



Die Funktionsweise einer Schusswaffe



Verfasser:

Manuel M. Wanner

[\(manuel.wanner@edu.sh.ch\)](mailto:manuel.wanner@edu.sh.ch)

Unter der Betreuung von:

Dr. Thomas Stamm

Kantonsschule Schaffhausen

Abgegeben am:

1. Dezember 2023

1

¹ Titelbild: Nahaufnahme des Verschlusssystems des Sturmgewehr 90, eigene Aufnahme
Gewehre: Karabiner 31, eigene Aufnahme

Inhalt

Einleitung.....	3
1. Waffentypen	4
1.1 Halbautomaten/Vollautomaten	4
1.2 Pistolen	4
1.3 Einzellader	4
2. Waffentechnik.....	5
2.1 Ausführung der beschriebenen Waffen	5
2.2 Aufbau der beschriebenen Waffen.....	6
2.2.1 Sturmgewehr 90 (kurz)	6
2.2.2 Sturmgewehr 57	7
2.2.3 Karabiner 31	8
2.2.4 MP5	9
2.2.5 P30.....	10
2.2.6 Weitere wichtige Waffenteile	10
2.3 Technische Daten zu den Waffen.....	11
2.3.1 Sturmgewehr 90	11
2.3.2 Sturmgewehr 57	11
2.3.3 Karabiner 31	12
2.3.4 MP5	12
2.3.5 P30.....	12
3. Munitionstechnik.....	13
3.1 Aufbau einer Patrone	13
3.2 Beschriebene Kaliber	15
3.2.1 GP90/5.56 mm (.223 Rem)	15
3.2.2 GP11 7.5x55 Swiss / 7.62 mm x 55 mm	15
3.2.3 9mm x 19mm.....	15
3.3 Technische Daten zu den Kalibern.....	15
3.3.1 GP90/5.56x45 (.223 Rem)	15
3.3.2 GP11 7.5x55 Swiss / 7.62 mm x 55 mm	15
3.3.3 9mm x 19mm.....	15
4. Innenballistik	16
4.1 Der Zündvorgang	16
4.2 Gasdruckverlauf und Geschossbeschleunigung	16
4.3 Rückstoss der Waffen	19
4.3.1 Sturmgewehr 90	20

4.3.2 Sturmgewehr 57	20
4.3.3 Karabiner 31	21
4.3.4 MP5	21
4.3.5 P30.....	22
4.3.6 Fazit des Rückstosses.....	22
4.4 Energiebilanz bei der Schussabgabe.....	23
4.5 Schwingungen des Laufes.....	24
4.6 Waffenverschleiss	25
4.6.1 Glattläufe, gezogene Läufe & Polygonläufe	25
4.7 Rückstosslader	26
4.8 Gasdrucklader.....	26
5. Abgangsbalistik	27
6. Aussenballistik	30
6.1 Geschossflugbahn im Vakuum.....	30
6.1.1 Die Parabelgleichung	30
6.1.2 Treffen eines Zieles auf anderer Höhe.....	34
6.1.3 Gedeckter sowie bestrichener Raum	35
6.2 Geschossflugbahn im realen Raum	35
6.2.1 Die Atmosphäre	35
6.2.2 Schwerkraft, Luftwiderstand und Verschleppung als Einflussfaktoren.....	37
6.2.3 Geschossstabilisierung	39
6.3 Berechnung ideale Dralllänge des Sturmgewehr 90	41
6.4 Formel aus der realen Geschossflugbahn	42
7. Zündung.....	44
7.1 Zündsatz	44
7.2 Treibladung.....	47
7.2.1 Schwarzpulver	47
7.2.2 Nitrozellulosepulver.....	48
8. Aufsätze	50
8.1 Schalldämpfer	50
8.2 Kompensator	50
8.3 Mündungsbremse	51
8.4 Mündungsfeuerdämpfer	51
9. Fazit zur Arbeit.....	52
Quellenverzeichnis	53

Einleitung

Liebe Leserin, lieber Leser

Erstmals vielen Dank für Ihr Interesse an meiner Maturaarbeit.

Waffen, für viele ein Tabuthema für mich allerdings ein sehr faszinierendes Gebiet. Ich bin Hobbyschütze und für mich ist es eine Leidenschaft, mit Waffen zu schießen. Unabhängig, ob Einzellader, Halb- oder Vollautomaten. Aus diesem Grund habe ich mich dazu entschieden, meine Maturaarbeit über Waffen zu schreiben. Mit den Waffen, welche in dieser Arbeit behandelt werden, habe ich schon selbst geschossen und so meine Erfahrungen mit ihnen machen können.

Mein Ziel ist es, mit dieser Arbeit beschreiben zu können, welche technischen, physikalischen und chemischen Faktoren bei der Schussabgabe zusammenspielen. Ausserdem um aufzuzeigen, dass mehr hinter einer Waffe steckt wie ein Magazin, ein Abzug und ein Lauf. Es existieren viele weitere Faktoren, welche auf die Waffe sowie das Geschoss Auswirkungen haben. Deshalb ist meine Leitfrage:

Was passiert zwischen dem Ziehen des Abzugs und dem Auftreffen des Geschosses beim Ziel?

Um die Leitfrage zu beantworten habe ich mich einerseits für Quellen aus dem Internet entschieden andererseits ist meine Hauptquelle das Waffentechnikbuch namens «Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik» von Thomas Enke.

Die Arbeit ist wie folgt aufgebaut: Anfangs befasst sie sich mit den verschiedenen Waffentypen, danach kommt die Waffen- und Munitionstechnik. Mit diesen Vorinformationen beginnt die Innenballistik, gefolgt von der Abgangs- und Aussenballistik. Zum physikalischen Teil eines Schusses folgt der chemische Teil. Kurz vor Schluss finden verschiedene Mündungsaufsätze ihren Platz und zuallerletzt kommt das Fazit zur Arbeit, in dem zudem die Leitfrage beantwortet wird.

Vielen Dank an:

Rico Sägesser, Grenzwächter und Ausbildner derselben, für die tatkräftige Unterstützung. Ohne ihn wäre diese Arbeit nicht zu Stande gekommen.

Herr Dr. Thomas Stamm für das Betreuen meiner Arbeit.

Philippe Brühlmann für das erste Durchlesen und das grammatikalische Überprüfen meiner Arbeit.

Meine Familie, besonders meine Mutter Karin Wanner, für die tatkräftige Unterstützung und das Interesse an meiner Arbeit.

1. Waffentypen

Man unterscheidet bei den Waffentypen zwischen Faust- und Handfeuerwaffen. Der Unterschied liegt dabei in der Handhabung und der Mündungsgeschwindigkeit. Faustfeuerwaffen können entweder nur mit einer Hand oder mit beiden Händen gehalten werden. Die Mündungsgeschwindigkeit muss sich bei den Waffen, um als Faustfeuerwaffe zu gelten, unter der Schallgeschwindigkeit sein, also unter 330 m/s. Ausserdem müssen Faustfeuerwaffen keine Schulterstütze besitzen, sondern können frei abgeschossen werden. Typische Faustfeuerwaffen sind Pistolen.

Handfeuerwaffen hingegen können nur mit beiden Händen bedient werden und besitzen eine Schulterstütze, können also demnach nicht präzise abgefeuert werden, wenn man die Waffe nicht richtig angelegt hat. Dazu gehören beispielsweise Gewehre. [1]

Es wird ausserdem zwischen den verschiedenen Schussmodi unterschieden: Ob die Waffe halb- oder vollautomatisch funktioniert oder ob die Waffe von Hand repetiert, sprich nachgeladen werden muss.

1.1 Halbautomaten/Vollautomaten

Halbautomatische beziehungsweise vollautomatische Waffen repetieren ohne weiteren Eingriff der Schützin oder des Schützen. Mithilfe der Energie, welche durch die Schussabgabe entsteht, kann die Hülse aus der Waffe geworfen werden und eine neue Patrone vom Magazin ins Patronenlager gedrückt werden.

Bei einer vollautomatischen Waffe kann der Abzug gedrückt gehalten werden und die Waffe schießt so lange, bis das Magazin leer ist. Bei einer halbautomatischen Schusswaffe muss nach jeder Schussabgabe der Abzug erneut gedrückt werden. Bei Sturmgewehren, welche vollautomatisch bedient werden können, gibt es meist auch die Reduktionseinstellung der Feuerstösse. Das heisst dass, dass je nach Typ beispielsweise drei Schüsse abgegeben werden, bevor der Abzug wieder neu betätigt werden muss. [2]

Bei den voll- sowie halbautomatischen Waffen unterscheidet man zwischen den Gasdruckladern und den Rückstossladern. Diese dienen beide dem automatisierten Repetieren, unterscheiden sich jedoch von der Funktionsweise.

1.2 Pistolen

Pistolen sind typische Faustfeuerwaffen, das heisst sie können mit einer Hand bedient werden und ihre Mündungsgeschwindigkeit ist je nach Munition unter der Schallgeschwindigkeit. Pistolen sind normalerweise halbautomatisch, es gibt aber auch vollautomatische Pistolen, wie die österreichische Glock 18. Pistolen repetieren generell mit Rückstoss, sie sind somit Rückstosslader. [3]

1.3 Einzellader

Einzellader müssen nach jedem Schuss von der Schützin oder des Schützen von Hand repetiert werden. Aus diesem Grund besitzen Einzellader eine geringe Feuerrate. Waffen, die von Hand repetiert werden, werden vor allem als Scharfschützen-, Sport- oder Jagdwaffen genutzt. [4]

2. Waffentechnik

2.1 Ausführung der beschriebenen Waffen

Bei den Waffen, welche in dieser Arbeit beschrieben werden, handelt sich das Schweizer Sturmgewehr 90 oder SIG 550, das Schweizer Sturmgewehr 57 beziehungsweise SIG 510, um den Karabiner 31 von Schmidt & Rubin sowie die MP5 und die P30 von Heckler & Koch.

