

DIE
TECHNIK
IM ZWANZIGSTEN
JAHRHUNDERT



DIE TECHNIK
IM
WELTKRIEGE

57/III 206

85

B 19
m

Archiwum



422





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

DIE TECHNIK IM ZWANZIGSTEN JAHRHUNDERT

UNTER MITWIRKUNG HERVORRAGENDER VERTRETER 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



—○—
1921. 106.

BRAUNSCHWEIG 1921 / VERLAG VON GEORG WESTERMANN



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

Copyright 1921
by Georg Westermann,
Braunschweig.

Jan. 18182

INHALTSVERZEICHNIS

Tunnelbau. Von Dolezalek Seite 1—56

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

	Seite		Seite		Seite
Tunnel Reggio-Messina . . .	40	Straßenbahntunnel unter		Fangedämme	50
Tunnel Schottland-Irland . .	40	dem Hafen von Boston . .	45	Senkkastengründungen . . .	50
Tunnel Kopenhagen-Malmö	40	Tunnel New Jersey-Man-		Harlemfluß-, Detroitfluß-	
Tunnel unt. dem Firth of Forth	40	hattan, Manhattan-Queens	45	Untertunnelung	50
Tunnel unter dem Bosphorus	40	Ost-Boston-Tunnel	46	La-Salle-Tunnel unter dem	
Brustschild, Vollschild, Halb-		Tunnelbau mit Schildvortrieb	46	Chikagofluß	51
schild	41	Seine-Tunnel	46	Seine-Unterführungen . . .	51
Luft-, Sicherheits-, Notschleu-		Wasserpressen	47	Pariser Untergrundbahnen .	53
sen, Nottüren	42	Elbetunnel bei Hamburg . .	47	Senkkasten	53
Taucherglocken	43	Spreetunnel bei Berlin . . .	49	Untertunnelung des Wiener	
Tunnel unter dem St.-Clair-		Tunnel für den Entwässe-		Donaukanals	54
Fluß in Kanada	43	rungskanal der Stadt Kiel	49	Das Gefrierverfahren	54
Belmont-Tunnel unter dem		Tunnel bei Schlüchtern . . .	50	Einblasen von kalter Luft . .	55
East River in Neuyork . . .	44	Tunnel für d. Entwässerungs-		Versuchstunnel unter dem	
Tunnel unter der Themse . .	44	kanäle in Hamburg	50	East River in Neuyork . .	56

Artillerietechnik. Von Karl Becker Seite 57—116

	Seite		Seite		Seite
Einleitung	57	Ermittlung der Auffallwinkel		Proßen	94
Innere Ballistik	57	und der Endgeschwindig-		„Proßöse“, „Proßhaken“ . .	94
Die physikalischen Vor-		keiten	74	Rohrwagen	95
gänge beim Schuß	57	Allgemeines über den		Eisenbahngeschütz	95
Feldkanone	58	Verlauf der Geschöß-		Einteilung der Geschütze	95
Anfangsgeschwindigkeit . . .	58	bahn	75	Flachfeuergeschütze	96
15-cm-Kanone	58	Die parabolische Theorie	75	Haubitzen	96
Treibmittel	58	Der Geschößflug im		Feldgeschütze	97
Führungsring	58	luftleeren Raum als		Infanteriegeschütze	97
Eingangszündung	58	Zentralbewegung	77	Leichte, schwere Feldhaubitzen	98
Waffenknall	59	Folgen und Wesen des		Schwere Artillerie des Feld-	
Geschößknall	59	Luftwiderstandes	78	heeres	98
Der Höchstgasdruck und		Die verschiedenen Luft-		Belagerungsgeschütze	99
der Druckverlauf	60	widerstandsgesetze	79	Festungs- u. Küstengeschütze	100
Das innerballistische Problem	60	Differentialgleichungen		Schiffsartillerie	101
Das Meßei	60	der Geschößbewegung		Flugabwehrartillerie	102
Die Stauchung	60	im luftgefüllten Raume	81	Gebirgsgeschütze	103
Der Rohrrücklaufmesser . . .	61	Die Lösung der Diffe-		Minenwerfer	103
Die Verbrennungstem-		rentialgleichungen	82	Infanteriegeschütze	103
peratur	61	Über die Streuungen	84	Die Richtmittel	103
Die Bewegungserschei-		Einseitige Geschößab-		Das direkte Richten	104
nungen der Waffe	62	weichungen	87	Das indirekte Richten	106
Rückstoß und Rücklauf . . .	62	Die Seitenabweichung des		Die unabhängige Visierlinie	107
Verschwindlafetten	64	rotierenden Langgeschosses	87	Das mittelbare Einrichten	
Rohrrücklaufgeschütze	65	„Poisson-Effekt“, „Magnus-		einer Batterie	108
Rücklaufbremse	66	Effekt“ u. „Kreiselwirkung“	88	Die Erkundungs- und	
Rohrvorlaufgeschütze	66	Der Einfluß der Erddrehung	90	Beobachtungsmittel	108
Der Drall und die Drehung		Schiefer Radstand	90	Schallerkundung	109
des Rohres als Gegen-		Die Tageseinflüsse	90	Nachrichtennittel	110
wirkung gegen den Drall	67	Das Geschützmaterial	91	Artilleriefahrzeuge	110
Die verschiedenen Rohr-		Das Geschützrohr	91	Der Schießbedarf	110
schwingungen	69	Künstliche Metallkonstruktion	91	Die Treib- und Spreng-	
Äußere Ballistik	69	Mantelringrohrkonstruktion	92	mittel	110
Ermittlung der ballisti-		Schnelladeverschlüsse	93	Das Schwarzpulver	110
schen Elemente durch		„Halbautomatischer“ Ver-		Die rauchschwachen Pulver	110
den Versuch	70	schluß	93	Die Laborierung der Pulver	110
Messung der Geschwindigkeit	70	„Liderungsteile“	94	Die Sprengmittel	111
Der Abgangswinkel	73	Lafetten	94	Die Artilleriegeschosse	
Die Gesamtschußweite . . .	73	Blocklafetten, Pivotlafetten,		und ihre Wirkung	112
Die Totalflugzeit	73	Sockellafetten	94	Granaten	112

Schrapnells	Seite 113	Brandgranaten	Seite 114	Zeitzündler	Seite 115
Kartätschen	114	Leuchtgeschosse	114	Brennzünder	115
Sondergeschosse	114	Nebelgeschosse	114	Doppelzündler	115
Panzergeschosse	114	Zünder	114	Die Zugkräfte der Ar-	
Gasgeschosse	114	Aufschlagzündler	114	tillerie	116

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

Entwicklung des Gas-	Seite	Die Gaswerfer	Seite 128	Der feindliche Gasschutz	Seite 150
kampfes	119	Artillerie-Gasschießen	129	Der englische Gasschutz	150
Die Gaskampfstoffe	121	Gasminen-Schießen	138	Der französische Gasschutz	151
Phosgen	123	Brandgranaten	138	Der russische Gasschutz	152
Giftstoffe	124	Künstliche Vernebelung	140	Rumänisches Gasschutzgerät	153
Die verschiedenen Arten		Verhalten bei feindlichen		Die Sauerstoff-Schutzgeräte	153
des Gaskampfes	125	Gasangriffen	141	Organisation des Gas-	
Gas-Handgranaten	125	Die Gasabwehrwaffen	144	schutzes	156
Das Blaseverfahren	125	Die deutsche Maske	147	Frontwetterdienst	158

Das Unterseeboot. Von Marinebaurat Meisner Seite 159—242

Allgemeines	Seite 159	Petroleummotor	Seite 184	Die Nege	Seite 214
Konstruktion	161	Dieselmotoren	184	Die verschiedenen Arten	215
Ein- und Zweihüllenboote	164	Die Blei-Sammler	191	Hafenboote	218
Die Reglertanks	172	Andere Antriebsarten	193	Das Hochsee-U-Boot	220
Die Trimm tanks	173	Hilfseinrichtungen	195	Das B-Boot	221
Die Ausgleich tanks	173	Kreiselkompaß	200	C-Boote	222
Untertrieb tanks, Brennstoff-		Der Kompressor	202	Größere Minenboote	222
tanks	174	Das Gebläse	202	Unterseekreuzer	222
Sicherheitseinrichtungen	175	Die Funkentelegraphische Ein-		Die Handels-U-Boote	223
Haupt- und Hilfslenzpumpen	176	richtung	203	Die Handhabung	225
Der Sicherheitskiel	177	Die Hochapparate	205	Das Tauchen	225
Die Tauchretter	177	Die Lebensbedingungen der		Fahren unter Wasser	229
Schleusen	178	Besatzung	206	Angrundlegen	230
Hebehaken	179	Die Bewaffnung	208	Auftauchen	231
Hebeschiffe	180	Der Torpedo	208	Überwasserfahrt	231
Raumeinteilung u. Einrichtung	180	Die Mine	210	Der U-Boot-Krieg	232
Torpedoraum, Maschinenraum	183	Artilleristische Bewaffnung	211	Der Aufbau der deut-	
Maschinenanlage	183	Die Verteidigungsmittel	213	schon U-Boot-Flotte	240

Torpedowesen. Von Oberingenieur Zschorsch Seite 243—282

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

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

Einleitung	Seite 283	Beobachtungsminen	Seite 283	Die Mine im Russisch-	Seite
Das Wesen der Seemine	283	Abhängige Kontaktminen	284	Japanischen Kriege	288
Abhängige und unabhängige		Die geschichtliche Ent-		Die neuzeitige Entwick-	
Minen	283	wicklung	284	lung des Minenwesens	290

	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	Aufriebsentschärfer	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		Nitroglyzerinpulver	327	Di- und Trinitrobenzol	336
von Schieß- u. Spreng-		Gemischte Pulver	328	Nitronaphthalin	336
stoffen	316	Prüfung der Pulver-		Trinitroanisol	336
Energie-Inhalt der wichtig-		sorten	328	Tetranitroanilin	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		Nitroglyzerin	332	Karbonite	337
Explosivstoffe	323	Sprenggelatine	334	Wetterdynamite	337
Schießpulver oder Treib-		Nitrokohlenwasserstoffe und		Flüssige Luft	337
mittel	323	Glyzerin	335	Tabelle ziviler Sprengstoffe	338
Die modernen rauchlosen		Pikrinsäure	335	Literatur für die Schieß- und	
Pulver	325	Trinitrotoluol	336	Sprengstoffe	340

Flugwesen. Von Bentivegni 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 Durchschnitts-		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 Zschorsch: Torpedowesen) zw. Seite 248/249

Torpedoschuß vom Schnellboot, gemalt von Philipp Braumüller

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

Minenexplosion, gemalt von Philipp Braumüller

(zu Kiep: Die Seemine) zw. Seite 304/305

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 Anschmiegen 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 übersetzenden 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

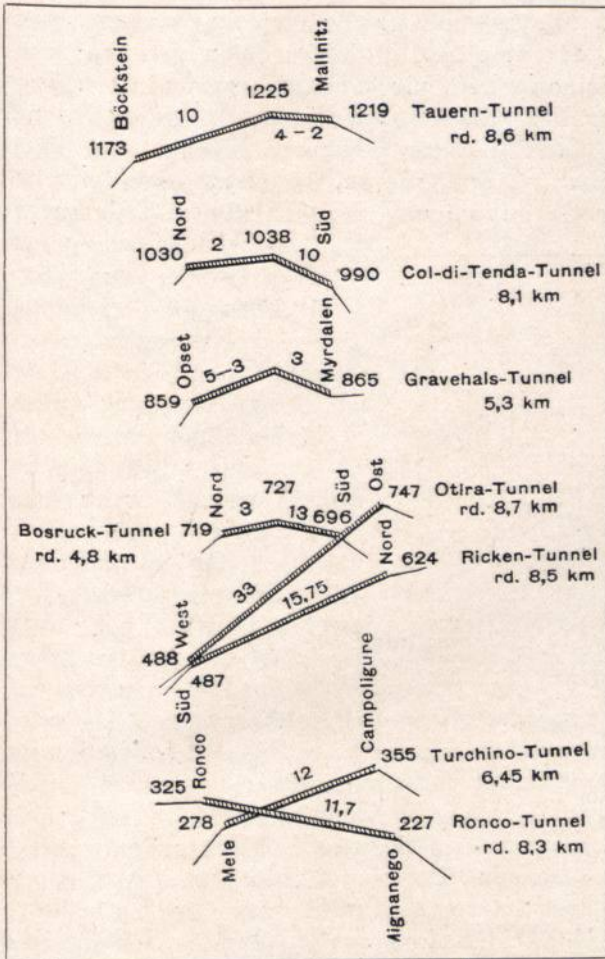


Abbildung 1a.

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 Scheiteltunnel in der Regel gerade Richtung, nur

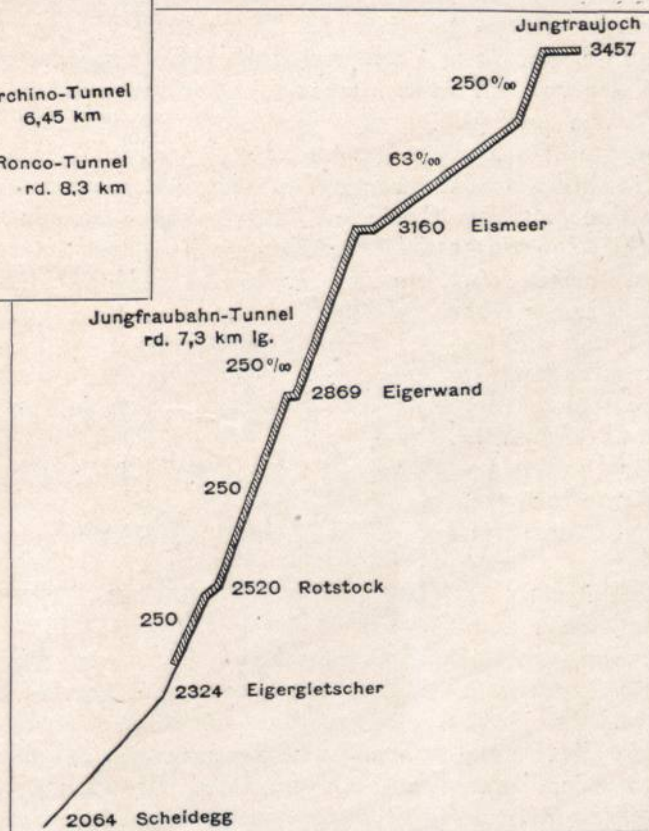


Abbildung 2.

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

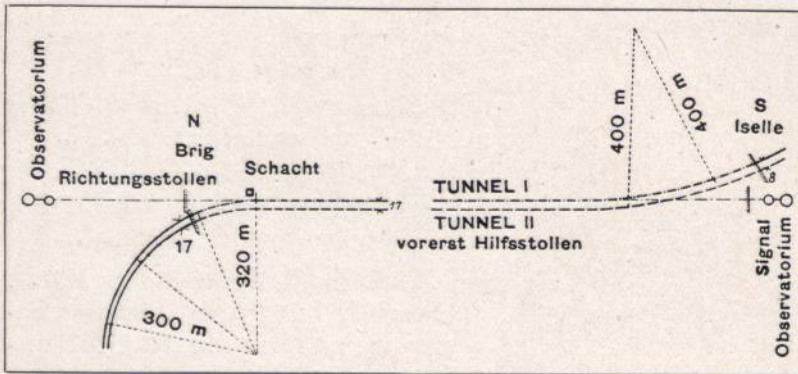


Abbildung 3.

Simplontunnel.

der Lüftungsverhältnisse, auch eine geringere Gesteinswärme erreicht werden können, wie z. B. der aus Abbildung 4a ersichtliche Entwurf für einen etwa 28 km langen Bernhardintunnel zeigt.

Der Tunnel der Jungfraubahn, der tunlichst nahe an die Felswände gelegt

wurde, die stellenweise zur Gewinnung von Aussichtspunkten durchbrochen werden 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.

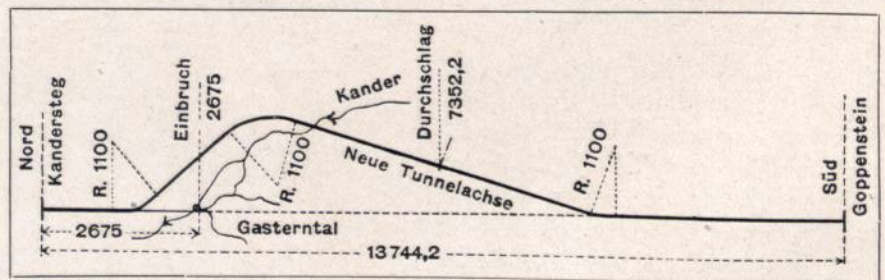


Abbildung 4.

Lötschbergtunnel.

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 Dampftrieb 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 Eingänge 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 wesentlicher Verlängerung der Bauzeit für lange Tunnel besonders ungünstig ist.

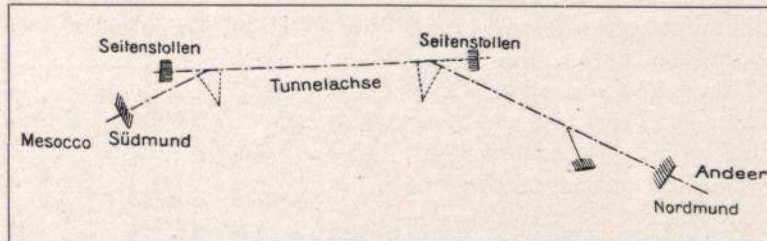


Abbildung 4a.

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.

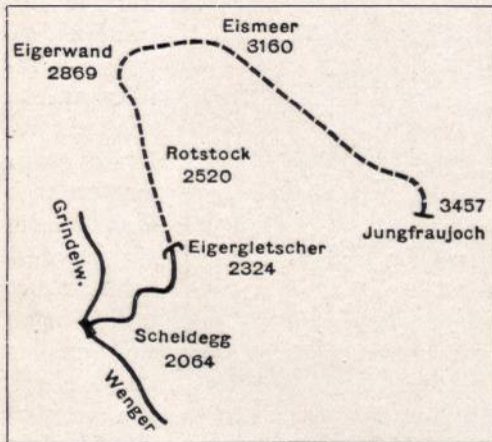


Abbildung 5. Jungfraubahn.

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-

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 Schutzkegels 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 Tunneleingänge 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 Schutzkegel der sogenannten Roten Lawine mittels eines 268 Meter langen Tunnels unterfahren werden, dessen Länge aber kaum als ausreichend er-

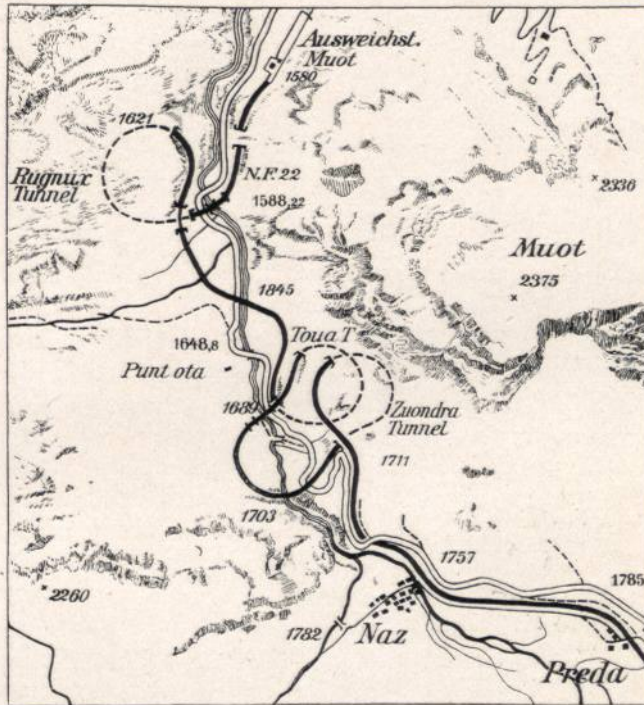


Abbildung 5c.

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.

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 Urserngneis, schwarze Schiefer, Serizitschiefer, Cipollin, auf 7420 m

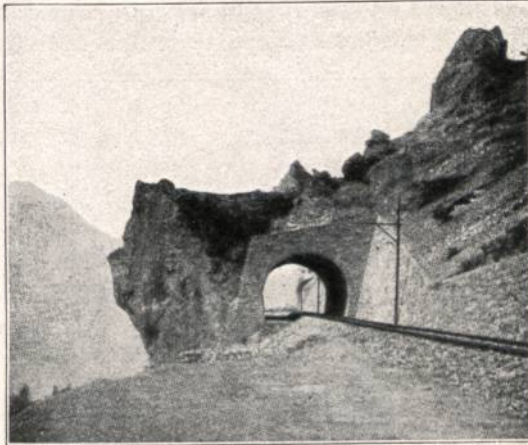


Abbildung 5e.

Lötschbergbahn.

Glimmergneise, Hornblende, auf 3200 m kristallinische Schiefer, Quarzitschiefer, Dolomite durchfährt, fanden sich drei Druckstrecken, von welchen die ungünstige im Abstand 2,7 km vom Nordeingange in Göschenen 300 m unter der Andermatten Ebene im zersetzten und lettig aufgelösten Gneis lag. Es war dreimalige Erneuerung

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 durchweichenden 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 Nordeingang Kandersteg nach dem Längsschnitt des der Bauvergebung zugrunde gelegten Tunnelns, der von Abbildung 9 des nachträglich geänderten Tunnelns abweicht, im Hoch-



Abbildung 5f. Bristenstraße (Schweiz).

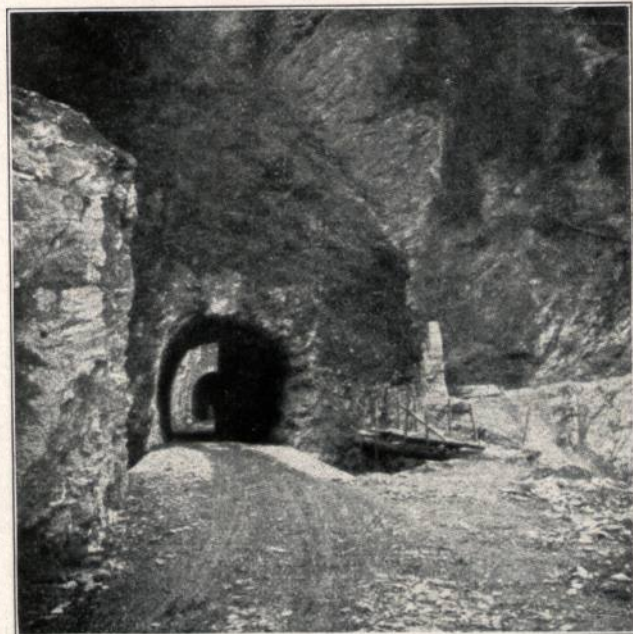


Abbildung 5g.

Samnauer Straße (Schweiz).

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 porphyrtartigen Granitgneis des Tauerntunnels, 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

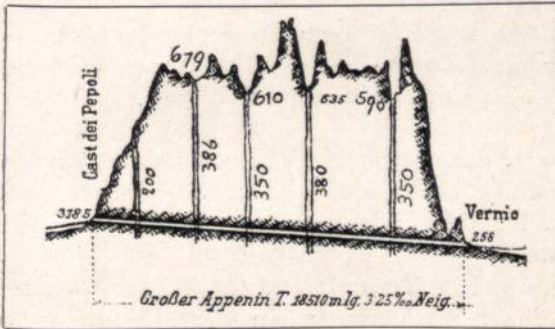


Abbildung 6.

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.

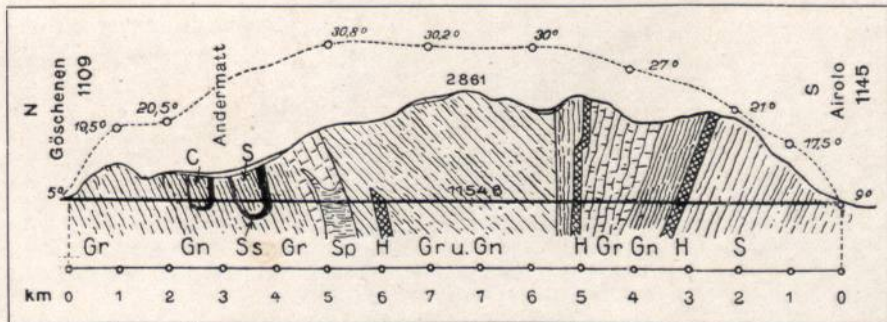


Abbildung 7.

Gotthardtunnel.

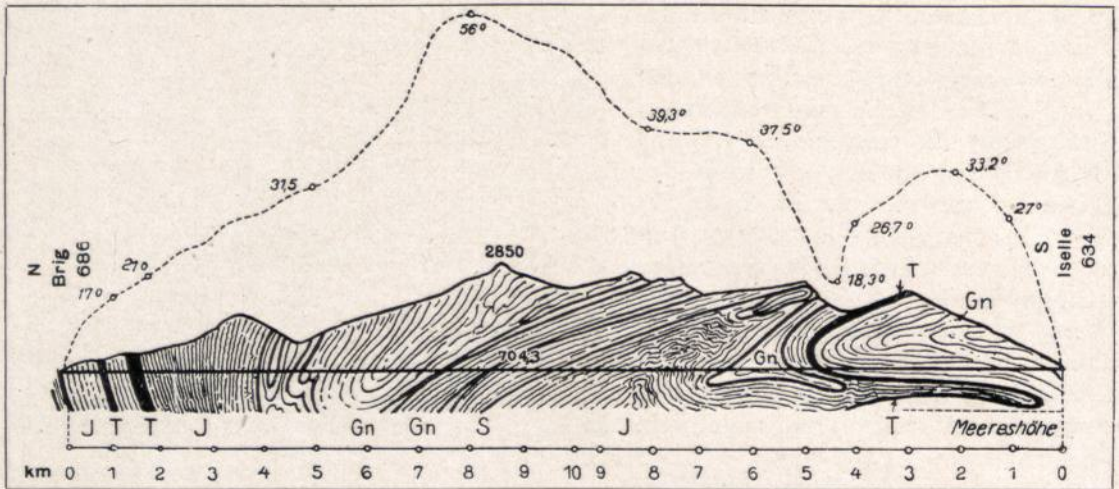


Abbildung 8.

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 monatelang 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 Bosruktunnel (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

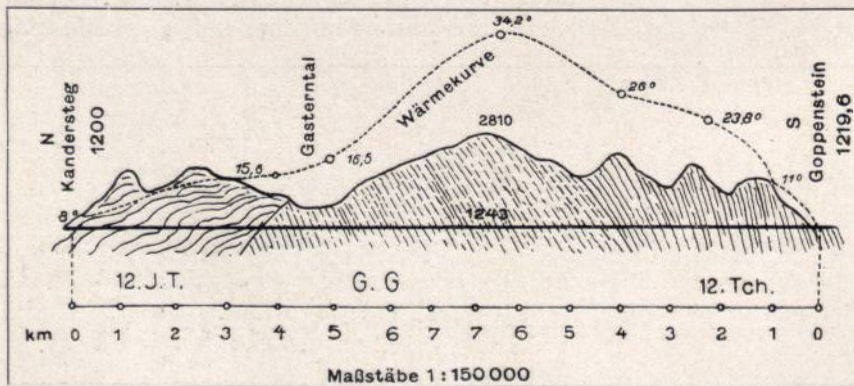


Abbildung 9.

Löttschbergtunnel.

wurden. Nur nach wiederholter Absperrung des überschwemmten Stollens u. Ausführung eines Umgehungsstollens 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

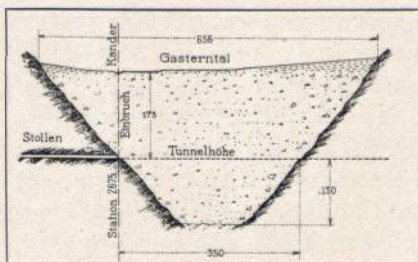


Abbildung 10. Lötshbergertunnel.

und Fertigstellung des Tunnelkanals hören die Schwierigkeiten auf, daher ist auf die rascheste Nachführung des Tunnelkanals besonders zu achten.

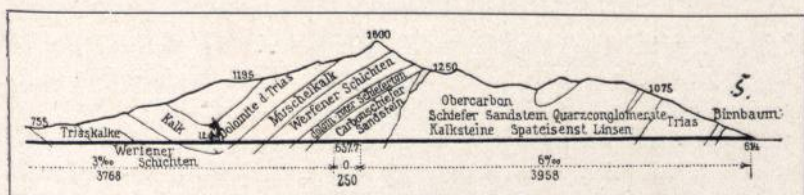


Abbildung 11.

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.

Grenchenbergertunnel.



Tunnels bis auf -3° C zurück, so daß infolge der Kälte elektrische Wärmeeinrichtungen im Tunnel getroffen werden mußten und Arbeiterschwernisse 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 Erschwernisse 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 Vorsichtsmaßregeln Explosionen verursachten, denen 16 und 15 Arbeiter zum Opfer fielen. — Im 8604 Meter langen Ricken-tunnel (Schweiz) entströmten dem Kohlen-sandstein an vielen Stellen

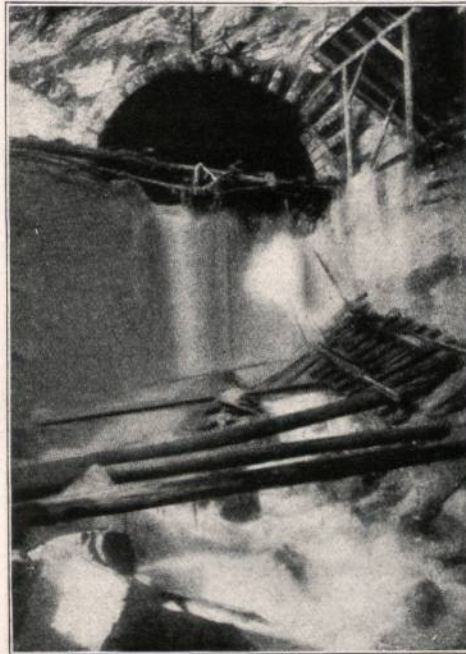


Abbildung 13. Mont d'Or-Tunnel.

von Sicherheitssprengstoffen. 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 Kohlenwasserstoffgase, welche in mächtigen Flammen monatelang brannten und daher bedeutende Erschwernisse 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 Vorsichtsmaßregeln bestehen in guter Lüftung, in Vermeidung offener Lichter und elektrischer Arbeitsmaschinen, in Verwen-

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,

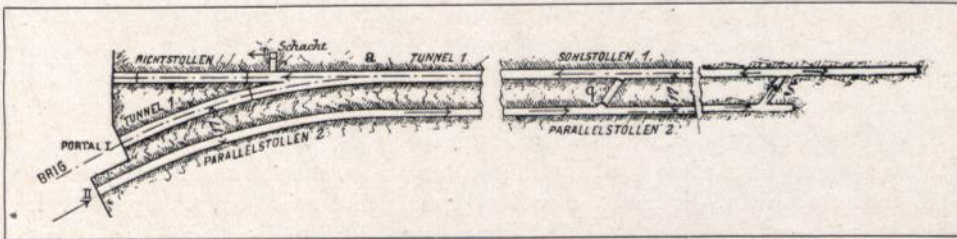


Abbildung 14.

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

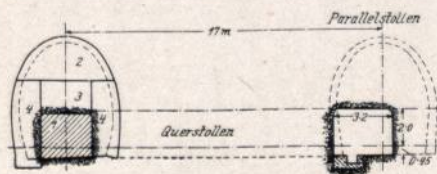


Abbildung 15.

Simplontunnel.

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

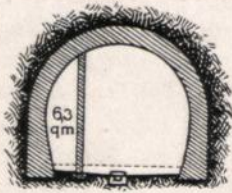


Abbildung 16.
Löttschbergtunnel.

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

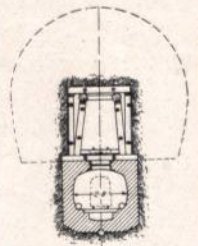


Abbildung 17a.

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) aufgefahren 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.

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

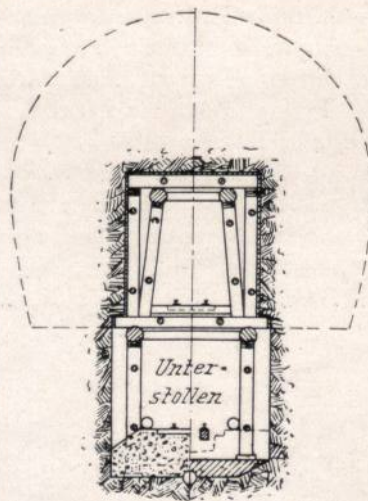


Abbildung 17.

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 Wassersäuledruck 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.

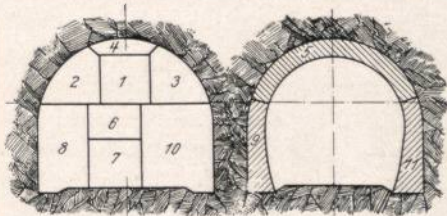


Abbildung 18.

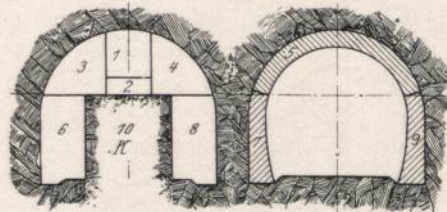


Abbildung 19.

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 Wassersäuledruck 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 Wassersäuledruck 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 Vollausbau 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-

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

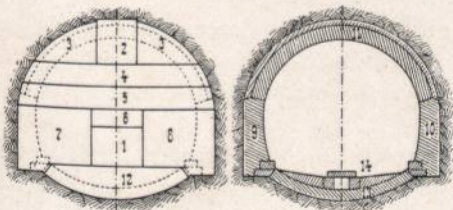


Abbildung 20.

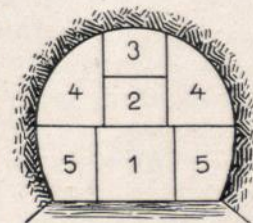


Abbildung 21.

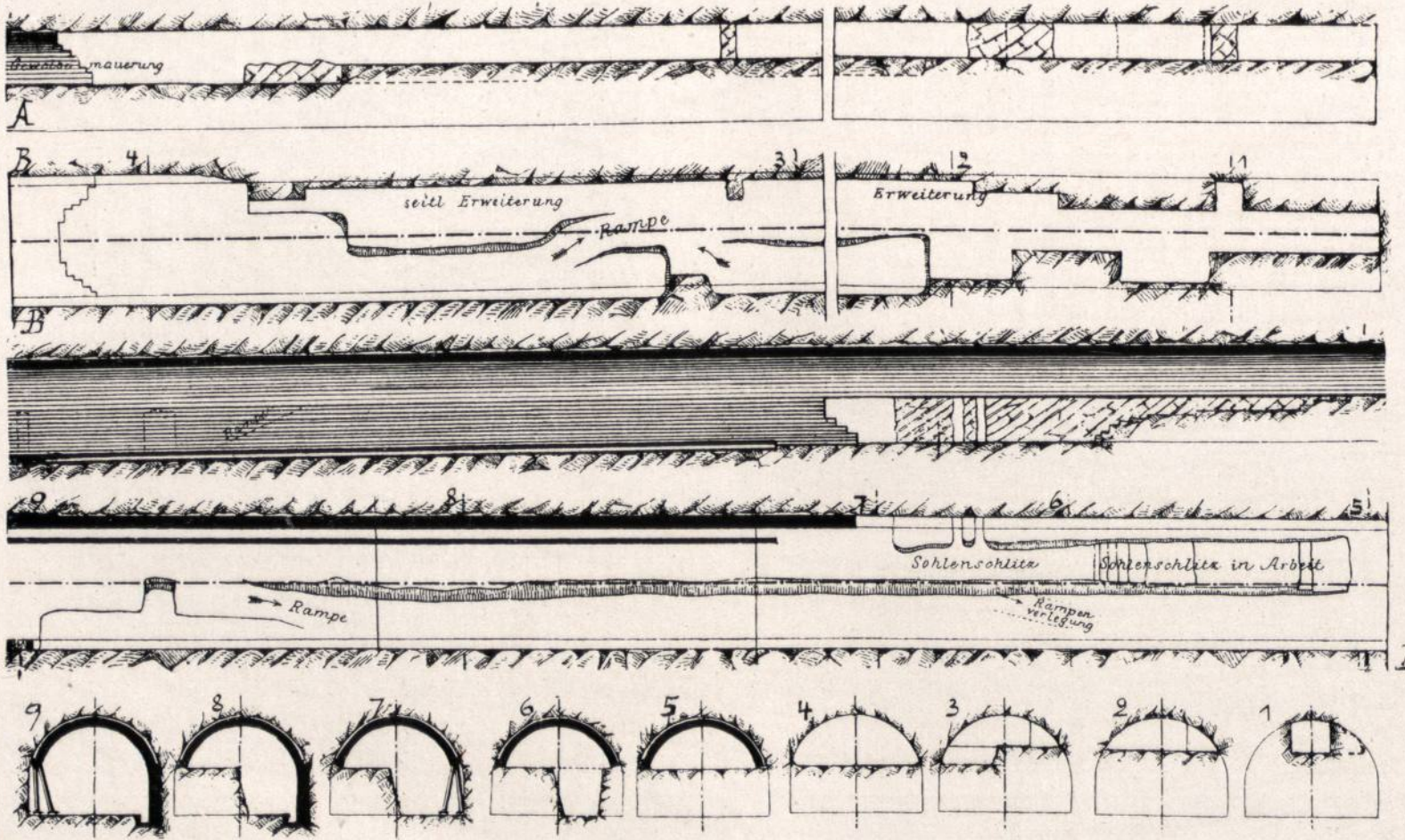
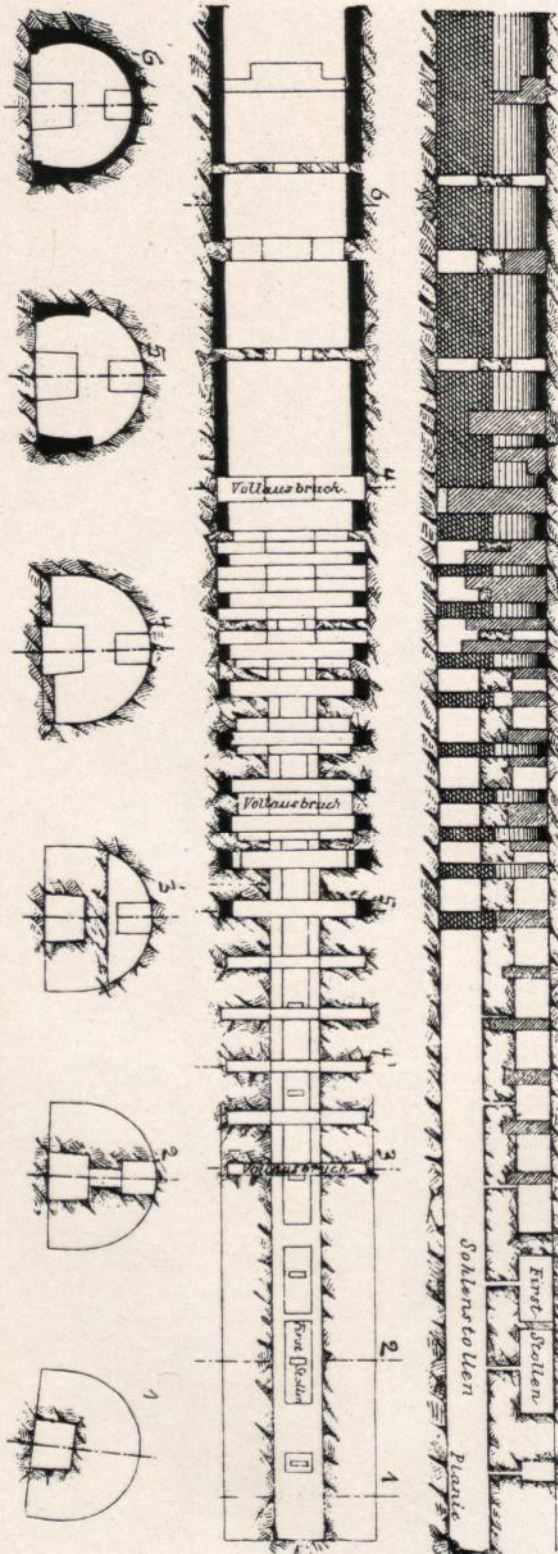


Abbildung 22.

Bauweise des Gotthardtunnels.

Abbildung 23.



Bauweise der Tunnel der österreichischen 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 Vollausbruch Gebrauch gemacht werden.

Die zurzeit im Tunnelbau verwendeten Bohrmaschinen sind

1. Schlagbohrmaschinen oder Bohrhammer,
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 Vollausbruch 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.

