Von Fliegerbomben und was drum und dran.

Chemisches, mechanisches, toxikologisches, ballistisches, meteorologisches und sonstiges.

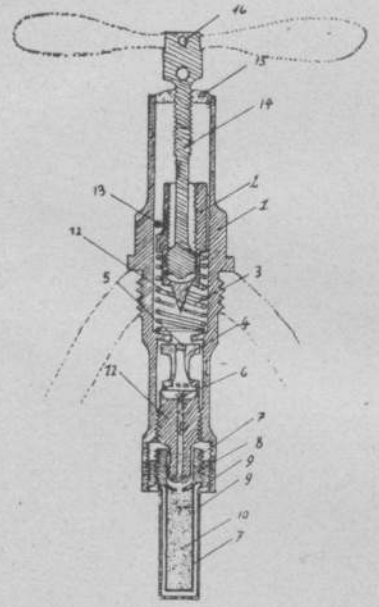
Von Dipl.-Ing. **P. Medinger.**

In weit höherem Maße als die bisherigen zahlreichen Fliegerangriffe auf die Industriegegend und die Stadt Luxemburg, haben die Katastrophen von Palmsonntag, Grünendonnerstag, und vom 4. April mit all ihren Folgen die Gemüter erregt, und seither bilden die Fliegerbomben und alles was damit zusammenhängt das Hauptgesprächsthema jeder Gesellschaft aller Volksklassen. Unter diesen Umständen halte ich es angebracht, auch in unserm Blatte diese Fragen vom populär-wissenschaftlichen Standpunkte aus kurz zu behandeln. Dies einmal, um manchen irrigen und vielfach recht unsinnigen Ansichten entgegen zu treten, dann auch um diejenigen glücklichen Mitglieder unserer Gesellschaft, die die Fliegerbomben nur vom Hörensagen kennen, mit diesen unheimlichen Dingern etwas näher bekannt zu machen. Eine «nähere Bekanntschaft» im ominösen Sinne des Wortes wünscht ja wohl niemand, und möchte ich auch keinem meiner Leser wünschen, denn wenn irgendwo, so gilt hier das Wort: «Weit weg ist gut vor'm Schuß».

Wären die früheren Bomben sich in der großen Mehrzahl als relativ harmlos erwiesen hatten, indem sie bei kleinem Kaliber und verhältnismäßig geringer Sprengkraft außerordentlich zahlreiche Versager ergaben, zeichneten sich die Geschosse, die bei den letzten fünf Fliegerangriffen in Esch und Luxemburg abgeworfen wurden, in ganz unheimlicher Weise aus durch wenig Versager, verzögerte Zündung, enorme Sprengkraft usw. Als Einleitung zu meinen heutigen Ausführungen will ich eines dieser vervollkommneten Geschosse, die ja in den englischen Berichten auch als «schwere Bomben» bezeichnet wurden, insoweit als mir das Material derselben und zuverläßige Angaben darüber bekannt wurden, kurz beschreiben.

Die Bomben haben Spindelform, also die Form eines nach beiden Enden zugespitzten Eies, oder besser zweier mit ihrer Basis aufeinandergesetzten, an der Spitze abgerundeten Kegel. Der Mantel besteht aus zwei Hälften, die in der Mitte zusammengeschraubt und geschweißt sind. Die obere Hälfte der Bombe trägt drei Blechflügel, die ihr als Steuer dienen. Bei einer Länge von ca 80 ctm und einem größten Durchmesser von 22 ctm beträgt das Gewicht der Geschosse rund ein Zentner. Davon

kommen auf die Metallteile rund 60 Pfund und auf die Sprengladung 40 Pfund. Am unteren Ende der Bombe befindet sich die Aufhängevorrichtung. Sie besteht aus einem schweren, in das Mantelgehäuse der Bombe eingeschraubten Schraubenkopf, der ein starkwandiges, 95 mm langes und 40 mm weites, in die Sprengladung der Bombe hineinragendes Federgehäuse trägt. In diesem befindet sich eine starke Spiralfeder aus 5 mm dickem Stahldraht, an welcher vermittelst eines durch den Schraubenkopf durchgehenden Stahlbolzens die Bombe am Flugzeug hängt. Die Bomben hängen also federnd und verkehrt (wir werden gleich



sehen warum) am Flugapparat. Diese Aufhängevorrichtung ist das schwerste Metallstück der ganzen Bombe (es wiegt ein und ein viertel Kilo) und findet sich, weil zu unterst an der Bombe, beim Einschlagen dieser auf freiem Gelände sehr oft im Erdtrichter vor. Von Laien wird sie dann stets als Zünder der Bombe angesehen, auch schon deshalb, weil die meisten glauben, der Zünder befinde sich am untersten Ende der Bombe. Das ist nun nie der Fall, sondern der Zünder befindet sich stets, bei seinem feinen und empfindlichen Mechanismus möglichst vor Stoß und Verletzung geschützt, am obersten Ende der Bombe. Der Zünder der englischen Bomben ist an sich von denkbar einfachster Konstruktion und bietet, abgesehen vielleicht von der Sicherung, nichts neues. Wie alle Aufschlagzünder von Granaten usw.

wird er betätigt durch einen beweglichen, auf einer Feder aufliegenden Schlagbolzen, der beim Aufschlagen des Geschosses infolge der ihm innewohnenden lebendigen Kraft unter Zusammendrücken der Feder vorwärts fliegt und ein Zündhütchen einschlägt. Nebenstehende Figur zeigt den Querschnitt des Zünders der Bomben in genau halber Größe. Das Zündergehäuse 1, wie der ganze Apparat, aus Messing hergestellt, ist in der Höhe 3 in den punktiert angedeuteten Bombenmantel eingeschraubt. Der Zünder steckt also mit seiner unteren Hälfte in der Sprengladung drin. 2 ist der Schlagbolzen (percuteur), der beim Aufschlagen der Bombe infolge seiner lebendigen Kraft die ihn tragende Feder 3 zusammenpressend, nach unten fliegt, und durch seine Spitze 12 das Zündhütchen 5 zur Entzündung bringen soll. Das kann er aber nicht, solange der in den Schlagbolzen eingeschraubte Propeller 14-16 ihn in seiner Lage festhält. Dieser Propeller stellt die eigenartige Sicherung des Zünders dar. Beim Fallen der Bombe durch die Luft kommt infolge des Luftwiderstandes der Propeller in rasche Umdrehung, schraubt sich dabei aus dem Schlagbolzen 2 heraus (17 Touren) und fliegt mitsamt dem nur aufgeschobenen Deckel 15 fort. Dann erst ist der Schlagbolzen frei beweglich und damit die Bombe entsichert. Eine Bombe die ihren Propeller im Fluge nicht verliert, muß daher zum Blindgänger werden. Ein seitlich in die Hülse eingeschlagener, an einer Abplattung des Schlagbolzens vorbeigehender Stift 13 verhindert ein Mitdrehen und ein Herausfliegen des Schlagbolzens. Da der Propeller also meist schon hoch in der Luft von der Bombe abfliegt, und bei seiner Wirbelbewegung und großen Oberfläche vom Wind getragen wird und langsam fällt, findet man ihn meist weit abwärts vom Fallort der Bombe.*)

