

Zeitschrift: Protar
Herausgeber: Schweizerische Luftschutz-Offiziersgesellschaft; Schweizerische Gesellschaft der Offiziere des Territorialdienstes
Band: 9 (1943)
Heft: 2

Artikel: Über die Wirkung von Torpedos, Minen und Tiefenbomben unter Berücksichtigung der deutschen Marinesprengstoffe vom letzten und heutigen Weltkrieg
Autor: Stettbacher, Alfred
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-362910>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Inhalt — Sommaire

Seite

Ueber die Wirkung von Torpedos, Minen und Tiefenbomben unter Berücksichtigung der deutschen Marinesprengstoffe vom letzten und heutigen Weltkrieg. Von Dr. Alfred Stettbacher	33
Pharmacothérapie et aviation d'assaut. Par le Dr L.-M. Sandoz	45

Nachdruck ist nur mit Genehmigung der Redaktion und des Verlages gestattet.

Page

Les forces aériennes britanniques et américaines au combat. Par le cap. E. Naeff	52
Verzeichnis der Schulen und Kurse des Luftschutzes 1943	54
Beförderung von Luftschutzoffizieren auf 1. Januar 1943	55
Offizielle Mitteilungen	55
Kleine Mitteilungen	56

Ueber die Wirkung von Torpedos, Minen und Tiefenbomben unter Berücksichtigung der deutschen Marinesprengstoffe vom letzten und heutigen Weltkrieg Von Dr. Alfred Stettbacher

Vorbemerkung des Verfassers.

Letzten Sommer teilte mir Herr *Ingenieur-General H. Muraour* die Zusammensetzung der heutigen *deutschen Untersee-Sprengstoffe* mit, gefolgt von einem Exposé zur Erklärung der verstärkten Wirkung dieser neuen, aluminiumhaltigen Explosivgemenge, d. h. jener Brisanzladungen, wie sie in aufgefischten Minen und blindgegangenen Torpedoköpfen aus dem Jahre 1940 gefunden und im Pariser Zentral-Sprengstofflaboratorium untersucht wurden. Meine daraufhin angestellten Vergleichsversuche bestätigten Muraours Angaben und Vermutungen; die wichtigsten Ergebnisse finden sich erstmals in der folgenden Studie, niedergelegt zu dem Zwecke, dem technisch interessierten Leser ein Bild von jenen *submarinen Explosionsvorgängen* zu vermitteln, die bei den Schiffsversenkungen auf und unter Wasser immer noch die Hauptrolle spielen und deshalb zum vollen Verständnis der einzelnen Untergangskatastrophen unerlässlich sind.

Die Abhandlung Muraours, auf welche mehrmals Bezug genommen wird, erscheint in der nächsten «Protar»-Nummer. Herr Muraour zählt zu den hervorragendsten Sprengstoffchemikern Frankreichs; er ist der Fachwelt schon lange als ebenso glänzender Theoretiker wie als experimentell-erfinderischer Improvisor bekannt.

Der jetzige Krieg als der erste eigentliche «Weltkrieg» hat das Meer zum grössten, umfassendsten Schauplatz des Völkerringens, zu einer endlosen Untergangsstätte zahlloser Schiffe mit Menschen und Gütern von unermesslichem Werte gemacht. Die Heftigkeit der Kämpfe über und unter dem Wasser, sei es im Atlantik oder im Pazifik, im Mittelmeer oder im Eismeer, steht den erbittertsten Landschlachten kaum nach, und das

Kriegsmaterial, das aus einem einzigen, grossen Geleitzug bisweilen versenkt wird, wiegt als Verlust sicherlich ebenso schwer, wie die auf dem Kontinent während derselben Zeit in Tank- und Artilleriekämpfen bewirkten Massenzerstörungen. Die Tragweite dieses geschichtlich beispiellosen und in der Folge noch ungewissen Geschehens erhellt am besten aus der lapidaren Erklärung des kanadischen Munitionsministers am 13. Dezember 1942, wonach die *alliierten Verluste* der Handelsmarine seit Kriegsbeginn *zweimal* so gross seien wie die in derselben Zeit *gebaute Handelstonnage*. Kein Wunder, wenn mit dem Ausgang der «Schlacht zur See» sich das Schicksal des Krieges entscheidet, und wenn deshalb das Ringen zu Wasser beidseitig nicht nur mit der grössten Anstrengung, sondern auch mit dem grössten technischen Aufwand, der vollkommensten Maschinerie geführt wird. Denn die verderblichsten, tödlichsten und zugleich heimtückischsten Waffen, die der militärische Erfindungsgeist bis jetzt ausgeklügelt hat, sind zweifellos die Unterwassergeschosse: *Torpedo*, *Mine*, insbesondere die *magnetische* und die *akustische Lauermine* sowie die *Tiefen- oder Wasserbombe* (depth charge, grenade sous-marine).

Es ist das Eigenartige und Ueberraschende an diesen drei Geschossen, dass sie bei der Explosion unter Wasser weit zerstörender wirken, als unter denselben Umständen an der 773mal leichteren Luft. Der Torpedo z. B. bringt Schiffe zum Sinken, die weder durch eine Granat-, noch durch eine Fliegerbombe-Ladung gleichen Gewichts entscheidend verletzt werden könnten. Einen drastischen Beweis hierfür lieferte die «Bismarck», das

modernste und stärkste Schlachtschiff der Welt, das am 27. Mai letzten Jahres unterging. Seine Panzerung soll unter der Wasserlinie 50 und auf Deck 25 cm betragen haben. Trotz zahlreicher schwerer Artillerietreffer blieb es schwimmfähig und versank erst durch die Explosionen mehrerer Torpedos, die von Flugzeugen und Kreuzern lanciert wurden. Andererseits ist aus demselben Jahre bekannt, dass die Tonnageverluste der Alliierten durch den Unterseebootskrieg, d. h. allein durch die Torpedierungen, monatlich an die halbe Million reichten. Ja, nach späteren deutschen Angaben hätten die U-Boote im September mit 950'000 und im November 1942 mit 955'000 Brt. zwei neue Versenkungsrekorde aufgestellt. Demgegenüber sind die auf *Minen* zurückgehenden Zerstörungen der Zahl nach viel kleiner, da es sich hier um eine Waffe rein defensiven Charakters handelt, während umgekehrt die geworfene Tiefenbombe weit aus den grössten Anteil an den U-Boots-Versenkungen hat.

Die dramatischen Erscheinungen des Seekrieges kann man als Zuschauer nur dann einigermassen beurteilen, wenn man die zu Grunde liegenden Explosionsvorgänge näher kennt und mit den gemeldeten Tatsachen in Zusammenhang zu bringen versteht. Wie rückständig, wenn nicht gar kindlich bei vielen Lesern die Vorstellungen selbst nach drei Kriegsjahren noch sind, kann man etwa aus den Kommentaren erkennen zu Nachrichten wie: Oelflecken gesichtet, U-Boot samt Inhalt bestimmt versenkt. Oder an der Phantasie jener Stadtschützen, die sich in einem farbigen Panoptikum Torpedotreffer auf die «Bismarck» oberhalb der Wasserlinie gefallen lassen! Auch die — wohl von hungrigen Fischessern — geäusserte Meinung, das Meer wäre nach jedem Torpedoschuss kilometerweit von obenauf schwimmenden Fischen¹⁾ übersät, gehört hierher.

Die verschiedenen Sprengwirkungen unter Wasser im Vergleich zu denen in Luft.

Schon in einer früher erschienenen Abhandlung²⁾ habe ich mich kurz über dieses Thema verbreitet; um die oft missverstandenen Unterwasserwirkungen so klar und eindeutig wie möglich hervorzuheben, seien einige weitere, besonders sprechende Versuche angeführt.

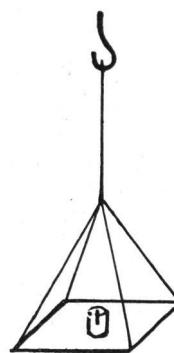
Unter Wasser ist jede Art Sprengwirkung, sofern es sich um ein gewöhnliches, d. h. nicht hohles, nicht von Luft erfülltes Widerstandsobjekt handelt, unvergleichlich viel geringer, als unter denselben Umständen in Luft.

Wie in Abb. 1 angedeutet, wurden je 140 g hochbrisantes Petrinit in Glasflasche über einer

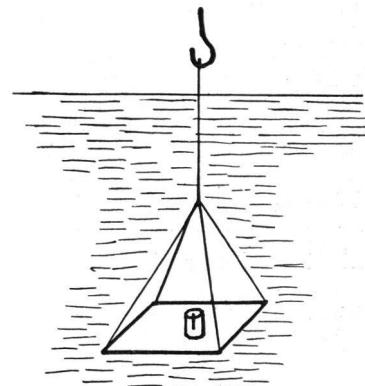
¹⁾ Die «Berliner Illustrierte» Nr. 43 brachte vor wenigen Wochen ein Bild aus dem fischreichen Mittelmeer, wo nach einer «Wurfübung mit Wasserbomben» eine Anzahl Fische betäubt an die Wasseroberfläche kamen, von einzelnen Matrosen gefischt wurden und als «willkommene Bereicherung des Speisezettels zum Koch in die Kombüse wanderten».

²⁾ «Protar», März 1942, S. 86.

8 mm dicken Eisenplatte, die waagschalenartig an den vier Ecken mit Drähten verbunden und aufgehängt worden war, das eine Mal in Luft, das andere Mal 80 cm tief unter Wasserspiegel, frei detoniert.



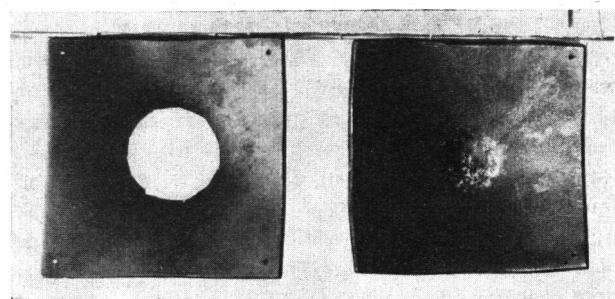
In Luft.



80 cm tief unter Wasser.

Abb. 1.