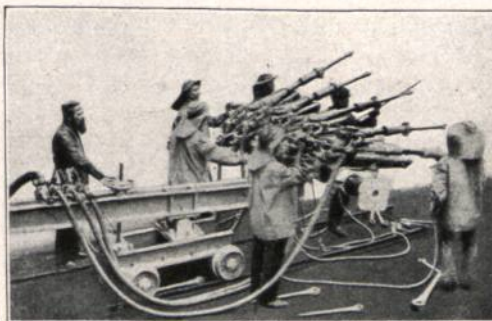
Die Druckluft-Stoßbohrmaschinen ermöglichen eine hin und her gehende oder stoßende Bewegung, die Drehung des Bohrers nach jedem Stoße um einen der Gesteinsfestigkeit angepaßten Winkel, schließlich den Vorschub des Bohrers am Ende des etwas veränderlichen Kolbenhubes, da diese Maschinen nur auf feststehenden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



Abbildung 25. Druckluft-Stoßbohrmaschine.

Da der selbsttätige Vorschub bei einigermaßen vorsichtiger Bedienung der Maschine nicht von besonderer Wichtigkeit ist, werden neustens 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-

— 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 Nitroglyzerinsprengstoffe verwendet; anfangs die Kieselgurdynamite (75% Nitroglyzerin, 25% Kieselgur) mit unverbrennlichen Aufsaugstoffen, dann die wirkungsvolleren mit verbrennlichen Aufsaugstoffen, wie die Sprengelatine (8—10% Kollodiumwolle mit 90 bis 92% Nitroglyzerin), sehr wirksam, aber teuer, daher beschränkte Verwendung, wie u. a. im Simplon-, Tauern- und Karawankentunnel; sodann die Gelatinedynamite (45—77% gelatiniertes Nitroglyzerin und 55—25% Zumischpulver), die in letzter Zeit am häufigsten gebraucht wurden. Die Nitroglyzerinsprengstoffe frieren bei + 6 bis 8° C, müssen also aufgetaut werden, wodurch ihr Gebrauch erschwert wird. Man hat daher die Gefriertemperatur durch besondere Zusätze herabgesetzt; so wurde z. B.



Abbild. 28. Stoßbohrmaschinen auf Bohrwagen.

beim Bau des 2. Hauensteintunnels „Gamsit“ verwendet (21% Nitroglyzerin, 19% Trinitrotoluol, 1% Dinitrobenzol, 1,5% Kollodiumwolle, 1% kohlensaurer Kalk), das bei niedriger Temperatur ohne Auftauen verwendet wurde.

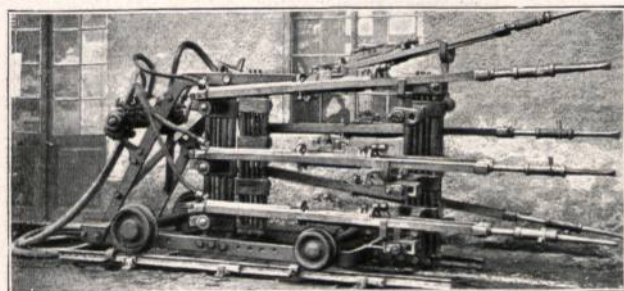


Abbildung 29. Stoßbohrmaschinen auf Wagen.

Andere Sprengstoffe, wie die Chloratpulver, Gemenge aus Kaliumchlorat mit einem Nitrokörper

(Nitrobenzol, Nitronaphthalin, Dinitrotoluol), wie Rackarock, Chedit 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.

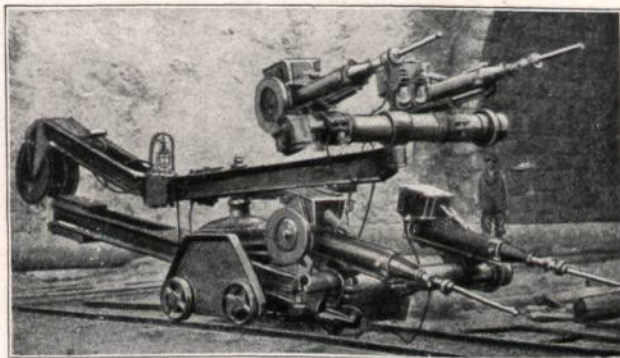


Abbildung 30. Elektrische Stoßbohrmaschinen.

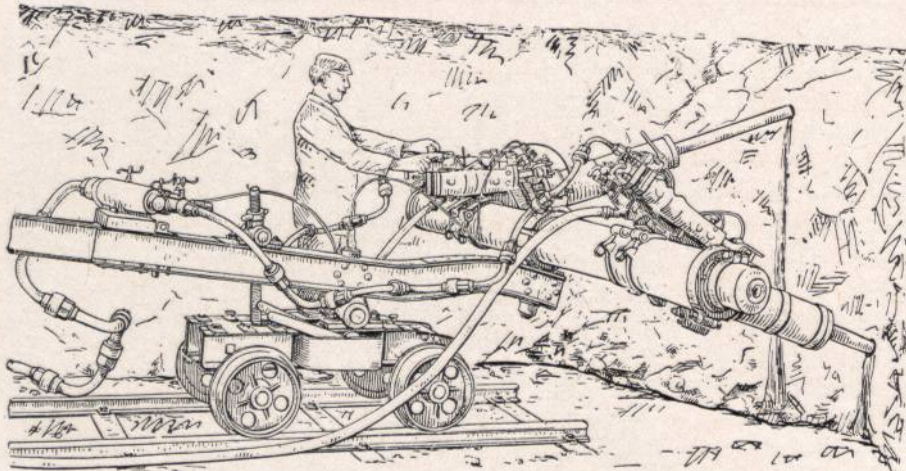


Abbildung 31. Hydraulische Drehbohrmaschine.

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—2807 = 286 m	Oktober 1923, 29 Arbeitstage 3694—3934 = 240 m
Gebirgsart	Bunte Mergel . . . 18 m Schilfsandstein . . . 80 „ Gipskeuper 208 „	Mergelkalke (oberer und mittlerer Jura) 111 m Tongestein (mittlerer Jura) 88 „ Oolitische Kalke (Hauptroggenstein) 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
Lochtiefen 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, 14998 m lang, Nord	Monte-Cenere-Tunnel (Gotthardt-bahn), 1673 m lang	Brandleitetunnel (Preußische Staatsbahn), 3050 m lang	Bosruck-tunnel (Österreichische Staatsbahnen), 4770 m lang, Nord	Lötschbergtunnel (Berner Alpenbahn), 14605 m lang			
					Nord		Süd	
Gebirgsart	Quarzit-scher Gneis	Gneis	Porphyrkonglomerat	Harter Kalk mit Kalzitadern	Kreide und Jena	Gasterngranit	Kristallschiefer	Granit
Richtstollen qm	5,8	6—6,5	6,5—6,75	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	Ingersoll 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

	Wocheiner Tunnel, Nord, 6340 m lang	Karawankentunnel, Nord, 7976 m lang
Gebirgsart	Harter Kalkstein mit Korallenkalk, Kieselkalk mit Hornstein	Grauer Kalk mit Werfner Schichten, 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—2 ¹ / ₂
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—5,4 (max. 6,9)	5,3 (max. 7,9)

4. Hydraulische Drehbohrmaschinen

	Arlberg, West 10 250 m lang	Simplon, Süd 19 770 m lang	Albula, Nord 5 866 m lang	Tauern, Nord 9 530 m lang
Gebirgsart	Gneis und quarzreicher Glimmerschiefer	Antigoriogneis	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 1904
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—1,2 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—28 kg/Angriff Gelatine	20—25	28—30 Sprenggelatine 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 Warte-, 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) aufgefahen 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 Dampflokomobilen mit je 25 P.S. bereitgestellt werden mußten.

Für den unteren, 8134 m langen Hauen-

forderliche Kraft. Die Bohrung erfolgte mit Druckluft-Schlagbohrhämmern, 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 Ausbruchmassen 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 Ausweiche 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 gefertigt. 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

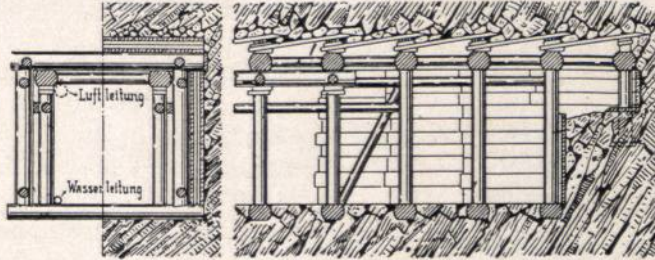


Abbildung 32.

steintunnellieferten auf der Südseite zwei Dieselmotoren mit zusammen 1100 P.S., die anfänglich mit Rohöl, dann mit Rohteer gespeist wurden, die er-

forderlichen einfahrenden Leerwagen auch mit Geräten und Baustoffen beladen; für längere Tunnel mit kurzer Bauzeit, also raschster Förderung, werden aber die im Tunnel benötigten Geräte und Baustoffe auf besonderen Wagen an die Arbeitsstelle gebracht, damit die Ausbruchleerwagen ohne Aufenthalt

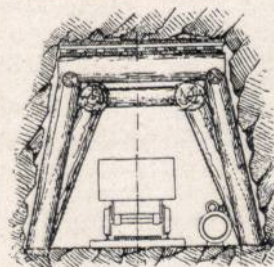


Abbildung 33.

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 starkdrückendem Gebirge des 7956 m langen Karawankentunnels (Österreichische Alpenbahnen) ausgeführt wurde, zeigt Abbildung 34.

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 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.

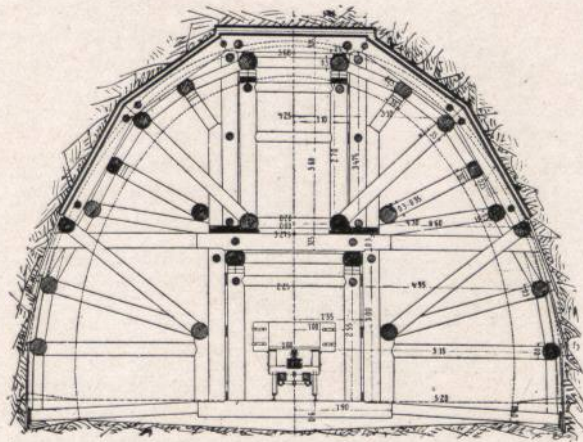


Abbildung 35. Querträgerzimmerung.

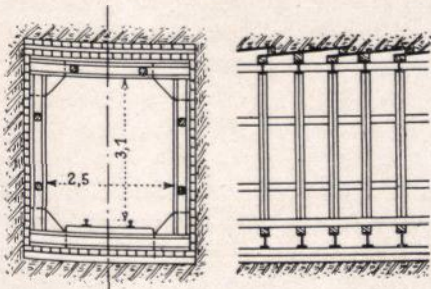


Abbildung 36.

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-

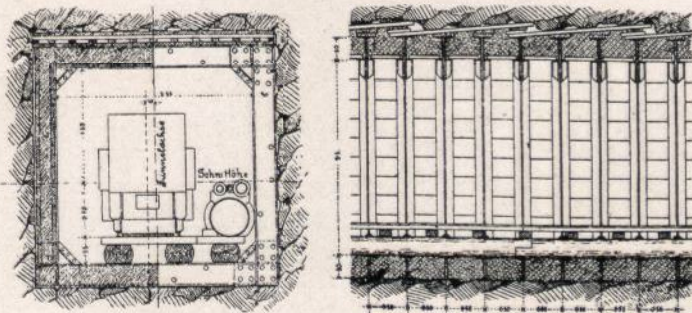


Abbildung 37.

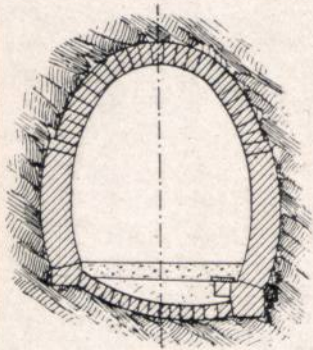


Abbildung 38.

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

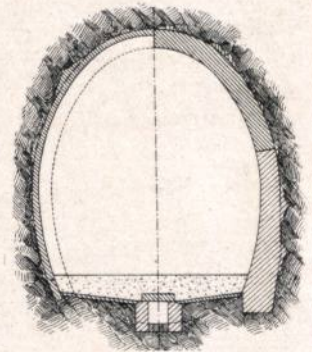


Abbildung 39.

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 Abminderung der Fundamentbelastung der Widerlager und Verhinderung ihrer Verschiebung gegen das Tunnelinnere sind Sohlgewölbe (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 Sohlgewölbe 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.

Betoneisenausmauerungen 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 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 viergleisige Tun-

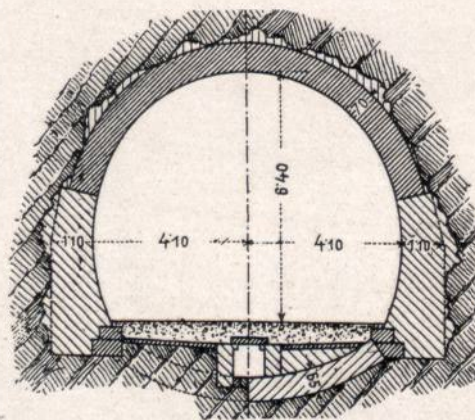


Abbildung 40.

nel der Pennsylvania-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 Zwillingtunnel werden vielfach bei schachtartigem Vorgange von der Oberfläche aus ausgeführt, um zu weit gespannte oder zu hohe Ge-

wölbe zu vermeiden, wie z. B. Abbild. 49 der Zwillingtunnel

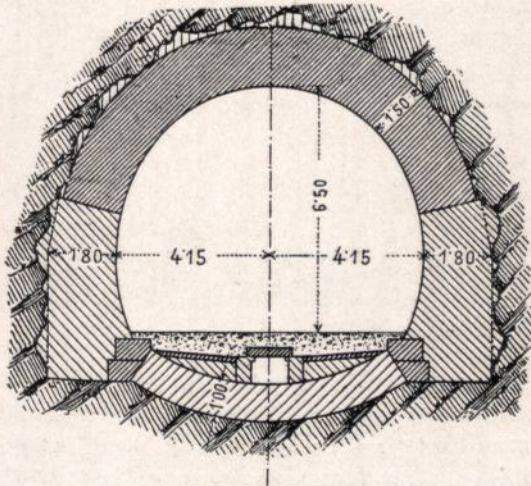


Abbildung 42.

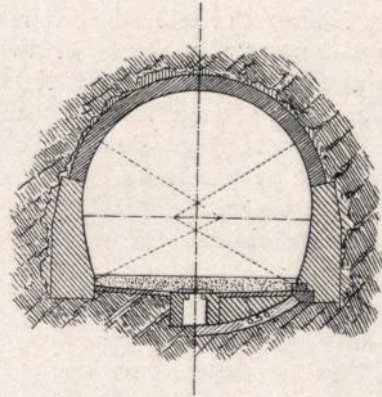


Abbildung 41.

der Württembergischen Staatsbahnen unter dem Rosenstein bei Stuttgart.

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

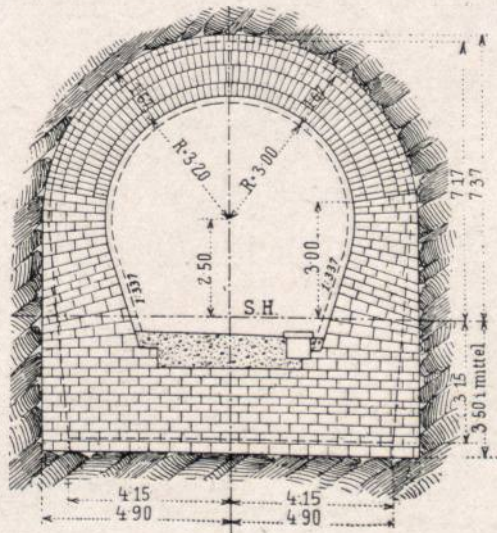


Abbildung 43.

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

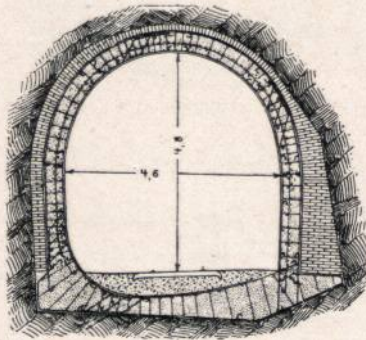


Abbildung 44.

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-

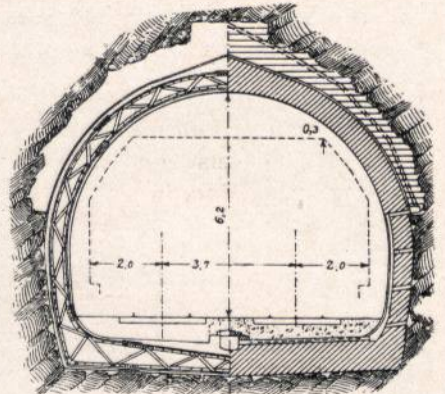


Abbildung 45.

halten, auch leicht zu erreichen sein. Die Tunnelgewölbe werden in verschiedener Weise durch Metallbleche oder durch wasserdichte biegsame und tunlichst zugfeste 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.

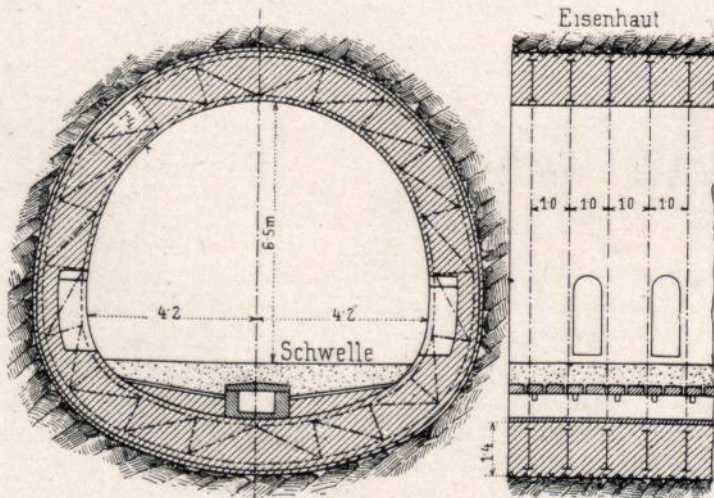


Abbildung 46.

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

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.

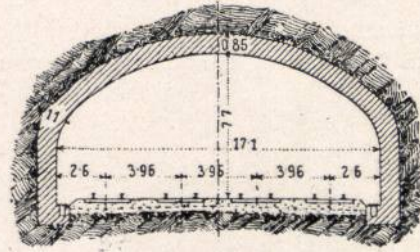


Abbildung 47.

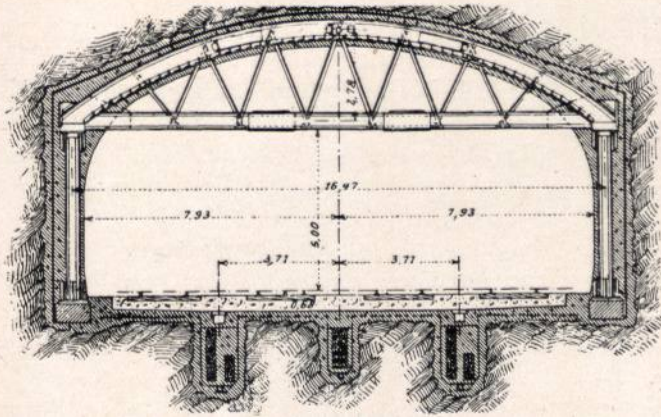


Abbildung 48.

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: Bosrucktunnel, Nord; Abbildung 54: Bergen-Hilltunnel, Pennsylvaniabahn.

UNTERWASSERTUNNEL

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.

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

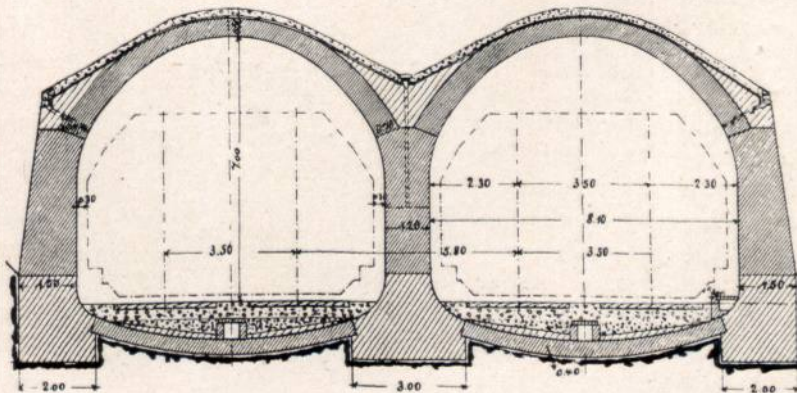


Abbildung 49.

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.

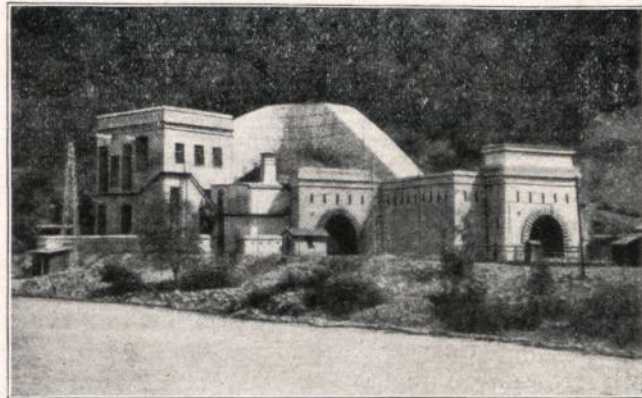


Abbildung 52.

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.

Bosrucktunnel (Nordmund).

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 Kohlensandstein, Kohlenschiefer, Konglomeraten und Mergel. Der Ausbruch erfolgte mit

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 mit einem Sohlenstollen begonnenen und nach englischer, stellenweise belgischer Bauweise durchgeführten Bauarbeiten wurden ganz besonders erschwert durch einen Wassereinbruch von etwa 450 l/sek. an der Grenze des Kohlenkalkes, außerdem durch starken Wasserzudrang auf der entgegenge-

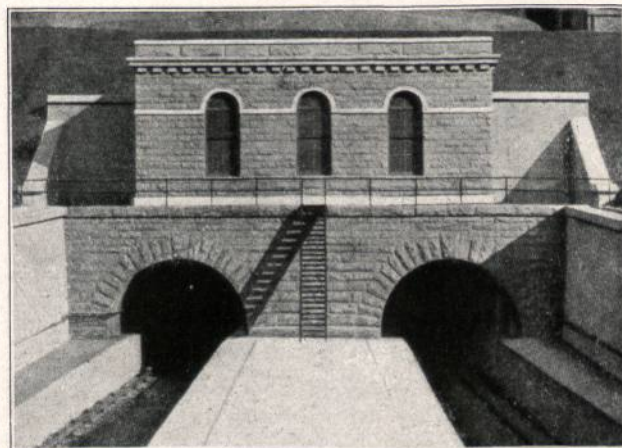


Abbildung 54.

Bergen-Hill-Tunnel.

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 Seitenstollen 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

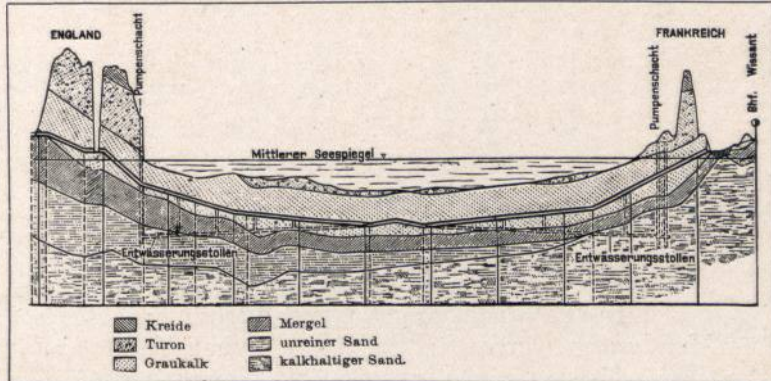


Abbildung 58.

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 Sprengstoffen ein Stollen unter dem Meere vorgetrieben, wobei täglich 10 m Fortschritt erreicht wurden.

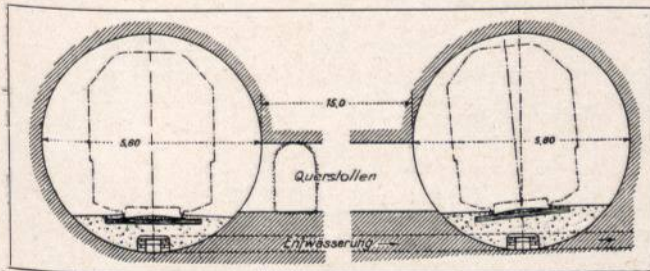


Abbildung 59.

Ärmelkanaltunnel.

Trotz der gelungenen Versuche, wobei sich die überlagernde Schicht als fest und wasserundurchlässig erwies, wurde die Genehmigung zur Ausführung des Tunnels wohl nur aus politischen Gründen nicht erteilt und die Arbeiten im Jahre 1882 auf englischer und 1883 auf

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-

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 Lehrbogen für die Tunnelverkleidung stützen, knapp an oder in das Gebirge gedrückt und der Boden vor und innerhalb des Schildes gelöst und beseitigt.

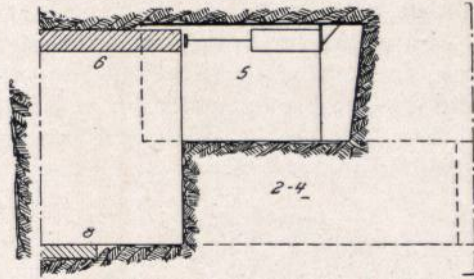


Abbildung 62.

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.

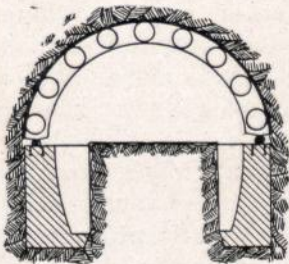


Abbildung 63.

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,

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 kresotierte und gepreßte Weichholzwischenlagen, 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.

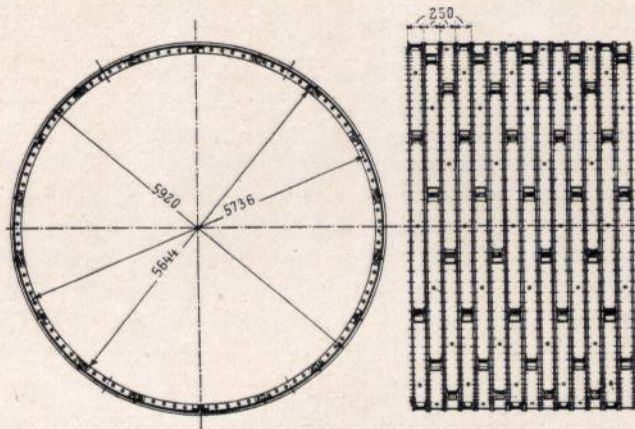


Abbildung 66.

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 Zementmörtelinspritzungen vornehmen zu können.

pfllegt. 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 hinterspritzt, innen mit besonders starker Betonschicht umhüllt wurden, um das Gewicht und den Biegungswiderstand zu vergrößern und den Rostschutz zu verbessern.

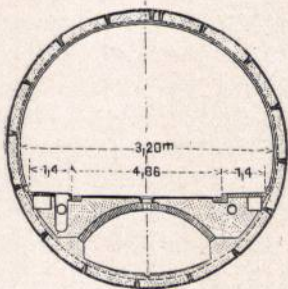


Abbildung 69.

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

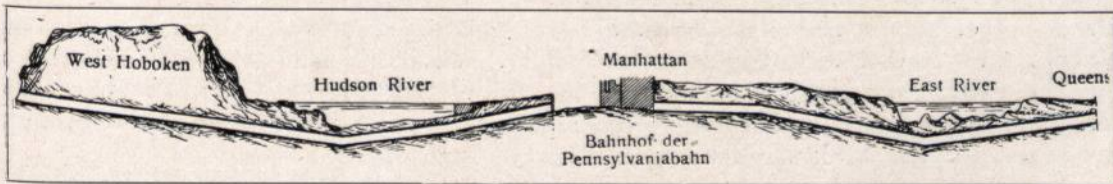


Abbildung 70.

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 Einbruchs tunlichst vermieden werden konnte (Abbildung 73).

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.

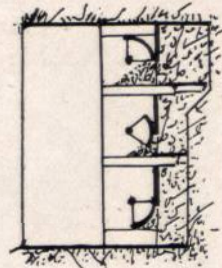


Abbildung 73.

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 Abteilungs-wänden 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

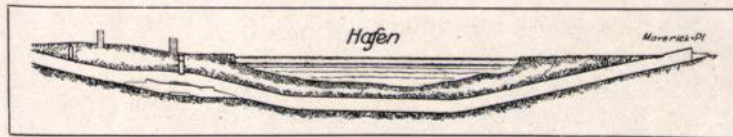


Abbildung 74.

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 Benutzung 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 Steinwärd 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.

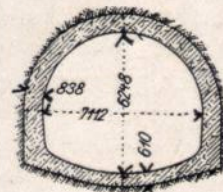


Abbildung 75.

Den Längenschnitt 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

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 mittlererer 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-

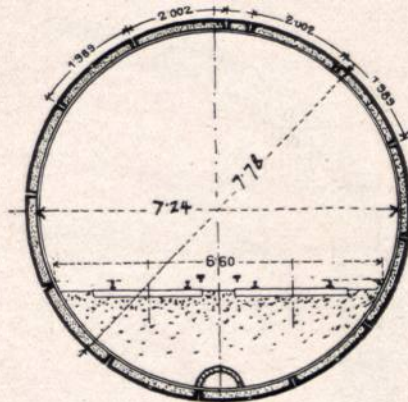


Abbildung 79.

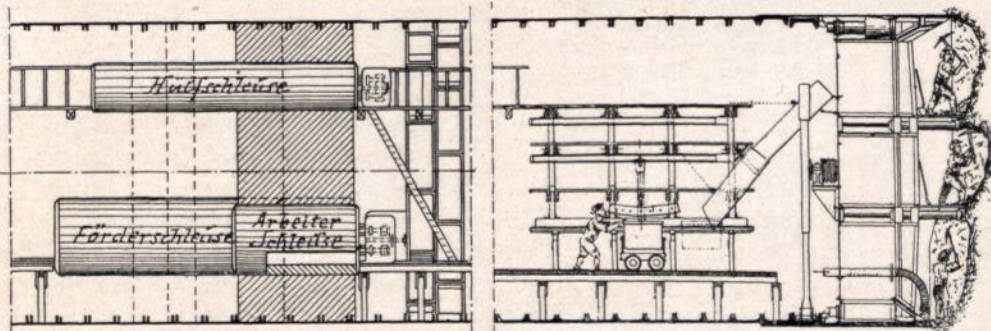


Abbildung 80.

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 Schildvortrieb 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 Nordostseekanal bei Holtenau.

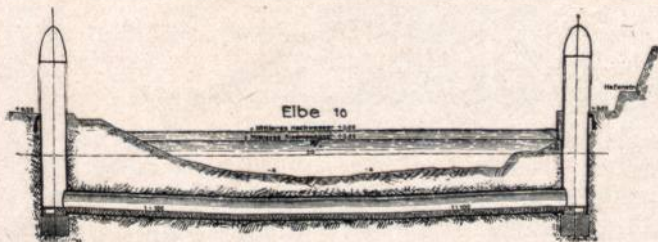


Abbildung 81.

Elbetunnel.

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

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

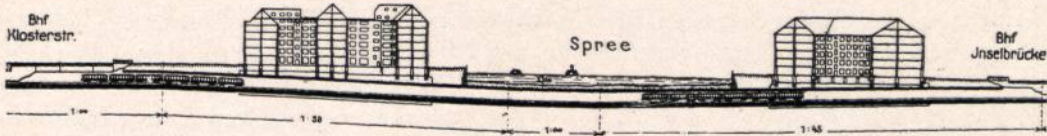


Abbildung 84.

Spreetunnel.

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.

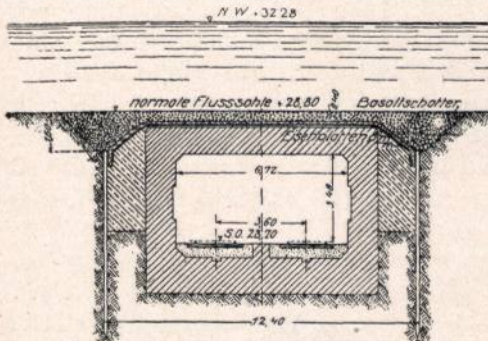


Abbildung 85.

Die Flußsohle der Spree ist gegen den darunterliegenden Kiesboden, der vom Grundwasser durchzogen ist, durch eine etwa 1 m starke Ablagerungsschicht (Schlammsschicht) abgedichtet, so daß das vom Spreewasser fast unabhängige Grundwasser mit Hilfe von Pumpen (Kreiselpumpen, dann Mammutpumpen) zwischen den Fangdämmen und dann zwischen der innerhalb derselben ausgeführten etwa 10 m langen und 2,5 m unter Tunnelsohle

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

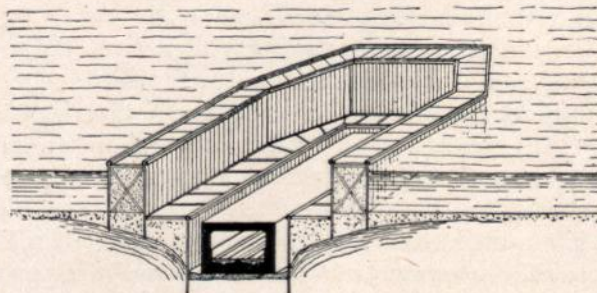


Abbildung 86.

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

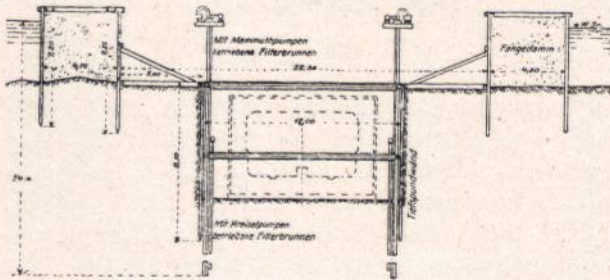


Abbildung 87.

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 (Abbild. 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.

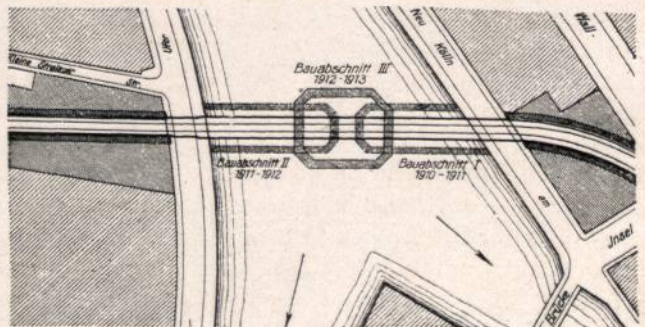


Abbildung 88.

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

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

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).

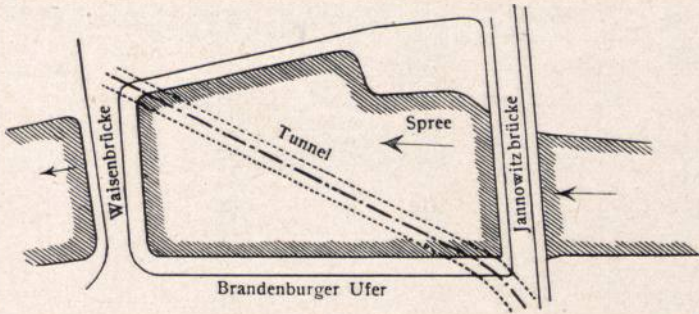


Abbildung 89.

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 Kasten 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

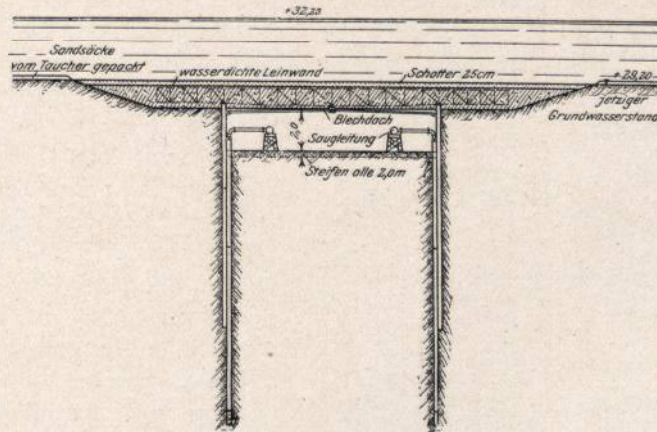


Abbildung 90.

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,

oder durch Einführen von Kälteflüssigkeiten mittels Röhren zum Gefrieren, daher in feste Form gebracht, wonach im stark wasserführenden Boden der Ausbruch, dessen Abstütungen 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°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°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°C friert, oder von 95 prozentigem Alkohol, der bei -110° 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

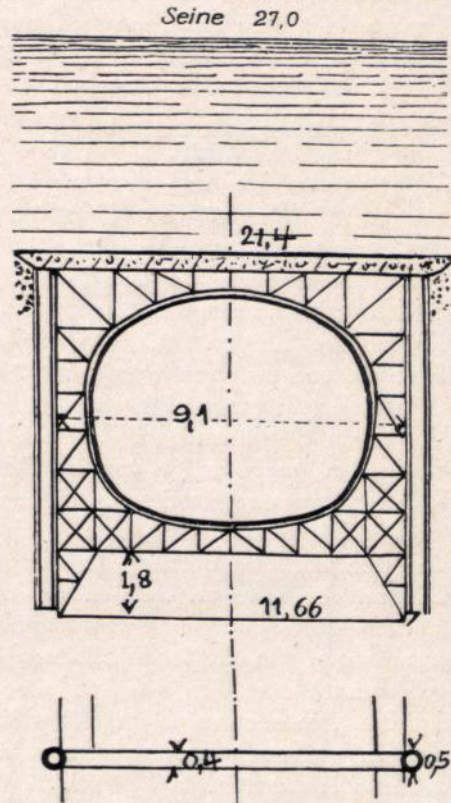


Abbildung 93.

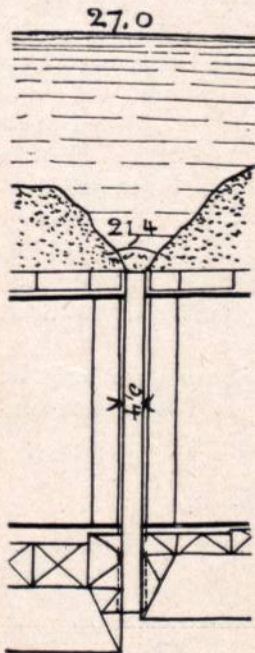


Abbildung 94.

ARTILLERIETECHNIK

VON KARL BECKER

EINLEITUNG

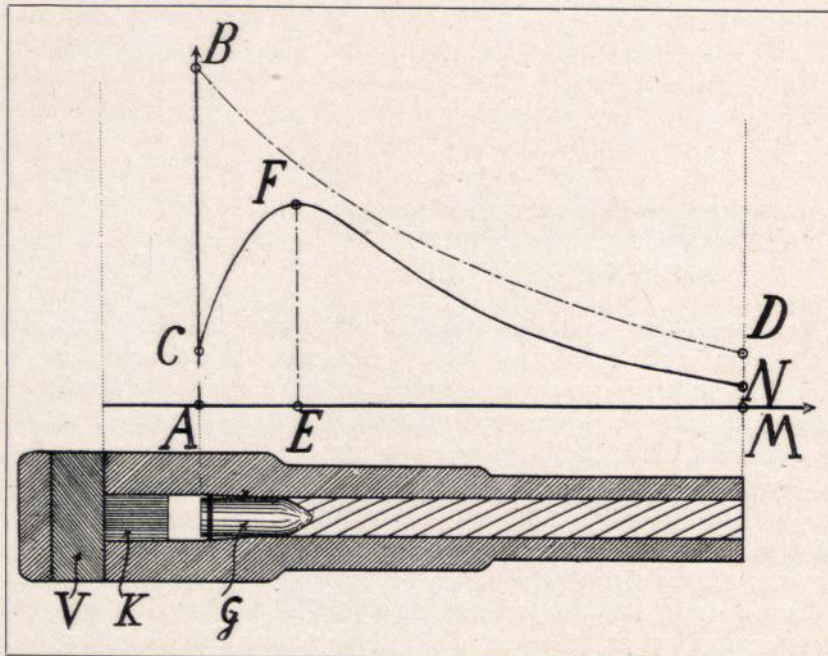
Der Einfluß der Technik auf die Kriegführung hat sich besonders in der zweiten Hälfte des Weltkrieges in einer Weise gesteigert, wie sie vor dem Kriege kaum erwartet werden konnte. Auch die Artillerietechnik und die verschiedenen mit ihr zusammenhängenden Gebiete haben eine bedeutende Entwicklung erfahren. 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 SCHUSZ. 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.