Wenn die Bomben in normaler Richtung, d. h. mit dem Propeller nach oben, am Flugzeug aufgehängt wären, so würden sie, im Falle der Flieger im Sturzflug rasch sinken, oder abstürzen würde, entsichert werden, beim Auftreffen auf den Boden explodieren, und den Flieger, der vielleicht sonst noch mit dem Leben davon gekommen wäre, zerreißen. Durch verkehrtes Aufhängen der Bomben ist dies unmöglich gemacht.

Die Feuergase des Zündhütchens durchschlagen den durchlochten Boden des ausgehölten Stückes 4 und entzünden den Docht 6 der Verzögerung 11. Der Zündungsverzögerer 11 trägt in einer engen Bohrung einen langsam brennenden Schwarzpulversatz, der in ca $^1/_3$ Sekunde durchbrennt, worauf dann der Zündsatz 8 die Ladung 10 der in der Hülse 9 eingeschlossenen

*) Es kann auch ein zu fest eingeschraubter Propeller, wie es bei den letzten Fliegerangriffen geschehen ist, den ganzen Zünder aus der Bombe herausschrauben!

Sprengkapsel 7 zur Explosion bringt. Dadurch wird der ganze untere Teil des Zünders zerrissen und die ihn umgebende Sprengladung der Bombe ihrerseits zur Explosion gebracht. Nicht alle Zünder haben verzögerte Zündung, ist sie aber, wie hier, vorhanden, so vergeht zwischen Zündung und Explosion ca 1/3 Sekunde, Zeit genug für die Bombe um ca 100 Meter Weg zurückzulegen. Die Sprengkapsel 7 enthält die sehr starke Ladung von 2,60 gr Knallquecksilber (fulminate de mercure). Dieses Knallquecksilber ist von außerordentlich schöner und reiner Qualität, weiße, seidenglänzende Nadeln, in Ammoniak und Cyankali vollkommen löslich, aus letzterem quantitativ durch Salpetersäure wieder fällbar.

Der Bombenmantel hat eine Dicke von 7 mm und besteht aus einem Martinstahl, der bei der Analyse folgende Zahlen ergab:

Kohlenstoff	0,14 %	Mangan	0,60 %
Phosphor	0,054 %	Schwefel	0,042 %
Chrom und Silizium	0		

Die Sprengfüllung der Bomben besteht weder aus Schwefel, wie man vielfach hört, noch aus Pulver oder Dynamit; sondern im wesentlichen aus stark unreiner Pikrinsäure. Und zwar stellt sie ein ganz ungleichmäßiges, zusammengeschmolzenes Gemenge dar von 60 % reiner Pikrinsäure mit 40 % eines schier unentwirrbaren Gemisches von nitrierten aromatischen Kohlenwasserstoffen und Phenolen, und Kondensationsprodukten dieser Nitroverbindungen mit aromatischen Kohlenwasserstoffen. Durch Wasserdampfdestillation kann man daraus flüchtige Bestandteile abtrennen. Durch Sublimation gelang es mir, reines Ortonitrophenol vom Schmelzpunkt 46° zu isolieren. Reine Pikinsäure hat den Schmelzpunkt 122°, die ganze Bombenfüllung schmilzt bei 80°, und der Rückstand, nach Extraktion der Pikrinsäure, bei 55 bis 60°. Pikrinsäure ist geruchlos und rein hellgelb; die mehr orangerote Farbe und der penetrante aromatische Geruch der Sprengfüllung rühren von den Begleitkörpern her.

Die Pikrinsäure, Trinitrophenol, $C_6H_2(NO_3)_3OH$ ist ein hellgelber, in kaltem Wasser wenig löslicher Körper, der aus heißem Wasser in schönen, langen Nadeln auskristallisiert. Sie ist von intensiv bitterem Geschmack (fast so bitter wie Strychnin!) daher ihr Name (πικρός-bitter). Sie ist giftig, doch werden große Mengen vertragen und Todesfälle durch Einnehmen von Pikrinsäure sind sehr selten. Beim Genuß von Pikrinsäure färben sich die Gewebe und die Haut intensiv gelb; sollen doch junge Leute, um dem Militärdienst zu entgehen, Pikrinsäure (Melinit) eingenommen haben, indem sie dann Gelbsucht vortäuschten! Sie färbt Wolle und Seide schön und echt gelb, wie überhaupt alle eiweißhaltigen Körper. Daß sie auch die menschliche Haut sehr

waschecht gelb färbt, haben diejenigen, die bei Bombenabwürfen passiv «näher beteiligt» waren, wohl an sich selbst erfahren. In der Heilkunde verwendet man die Pikrinsäure in wässeriger Lösung als schmerzstillendes Mittel bei Brandwunden.

Die Pikrinsäure ist schon weit über 100 Jahre bekannt und wurde von Anfang an in großen Mengen zum Färben von Wolle und Seide verwendet, ohne daß man eine Ahnung hatte, daß sie einen so gewaltigen Sprengstoff darstellte. Sie ist eben weder durch Entzündung (Flamme) noch durch Schlag zur Explosion zu bringen. Erst 1885 fand Turpin, daß sie in geschmolzenem oder gepreßtem Zustande durch eine Knallquecksilberzündkapsel entzündet, mit unheimlicher Brisanz explodiert. Unter dem Namen Melinit wurde sie dann in Frankreich zuerst als Granatfüllung eingeführt, und schließlich in allen Militärstaaten (Lyddit, Shimose, deutsche Granatfüllung 88 usw.) Hält man ein Stück Pikrinsäure in eine Flamme, so brennt es unter Schmelzen und sehr starkem Qualmen, beim Herausziehen aus der Flamme verlöscht es sofort wieder. Wenn jedoch größere Mengen in Brand geraten, so kann es vorkommen, daß durch das allmählige Erhitzen der inneren Massen diese schließlich detonnieren, und aus dieser Ursache sind auch schon einige Pikrinsäurefabriken in die Luft geflogen.

