Verhältnis in der Zukunft gestalten? Der Aktionsradius der Flugzeuge wird zweifellos erheblich wachsen und dürfte früher oder später eine Ausdehnung erfahren, die die Überwindung jeder auf der Erde praktisch vorkommenden Strecke ermöglicht. Die Wirtschaftlichkeit des Fahrzeuges wird dann bei der Wahl den Ausschlag geben. Mit der bei dem wirtschaftlichen Vergleich der verschiedenen Flugzeugtypen angewendeten Formel des Betriebsstoffverbrauchs pro kg/km reiner Fracht kommen wir hier nicht aus. Zu dem Verbrauch der Motorenbetriebsstoffe kommt beim Luftschiff der Gasverbrauch hinzu. Die höhere Geschwindigkeit des Flugzeuges bedeutet auch hier bei gleichem Betriebsstoffverbrauch pro kg/km einen Gewinn, da ja der Hauptvorzug des Luftfahrzeuges an sich in seiner hohen Geschwindigkeit liegt. Die Anschaffungskosten, die Pflegekosten und die Lebensdauer sind bei dem heute vorliegenden Material noch nicht in geeigneter Weise zu vergleichen, um zu einem einwandfreien Schluß zu kommen. Wir dürfen aber wohl annehmen, daß er nicht zu Ungunsten des Flugzeuges ausfallen wird.

Die Entwicklung der Luftschiffe hat das Ergebnis gezeigt, daß die Wirtschaftlichkeit der Schiffe mit ihrer Vergrößerung stark steigt. Wie dieses Verhältnis bei Flugzeugen liegt, läßt sich noch nicht mit Sicherheit feststellen. Zunächst wächst wohl auch hier die Wirtschaftlichkeit, wenn auch nicht in gleichem Maße wie bei Luftschiffen.

Es ist aber zweifelhaft, bis zu welchem Maße der Vergrößerung das Wachsen der Wirtschaftlichkeit anhalten wird.

Das Luftschiff unterscheidet sich aber in einem Punkt vom Flugzeug, der die Verwendungsmöglichkeit des Luftschiffes und seine Wirtschaftlichkeit stark beeinträchtigt. Das Luftschiff ist angewiesen auf sehr komplizierte Hallenanlagen, die den Luftschiffverkehr mit so hohen Kosten belasten, daß nur ein dauernder, regelmäßiger und reger Verkehr diese Belastung tragen kann. Die hohen Hallen mit ihren großen Spannweiten erfordern einen sehr großen Aufwand an Arbeit und Material. Die Notwendigkeit der Gasnachfüllungen setzt bei dauerndem Betrieb das Vorhandensein einer Gasanstalt voraus.

Die Eigenart des Luftschiffes läßt dieses nur für den Fernverkehr auf festen, regelmäßig befahrenen Linien geeignet erscheinen und scheint ihm hier für die nächste Zeit den Vorrang zu sichern. Auf allen kurzen oder durch Zwischenlandungen häufiger unterbrochenen Strecken und für den vorübergehenden Gelegenheitsverkehr ist dagegen das Flugzeug überlegen. Für den Luftverkehr in weniger entwickelten Ländern dürfte auch das anspruchslosere Flugzeug den Vorzug verdienen.

Zurzeit müssen sich Luftschiff und Flugzeug ergänzen und können sich zu gemeinsamer Arbeit verbinden. Ob später ein scharfer Konkurrenzkampf entsteht, hängt von der zukünftigen Entwicklung ab, die Riesenflugzeug und Luftschiff nehmen werden.

Entwicklung der Luftschiffe

Jahrgang	Gasinhalt cbm	Pferdestärke P.S.	Geschwindigkeit km	Nußlast kg
1900	11 300	30	28	—
1905	12 200	210	44	2 800
1909	16 000	370	56	4 200
1911	17 800	450	75	7 000
1913	27 000	720	75	11 100
1914	22 470	630	85	9 200
1915	24 900	630	85	11 100
1915	35 800	960	95	17 900
1916	55 200	1 440	103	32 500
1917	68 500	1 200	103	52 500
1918	62 200	1 820	131	44 500
1919	20 000	1 040	132	10 000

AUG 10 1939