Am Beispiel der Feldkanone 16 sei gezeigt, wie die Größe der durchschnittlichen Druckkraft in übersichtlicher Weise berechnet werden kann. Aus diesem Geschütz 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.

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 Hauptflachfeuergeschütz unserer beweglichen schweren Artillerie, ergibt sich in entsprechender Weise eine mittlere Druckkraft von 1800 kg/qcm und eine Leistung von über 1 $\frac{1}{2}$ Mill. P.S. Und bei den schweren und schwersten Flachfeuergeschützen 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 Geschößes 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 Geschößes, mehr oder minder vollständig ausfüllt.

Die Eingangszündung entflammt die ihr zunächst liegenden Pulverteichen der Kar-

die hinter dem Geschoß aus der Mündung ausströmenden Gase eine größere Geschwindigkeit als das Geschoß. 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 Geschoß 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 Geschoßgewicht 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 das reine Experiment zur Ermittlung der Bewegung des Geschosses 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

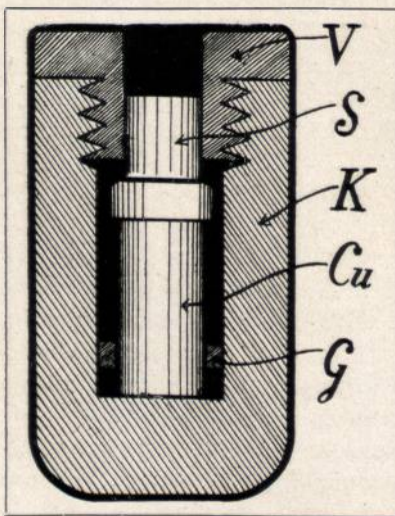


Abbildung 2.

Meßei.

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.

Bei Gewehren und vereinzelt auch noch bei Ge-

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 Geschoßboden (Geschoßgewicht 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 Geschoß und Rohr sich umgekehrt wie die Massen von Geschoß und Rohr verhalten. Insbesondere ergibt sich, wenn man die Mündungsgeschwindigkeit mit V_0 , die Geschwindigkeit des Rohrs zu der Zeit, wo das Geschoß die Mündung verläßt, mit V_r bezeichnet:

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

So beträgt z. B. bei unserem alten Feldgeschütz 96 die Mündungsgeschwindigkeit $V_0 = 465$ m/sek., das Geschoßgewicht 7,12 kg, das Gewicht des Rohrs mit Verschuß 390 kg. Mithin würde das beim Schuß frei und reibungslos zurücklaufende Rohr im Augenblick des Geschoßaustritts 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 Metertonnen.

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 Geschützen 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 Geschützes 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 Geschütz frei nach rückwärts auslaufen zu lassen. Durch das jedesmalige Wiedervorbringen und Neu-einrichten des Geschützes 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 Geschützes Widerstand entgegensezt. 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 Geschützes an; in Richtung der zunächst horizontal gedachten Seelenachse (horizontaler Schuß) wirkt der Druck der Pulvergase P . Nach bekanntem Gesetz der

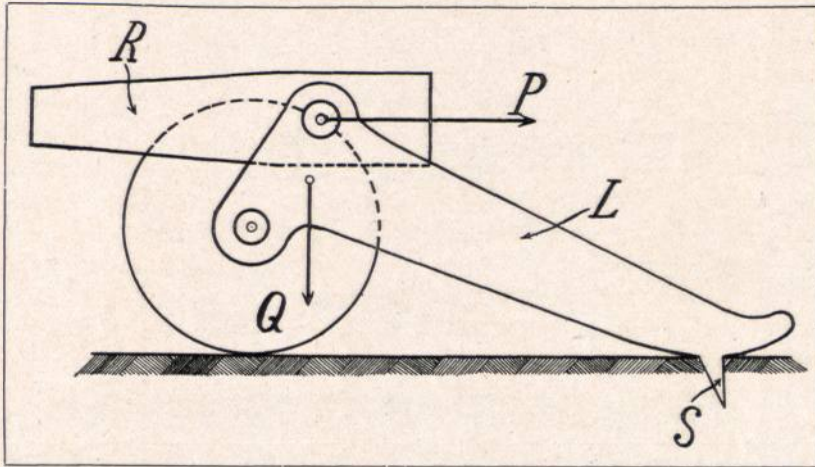


Abbildung 3. Kräftespiel an einer starren Lafette mit Sporn.

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 Geschützes 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 α (dem Erhöhungswinkel) zur Wagerechten, so wirkt nur eine Kraft ($P \cdot \cos \alpha$) auf das Bucken des Geschützes 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 Geschützes verbunden ist und das Bucken ein jedesmaliges Wiedereinrichten des Geschützes 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 Geschützes 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 (Glyzerin 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 Belagerungsgeschütze hat Rücklaufhemmungen der angedeuteten Art.

Ein etwas anderer Weg der Aufzehrung der Rücklaufenergie ist in den sogenannten Rahmenlafetten beschritten. 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

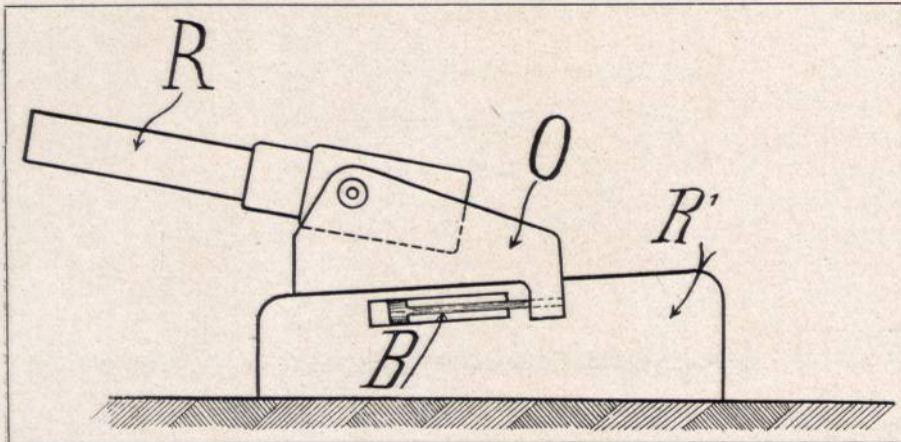


Abbildung 4.

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

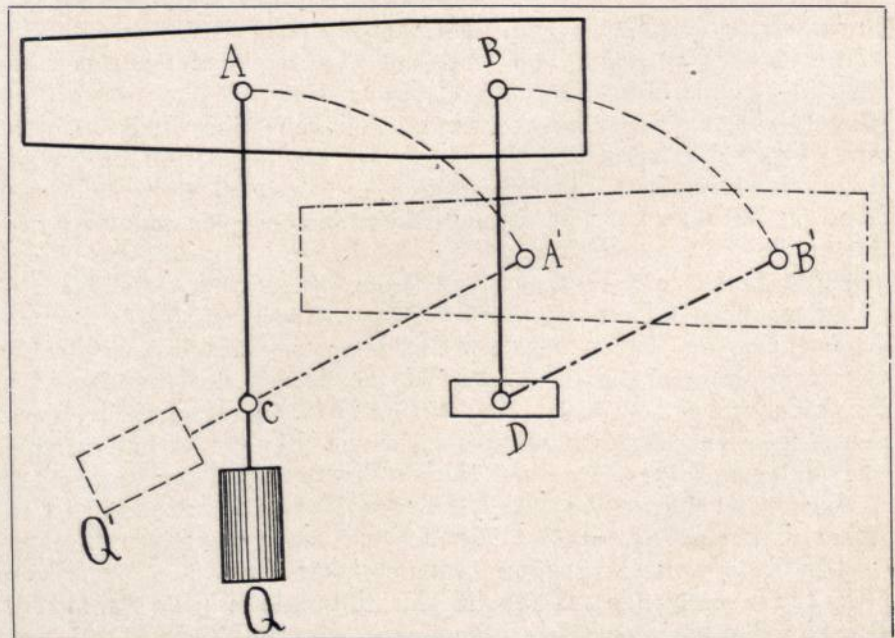


Abbildung 5.

Verschwindlafette.

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

In vollkommenster Weise wird die Aufzehrung der Rücklaufenergie bei den neueren Rohrrücklauf-

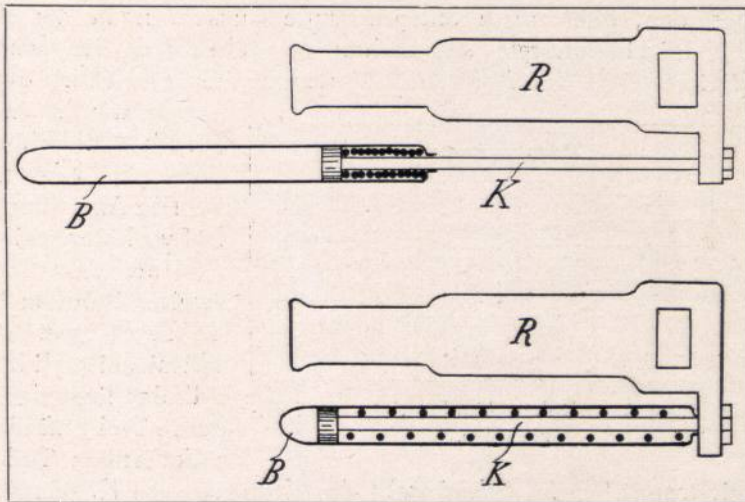


Abbildung 6.

Rohrrücklaufgeschütz mit Federvorholer.

geschützen 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 Rücklaufrichtung sich je nach der Erhöhung des Rohres ändert, läuft beim modernen Rohrrücklaufgeschütz das Rohr stets in seiner Achsenrichtung zurück, gleichgültig welche Erhöhung es hat. In dieser Anordnung liegt das Kennzeichnende der im modernen Rohrrücklaufgeschütz 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 Geschützen 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 Bremszylinder befindliche Bremsflüssigkeit (meist Glycerin) tritt durch Öffnungen im Kolbenkopf oder durch Nuten, die sich in der Innenwand des Bremszylinders

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.

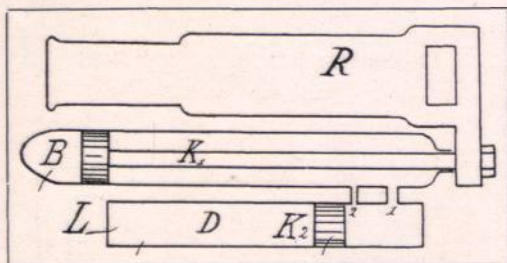


Abbildung 7. Rohrrücklaufgeschütz mit Luftvorholer.

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 K₂, der die im vorderen Teil befindliche Druckluft D von der im rückwärtigen Teil befindlichen Bremsflüssigkeit trennt.

Beim Schuß geht die Kolbenstange K₁ wiederum mit dem Rohr zurück; die Bremsflüssigkeit wird durch die Öffnung 1 nach dem unteren Zylinder gedrängt und drückt den Kolben K₂ 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 K₂ zurück. Dieser verdrängt die Bremsflüssigkeit wieder in den oberen Zylinder, wo sie durch Druck auf den Kopf der Kolbenstange K₁ 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 Grundaufführung, 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 Rohrrücklaufgeschützes 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 Verschlusswart und Richtkanonier können dauernd, auch beim Abschluß, auf den Lafettensitzen verbleiben; die volle Ausnutzung des Schildschützes 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 Rohrvorlaufgeschütze. Während beim Rohrrücklaufgeschütz 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 Rohrvorlaufgeschütz 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 Vorholfedern 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 Rohrrücklaufgeschütz, die erforderliche Bremskraft wird kleiner, die Beanspruchung von Bremse und Lafette geringer. Man kommt deshalb beim Rohrvorlaufgeschütz mit geringeren Gewichten aus oder kann für ein gegebenes Geschützgewicht gegenüber dem Rohrrücklaufgeschütz 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

„Dralllänge“ 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 Schraubenslinie oder auch einer Zugkante, so erhält man etwa folgendes Bild (Abbildung 8).

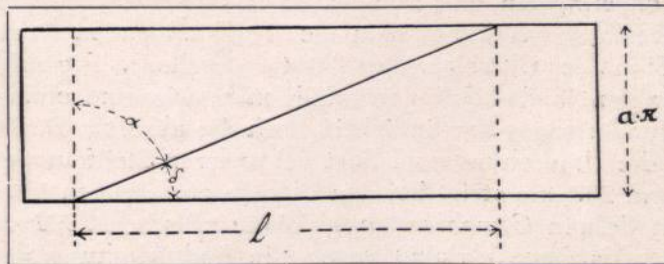


Abbildung 8. Drallanordnung bei gleichbleibendem Drall.

Während man in der allgemeinen Technik die Steigung einer Schraube durch die Ganghöhe l oder den Steigungswinkel α bezeichnet, drückt der Waffenkonstrukteur die Stärke des Dralls durch die Dralllänge l oder den Drallwinkel δ aus. Meist setzt der Waffenkonstrukteur

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

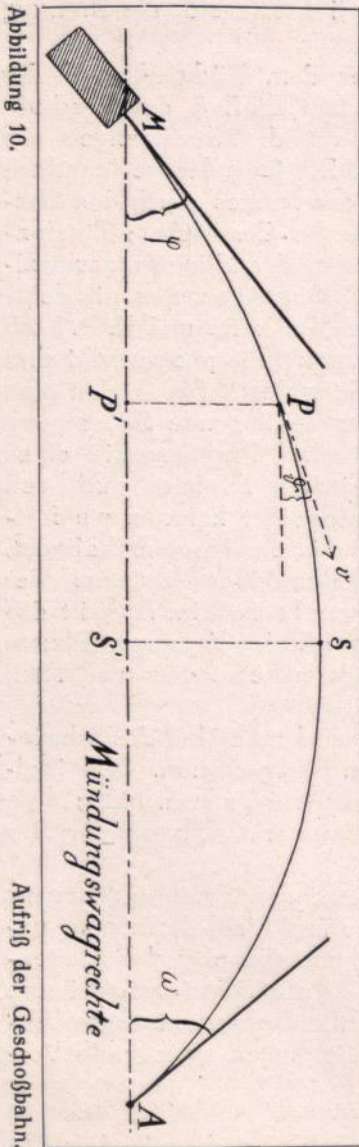
c) Die verschiedenen Rohrschwingungen. Außer dem Rückstoß und der Drehung des Rohres entgegen dem Drall treten unter dem Einfluß der Geschößbewegung im Rohr und den Druckkräften der Pulvergase auch Schwingungen des Rohres verschiedener Art auf: Longitudinalschwingungen in Richtung der Seelenachse; elastische 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 Schwingungsbäuche 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



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 Geschoschwerpunktes im Punkte P sei v , der Neigungswinkel der Bahntangente im Punkte P zur Wagerechten sei ϑ . Man nennt die Größen x , y , v , ϑ 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 φ , die Bahngeschwindigkeit gleich der Anfangsgeschwindigkeit V_0 . Im höchsten Punkt der Flugbahn S, dem Scheitel der Bahn, wird ϑ Null, über den Scheitel hinaus wird ϑ überstumpft. An der Stelle A, wo die Mündungswagerechte zum zweitenmal von der Geschosbahn geschnitten wird, dem Auftreffpunkt, 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 φ .

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

keits. 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.

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 Austretens 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

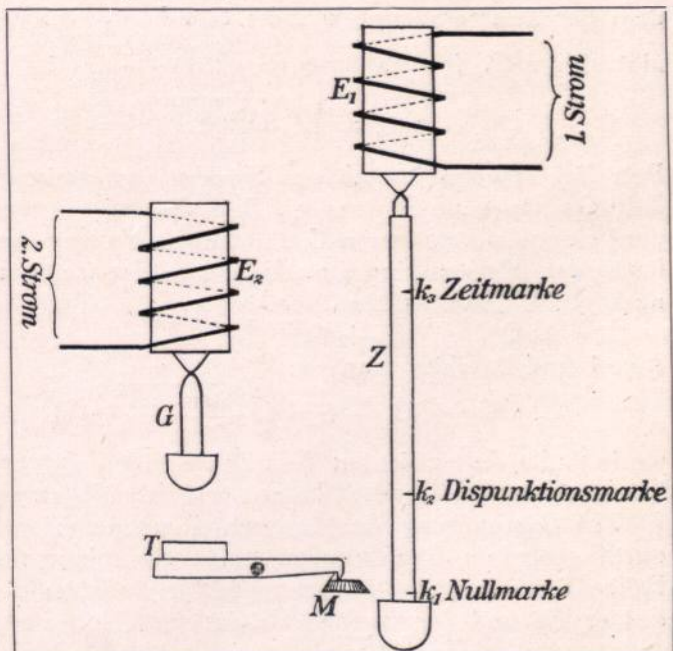


Abbildung 11.

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_3 , 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_3 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 ($O-k_3$), bis die Marke k_3 erzeugt wird. Betrachtet man zunächst das System des ersten Elektromagneten (rechts in Abbildung 11), so setzt sich die Zeit $O-k_3$ zusammen aus dem Zeitteil $O-G_1$, die das Geschöß von der Mündung bis zum Durchreißen des ersten Gitters braucht, und dem Zeitteil, in dem der Zeitmesserstab um die Strecke k_1-k_3 herabfällt. Dieser zweite Zeitteil ergibt sich nach den Fallgesetzen zu $\sqrt{\frac{2 \cdot (k_1 k_3)}{g}}$. Man hat somit einmal

$$1. Ok_3 = OG_1 + \sqrt{\frac{2(k_1 k_3)}{g}}$$

Betrachtet man nun auch das System des zweiten Elektromagneten, so setzt sich die Zeit Ok_3 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_3 die weitere Beziehung:

$$2. Ok_3 = OG_2 + C.$$

Aus 1 und 2 erhält man:

$$3. OG_2 - OG_1 = t = \sqrt{\frac{2(k_1 k_3)}{g}} - C$$

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 „Disjunktionmarke“ k_2 erzeugt; die Zeit zwischen dem Durchreißen des ersten und des zweiten Gitters wird Null und man erhält:

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

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.

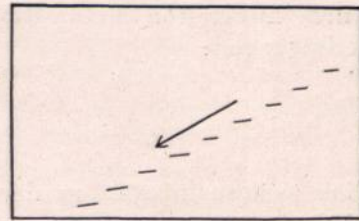


Abb. 13. Photogramm nach Neesen.

Die Koordinaten eines beliebigen Punktes der Geschosßbahn 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 Geschosßbahn 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 Geschosßflug 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:

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

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

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

(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 φ x ein Maximum wird, so findet man für $\varphi = 45^\circ$. Im luftleeren Raum wird also bei einem Abgangswinkel von 45° die größte Schußweite erreicht.

Aus Gleichung 8 ergibt sich weiter, daß man unter sonst gleichen Bedingungen dieselbe Schußweite x mit einem Winkel φ und einem Winkel $90^\circ - \varphi$ erreicht (Flachschuß und Steilschuß, untere und obere Winkelgruppe). Beide Abgangswinkel weichen um den gleichen Betrag δ vom Winkel der größten Schußweite (45°) ab. Gleiches gilt auch für den Schuß auf geneigtem Gelände, nur daß für dieses der Winkel der größten Schußweite nicht 45° 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°) 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 Beschießen 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° 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 φ einen konstanten Wert fest und läßt nur den anderen variieren,

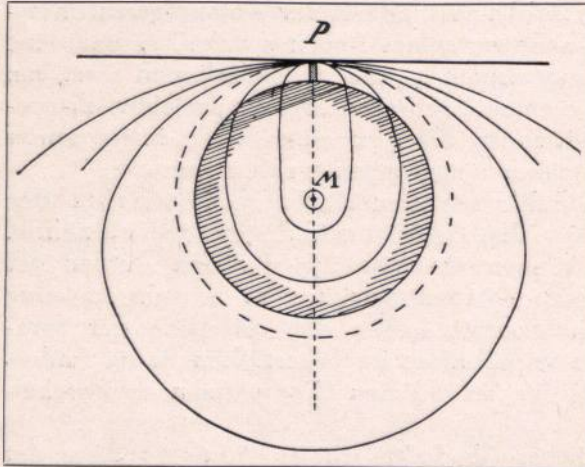


Abbildung 14. Geschoszbahnen als Zentralbewegungen.

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

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 Geschosbahn 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 Wagerechten, 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 Wurfe 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 Geschossmantel statt, die zur Bildung von Wirbeln führt. Wellen und Wirbel sind auf den nach dem Verfahren von E. Mach aufgenommenen Geschosßphotographien 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 Geschosßphotographie nach Mach bei Geschosßgeschwindigkeiten über Schallgeschwindigkeit festgestellten Kopfwellen des Geschosses haben eine unverkenn-

Der eigentliche Inhalt des Luftwiderstandsgesetzes wird durch den funktionellen Zusammenhang zwischen v und $f(v)$ gegeben, während F , δ 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 $\varphi(v)$, so daß das Widerstandsgesetz gegen den Kreiszyylinder folgende Form erhält:

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

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

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

(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, ψ 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:

$$W = k_1 \cdot R^2 \cdot \pi \cdot v^2 + k_2 \cdot l \cdot v + \frac{k_3 \cdot R^2 \cdot \pi \cdot v^4 + k_4 \cdot l \cdot v^3}{\sqrt{(s^2 - v^2)^2 + k_5 \cdot l^2 \cdot v^2}}$$

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 Lorenzsche 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

$$f(v) = 0,2002 \cdot v - 48,05 + \sqrt{(0,1648 \cdot v - 47,95)^2 + 9,6} + \frac{0,0442 \cdot v (v - 300)}{371 + \left(\frac{v}{200}\right)^{10}}$$

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 Schußtafelauaufstellung 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 Geschosquerschnitt, Geschosform, Geschosgewicht 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 Geschoschwerpunktes:

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 ϑ 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 Wuich 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 ϑ . Es wird daher darauf ankommen, zunächst die Hauptgleichung zu integrieren. Gelingt diese Integration, so hat man die Bahngeschwindigkeit v in Funktion des Neigungswinkels ϑ 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. $\text{tg } \vartheta = \text{tg } \varphi - \frac{1}{2c \cdot \gamma} \cdot [J(u) - J(u_0)]$
4. $y = x \cdot \text{tg } \varphi - \frac{\sigma^2}{2c^2 \cdot \gamma^2} \cdot \{ A(u) - A(u_0) - J(u_0) \cdot [D(u) - D(u_0)] \}$

Darin sind:

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

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

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 σ und γ . 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 obenerwähnte 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-

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 anderseits 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-

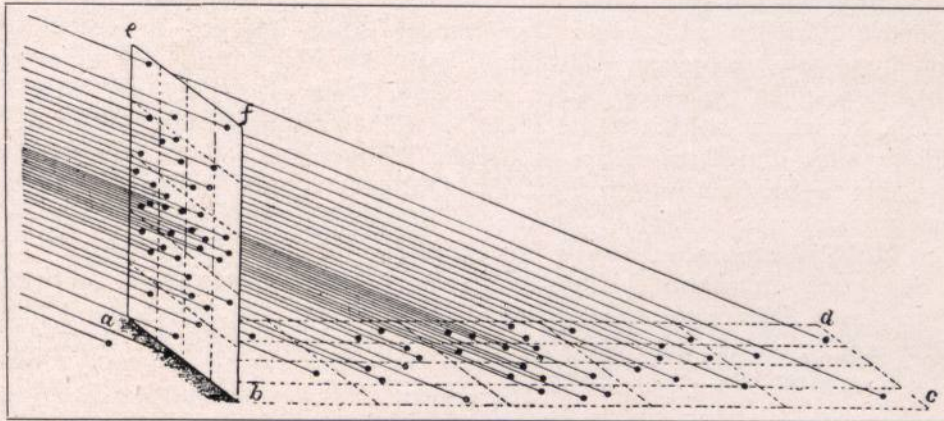


Abbildung 15.

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 eines Bodentreffbildes von einer festen Geraden (der Y-Achse) mit $\xi_1, \xi_2 \dots \xi_n$, so ist das arithmetische Mittel ξ_0 der einzelnen Abweichungen der wahrscheinlichste Wert der Abszisse des mittleren Treffpunktes. Ganz entsprechend erhält man den wahrscheinlichsten Wert der Ordinate η_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

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

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 ψ 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 Zeitzünder 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 Geschosßabweichungen 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 Geschosßabweichungen rechnen

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

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

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

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

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 Geschosß 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 Langgeschoß 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 Geschosßrotation ergibt sich eine geringe Änderung der Schußweite und eine größere Seitenabweichung gegenüber dem nicht rotierenden Geschosß. Das Geschosß 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 Geschosßachse 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 Geschosß 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 Geschosß 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 Geschosßspitze bald nach dem Verlassen der Mündung über die Flugbahntangente hebt. Dadurch stößt bei Rechtsdrall die von vorn heranströmende Luft mit der mit dem Geschosß 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 Geschosß 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 Einschienenbahn, 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 Langgeschoß greift die Resultante des Luftwiderstandes infolge der Abweichung der Geschosßachse von der Flugbahntangente in der Regel außerhalb des Geschosßschwerpunktes ein. Die Luftwiderstandsresultante wirkt daher im Sinne der

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 Seitenablenkung 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 Fernkampf-Waffe 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 Proße 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-

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, Wiederaladen 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 Schraubenverschluß, als dessen Hauptvorzüge 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 vermocht 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 Protze 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 zur 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 Protze, zu einem vierrädrigen Fahrzeug ergänzt. Die Verbindung zwischen Lafette und Protze erfolgt in der Weise, daß ein am Lafettenschwanz angeschmiedeter Ring, die „Protzöse“, in einen in der Verlängerung der Deichsel am rückwärtigen Ende der Protze angeschmiedeten Haken, den „Protzhaken“, eingehängt und eine ungewollte Trennung beider Teile beim Fahren durch eine besondere Sicherung (Protznagel) verhindert wird.

Diese Art der Verbindung gestattet eine schnelle Vereinigung und Trennung von

der Seelenweite (dem Kaliber) oder nach der Biegsamkeit der Geschosbahnen 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.

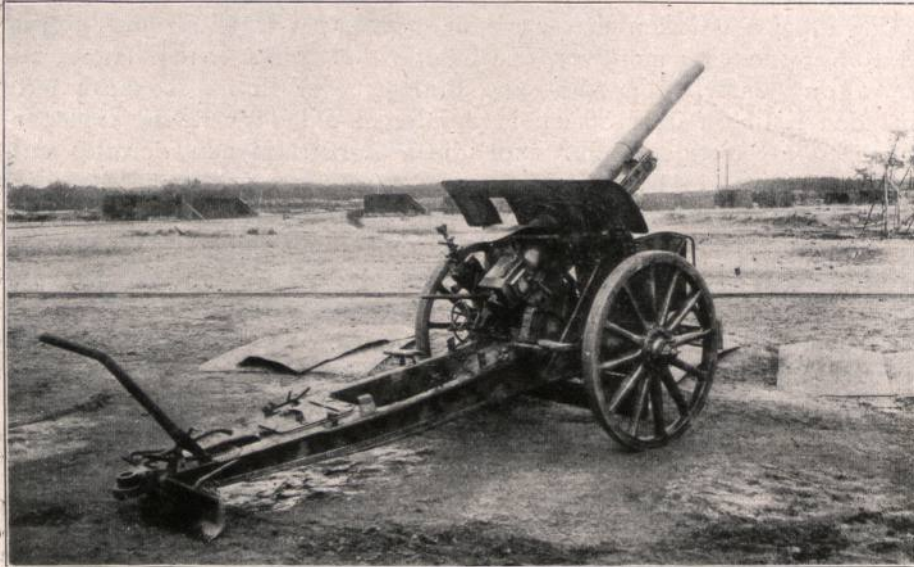


Abbildung 18.

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 Kan-

onen 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° und 45° , 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 Kampffernungen 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°), die Hauptaufgabe, so spricht man von Mörsern. 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

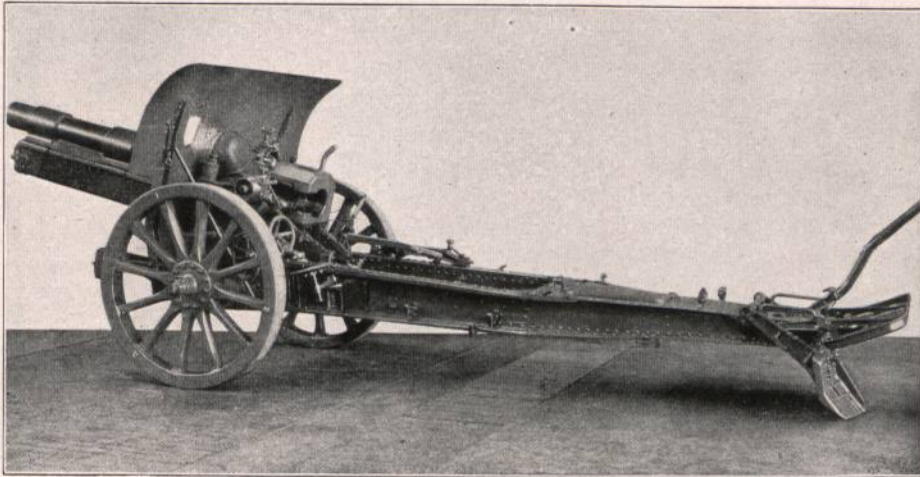


Abbildung 19.

Lange schwere Feldhaubitze 13.

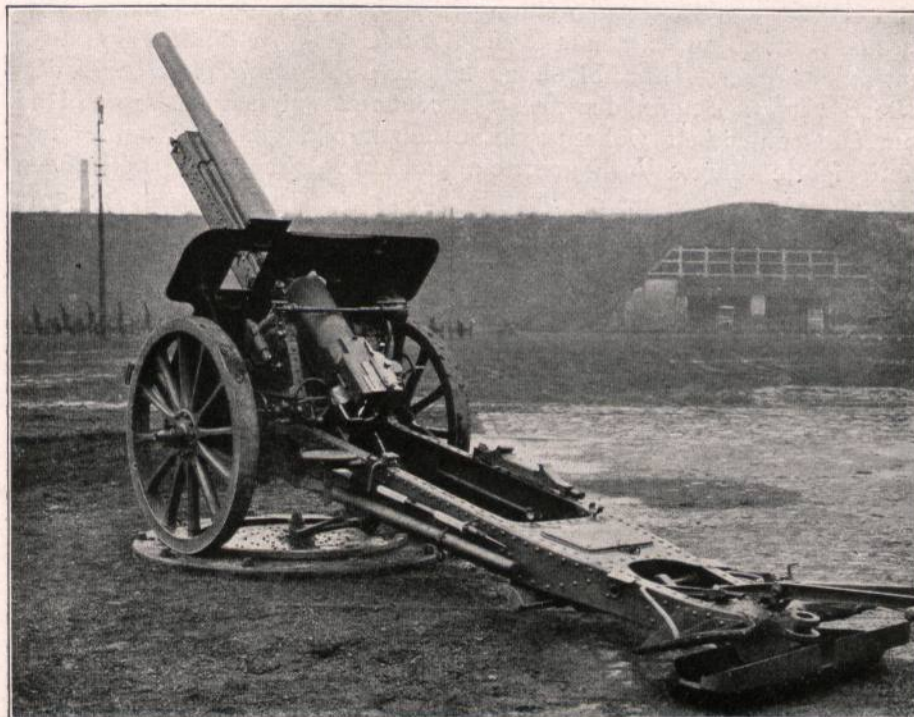


Abbildung 20.

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.

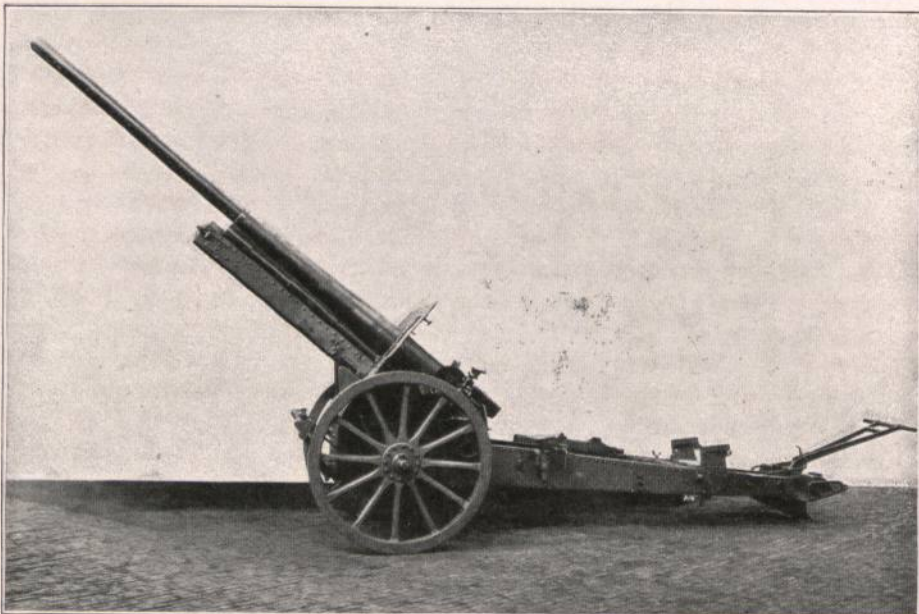


Abbildung 21.

10-cm-Kanone 17.

Zur Bekämpfung von Zielen hinter Deckungen oder in schwächeren 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 Bewegungskriege 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-

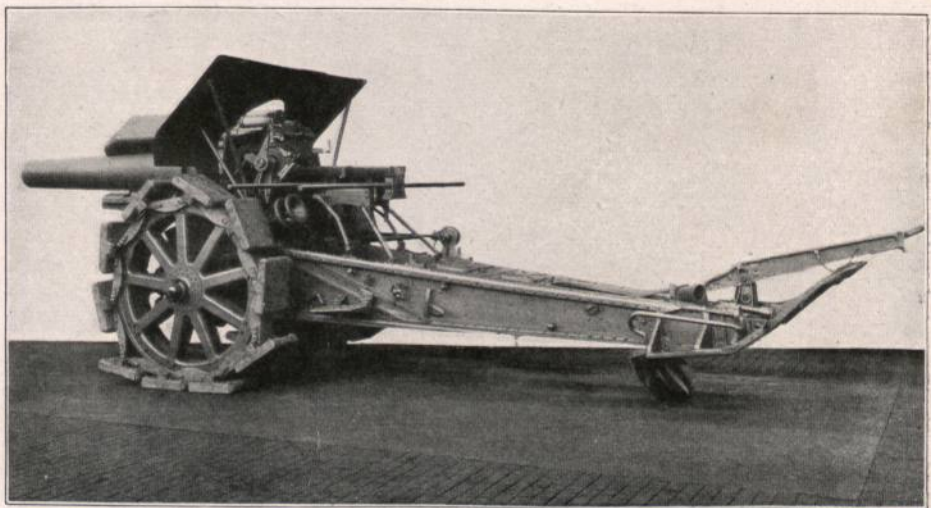


Abbildung 22.

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-

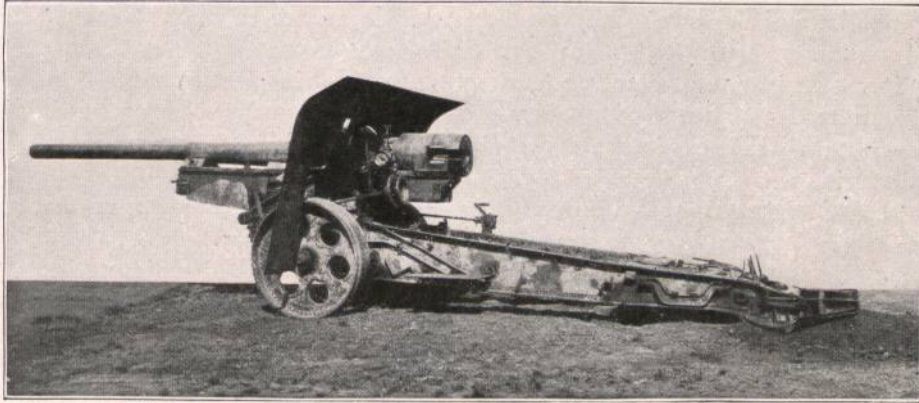


Abbildung 23.

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 bespannte 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

belgischen

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

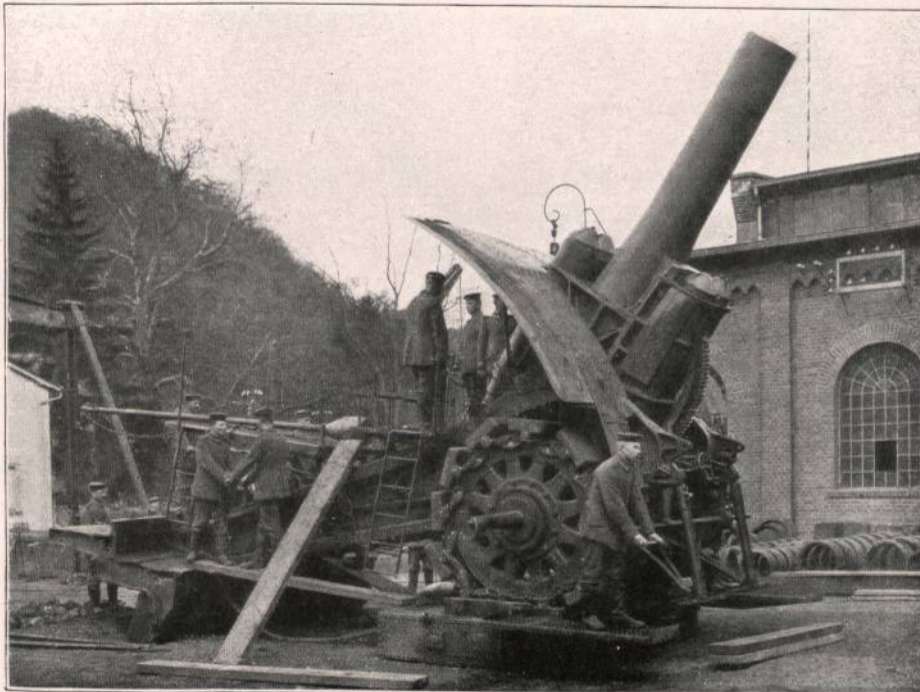


Abbildung 24.

42-cm-Mörser (Krupp) in Feuerstellung.

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

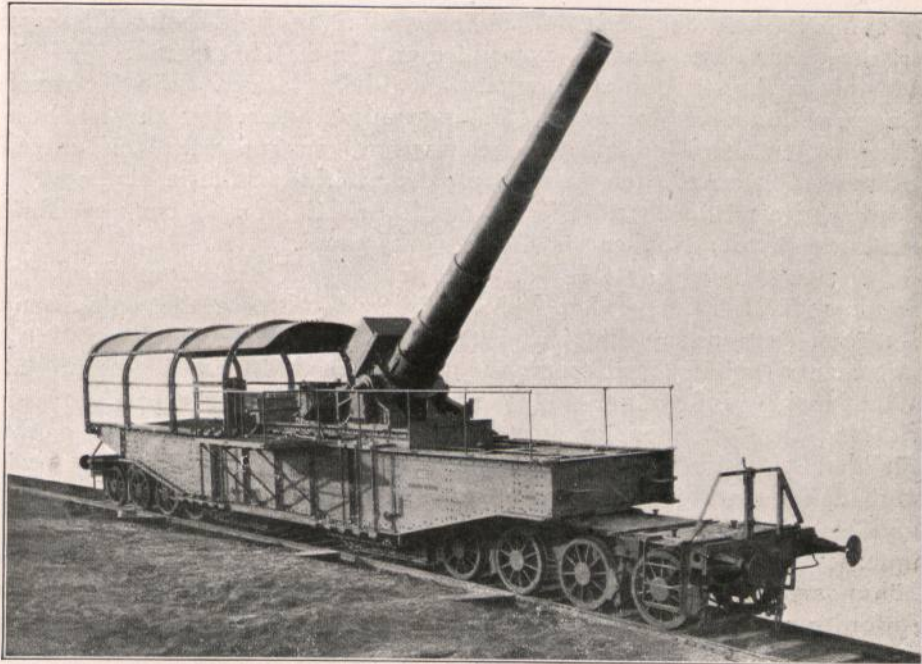


Abbildung 26.

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.

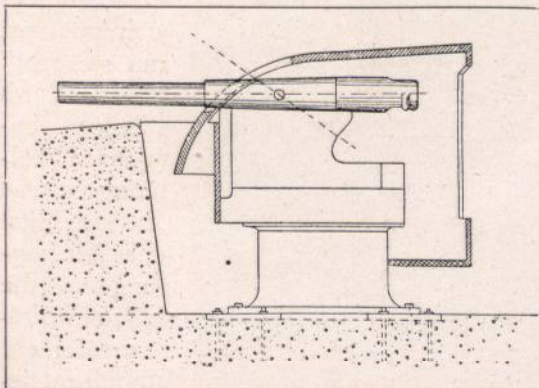


Abbildung 27.

Geschütz in Schirmlafette.