Die Pikrinsäure hat als Sprengstoff jedoch mancherlei Nachteile, von denen der schlimmste der ist, daß sie als starke Säure die Metalle angreift unter Bildung von pikrinsauren Salzen, Pikraten. Diese Pikrate sind im Gegensatz zur Pikrinsäure gegen Stoß und Schlag sehr empfindlich. Auch die Eisenwand der Granaten und Bomben wird durch die Pikrinsäure angegriffen, wodurch dann das Hantieren mit derartigen Geschossen gefährlich wird. Allerdings hat man durch Schutzüberzüge von Firnis u. dergl. die Berührung der Ladung mit der Geschoßwand zu vermeiden gesucht (auch die englischen Fliegerbomben weisen eine solche Schutzschicht auf). Wegen diesen Gefahren hat man dann in den letzten Jahren in Deutschland und in den meisten andern Staaten die Pikrinsäure durch das ebenso wirksame und dabei viel ungefährlichere Trinitrotoluol ersetzt (Trottyl). Dieses greift, bei allen sonstigen guten Sprengstoff-Eigenschaften der Pikrinsäure, die Metalle gar nicht an, bietet also die denkbar größte Sicherheit. In der Technik so wie in den Armeen der verschiedenen Länder sind sogenannte Sprengkabel (câbles détonnants) im Gebrauch, die aus einer fast bleistiftdicken Bleiröhre bestehen, die mit Trinitrotoluol gefüllt ist. Diese Kabel sind gegen Stoß ganz unempfindlich. Hält man sie in eine Flamme, so schmilzt erst das Blei, dann qualmt die Füllung unter starkem Russen und verlöscht sofort beim Entfernen aus

der Flamme. Die Kabel sind also gar nicht zum Brennen, noch viel weniger zur Explosion zu bringen. Befestigt man jedoch an einem Ende des Kabels eine Knallquecksilberzündkapsel, (Flobertpatrone) und bringt diese durch Erhitzen zur Explosion, so detonniert das Kabel mit einer Schnelligkeit von ca. 8000 Kilometer pro Sekunde! Von dem Kabel findet man nach der Explosion nicht eine Spur zurück. Diese Kabel dienen zum gleichzeitigen Entzünden vieler Mienen, die alle vermittelst dieser Sprengkabel mit einer Sprengkapsel verbunden sind, die dann ihrerseits elektrisch oder durch Dochtzündung zur Explosion gebracht wird. Pikrinsäure wirkt genau in derselben Weise, nur wäre es viel gefährlicher mit Pikrinsäure gefüllte Bleikabel zu hantieren, da gerade das sich bildende Bleipikrat gegen Stoß besonders empfindlich ist.

Pikrinsäure, Trinitrotoluol und eine ganze Reihe ähnlicher Sprengstoffe detonnieren nur durch «Initialzündung» d. h. unter dem Einfluß der Explosionswelle des Knallquecksilbers oder der Azide. Wir müssen annehmen, daß unter dem Einfluß der bei der Explosion dieser äußerst brisant detonnierenden Stoffe entstehenden äußerst starken Erschütterung die Molekule der Sprengstoffe, die ja an sich ziemlich labil sind, teilweise zerfallen. Dabei werden dann gewaltige Energiemengen frei, die sich größtenteils in Wärme umsetzen. In der Wärme geht der Zerfall der Moleküle aber bedeutend rascher vor sich; dadurch wird wieder bedeutend mehr Energie frei usw. Alles das spielt sich in äußerst geringem Zeitraum ab und das müssen wir als den Mechanismus der Explosion ansehen.

Aus dem Gesagten ergeben sich für den Fall, daß jemand ein Stück einer nicht explodierten, aber zerschmetterten Bombe aufbewahren und von dem Sprengstoff reinigen wollte, folgende Vorsichtmaßregeln: Ein Herumklopfen mit Hammer oder Meißel ist gefährlich, da sich Pikrate gebildet haben können. Auch ein Erhitzen über freier Flamme ist zu unterlassen. Am besten legt man das Stück in kochendes Wasser, in dem dann der Sprengstoff abschmilzt, und sich am Boden des Gefäßes ansammelt. Im Gegensatz zu der relativ wenig gefährlichen Sprengfüllung der Bomben kann vor der Ladung der Zünder gar nicht energisch genug gewarnt werden. Ein Zünder, von dem man nicht absolut sicher weiß, daß er entladen ist, bildet eine ständige große Gefahr für jeden, der ihn in die Hände nimmt! Die Knallquecksilberladung dieser Zünder ist außerordentlich stark und bei der Explosion von geradezu verheerender Wirkung! Noch viel schlimmer ist die unheimliche Empfindlichkeit der Zündladung. Ein Stochern daran mit einer Nadelspitze um etwas davon heraus zu bringen, bringt sie fast sicher zur Explosion! Falls

sich solche geladene Bombenzünder etwa noch in den Händen von Laien befinden sollten, kann man mit Sicherheit erwarten, daß früh oder spät ein Unglück damit passiert!

Die Pikrinsäure enthält lange nicht genug Sauerstoff im Molekül, um bei der Explosion vollkommen zu verbrennen. Sie zersetzt sich dabei etwa nach folgender Gleichung:

$$2\,C_6H_2(NO_3)_3OH = CO_2 + 11\,CO + H_2O + 4\,H + 6\,N.$$

Dabei entstehen noch Spuren von Blausäure und nitrose Gase.