Die Wirkung zeigt Abb. 2. In Luft ist die Unterlagsplatte mit einer kreisrunden Oeffnung vom doppelten Durchmesser der aufliegenden Ladung durchschlagen worden, während unter Wasser die Platte wohl stärker verkrümmt, aber ohne jeden Eindruck — an der runden Berührungsfläche sind lediglich Glassplitter eingedrückt — hinterlassen wurde.



In Luft.

80 cm unter Wasser.

Abb. 2.

Brisanzwirkung von je 140 g frei aufgelegtem Petrinit, detoniert nach Abb. 1.

Die in Abb. 3 von 140 g Petrinit erzeugte merkwürdige Doppelerscheinung mit «Kelch» und «Kerze» findet bei allen bekannten Unterwasserexplosionen kein Analogon. Denn es entsteht immer eine mehr oder weniger ausgeprägte Wasser-«Garbe» oder bestenfalls, wie bei der Torpedo- oder Seeminen-Explosion, ein Wasser-«Dom». Einen solchen Wasserdom, allerdings einen etwas mageren, weil nur 40 g Pikrinsäure daran beteiligt waren, zeigt der «Torpedoschuss» in Abb. 4.

Findet die Explosion in zunehmender Wassertiefe statt, wird die aufschiesende Fontäne immer niedriger, hinterlässt schliesslich nur noch eine Aufwölbung oder macht sich an der Oberfläche überhaupt nicht mehr bemerkbar.

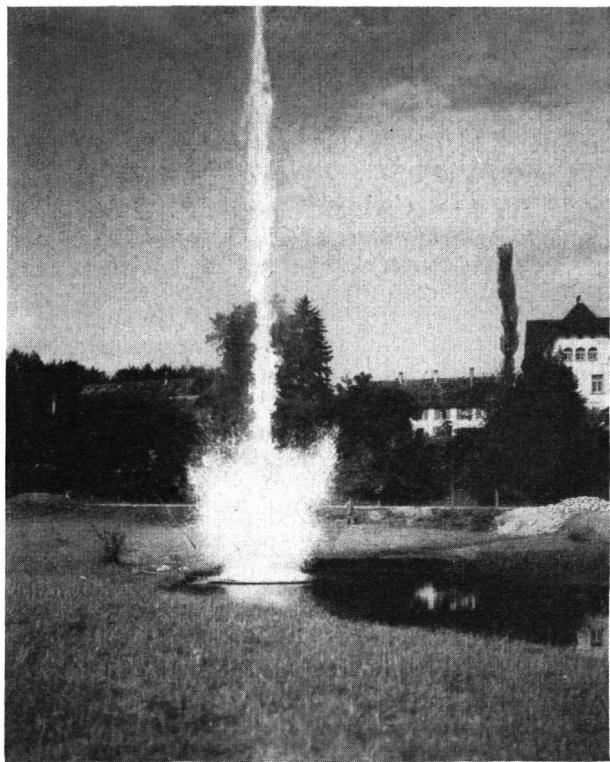


Abb. 3.

Wasserkelch mit aufschiesender Wasserkerze, hervorgerufen durch Reflexion der Druckwellen an der eisernen Unterlagsplatte.

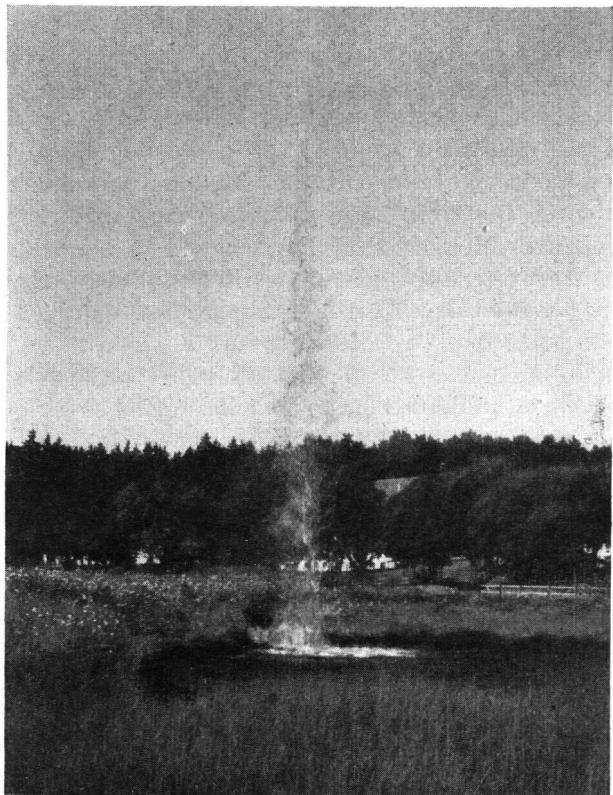
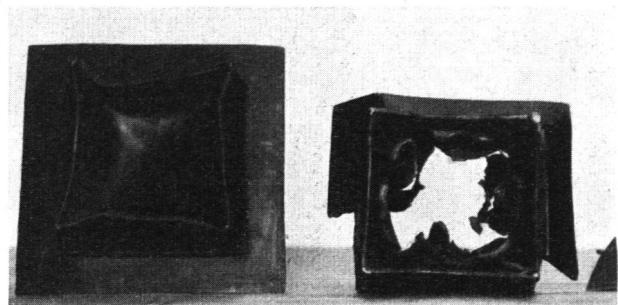


Abb. 4.

Wasserstrahlkerze nach Durchschlag eines lufteschliessenden Eisenaggregats,³⁾ gemäss Abb. 5 und 6. Diesmal ist der weisse Wassergischt mit Rußschwarz vermischt, wie übrigens bei allen Meerwasserfontänen durch Torpedos, Minen und Tiefenbomben.

³⁾ Aufnahme von Herrn U. Pfenninger, Zürich.

Der Parallelversuch in Abb. 5 und 6 ist darin bemerkenswert, dass er den Unterschied zweier verschieden starker Sprengstoffe weit auffälliger als bei der Explosion in Luft zeigt.



25 g Trinitrotoluol
1000 kcal/kg
6800 m/sec

25 g Pentinit
1500 kcal/kg
8000 m/sec

Abb. 5 und 6.

«Torpedo»-Wirkung einer brisanten und hochbrisanten Sprengladung auf einer 8-mm-Eisenplatte 30×30 cm mit angeschweisstem Eisenkasten von 2 mm Wandstärke 10×20×20 cm (nach Abb. 11). Vergleichsversuch vor einer japanischen Militärmision 1933.

Die Druckvorgänge bei der Explosion unter Wasser.

Zufolge der äusserst geringen Elastizität des Wassers bereitet sich hier der Explosionsdruck ganz anders als an der 773 mal leichteren Luft aus. Denken wir uns die Ladung eines mittleren Unterwasser-Geschosses in Kugelgestalt angeordnet; sie betrage 200 kg Trinitrotoluol und werde im Mittelpunkte gezündet. Bei einer Detonationsgeschwindigkeit von 6800 m/sec wird die Sprengmasse von 0,61 m Durchmesser innerhalb $1/22000$ Sekunde vergast, d. h. die Detonationswelle (Stosswelle) erreicht nach dieser Zeit die Oberfläche der Ladungskugel und übt auf das angrenzende Wasser den ungeheuren Druck von rund 50'000 Atmosphären (50'000 kg/cm²) aus. Dieser *Detonations- oder Brisanz-Druck* pflanzt sich in immer grösser werdenden Kugelwellen mit der Wasser-Schallgeschwindigkeit von 1440 m/sec fort, nimmt aber mit dem Quadrat der Entfernung vom Explosionsherd rasch ab (Abb. 7), woraus sich die Wirkungslosigkeit der vielen zu weit abgeworfenen Tiefenbomben gegen U-Boote ohne weiteres erklärt. Diese *primäre Stosswelle* äussert sich in einer starken Pressung und Erschütterung auf alle im Wasser befindlichen Körper; sie ist es, die den Fischen «dynamitartig» zusetzt, den betäubenden «gusseisernen Hammerschlag» für den Unterseebotsinsassen erzeugt und sich an der Wasseroberfläche als eigenümliches Zittern und Kräuseln verrät, — eine Erscheinung, die den später aufschiesenden Wasserkerzen jedesmal sehr deutlich vorangeht.

Unmittelbar auf den ersten, augenblicklich wirkenden, primären Detonationsdruck folgt nun der zweite, zeitlich viel hundertmal länger dauernde Vorgang: die Ausdehnung der Explosionsgase gegen das einschliessende Wasser. Wenn

Abb. 7 und 8.

Schematische Darstellung der bei jeder Unterwasserexplosion aufeinander folgenden Druck-Bewegungsvorgänge, ausgehend von einer im Kugelzentrum gezündeten 200-kg-Tiefenbombeladung:

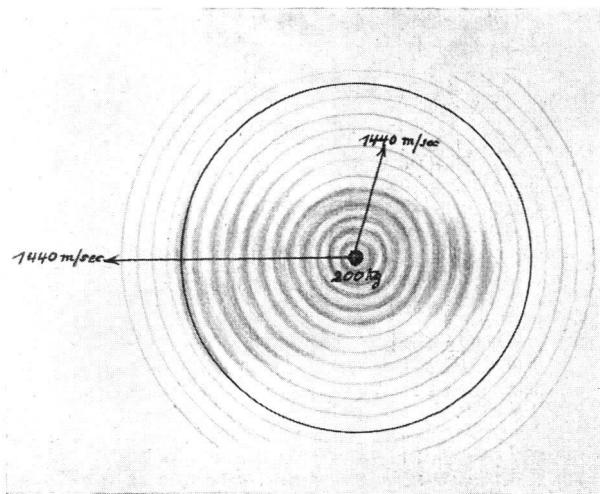


Abb. 7

Detonationsdruck (stat. Ueberdruck), der sich von der Sprengstoffoberfläche ($d = 0,61$ m) dem Wasser nach allen Richtungen mitteilt und sich wellenförmig mit 1440/sec fortpflanzt.