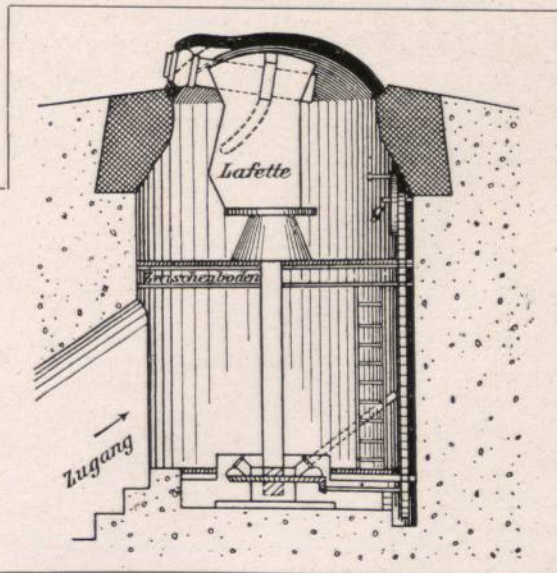


Abbildung 28.

Haubiße unter Vollpanzer.

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.

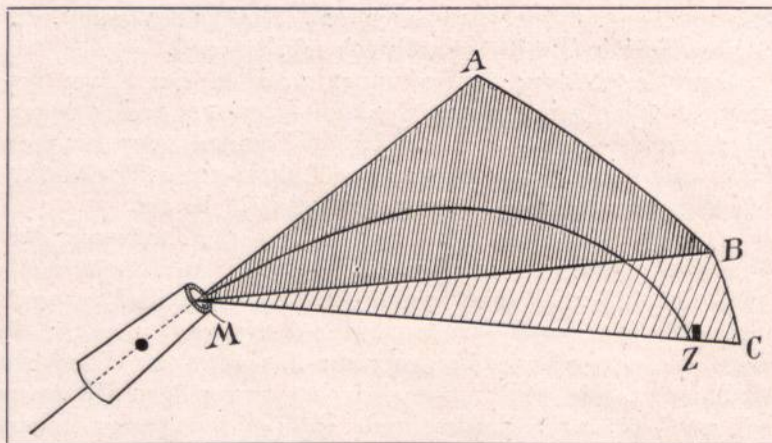


Abbildung 30.

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 gewünschten Stellung, so

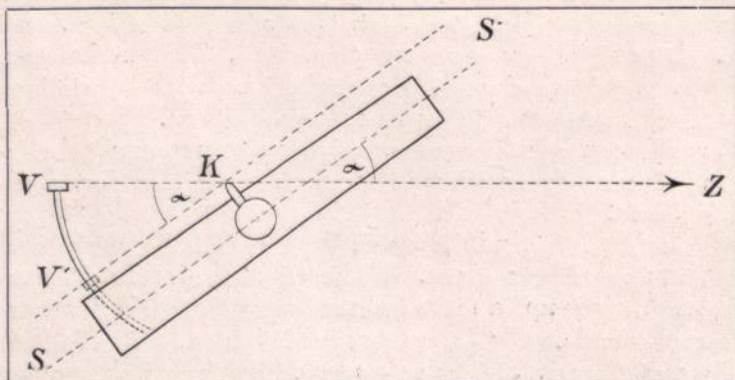


Abbildung 31.

Richten über Visier und Korn.

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

tiefer als K, so ergibt sich der Erhöhungswinkel zu $\varepsilon = \alpha + \gamma$ oder $\varepsilon = \alpha - \gamma$. 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

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 unbequem, 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

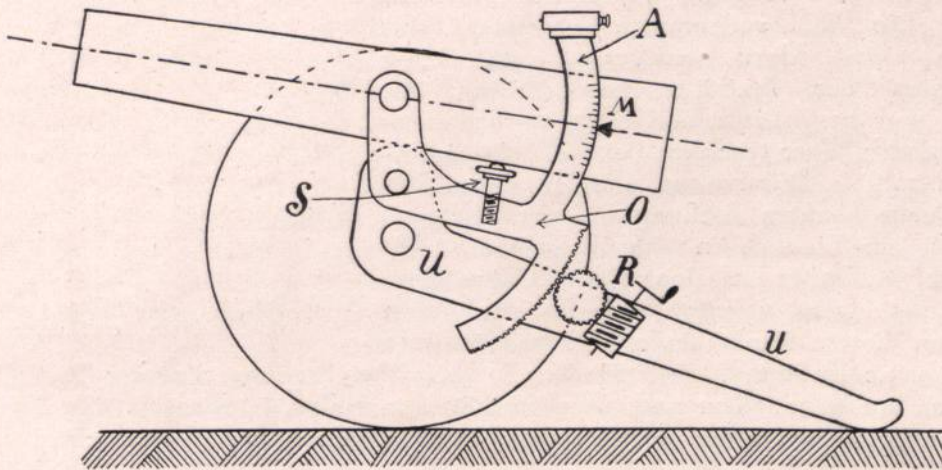


Abbildung 33.

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 neuzeitlichen 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

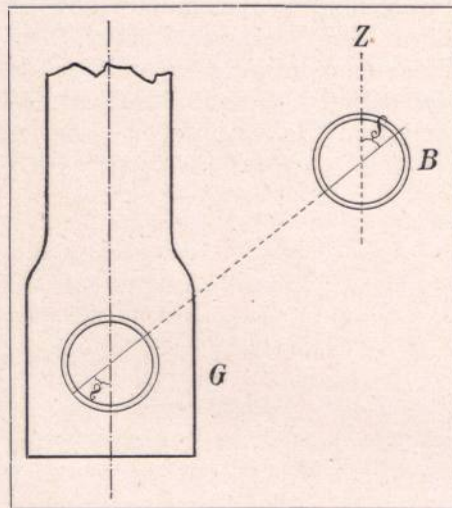


Abbildung 34. Mittelbares erstes Einrichten durch den Richtkreis.

richtet seine Nulllinie nach dem Ziel Z. In dieser Stellung wird der Teilkreis festgehalten und durch Visur nach dem Geschütz der Winkel δ gemessen. Stellt man den gleichen Winkel δ 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° 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 Magnetenadel zum Bussolenrichtkreis vervollkommenet. 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

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 Protze, braucht die Artillerie noch einige Fahrzeuge, die hier lediglich aufgezählt werden sollen: Munitionswagen zum Transport des Schießbedarfs, meist auch als Vorder- und Hinterwagen nach dem Protzsystem 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

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.

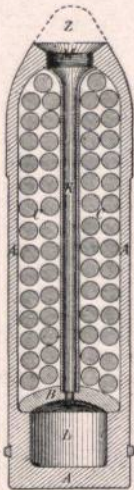


Abbildung 37.
Schrapnell.

d) Sondergeschosse. Panzergeschosse sollen in erster Linie die schweren Panzerungen der Schiffe, der Panzertürme 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.

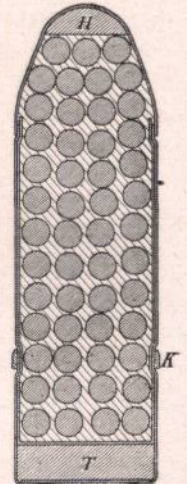


Abbildung 38.
Kartätsche.

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 Geschosß 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 Umgelände 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 Geschosß verbundenes Zündhütchen im Augenblick des Auftreffens zusammen mit dem Geschosß 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 Satz S aus Schwarzpulver in eine Rille des sogenannten Satzstücks (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 Satzringes. Dieser beginnt zu brennen. Meist haben die Brennzünder zwei Satzstücke, ein oberes festes und ein unteres drehbares. Zwischen beiden Satzringen besteht Verbindung durch ein besonderes Schlagloch, das sich mit dem unteren Satzstück verdrehen läßt. Wenn das im oberen Satzstück brennende Feuer bis zum Schlagloch gelangt ist, schlägt das Feuer durch dieses nach dem unteren Satzstück 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 Satzringe 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. 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 Geschosßfluges ablaufende Uhrwerk einen Perkussionszünder in Tätigkeit, der seinerseits die Entzündung der Sprengladung vermittelt.

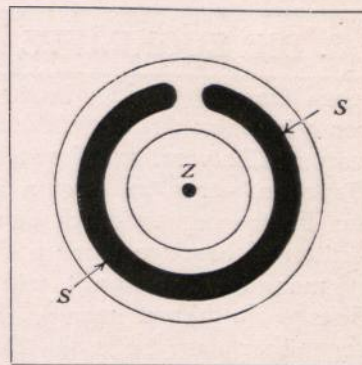


Abbildung 39. Satzstück eines Brennzünder.

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 Geschosßdrehung nach außen bewegt werden, in Gang gesetzt. Ähnliche, auf der Geschosßdrehung 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 Geschosß 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 Rohrsicherheit 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 Rohrsicherheit ist eine mechanische. Die in den Zünder eingebauten Sicherungsteile bewegen sich infolge der Geschosßdrehung nach außen und

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 Krepieren 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. Ebenso wenig 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 uralt. 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 Stäuben 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 auszurauchern. 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 Krimkriege sind nachweislich zuerst von den Russen giftige Rauchentwickler 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 Weltkriege 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 Sturmreifschießen 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 tränererregenden 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 wehen- dem 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 Gasschutz 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 Gasmäskel 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 Tintenklex 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 Klexe 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 Stahlflaschen 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, welche 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 gleichgültig 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 Abschneuerung 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 Gasmengen, die im Blaseverfahren verwendet wurden, hätten genügt, um die ganze Fläche des Deutschen Reiches meterhoch mit Gas zu bedecken. Jedes Gas-schießen erforderte eine Menge von Gasgranaten, die die Anzahl von 100000 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 Großkampf-handlungen 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

bekanntes 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 Blitz getroffen, tot hin, während verdünnte Blausäure bekanntlich in großen Mengen in Form von Schnäpsen, Kirschwasser 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 verwandt, 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 Blasangriff 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 Blasverfahren 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 unbekanntes 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 Gasschutz 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 begebenen wir stets denselben Gasfüllungen.

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 Gasgruppen 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 Artilleriefeuer konzentrierte sich auf die Gräben. Hatten vorstoßende Patrouillen Erfolg, so konnten sie die Aussagen der Gefangenen vielleicht bestätigen, daß in den Gräben Gaskranke 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

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 Gefahrzone 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 Munitionsstapel in die Luft geflogen wäre. Die durch die Luft sausenden, sich oft überschlagenden großen Gasbehälter erzeugten ein surrendes, rauschendes Getöse, ähnlich dem 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

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-Pioniertruppen 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 Werfern 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 tränenenerregende 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-

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 ausströmt, wenn ihm zum Entweichen Gelegenheit gegeben wird. Ähnlich verhält sich die Gasgranate, wenn sie durch den Abschluß 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 Übungsplatze 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 lähmgelegt, der Munitionsnachschub stockte, die Essenträger kamen nicht durch, bis in die Festung Verdun selbst wurde das Gas

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 Gasschußgerät 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 Gasschuß zu spät anlegte. Hierzu eigneten sich ganz besonders die Gas-Brisanzgeschosse. War anzunehmen, daß der Gegner seinen Gasschuß angelegt hatte, so zwang man ihn mit Reizstoffen, seine Masken abzureißen, oder verwandte Giftstoffe, die in Form feinsten Tröpfchen 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 Gasschusses 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 verschoß, 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 Gasschwaden 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.

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 Weltkriege keine Gasbomben aus Flugzeugen, Luftschiffen usw. abgeworfen sind, mit einer Ausnahme. Es war dies an der Ostfront bei der Armee Woyrsch, 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 vorzugehen. Die Deutschen benutzten den Nebel, um die Flügel rechts und links der eigentlichen Gasangriffsstelle 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 Maschinengewehrnester 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 feinverteilter 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 usf. 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 Hintergeländes 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

Ganz besondere Vorsichtsmaßnahmen waren nach einem Beschluß 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; hie 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

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 Ausatemungsventil 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 Ausatemungsluft durch Kalkwasser bläst, so fällt kohlenaurer Kalk nieder. Jedem ist bekannt, wie unangenehm in einem geschlossenem Raume die verbrauchte Luft auf den Menschen einwirkt: Beklommenheit, Kopfschmerzen, Atemnot treten ein, und zuletzt, wenn der Kohlensäuregehalt ein bestimmtes Maß überschreitet, können auch Vergiftungserscheinungen 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 Ausatemungsluft mit in die Lunge ein, die Luft unter der Maske wird immer schlechter. Viele Nationen haben sich in der Weise geholfen, daß sie ein Ausatemungsventil anbrachten. Dies hatte den Vorteil, daß die verbrauchte Luft sofort aus dem Zwischenraum von Gesicht und Maske, dem schädlichen Raum, 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 einzuatmen 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

neuern brauchte. Mit der Einführung dieser Verbesserung fiel die Wischfalte 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 Blechteller angebracht, in den der auswechselbare Ateemeinsatz 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 einführten, 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, geglühte Diatomäen-Erde, Kieselgur usw. zur Verwendung. Die mittlere Schicht bestand aus einer ganz besonders wirksamen Kohle. Das Füllmaterial wurde mit Lösungen von Soda, Pottasche, Bikarbonat, Natriumthiosulfat, Urotropin 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-

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 Mundschicht 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 Wattefilters 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, sulfanilsaures 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 Ätznatron 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 begegnen 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 hie 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.

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 ausgeatmete Kohlensäure und der Feuchtigkeitsgehalt der Ausatemungsluft 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'Oxylythe“ 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 Oxylytheapparat 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, manche 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 Selbstretter und dessen verbesserte Form, das „Heeres-Sauerstoff-Schutzgerät“. Die Sauer-

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; unnachsichtlich 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 fuhren 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 Hilfsoffiziere wurden dem Stabsoffizier vom Gasschutzdienst, wie der Titel lautete, beigegeben, denn ihm unterstand auch der gesamte Nachschub an Gasabwehrwaffen sowie die Verwaltung des Gasschutzlagers. Der „Stogas“

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.

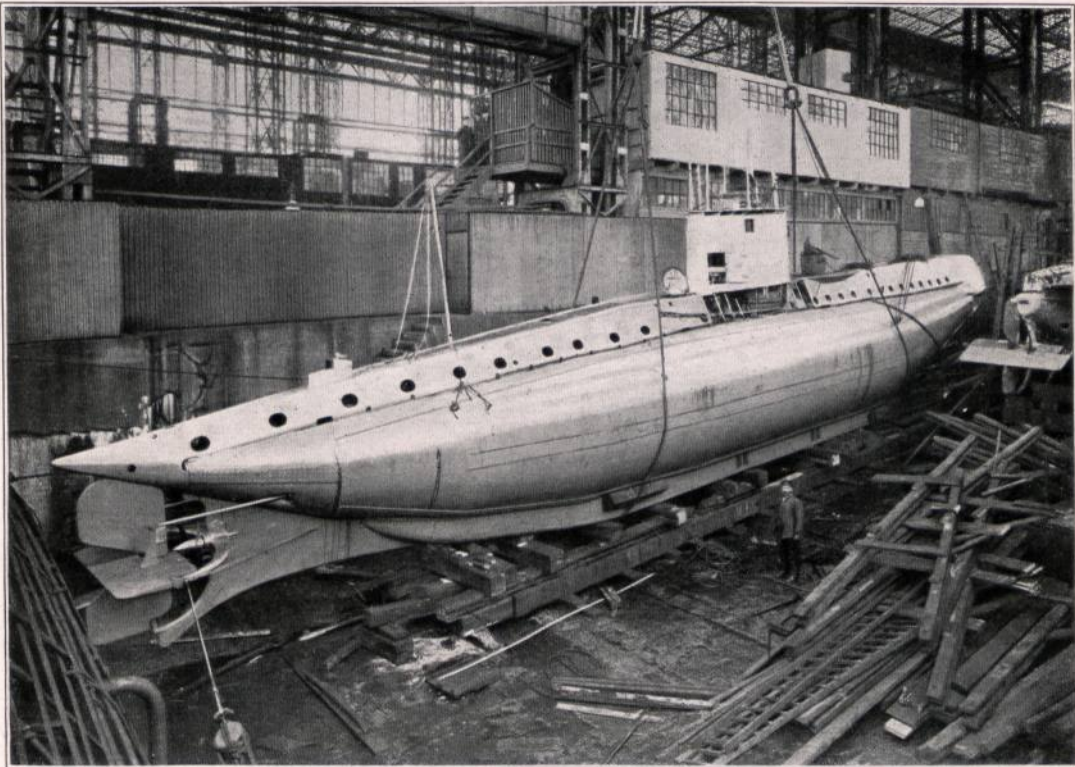


Abbildung 2.

Einhüllenboot (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 Drücke 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 starkwändige 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, Einsteigluken, Fenster und Ventile von Rohrleitungen, welche

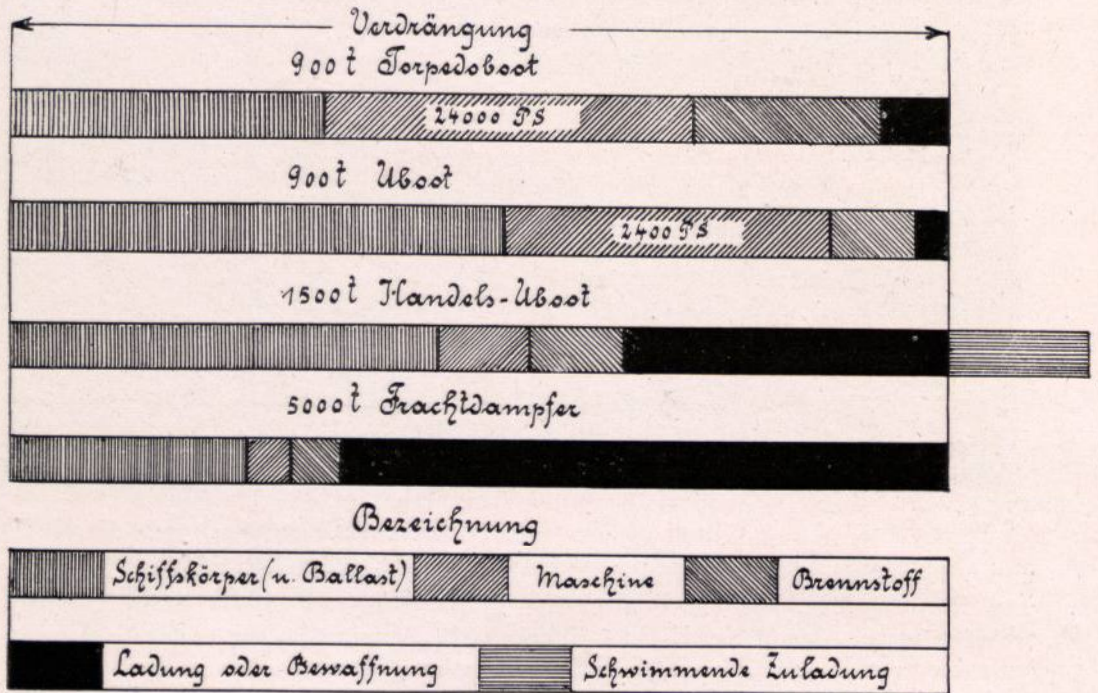


Abbildung 3. Gewichtsverhältnisse verschiedener Schiffstypen.

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 Gewichtsaufwand. 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

benützte 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 eingengt 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 gleichaltrigen deutschen Maschinen. Die Sammler wogen 25 % mehr als die deutschen Sammler von gleichem Fassungsvermögen, und als Folge dieser 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

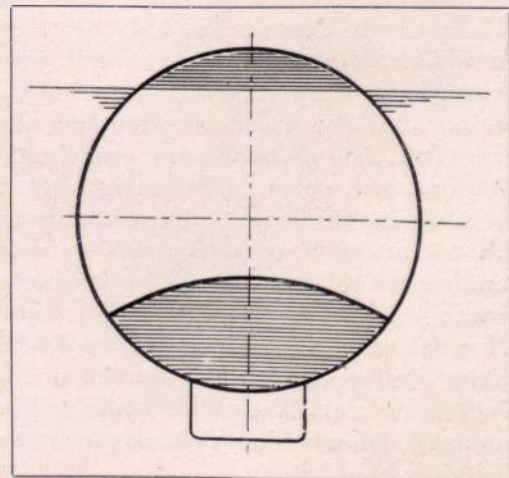


Abbildung 4.

Einshüllen-U-Boot.

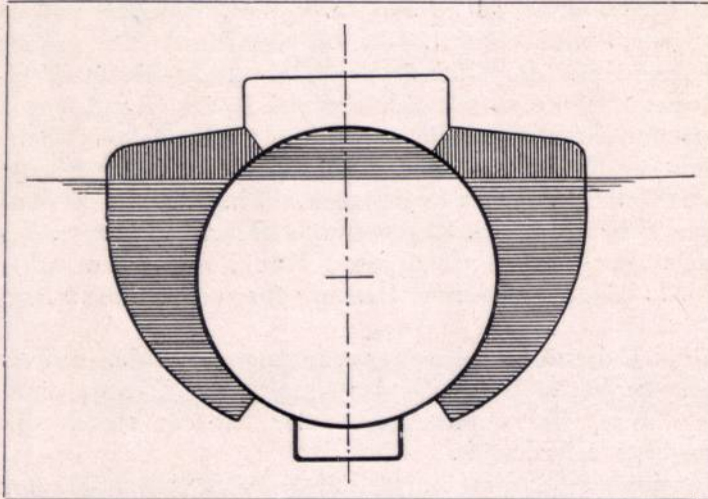


Abbildung 5.

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 verlorengelassene 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

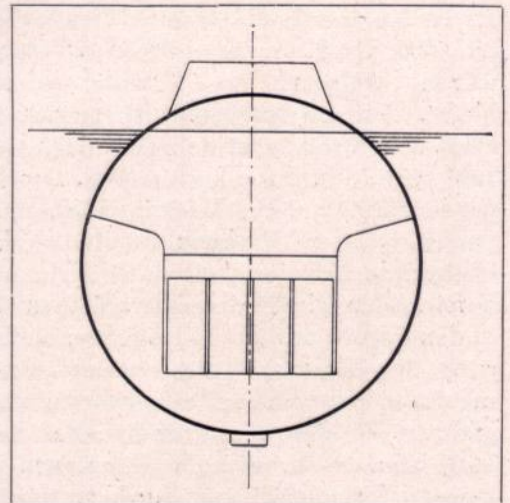


Abbildung 6.

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 Packsätteln 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 heraussucht. 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.

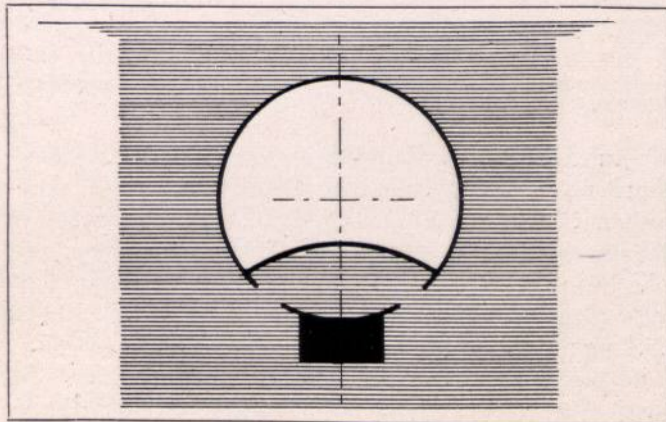


Abb. 7. Einhüllen-U-Boot mit Schwächung des Druckkörpers.

Beim Zweihüllenboot behält der Druckkörper beim Fluten der Tauchtanks stets

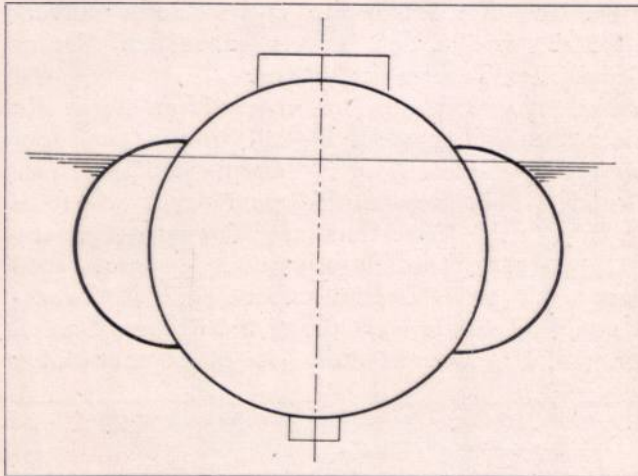


Abbildung 8.

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 nunmaßgebend für seine Seefähigkeit, man nennt den Inhalt des Überwasserschiffs die Reserveverdrängung. Je größer die Reserveverdrängung ist, um so weniger wird

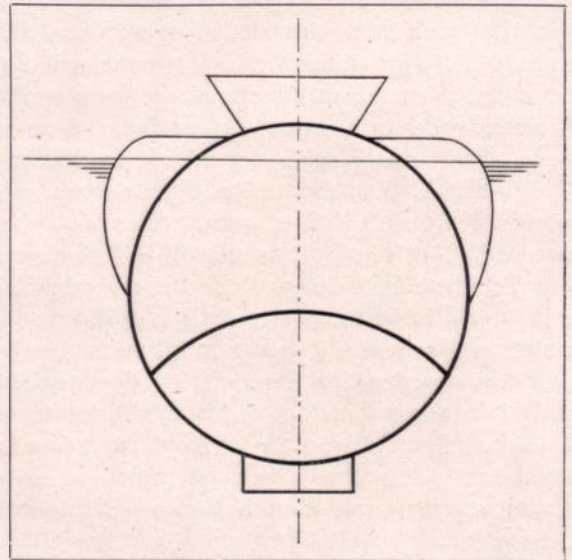


Abbildung 9.

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 Zweihüllenboote, 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 Zweihüllenboot auch ein Teil des Tauchtanks, der senkrecht gestrichelte Teil in Abbildung 6, mit austaucht und die Reserveverdrängung verstärken hilft.

Die Tauchtanks werden der Länge nach unterteilt, damit das Wasser bei halbgefüllten Tauchtanks nicht frei hin und her schießen und die Tiefensteuerung des Bootes gefährden kann. Besonders notwendig ist diese Unterteilung beim Zweihüllenboot, 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 Zweihüllenboot. Einhüllenboote wie die englischen E-Boote mit außenliegenden druckfesten Tanks (Abbildung 8), Einhüllenboote mit innenliegenden Tanks und außen angehängten Satteltanks wie beim Zweihüllenboot, z. B. die deutschen B-2-Boote (siehe Abbildung 9).

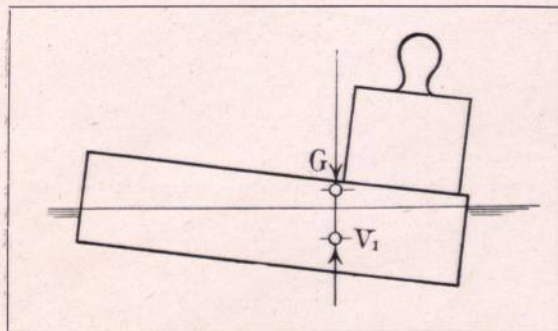


Abbildung 11. Formstabilität eines Brettes.

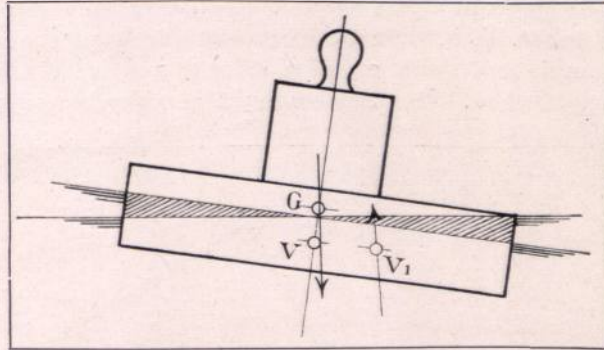


Abbildung 10. Formstabilität eines Brettes.

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 Angriffspunktes 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 ,

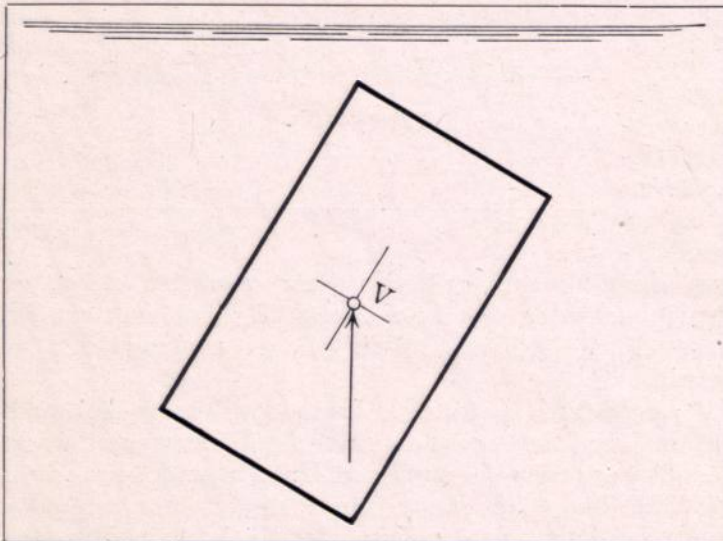


Abbildung 12.

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 der-

selben 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 Verdrängungsschwerpunktes 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-

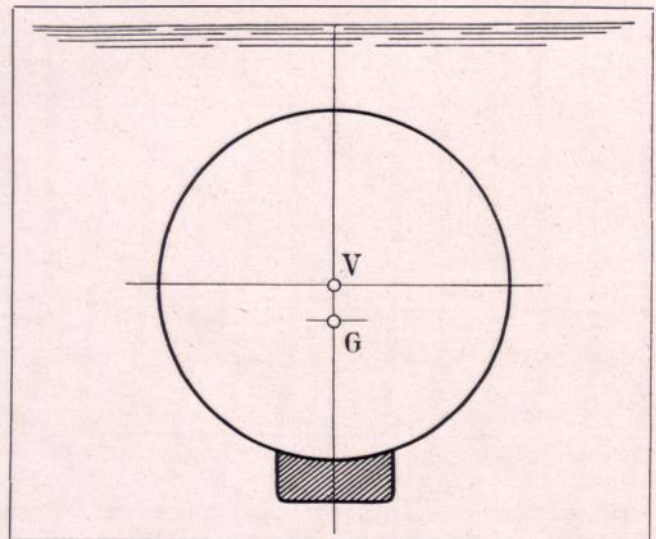


Abbildung 13.

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).

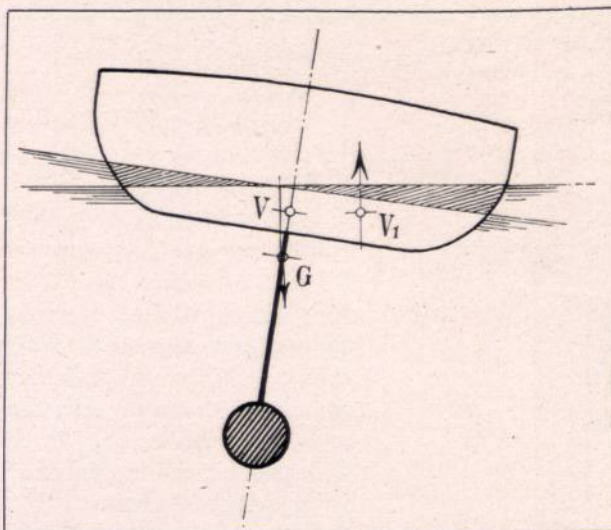


Abbildung 14. Form- und Gewichtsstabilität.

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,

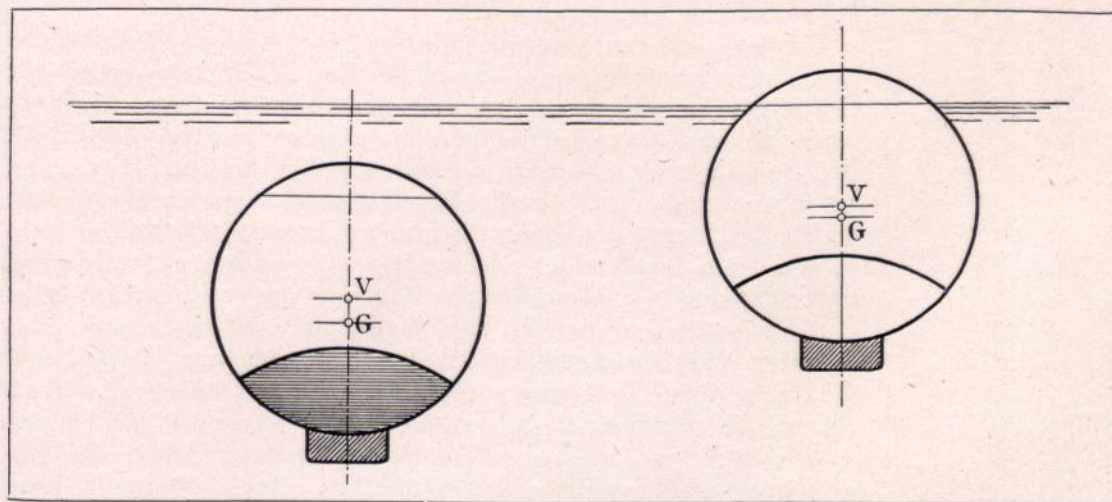


Abbildung 15.

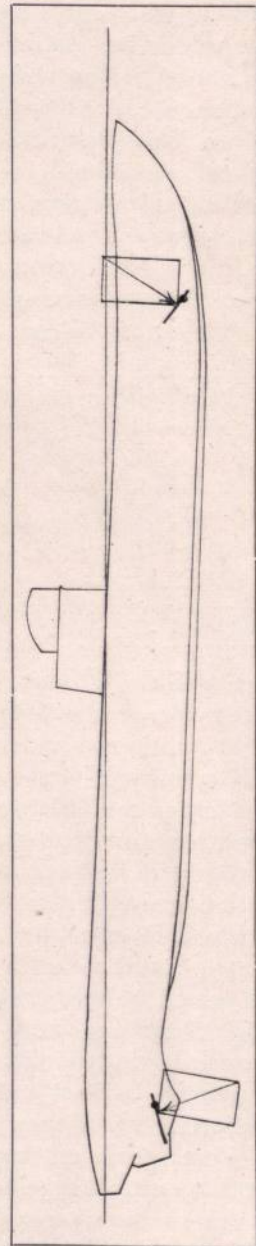
Wandern des Systemschwerpunktes beim Einhüllenboot.

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 austauchen, 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 Schiffarten. 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 waggerchter 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-



Vorlastiges Tauchen.

Abbildung 18.

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

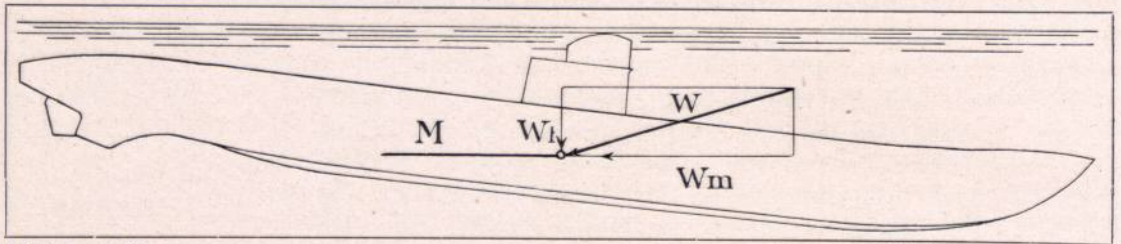


Abbildung 19.

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_t 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, Untertriebtanks 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

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 ge-

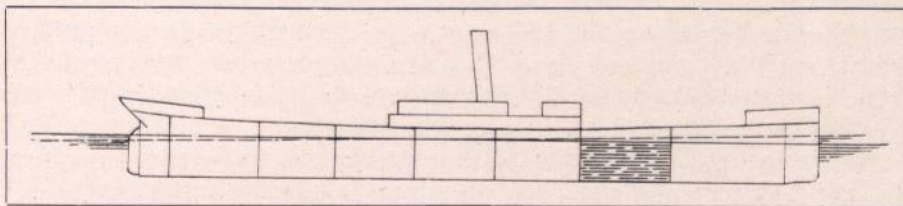


Abbildung 21.

Frachtdampfer mit Lack.

steigert wird. 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 Bootsinnern 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 vorausberechneten Schiffsgewichtes nur bewirken, daß das Schiff ein wenig tiefer einsinkt, z. B. würde ein 900 t-Torpedoboot, das 3⁰/₁₀ 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 3⁰/₁₀, also 27 t, wäre auf keine Weise auszugleichen. Eine Gewichtsüberschreitung von 3⁰/₁₀ kann sehr leicht eintreten, z. B. brauchen nur die Platten des Druckkörpers um 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,

nur verhältnismäßig geringfügig, es gilt vor allem die Wassereinbrüche 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 Wassereinbrüchen 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 Ballastkiels, 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 Sicherheitskiels 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 zugeklemmt 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 Luks zum Verlassen des gesunkenen Bootes ist nicht so ohne weiteres möglich, denn



Abbild. 22. Mann mit Tauchretter.

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 erwähnten 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 Wassereinbruch in Lebensgefahr, und wie leicht kann ein Wassereinbruch bei den zahllosen verwickelten Einrichtungen des U-Boot, 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

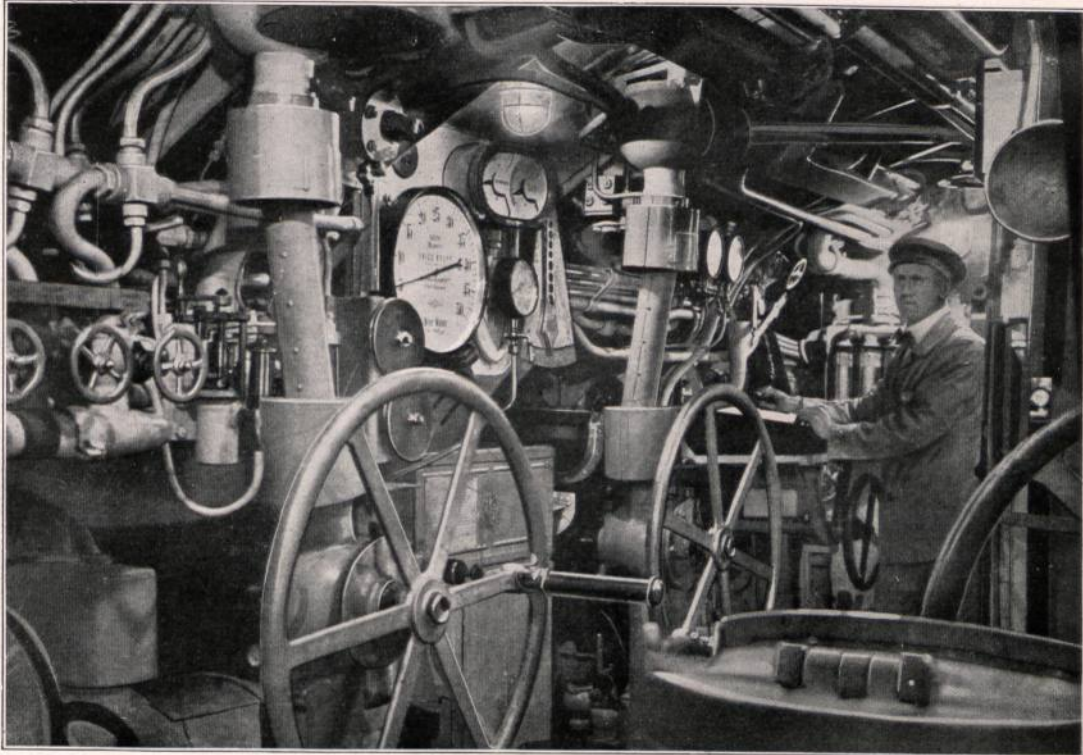


Abbildung 24.

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 Umblick 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

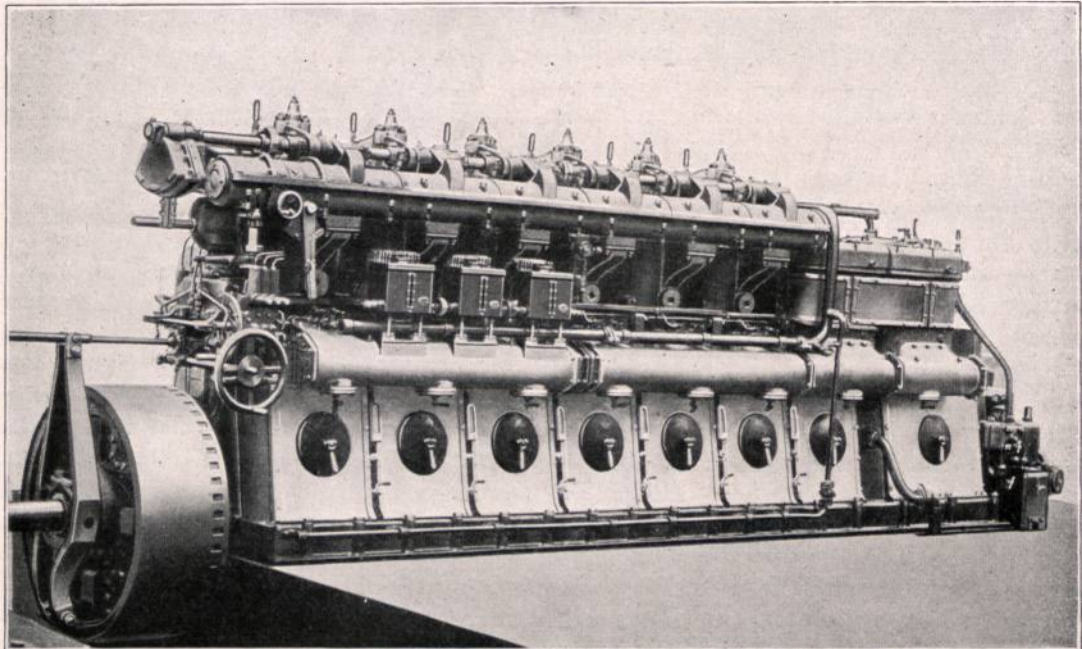


Abbildung 26.