Wenn die 20 Kilogramm Sprengstoff der Bomben nur aus reiner Pikrinsäure beständen, so würden nach obiger Gleichung daraus bei der Explosion einer Bombe 13 860 Liter Kohlenoxydgas entstehen! Das Kohlenoxydgas gehört nun zu den gefährlichsten und giftigsten aller bekannten Gase. Die giftige und tötliche Wirkung des Leuchtgases und der Kohlengase ist ausschließlich auf deren Gehalt von einigen Prozent Kohlenoxydgas zurückzuführen. Da die Ladung der Bomben zu 40% aus Körpern besteht, die noch weniger Sauerstoff enthalten, als die Pikrinsäure, so wird die Menge der bei der Explosion entwickelten giftigen Gase noch bedeutend größer sein und läßt sich auf mindestens 20 000 Liter für eine Bombe abschätzen. In aller Erinnerung ist wohl noch der tragische Tod eines Knaben, der in der Umgegend von Differdingen trotz Warnung der deutschen Feuerwerker in einen Bombentrichter hineinstieg und als Leiche herausgezogen wurde! Als nach dem Bombenangriff vom 4. April in dem Steinbruch neben dem bakteriologischen Laboratorium auf Verlorenkost ein Blindgänger zur Explosion gebracht wurde, drang eine Viertelstunde später ein Bursche in die dortige Kasematte ein, und brach beim Heraustreten leblos zusammen. Erst durch viele Bemühungen gelang es, ihn wieder zum Bewußtsein zu bringen, worauf er schwer krank nach Hause gebracht wurde.

Bei der Explosion dieser Bomben in geschlossenen Räumen bilden diese großen Mengen giftiger Gase eine weitere Gefahr. Es soll daher in solchem Falle ein jeder, der es noch kann, sich so rasch wie nur möglich dem Einfluß dieser Gase zu entziehen suchen, und vor allem sollen Verwundete tunlichst schnell aus den Giftgasen heraus an frische Luft gebracht werden.. Ein Öffnen der Fenster und Türen ist in solchen Fällen ja kaum mehr nötig, da diese meist gar nicht mehr vorhanden sind, und damit glücklicherweise auch meistens die Gase durch den Luftzug rasch entfernt werden.

Neben dem giftigen Kohlenoxydgas entwickeln die Bomben noch kleine Mengen der außerordentlich giftigen Blausäure, sowie nitrose Gase, die auch giftig wirken. Außerdem entstehen erstickende übelriechende Gase, die meist aus verdampfter Pikrin-

säure und andern zerstäubten oder verdampften Nitrokörpern bestehen. Denn es ist zu erwarten, daß bei einem so heterogenen Gemisch wie es die Sprengladung dieser Bomben darstellt, diese Körper nur unvollständig explodieren. Und daß dem wirklich so ist, hat sich an der starken Gelbfärbung in Räumen wo eine Bombe explodierte, mehrfach gezeigt. Während in oberirdischen Räumen und im Freien die Giftgase durch den Luftzug meist rasch beseitigt werden, können sie besonders in Kellerräumen sehr gefährlich werden, und hier vor allem müßten Verwundete möglichst rasch geborgen werden.

Ein sehr einfaches Mittel sich für kürzere Zeit vor der Wirkung giftiger oder erstickender Gase zu schützen habe ich während meiner früheren Tätigkeit als Betriebsleiter einer chemischen Fabrik erprobt und wiederholt in den schwierigsten Fällen bewährt gefunden. Ein gewöhnliches Taschentuch hält man zusammengeballt fest vor Mund und Nase und atmet (natürlich möglichst wenig) durch dieses hindurch. Es ist ganz merkwürdig, wie lange ein so einfaches Mittel es erlaubt, in den erstickensten Gasen zu verweilen. Immerhin handelt es sich meist nur um höchstens 20 bis 30 Sekunden, aber das genügt, um rasche Hilfe zu leisten, Lucken zu öffnen usw. Sollte man im Bett von einer in der Nähe explodierenden Bombe überrascht werden, so wird ein vor Mund und Nase gepreßtes Kopfkissen gute Dienste leisten. Andere empfehlen befeuchtete und ausgerungene Tücher, so die Soldaten in den Schützengräben, die auch ein mit feuchter Erde gefülltes Säckchen (Strumpf) als besonders wirksam gegen Giftgase bezeichnen.

Nach diesen Erörterungen über die Beschaffenheit der Bomben und ihre Wirkungen wollen wir die Art und Weise, wie die Bombe vom Flugapparat bis zur Erde gelangt, etwas näher studieren. Dazu wird wohl mancher meiner Leser meinen, darüber sei wohl kaum viel zu sagen, indem die Bombe ja doch einfach herunterfalle! Nun, herunter fällt sie leider wohl, aber doch so ganz einfach nicht, wie wir gleich sehen werden.

Ich will vorerst bei diesen Ausführungen den Einfluß des Luftwiderstandes unberücksichtigt lassen. Sehr groß ist er übrigens hier, angesichts der großen Querschnittsbelastung dieser Geschosse (Gewicht pro Flächeneinheit des Querschnittes) und den relativ geringen Geschwindigkeiten, die hier in Betracht kommen, nicht.

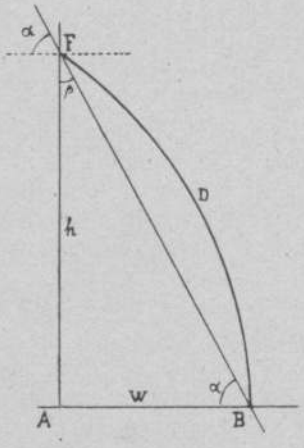
Wenn im Augenblick des Bombenabwurfes das Flugzeug vollkommen stillstände, so würde die Bombe den Gesetzen des freien Falles entsprechend senkrecht nach unten fallen. Dabei nimmt ihre Geschwindigkeit pro Sekunde um g (= 9,81 m) zu und beträgt also nach t Sekunden t. g. Der in der Zeit zurück-

gelegte Weg ist: $^1/_2$. gt^2. Also ist die Fallzeit eines aus der Höhe h fallenden Geschosses:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 0{,}4515 \sqrt{h} \quad \text{und} \quad v = \sqrt{2\,g.\,h}$$

Nehmen wir an, die Bombe falle aus 4000 Meter Höhe, so berechnet sich nach obigen Formeln ihre Flugdauer zu 28,5 Sekunden, und die Geschwindigkeit, mit der sie auf der Erde auftrifft, zu 280 m pro Sekunde. Vom Aeroplan bis zu uns braucht die Bombe also 28,5 Sekunden! (in Wirklichkeit etwas mehr) Das ist eine lange Zeit, und die verehrten Leser, die nicht die Übung haben, Sekunden abzuzählen, wollen einmal am Sekundenzeiger ihrer Uhr nachsehen, wie lange diese unheimlichen Geschosse durch die Luft sausen!