Das Sturmgewehr 90 ist ein Gasdrucklader mit einer Gasdüse. Diese ist manuell verstellbar und besitzt ein grösseres und ein kleineres Loch. Ist das kleine Loch verstopft oder es ist kalt, wird auf das grössere Loch gestellt. Es ist seit 1990 die Dienstwaffe des Schweizer Militärs. Ausserdem wird in Jungschützenkursen seit 2002 auf dem Sturmgewehr 90 das Schiessen gelehrt. Mit dem Sturmgewehr 90 kann man halbautomatisch, mit Feuerstössen oder vollautomatisch schiessen. [5]

Der Vorgänger des Sturmgewehr 90 ist das Sturmgewehr 57. Im Gegensatz zum Sturmgewehr 90 handelt es sich beim Sturmgewehr 57 um einen Rückstosslader. Das Sturmgewehr 57 war von 1957 bis 1990 die Dienstwaffe des Schweizer Militärs und wird heute noch häufig für das Sportschiessen genutzt. Man kann mit dem Sturmgewehr 57 halb- oder vollautomatisch schiessen. [6]

Beim Karabiner 31 handelt es sich um einen Einzellader, welcher sich von anderen Einzelladern insofern unterscheidet, dass der Verschluss bei der Ladebewegung gerade nach hinten gezogen werden kann und nicht zuerst nach oben gedreht werden muss. Er war von 1932 bis zur Einführung des Sturmgewehr 57 die Ordonnanzwaffe der Schweizer Armee. [7]

Die MP5 von Heckler & Koch ist eine weltweit bekannte und viel genutzte Maschinenpistole. Sie wird vor allem von Polizeicorps, vom Militär und von Spezialeinheiten genutzt und ist vielseitig einsetzbar. Bei der MP5 handelt es sich, wie beim Sturmgewehr 57, um einen Rückstosslader. Man kann mit der MP5 halb- oder vollautomatisch schiessen. [8]

Bei der P30 von Heckler & Koch handelt es sich um eine Pistole. Wie bei den meisten Pistolen handelt es sich auch bei der P30 um einen Rückstosslader. Zudem besitzt die P30 einen sogenannten double-action-Mechanismus. Das bedeutet, dass beim Ziehen des Abzugs der Hammer der Waffe zurückfährt und nach weiterem ziehen des Abzuges gelöst wird, was zur Schussabgabe führt. [9]

2.2 Aufbau der beschriebenen Waffen

2.2.1 Sturmgewehr 90 (kurz)



1. Magazin
2. Sicherungshebel
3. Abzug
4. Kolben
5. Ladegriff
6. Verschlussträger mit Verschlusskopf
7. Gasdüse
8. Gasrohr
9. Gasstange
10. Schlaghammer
11. Verschlusskammer
12. Handschutz
13. Lauf (Mündung)
14. Pistolengriff

[10]

²

2.2.2 Sturmgewehr 57



[11]

3

2.2.3 Karabiner 31



1. Magazin
2. Abzug
3. Schaft
4. Schlagbolzen, auch Sicherung (vertikal gesichert, horizontal entsichert)
5. Ladehebel
6. Verschlussgehäuse
7. Lauf (Mündung)
8. Verschluss

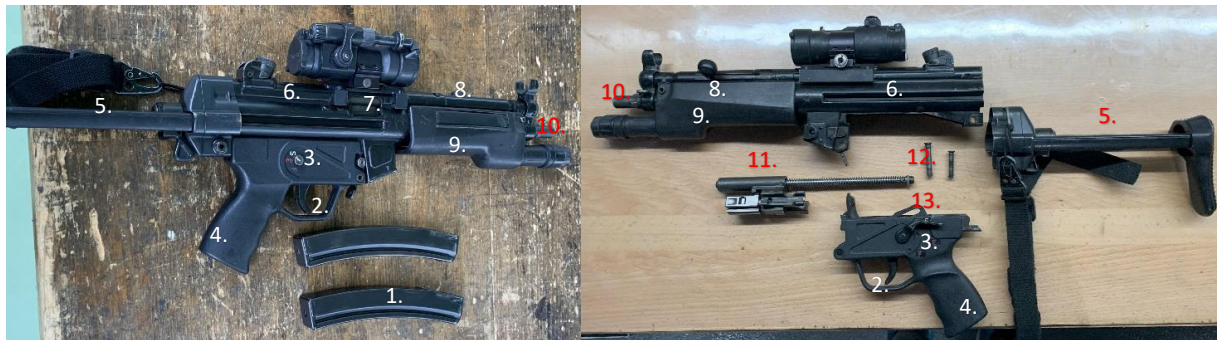


[12]

4

⁴ Bilder: Eigene Aufnahmen

2.2.4 MP5



1. Magazin
2. Abzug
3. Sicherung
4. Pistolengriff
5. Schulterstütze
6. Verschlussgehäuse
7. Verschluss
8. Ladehebel
9. Handschutz
10. Lauf (Mündung)
11. Verschluss mit Schliessfeder
12. Haltebolzen
13. Schlaghammer

[13]

5

2.2.5 P30



[14]

6

2.2.6 Weitere wichtige Waffenteile

- **Schlagbolzen:**

Der Schlagbolzen befindet sich im inneren des Verschlusses und wird durch den Schlaghammer oder den Schlaghebel ausgelöst. Der Schlagbolzen schlägt daraufhin auf die Patrone, was die Zündung auslöst. Auf dem Schlagbolzen befindet sich ausserdem die Schlagbolzenfeder, welche für die benötigte Spannung des Schlagbolzens sorgt.



7

- **Schlaghammer:**

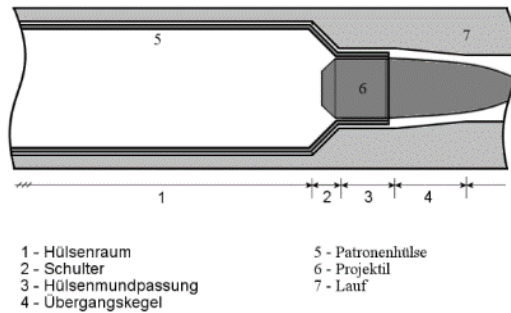
Der Schlaghammer oder auch Schlaghebel schlägt schnell und mit grosser Kraft auf den Schlagbolzen, welcher dadurch ausgelöst wird.

⁶ Bilder: Eigene Aufnahmen

⁷ Bild: [MauserSystem98Verschluss-04 - Schlagbolzen – Wikipedia](#)

- **Patronenlager:**

Das Patronenlager befindet sich im Verschlussgehäuse zwischen Verschluss und Lauf. Darin befindet sich nach dem Repetieren die neu aufgenommene Patrone.



8

2.3 Technische Daten zu den Waffen

Zu den technischen Daten von Waffen gehören die Mündungsenergie, die Mündungsgeschwindigkeit, die Länge der Waffe, die Lauflänge, die Anzahl Züge im Lauf, die Drehung des Drall, die Feuerrate (Schussabgabe pro Minute, sogenannte Kadenz), das Kaliber, das Gewicht und die Ladungsart. Mithilfe von diesen Daten kann die Funktionsweise einer Waffe ermittelt werden.

2.3.1 Sturmgewehr 90

Mündungsenergie:	1700 Joule
Mündungsgeschwindigkeit:	905 m/s
Gesamtlänge der Waffe:	998mm
Lauflänge:	528 mm
Anzahl Züge:	6 Züge
Drall:	Rechtsdrall
Kaliber:	5.56 mm x 45 mm (.223 Rem)
Gesamtgewicht der Waffe (ohne Magazin):	4005 Gramm
Ladungsart:	Gasdrucklader

[15]

2.3.2 Sturmgewehr 57

Mündungsenergie:	3178 Joule
Mündungsgeschwindigkeit:	750 m/s
Gesamtlänge der Waffe:	1115 mm
Lauflänge:	583 mm
Anzahl Züge:	4 Züge
Drall:	Rechtsdrall
Kaliber:	7.62mm x 55mm
Gesamtgewicht der Waffe (ohne Magazin):	5700 Gramm
Ladungsart:	Rückstosslader

[16]

⁸ Bild: [Schema schulteranlieger - Patronenlager – Wikipedia](#)

2.3.3 Karabiner 31

Mündungsenergie:	3437 Joule
Mündungsgeschwindigkeit:	780 m/s
Gesamtlänge der Waffe:	1107 mm
Laufänge:	652 mm
Anzahl Züge:	4 Züge
Drall:	Rechtsdrall
Kaliber:	7.62 mm x 55 mm
Gesamtgewicht der Waffe (ohne Magazin):	4100 Gramm
Ladungsart:	Einzellader

[17]

2.3.4 MP5

Mündungsenergie:	570 Joule
Mündungsgeschwindigkeit:	375 m/s
Gesamtlänge der Waffe:	600 mm
Laufänge:	140 mm
Anzahl Züge:	6 Züge
Drall:	Rechtsdrall
Kaliber:	9 mm x 19 mm
Gesamtgewicht der Waffe (ohne Magazin):	2300 Gramm
Ladungsart:	Rückstosslader

[18]

2.3.5 P30

Mündungsenergie:	518 Joule
Mündungsgeschwindigkeit:	360 m/s
Gesamtlänge der Waffe:	181 mm
Laufänge:	98 mm
Anzahl Züge:	6 Züge
Drall:	Rechtsdrall
Kaliber:	9 mm x 19 mm
Gesamtgewicht der Waffe (ohne Magazin):	650 Gramm
Ladungsart:	Rückstosslader

[19]

3. Munitionstechnik

3.1 Aufbau einer Patrone

Jede Patrone ist grundsätzlich etwa gleich aufgebaut. Es gibt allerdings Unterschiede zwischen Rand- und Zentralfeuerpatronen, wenn es um die Zündung der Treibladung geht:

- **Hülse:**

In der Hülse befindet sich die Treibladung. Sie ist dank der Hülse von äusseren Umwelteinflüssen geschützt. Dazu gehört beispielsweise Feuchtigkeit, welche die Zündung negativ beeinflussen kann.

Bei beiden Munitionsarten (Zentral- und Randfeuerpatrone) befindet sich auch der Treibladungszünder in der Hülse. Bei Zentralfeuerpatronen ist der Zünder, beziehungsweise das Zündhütchen, im Boden der Hülse eingearbeitet und ist dort festgesetzt. Bei einer Randfeuerpatrone ist der Zünder auf den Hülsenboden geklebt.

Die Hülse besteht entweder aus Messing oder aus Stahl, welcher mit Kupfer überzogen ist. Wenn es sich um kleine Kaliber handelt, kann die Hülse auch aus Aluminium oder gar Plastik bestehen.