400-E.P.S.-Zweitakt-Schiffsölmachine von Gebr. Körting A.-G.

Marinen, abgesehen von vereinzelt Dampfantrieben, der Benzinmotor, eine Art vergrößerten Automotors, benutzt. Diese Antriebsart wurde von der deutschen Marine grundsätzlich abgelehnt, weil die Benutzung von Benzin in dem engen und mangelhaft gelüfteten Bootskörper mit den größten Gefahren verbunden ist, zumal Entzündungen infolge von Leichtfertigkeit der Mannschaft oder durch die unvermeidliche Funkenbildung in der elektrischen Anlage nie mit Sicherheit vermieden werden können. Grundsätzlich sollte daher nur das wegen seines höherliegenden Flammpunktes ungefährliche Petroleum verwandt werden. In der Tat gelang es auch der Firma Körting 1904, auf Anregung der Marine einen Petroleummotor von größerer Leistung, den ersten betriebssicheren U-Boot-Motor, herauszubringen. Zwei derartige Motoren, mit elektrischer Zündung im Zweitaktssystem arbeitend, jeder von 200 E.P.S. (effektiven Pferdestärken), wurden in dem ersten deutschen Boot U 1 eingebaut. Während Benzin in einer einfachen Düse wie bei jedem Automotormotor vergast werden konnte, mußten für das schwer zu verflüchtigende Petroleum besondere elektrische Heizkörper in der Maschine vorgesehen werden, mit denen beim Anfahren die kalte Maschine erwärmt werden konnte. War die Maschine gut im Gange, so erfolgte die Vorwärmung des Petroleums durch die Abgaswärme. Die Motoren haben gut gearbeitet und wurden bei den weiteren Booten bis U 18 bis zu einer Größe von 350 E.P.S. entwickelt und auch konstruktiv weiter durchgebildet.

Die Motoren haben durchweg je sechs Zylinder, weil sich bei dieser Anordnung der vollkommenste Ausgleich der Massenkräfte bei gleichzeitig guter Manövrierfähigkeit der Maschine erreichen läßt.

Schon während im Körtingschen Motor eine brauchbare U-Boot-Maschine gefunden war, ging das Bestreben dahin, die in schweren Landausführungen bewährten Dieselmotoren dem U-Boot dienstbar zu machen. Der Brennstoffverbrauch des Zweitakt-

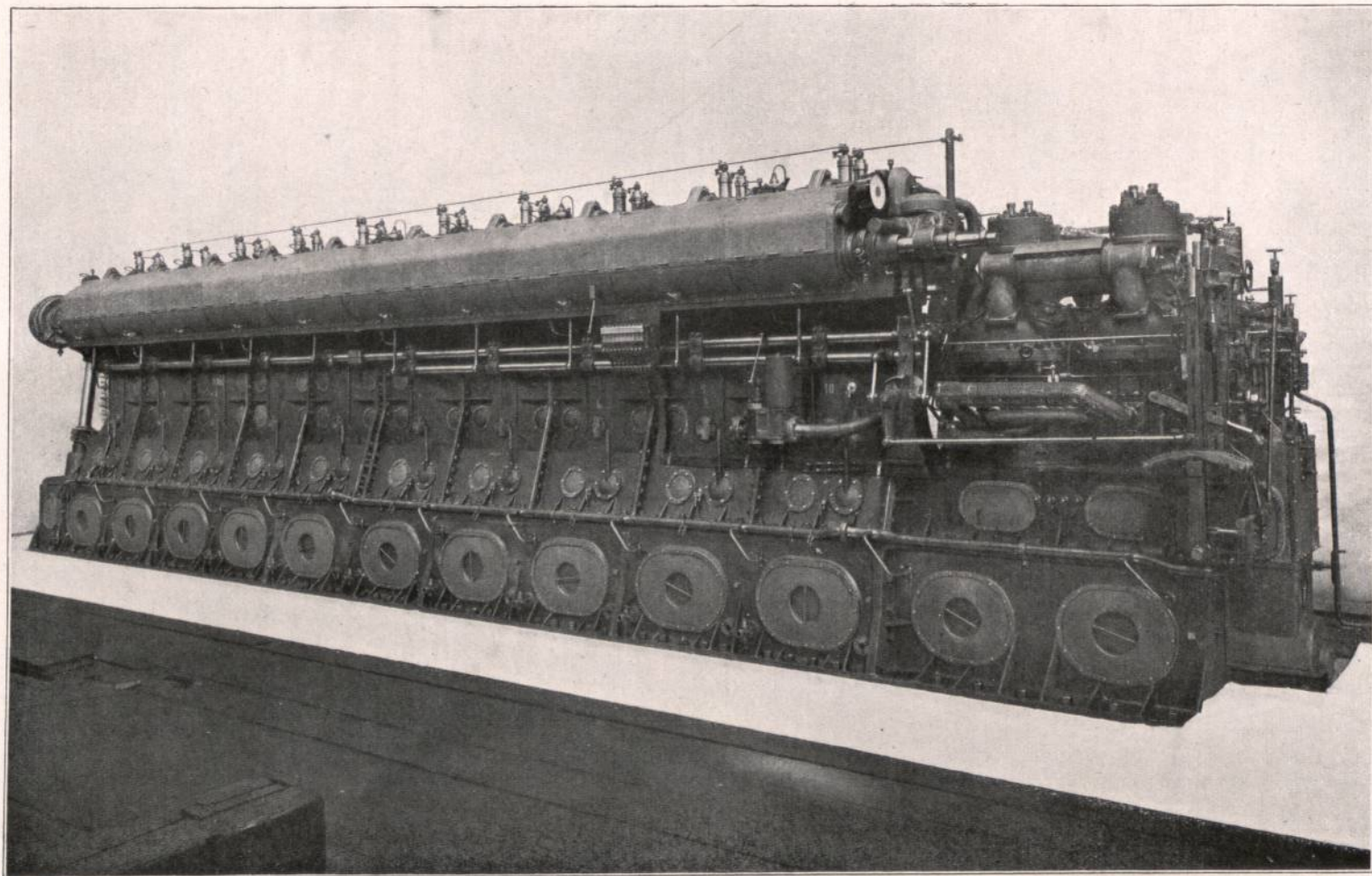


Abbildung 27.

3000 E. P. S.-Schiffsölmaschine der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg (Länge zirka 11,5 m, Höhe zirka 3 m).

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 Hartgummideckel ist wasserdicht vergossen und so eingerichtet, daß man die Zellen um 40° nach jeder Seite neigen kann, ohne

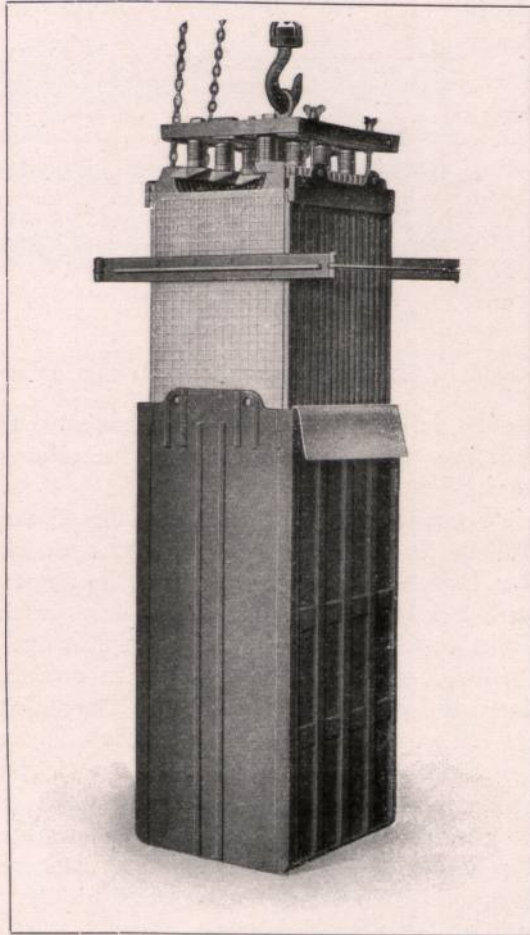


Abbildung 32.

Sammlerzelle.

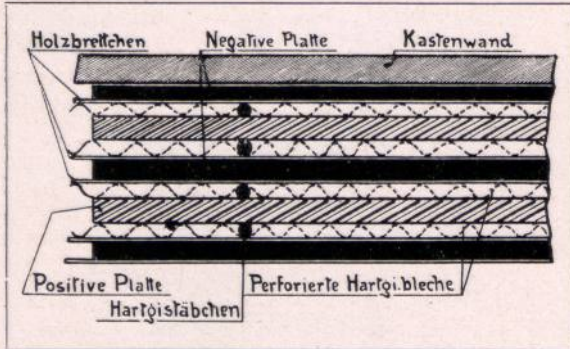


Abbildung 33. Anordnung der Platten im Sammler.

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 Bleisammlers 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.



Abbildung 34. Leistungsvermögen der Sammler in Amperestunden bei verschiedener Dauer der Entladungen.

Schaukurve 34 zeigt das eigentümliche Verhältnis zwischen Entladedauer und Fassungsvermögen. Entladet man den Sammler mit 480 Amp, so liefert er diese

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 2½ 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 bereitete. 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.

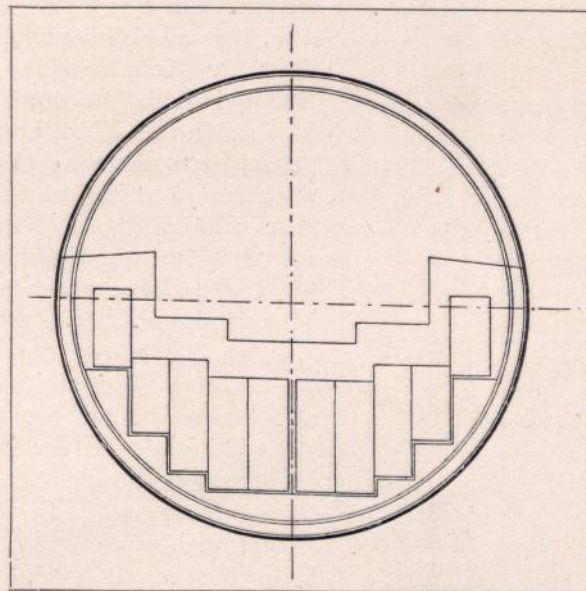


Abbildung 35. Aufstellung der Sammlerzellen.

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-

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-

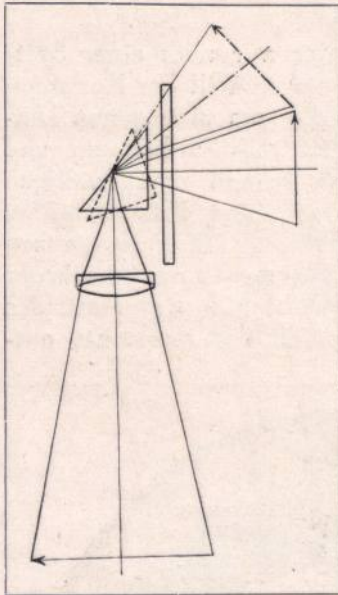


Abbildung 37.

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



Abbild. 38. Objektivkopf eines Kippbildsehrohrs. (Die gestrichelten Strahlen gelten für eine um 45° gehobene Eintrittsachse.)

kippbare 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.

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

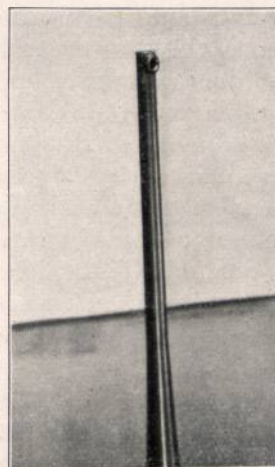


Abbildung 39. Oberes Ende eines Sehrohrs mit verjüngtem Oberteil.

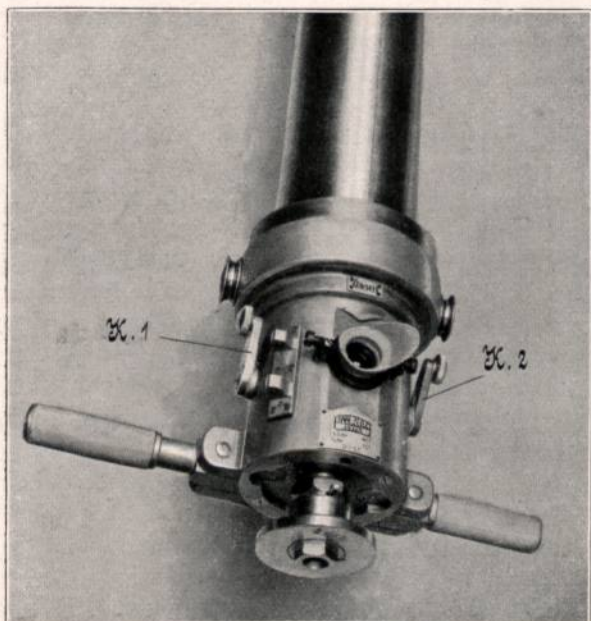


Abbildung 40. Sehrohr-Unterteil. (Okularkopf eines Zeißschen Kippbildsehrohrs.)

„E 1“ und dem französischen „Turquoise“ bestätigen dies.

Abbildung 40 zeigt das untere Ende des Sehrohrs; man erkennt die Gummimuschel des Okulars, die Kurbeln K₁ und K₂ 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-

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

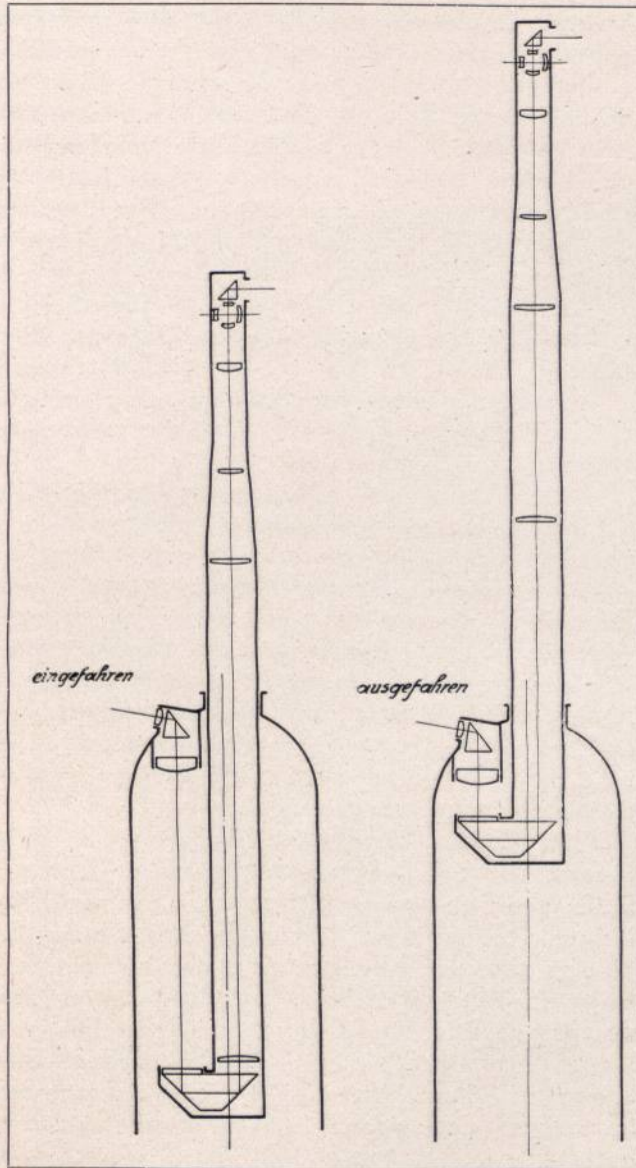


Abbildung 42.

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 Einfahrstrecke 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 (Hysteresis).

Eine leidlich brauchbare Lösung ist schließlich durch einen außerhalb des Druckkörpers angebrachten Kompaß gefunden worden. Diesen Kompaß umspülen 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 genauen und zuverlässigen Wegweiser entwickelt worden wäre. Auf die Wirkungsweise des Kreiselkompasses 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

Die Horchapparate sind die Ohren des U-Bootes, die ihm beim Tieftauchen 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 trüberen Gewässern der Nordsee und gar in den schlammigen Fluß-

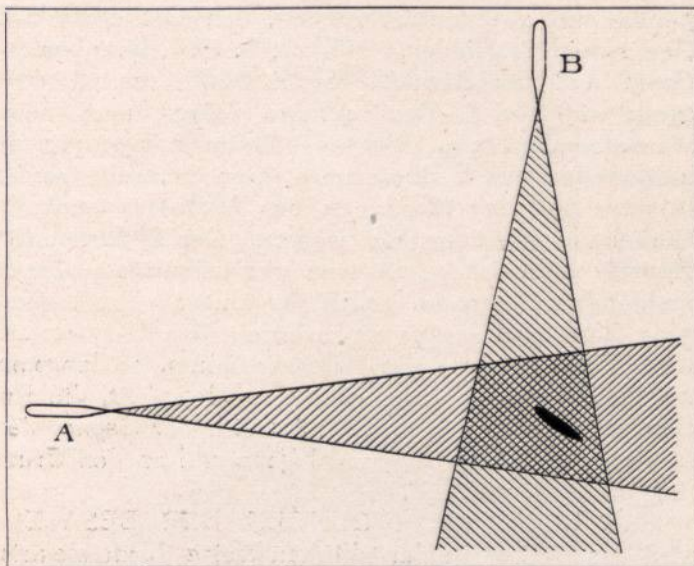


Abbildung 46. Zwei Bewacher erhorden ein U-Boot.

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 Hordwirkung 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 Fernsprechörer 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 Horchvorrichtungen noch zum Signalisieren von einem U-Boot zum anderen unter Wasser benutzt werden. Mit Glocken oder elektrisch schwingenden Membranen können Morsezeichen gegeben und Telegramme übermittelt werden, wobei Reichweiten bis zu 80 km erzielt wurden. Schließlich können die Horchapparate in der auch bei Überwasserschiffen üblichen Weise zum Ansteuern von Glockenbojen oder mit Unterwasserglocken ausgerüsteten Feuerschiffen, sei es im Nebel über Wasser oder auch bei der Tauchfahrt, benutzt werden.

Vorbedingung für die Verwendung der Horchvorrichtung ist freilich, daß äußerste Ruhe im Boote herrscht. Vor allem hat auch der Feind hochentwickelte Horchvorrichtungen 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 Küstenhochstellen 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 mahlenden 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 heraussaugt. 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 Turmluk 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 Kohlensäure 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 Natrium-Hydroxyd in erbsengroßen Stücken auf möglichst großer Oberfläche verteilt ist. Diese Masse reinigt die Luft von der angereicherten Kohlensäure 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

Die vorstehende kurze und daher grobzügige und oberflächliche Beschreibung der Einrichtungen des U-Bootes wird immerhin ahnen lassen, welche ungeheure Menge von hochwertigsten Maschinen und Apparaten, von feinfühligem 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 hinausgestoßen. 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 Lauftiefen 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

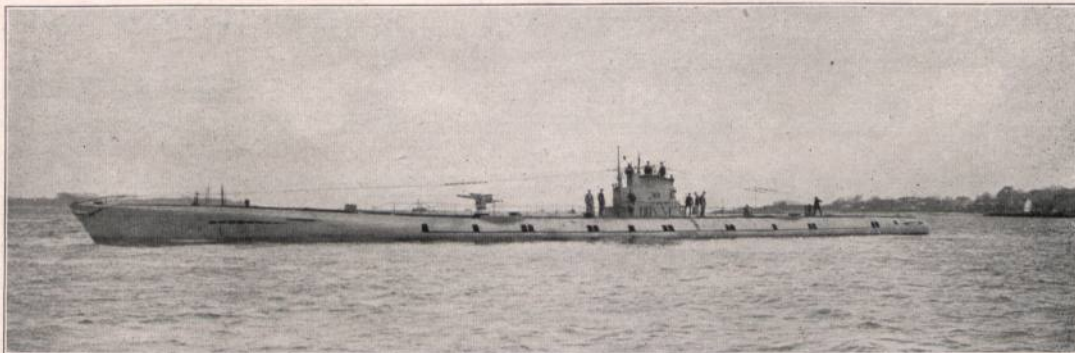


Abbildung 48.

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 Gradlaufapparat 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

Abb. 51 a

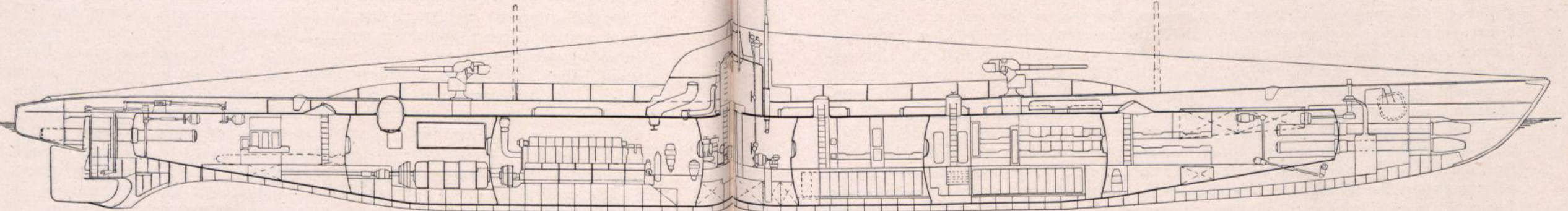
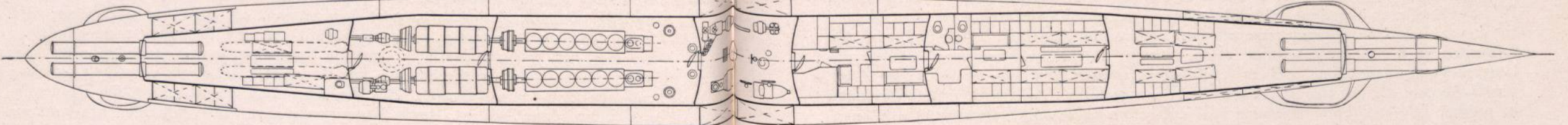


Abb. 51 b



Erklärung der Zahlen zu den Abbild. 52a und 52b

1. Ruderantrieb — 2. Torpedorohre — 3. Steuerstand — 4. Heck- und Bugspill — 5. Mannschaftswohnräume — 6. Schleusen — 7. Telefonbojen — 8. Schalldämpfer — 9. Schalttafel — 10. Kupplung — 11. Haupt-E-Maschine — 12. Reibungskupplung — 13. Ölmotoren — 14. Luftflaschen — 15. Boot — 16. Frischluftzuführung — 17. 15-cm-Geschütz — 18. 8,8-cm-Geschütz — 19. Munitionsraum — 20. Lademaschine — 21. Entfernungsmesser — 22. Hauptlenzpumpe — 23. Antennenschacht — 24. Sehrohr-Fahrstuhlschacht — 25. Bereitschaftsmunition — 26. Sammler — 27. Motorboot — 28. Netzabweiser — 29. Torpedo-Gefechtskopf —

30. Tiefenruder — 31. Kettenkasten — 32. Netzbrecher — 33. Proviantraum — 34. Küche — 35. Kühlraum — 36. Navigationsraum — 37. F.-T.-Raum — 38. Kreiselkompaß — 39. Verteiler-Kasten zum Ausblasen der Tauchtanks — 40. Wohnräume für Offiziere — 41. Wohnraum für drei Maschinisten — 42. Abort — 43. Trimm tanks — 44. Bunker — 45. Zusatzbunker — 46. Tauchtank — 47. Regler tank — 48. Schmieröltank — 49. Kobbenkühlwassertank (U 139), Frischwassertank (U 140-411)

Abb. 52 a

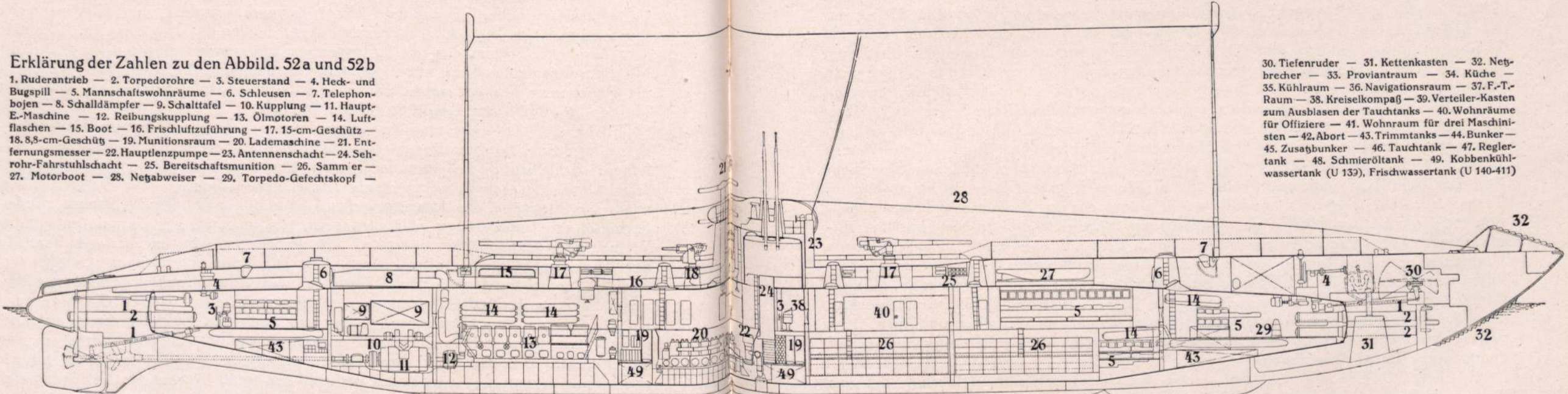
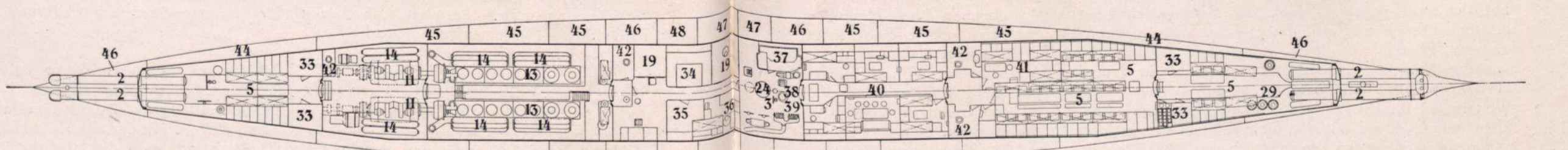


Abb. 52 b



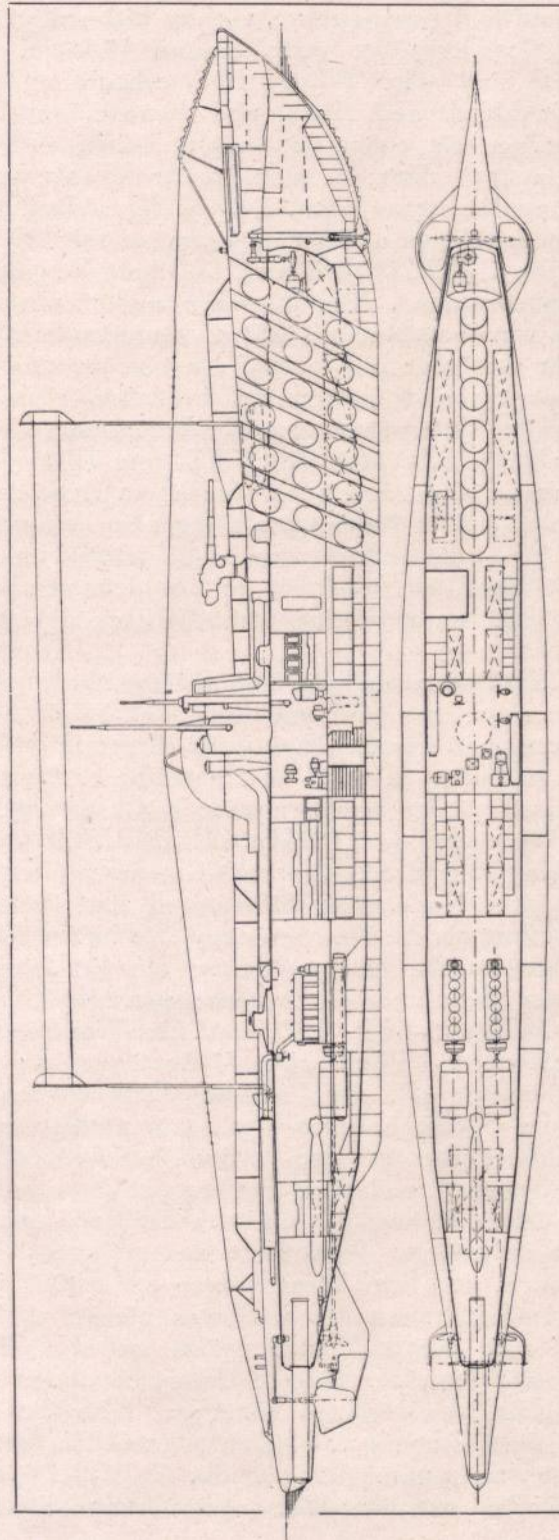
größerer Entfernung vom Stützpunkt zu wirken, doch galten noch kurz vor dem Weltkriege selbständige Unternehmungen von U-Booten auf mehrere hundert Seemeilen Entfernung als ungewöhnliche Leistungen. Dies war wohl auch mit auf die verschiedenen Unfälle zurückzuführen, denen das U-Boot in seiner Entwicklungszeit ausgesetzt gewesen war, und die den Eindruck erweckten, daß das U-Boot ein empfindliches und für den Besitzer 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 Unternehmungsgeist 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 Hafenverteidigung 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,

über besondere U-Boot-Stützpunkte und Brennstoffversorgungen 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 Gefahrstellen 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 Minenschächten 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.

GRÖSZERE 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

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

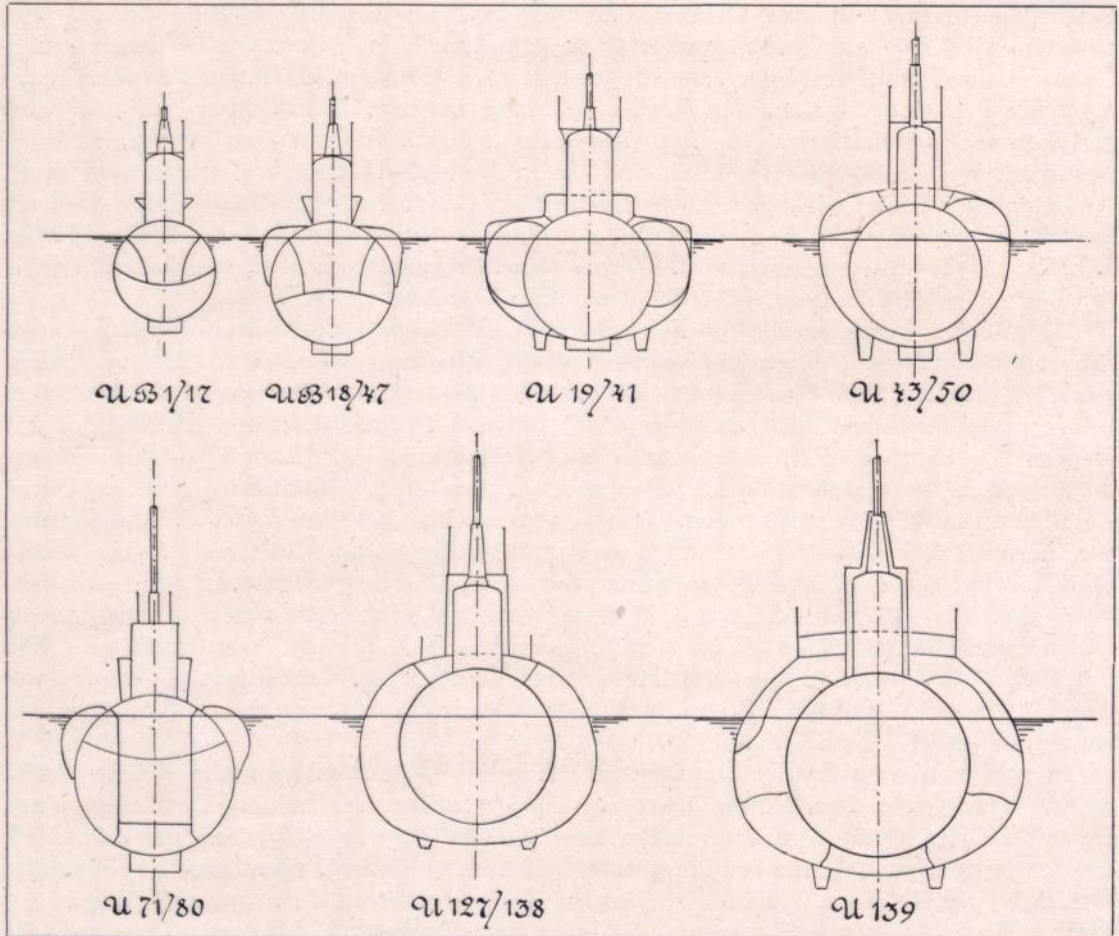
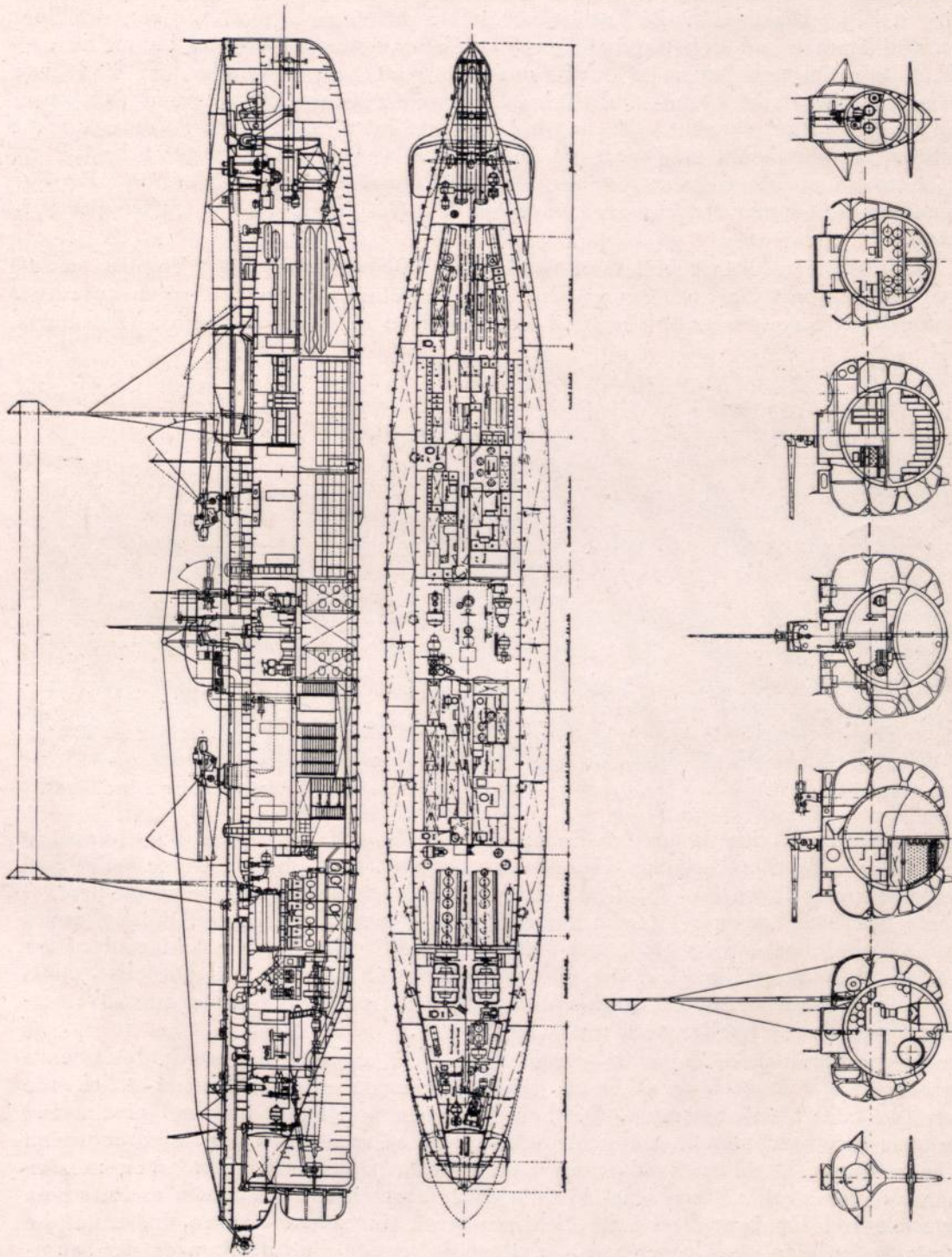


Abbildung 55.

Querschnitt deutscher U-Boote.



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 Tauchtank-entlüftungen 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

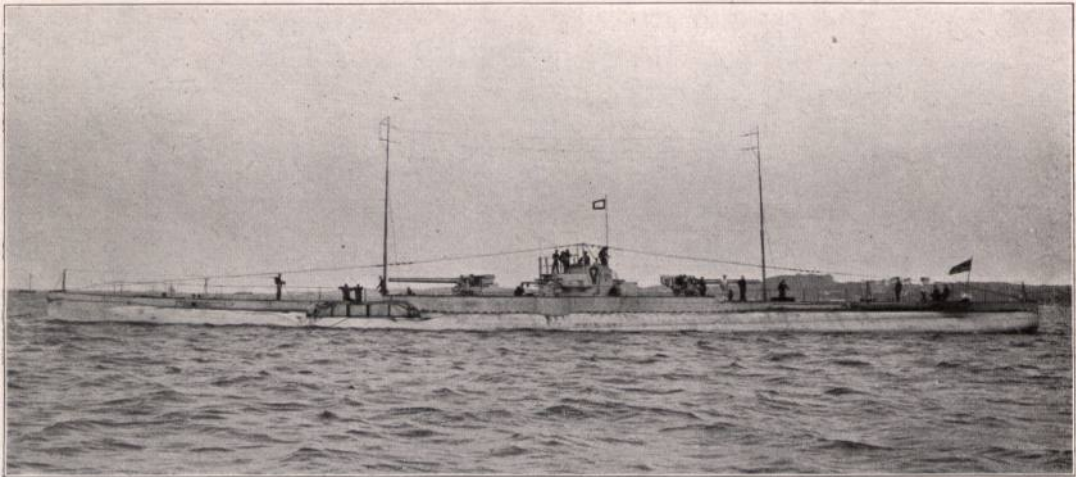


Abbildung 57.

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 Wagsacken 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 Untertriebttank, 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

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-

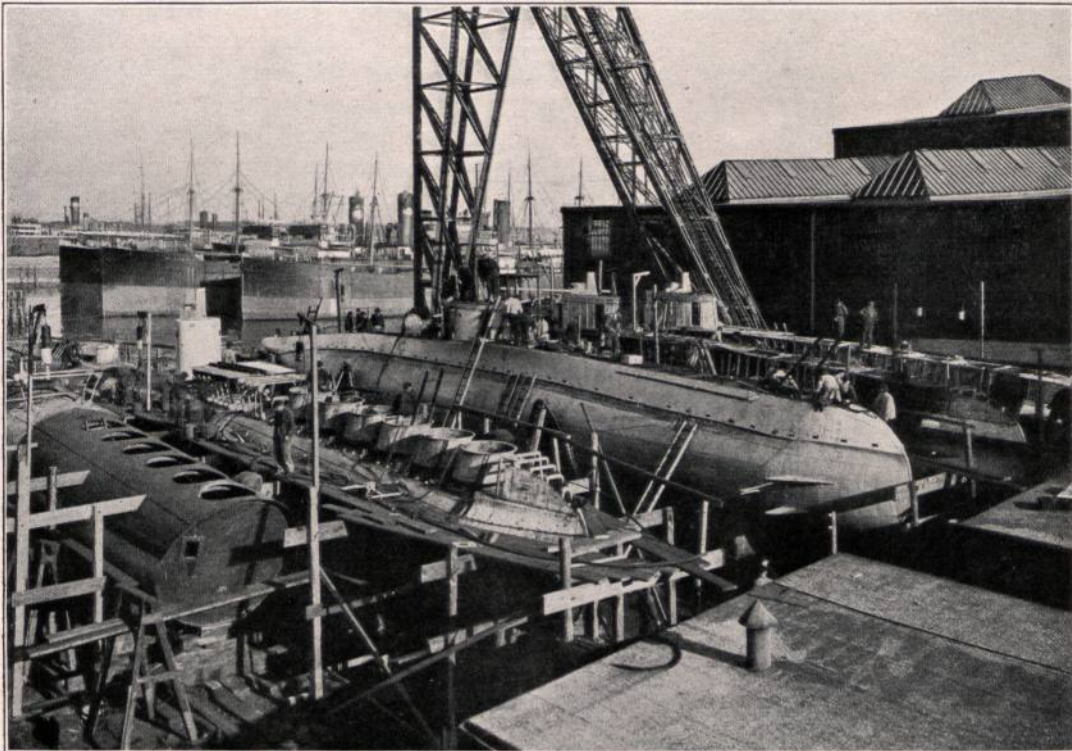


Abbildung 60.