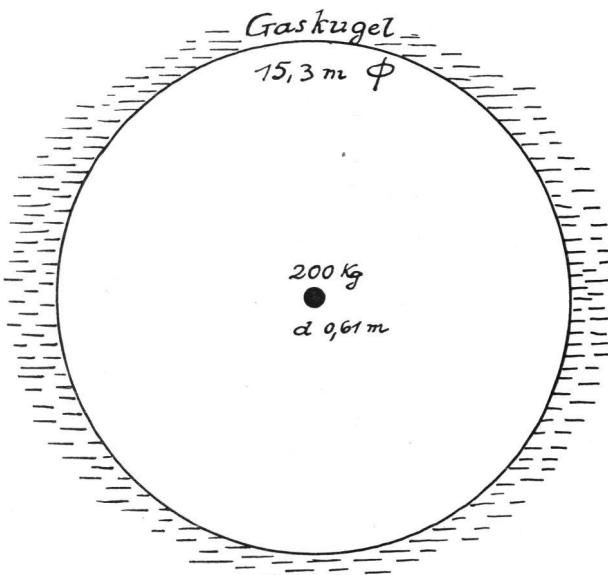


Abb. 8

Dynam. Expansions-Gasdruck oder zweite, sekundäre Phase: das die Sprengkugel umgebende Wasser wird durch die sich ausdehnenden Explosionsgase nach allen Richtungen fortgeschleudert.

unsere Tiefenbombe in der Normalregion, d. h. 10–20 m unter Wasserspiegel detoniert, erscheint über der «zitternden» Meeresfläche eine breite Wölbung, die in dem Masse an Höhe gewinnt, als ihre Grundfläche kleiner wird. Dann brechen die Explosionsgase hervor, bei Torpedos und Minen aus 3–4 m Tiefe den Minendom hochwerfend, bei den tiefern Wasserbomben eine mehr kelchförmige, verbreiterte Wassergarbe aufstossend.

Während der erste primäre Stossdruck als der zweifellos stärkere, gefährlichere das getauchte Unterseeboot bei Tiefenbombenangriff einbeult,

einknickt, ja bei grosser Explosionsnähe zusammendrückt (Abb. 28 und 29), umstrudeln, umtoben die stromschnellenähnlich beschleunigten Wassermassen der Sekundärperiode das in allen Fugen ächzende, vielleicht schon leck geknickte Boot, bringen es aus dem Gleichgewicht unter Herausschaukeln der Akkumulatorenäure und treiben das Oel aus dem havarierten Druckkörper (Abb. 25 und 26).

Nach diesen vorbereitenden Ausführungen folge nun die Beschreibung und Erklärung der Wirkungen unserer bekannten Unterwassergeschosse.

I. Torpedos.

Als typische Angriffswaffe zur See ist der Torpedo bis heute das unheimlichste aller Geschosse geblieben: Weder die schwerste Artilleriegranate, noch die mächtigste Viertonnen-Bombe ist im Stande, gleichermassen ein grosses Schlachtschiff zu versenken und zahlenmässig so viel Werte an Gütern und Menschenleben zu zerstören, wie ein einziger gutgezielter Torpedo. Der Torpedo wird von Unterseebooten stets unter Wasser ausgestossen, dann aber auch von Schiffen, Kreuzern, Zerstörern, Schnellbooten von Bord mittelst schwenkbarer Lancierrohre geschossen. Ganz neu und erst in diesem Kriege erprobt ist der Abwurf aus besondern Torpedo-Flugzeugen, ein Verfahren, das an die Kaltblütigkeit und Geschicklichkeit des Fliegers die höchsten Anforderungen stellen soll.

Die Torpedowaffe ist ausnahmslos auf grössere, womöglich schwer beladene Schiffe mit entsprechendem Tiefgang berechnet; sie verfehlte ihren Zweck gegen die kleinen, flachgleitenden Hornissen- oder Moskitoboote des Küsten-Patrouillendienstes mit bloss 1,5 m Tiefgang, ganz abgesehen von dem Missverhältnis zwischen dem beträchtlichen Kostenaufwand für Geschoss und dem relativ bescheidenen Wert des Motorbootes. Uebrigens ist nicht jeder Torpedoschuss auch ein Treffer, und mehr als man gewöhnlich glaubt, wird das so heiss begehrte und frohlockend anvisierte Ziel verfehlt, sei es, dass sich der Kapitän in Distanz und Vorgabe verrechnet, sei es, dass sich der «Aal» selber schlecht aufgeführt und gesteuert hat. Denn der überaus komplizierte Tiefen- und Geradlauf-Steuermechanismus kann wie jede Maschine gelegentlich versagen: der Torpedo gleitet dann entweder im Bogen achtungsvoll am Schiffe vorbei, oder er flitzt unter dem Kiel durch oder kommt als «Oberflächenmoloch» zum Vorschein, zur Freude oder zum Fluch der jeweiligen Kampfteilnehmern.

Der Torpedo bietet äusserlich das Bild einer Stahlzigarre von 45–60 cm Durchmesser und 5–10 m Länge. Der ganze Körper besteht aus drei Hauptteilen, von denen der Kopf die verheerende Sprengladung trägt. Einer kürzlich veröffentlichten Abbildung ist zu entnehmen, dass der italienische Flieger-Torpedo bei 45 cm Kaliber 5,50 m lang ist mit einem Kopfstück von 72 cm Gesamt-

länge, wovon 8—10 cm auf die übergreifende Anschraubfläche fallen dürften.

Ueber die Grösse der *Torpedokopfladungen* werden oft die verschiedensten und widersprechendsten Angaben gemacht; es werden Zahlen genannt, die der Wirklichkeit unmöglich entsprechen können. Wir wollen deshalb anhand einfacher Ueberlegungen und Berechnungen einmal sehen, wie viel an Gewicht in einem kleinen und einem grossen Torpedokopf Platz hat. Das kleinste Torpedokaliber scheint das *italienische* mit 45, das grösste das der USA. mit 55 und 60 cm zu sein, während das *deutsche* nach übereinstimmenden Angaben 53,3 cm betrüge. Vermutlich verfügt jede Marine über verschiedene Torpedogrössen, denn es wäre widersinnig, etwa ein grosses Schlachtschiff wie seinerzeit die «Hood» oder die «Bismarck» mit 45-cm-Torpedos, einen kleinen, schwach gepanzerten Kreuzer dagegen mit den grösstkalibrigen anzugreifen.

Als Grundlage unserer Berechnungen diene ein Torpedokopf von 45 und von 55 cm Durchmesser mit abgeplatteter, runder Stirnseite, um den Schwerpunkt der Ladung möglichst nah an die Schiffswand zu bringen (Abb. 9 und 10).

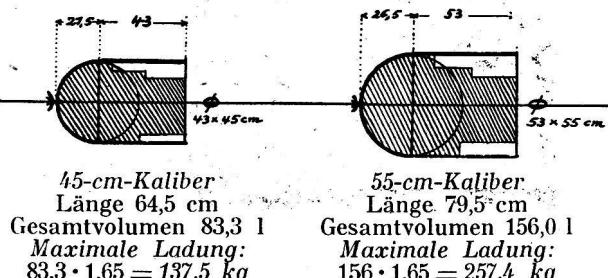


Abb. 9 und 10.
Torpedokopf-Ladungen.

Die den Sprengkopf schützende *Einschlusshülle* (Leichtmetall), die beim Abschuss über Schiffsdeck oder vom Torpedoflugzeug aus mit grosser Geschwindigkeit ins Wasser stösst und dem Auftreffschlag ohne Deformierung standhalten muss, darf ohne weiteres 1 cm dick angenommen werden. Dann verbleibt für das kleine Kaliber ein Raum, bestehend aus einer Halbkugel von 21,5 cm Radius und einer zylindrischen Fortsetzung von 43 cm Durchmesser und ebensolcher Länge. Beim 55-cm-Kaliber sind es 26,5 cm Radius und 53 cm Zylinderlänge, — Dimensionen, die der Wirklichkeit ziemlich nahe kommen dürften. Im ersten Falle erreicht das Gesamtvolumen 83,3, im zweiten 156,0 Liter. Nehmen wir als Sprengladungsdichte 1,65 an; welche Zahl bei den deutschen, italienischen und schwedischen Ladungen ziemlich genau zutrifft, dann ergäbe sich eine *maximale Kopffüllung* für das 45-cm-Kaliber von 137,5 kg und für das 55-cm-Kaliber von 257,4 kg. Diese völlig raumfüllenden Ladungen aber gibt es in Wirklichkeit nicht, da der Kopf zu schwer würde; um das Vorderende schwimmfähig zu machen, müssen Lufträume ausgespart werden,

welche das Ladungsgewicht entsprechend vermindern. Es erscheint deshalb wenig wahrscheinlich, dass die Sprengladung eines kleineren 45-cm-Torpedos wesentlich über 120, und die eines grossen 55-cm-Torpedos über 220 kg hinaus ginge. Selbst wenn man (etwa auf Grund von Photos und Kinoaufnahmen) annimmt, dass die neuesten Konstruktionen am Kopf noch stumpfer, abgeplatteter und im Zylinderstück auch wenig länger seien, würden im ersten Falle doch nicht über 140, und im zweiten keineswegs mehr als 260 kg Sprengladungsgewicht erhalten.

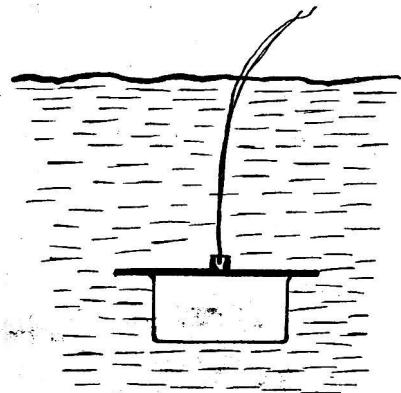


Abb. 11.

Versuchsanordnung zu den Abb. 5 und 6: Luftdicht verschweißter Eisenkasten in 100—70 cm Wassertiefe mit 25 g Brisanzladung *«torpediert»*.

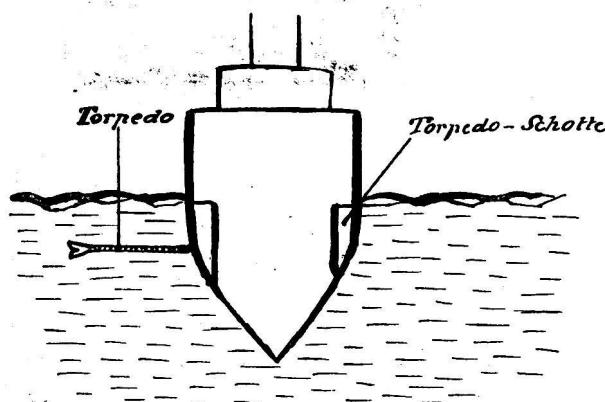


Abb. 12.