Während der Schussabgabe dichtet die Hülse das Patronenlager und den Verschluss gezielt ab. Dadurch können keine nützlichen Gase, welche für die Geschossbeschleunigung benötigt werden, entweichen. Allerdings wird die Hülse durch den Gasdruck geweitet. Somit ist diese nach der Schussabgabe breiter als noch vor der Schussabgabe.

Die Hülse führt, vor allem bei halb- beziehungsweise vollautomatischen Waffen, viel Wärme ab. Dies ist nützlich für die Waffe, da durch die zusätzliche Wärmeableitung mehr Schüsse betätigt werden können, bevor die Waffe wegen Überhitzung beschädigt wird oder an Präzision verliert.

- **Treibladung:**

Die Treibladung besteht bei heutigen Patronen aus Nitrozellulosepulver (*Kap. 7.2.2*). Sie gibt dem Geschoss nach der Initialzündung des Treibladungszünders die nötige Energie, um Geschwindigkeit aufzubauen und durch den Lauf der Waffe zu entweichen und sich über eine weite Strecke zu bewegen.

- **Treibladungszünder:**

Der Treibladungszünder ist dafür zuständig, die Treibladung zu zünden. Der Treibladungszünder ist entweder zentriert oder am Rand des Hülsenbodens zu finden. Bei Zentralfeuerpatronen ist ein Zündhütchen zu finden. Dieses besteht aus einem massiven Messingnapf und enthält eine geringe Menge eines Zündsatzes (*Kap. 7.1*). Dieser Zündsatz wird mithilfe eines Schlages auf das Zündhütchen durch den Schlagbolzen gezündet.

Man unterscheidet bei den Zündhütchen zwischen zwei Typen;

- *Das Berdan-Zündhütchen:*
Beim Berdan-Zündhütchen ist der Amboss ein fester Bestandteil der Hülse. Bei der Zündung gelangt der sogenannte Anzündstrahl durch einen oder mehrere Anzündkanäle in die Hülse.
- *Das Boxer-Zündhütchen:*
Beim Boxer-Zündhütchen befindet sich der Amboss im Messingnapf des Zündhütchens und es besitzt in der Regel nur ein Anzündkanal. Dieses Zündhütchen ist vor allem bei halb- und vollautomatischen Waffen stark vertreten, denn das Zündhütchen kann durch den zentriert angebrachten Anzündkanal einfach ausgestossen werden.

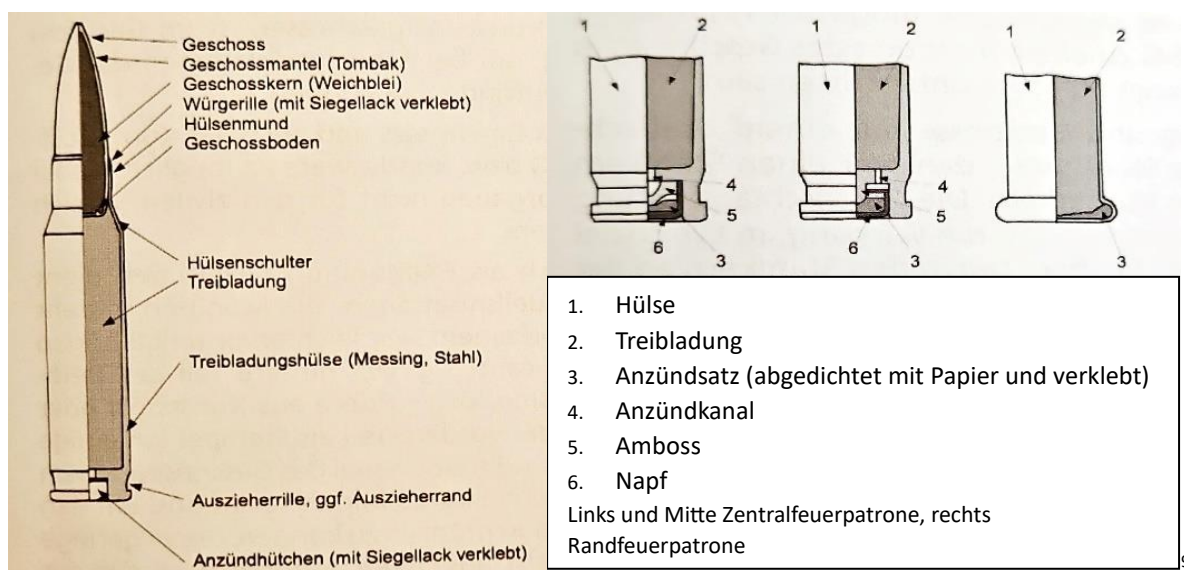
Randfeuerpatronen hingegen besitzen kein Zündhütchen. Bei diesen ist das Anzündmittel an den Hülsenbodenrand verteilt und wird auch mithilfe eines Schlages an den Rand der Hülse durch einen Schlagbolzen gezündet.

• Geschoss:

Bei Infanteriewaffen werden in der Regel sogenannte Weichbleigeschosse verwendet. Diese besitzen einen Mantel aus Stahl oder Messing und sind mit einer Zinnschicht überzogen. Der Kern besteht aus Blei und ist daher sehr weich. Der Mantel ist dafür da, den weichen Kern beim Durchqueren des Laufes vor verfrühter Deformation beziehungsweise Zersplitterung zu schützen. Beim Aufschlag des Geschosses auf einen Körper verformt sich das Geschoss durch den weichen Kern und richtet dadurch mehr Schaden an. Neben den normalen Vollmantelgeschossen gibt es auch Hohlspitzgeschosse. Diese besitzen ein Loch auf der Spitze, welches den Kern freilegt. Das führt dazu, dass die Verformung und auch Splitterung nach dem Treffen eines Körpers stärker ist als bei Vollmantelgeschossen. Daher richten Hohlspitzgeschosse mehr Schaden an als Vollmantelgeschosse.

Da Blei für die Umwelt schädlicher ist als Kupfer werden teilweise Kupferkerne anstelle von Bleikernen benutzt. Durch den Kupferkern ist die Durchschlagskraft stärker als bei Bleikernen, da Kupfer ein härteres Metall als Blei ist.

[20]



⁹ Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seiten 271 & 273, Bild 6.1 & Bild 6.3

3.2 Beschriebene Kaliber

Das Kaliber gibt den Durchmesser und die Länge eines Geschosses an. Wenn man also von einer 9mm x 19mm Patrone spricht, dann besitzt diese einen Durchmesser von 9mm und eine Länge von 19 mm.

Der Kaliberdurchmesser wird in den meisten Fällen durch Zoll angegeben. Zum Beispiel eine 9mm Patrone wird auch als Kaliber .355 angegeben.

3.2.1 GP90/5.56 mm (.223 Rem)

Das Kaliber .223 rem wurde von US-Amerikanischen Ingenieuren entwickelt. Die Schweizer Armee nutzt dieses Kaliber seit 1990 unter dem Namen GP 90 (Gewehrpatrone 90). Auch andere Staaten wie die USA oder viele NATO-Staaten nutzen dieses Kaliber als Standardkaliber für ihre Waffen. [21]

3.2.2 GP11 7.5x55 Swiss / 7.62 mm x 55 mm

Die GP 11 erschien 1911 in der Schweiz. Sie war von 1913 bis 1990 das Standardkaliber der Schweizer Armee. [22]

3.2.3 9mm x 19mm

Die 9mm Patrone ist weltweit bekannt und wird meist in Pistolen und Maschinenpistolen verwendet. [23]

3.3 Technische Daten zu den Kalibern

3.3.1 GP90/5.56x45 (.223 Rem)

Gewicht Geschoss in Gramm:	4.1
Gewicht Geschoss in Grain (Gewichtsangabe für Patronen, Faktor Gramm * 15.4324):	63
Geschwindigkeit in m/s (= Mündungsgeschwindigkeit):	905
Energie in Joule (= Mündungsenergie):	1679

[24]

3.3.2 GP11 7.5x55 Swiss / 7.62 mm x 55 mm

Gewicht Geschoss in Gramm:	11.3
Gewicht Geschoss in Grain (Gewichtsangabe für Patronen, Faktor Gramm * 15.4324):	175
Geschwindigkeit in m/s (= Mündungsgeschwindigkeit):	750 (SIG 510) 780 (K31)
Energie in Joule (= Mündungsenergie):	3178 (SIG 510) 3437 (K31)

[25]

3.3.3 9mm x 19mm

Gewicht Geschoss in Gramm:	8
Gewicht Geschoss in Grain (Gewichtsangabe für Patronen, Faktor Gramm * 15.4324):	123
Geschwindigkeit in m/s (= Mündungsgeschwindigkeit):	360 (P30) 375 (MP5)
Energie in Joule (= Mündungsenergie):	518 (P30) 570 (MP5)

[26]

4. Innenballistik

Bei der Innenballistik wird betrachtet, was während der Schussabgabe im Inneren der Waffe passiert. Also von der Zündung bis zum Austreten des Geschosses aus der Waffe.[27]

4.1 Der Zündvorgang

Der Vorgang des gesamten Schusses beginnt mit der Zündung der Treibladung. Ohne dies könnte das Geschoss nicht aus der Waffe austreten. Die Dauer des Zündvorgangs kann je nach Kalibergrösse variieren. Es gilt allerdings, dass bei Munition von Handwaffen die Zeit, die für den Zündvorgang vergehen darf, innerhalb von einer Millisekunde sein muss. Bei grösseren Kalibern kann es auch zwischen 20 und 30 Millisekunden dauern. Diese Zeitspanne wird benötigt, bis die chemische Reaktion der Zündung anlaufen kann und die Erzeugung der entsprechenden Wärmeenergie abgeschlossen ist. Man nennt diese Zeitspanne auch «Anzündzeitverzug».