Reihenbau von U-C-1-Minenbooten.

fältig durch das Sehrohr 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

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 Inbaugefertigung 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 Probefahrten 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 Frontreife des Bootes vergingen also etwa 20 Monate.

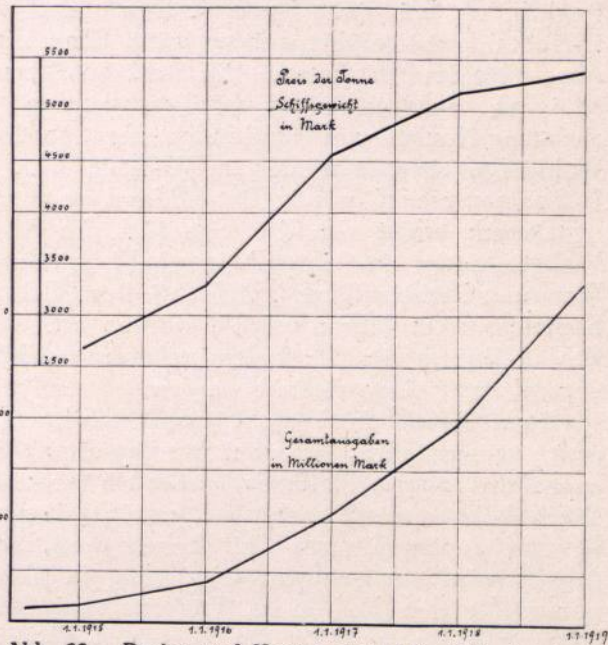


Abb. 62. Preise und Kosten der U-Boot-Neubauten.

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 Havarien 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 ermessen, 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 aufgezugene 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-

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-

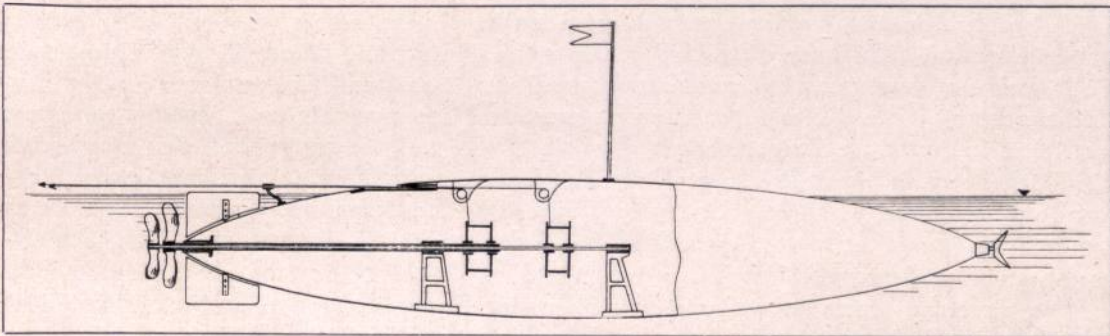


Abbildung 3.

Gesteuertes Torpedo 1880.

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 scheiterten 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 Luppis 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 Luppis vorgeschlagenen Waffe: Sichtbarkeit durch den Feind, störender Einfluß der Wellenbewegung und vor allem die zu geringe zu erwartende Wirkung einer

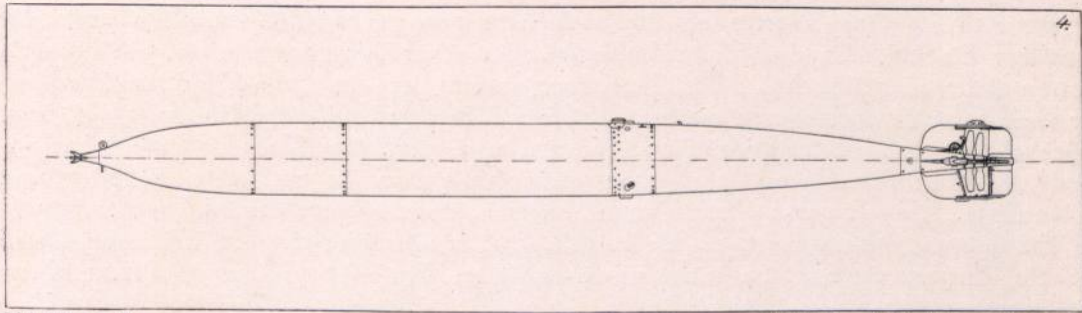


Abbildung 4.

Whitehead Fischtorpedo 1884.

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.

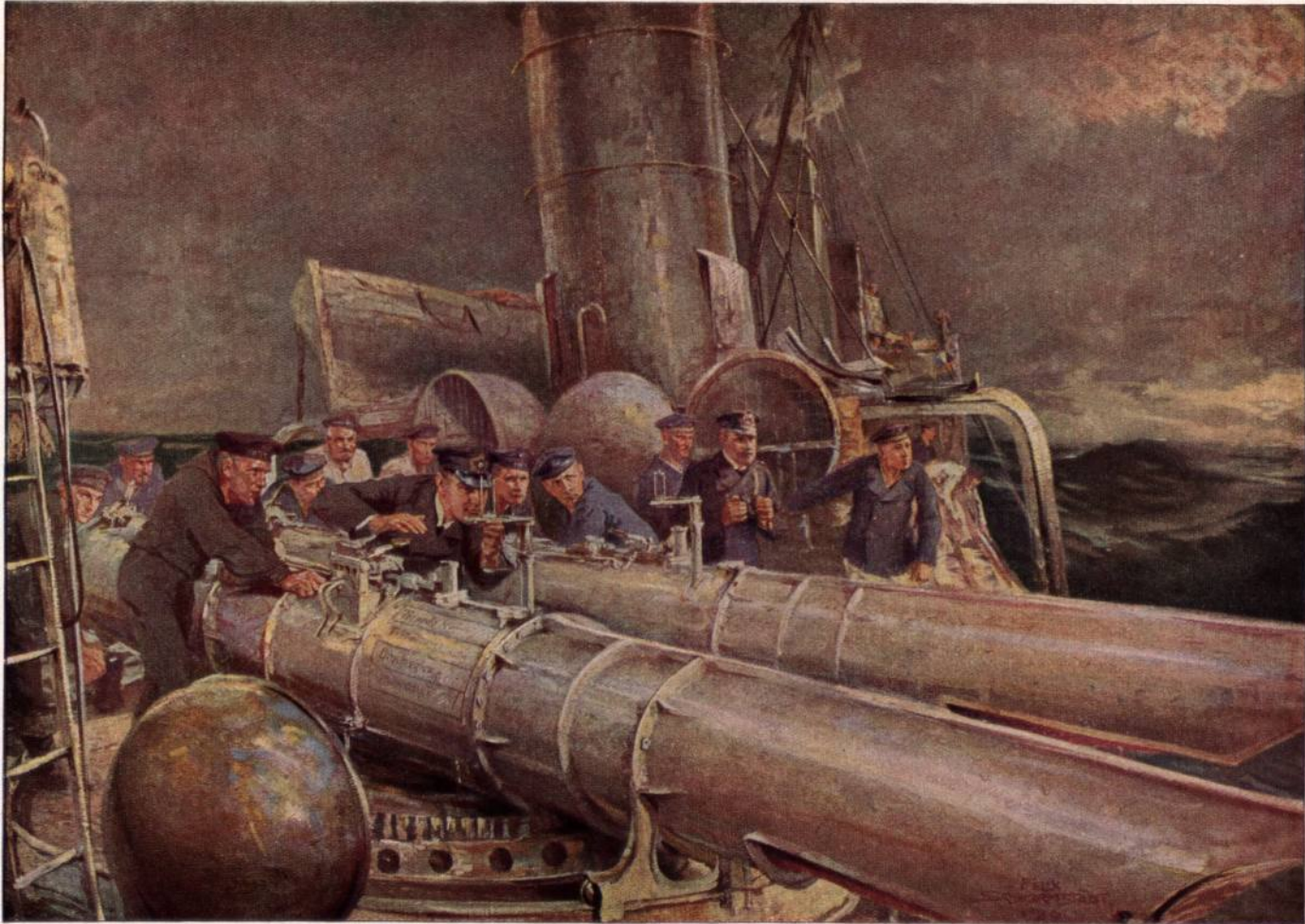
Nebenher ging selbstverständlich mit gleichen Schritten die Entwicklung des nicht minder wichtigen Teiles der Torpedowaffe vor sich, der Lanciervorrichtungen, in der Folge mit Torpedorohr bezeichnet. Auch hier gelang es, durch jahrelange Schießversuche einheitliche Systeme von Über- und Unterwasserrohren, 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 Obryschens 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.

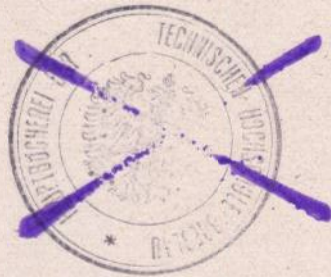
Seitdem die einzelnen Marinen zur Selbstanfertigung von Torpedos schritten, haben sich gesonderte Systeme von Torpedos herausgebildet; die deutsche Torpedowaffe hat sich gegenüber der aller anderen Staaten bei weitem am meisten von der ursprünglichen Whiteheadschen Konstruktion entfernt. Die besonderen 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



Felix Schwormstädt: 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.

Zu Zschorsch: Torpedowesen.



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 Schwerpunktlage 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 hervorzurufen. 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 Initiaalladung, welche die zur vollen Ausnutzung der Explosionsenergie erforderliche rasche starke Zündung hervorruft. Bei Verwendung von nasser Schießbaumwolle ist die Initiaalladung z. B. trockene Schießbaumwolle. Die Zündung der Initiaalladung geschieht mittels einer mechanisch zur Explosion gebrachten Sprengkapsel.

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.

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 Dampfporpedos 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-

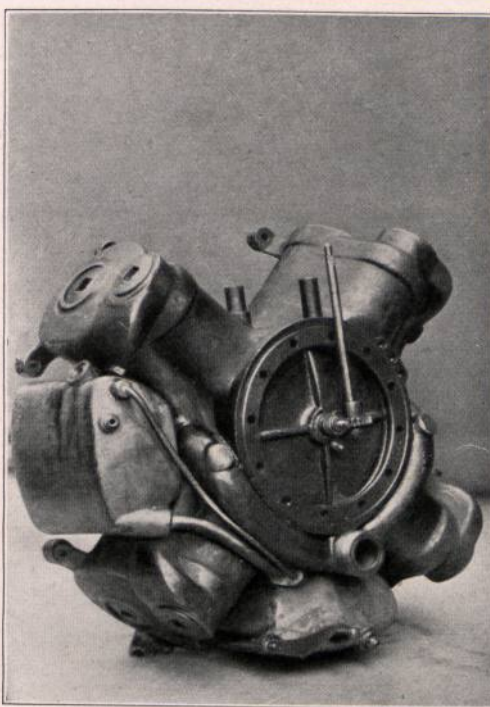


Abbildung 9. Vierzylinder-Maschine mit Ölgefäßen.

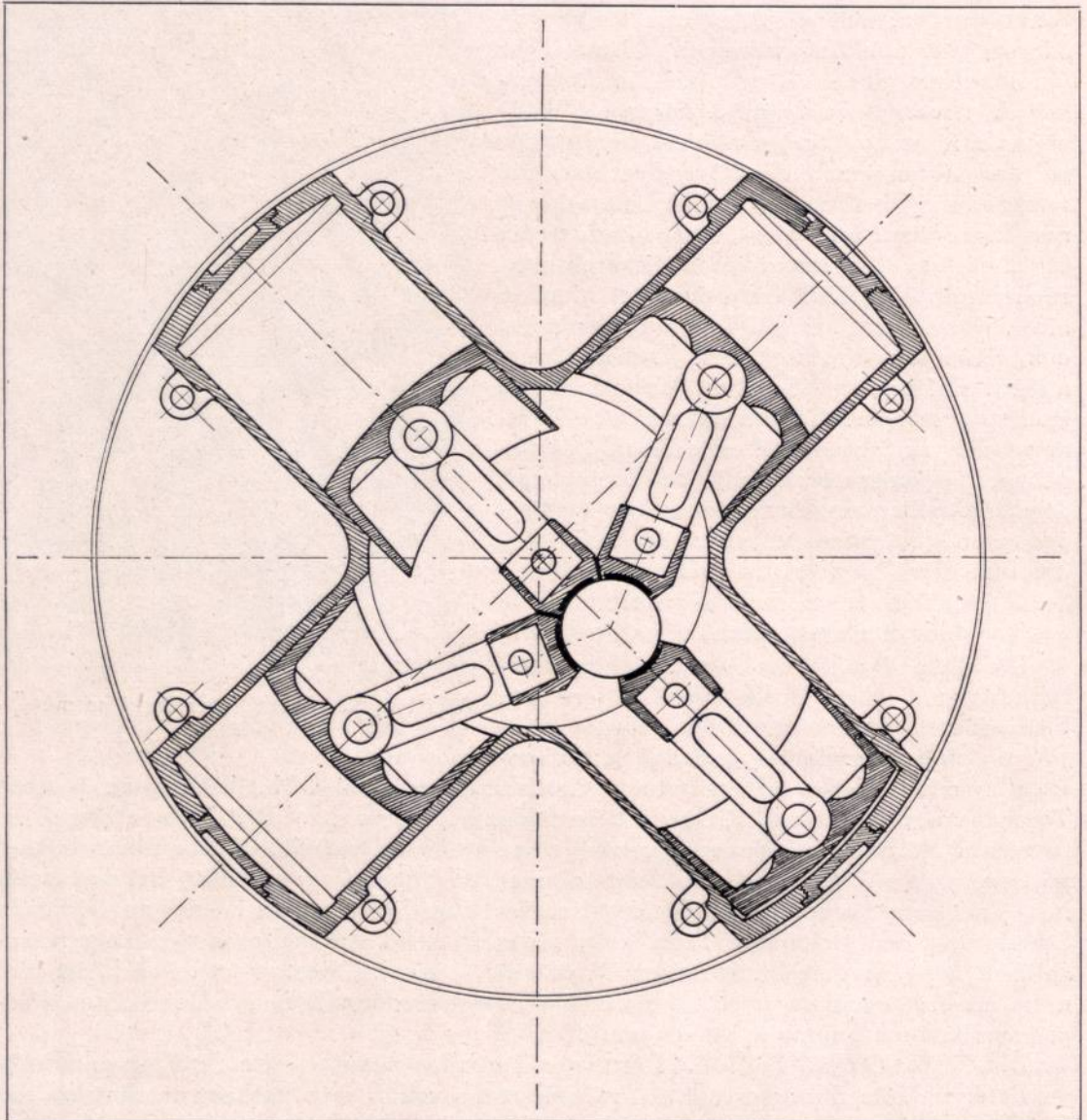


Abbildung 10.

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 Verdampfereinrichtung. 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 verwandt. 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 Temperaturregulierung. 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 Horizontalrunder, 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

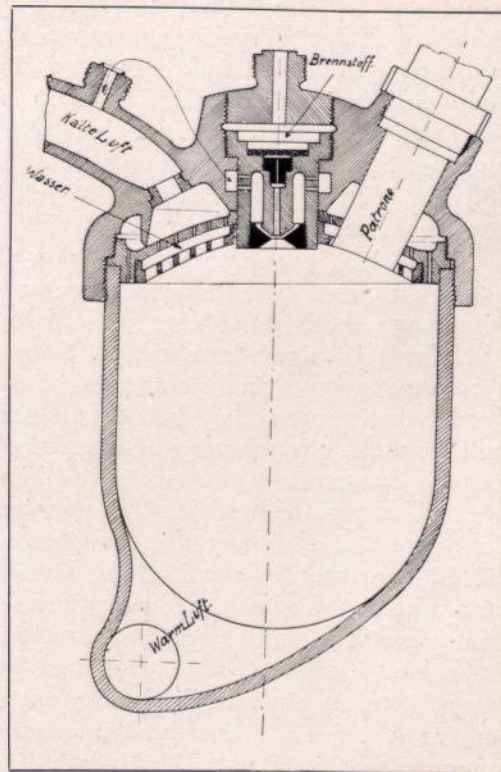


Abbildung 11. Schnitt durch den Verdampfer.

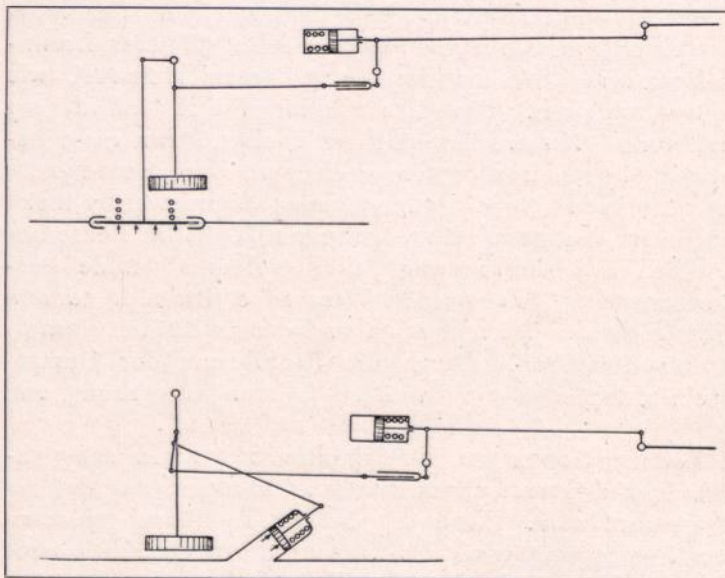


Abbildung 12.

Prinzip des Tiefenapparats.

verschiebt sich der Kolben. Diese Bewegung des Kolbens überträgt, 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

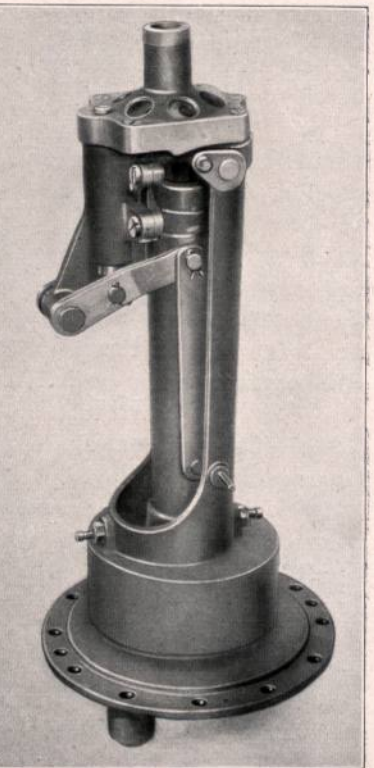


Abbildung 13. Tiefenapparat mit Tiefenplatte.

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 gefechtsmäßi- gem Übungsschießen, bei dem die Schiffe unter- schossen werden, um die Torpedos und Schiffe nicht zu beschädigen.

Neben dem Tiefen- apparat ist die Steuer- maschine der zweite wes- sentliche Teil des Tiefen- steuermechanismus. Um

die Ruderblätter gegen den Druck des Wassers zu bewegen, der durch die hohe Ge- schwindigkeit des Torpedos ein ganz erheblicher ist, ist eine sehr große Kraft er- forderlich, welche die Tiefenplatte und besonders das Pendel nicht hergeben. Des- halb 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 Wir- kungsweise des Wechselschiebers ist erreicht, daß jeder Stellung des Verteilungsschiebers eine ganz bestimmte Stellung des Kolbens und damit der Ruderblätter entspricht.

Auf konstruktive Einzelheiten ein- zugehen, führte zu weit, es muß aber hier besonders her- vorgehoben wer- den, daß die vor- liegenden Kon- struktionen das Endergebnis sehr langwieriger Ver- suche darstellen. Rechnungen füh- ren hier nicht zum Ziele, die vorteil- haftesten Größen für Tiefenkolben- hub und Pendel-

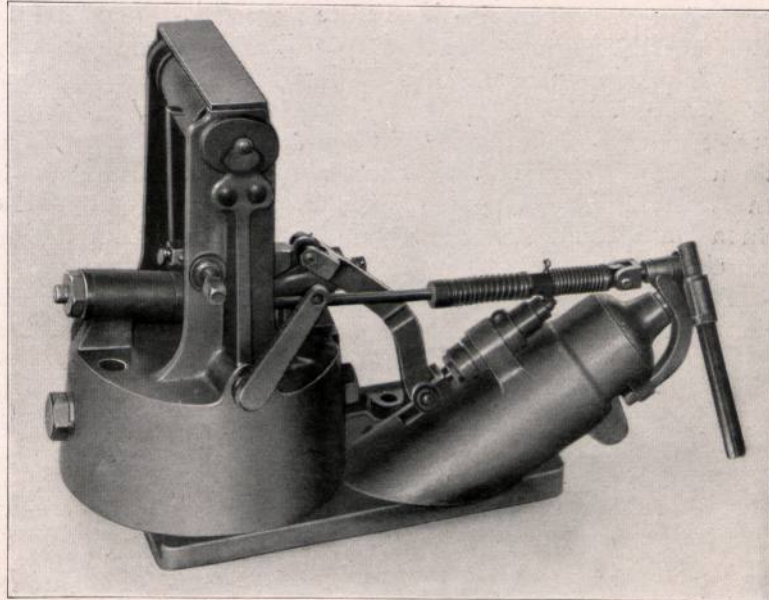


Abbildung 14.

Tiefenapparat mit Tiefenkolben.

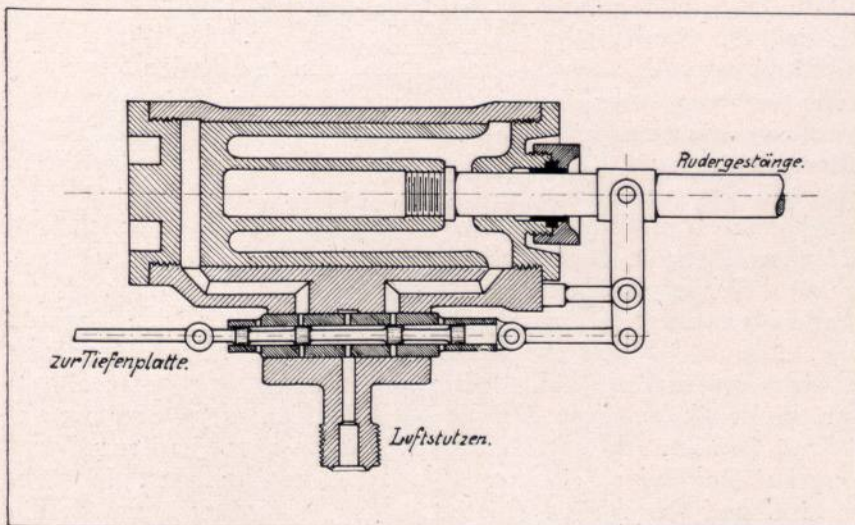


Abbildung 15.

Tiefensteuer-Maschine.

schriebenen Tiefensteuermaschine 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 Torpedolauf 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 be- behalten worden, die Weiterentwicklung hat sich lediglich auf Vervollkomm- nung und Erzielung grö- ßerer Betriebssicherheit erstreckt.

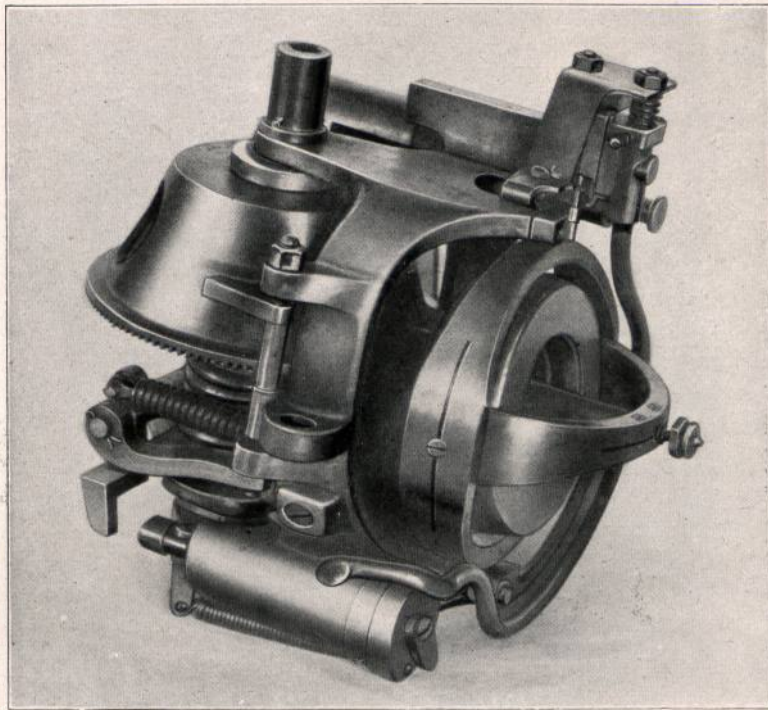
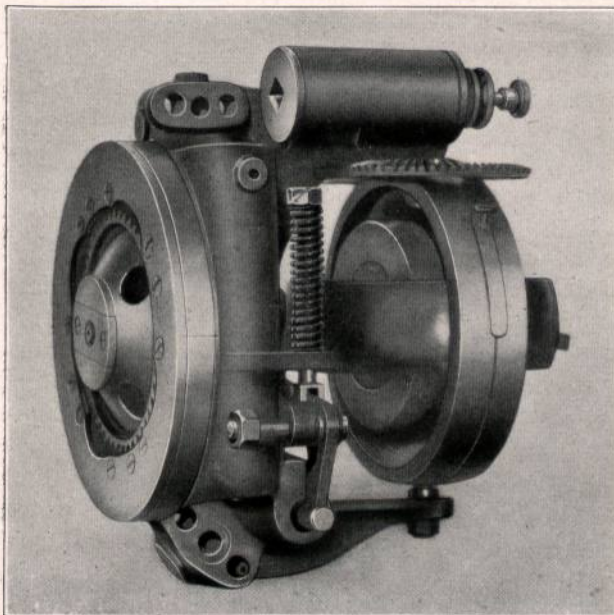


Abbildung 17.

Geradlaufapparat mit Federantrieb.

Nachstehend sollen noch einige besondere Anforderungen an den G.-A., die ihrer- seits einen Schluß auf die Konstruktion zulassen, angedeutet werden.



Abbild. 18. Geradlaufapparat mit Luftturbinenantrieb.

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 benutzt 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

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 Nachschuß 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-

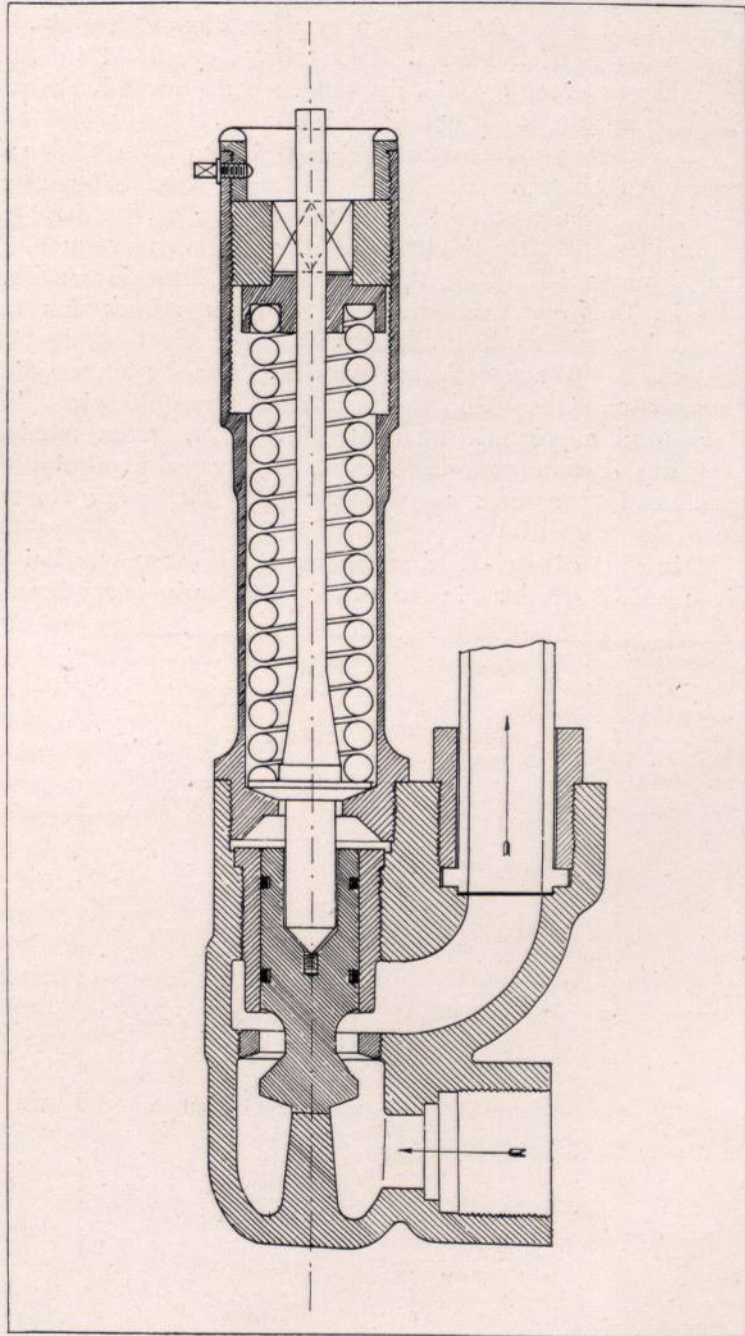


Abbildung 20.

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 hervorragt 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 Torpedolaufes 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.

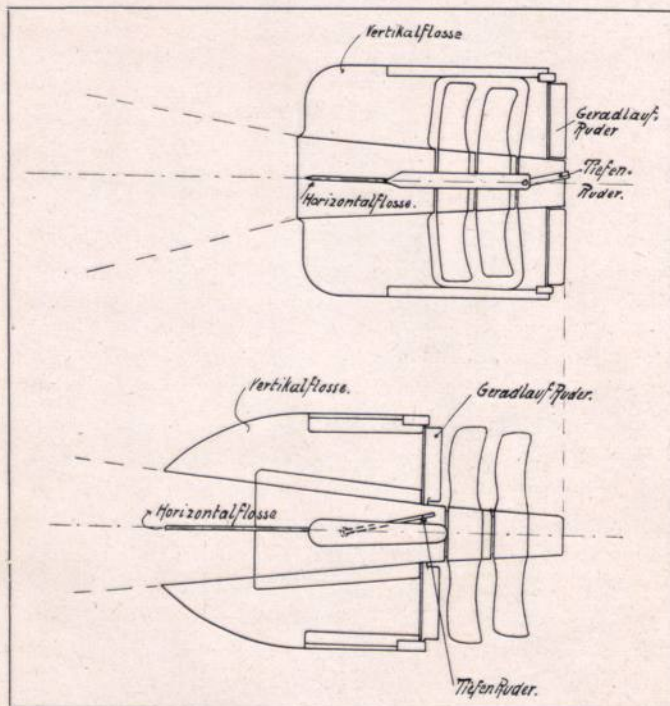


Abbildung 21.

Schwanzstück-Konstruktionen.

Die Sicherheitsvorrichtung. Es kommt häufig vor, besonders bei Unterwasser-Breitseitrohren, 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 Flachersteuern 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

Gefechts torpedo 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.

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 zweiflüglige Propeller, die neueren haben

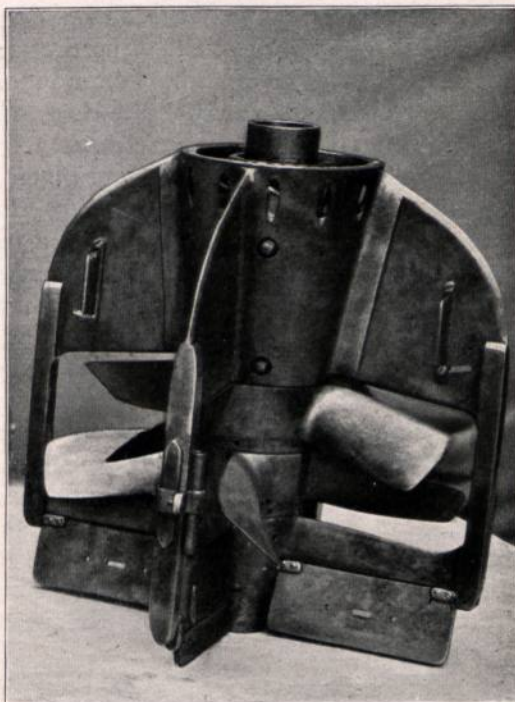


Abbildung 22.

Schwanzstück.

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 Torpedolaufl 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.

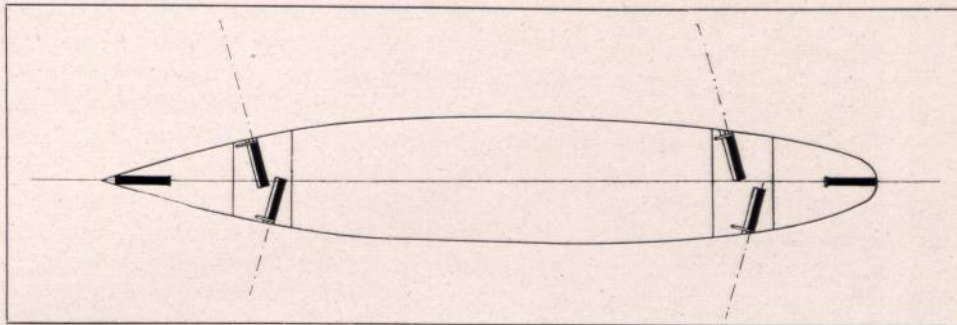


Abbildung 24.

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 Unterwasserbreitenschuss 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 Torpedrohr bildet deshalb einen ebenso wichtigen und im Laufe der Jahre gleichwertig entwickelten Teil der Torpedoarmierung 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

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

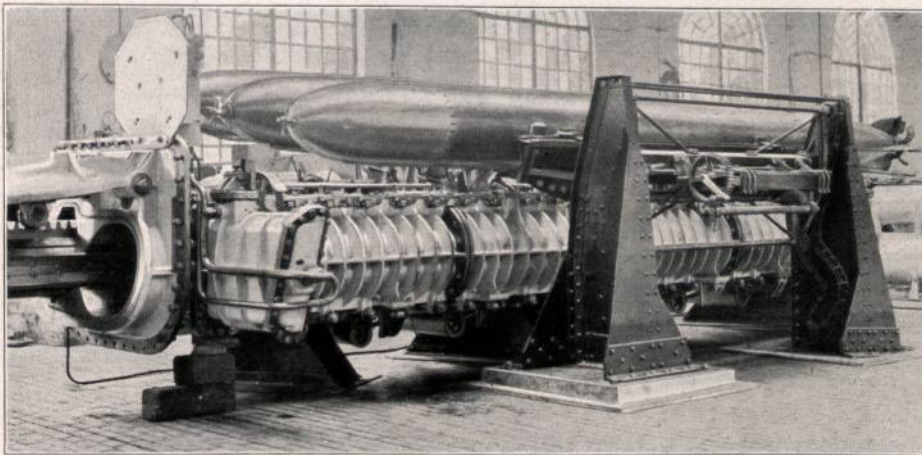


Abbildung 26.

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.

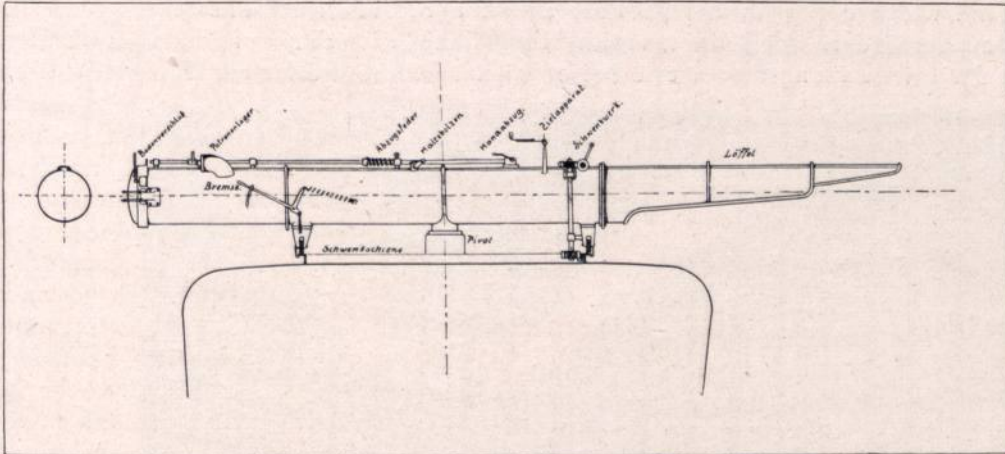


Abbildung 28.

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 Verschluss, 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 Achterausschuß 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 Anschießen des eigenen Bootes verhindert.

An sonstigen Einrichtungen sind zu erwähnen das auskuppelbare Schwenkwerk, die Rohrbremsen, der Zielapparat und die Ladevorrichtung.

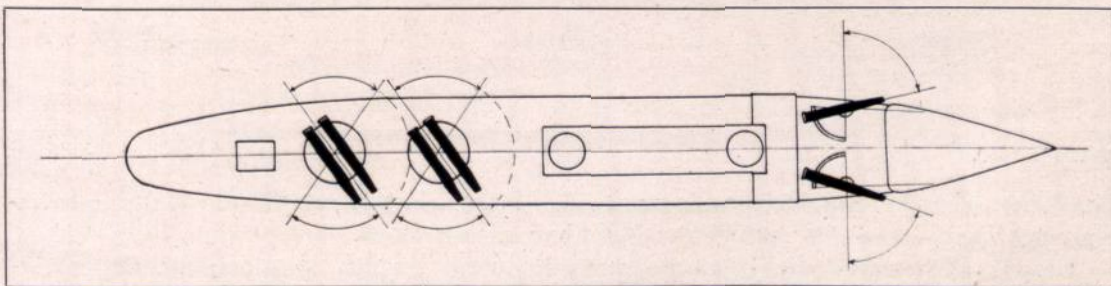


Abbildung 29.

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 Weltkriege 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 Kopfladung ausüben kann. Erst im Augenblick des Schusses schiebt sich die Pistole in den Kopf und wird hier durch Klinkfedern

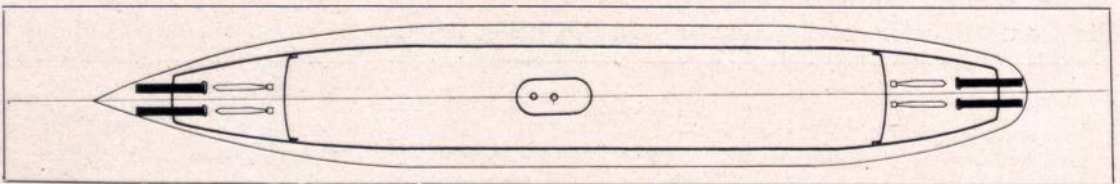


Abbildung 31.

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 Deplacements 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 allgemeindieselben wie bei anderen

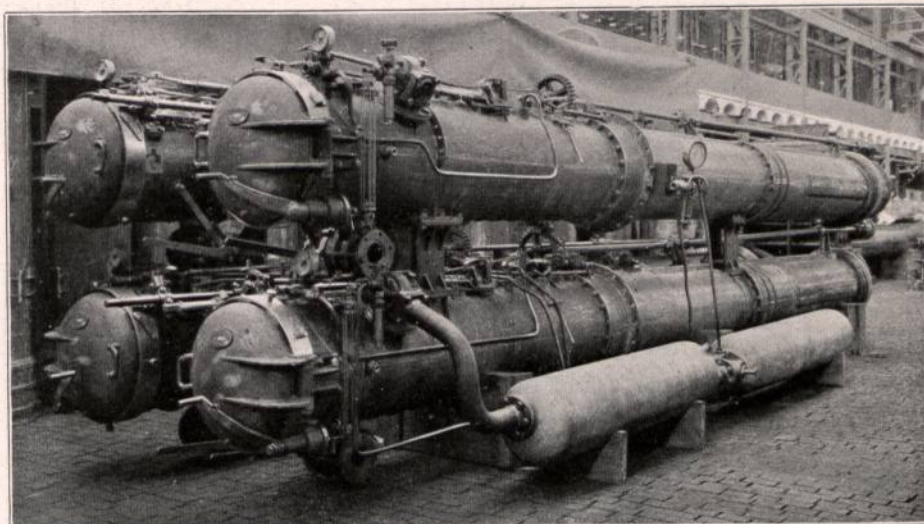


Abbildung 32.