Torpedo, 3—4 m unter der Wasserlinie, beim Aufschlag an eine Schiffswand, verstärkt durch Torpedoschotten.

Die Detonationsgewalt selbst der kleineren Fliegertorpedos ist gross genug, den stärksten Schlachtschiffpanzer mit einer das Torpedokaliber weit übertreffenden Öffnung durchzuschlagen. Kleinere, nicht armierte Schiffe werden oft vom Kiel bis zum Deck aufgerissen, ja manchmal sogar in zwei Hälften gespalten, wie die Bilderschronik zu berichten weiß. Die ausserordentliche, beispiellose Wucht des Torpedostosses erklärt sich leicht aus dem Umstand, dass die Explosion aus dem 770mal schwereren, allseitig verdämmenden Wasser durch die Schiffswand hindurch nach dem luftfüllten — widerstandslosen — Innenraum zu erfolgt. Die katastrophale Wucht des Lecksprengens wird allerdings durch die sog.

Torpedowulste und *Torpedo-Schotten* (Abb. 12) der heutigen Kriegsschiffe abzuschwächen versucht; wie unsicher aber der Abdicht-Widerstand solcher abgeteilter Stahlkammern erscheint, geht aus den immer wieder gemeldeten Versenkungen von Schlachtschiffen bis zur schwersten Klasse hervor.

Ueber die «furchtbare» Wirkung der Torpedoladungen wird unausgesetzt fabuliert, obschon die verwendeten Sprengstoffe durchaus nicht besonders stark, wohl aber den gegebenen submarinen Bedingungen äusserst geschickt angepasst sind. So bedeuten die *neuen deutschen Zusammensetzungen* mit ihrem *Aluminiumzusatz* von 15 bis 16 % einen gewichtigen Fortschritt gegenüber den Ladungen des letzten Weltkrieges. Es sei mir deshalb gestattet, über diesen Punkt etwas weiter auszuholen.

Wie bei den Artilleriegranaten, die den Choc beim Abschuss und den Stoss beim Aufschlag ohne vorzeitige Explosion aushalten müssen, so wird auch bei den Torpedokopfladungen eine entsprechende, nur wenig verminderte Sicherheit verlangt. Das im letzten Weltkrieg 1914/1918 deutscherseits benutzte Sprengstoffgemenge aus 60 % Trinitrotoluol und 40 % Hexanitrodiphenylamin war allerdings nicht beschussicher, denn es detonierte nach französischen Angaben beim Eindringen einer Infanteriegewehrkkugel.⁴⁾ Diese Sicherheit auf Beschuss war aber auch gar nicht erforderlich, denn die Torpedos werden ausnahmslos tief im U-Boot-Innern aufbewahrt und in jedem Falle unter der Wasserlinie abgeschossen. Bedenklicher ist heute die Anwendung im Flugzeug, wo die ungeschützten Ladungsköpfe nicht nur dem Feuer der kleinkalibrigen Maschinengewehre, sondern

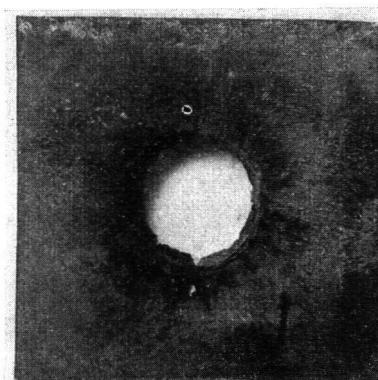
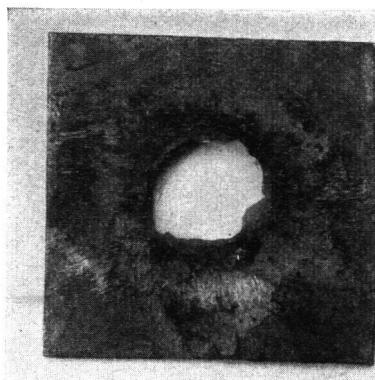


Abb. 13 und 14.
Durchschlagswirkungen in Luft.

60 % Trinitrotoluol
40 % Hexanitrodiphenylamin

55,7 % Trinitrotoluol
27,9 % Hexanitrodiphenylamin
16,4 % Aluminiumgries (Sieb 40—70)

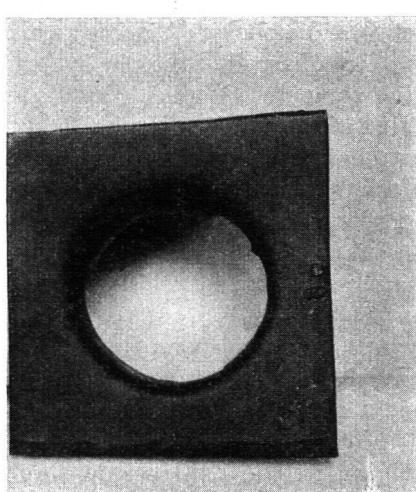
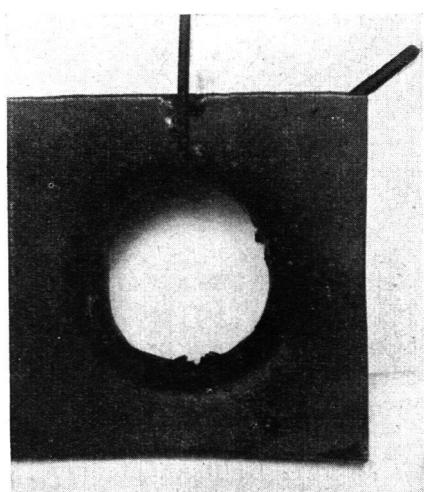


Abb. 15 und 16.
«Torpedo»-Wirkungen 50 cm unter Wasser.

(Die in Wirklichkeit grösseren Durchschlagsöffnungen der Abb. 13 und 16 hat man sich hier in dem Masse noch ein wenig vergrössert zu denken, als die betreffenden Eisenplatten neben denen der Abb. 14 und 15 etwas zu klein ciliert worden sind.)

⁴⁾ Les Poudres et Explosifs, Paris et Liège 1932, S. 463.

auch den Sprenggranaten der Flakgeschütze ausgesetzt sind. Hier kann nur das beschußsichere Trinitrotoluol verwendet werden, wobei natürlich trotzdem die Explosionsgefahr schon beim Aufprall von 2,5-cm-Granaten tödlich wird (vgl. die überaus sprechende Nachtaufnahme⁵⁾ der Explosion eines russischen Bombers, dessen Sprenglast durch Flaktreffer mit einer Art Wetterleuchten zerstieb).

Die heutigen deutschen Ladungen, bestehend aus 61,8 % Trinitrotoluol, 23 % Hexanitrodiphenylamin und 15,2 % Aluminium dürfen wohl gegen Maschinengewehrbeschuss sicher sein, so dass sie auch in den Flugzeugtorpedos angewandt werden können. Welches ist nun der Wirkungsunterschied zwischen den alten, nicht ganz beschussicheren Ladungen 1914/1918 und den neuen, aluminiumhaltigen des jetzigen Krieges?

Die Abb. 13—16 von eigens angestellten Brisanzversuchen *in Luft* und *unter Wasser* geben darüber Auskunft.

Knall und Durchschlag der alten Zusammensetzung sind *an der Luft stärker* als beim neuen *Aluminiumsatz*, dessen Russwolke durch das mitgebildete Aluminiumoxyd nicht mehr schwarz, sondern grau erscheint, ganz in Uebereinstimmung mit den Bildern deutscher Torpedotreffer. Dem kleineren Durchschlag der Oberplatte steht aber eine fast doppelt so breite *Stauchung* der unteren Eisenzyllerringfläche entgegen (Abbildung 18), welche Erscheinung nicht durch einen (absolut) höhern, sondern allein durch einen länger andauernden *Stossdruck* infolge der Zwischenverbrennung des Aluminiums erklärt werden kann.

Wie stellt sich nun das Wirkungsverhältnis beim «Torpedo»-Beschuss unter Wasser? Abweichend und unerwartet genug, denn sonst wäre das Aluminium sicherlich schon im letzten Weltkriege angewandt worden!

Abb. 15 und 16 zeigen mit denselben Ladungen auf derselben Eisenplatte nicht nur einen mehrfach grösseren Durchschlag unter Wasser, sondern — auffälligerweise — auch eine grössere Stanzfläche des «langsameren» Aluminiumgemenges. Weiterhin ist der Zylinder etwas stärker gestaucht oder aufgetrieben (Abb. 19 und 20, oben links gegen die 6-mm-Eisenunterlagsplatte). Und nicht zuletzt ist auch die unten angeschweißte 2-mm-Bodenplatte mit den starken Eisenfüssen beim Aluminiumsprengstoff mehr mitgenommen als bei der alten Mischung.

Nach französischen Angaben würde die Detonationsgeschwindigkeit des alten Gemenges durch den Zusatz von 15—16 % Aluminium um wenigstens 1500 m/sec erniedrigt. Dementsprechend müsste auch der Plattendurchschlag kleiner werden, was der Parallelversuch an der Luft auch

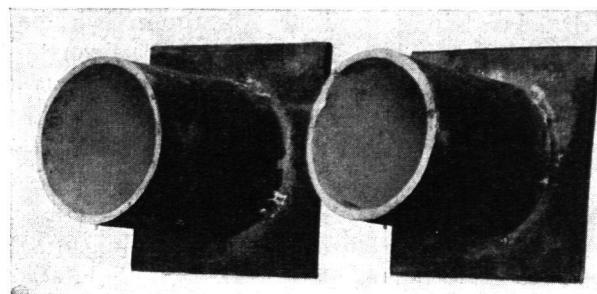


Abb. 17 und 18.*)

Stauchung der Eisenzyll-Ringfläche an der Betonunterlage im Versuch der Abb. 13 und 14. Sintergemenge von je 44 g, gepresst auf 1,6 Dichte, detoniert unter Zwischenschaltung von 5 g Pentinit über 6-mm-Eisenplatten, die auf einen 4 mm starken Eisenzyllinder 8×8,8 cm und 10 cm Höhe geschweisst waren (Abb. 17, 18, 19 und 20).