Bei der Zündung muss die ganze Treibladung durch den Anzünder gezündet worden sein. Bei unvollständiger Zündung kann es zu Spätzündungen kommen. Diese Spätzündungen können erst nach mehreren Minuten geschehen. Dies ist abhängig von der Temperatur innerhalb der Waffe und der Feuchte der Treibladung. Spätzündungen können auch Folgen haben, denn wenn der Schuss nicht auslöst, darf die Patrone für mindestens 30 Minuten nicht aus der Waffe entfernt werden. Bei zu früher Entladung können die Hülsen, welche nicht mehr durch das Patronenlager zusammengepresst werden, explodieren und splintern. [28]

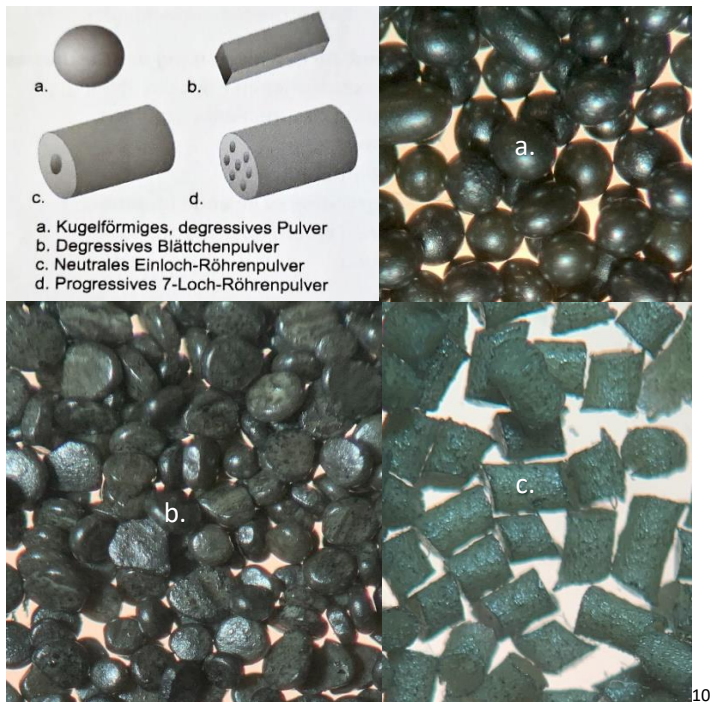
4.2 Gasdruckverlauf und Geschossbeschleunigung

Der Gasdruckverlauf ist von einigen Faktoren abhängig:

- Form und Zusammensetzung der Treibladung
- Temperatur im Patronenlager
- Temperatur der Treibladung
- Patronenmunition oder getrennt zu ladende Munition
- Waffenlauf mit Zügen oder ein glatter Lauf
- Reibung im Waffenlauf
- Lauflänge

Wenn die Treibladung gezündet wird, verbrennt diese nur an der Oberfläche. Diese Eigenschaft kann für die geometrische Gestaltung des Treibladungspulvers verwendet werden. Somit können der Treibladung Verbrennungseigenschaften gegeben werden. Aus diesem Grund gibt es verschiedene Herstellungsarten von Treibladungspulvern. Es kann entweder als degressives, neutrales oder progressives Treibladungspulver hergestellt werden.

- **Degressives Pulver:**
Das degressive Pulver wird in Plättchen- oder Kugelform hergestellt. Bei der Verbrennung des Pulvers nimmt dessen Oberfläche zeitlich abgestimmt ab. Das führt dazu, dass sich die Produktion der Treibgase über eine gewisse Zeit verringert. Diese Pulver werden bei Munition von Pistolen und anderen Waffen mit kurzen Läufen genutzt. Der Grund dafür ist, dass bei Waffen mit kurzen Läufen ein schneller Aufbau des gewünschten Gasdrucks essenziell ist. Dazu kommt, dass möglichst wenige unverbrannte Teilchen aus der Mündung kommen.
- **Neutrales Pulver:**
Das neutrale Pulver ähnelt in der Form einer langen Nudel. Bei der Verbrennung nimmt die äussere Oberfläche ab, die Innere nimmt allerdings zu. Das führt dazu, dass die Fläche zum Abbrennen etwa gleichbleibt. Aus diesem Grund gibt es bei der Verbrennung von neutralem Pulver eine gleichmässige Beschleunigung. Dieses wird immer häufiger bei Gewehrpatronen genutzt, da für ein Gewehr die gleichmässige Beschleunigung erwünscht ist.
- **Progressives Pulver:**
Progressives Pulver ist ein zylinderförmiger Körper und besitzt 7 bis 32 axiale Bohrungen. Bei der Verbrennung führt dies zu einer grösseren Gasproduktion, da die Oberfläche immer mehr zunimmt. Verwendet wird dieses Pulver meist von Waffen mit langen Läufen, da bei diesen das auszufüllende Volumen hinter dem Geschoss sehr gross wird. Dazu kommen auch Waffen mit hohen Mündungsgeschwindigkeiten.



¹⁰ Bild links oben: Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seite 24, Bild 1.1

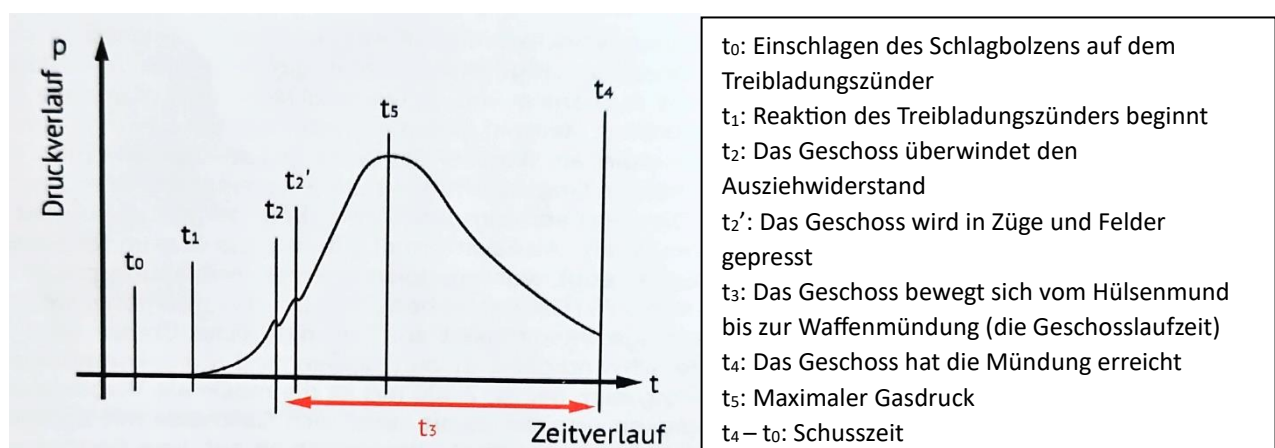
Restliche Bilder: eigene Aufnahmen

Das Treibladungspulver wird bei der Produktion der Patronen in die Hülse eingebracht. Das Volumen ist so definiert, dass die Hülse die maximal zulässige Treibladung aufnehmen kann, jedoch auch bei geringerer Menge eine vollständige Zündung gewährleistet ist.

Die Geschwindigkeit der Verbrennung der Treibladung ist zudem vom Druck im Patronenlager abhängig. Treibladungspulver, bis auf Schwarzpulver, brennt im offenen Raum ausserhalb einer Hülse harmlos ab. In einem abgeschlossenen Patronenlager steigt bei der Verbrennung schnell der Druck. Durch den wachsenden Druck erhöht sich die Gasproduktion, was zu einer noch grösseren Druckerhöhung führt. Zu der Druckerhöhung steigt ausserdem die Verbrennungsgeschwindigkeit linear an. Es gilt, dass ein Gramm Schwarzpulver ungefähr 0.33 Liter Gas erzeugt. Bei modernen Treibladungspulvern erhält man eine Gasausbeute von 0.75 Litern. Die Verbrennungsgeschwindigkeit steigt an, umso höher der Druck im Patronenlager ist. Es gibt allerdings auch eine natürliche Grenze für die heissen und stark komprimierten Gase, und zwar die Schallgeschwindigkeit. Die maximale Verbrennungsgeschwindigkeit ist daher bei etwa 2'500 Metern pro Sekunde erreicht.

Das heisst, dass Geschosse bei normalen Treibladungspulvern theoretisch diese 2'500 Meter pro Sekunde erreichen können. In der Praxis sieht dies allerdings anders aus. Durch Wärmeverluste, Einbussen im Lauf und Undichtigkeiten zwischen dem Geschoss und dem Waffenlauf kann das Geschoss die maximale Geschwindigkeit von etwa 2'000 Metern pro Sekunde erreichen.

Vor der ersten Bewegung im Lauf muss das Geschoss bei Patronenmunition den Auszieh Widerstand aus der Hülse überwinden. Um die Treibladung vor Feuchtigkeit und vor dem Herausrieseln zu schützen, werden bei kleineren Kalibern meistens die Hülsen werkseitig an die Geschosse angepresst. Bei grösseren Kalibern allerdings werden die Geschosse erst vor dem Abschuss auf die Hülse gesteckt. Die Hülse dient hier mehr zur Abdichtung und Kühlung des Patronenlagers. Die Auszieh Widerstandsüberwindung lässt sich im Diagramm des Gasdruckverlaufs finden. Nach der Überwindung des Auszieh Widerstands folgt eine Freiflugphase. Hierbei überwindet das Geschoss den Abstand zwischen dem Hülsenmund sowie den Zügen und Feldern im Lauf. Durch das Einpressen in die Züge und die Felder steigt der Druck gleichmässig an, bis ein gewisses Maximum erreicht ist. Das Maximum ist dann erreicht, wenn die Gasproduktion das Volumen, welches im Waffenlauf frei wird, nicht mehr ausgleichen kann, da sich das Geschoss immer weiter und schneller werdend in Richtung der Mündung bewegt.



11

Der Waffenlauf muss in der Lage sein, den maximalen Gasdruck auszuhalten. Alle Waffen unterliegen in Deutschland beispielsweise einer sogenannten Beschusspflicht.

¹¹ Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seite 26, Bild 1.2

Das bedeutet, dass die Waffen mit 30% mehr Treibladung abgefeuert werden und diese standhalten müssen. Besteht die Waffe diese Prüfung, bekommt sie ein Beschusszeichen. In der Vergangenheit waren die ersten Beschusszeichen unter Büchsenmachern ihr Zeichen für gute Qualität. [29]

4.3 Rückstoss der Waffen

Der Rückstoss der Waffe ist die Energie, welche der Schütze an seiner Hand bei Pistolen oder an seiner Schulter bei Gewehren zu spüren bekommt. Bei der Schussabgabe und der darauffolgenden Zündung der Treibladung des Geschosses entstehen zusätzlich zu dem lauten Knall und der Wärme Gasschwadern; diese Gasschwadern drücken bei der Schussabgabe auf den Verschlussboden der Waffe.