Fertig montierte Bugrohre eines U-Bootes.

Unterwasserrohren. Eine aus tauchtechnischen Gründen erforderliche Einrichtung ist zu erwähnen: die Beflutungsanlage 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 Bootsinneren 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-

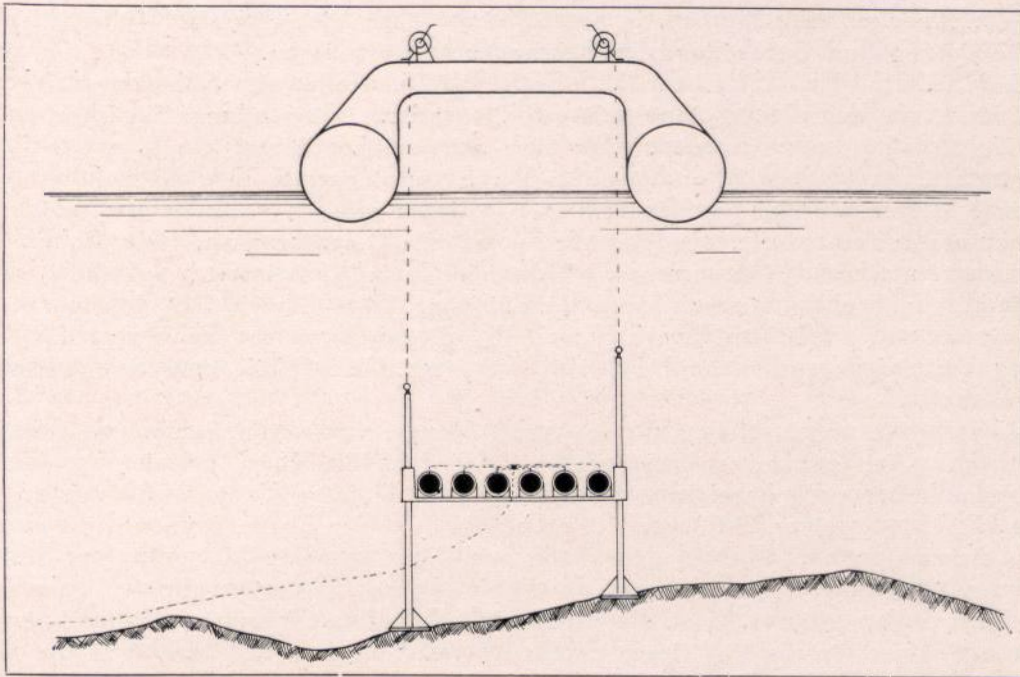


Abbildung 34.

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,

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 Gefechtswertes 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.

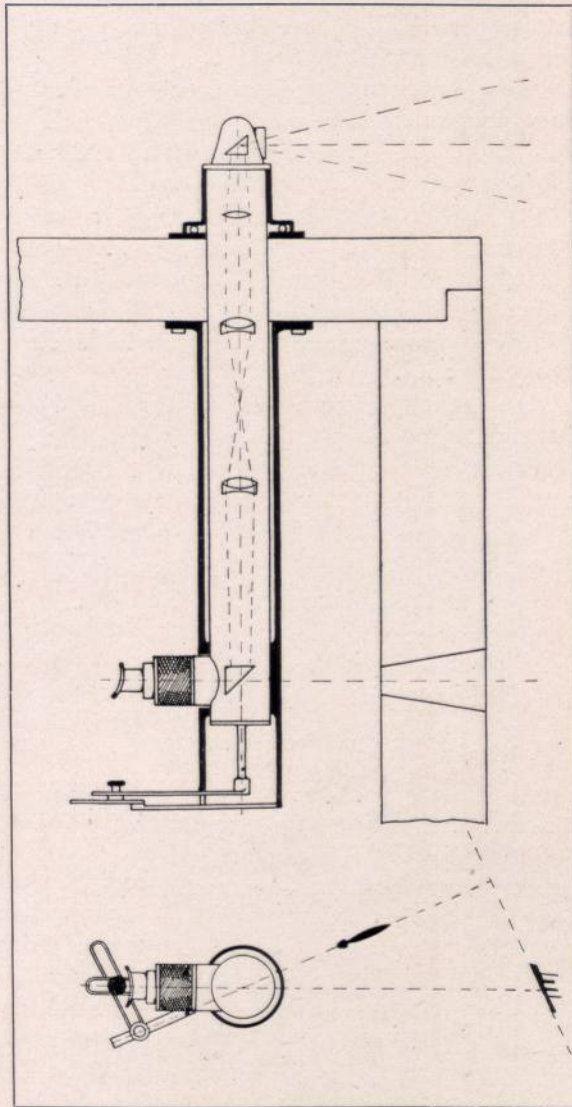
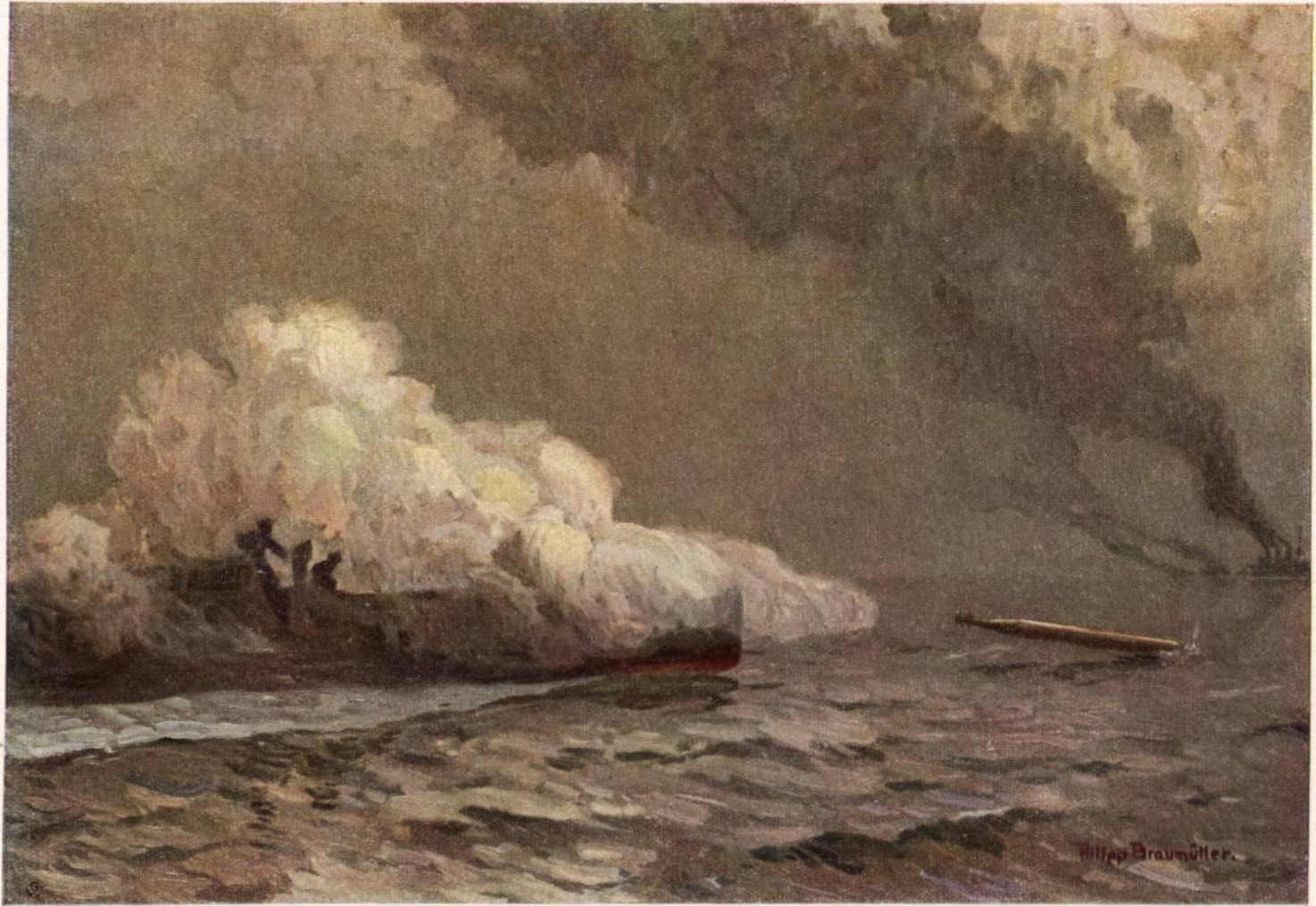


Abbildung 37.

Torpedo-Zielsehrohr.



Philipp Braumüller: Torpedoschuß vom Schnellboot.

Zu Zschorsch: Torpedowesen.



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-Steuerinrichtung; 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 strengster 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 auszuüben 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

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

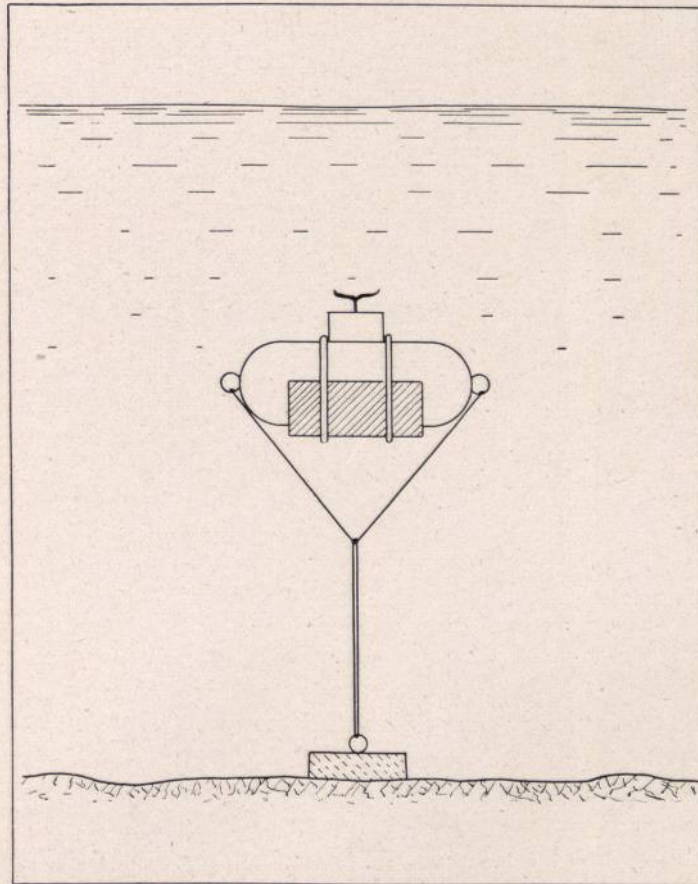


Abbildung 1.

Fultons selbsttätige Kontaktmine 1805.

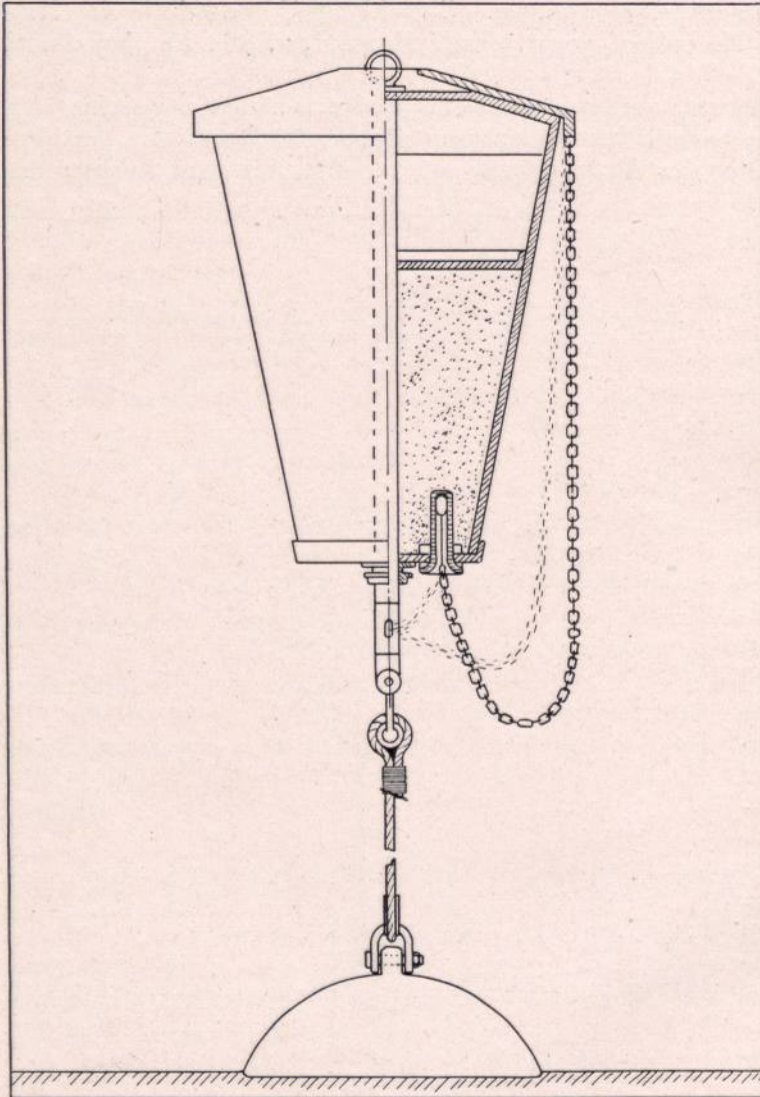


Abbildung 2.

Singers selbsttätige Kontaktmine 1846.

und die in den Glasröhren befindliche Schwefelsäure über eine Mischung von chlorsaurem 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 Bürgerkriege 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

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 anfahrens 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

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 Minengefäß 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 Verschußdeckel herbeiführte.

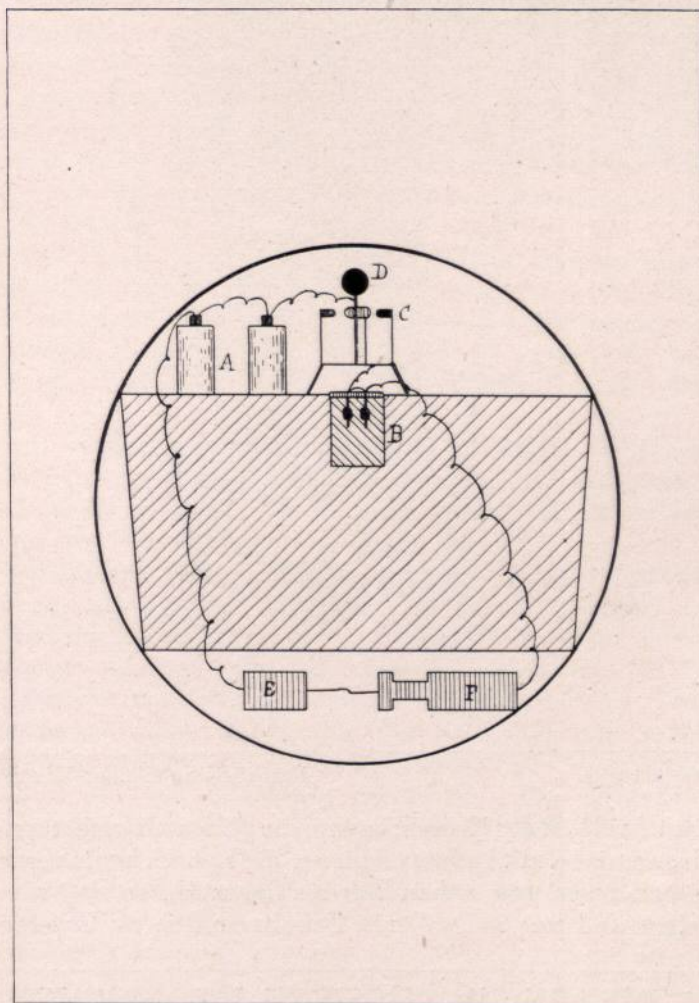


Abbildung 3. Schematische Darstellung einer japanischen Elektrokontaktmine.

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 „Borjari“ erlitt dasselbe Schicksal.

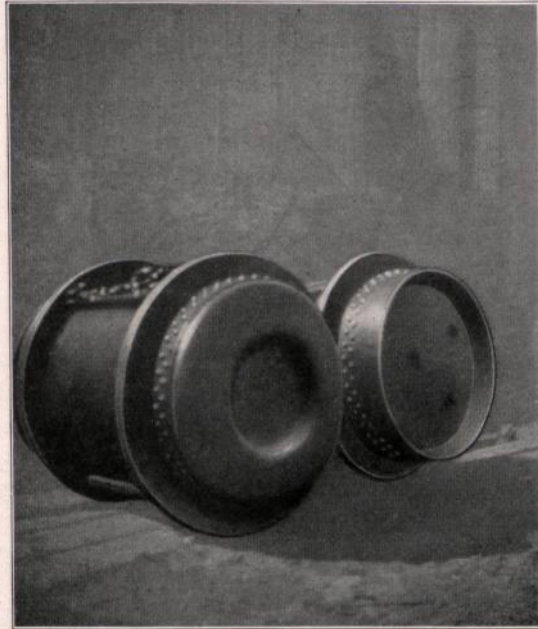


Abbildung 5. Grundmine oder Beobachtungsmine.

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 Kriegslist 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 Steuerbordseite. 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 Erfolge.

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

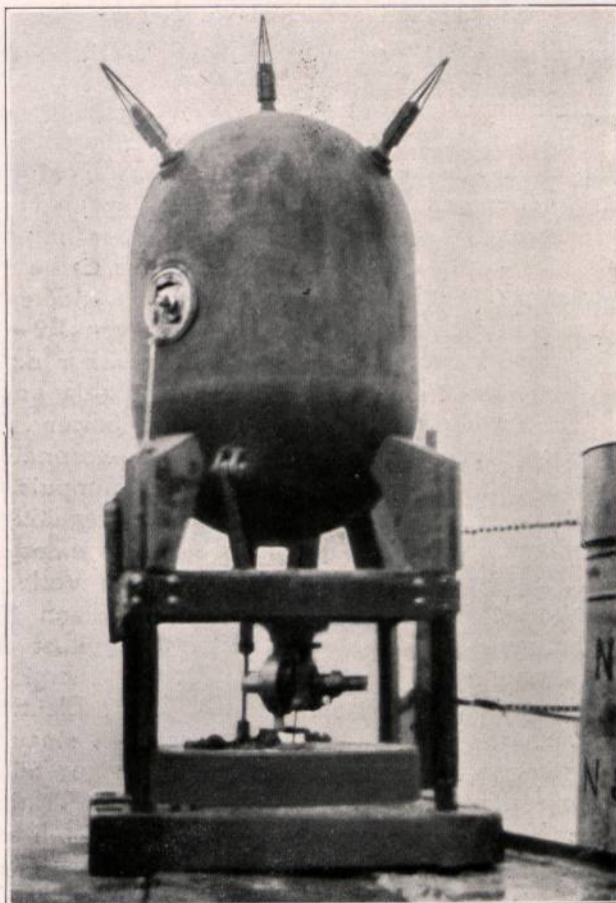


Abbildung 6. Deutsche Bleikappenmine.

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,

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 Abfeuvorrichtung 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

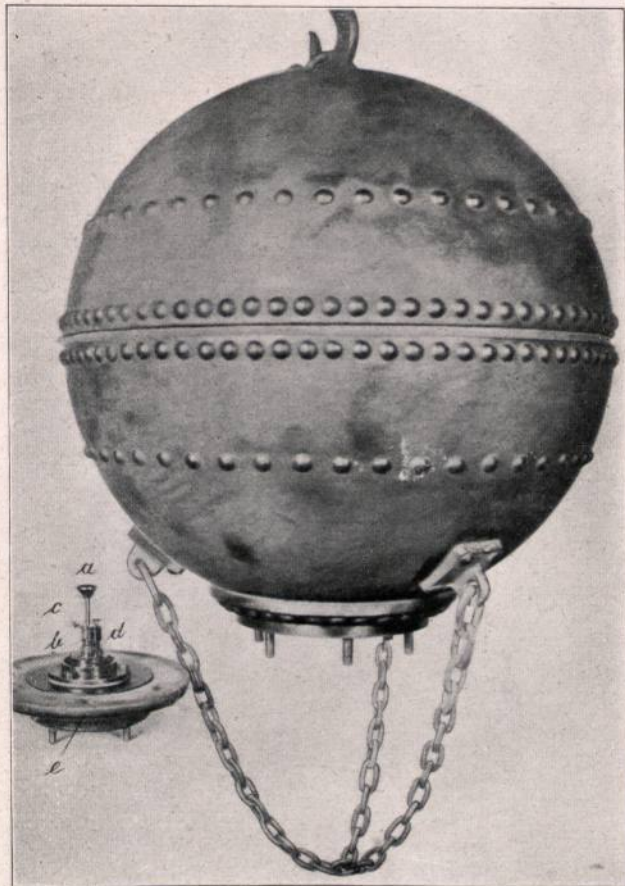


Abbildung 8.

Belgisches Minengefäß.

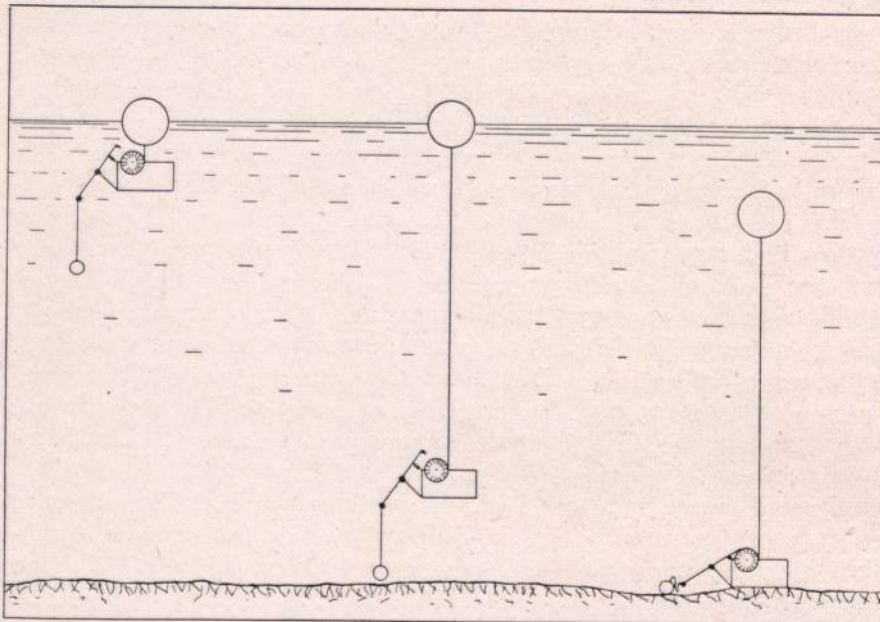


Abbildung 9. Schematische Darstellung der Minenverankerung mittels Voreilgewicht.

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 Ankertaes 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 Schienenspur, 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 Küstenverteidigung 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 gestattete, 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 vorbeschriebenen 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-

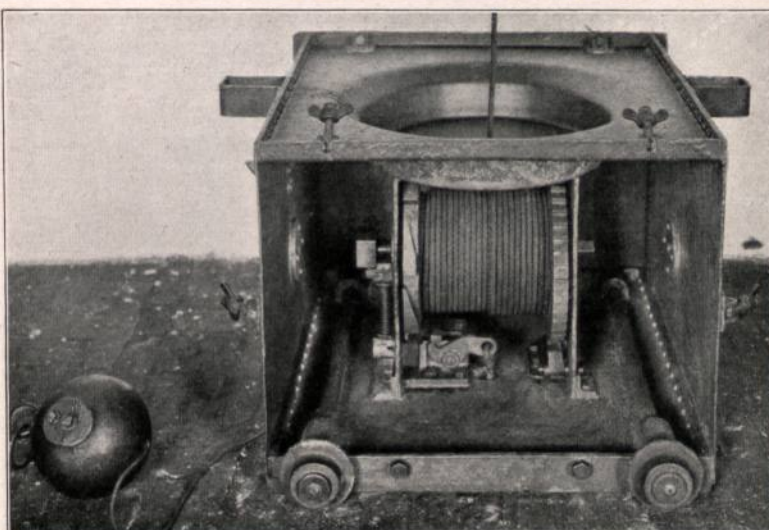


Abbildung 10.

Englischer Voreilanker.

serdruck den Federdruck, die Tiefenplatte verharrt in ihrer ursprünglichen Stellung, und das Ankertau, welches durch den Tiefenapparat hindurchgeschoben 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.

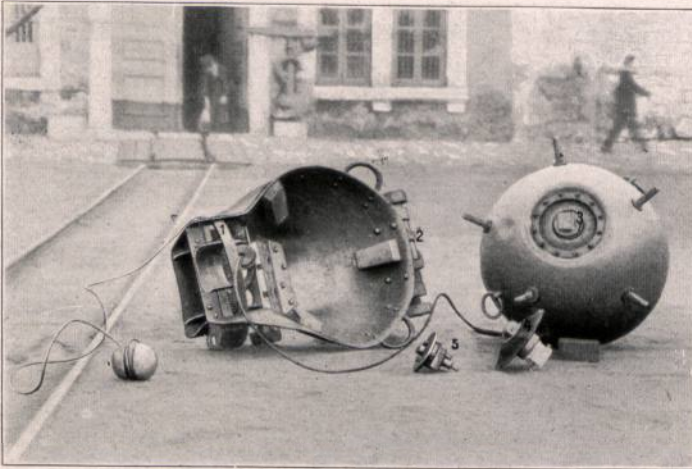


Abbildung 11. Russische Bleikappenmine mit Voreilanker.

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 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 Ankertauarten 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

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 Zündeinrichtungen 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-

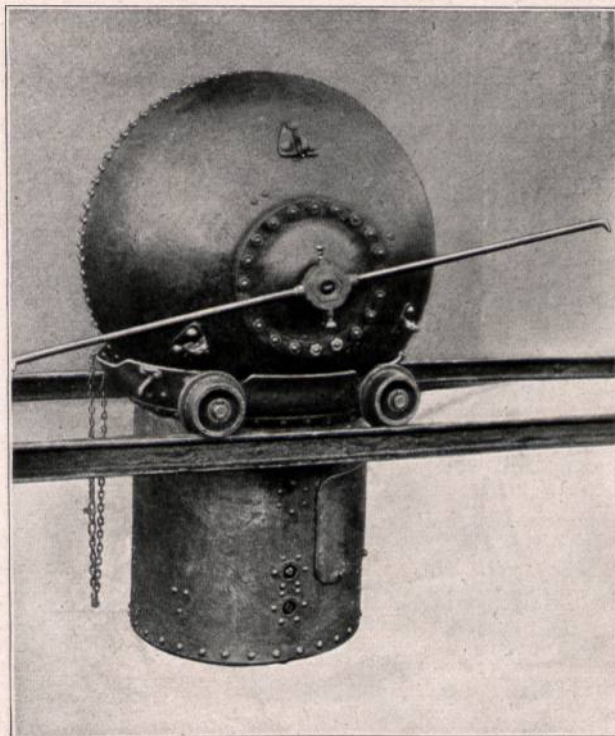


Abbildung 12. Englische Mine mit Drehhebelzündung und Voreilanker.

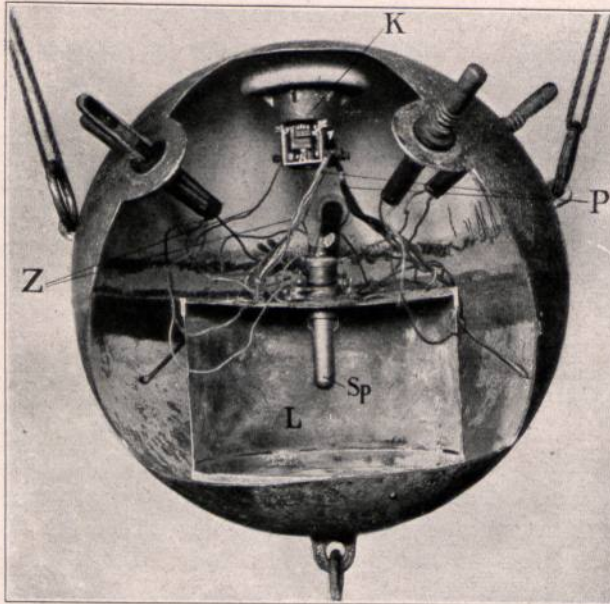


Abbildung 13. Russische Bleikappenmine, Innenraum mit Zünd- und Kontakteinrichtung.

kapsel gelegtes Platindrähtchen 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 heraustretenden 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 Minuspolegruppen (P) vereinigt, über die Kontakteinrichtung (K) zu der in dem Ladekasten (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 Platindrähtchen 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 veranschaulichten, 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 Blei- oder Messingpendel hängen

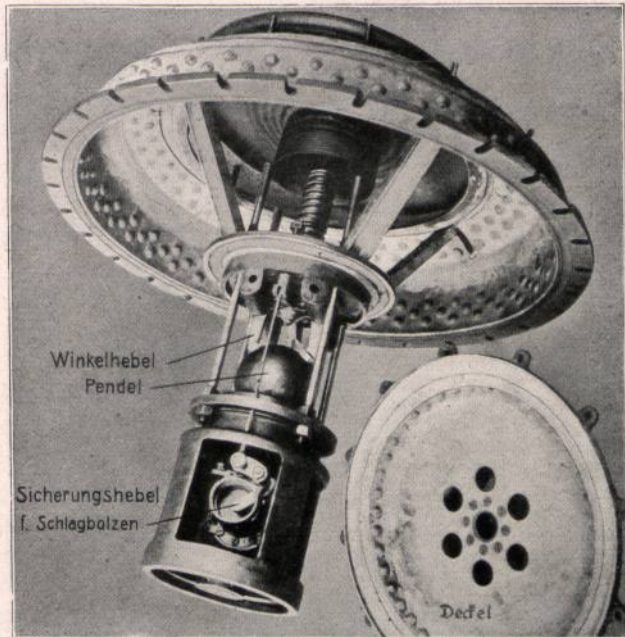


Abbildung 14. Mechanische Zündvorrichtung der französischen Breguet-Mine, Pendel mit gesicherter Stellung.

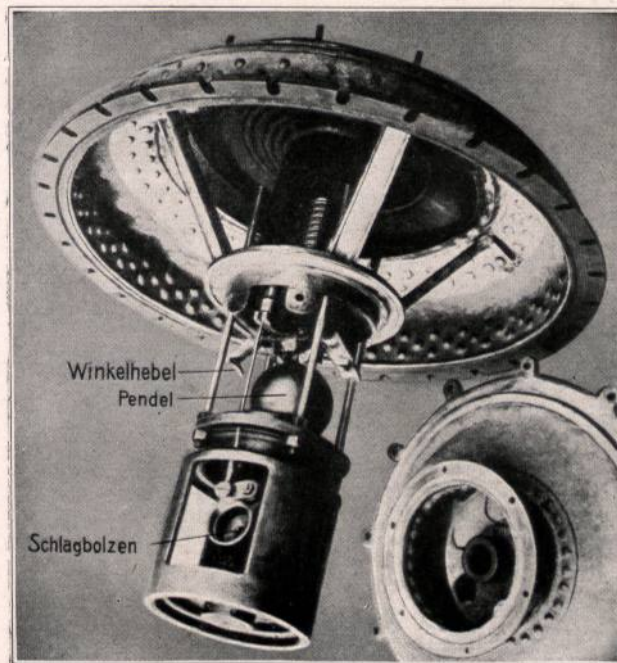


Abbildung 15. Mechanische Zündvorrichtung der französischen Breguet-Mine, Pendel mit entschärfter Stellung.

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-

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 angenietet, 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,

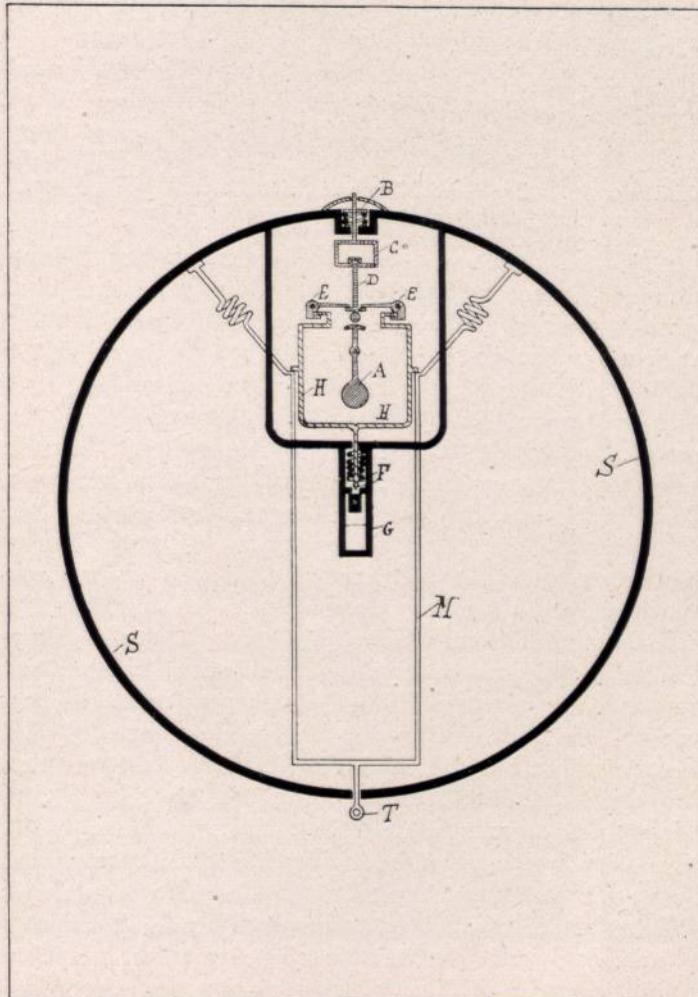


Abbildung 17. Schematische Darstellung der englischen Mine mit Schlagbolzenzündung und Pendelauslösung.



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 imstande, sich nach einem, zwei, drei oder mehr Tagen nach Auflösung der Masse den Weg in das Innere

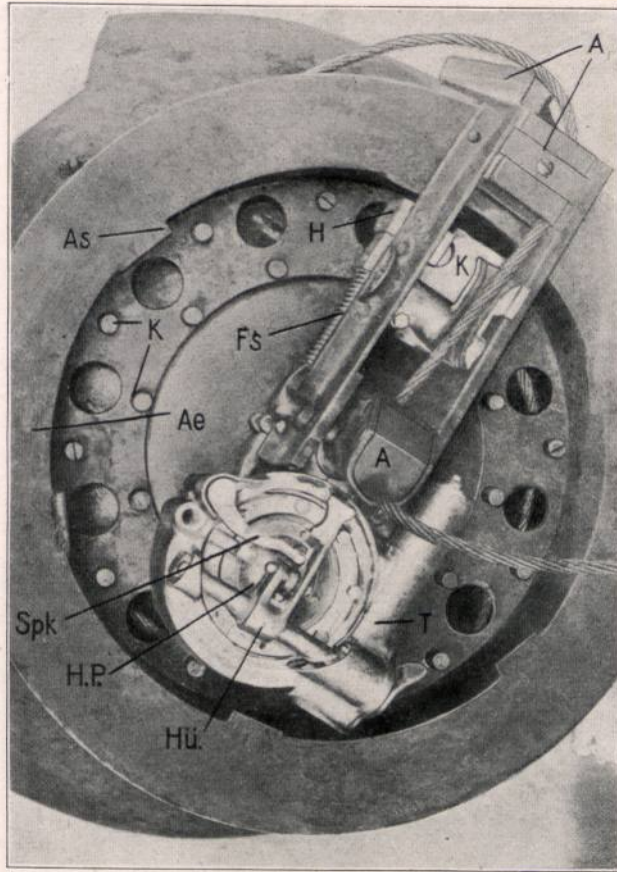


Abbildung 19. Hydrostatischer Tiefensteller an russischer Pendelstoßmine.

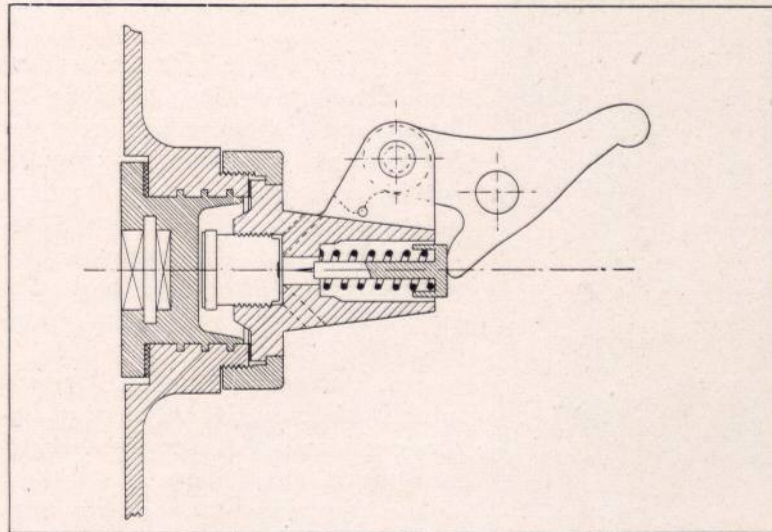


Abbildung 20. Sinkpatrone der russischen Pendelstoßmine.

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-

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 Propellermotors. 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

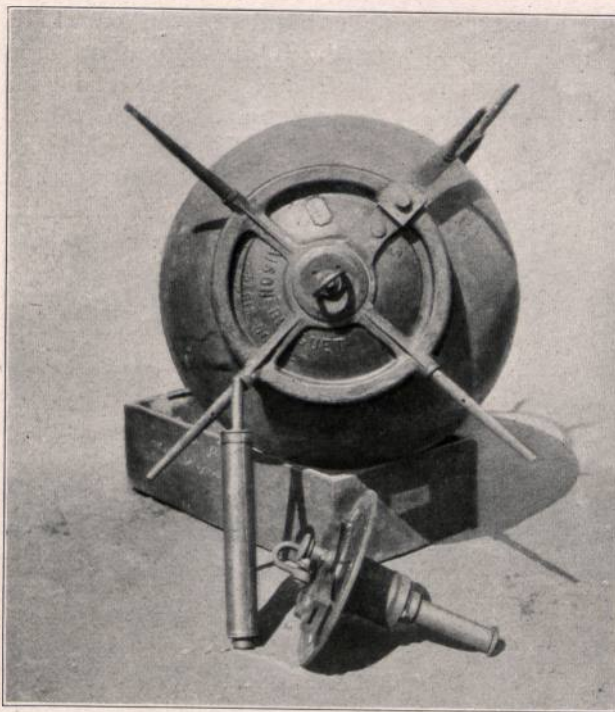


Abbildung 22.

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 zurückschiebt 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 beson-

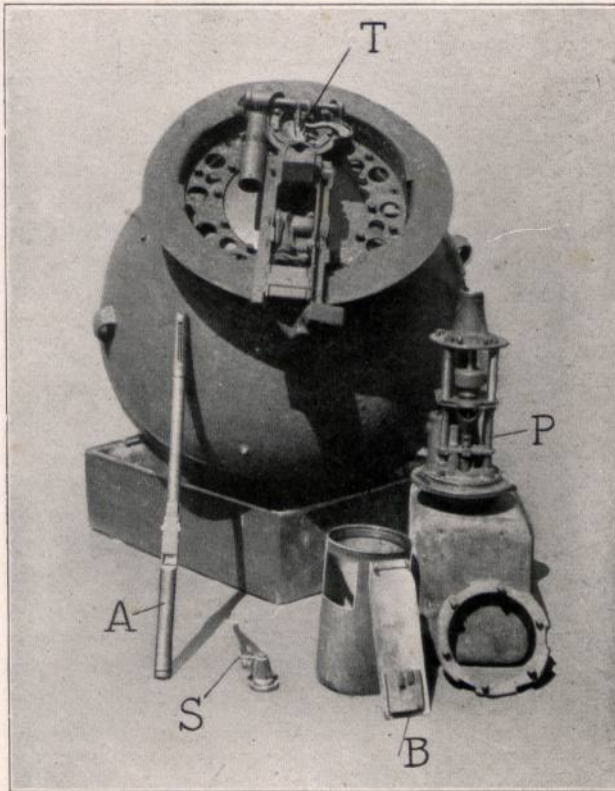


Abbildung 23.