In Wirklichkeit aber bewegt sich das Flugzeug während des Bombenabwerfens mit einer ziemlich großen Geschwindigkeit in horizontaler Richtung. Dadurch wird auch dem herabfallenden



Geschoß eine gleiche Geschwindigkeit in horizontaler Richtung zukommen, und unter dem Einfluß der dadurch bedingten lebendigen Kraft einerseits, und der Schwerkraft anderseits, ist die Flugbahn keine senkrecht nach unten gerichtete gerade Linie, sondern eine nach vorn gerichtete Parabel. Wenn die Geschwindigkeit des Flugzeuges 30 Meter pro Sekunde beträgt (=108 km pro Stunde) so bewegt sich die fallende Bombe in der ersten Sekunde 9,81 m nach unten und zugleich 30 m nach vorn. Im allgemeinen bewegt sie sich bei einer Flugzeuggeschwindigkeit von v m. pro Sekunde in wagerechter Richtung um 30. t. m. vorwärts, während sie in vertikaler Richtung um einen Betrag h = $^1/_2$ gt^2 fällt. Läßt nun der Flieger F (Fig. II) über dem Punkte A eine Bombe fallen, so kommt sie

über F D nach t Sekunden im Punkte B auf der Erde an. Dieser Punkt B liegt dann t. v Meter vor dem Punkte A. Zum Anvisieren des Zieles gebrauche der Flieger ein à la Cardan aufgehängtes, mit vertikalem Kreissektor und Fadenkreuz versehenes Zielfernrohr. Dieses Zielfernrohr muß er dann, um den Punkt B zu treffen, auf der Gradskala genau in einem Winkel α zur Horizontalen oder β zur Vertikalen eingestellt haben. Diesen Winkel muß er also möglichst genau kennen. Er läßt sich aus sich aus der Fluggeschwindigkeit **v** und der Steighöhe **h** leicht berechnen.

Es ist:

$$\text{tang } \alpha \text{ (oder cotang } \beta) = \frac{FA}{AB} = \frac{h}{t.\,v} \text{ oder,}$$

$$\text{da } t = \sqrt{\frac{2h}{g}}, = \frac{1}{v}\sqrt{\frac{h.\,9{,}81}{2}} \text{ also schließlich}$$

$$\text{tang } \alpha = \frac{2{,}215}{v}\sqrt{h}$$

Nehmen wir an, der Flieger bewege sich in einer Höhe von 4000 m mit einer Fluggeschwindigkeit von 108 km pro Stunde = 30 m pro Sekunde, so ist

$$\text{tang } \alpha = \frac{2{,}215}{30}\sqrt{4000} = 4{,}599, \text{ also der Winkel}$$

$\alpha = 77^0\,45'$ (oder $\beta = 12^0\,15'$). In diesem Winkel stellt also der Beobachter sein Fernrohr an der Gradskala seines Zielapparates ein, und sobald dann das Ziel B im Schnittpunkt des Fadenkreuzes im Fernrohr erscheint, läßt er die Bombe fallen.

Die Wurfweite w, (= AB) um die das Geschoß während des Falles nach vorne fliegt, = t. v., oder, da $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ so ist $w = 0{,}4515.\ v.\sqrt{h}$ das macht für unsern Flieger 840 m. Die Bombe muß also abgeworfen werden, wenn sich das Flugzeug noch 840 m in horizontaler Richtung vom Ziel entfernt befindet.

Wären die Größen h und v ganz genau bekannt, der Winkel α genau berechnet und eingestellt, würde das Geschoß ganz genau im richtigen Moment abfallen (und wäre die Wirkung des Luftwiderstandes richtig geschätzt) so müßte bei windstillem Wetter eine jede Bombe ihr Ziel treffen. Das sind nun eine Menge von Bedingungen, und daß diese praktisch noch lange nicht immer erfüllt sind, haben auch wir, am Fliegerhandwerk ganz Unbeteiligten, schon längst aus den Resultaten ersehen können!

Die Fluggeschwindigkeit ist eine Konstante des Apparates, die dem Flieger bekannt sein muß. Auf die Art und Weise, wie

sie bestimmt wird, kann hier nicht eingegangen werden; es sei nur erwähnt, daß die ganz und gar nicht so konstant ist, sondern von einer ganzen Reihe von accidentellen Faktoren abhängig ist, vor allem von der Stärke und Richtung der Luftbewegung.

Die Flughöhe liest der Beobachter am Aneroïdbarometer ab. Abgesehen von dem Einfluß der jeweiligen Luftdruckschwankungen gibt dieses Instrument wohl die Höhe an, in der sich der Apparat über dem *Meeresspiegel* befindet, nicht aber seine Höhe über dem Ziel. Um diese zu erfahren, müßte der Flieger jeweils die Höhe des Zieles über dem Meeresspiegel kennen, und diese von dem am Barometer abgelesenen Wert abziehen. Daß selbst bei enger umschriebenen Geländeflächen relativ große Höhenunterschiede vorkommen können, dafür bietet schon die Umgebung der Stadt Luxemburg ein gutes Beispiel.

Eine weitere Fehlerquelle liegt darin, daß der Flieger das Geschoß nicht genau im selben Momente fallen läßt, wo das Ziel im Fadenkreuz erscheint. Man probiere einmal, oder frage einen erfahrenen Jäger oder Schützen, wie schwer es ist, und wieviel Übung und Gewandheit dazu gehören, beim Schießen mit der Kugel auf ein sich rasch bewegendes Ziel dieses zu treffen, d. h. im richtigen Momente abzudrücken!

Weiter ist im Augenblick des Bombenwerfens die Flugrichtung des Areo nicht immer genau wagerecht, mehr oder weniger stark steigend oder fallend: dadurch fallen die Bomben in größerer oder geringerer Wurfweite von A ab.

Endlich kommt der Einfluß etwaiger Luftströmungen sehr stark zur Geltung. Schon schwacher Wind hat je nach seiner Richtung und Stärke stärkere Abweichungen des Treffpunktes zur Folge. Dazu kommt, daß Richtung und Stärke der Luftströmungen in verschiedenen Höhen meist ganz verschieden sind.