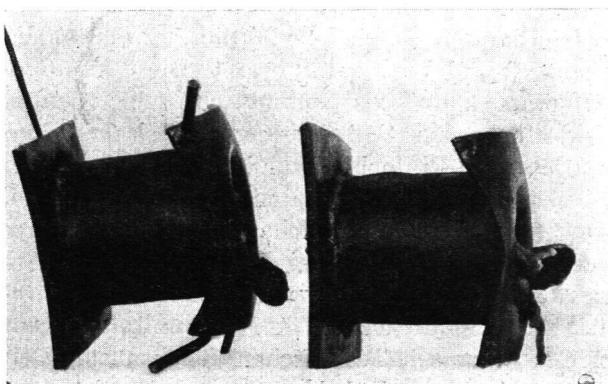


Abb. 19 und 20.**)

Seitenansicht des zylindrischen Torpedobeschussaggregats parallel zu den Abb. 15 und 16.

44 g Gemenge 60/40 44 g Gemenge mit 16,4 % Al

bestätigt. Warum nun aber unter Wasser die gegenteilige, allen bisherigen Vorstellungen widersprechendere, schnellere, brisantere Stosswirkung?

Vermutlich ändert sich das Verhältnis der Detonationsgeschwindigkeiten unter Wasser so wenig wie an der Luft; zufolge der viel grösseren Trägheit des 770mal schwereren Wassers jedoch kommt durch die länger andauernde Sekundärverbrennung des Leichtmetalls eine summierte Stosswirkung zustande, die eine vermehrte Brisanz als Folge gesteigerter Detonationsgeschwindigkeit vortäuscht. Anders kann man sich den vergrösserten Plattendurchschlag kaum erklären.

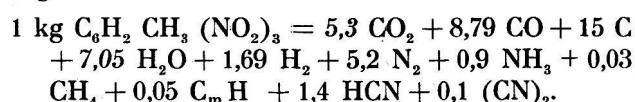
*) Aufnahmen von Herrn U. Pfenniger, Zürich, ebenso Abb. 19 und 20.

**) Bei der Anwendung ziviler *aluminiumhaltiger Sprengstoffe* ist die unvermeidliche Bildung von *Kohlenoxyd* und dadurch bedingte *Gasvergiftungsgefahr* wohl zu beachten. 1 kg Aluminium vermag durch Reduktion der Kohlensäure 1240 l Kohlenmonoxyd zu liefern. Wenn auch das Kohlenoxyd in vereinzelten Fällen nach dem Sprengschuss in Berührung mit Luft ganz oder teilweise verbrennen sollte, ist doch stets mit der Anwesenheit dieses heimtückischen Gases zu rechnen, weshalb Aluminium-Sprengstoffe — nicht zuletzt auch wegen des durchdringend feinen, störenden *Aluminiumoxyd-Staubes* — nur «über Tag» oder zum mindesten in gut ventilirten Stollen angewandt werden dürfen.

⁵⁾ «Berliner Illustrirte» Nr. 43 (Oktober 1942).

Da das fein granulierte Aluminium bei allen Unterwasser-Sprengstoffen dieselbe Druckverstärkung bedingt und als beträchtlicher Zusatz von mindestens 15 % die Ladungen weder verteuert (99prozentiges Al genügt hier vollkommen), noch empfindlicher macht, kommt der Rolle dieses Leichtmetalls angesichts des ungeheuren Umfangs des Seekrieges eine überragende Bedeutung zu. Es verlohnt sich daher, den Ursachen dieser Leistungsverbesserung nachzugehen, um sie chemisch zu deuten und womöglich rechnerisch zu erfassen.

Die druckverlängernde, nachheizende Wirkung des Aluminiums in Sprengstoffen ist schon lange bekannt; sie beruht auf dem Wärmeüberschuss, der sich als Differenz aus der höhern Verbrennungswärme des Aluminiums zu Aluminiumoxyd und dem gleichzeitig einsetzenden Wärmeentzug der Explosionsgase Kohlendioxyd und Wasserdampf durch Reduktion zu Kohlenmonoxyd und Wasserstoff ergibt. Diese Kaloriedifferenz kann als sprengtechnisch wichtige Zahl für jeden Fall *thermochemisch berechnet* werden. Der Einfachheit halber wählen wir den militärischen Universalsprengstoff *Trinitrotoluol*, eine chemisch einheitliche Verbindung, deren Zersetzungsgleichung bei artilleristischer Anwendung (hohe Dichte und Einschluss) durch die Untersuchungen von *A. Haid* und *A. Schmidt* in der Chemisch-Technischen Reichsanstalt Berlin*) experimentell bekannt geworden ist. Danach detoniert 1 kg Trinitrotoluol von der Dichte 1,52 bei einer Explosionstemperatur $t = 2940^\circ$, einer Detonationswärme $Q = 918 \text{ kcal/kg}$ und einem Normalvolumen $V_0 = 688 \text{ l/kg}$ nach der folgenden Gleichung, die Gase auf Mol bezogen:



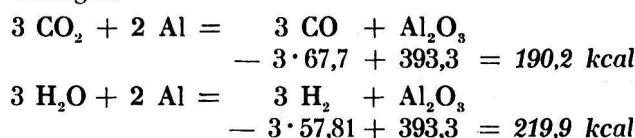
Zur Berechnung sind ferner die folgenden einfachen *Verbrennungsgleichungen* zu berücksichtigen:

1. $2 \text{ Al} + 3 \text{ O} = \text{Al}_2\text{O}_3 + 393,3 \text{ kcal}$
 $2 \cdot 27 + 3 \cdot 16 = 102 \text{ g}$
 $54 \text{ g Al } 393,3 \text{ kcal}$
2. $\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{ O}_2 = \text{H}_2\text{O} \text{ (Dampf)} + 57,81 \text{ kcal}$
 $2 + 16 = 18 \text{ g}$
3. $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + 96,0 \text{ kcal}$
 $12 + 32 = 44 \text{ g}$
4. $\text{CO} + \frac{1}{2} \text{ O}_2 = \text{CO}_2 + 67,7 \text{ kcal}$
 $28 + 16 = 44 \text{ g}$

Mit *Muraour* nehmen wir an, dass das Aluminium bei der Detonation erst im Moment der Höchsttemperatur und des Höchstdruckes innerhalb der nun folgenden Abkühlungsperiode mit dem Kohlendioxyd und Wasserdampf reduzierend in Reaktion trete, während das zu 8,79 Mol mit-

*) «Zeitschrift f. Schiess- und Sprw.» 1931, S. 295 bis 297.

gebildete Kohlenoxyd unverändert bliebe. Daraus ergeben sich — von andern unbekannten, sicherlich aber wenig ins Gewicht fallenden Reaktionen abgesehen — die folgenden kombinierten Gleichungen:



Nach der Detonationsgleichung sind jedoch 5,30 Mol CO_2 und 7,05 Mol H_2O vorhanden, so dass die Netto-Aluminiumwärmen betragen:

$$\frac{190,2 \cdot 5,30}{3,0} = 336 \text{ kcal und}$$

$$\frac{219,9 \cdot 7,05}{3} = 513 \text{ kcal, zusammen also } 849 \text{ kcal für} \\ (5,30 + 7,05) \cdot \frac{2}{3} = 8,23 \text{ Mol Al oder } 8,23 \cdot 27 = 222,2 \text{ g} \\ \text{Aluminium.}$$

Demnach liefert 1 kg *Trinitrotoluol* mit 222,2 g Aluminium eine sekundäre Explosionswärme von 849 kcal oder, auf 1 kg *Gemenge* mit 81,8 % *Trinitrotoluol* und 18,2 % Aluminium umgerechnet,

$$\frac{849 \cdot 1000}{1222,2} = 695 \text{ kcal maximal.}$$

Für die meinen Unterwasser-Sprengversuchen zugrunde gelegten 16,4 % Al ergäbe sich eine *Nachheizwärme* von

$$\frac{695 \cdot 16,4}{18,2} = 626 \text{ kcal,}$$

— ein Wert, der unverändert auch für das *Trinitrotoluol-Hexanitrodiphenylamin-Gemenge* gilt, da ja hier noch etwas mehr Sauerstoff vorhanden ist. Nehmen wir die Detonationswärme dieses Gemenges zu ebenfalls rund 1000 kcal/kg an, dann erhalten wir aus den 836 g *Trinitrotoluol-Hexanitrodiphenylamin* $0,836 \cdot 1000 = 836$, aus den 164 g Aluminiumgries 626 kcal, zusammen also für das fertige Gemisch 1462 kcal/kg , davon

$$\frac{626 \cdot 100}{1462} = 43\% \text{ Nachheizenergie}$$

durch das Leichtmetall, womit die von *Muraour* in seinem interessanten Exposé angeführten Globalzahlen bestätigt werden.