Um die Kraft des Rückstosses zu berechnen, wird der sogenannte Rücklaufimpuls benötigt. Dieser wird schlussendlich durch die Zeitspanne gerechnet, bis der Schütze den Rücklaufimpuls spürt. Um die Kraft des Rückstosses zu berechnen, werden die Masse des Geschosses, dessen Geschwindigkeit und die Zeitspanne bis zum Fühlen des Impulses benötigt.

Um die Energie des Rückstosses einer Waffe zu berechnen, wird die Formel für die kinetische Energie verwendet, also $0.5 \cdot m \cdot v^2$. Wobei bei der Rückstossberechnung mit der gesamten Waffenmasse gerechnet wird und der sogenannten Rücklaufgeschwindigkeit. Diese muss für jede Waffe bestimmt werden. Um diese zu bestimmen, wird die Masse des Geschosses, die Masse der Waffe und die Mündungsgeschwindigkeit benötigt. [30]

Formeln:

Rücklaufimpuls;

$$\text{Rücklaufimpuls in kg} \times \text{m/s} = m_v \times v_v$$

Rücklaufgeschwindigkeit;

$$v_r = \frac{m_v \times v_v}{m_r}$$

Kraft des Rückstosses;

$$F = \frac{\text{Rücklaufimpuls}}{t_r}$$

Energie des Rückstosses;

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \times m_r \times v_r^2$$

m_v = Geschossmasse in Kilogramm

v_v = Geschossgeschwindigkeit in m/s

m_r = Gesamtgewicht der Waffe in Kilogramm

v_r = Rücklaufgeschwindigkeit in m/s

t_r = Zeitspanne des Impulses in Sekunden (grob 0.1s)

12

¹² Formeln: Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seiten 28 & 29, Kapitel 1.1.3

Mithilfe von diesen Formeln lassen sich die Rückstosskräfte und die Rückstossenergien der behandelten Waffen bestimmen und daraus ein Fazit ziehen.

4.3.1 Sturmgewehr 90

$$m_v = 0.0041 \text{ kg}$$

$$v_v = 905 \text{ m/s}$$

$$m_r = 4.005 \text{ kg}$$

$$t_r = 0.1 \text{ s}$$

$$\text{Rücklaufimpuls in } kg \times m/s = 0.0041 \text{ kg} \times 905 \text{ m/s} = 3.7105 \text{ kg} \times m/s$$

$$F = \frac{3.7105 \text{ kg} \times m/s}{0.1 \text{ s}} = 37.105 \text{ N}$$

$$v_r = \frac{0.0041 \text{ kg} \times 905 \text{ m/s}}{4.005 \text{ kg}} \approx 0.9264 \text{ m/s}$$

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \times 4.005 \text{ kg} \times 0.9264 \text{ m/s}^2 = 1.7185 \text{ J}$$

4.3.2 Sturmgewehr 57

$$m_v = 0.0113 \text{ kg}$$

$$v_v = 750 \text{ m/s}$$

$$m_r = 5.7 \text{ kg}$$

$$t_r = 0.1 \text{ s}$$

$$\text{Rücklaufimpuls in } kg \times m/s = 0.0113 \text{ kg} \times 750 \text{ m/s} = 8.475 \text{ kg} \times m/s$$

$$F = \frac{8.475 \text{ kg} \times m/s}{0.1 \text{ s}} = 84.75 \text{ N}$$

$$v_r = \frac{0.0113 \text{ kg} \times 750 \text{ m/s}}{5.7 \text{ kg}} \approx 1.4868 \text{ m/s}$$

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \times 5.7 \text{ kg} \times 1.4868 \text{ m/s}^2 = 6.3001 \text{ J}$$

4.3.3 Karabiner 31

$$m_v = 0.0113 \text{ kg}$$

$$v_v = 780 \text{ m/s}$$

$$m_r = 4.1 \text{ kg}$$

$$t_r = 0.1 \text{ s}$$

$$\text{Rücklaufimpuls in } kg \times m/s = 0.0113 \text{ kg} \times 780 \text{ m/s} = 8.814 \text{ kg} \times m/s$$

$$F = \frac{8.814 \times m/s}{0.1 \text{ s}} = 88.14 \text{ N}$$

$$v_r = \frac{0.0113 \text{ kg} \times 780 \text{ m/s}}{4.1 \text{ kg}} \approx 2.1497 \text{ m/s}$$

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \times 4.1 \text{ kg} \times 2.1497 \text{ m/s}^2 = 9.4734 \text{ J}$$

4.3.4 MP5

$$m_v = 0.008 \text{ kg}$$

$$v_v = 375 \text{ m/s}$$

$$m_r = 2.3 \text{ kg}$$

$$t_r = 0.1 \text{ s}$$

$$\text{Rücklaufimpuls in } kg \times m/s = 0.008 \text{ kg} \times 375 \text{ m/s} = 3 \text{ kg} \times m/s$$

$$F = \frac{3.7105 \text{ kg} \times m/s}{0.1 \text{ s}} = 30 \text{ N}$$

$$v_r = \frac{0.008 \text{ kg} \times 375 \text{ m/s}}{2.3 \text{ kg}} \approx 1.3043 \text{ m/s}$$

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \times 2.3 \text{ kg} \times 1.3043 \text{ m/s}^2 = 1.9563 \text{ J}$$

4.3.5 P30

$$m_v = 0.008 \text{ kg}$$

$$v_v = 360 \text{ m/s}$$

$$m_r = 0.65 \text{ kg}$$

$$t_r = 0.1 \text{ s}$$

$$\text{Rücklaufimpuls in kg} \times \text{m/s} = 0.008 \text{ kg} \times 360 \text{ m/s} = 2.88 \text{ kg} \times \text{m/s}$$

$$F = \frac{2.88 \times \text{m/s}}{0.1 \text{ s}} = 28.8 \text{ N}$$

$$v_r = \frac{0.008 \text{ kg} \times 360 \text{ m/s}}{0.65 \text{ kg}} \approx 4.4307 \text{ m/s}$$

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \times 0.65 \text{ kg} \times 4.4307 \text{ m/s}^2 = 6.3801 \text{ J}$$

4.3.6 Fazit des Rückstosses

Die Rückstosskraft hängt grundsätzlich nur von der Geschossmasse und Geschossgeschwindigkeit ab. Je grösser die Masse des Geschosses ist, desto grösser ist die Kraft. Bei einer Zunahme der Mündungsgeschwindigkeit erhöht sich die Kraft ebenfalls.

Man kann sehen, dass die Rückstossenergie stark von der Masse der Waffe abhängt. Je schwerer die Waffe ist, desto weniger Rückstossenergie bekommt die Schützin oder der Schütze bei der Schussabgabe zu spüren. Die Rückstossenergie ist im Vergleich zur Mündungsenergie sehr klein. Dies stimmt auch mit den Daten aus der Energiebilanz eines Schusses (Kap. 4.4) überein.

4.4 Energiebilanz bei der Schussabgabe

Bei der Schussabgabe wird durch die Zündung der Treibladung auf einen Schlag sehr viel Energie frei. Diese Energie zeigt sich als Schall, Wärme und Rückstoss. Doch diese Energie wird auch für andere Vorgänge während der Schussabgabe genutzt.

Am offensichtlichsten zeigt sich dies beim Ausziehen des Geschosses aus der Hülse sowie dem Einpressen in die Züge und andere Felder im Lauf. Folglich wird die Energie zur Beschleunigung des Geschosses in Richtung Mündung, aber auch zur Beschleunigung der Geschossrotation genutzt. Doch nicht nur das Geschoss wird durch die Energiefreisetzung beschleunigt, auch die Treibladungsgase werden in Richtung der Mündung geleitet. Ausserdem werden auch die rücklaufenden Waffenteile beschleunigt. Auch für weitere energetische Vorgänge ist die Treibladungsenergie verantwortlich, wie beispielsweise für die Reibung der Gasteilchen untereinander und am Waffenlauf. Bei halb- beziehungsweise vollautomatischen Waffen wird die Energie der Treibladung ausserdem genutzt, um die Waffe zu repetieren, entweder zum Spannen von Federn der Rückstossfeder oder um die Gasspeicher der Gasdruckfeder zu füllen. Die Energie des Abschusses ist essenziell für die Überwindung der Reibung, welche auf das Geschoss wirkt.

Nach der Schussabgabe kommt aus der Mündung nicht nur das Geschoss, sondern auch die Treibladungsgase sowie unverbrannte Treibladungsteilchen

Grobe Energiebilanz der Schussabgabe:

- 30 – 50% Geschossenergie in Schussrichtung
- 45% der Energie in den Treibladungsgasen, sprich Wärme, Druck und Bewegung
- 25% für die Wärmeabgabe an Waffenteile (Lauf und andere Teile), an das Geschoss und an die Hülse
- 2% für die Rückstossenergie
- <1% der Geschossenergie durch den Drall
- 3% Reibungsenergie

Es handelt sich bei diesen Werten lediglich um Richtwerte, denn diese Werte hängen stark von den Lauftypen, dem Treibladungspulver und dem Geschoss ab. Was allerdings erstaunt ist die Tatsache, dass nur maximal 50% der Treibladungsenergie als Geschossenergie weitergegeben wird. Was man ausserdem sehen kann, ist, dass der Faktor Wärme ein wichtiger Punkt in der Waffennutzung ist. Wärme spielt eine wichtige Rolle, wenn es um den Verschleiss von Waffen geht - unabhängig ob man vom Lauf oder von den restlichen Waffenteilen spricht. [31]

4.5 Schwingungen des Laufes

Bei der Schussabgabe kommt durch die Bewegung des Geschosses, der Treibladung und deren Gasschwadern der Lauf in allen drei Achsen zu Schwingungen. Diese sind von der Materialart, der Wandstärke, der Lagerung und der Länge sowie unter Umständen von Fertigungsfehlern und dem Verschleiss des Laufes abhängig. Fertigungsfehler und Verschleissfaktoren sind einfach zu finden und auch einfach zu beheben. Die anderen Faktoren sind nur schwer auszubessern. Für diese sind aufwendige Computerprogramme notwendig, welche die Faktoren auf die beste Einstellung berechnen müssen.