Für ein von einem mit der Geschwindigkeit **v** fliegenden Flugzeug aus der Höhe **h** abgeworfenes Geschoß berechnen sich die durch die verschiedenen Fehlerquellen bedingten Änderungen der Wurfweite (Δw) nach H. Rohne [1]) wie folgt:

1. Falsche Schätzung der Höhe um Δh:

$$\Delta w = 0{,}2257 \cdot v \cdot \Delta h \cdot \sqrt{\frac{1}{h}}$$

2. Falsche Schätzung der Fluggeschwindigkeit um Δv:

$$\Delta w = 0{,}4515 \cdot \Delta v \cdot \sqrt{h}$$

[1]) Vom Kampf in den Lüften, Schuß und Waffe 1913.

3. Zeitfehler beim Werfen: x Sekunden.

$$\Delta w = x. v.$$

4. Richtung des Flugzeuges steht im Winkel γ zur Horizontalen:

$$\Delta w = 0{,}102. v^2. \text{tang } \gamma.$$

5. Falsche Beurteilung und Stärke und Richtung des Windes um eine Windgeschwindigkeit von y Meter pro Sekunde

$$\Delta w = 0{,}4515. y. \sqrt{h}$$

Nimmt man nun mit Rohne als wahrscheinliche minimale Fehler an: für $\Delta h = 100$ m., — für $\Delta v = 0{,}1. v.$ — für das Verpassen des richtigen Momentes beim Abwerfen: 0,5 Sekunden, — für den Winkel der Flugrichtung $\gamma = 5^0$, als Irrtum in der Schätzung der Windstärke: 1 Meter-Sekunde, so ergeben sich in unserm praktischen Beispiel als minimale Abweichungen aus den einzelnen Fehlerquellen folgende Werte: (Dabei können die Abweichungen des Treffpunktes vom Ziele jede nach zwei entgegengesetzten Richtungen ausfallen, so daß für die ganze Abweichung (Streuung) jeweilig der doppelte Betrag anzunehmen ist!)

1. Höhenfehler	11 m.
2. Geschwindigkeitsfehler	85 m.
3. Zeitfehler beim Abwerfen	15 m.
4. Fehler der Flugrichtung	8 m.
5. Einfluß des Windes	29 m.

Die aus dem Zusammenwirken aller dieser Fehlerquellen entstehenden mittleren (50 %igen) Streuungen erhält man, indem man die Quadrate der doppelten minimalen Abweichungen addiert und aus der Summe die Wurzel zieht. So erhalten wir in unserm Falle als wahrscheinliche geringste mittlere Streuung: 184 Meter. Das heißt, daß von hundert unter obigen Bedingungen von verschiedenen Fliegern abgeworfenen Bomben 50 in einem Abstande von 184 m zu erwarten sind. Die übrigen 50 liegen noch weiter auseinander. Daß in der Praxis die gemachten Fehler viel bedeutender sind, und damit die Streuung bedeutend größer wird, ist durch die Ergebnisse der bisherigen Fliegerangriffe ja genügend bewiesen.

Nach dem bisher Gesagten fallen die Geschosse auch nicht in einer genau senkrechten Richtung zur Erde, sondern in einem Winkel von etwa 4° schräg zur vertikalen. Wir haben, um die Berechnungen nicht allzusehr zu komplizieren, den Luftwiderstand bisher außer Acht gelassen. Es sei jedoch erwähnt, daß durch dessen Wirkung die Wurfweite kürzer ausfällt und zwar in unserm Beispiel schätzungsweise um 80 bis 100 Meter, sodaß w ca 750 m betragen wird.

Nehmen unter Berücksichtigung des Luftwiderstandes schätzungsweise an, daß die Bombe mit einer Geschwindigkeit von 250 m auftreffe, so berechnet sich bei einem Gewicht von 50 kgr ihre lebendige Kraft (Wucht) nach der Formel

$$e = \frac{m.\,v^2}{2} \quad \text{wobei } m = \frac{p}{g} \quad \text{und } g = \text{rund } 10$$

zu 156 Metertonnen! Sie hat demnach eine ganz unheimliche Durchschlagskraft (siehe Alzettestraße in Esch!) Diese Durchschlagskraft wird allerdings in den meisten Fällen, wo die Bombe auf einen größeren Widerstand aufschlägt (Mauer, eiserne T-Träger etc.) dadurch illusorisch, daß die Bombe für eine solche Wucht viel zu schwach gebaut ist und dann sehr oft in Stücke geht (meist in der Mitte entzwei bricht). Dabei fliegt oft der Zünder ab und explodiert eventuell wegen seiner Verzögerung an einer Stelle weit weg vom Fallort der Bombe. Der Schlagbolzen des Zünders im Gewicht von 26 gr entwickelt beim Aufschlagen der Bombe eine lebendige Kraft von 8 Meterkilogramm, also die Wucht mit der ein Kilogrammgewicht aus 8 Meter Höhe fallen würde! Das ist sehr reichlich bemessen, und da die Feder des Schlagbolzen nur 600 gr Belastung zum vollständigen Zusammenpressen benötigt, so reagiert der Zünder schon auf geringere Widerstände.

Wie zu Anfang erwähnt, hätte nach den Gesetzen des freien Falles im luftleeren Raume eine aus 4000 Meter Höhe fallende Bombe beim Auftreffen auf die Erde eine Geschwindigkeit von rund 280 Meter. Daß ihre wirkliche Auftreffgeschwindigkeit von dieser Zahl nicht stark abweicht, verdankt das Geschoß einmal seiner zur Überwindung des Luftwiderstandes günstigen Form, und ferner seiner großen Querschnittbelastung. Für Körper jedoch von unregelmäßigem, großem Querschnitt und geringerem Gewicht macht sich die Bremswirkung der Luft in sehr deutlicher Weise geltend. Solche Körper sind z. B. die Granatsplitter der Abwehrkanonen und mit diesen wollen wir uns nun etwas eingehender beschäftigen.