Es versteht sich von selbst, dass die druck erhöhenden Eigenschaften des Aluminiums jedem Sprengstoff zugute kommen, der bei der Explosion Kohlendioxyd und Wasserdampf bildet. Der Leichtmetallzusatz macht sich daher auch bei stärkeren Sprengstoffen geltend als den bereits genannten, so dass angenommen werden muss, das kurz vor dem Kriege bekannt gewordene schwedische «*Bonit*» enthalte heute ebenfalls Aluminium. Die vorbildlichen *Militärsprengtechniker Schwedens* benutzten lange Zeit unter dem Namen «*Novit*» das deutsche *Trinitrotoluol-Hexanitrodiphenylamin-Gemenge* (*Trotyl-Hexyl*), gingen dann aber, als um 1930 herum das *hochbrisante synthetische Trimethylentrinitramin* in Italien

aufkam, zu den schnellern und energiereichern *Trinitrotoluol-Trimethylentrinitramin-Gemengen*, dem *Bonit* über, — eine Komposition, die vermutlich mit dem *amerikanischen* Supersprengstoff «RDX» identisch ist. Ueber diese und verwandte «Supersprengstoffe» habe ich unlängst im «Protar» berichtet;⁷⁾ der Uebersicht halber seien nachstehend die sprengtechnisch wichtigsten Zahlen dieser drei meistangewandten Untersee-Sprengstoffe angeführt:

	Ladedichte	Detonationswärme (Energie) kcal/kg	Detonationsgeschwindigkeit m/sek
Trinitrotoluol (Trotyl)	1,6 — 1,65	950	6800
Trinitrotoluol-Hexanitrodiphenylamin 50/50, „NOVIT“	1,65—1,68	zirka 1000	zirka 7200
Trinitrotoluol-Trimethylentrinitramin, „BONIT“ 50/50	1,68	1130	7600
30/70	1,7	1200	7800
Relative Stärkewerte nach schwedischen Versuchen	Trotyl	Novit	Bonit
Brisanz-Beschuss	100	103	136
Trauzl-Probe im Bleiblock ccm	290	315	421

Wie sehr die Torpedowirkung von der absoluten Stärke des jeweiligen Sprengstoffes abhängt, ist aus den Abb. 5 und 6 ersichtlich, wo das schnelle und um 50 % energiereichere Pentrinit unvergleichlich viel schwerere Zerstörungen als das Trotyl hervorbringt. Für Torpedokopfbeanspruchung ist das Pentrinit aber zu handhabungsgefährlich; als stärksten, noch zulässigen Sprengstoff dürfte zurzeit das 30/70-Bonit mit *Aluminizusatz* angesehen werden. Für Kontaktminen dagegen, die man beim Auslegen samt Ankertau einfach über Bord wirft, erscheint das Pentrinit genügend handhabungssicher, zumal ja solche Minen bei gleicher Wirkung gegenüber Trotyl bis auf die Hälfte verkleinert werden können.

II. Minen.

Die häufigste und gefährlichste Seemine ist und bleibt immer noch die *Kontaktmine*, auch *Stoss- und Streumine* (torpille mouillée) genannt, weil sie in Berührung mit einem anfahrenden Schiff durch Zerbrechen der vorstehenden Hörner (Antennen) unmittelbar an der Schiffswandung zur Explosion kommt. Die Wirkung entspricht also, bei gleicher Ladung und gleicher Seetiefe (3—4 m), vollkommen der eines Torpedotreffers. Verschiedenen Angaben ist zu entnehmen, dass die wirksame Füllung zwischen 160 und 300 kg Sprengstoff wechselt, wobei — wie bereits angedeutet — wegen der geringen Sicherheitsanforderungen beim Auslegen, stärkere Sprengstoffe als in Torpedos anwendbar sind. Jedenfalls gibt es kein verheerenderes Unterwassergeschoss als die grosse Kontaktmine, und wenn man etwa liest, dass ein Schiff nur havariert, also nicht gesunken sei, so heisst das, dass die Schiffswand eben nicht

an exponierter Stelle getroffen, ja vielleicht nicht einmal im direkten Kontakt beschädigt wurde. Um die Anstoss- und damit die Explosionszone dieser Minen zu vergrössern, hat man nämlich ein Netz von schwimmenden *Berührungsdrähten* angebracht, welche, von der Mine radial bis zu 9 m ausgreifend, die Zündung gleich beim ersten Kontakt auslösen.

Je weiter die Mine von der Schiffswand weg explodiert, desto mehr kommt es zur schwächen

Tiefenbombenwirkung, weshalb die Kontaktzone auf höchstens 9 m begrenzt wird. Damit die Mine nicht gleich beim ersten Anstoss, d. h. nicht am Vorderteil, sondern mehr gegen die Schiffsmitte zu explodiert, ist sie mit einem *Verzögerungssatz* ausgerüstet, der auf die mittlere Geschwindigkeit und Länge des Schiffes berechnet ist.

Um uns unabhängig von den schwankenden, unkontrollierbaren Zeitungsangaben ein Bild über *Grösse, Ladung und Auftrieb* der schwimmenden *Ankerminen* machen zu können, seien nachstehend einige Berechnungen durchgeführt. Die

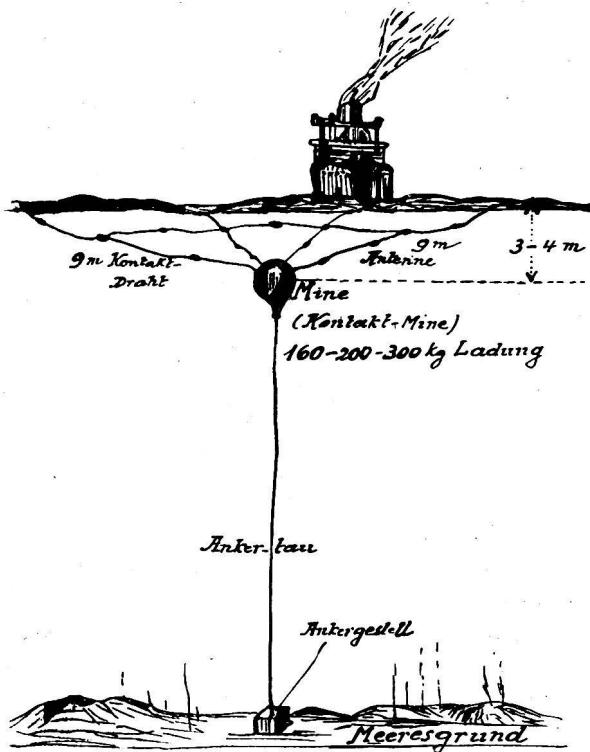


Abb. 21.
Schema einer verankerten Stoßmine mit Kontakt-Drahtantenne.

⁷⁾ «Kriegssprengstoffe», März 1942, S. 85 und 91 (Tabelle), ferner «Technische Mitteilungen», Nr. 4, Dez. 1941, S. 224—225.

heute verwendeten Kontaktminen haben ausnahmslos *Kugelform* mit Durchmessern, die sich zwischen 70 bis maximal 90 cm bewegen dürfen. Als Einschluss- und Schwimmbehälter sei eine Kugelschale aus blos 1 mm starkem *Eisenblech* (Dichte 7,8) angenommen.

Die Mine habe 85 cm Innenraumdurchmesser, dann erreicht der Gesamtdurchmesser mit Eisenblechhülle 85,2 cm. Nach der Formel $d^3 \cdot 0,5236$ ergibt sich ein

Gesamtinhalt von $8,52^3 \cdot 0,5236 = 323,831$ Litern

Ladeinhalt von $8,50^3 \cdot 0,5236 = 321,556$ Litern

Auf die *eiserne 1-mm-Kugelschale* entfallen demnach $323,831 - 321,556 = 2,275$ l, was einem Gewicht von $2,275 \cdot 7,8 = 17,78$ kg entspricht.

Die Mine schwimmt gerade, oder genauer gesagt, behält ihre Tauchlage unter der Wasseroberfläche bei, wenn ihre mittlere Dichte gleich der des umgebenden Wassers, also 1 ist. Die für diesen Schwebezustand *höchstmögliche Ladung* ergibt sich daher als Differenz von $323,83 - 17,78 = 306,05$ kg oder, bezogen auf eine mittlere Ladedichte von 1,60, zu $191,3$ l Sprengstoff. Für den Auftrieb der 323,83 kg schweren Mine blieben somit $321,56 - 191,3 = 130,3$ l leerer Luftraum zur Verfügung.

Die 306 kg Ladung stellen aber wie gesagt einen Maximalwert dar, da in Wirklichkeit das verfügbare Nettogewicht zufolge Belastung durch die Zündeinrichtung, das Gewicht der Antennen (Bleikappen) und der Kugelwandverstärkungen kleiner sein wird, — ganz abgesehen vom Zug des eisernen Haltekabels. — Bei Minen von kleinerem Durchmesser nimmt das Fassungsvermögen für Sprengstoff rasch ab, entsprechend der folgenden Zusammenstellung:

Minendurchmesser (Schwebende Kontaktmine)	Gewicht der 1-mm-Kugelschale (Eisen)	Maximale Sprengladung	Verfügbarer Leerraum
85,2 cm	17,78 kg	306,1 kg	130,3 L
80,2 cm	15,73 kg	254,4 kg	109,1 L
70,2 cm	12,04 kg	169,0 kg	73,6 L

Die zu Grund sinkenden *magnetischen und akustischen Lauerminen* können bei gleichem Durchmesser entsprechend stärker geladen werden.

Nach deutschen Angaben sind im Weltkriege 1914—1918 von allen beteiligten Ländern insgesamt 187'000 solcher Minen ausgelegt worden, davon allein 57'000 zwischen Norwegen und den Shetlandsinseln. Nimmt man im heutigen unvergleichlich viel umfangreicherem Seekrieg bis jetzt nur 2 Millionen Stück mit durchschnittlich 200 kg Ladung an, so kommt man auf nicht weniger als 400'000 Tonnen Sprengstoff oder rund eine Milliarde Schweizerfranken allein für den Explosionsinhalt, von den weit höheren Kosten des Minenkörpers samt Zündeinrichtung nicht zu reden.

III. Magnetische und akustische Minen.

Beide Minen sind erstmals in diesem Kriege aufgetaucht und haben anfänglich schwere Lücken in die Schiffsbestände gerissen, bis es dem Gegner gelang, die geeigneten Bekämpfungsmitte zu finden und wirksam anzuwenden. Wie in Abb. 22 angedeutet, werden diese Minen auf den seichten Grund von Meeresküsten, Flussläufen oder Hafen-eingängen gelegt, d. h. überall da, wo Schiffsverkehr besteht oder zu erwarten ist.

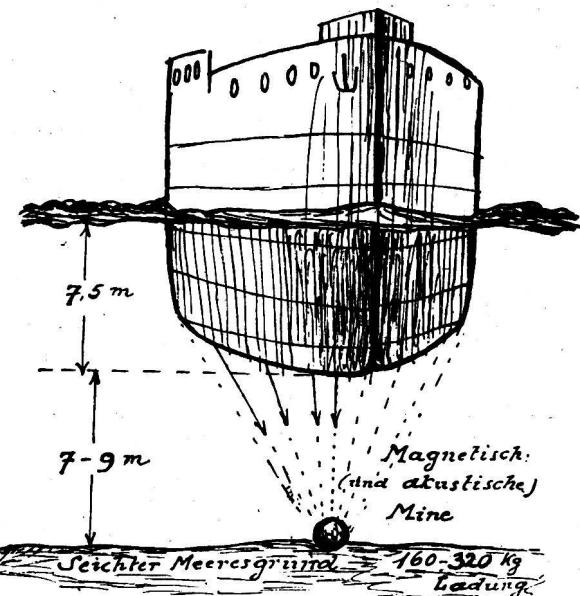


Abb. 22.