Es lässt sich festhalten:

- Die Schwingungen des Waffenlaufes dauern vom Aufschlag des Schlagbolzens auf dem Treibladungszünder, bis das Geschoss den Lauf verlassen hat.
- Die Laufschwingungen treten bei einseitig eingespannten Läufen sowie bei Läufen, welche mehrfach gelagert sind, auf.
- Die Laufschwingungen sind einem eingespannten Stab mit Grundton und Oberschwingungen ähnlich. Wobei die Oberschwingungen für den Abgangsfehler verantwortlich sind.
- Die Schwingungen werden bei kleineren Treibladungsmengen früher abklingen, bevor das Geschoss den Lauf verlässt.
- All diese Ergebnisse lassen sich auch auf Waffen übertragen, welche mit grösseren Kalibern feuern.

Hat man eine Länge gefunden, welche optimal für den Waffenlauf ist, können andere Umweltfaktoren die Treffgenauigkeit verschlechtern. Dies wären beispielsweise eine einseitige Sonneneinstrahlung, Laufdurchhang, Lauferwärmung durch eine hohe Anzahl von Schüssen sowie die Verschmutzung der Waffe. Aus diesem Grund müssen heutzutage bei neuen Ballistikrechnern der Waffenanlagen unzählige Einflussfaktoren einbezogen und berücksichtigt werden.

Das Treffergebnis wird auch durch die Schwingungen des Laufes beeinflusst, welche durch das Geschoss ausgelöst werden. Die Schwingungen können sogar die Funktionstüchtigkeit des Zünders stören. Im Lauf wird das Geschoss an mindestens zwei radialen Flächen geführt. Im hinteren Bereich des Geschosskörpers befindet sich in der Regel das Führungsband und im vorderen Bereich eine hervorstehende Fläche oder eine Wulst. Es kann dabei zu Schwingungen an der Längsachse durch Fertigungstoleranzen kommen. Diese Schwingungen an der Längsachse wirken sich allerdings negativ auf die Treffwahrscheinlichkeit aus. Geschosse mit einer dünnen Hülle neigen dazu, in der Längsachse zu schwingen. Hervorgerufen wird dies durch die Beschleunigung bei der Schussabgabe. Ebenso kann schon der Zünder dadurch so weit geschädigt werden, dass daraus ein Blindgänger resultiert. [32]

4.6 Waffenverschleiss

Bei jeder Schussabgabe wirken Wärme, Reibung und Druck auf den Lauf. Dies führt nach einiger Zeit bei der Nutzung der Waffe zum Verschleiss des Laufes. Der hohe Druck und die hohen Temperaturen haben zur Folge, dass sich Kohlenstoffteilchen im Stahl der Waffe absetzen. Daraus folgt, dass der Stahl weniger elastisch ist und spröde wird. Wie stark der Verschleiss einer Waffe ist, hängt wiederum von der Geschossform, der Geschossart, des Materials des Führungsbandes und der Treibladungsart ab. Dabei ist die Pflege der Waffe essenziell, denn der Verschleiss ist auch stark abhängig von der Sauberkeit der Waffenbestandteile. Bei unterschiedlichen Kalibern gibt es Werte, welche ungefähr angeben, wie viele Schüsse abgegeben werden können, bis die Waffenbestandteile so stark unter dem Verschleiss leiden, dass sie ausgetauscht werden müssen. Mit kleineren Kalibern ist die Schussmenge höher als bei grossen Kalibern. Zum Vergleich: Es können bei Maschinengewehren bis zu 20'000 Schuss und bei Panzermunition nur bis zu etwa 1'500 Schuss abgegeben werden, bis der Waffenlauf ausgeschossen ist und somit ersetzt werden muss

Wichtig zu erwähnen ist, dass sich der Verschleiss auch je nach Typ des Waffenlaufes unterscheidet, denn Glattläufe haben einen kleineren Verschleiss als Polygonläufe. Polygonläufe haben allerdings einen geringeren Verschleiss als gezogene Läufe. [33]

4.6.1 Glattläufe, gezogene Läufe & Polygonläufe

Bei den verschiedenen Lauftypen unterscheidet sich vor allem die Oberfläche innerhalb des Laufes. Wie der Name beschreibt, ist bei Glattläufen die Oberfläche glatt und ohne jegliche Züge. Glattläufe werden vor allem bei Panzerkanonen oder Mörsern genutzt, also bei Waffen, die nur einige Schuss pro Minute abgeben können und grosse Kaliber besitzen.

Der gezogene Lauf besitzt Züge, welche sich durch den ganzen Lauf ziehen und die Präzision so verbessern. Waffen, welche gezogene Läufe besitzen, sind für eine höhere Feuerrate ausgelegt als Waffen mit Glattläufen. Für eine sehr hohe Feuerrate werden Polygonläufe eingesetzt.

Polygonläufe sehen im Querschnitt aus wie Polygone, besitzen also auch eine Art Züge, welche allerdings gerade am Lauf nach vorne verlaufen. Die normalen Züge schwingen um den Lauf. Bei Waffen mit hoher Feuerrate wie beispielsweise bei Maschinengewehren werden Polygonläufe angewendet, da bei diesen die Reibung und die Wärmeentwicklung kleiner sind und somit der Verschleiss geringer ist. [34]



13

¹³ Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seite 141, Bild 3.3

4.7 Rückstosslader

Als Reaktion auf die Zündung der Treibladung wird Energie frei, welche sich auch als Rückstoss erkennbar macht. Diese Rückstossenergie wird genutzt, um den Verschluss der Waffe nach hinten zu drücken und somit die leere Hülse auszuwerfen und den Hammer der Waffe wieder zu spannen.

Mithilfe einer Feder, welche sich unmittelbar hinter dem Verschluss befindet oder welche mit dem Schlitten einer Pistole verbunden ist, wird der Verschluss wieder nach vorne gebracht. Dabei wird eine neue Patrone aus dem Magazin ins Patronenlager gebracht. Die Waffe ist wieder abschussbereit. [35]

4.8 Gasdrucklader

Bei der Schussabgabe werden ausserdem Gase frei, welche mit einer grossen Energie mit dem Geschoss aus der Mündung der Waffe kommen. Bei den Gasdruckladern macht man sich genau diese Gase zu nutzen, in dem man diese während des Wegs vom Verschluss zur Mündung abfängt und sie für den Nachladezyklus verwendet. Dabei wird der Verschluss mithilfe dieser Gase nach hinten gedrückt und die leere Hülse wird ausgeworfen und der Hammer wird gespannt. Auch Gasdrucklader besitzen eine Feder, welche mit dem Verschluss verbunden ist und diesen nach vorne bringt, um eine neue Patrone ins Patronenlager zu drücken. [36]

5. Abgangsballistik

Die Abgangsballistik beginnt dann, wenn die Gasdruckkurve abbricht, da das Geschoss die Mündung erreicht hat. Hat eine Waffe keine Mündungsbremse (*Kap. 8.3*), so strömen die Treibladungsgase am Geschoss vorbei. Allerdings drückt in der Folge auch ein Teil der Gase auf den Geschossboden, was das Geschoss zusätzlich für einige Meter beschleunigt. Diese zusätzliche Beschleunigung ist der Grund, warum bei Messungen der Mündungsgeschwindigkeit der Geschwindigkeitsmesser 5 bis 10 Meter von der Mündung entfernt ist, um die korrekte Geschwindigkeit zu messen.

Bei der Berechnung des Rückstosses (*Kap. 4.3*) wurde die Nachbeschleunigung des Geschosses noch nicht berücksichtigt. Das bedeutet, dass man sie jetzt in die Rechnung einbeziehen muss. Man kann mit einer Erhöhung des Rücklaufimpulses und der Rückstosskraft von etwa 20% rechnen.

- Sturmgewehr 90:

Berechneter Rücklaufimpuls	Berechneter Rückstoss	Rücklaufimpuls +20%	Rückstoss +20%
3.7105 kg x m/s	37.105 N	4.4526 kg x m/s	44.526 N

- Sturmgewehr 57:

Berechneter Rücklaufimpuls	Berechneter Rückstoss	Rücklaufimpuls +20%	Rückstoss +20%
8.475 kg x m/s	84.75 N	10.17 kg x m/s	101.7 N

- Karabiner 31:

Berechneter Rücklaufimpuls	Berechneter Rückstoss	Rücklaufimpuls +20%	Rückstoss +20%
8.814 kg x m/s	88.14 N	10.5768 kg x m/s	105.768 N

- MP5:

Berechneter Rücklaufimpuls	Berechneter Rückstoss	Rücklaufimpuls +20%	Rückstoss +20%
3 kg x m/s	30 N	3.6 kg x m/s	36 N