Nehmen wir einmal an, aus einem Flugzeug in der Höhe von 4000 Metern falle eine leblose Mücke herunter. Nach den Fallgesetzen der Physik langt sie schließlich nach 28 Sekunden Luftreise mit einer Geschwindigkeit von 280 Meter auf der Erde an. Dabei beträgt bei einem Körpergewicht von 1 Centigramm ihre Wucht 0,04 Meterkilogramm! Diese entspricht dem Fallen eines, (da der Querschnitt der Fliege rund 10 mm² beträgt) unten auf 3,5 mm Durchmesser zugespitzten Gewichtes von 40 Gramm aus einem Meter Höhe, also ein ganz respektabler Schlag, und die Mücke wird zerschmettert und jedenfalls töter als tot sein. Das wird aber selbst der an den Gesetzen der Ballistik unschuldigste

kaum glauben wollen, und mit Recht. In Wirklichkeit fällt die Mücke mit einer Geschwindigkeit von 8,40 Meter und einer «Wucht» von 0,0000356 mkgr, das entspricht dem Fall eines Gewichtes von 1 gr aus 35 mm Höhe! Dabei dauert die Luftreise rund acht Minuten, und wenn die Fliege beim «Absturz» etwa nur besinnungslos und nicht tot gewesen war, so wird sie beim Auftreffen auf der Erde wahrscheinlich wieder munter und aus lauter Freude über das Versagen der Fallgesetze eine neue Luftreise beginnen!

Ich bin von der Bombe auf die Mücke gekommen, um den Leser in recht überzeugender Weise in ein Gesetz der Ballistik einzuführen, das sagt, daß jedem aus großer Höhe fallenden Körper eine maximale Geschwindigkeit zukommt, die er in keinem Falle überschreiten kann. Diese Höchstgeschindigkeit hängt ab von dem Querschnitt und dem Gewicht des betreffenden Körpers, in einem Wort, von seiner Querdichte. Sie berechnet sich nach

der Formel[2]) $v = \sqrt{\frac{p}{0{,}014 \cdot \pi \cdot r^2}}$

Angenommen, eine Granate der Abbwehrgeschütze platze zwischen 3000 und 4000 m Höhe, und einer der Splitter fliege dabei auf genau 4000 Meter und falle dann herunter. Der Splitter habe ein Gewicht von 20 Gramm,[3]) sei von annähernd kubischer Form und habe eine Seitenlänge von 20 mm (incl. der hervorstehenden Ränder und Spitzen). Nach den Fallgesetzen fiele dieser Splitter mit einer Endgeschwindigkeit von 280 m und einer Wucht von 80 mkgr zur Erde! Das wären pro mm² Fläche: 0,20 mkgr!

In Wirklichkeit beträgt die Fallgeschwindigkeit aber nur etwa ein Fünftel und die Energie weniger als ein zwanzigstel der obigen Werte! Die eben angegebene Formel zur Berechnung der Maximalgeschwindigkeit können wir für nicht kugelförmige Körper wie folgt vereinfachen: $\sqrt{71{,}3 \frac{p}{s}}$ worin p das Gewicht in kgr, s der Querschnitt des Körpers in m² bedeuten. Für unsern Granatsplitter haben wir dann: $v = \sqrt{\frac{71,\ 3.\ 0{,}020}{0{,}000400}}$ = 60 m und die lebendige Kraft $= \frac{m.\ v^2}{2}$ = 3,56 mkgr, pro mm² also 0,009 mkgr (statt 80, resp. 0,20 mkgr!).

[2]) Cranz, Compendium der Ballistik, Band I.

[3]) Alle folgenden Berechnungen sind an von mir aufgelesenen Splittern vorgenommen worden.

Für einen der größeren Splitter von der Länge und Dicke eines Mittelfingers (Gewicht = 87 gr., Dimensionen = 80 × 16 × 13 mm) erhielte man nach den Fallgesetzen im luftleeren Raum eine Endgeschwindigkeit von 280 m und eine lebendige Kraft von 348 mkgr, also die Energie eines modernen Infanteriegeschosses kurz vor der Mündung!. Bei der Schätzung der wirklichen Fallgeschwindigkeit müssen wir zwei Fälle unterscheiden: 1) Der Splitter fällt parallel seiner Längsaxe, bietet also der Luft den geringsten Querschnitt. 2) Der Splitter wirbelt flach durch die Luft, dieser seinen größten Querschnitt darbietend.

Die errechneten Werte sind:

	Fall 1.	Fall 2.
Endgeschwindigkeit	172 ms.	68 ms.
Aufschlagenergie	129 mkgr	26,3 mkgr.
Aufschlagenergie pro mm²	0,64 mkgr	0,02 mkgr.

Aus der Formel, und besonders aus diesem Beispiel ist deutlich ersichtlich, welch großen Einfluß die Form der Splitter und vor allem die Richtung die sie beim Fallen einnehmen, ausübt. In Wirklichkeit waren fast alle langen Splitter, die ich zu Gesicht bekam, mit der flachen langen Seite aufgeschlagen. (Beim Aufschlagen der Sprengstücke auf eine harte Unterlage, wie auf Pflaster, kann man die Aufschlagfläche an den Splittern leicht feststellen.) Die Splitter werden bei der Explosion der Granate meist in stark wirbelnde Bewegung versetzt; dadurch bieten sie der Luft ihren größten Querschnitt dar und fallen demnach entsprechend langsamer.

Da weitaus die meisten Sprengstücke sehr klein sind, unter 10 gr und viele unter 1 gr wiegend, so seien auch von diesen kleineren Splittern zwei Beispiele angeführt: Ein dünner Splitter von 35 mm Länge und 6 mm Breite im Gewicht von 2,7 gr fällt mit 9 m Geschwindigkeit und kann demnach ohne Bedenken mit der Hand aufgefangen werden.

Ein Sprengstück von 5 gr und 225 mm² Querschnitt fällt mit 39 m pro Sekunde (wie wenn es aus ca 80 m Höhe fiele statt 4000) und seine lebendige Kraft ist 0,39 mkgr, pro mm²: 0,0017 mkgr. Dieses letztere Beispiel ist besonders interessant aus folgendem Grunde: Das Geschoß des größeren Modells der Browningpistole (7,65 mm, Polizeimodell) wiegt rund 5 gr und hat eine Anfangsgeschwindigkeit von 280 Meter pro Sekunde. Das ist aber, wie wir mehrfach erwähnt haben, die Geschwindigkeit, mit der obiges Sprengstück aus 4000 m Höhe fallen würde, wenn der Luftwiderstand ohne Wirkung wäre. Es müßte also in diesem Falle dieses Sprengstück, da auch sein Gewicht gleich dem der Kugel ist, beim Auftreffen auf die Erde dieselbe Kraft entfalten wie eine solche Browningkugel kurz vor der Mündung,

d. h. es müßte 12 cm Tannenholz glatt durchschlagen. In Wirklichkeit wird es keinen merklichen Eindruck in Tannenholz hinterlassen!