Lageschema einer magnetischen oder akustischen «Lauer»-Mine mit darüber hinweg fahrendem Schiff. Die Explosion erfolgt jeweils durch Kurzschluss einer sich gegen den Schiffskörper aufrichtenden Metallnadel.

Beide Minen enthalten einen *hochempfindlichen Fernzündmechanismus*, der im ersten Falle durch die magnetische Ausstrahlung der Eisenmassen, im zweiten durch die Unterwasserton-Schwingungen der Schiffsschraube ausgelöst wird. Wie bei den Kontaktminen ist auch hier die Einrichtung stets so getroffen, dass der Detonations-schlag automatisch in dem Momente erfolgt, wo die Hauptmasse des oben hinweg fahrenden Schiffes gerade über der Mine steht. Englischen Berichten zufolge wurden magnetische Minen von 545 kg Gesamtgewicht mit 295 kg Ladung und von 680 kg Gesamtgewicht und 318 kg (700 lbs) Ladung gefunden. Die von Flugzeugen mit Fallschirmen abgeworfenen Minen sind leichter als die von Unterseebooten ausgelegten; die Sprengladung dürfte dennoch meist an die 300 kg reichen, weil sonst die Wirkung durch die zwischenliegende Wasserschicht zu stark abgeschwächt würde. Der Zerstörungseffekt ähnelt mehr dem einer Tiefen-bombe als dem einer Stossmine.

IV. Tiefenbomben (Wasserbomben).

Die Tiefenbombe dient speziell zur *Bekämpfung getauchter Unterseeboote* und ist ein Waf-fenprodukt des jetzigen Krieges, nachdem aller-

dings schon 1914-1918 sog. Torpedo- oder Wassergranaten vom Flugzeug aus zu dem gleichen Zweck angewandt worden waren. Die heutige Tiefenbombe wird sowohl vom Flugzeug als auch von Bord kleinerer, schneller Schiffe katapultähnlich geworfen; sie kann mittelst verstellbarer hydrostatischer Vorrichtung in jeder Wassertiefe zur Explosion gebracht werden. Die Tiefenbombe ist das leichteste, einfachste und billigste der submarinen Geschosse, nichtsdestoweniger aber für das getauchte U-Boot die gefährlichste und tödlichste Waffe.

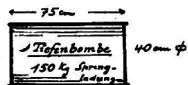


Abb. 23.

Gestalt, Gewicht und ungefähre Maße einer normalen Tiefenbombe.

Ein 250 kg schwerer «Fassbombe»-Inhalt von derselben Dichte 1,6 entspräche einem Zylinder von 50 cm Durchmesser und 80 cm Länge.

Ein U-Boot gilt in der Regel als verloren, wenn es von einem Tiefenbombe führenden Flugzeug entdeckt und angegriffen wird. Voraussetzung ist hierbei, dass die Wurf bombe genügend nah an dem noch sichtbar getauchten Schiff zur Explosion gebracht werden kann. Vermag das Boot jedoch rasch genug Tiefen von 30 bis 40 m zu erreichen, wo sich ein Fahrzeug selbst im reinsten Meerwasser nicht mehr als dunkler Schatten abhebt, dann müssen die Geschosse auf das Gerätewohl tempiert und geworfen werden, weil die heutigen Schiffskonstruktionen bis auf 100 m oder noch tiefer zu tauchen erlauben und die Lage dann (bei abgestellten Motoren) für den Angreifer überhaupt nicht mehr festzustellen ist. Eine gute Trefferlage ist aber auch deswegen erforderlich, weil die neuern Druckkörper der Tauchboote in Kammern unterteilt sein sollen, so dass sich die Mannschaft jeweilen in den sichersten Raum flüchten könnte, um dann später aufzutauchen und Hilfe anzurufen.

Die Tiefenbombe hat äusserlich die Gestalt eines zylindrischen Eisenfasses, das mit geschmolzenem Trinitrotoluol oder Pikrinsäure oder noch besser mit der aluminiumhaltigen Trotyl-Hexylmischung gefüllt ist. Englischen Angaben zufolge enthält eine 180 kg schwere Tiefenbombe 133 kg TNT (Trinitrotoluol) bei einer Länge von

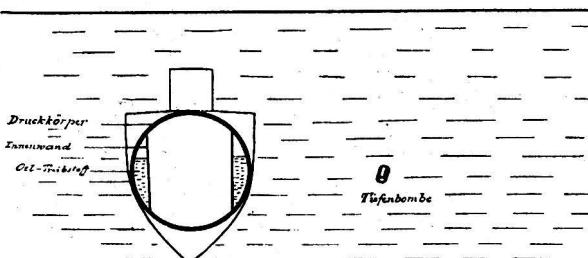


Abb. 24.

Schematischer Querschnitt durch eine getauchtes U-Boot mit Tiefenbombe im Moment vor der Explosion.

84 cm und 44,5 cm Durchmesser. Rechnet man auf Grund der Schmelzdichte von 1,6 die Dimensionen einer solchen Fassbombe mit 150 kg Ladung aus, kommt man auf etwas kleinere Zahlen. entsprechend Abb. 23.

Die grössten Tiefenbombe enthalten 200 kg Ladung und können ein U-Boot — Richtung Rumpfmitte — noch in 20 m Explosionsabstand vernichten; ebenso wirkt der Schlag kleinerer Wasserbomben innerhalb des 10-m-Kreises meist tödlich. Die zerstörende Wirkung basiert auf

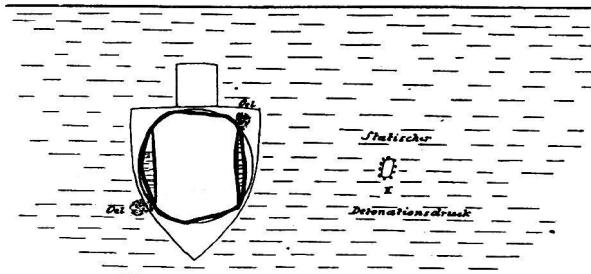


Abb. 25.

I. Phase der Explosion: Kugelförmige Ausbreitung der Detonations-Stosswelle von der Oberfläche der Sprengladung mit Wasserschallgeschwindigkeit: der Druckkörper wird eingedrückt, die ölabschliessenden Innenwände werden an zwei Kantenstellen leck und lassen den Inhalt austreten.

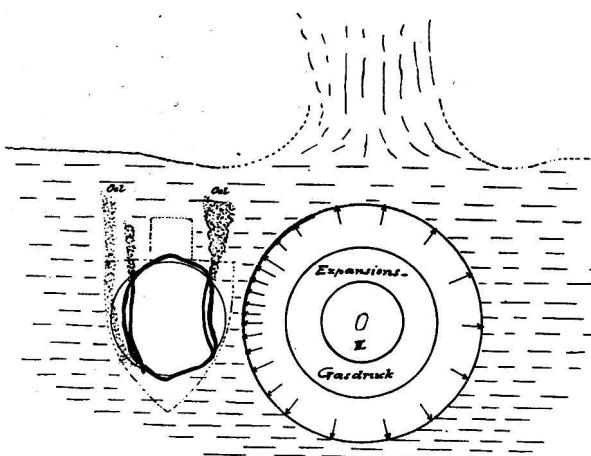


Abb. 26.

II. Phase der Explosion: Die sich nun ausdehnenden Sprenggase treiben das Wasser mit grosser Gewalt an das bereits geknickte Boot, vergrössern die Deformation unter förmlichem Herausdrücken des Oels und schiessen zuletzt in Gestalt einer Wassergarbe frei in die Luft hinaus.

den beiden aufeinander folgenden Druckvorgängen, wie sie bei der Explosion unter Wasser bereits beschrieben wurden.

Jedes Unterseeboot besteht zur Hauptsache aus dem luftdicht verschliessbaren Druckkörper, einem auf Stahlringen geschweissten, in sich geschlossenen, runden oder ovalen Eisenzylindern, in welchem sich ausser der Besatzung alle Maschinen und sonstigen lebenswichtigen Teile befinden. Ebenfalls im Innern dieses Druckkörpers, am Rande durch starke Vertikalwände abgetrennt (Abb. 24) befinden sich die Oeltreibstoffvorräte, die beim Leckwerden des Bootes an die Wasser-

oberfläche steigen und dann die bekannten «Oelflecken» erzeugen.

Ein Unterseeboot ist noch lange nicht verloren, wenn es Öl nach oben treten lässt. Vielfach können die Löcher verstopft und nach dem Auftauchen provisorisch gedichtet werden, — soweit, dass, wenn auch mit Schwierigkeiten, doch die Rückfahrt bis zum Heimathafen möglich wird. — Indessen soll es getauchten, angegriffenen U-Booten möglich sein, absichtlich Öl an die Ober-

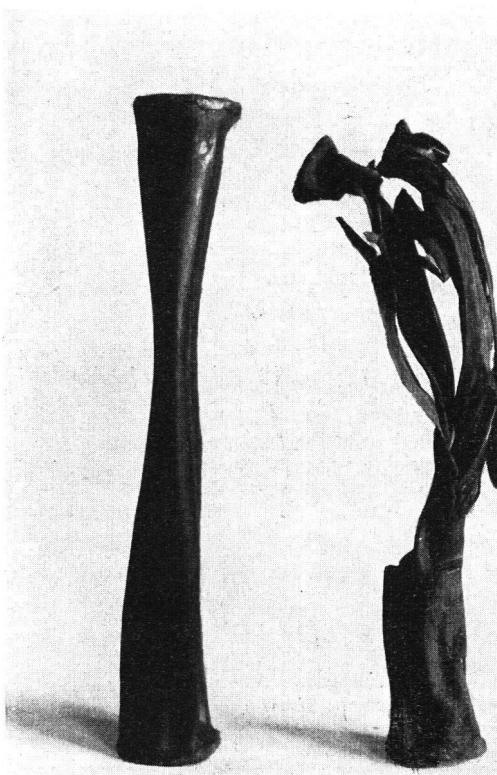


Abb. 27.