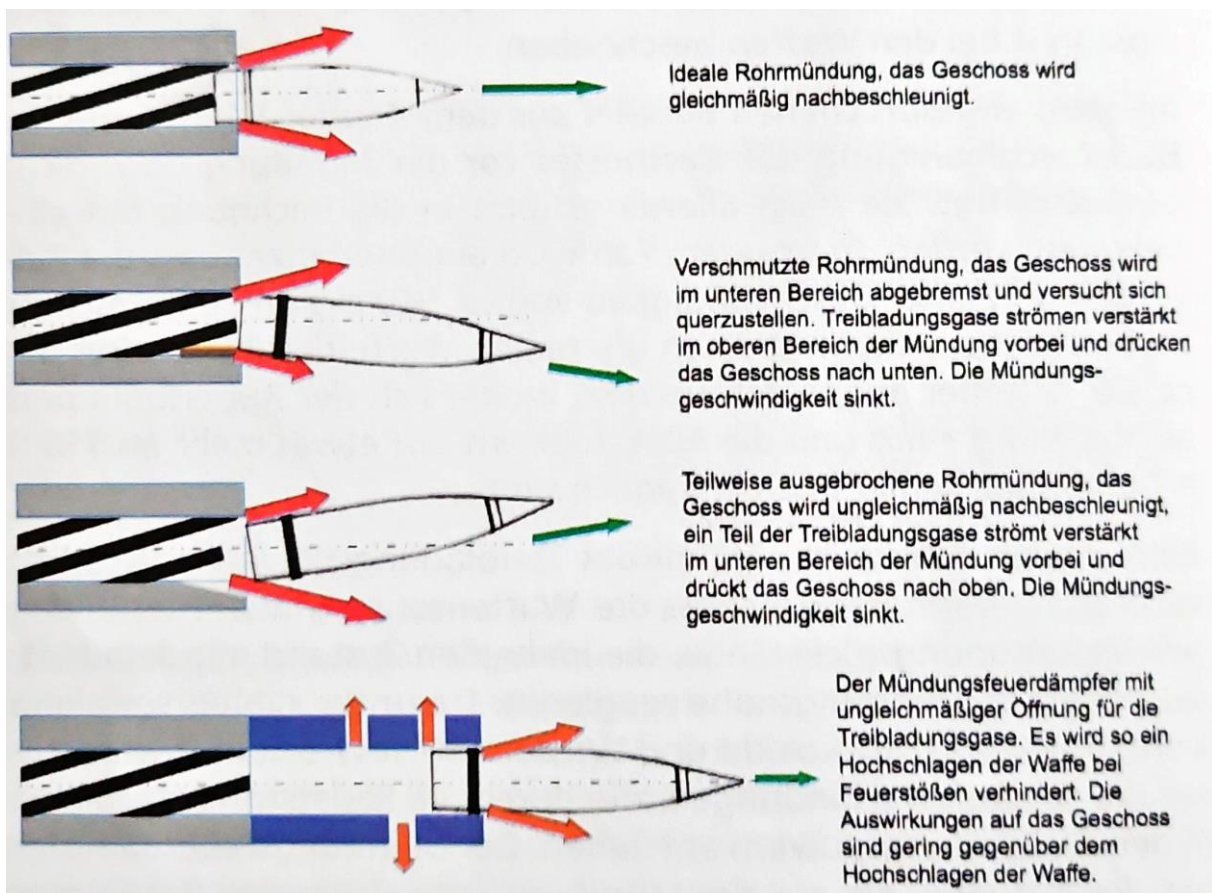
- P30:

Berechneter Rücklaufimpuls	Berechneter Rückstoss	Rücklaufimpuls +20%	Rückstoss +20%
2.88 kg x m/s	28.8 N	3.456 kg x m/s	34.56 N

Bei Verlassen der Mündung des Geschosses ist beim realen Schuss noch nicht das ganze Treibladungspulver verbrannt. Es bilden sich daher Verbrennungsrückstände, welche an der Mündung mit dem Sauerstoff aus der Luft reagieren. Durch die Sauerstoffunterbilanz in den Treibladungspulver entstehen Kohlenmonoxid, Stickoxide, Wasserstoff und bei Schwarzpulver ausserdem Schwefeloxide. Aus diesem Grund gibt es den sogenannten Mündungsfeudämpfer (*Kap. 8.4*). Seine Aufgabe ist es, durch Verringerung der Flamme, welche aus der Mündung entweicht, die Waffe schwerer sichtbar zu machen. Dies geschieht, weil die Mündungsfeudämpfer die Entflammtemperatur der austretenden Gase möglichst tief hält. Ausserdem hat der Mündungsfeudämpfer bei Gewehren, welche in schnellen Serien feuern können, auch die Aufgabe, das Hochschlagen beim Schiessen zu verhindern. Der Mündungsfeudämpfer funktioniert durch seinen Aufbau. Am oberen Teil hat er grössere Bohrlöcher und am unteren Teil kleinere.

Das ist auch der Grund, warum der Mündungsfeuertdämpfer auf eine Mündung definiert aufzuschrauben ist. Ausserdem gibt es grosse, trichterförmige Lauferweiterungen, diese sind allerdings nur dafür da, um den Schützen durch die Flamme nicht zu blenden.

Die Abgangsballistik ist wichtig für die Treffgenauigkeit. Für jegliche Geschossstreuung kann man in der Abgangsballistik eine Erklärung finden. Viele weitere Mängel können neben der Laufschwingung den Geschossweg beeinflussen. Dazu gehören verschmutzte Mündungsfeuertdämpfer und Mündungsbremsen, Züge und Felder, welche ausgebrochen sind (Resultat von Verschleiss und möglicher Vernachlässigung der fachgerechten Behandlung der Waffen) und Fertigungsmängel. Auch Sand und Erde können sich im Mündungsbereich befinden. Dies führt definitiv zu einer geringeren Mündungsgeschwindigkeit und kann auch sehr gefährlich enden. Es kann im schlimmsten Fall auch zu einer Laufzerlegung oder zum Aufreißen der Mündungsfeuertdämpfer führen. Daher ist die Reinigung des Laufes und eine darauffolgende Laufkontrolle äusserst wichtig, um Unfälle zu vermeiden.



14

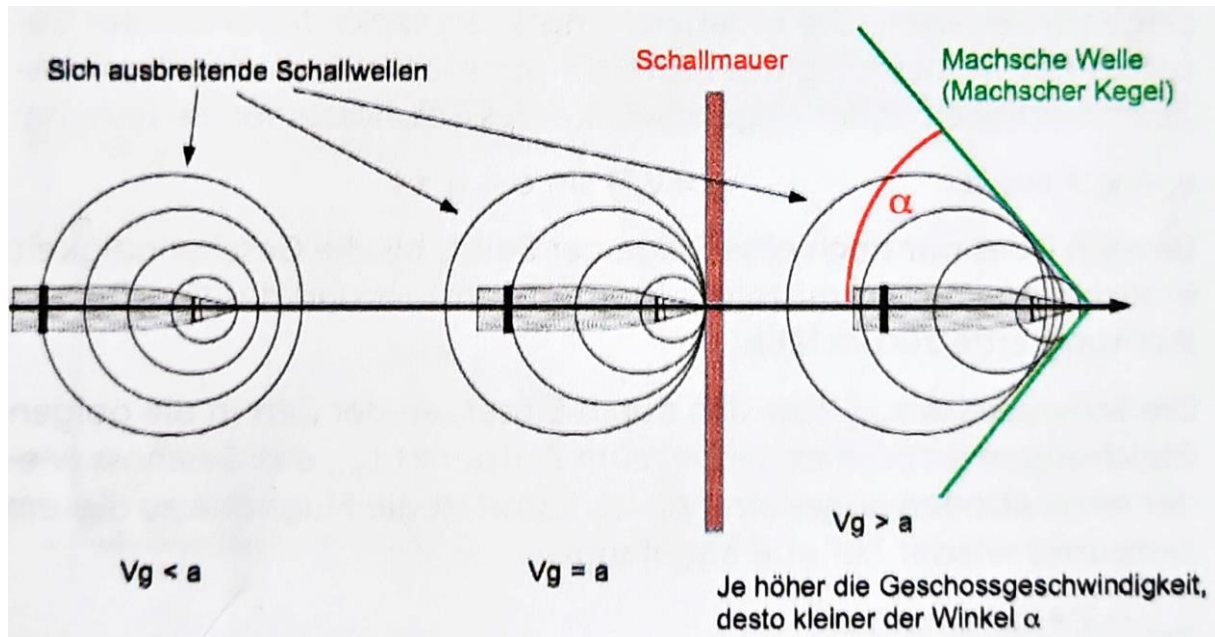
Die Geräuschentwicklung der Schussabgabe hat deutliche Auswirkungen auf die Umwelt. Jedoch muss zwischen dem Mündungsknall und dem möglich auftretenden Geschossknall unterschieden werden. Durch das Expandieren der Gase, welche sich vor der Mündung entspannen, entsteht der Mündungsknall. Er kann möglicherweise durch Nachbrennen der noch nicht verbrannten Treibladungsreste sowie brennbaren Verbrennungsrückständen verstärkt werden. Mithilfe eines Schalldämpfers (Kap. 8.1) kann der Mündungsknall weitgehend unterdrückt werden.

¹⁴ Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seite 34, Bild 1.3

Der Geschossknall entsteht, wenn das Geschoss schneller als mit Schallgeschwindigkeit fliegt, das heisst schneller als etwa 330 m/s. Im Gegensatz zum Mündungsknall lässt sich der Geschossknall nicht unterdrücken. Der Knall ist zu hören, bis das Geschoss nicht mehr im Überschallbereich fliegt.

Auf die Verdichtung der Luft vor dem Geschoss, woraus eine Verdünnung der Luft entsteht, folgt der Überschallknall. Durch diese Störung in der Luftmasse bildet sich die sogenannte Machsche Welle. Es handelt sich hierbei um eine nach hinten offene und kegelförmige Welle.

Man kann beide Geräusche ab einer gewissen Entfernung von der Waffe gut unterscheiden. Befindet sich ein Beobachter beispielsweise in einem Bereich vor der Mündung, kann er zuerst den Geschossknall und dann den Mündungsknall hören. [37]



15

6. Aussenballistik

Bei der Aussenballistik befasst man sich mit dem Geschoss ausserhalb der Waffe und nach der Abgangsbalistik. Sie wird durch die Beschaffenheit des Geschosses, der Schwerkraft, dem Schusswinkel und von Wetterbedingungen wie Wind und Windrichtung beeinflusst. [38]

6.1 Geschossflugbahn im Vakuum

6.1.1 Die Parabelgleichung

Die Erdanziehungskraft ist im Fall der einfachen Geschossflugbahn der einzige Einfluss. Grundsätzlich wird die Erdanziehungskraft mit der Konstanten 9.81 m/s^2 angegeben. In der Realität nimmt die Erdanziehungskraft mit zunehmender Höhe ab. Ausserdem ist sie aufgrund der geringeren Zentrifugalkraft an den Polen stärker als am Äquator. Auch Erdabplattung sowie Anomalien können Einfluss auf die Erdanziehungskraft nehmen.