Größere Splitter von 50 gr sind immerhin gefährlich und ein jeder wird sich der Gefahr von solchen getroffen zu werden, so rasch wie möglich entziehen müssen. Leichte Wunden können auch die kleinen Splitter verursachen wegen ihrer zackigspitzen Ränder. Größeren Schaden stiften können die schweren Zünderköpfe und die Blindgänger. Glücklicherweise fliegen diese weit über die Stadt hinweg und werden meist in freies Feld fallen. Auch besteht keine besondere Gefahr wegen bei der Explosion der Granate direkt nach unten geschleuderter Sprengstücke. Es explodiert nämlich die Granate in der Luft nicht, wie Laien vielfach annehmen, in der Weise, daß dabei die Sprengstücke nach allen Seiten hin gleichmäßig auseinanderfliegen. Vielmehr bewegen sich nach dem Krepieren alle Sprengstücke in der Form eines weiten Kegels (110°), dessen Spitze das explodierende Geschoß ist, und dessen Axe der Flugbahn des letzteren sich anschmiegt, nach vorne. Da nun die Granaten im aufsteigenden Aste ihrer Parabel crepieren sollen, werden auch die Sprengstücke, die sich bei der Explosion zufällig zu unterst befanden, eine mehr horizontale als verfikale Flugrichtung einnehmen. Und selbst wenn Sprengstücke senkrecht zu uns herab geschleudert würden, so würden sie trotz ihrer unheimlichen, ursprünglichen Durchschlagkraft (siehe Rotundenstraße, Bonneweg) infolge der Bremswirkung des Luftwiderstandes relativ harmlos auf der Erde ankommen (vorausgesetzt, daß ihre Maße nicht sehr groß ist!) Jeder Schütze weiß, daß eine an einem Steine abprallende Kugel, wenn sie sich dabei deformiert, infolge des Luftwiderstandes sehr rasch unschädlich wird, trotzdem sie nach dem Abprallen noch große Durchschlagskraft besitzen kann. (Ja es ist sogar möglich, und das läßt sich theoretisch ableiten und praktisch beweisen, daß ihre Durchschlagskraft nach dem Abprallen größer ist, als sie vorher war!) Je unheimlicher eine solche Prallkugel oder ein Splitter heult, desto rascher erlahmen sie.

Wenn ich in obigen Beispielen stets auch die Energie pro mm² Aufschlagfläche angegeben habe, so geschah dies, weil diese Zahl zur Beurteilung der Verwundungsfähigkeit der Projektile von Interesse ist. Es bedarf nämlich zur Erzeugung von Quetschwunden und leicht eindringende Wunden am menschlichen unbedeckten Körper einer Energie die größer ist als 0,0215 mkgr pro mm² Aufschlagfläche; für das Anbrechen der langen Knochen über 5 mkgr pro mm² und für das Zerschmettern derselben über 16 mkgr p. mm². Im allgemeinen nimmt man an, daß zur ernsten Verwundung eines Menschen eine Energie von 8 mkgr erforderlich ist, für ein Pferd 19 mkgr.

Im Anschluß hieran sei noch gesagt, daß, wie die meisten Jäger wohl selbst schon erfahren haben, auch beim senkrechten Schuß in die Luft die herabfallenden Schrote infolge des Gesetzes der maximalen Geschwindigkeit ganz ungefährlich sind und nicht einmal einen Papierbogen durchschlagen. Ich überlasse es demjenigen, den die Sache interessiert, einmal selbst zu berechnen, wie schnell und mit welcher Energie die Schrote fallen würden nach den Fallgesetzen im luftleeren Raum, und wie schnell und kräftig sie in Wirklichkeit fallen. Zur Lösung dieses Problems seien aus meinen Notizen folgende Angaben gemacht: Schrot Nr. 7: Durchmesser 2,5 mm, Gewicht: 0,1 gr, höchste Flughöhe: 123 m. — Schrot Nr. 3. Durchm. 3,5 mm, Gewicht 0,25 gr, Steighöhe 177 m.

Zum Schlusse noch eine praktische Anwendung obiger Berechnungen auf die Hagelkörner. Auch bei diesen leistet die Formel der maximalen Geschwindigkeit der Menschheit große Dienste. Ein mittleres Hagelkorn, von Bleistiftdicke (Durchmesser 8 mm, Querschnitt 250 mm^2, Inhalt 308 mm^3, Gewicht 308 mal das spez. Gewicht des Eises 0,917 = 0,282 gr), würde aus 1000 Meter Höhe fallend mit 141 m pro Sekunde und 0,282 mkgr Energie auf der Erde aufschlagen, wenn wir den Einfluß des Luftwiderstandes vernachläßigen. Das wäre die Wucht eines aus 113 cm Höhe fallenden Halbpfundgewichtes, das am untern Ende auf Bleistiftdicke zugespitzt wäre. Man mache den Versuch und wird überzeugt sein, daß es recht bedenklich wäre, unter diesen Umständen im Freien von Hagelwetter überrascht zu werden! In Wirklichkeit berechnet sich für obiges Hagelkorn eine Höchstgeschwindigkeit von 22 m (wie wenn es von ca 25 m Höhe fiele!) und eine Energie von 0,075 mkgr. (Es ist daher völlig belanglos, wie hoch sich die Hagelwolken befinden!) Schwere Hagelkörner fallen allerdings mit viel größerer Wucht und können, wie mehrfach erwiesen ist, Tieren gefährlich werden. Sollten wir in nächster Zeit ein Gewitter erleben mit extra schweren Hagelkörnern, so wird es vielleicht für den einen oder andern der verehrten Leser interessant sein, durch Messen der Körner und Bestimmung oder Berechnung des Gewichtes und unter Zuhilfenahme obiger Formeln deren Endgeschwindigkeit und Wucht zu berechnen.

So wären wir nun von den schweren Fliegerbomben glücklich auf die friedlichen Hagelkörner gekommen. Auch diese können, wie wir alle wissen, wohl gelegentlich Sachschaden anrichten, bringen aber wenigstens nicht Menschenleben in Gefahr. Und so wollten wir uns mit gelegentlichem Verhageltwerden gerne abfinden, wenn nur einmal und baldigst die Zeit des Eisenhagels und des Regens von Feuer und Schwefel (lies Pikrinsäure!) der Geschichte angehörte!

Luxemburg. — Druck von P. Worré-Mertens.