Russische Pendelstoßmine.

deres 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.

Unter die Bezeichnung „Treibminen“ fallen aber auch solche Minen, die an und für sich nicht als Treibminen konstruiert worden sind, sondern sich aus verankerten Minensperren losgerissen haben. Die Ursache dieses Losreißen liegt in den meisten Fällen darin, daß das Ankertau bei längerem Ausliegen der Minen durchrostet oder sich an den Verbindungsstellen durchscheuert. Infolgedessen steigt die Mine, ihres Haltes beraubt, kraft ihres Auftriebes aus der eingestellten Tiefe an die Wasseroberfläche, wo sie oft monatelang umhertreibt, ehe sie an flacher Küste von der Strömung an Land gespült wird. Diese frei umhertreibenden Minen bilden selbstverständlich für die Handelsschifffahrt 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 Treibminengefahr zum Nachteile der Schifffahrt 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 ungefäh-

licher 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 Besch-



Abbildung 25.

Russische Bojenmine.

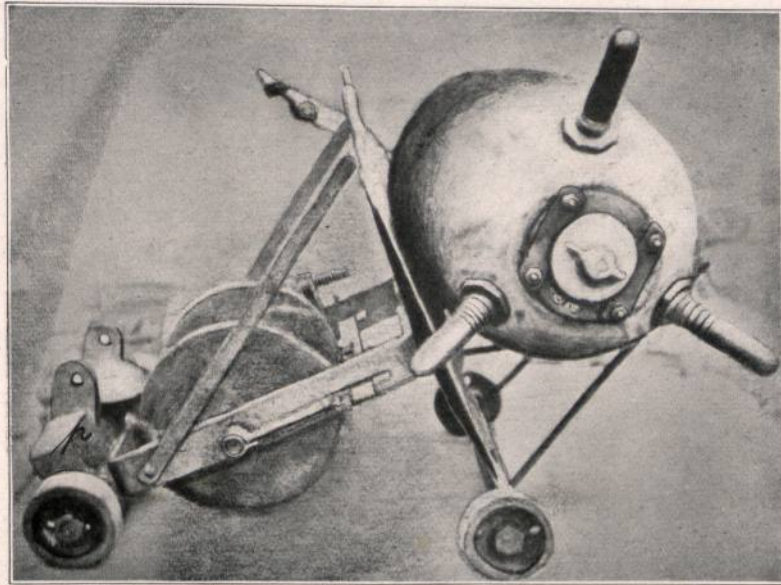
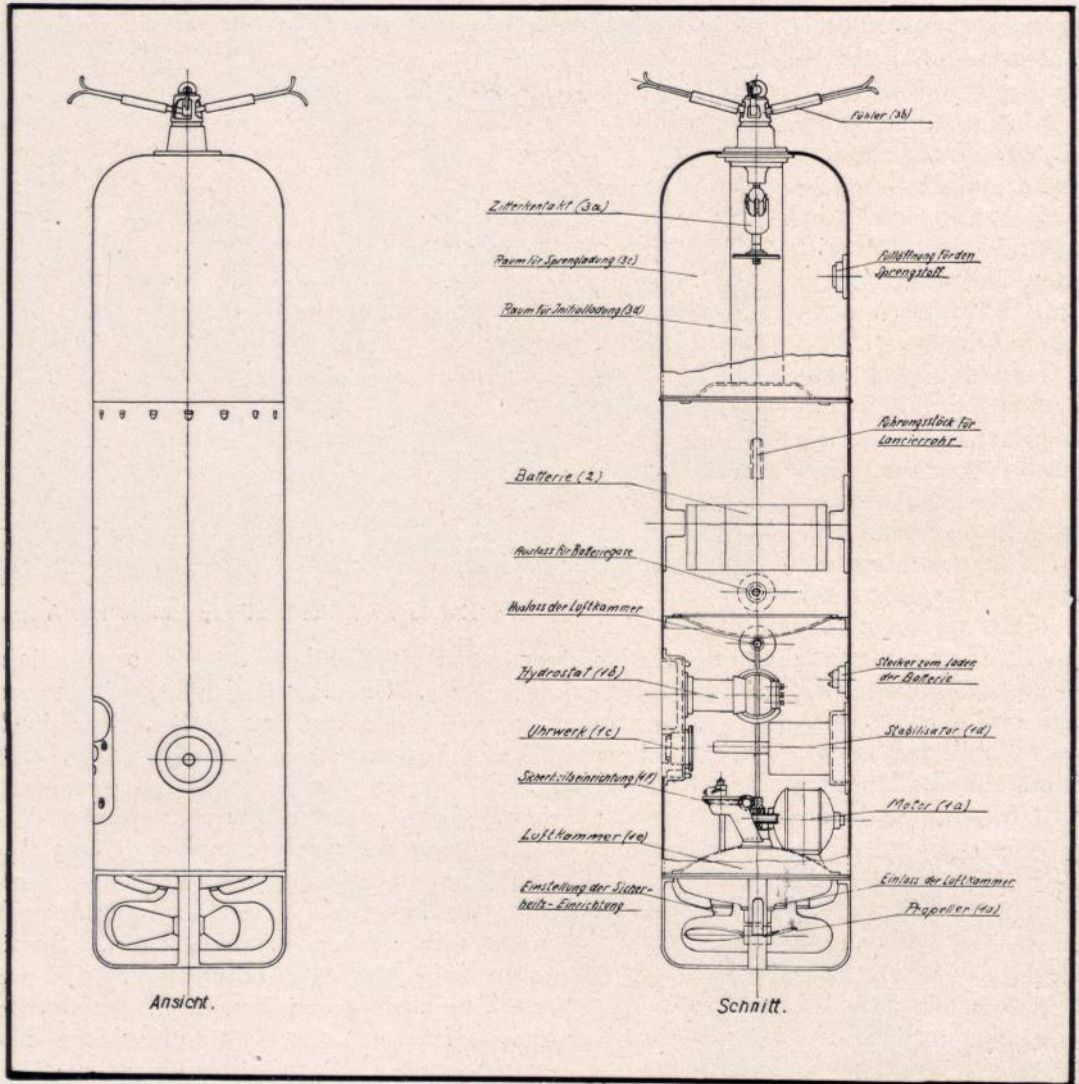


Abbildung 24.

Kleine russische Bleikappenmine mit Anker.

schädigung 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.



Abbildungen 26 und 27.

Treibmine System Leon.

6. DIE DYNAMISCHE WIRKUNG DER MINE

Die Einführung der großen Unterwassersprengkörper war zur Notwendigkeit geworden, als Panzerung und Armierung der Kriegsschiffe so stark ausgebaut waren, daß das Feuer der Küstenartillerie als nicht mehr ausreichend betrachtet werden mußte, Häfen und Flußmündungen gegen eine angreifende Flotte auf die Dauer wirksam zu verteidigen. Zweck der defensiven Minenwaffe war es, dem Feinde möglichst Totalverluste beizubringen oder wenigstens durch Minentreffer die völlige Kampfunfähigkeit von Schiffen herbeizuführen. Auch für die spätere offensive Verwendung der Mine wurden diese Richtlinien beibehalten. Es ist daher natürlich, daß in der Folgezeit sich ein Kampf zwischen Qualität und Quantität der Minensprengstoffe einerseits und der Schiffbaukonstruktion andererseits, welche gegen die Minenwirkungen einen ständig verbesserten Innenschutz der Schiffe schuf, entwickelte. Das

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 Innenschutz 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 Drucke 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 28. Detonation einer Mine 5 m unter der Wasseroberfläche.

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 Innenschutz 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 **U**nter 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 Anklitzer, 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 kannten 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 weicheren 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 Prüfungsmethoden 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 abzuhelpen 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. Sprengelatine (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 zertrümmert 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 10. Pikrinsäure. 345 000		11. Trinitrotoluol 312 000 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 welches 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, Nitroglycerin 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 chlorsaurem Kali und Kohle, Knallquecksilber, Zylansilber, Bleiacid, 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 Röhrchen 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 Glühzünder 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 EXPLOSIBLEN SUBSTANZEN GEGENÜBER DER FALLHAMMERPROBE

Lfde. Nr.	Bezeichnung der explosiblen Substanz	Zusammensetzung der explosiblen Substanz	Fallröhren in cm, bei denen Explosion erfolgte						
			Gewicht des Fallbären in kg						
			0,1	0,25	0,5	1,0	2,0	5,0	20,0
1	Jodstickstoff	NJ_3	unter 5	—	—	—	—	—	—
2	Knallquecksilber	$\text{Hg}(\text{CNO})_2$	5—10	unter 5	—	—	—	—	—
3	Nitroglycerin	$\text{C}_2\text{H}_5(\text{NO}_3)_3$ 75% Nitroglycerin	5—10	unter 5	—	—	—	—	—
4	Gurdynamit	25% Kieselgur	5—10	unter 5	—	—	—	—	—
5	Gelatedynamit	65,5% Nitroglycerin 1,5% Nitrozellulose 27,0% Natronsalpeter 8,0% Holzmehl	—	—	—	—	—	—	—
6	Dinitroglycerin	$\text{C}_3\text{H}_5(\text{NO}_3)_2\text{OH}$	10—15	5—10	unter 5	—	—	—	—
7	Gemenge von Kaliumchlorat mit Schwefel	$\text{KClO}_3 + \text{S}$	15—20	10—15	5—10	unter 5	—	—	—
8	Nitrozellulose (trocken)	—	30—40	15—20	5—10	5—10	5—10	unter 5	—
9	Blättchenpulver	Gelatinierte Nitrozellulose	40—50	20—30	10—15	10—15	10—15	5—10	unter 5
10	Nitrozellulose (feucht, mit 15% Wasser)	—	über 200	70—80	15—20	10—15	10—15	5—10	unter 5
11	Schwarzpulver	75% Kalisalpeter 10% Schwefel 15% Kohle	—	über 200	190—200	100—110	30—40	5—10	unter 5
12	Pikrinsäure (lose)	—	—	—	über 200	190—200	100—110	5—60	unter 5
13	Pikrinsäure (gepreßt)	$\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{OH}$	—	—	—	über 200	140—150	80—90	unter 5
14	Trinitrotoluol (gepreßt)	$\text{C}_7\text{H}_5(\text{NO}_2)_3$	—	—	—	über 200	150—160	80—90	unter 5
15	Ammonsalpeter	$\text{NH}_4 \cdot \text{NO}_3$	—	—	—	—	—	—	über 200
16	Ammonsalpetersprengstoff	95,5% Ammonsalpeter 4,5% Trinitronaphthalin	—	—	—	über 200	140—150	70—80	unter 5

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

Lfde. 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 verdämmt. 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

Lfde. Nr.	Bezeichnung des Explosivstoffes	Aus- bauchung im Bleiblock ccm	Wertverhältnis	
			nach der Aus- bauchung	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	Trinitrotoluol	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 Geschöß 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. Nitroglyzerinpulver 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 Gräcus (8. Jahrhundert n. Chr.) erwähnt bereits ein „ignis volans“, 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 Geschütz- 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 Ankliger, 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.

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 niederer 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 welcher 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 Escales, „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 Nitroglyzerinpulver. Dieses Pulver besteht aus 20—40% Nitroglyzerin und 60—80% Nitrozellulose. Das Nitroglyzerin 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 Nitroglyzerins 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 Nitroglyzerinpulver 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 Nitroglyzerinpulvern besonders groß.

Die Herstellung des Nitroglyzerinpulvers geschieht in der Weise, daß man geeignete Nitrozellulose mit 12,5—12,8% Stickstoff in viel Wasser aufrührt. Die Affinität der Nitrozellulose zum Nitroglyzerin 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 Nitroglyzerin 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 graphitirt, 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 Nitroglyzerinpulver stets schwarz.

GEMISCHTE PULVER. Für einige besondere Zwecke werden auch sogenannte gemischte Pulver hergestellt. Sie bestehen aus Nitrozellulose, Nitroglyzerin und aromatischen Nitrokörpern, wie Pikrinsäure, Dinitrobenzol, Trinitrotoluol. Sie haben aber heute keine große Anwendung mehr, da man ganz allgemein zu den Nitrozellulose- und Nitroglyzerinpulvern 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 durchgeknetet 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 vier-eckigen 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 Nitroglyzerin 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 Selbstzersetzung 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 Selbstzersetzung 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 Lackmusstreifen darf bei Nitrozellulosepulver durch Abspaltung von salpetriger Säure nicht vor 1¼ 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 Nitroglyzerinpulver

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 Laufes 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 stauenden 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.

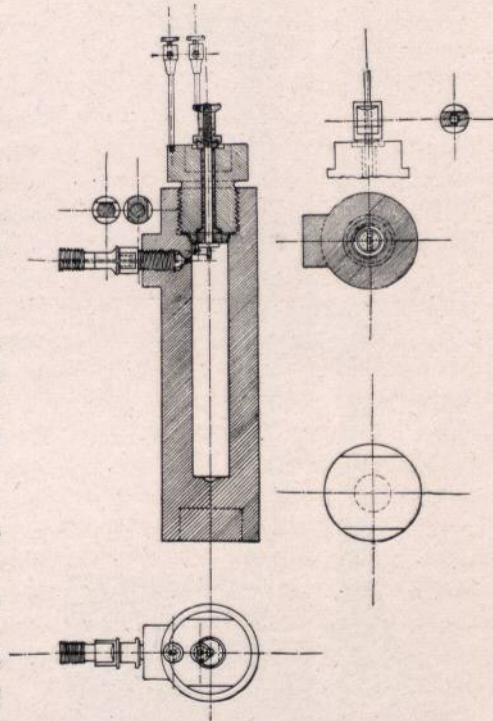


Abb. 2. Calorimeterbombe für die Bestimmung des Verbrennungswertes von Pulver.

* Abbildung, A. Stettbacher, „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 Geschoß nacheinander zwei mit Drähten bespannte Rahmen durchschlagen muß, die 50 m auseinander aufgestellt sind. Durch die Drahtsysteme beider Rahmen fließt ein elektrischer Strom, beim Durchschlagen der Drähte wird der Strom momentan unterbrochen. Die Unterbrechung des Stromes des ersten Rahmens schaltet einen Magneten aus, an dem ein Metallstab hängt; derselbe fällt senkrecht herunter. Gleich danach wird auch der Strom des zweiten Rahmens ausgeschaltet, wodurch ein horizontales Schlagmesser betätigt wird, welches den fallenden Metallstab trifft und ihn seitlich etwas einkerbt. Man kann nun genau messen, welche Strecke der Metallstab in der Zeit vom Durchschlagen des ersten Rahmens bis zum Durchschlagen des zweiten gefallen ist. Die Länge dieser Strecke entspricht auf Grund einer empirisch aufgestellten Tabelle der Geschwindigkeit des Projektils im Bereiche der gemessenen 50 m. Der sehr sinnreiche Apparat ist von Boulanger konstruiert und wird ganz allgemein zur Messung von Anfangsgeschwindigkeiten angewendet.*

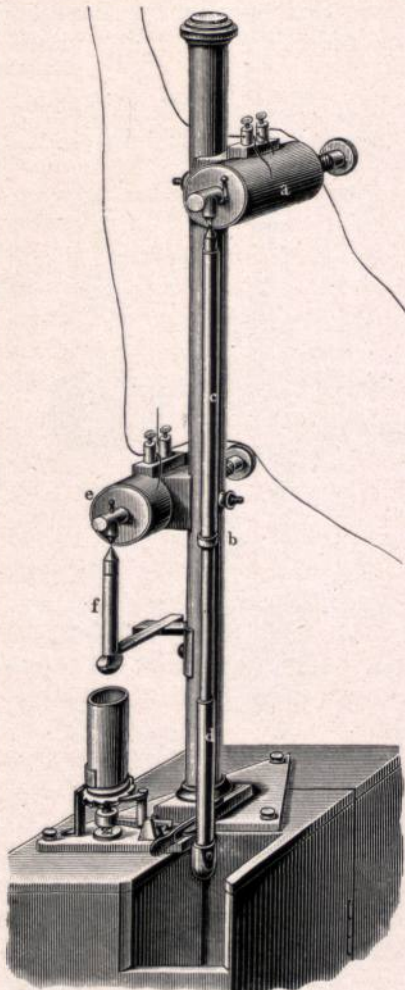


Abbildung 3. Apparat zur Aufzeichnung der Anfangsgeschwindigkeit von Geschossen nach Boulanger.

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 Chemnitzer Berggerichtsbuche 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, Guttmann, „Schieß- und Sprengstoffe“ Seite 222 (Verlag von Vieweg & Sohn).

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, benutzt 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 Zumischen von kristall-

wasserhaltigen 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 Stickoxyde 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 Trisalpersäureester des Glycerins, $C_3H_5(O.NO_2)_3$. Es wird her-

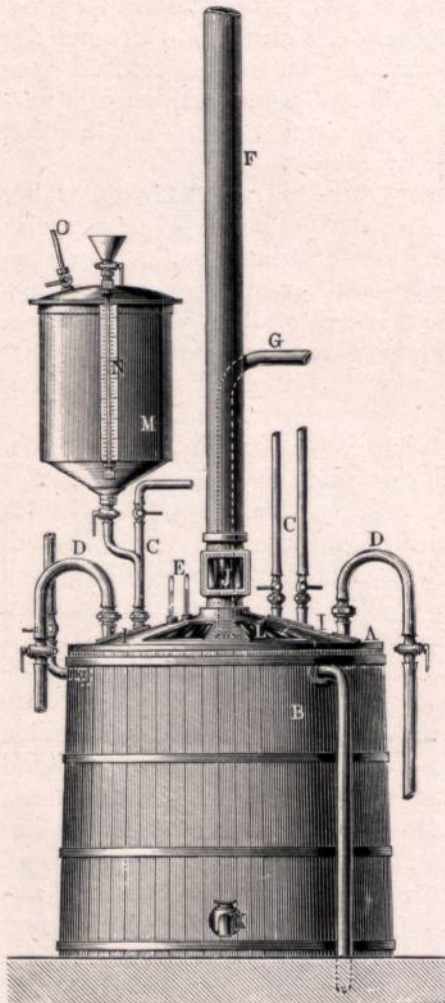


Abbildung 4. Apparat zur Herstellung von Nitroglyzerin.

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,

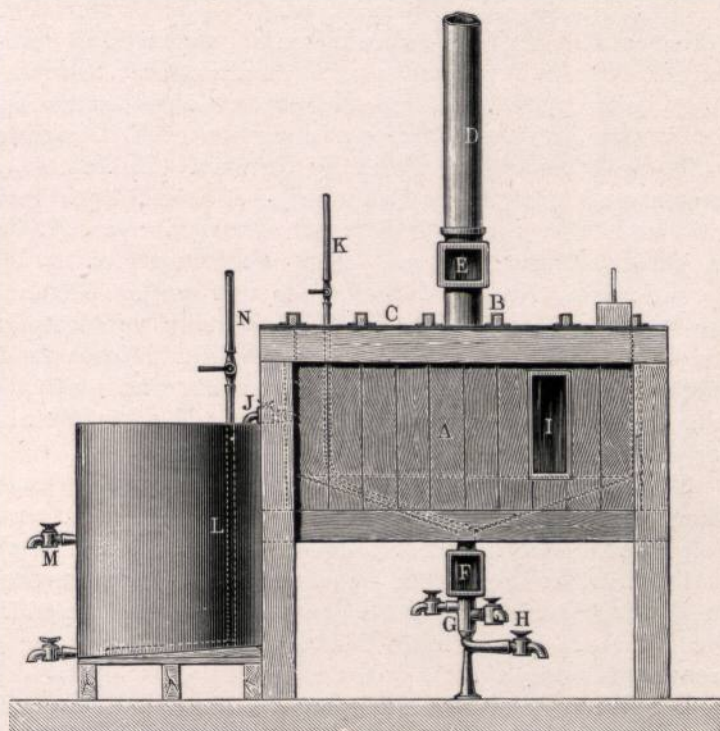


Abb. 5. Apparat zum Scheiden der Mischsäure vom Nitroglycerin.

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 Washwässer 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 Nitrierhaus, wohlverwahrt hinter Sandwällen. Durch eigenes Gefälle wird sowohl das erzeugte Nitroglycerin als auch die benutzte Nitriersäure 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 indifferenten 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 nitrierten 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 rußender 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 Sprengelatine überlegen.

	Ladedichte	Detonationsgeschwindigkeit in m/Sek.	Stoßkraft* in Sek./kg/m
Schwarzpulver	1,04	300	4578
Donarit (80 Ammonsalpeter, 12 Trinitrotoluol, 4 Sprengelatine, 4 Mehl)	1,31	4137	872312
Schießbaumwolle	1,25	6383	2076589
Gurdynamit, 75 %	1,58	6818	2369272
Trinitrotoluol	1,55	7618	2957896
Sprengelatine	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 ventilierten 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. Escales, „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 inzierend auf die daneben befindliche Pikrinsäure wirken, folgenschwere Explosionen eintraten, z. B. von Lyddit-Granaten im Moment des Abfeuerns (Rohrkrepiierer). 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 AMMONNITRAT, 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 bezug auf Sicherheit der Betriebe und des Transports besitzen. 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% NH_4NO_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% Kaliumchlorit.

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 gelatiniertem 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 Blücher, „Auskunftsbuch für die chemische Industrie“, 9. Auflage, Seite 1171.

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. Lehmanns Verlag. Erster Jahrgang 1906 erschienen. — „Schieß- und Sprengmittel“, von Oskar Guttmann. Braunschweig 1900, Verlag von Vieweg & Sohn. — „Die Explosivstoffe, Einführung in die Chemie der explosiven Vorgänge“, von Dr. H. Brunswig. Berlin und Leipzig 1914, G. J. Göschens Verlag. — „Die Explosivstoffe“, von Dr. H. Brunswig. 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. — „Nitroglycerin 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.

FLUGWESEN

VON BENTIVEGNI

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 Drache 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 heruntreiben 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 müßten 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 Gefahrvolle dieses Systems, das praktisch keine Bedeutung gewonnen hat.

2. DAS TRIEBWERK

DER 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 dreiflüglige 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-

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 Verzicht auf längere Flugdauer das Gewicht die ausschlaggebende Rolle spielte. In Zukunft werden wir diese Motore vornehmlich in leichten Sportflugzeugen verwenden.

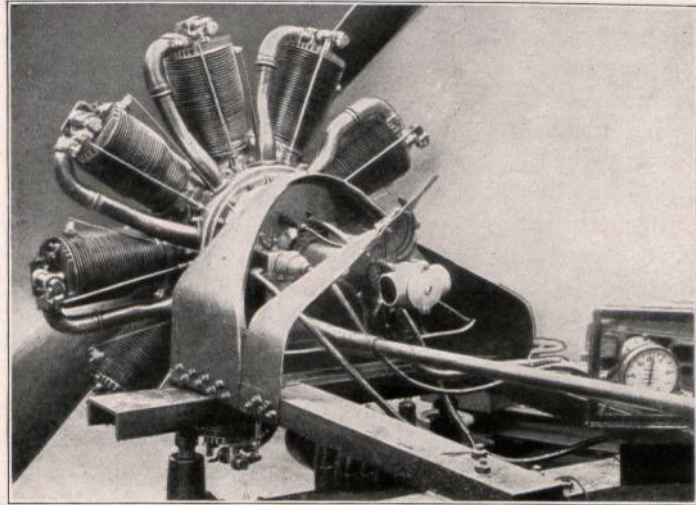
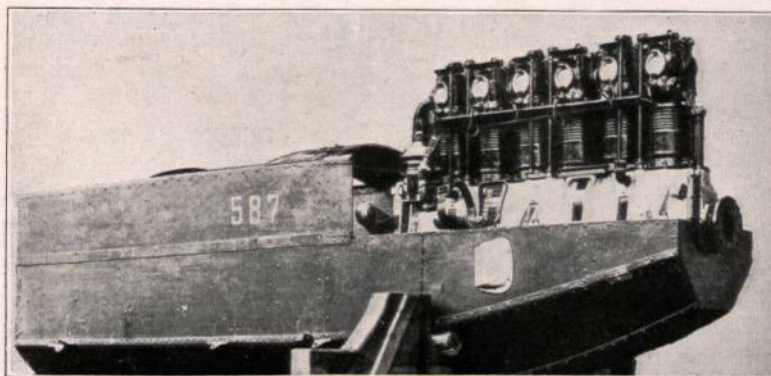


Abbildung 1. Umlaufmotor „Le Rhone“ der Motorenfabrik Oberursel, 9-Zylinder-Leistung: 205 P.S., Gewicht: 168 Kilo, Benzinverbrauch: 170 gr, Ölverbrauch: 30,2 gr.

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.-Benzinmotors 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 Pferdekräfte.

Die Stärkestesigerung der Pferdekräfte unserer Motore ist im wesentlichen der durch

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

Motor type	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

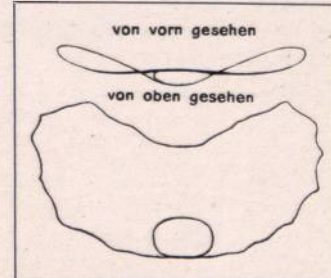
Gewicht des betriebsfertigen Motors ohne Wasser, Öl und Nabe	400 kg
Leistung bei 1400 Umdrehungen am Boden (nicht vollgeöffneter Vergaser)	245 P.S.

* Die Type B.M.W. 5 ist mit Unterseßungsgetriebe versehen.

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. Von oben gesehen erhielten sie eine



Abbild. 7. Samen der Zanonía.

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. Rumplertaube 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-

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.

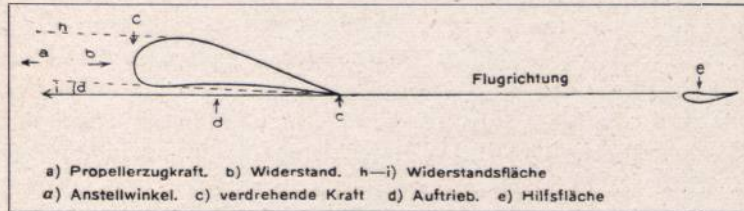


Abbildung 10.

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 Flughöhen 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.

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 Kreiselmwirkung 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

d. h. aus Holz und Stoff oder aus Metall. Wir finden vielfach eine Furnierholzbekleidung 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 Rumpfen, Haupttrumpf 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

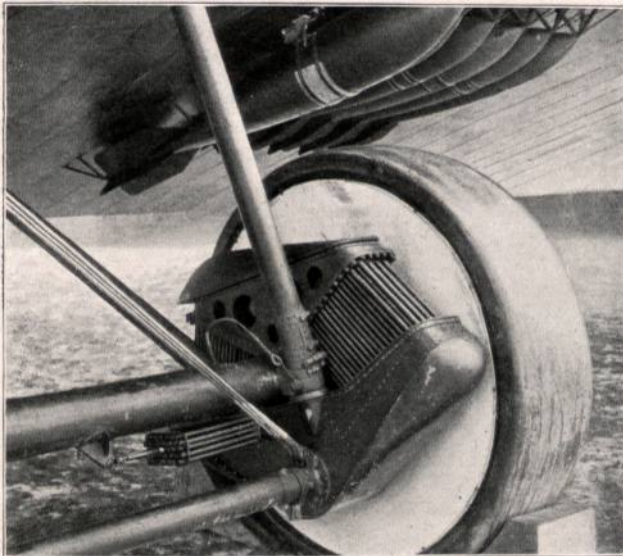


Abbildung 15. Eisernes Rad mit Stahlabfederung im Linke-Hoffmann-R.-Flugzeug.

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-

endes der Maschine ist ein drehbarer Sporn oder ein kleines Laufrad angebracht. Bei großen schweren Flugzeugen finden wir oft mehrere Räderpaare, die bisweilen

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.

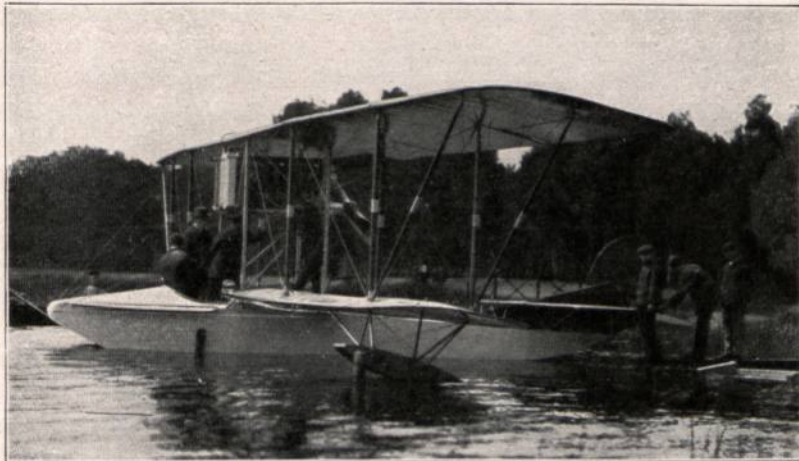


Abbildung 17.

Rumpler-Flugboot 1913, 100 P.S. Benz.

Je höher das Fahrgestell, desto größer werden Gewicht und Widerstand, außerdem wächst — ebenso wie bei einem Verlegen der Radachse nach hinten

— 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 Benzinuhren 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 Luftschraube die Luft in der Umgebung des Flugzeuges in Mitteleidenschaft 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.

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

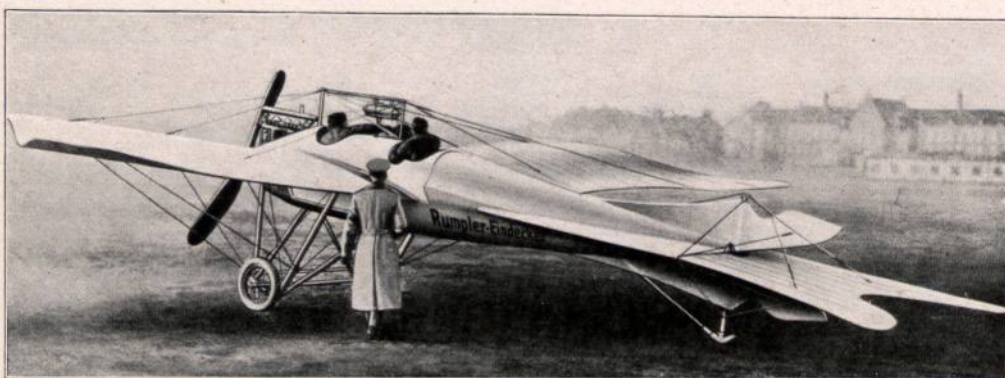


Abbildung 18.

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,

Standpunkte aus recht störend empfunden werden mußte. Im Stadium des Bewegungskrieges lag auch im Jahre 1914 noch kein zwingender Grund für die umfassende 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 Pferdekraft 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 Flugleistungen, 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 eng 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, der sein 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

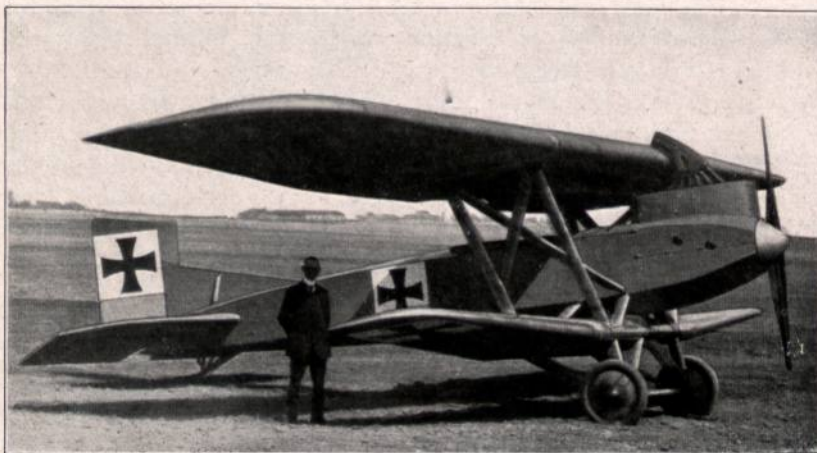


Abbildung 23. Junkers' Infanterie-Flugzeug, Chromnickelstahlpanzerung.

wendungszweck 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.

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 Ver-

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 Flügelen 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 Herabsezung 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. 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-

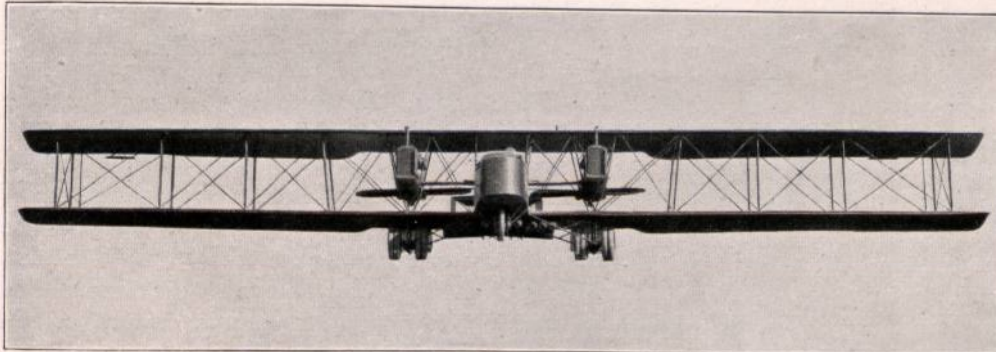


Abbildung 25.

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		<u>625 kg</u>

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

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), andererseits von dem Riesenflugzeug abgelöst wird. Von seiner hohen Bedeutung während

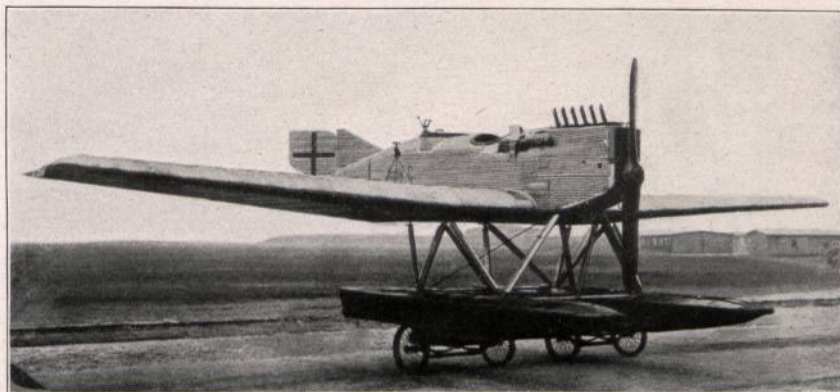


Abbildung 31.

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-

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	260	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	2/220	3150	1080	140	7,1	Großflugzeug
Albatros . . .	1917	160	886	661	170	5,5	Einsitzer
Rumpler . . .	1917	260	1630	580	165	6,2	
Fokker	1917	110	571	190	200	5,2	Einsitzer, Dreidecker
Rumpler . . .	1917	2/260	3620	1230	160	7,0	Großflugzeug
Gotha	1917	2/260	3620	1235	160	7,0	Großflugzeug
Junkers	1917	220	2176	400	155	9,7	Inf.-Flugzeug, gepanzert
Staaken	1917	4/260	11600	3600	120	9,2	Riesenflugzeug
Rumpler . . .	1918	260	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	2/260	3706	1030	160	7,1	Großflugzeug
LVG.	1918	2/260	4100	1140	130	8,0	Großflugzeug, Dreidecker
Staaken	1918	5/260	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
Voulton-Paul	1919	100	765	265	190	7,6	Verkehr, Metall
Marcy	1919	10	180	85	126	18,0	Sport

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.

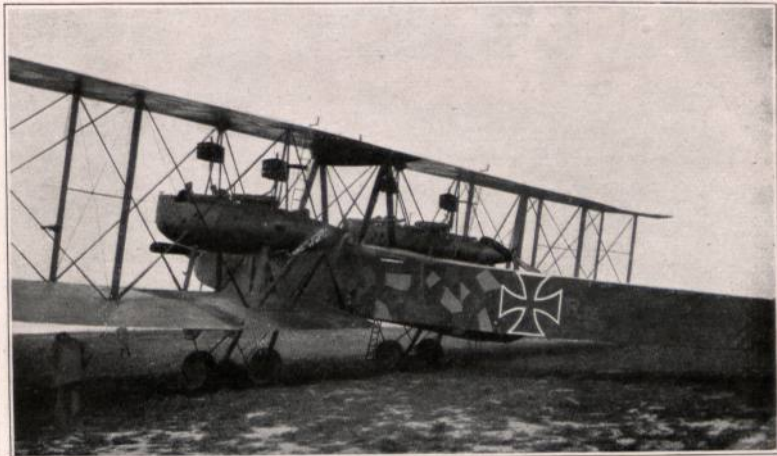


Abbildung 35. Staaken-R-Flugzeug 1917, 2/160 Mercedes, 4/200 P.S. Benz, 1 Zug-, 2 Druckschrauben. Der Bordmonteur in seiner Gondel.

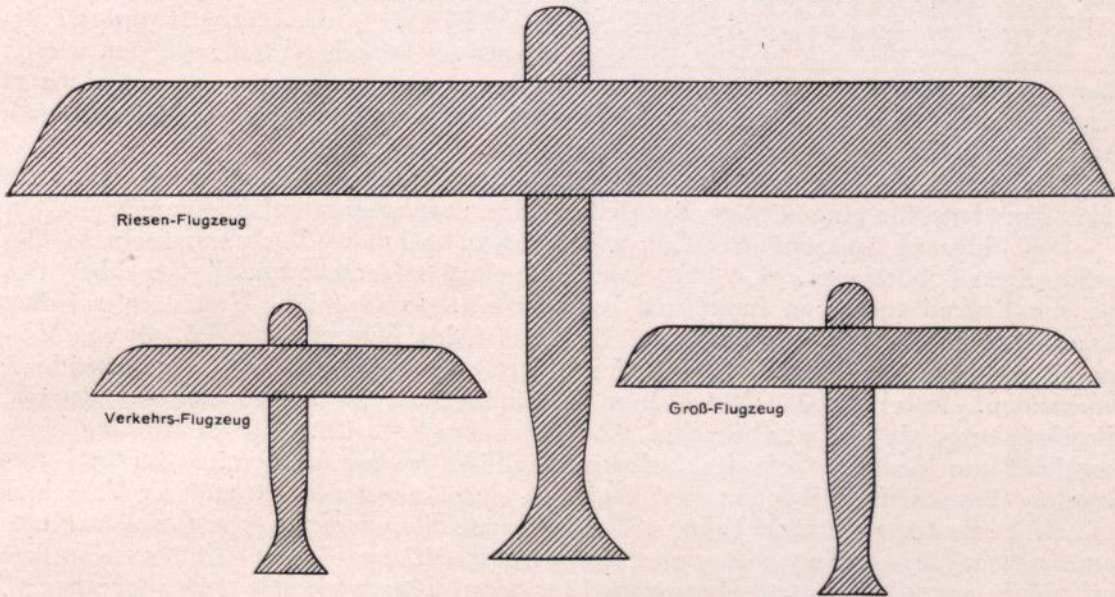
Mit Genugtuung dürfen wir feststellen, daß Deutschland trotz Niederlage und Revolution das erste Land gewesen ist, das sich beim Friedensflugzeug bewußt vom Kriegsflugzeug losgelöst hat. Das Junkerssche Flugzeug, im Kriege kaum zur Beachtung gelangt, hat die Führung im Verkehrsflugwesen übernommen und 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	4,69	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.

SCHATTENRISSE DER FLUGZEUGARTEN

Tafel Nr. 3



Gewichte:

1000 kg

10 500 kg

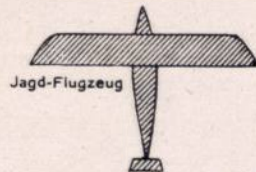
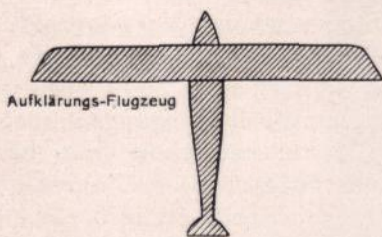
2400 kg

Pferdeslänge

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 zur 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 sternklarere 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.

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	Betriebs- stoffe für 420 km kg	Reine Nutz- last kg	Nutzlast pro Betriebs- stoff-kg kg	Nutzlast pro Person kg
L.V.G C 6 . .	168	262	1,56	131
Friedrichsh. G. .	420	1125	2,68	375
Staakener R. .	1085	3025	2,78	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

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

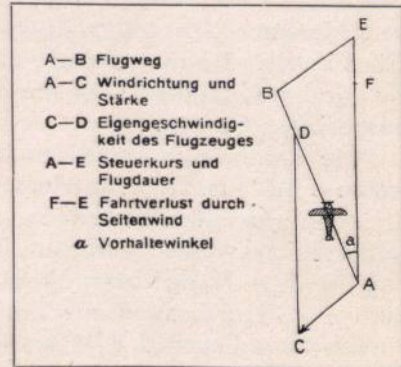


Abbildung 41.

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, gefährvollen 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 Hauptvorteil 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 gezeitigt, 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.

WROCLAW
POLITECHNIKA

BIBLIOTEKA GLOWNA

B-19 m

Archiwum