Zwischen zwei nahtlosen, luftdicht verschweißten Stahlröhren von 38 cm Durchmesser, 20 cm Höhe und 1 mm Wandstärke detonierten 40 g Sprengstoff in 20 und 7 cm Abstand.

fläche steigen zu lassen, um eine Vernichtung vorzutäuschen. Mit diesem letzten, aber unfehlbaren «Signal» wäre schon mancher Gegner irregeführt worden, d. h. vorzeitig abgezogen.

Ueber die eigentümlichen, keineswegs voraussehbaren Folgen des Explosionsdrucks im Wasser gegen untergetauchte Druckkörper scheint bildmäßig noch nichts an die Öffentlichkeit gedrungen zu sein. Ich gebe daher von den Versuchen, die ich diesen Sommer unter verschiedenen Bedingungen ausführte, einige mit den nötigen Erläuterungen bekannt.

Während der 20 cm weit entfernte Röhrenzylinder schwach und ohne undicht zu werden eingedrückt wurde, ist der nur 7 cm abstehende vollständig aufgerissen und verkrümmt worden. Ja, die Zerspaltung würde bis zum Boden reichen, wenn sich im Unterteil nicht Eisenstücke zur Beschwerung befunden hätten. Wie man sieht,

nimmt die *Druckkraft* sehr schnell, d. h. mit dem *Quadrat der Entfernung* ab.

Der folgende Vergleichsversuch wurde mit denselben, jedoch 30 cm hohen, zur Verminderung des Auftriebs mit quadratischen Standfüßen ver-

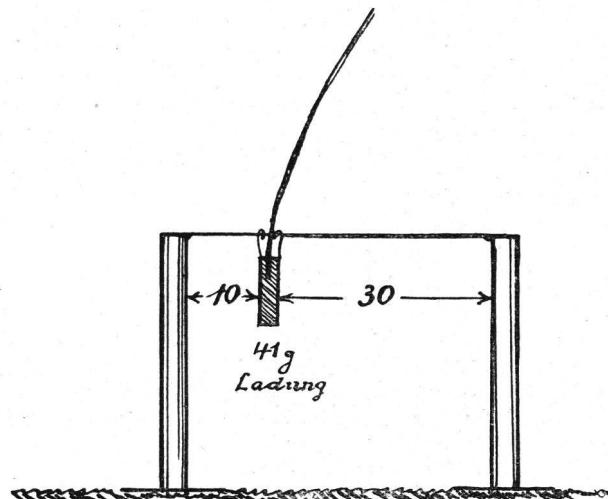


Abb. 28.

Anordnung der 41-g-Sprengladung zwischen den beiden luftdicht verschweißten Stahlzylindern in 10 und 30 cm Abstand.

sehenen Stahlröhren ausgeführt. Um die Lage der Stauchobjekte vor und nach der Explosion genau erkennen zu können, ging man nach Abb. 28 vor:

Die beiden Zylinder waren oben mit einem starken Eisenstab verschweisst, an den die Sprengladung mittels Drähten genau im Abstandsverhältnis 1 : 3 fixiert wurde. Hernach wurde die Zündschnur angesteckt und das Ganze 60—70 cm tief unter Wasser gestellt. Die Tiefenbombe wirkung erhellt aus Abb. 29.

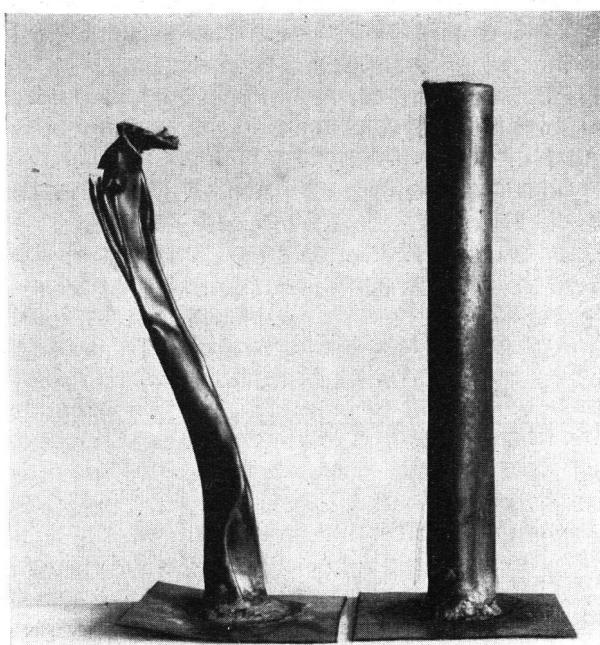


Abb. 29.

Einknickdruck von 41 g geschmolzener Pikrinsäure in messinger 2-cm-Treibladungshülse nach Anordnung in Abb. 28.

Auch bei diesem Vergleichsversuch ist wiederum die schnelle Druckabnahme mit zunehmender Entfernung vom Explosionsherd ersichtlich. Die völlige Deformierung der näher gelegenen Röhre links hat man sich — statisch und dynamisch — ungefähr wie folgt vorzustellen: In der ersten Phase wird die Zylinderröhre ohne Aenderung ihrer Vertikalstellung zweilappig zusammengedrückt, während in der zweiten Phase durch die Expansionswucht der Sprenggase und der ihnen voreilenden Wassermassen die Verkrümmung nach aussen mit gleichzeitiger Zerspaltung erfolgt. Merkwürdig erscheint auf den ersten Blick die einseitige, schwache Einbeulung der weiter abstehenden Röhre rechts nach der Standfläche zu. Die Erklärung ist wohl in der verstärkenden Reflexion der Druckwellen am Boden zu suchen, weshalb U-Bootkommandanten, die voreilig auf Meeresgrund tauchen, dem Fluch der Tiefenbombengewalten umso mehr ausgesetzt sein können. Dass die Röhre links nicht dieselbe Reflexionserscheinung zeigt, ist auf die zu grosse Nähe der Sprengladung und dementsprechend überragende Wirkung auf das Oberstück zurückzuführen. Bei andern, hier nicht wiedergegebenen Parallelschüssen konnte — übereinstimmend mit den Torpedo- und Minenwirkungen — ein höheres Einbeulungsvermögen nach Zusatz von Aluminium festgestellt werden.

Der Tiefenbombenwirkung am nächsten steht der Schlag schwerkalibriger Fliegerbomben, die — schlecht gezielt — neben dem Schiffskörper ins Wasser fallen und dann explodieren. Da der Stoss gegen ein Ueberwasserschiff gerichtet ist, äussert sich die Zerstörungsgewalt ähnlich der Explosion magnetischer oder akustischer Bodenminen. Der-

artige, nah am Schiffsrumpf detonierende Bomben nennt der Engländer — kriegsgalant — «near Misses». Einer solchen Near-Miss soll der *amerikanische Flugzeugträger*⁸⁾ «Langley» in den indischen Gewässern am 27. Februar 1942 zum Opfer gefallen sein, und zwar durch eine schwere *japanische* Fliegerbombe, die in 30 yards (= 27 m) Entfernung unter Wasser krepiente. Da der Flugzeugträger wahrscheinlich nur schwach gepanzert, die Bombe aber sehr gross und von hoher Brisanz war, ist diese Erklärung des Untergangs nicht von der Hand zu weisen. Aus demselben Grunde sind auch die *leicht gebauten Handelsschiffe* dem Stoss magnetischer oder akustischer Minen selten gewachsen, trotz der abschwächenden Wasserschicht zwischen Seegrund und Schiffskiellinie.

Die experimentell leicht auszuführenden Wasserbombenversuche mit luftdicht verschweissten Stahlröhrenzylindern vermitteln einen ungefähren Begriff von den *dramatischen Erlebnissen der U-Bootsinsassen auf Tauchfahrt*: Betäubender Hammerschlag auf die Wände mit augenblicklich ausgehendem Licht, gefolgt vom fatalen Geräusch tropfenden Wassers, wenn das Schicksal gnädig war; schwerer, körperverletzender Stoss mit rauschend einströmenden Wassermassen ohne Entrinnen, wenn das Unglück es haben wollte! Und all diese Vorgänge unter dem Alldruck und Grauen der Dunkelheit! Wie wenig ahnt doch der Aussenstehende von den Aengsten, Nervenspannungen und Peripetien dieser Todesbereitschaft vor und nach jedem überlebten Tiefbombeangriff! Wohl denen, die der Gefahr der Versenkung, Erstickung oder Wasserdruck-Qual beim Auftauchen wieder einmal entgangen sind, weil die Bomben vom Ziel zu weit abfielen.

Pharmacothérapie et aviation d'assaut

Par L.-M. Sandoz, Dr ès sciences

Introduction.

L'on sait, de façon générale, que l'aviation d'assaut requiert, dans l'armée moderne, des équipages qui lui sont destinés, une très forte résistance physique et nerveuse. Il a paru à ce sujet de nombreuses études de spécialistes, tant en Suisse qu'à l'étranger. Le chapitre des *effets physiologiques des vols à grande vitesse* est un de ceux qui sont les plus captivants à étudier, car nombreuses sont les questions qui se posent en permanence aux services de l'aéronautique. Parmi les principaux, il y a essentiellement à considérer.

- a) *le mal des décompressions* au cours des montées rapides;
- b) *le mal du séjour en altitude* par suite de la raréfaction de l'air et d'autres facteurs météorologiques;

- c) *le mal des recompressions*, au cours des descentes en piqué dont la vitesse dépasse le cap des 750 km/h;
- d) *le mal de l'air*, auquel l'organisme doit s'insensibiliser;
- e) *le mal des accélérations horizontales ou dans les courbes*;
- f) *les effets des intoxications* dues au fonctionnement des moteurs (carburants, lubrifiants, etc.).

Ce ne sont là que, fort schématisés, quelques cas des aspects du vol rapide d'aujourd'hui qui impose à l'organisme une surcharge nerveuse et physique indéniable dont on ne doit pas faire

⁸⁾ *The Sphere* vom 25. April 1942, S. 116/117: The destructivness «of near Misses»; ferner in derselben Zeitschrift vom 29. August 1942, S. 281: Verfehlte Wirkung einer Near Miss auf ein englisches Handelsschiff, das Malta erreichte.