Mithilfe eines Vektors kann man die Geschosseschwindigkeit darstellen, wobei die x-Achse parallel zur Erdoberfläche steht und die y-Achse senkrecht zur Erdoberfläche - sie zeigt also zum Erdmittelpunkt. Auf das Geschoss wirkt die Erdanziehungskraft dabei nur in Richtung des Erdmittelpunktes. Auch der Abgangswinkel des Geschosses ist neben der Geschwindigkeit des Geschosses wichtig:

$$v_x = v_0 \times \cos(\alpha)$$

$$v_y = v_0 \times \sin(\alpha) - g \times t$$

v_0 : Geschosseschwindigkeit bei Mündung

v_x : Geschosseschwindigkeit an der x-Achse

v_y : Geschosseschwindigkeit an der y-Achse

α : Abgangswinkel des Geschosses

g : Erdanziehungskraftkonstante; 9.81 m/s^2

t : Zeit, bis Geschoss nicht mehr steigt und wieder in Richtung Erde fällt.

16

Durch das Einsetzen der Zeit in die obere Formel lässt sich die Schussweite $x_{\max}$ berechnen. Zum Zeitpunkt $t_{\max}$ ist das Geschoss wieder auf dem Boden eingeschlagen. Das bedeutet, dass die Flughöhe damit wieder bei null angekommen ist:

$$t_{\max} = 2 \times \frac{v_0}{g} \times \sin(\alpha)$$

$$x_{\max} = \frac{v_0^2}{g} \times \sin(2\alpha)$$

$t_{\max}$: Zeitpunkt bei dem das Geschoss den Boden wieder erreicht hat

$x_{\max}$: Schussweite

v_0 : Geschosseschwindigkeit bei Mündung

α : Abgangswinkel

g : Erdanziehungskraftkonstante; 9.81 m/s^2

17

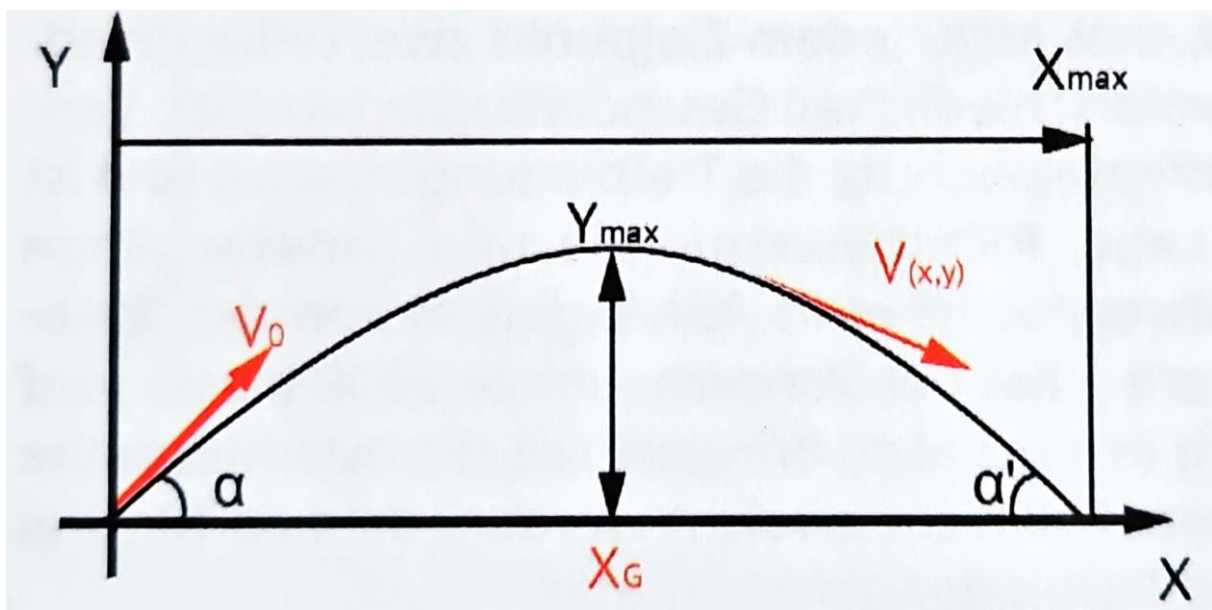
¹⁶ Formel: Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seite 36, Kapitel 1.3.1.1

¹⁷ Formel: Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seite 36, Kapitel 1.3.1.1

Die theoretisch maximale Schussweite lässt bei der Betrachtung der Formel mit dem Abgangswinkel von 45° erreichen, denn $\sin(2\alpha)$ entspricht 1. Ist der Winkel grösser oder kleiner als 45° nimmt die Schussweite ab. Daraus lässt sich schliessen, schießt man mit einem Winkel von $45^\circ + n^\circ$ (obere Winkelgruppe) erhält man die gleiche Schussweite, wie bei $45^\circ - n^\circ$ (untere Winkelgruppe).

Bei vorgegebener Schussweite können die Geschossflugzeiten, welche mit zunehmender Steigung des Laufes zunehmen, Unterschiede aufweisen. Man muss allerdings beachten, dass auf das Geschoss weitere Faktoren einwirken können, falls es längere Zeit in der oberen Winkelgruppe fliegt. Dies wären beispielsweise das Wetter und die Erddrehung. Daraus lässt sich schliessen, dass in der oberen Winkelgruppe die Treffgenauigkeit schlechter ist als in der unteren Winkelgruppe.

Bei Hand- und Faustfeuerwaffen wird meist in der unteren Winkelgruppe geschossen. In der oberen Winkelgruppe kommen vermehrt Waffen wie Mörser zum Zug.



18

Mithilfe der Wurfparabel kann man die vollständige Flugbahngleichung erhalten:

$$y = \frac{x \times \tan(\alpha) - (g \times x)}{2 \times v_0^2 \times \cos(\alpha)^2}$$

x: Flugstrecke

α : Abgangswinkel

v_0 : Geschossgeschwindigkeit bei Mündung

g: Erdbeschleunigungskonstante; 9.81 m/s^2

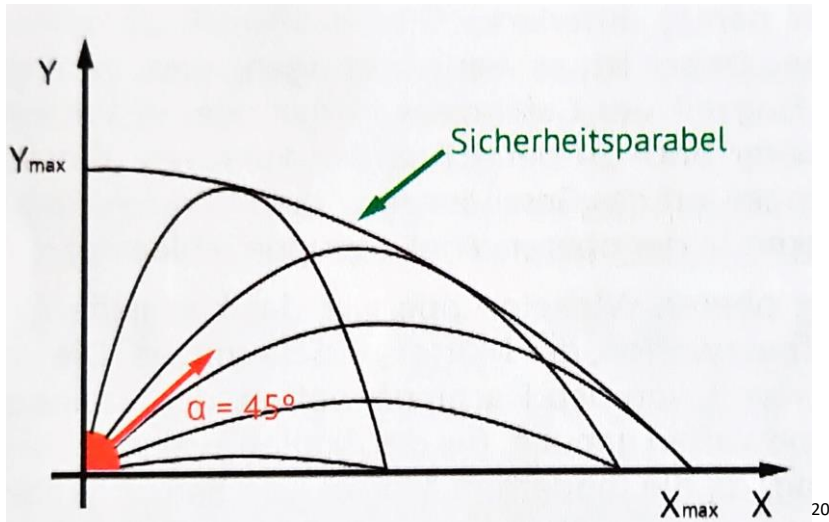
19

Der Abgangswinkel α ist im luftleeren Raum gleich wie der Aufschlagwinkel α' . Das Geschoss erreicht die Gipfelhöhe $y_{\max}$ nach der Hälfte der Flugstrecke x_g .

¹⁸ Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seite 37, Bild 1.5

¹⁹ Formel: Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seite 37, Kapitel 1.3.1.1

Spielt man bei dieser Gleichung bei vorgegebener Mündungsgeschwindigkeit mit verschiedenen Werten des Abgangswinkels, wird man als umhüllende aller möglichen Geschossflugbahnen die Sicherheitsparabel bekommen. Wenn der Abgangswinkel so ist, dass er bei vorgegebener Mündungsgeschwindigkeit und waagerechter Ziellinie ausserhalb dieser Parabel liegt, kann das Ziel nicht mehr erreicht werden. Bei $\alpha = 45^\circ$ erhält man die maximale Schussweite und bei $\alpha = 90^\circ$ erhält man die maximale Flughöhe $y_{\max}$. Ausser bei 90° können alle Geschosse, welche sich in der unteren oder oberen Winkelgruppe befinden, das Ziel erreichen.



Beim Bild ist gut zu sehen, dass es immer zwei unterschiedliche Winkel gibt, welche das gleiche Ziel treffen. [39]

Berechnung der theoretischen, maximalen Dauer und Weite des Schusses:

- Sturmgewehr 90:

$$t_{\max} = 2 \times \frac{v_0}{g} \times \sin(\alpha) = 2 \times \frac{905 \text{ m/s}}{9.81 \text{ m/s}^2} \times \sin(45^\circ) \approx 130.465 \text{ s}$$

$$x_{\max} = \frac{v_0^2}{g} \times \sin(2 \alpha) = 2 \times \frac{(905 \text{ m/s})^2}{9.81 \text{ m/s}^2} \times \sin(2 \times 45) \approx 166.977 \text{ km}$$

- Sturmgewehr 57:

$$t_{\max} = 2 \times \frac{v_0}{g} \times \sin(\alpha) = 2 \times \frac{750 \text{ m/s}}{9.81 \text{ m/s}^2} \times \sin(45^\circ) \approx 108.120 \text{ s}$$

$$x_{\max} = \frac{v_0^2}{g} \times \sin(2 \alpha) = 2 \times \frac{(750 \text{ m/s})^2}{9.81 \text{ m/s}^2} \times \sin(2 \times 45) \approx 114.678 \text{ km}$$

- Karabiner 31:

$$t_{max} = 2 \times \frac{v_0}{g} \times \sin(\alpha) = 2 \times \frac{780 \text{ m/s}}{9.81 \text{ m/s}^2} \times \sin(45^\circ) \approx 112.445 \text{ s}$$

$$x_{max} = \frac{v_0^2}{g} \times \sin(2 \alpha) = 2 \times \frac{(780 \text{ m/s})^2}{9.81 \text{ m/s}^2} \times \sin(2 \times 45) \approx 124.036 \text{ km}$$

- MP5:

$$t_{max} = 2 \times \frac{v_0}{g} \times \sin(\alpha) = 2 \times \frac{375 \text{ m/s}}{9.81 \text{ m/s}^2} \times \sin(45^\circ) \approx 54.06 \text{ s}$$

$$x_{max} = \frac{v_0^2}{g} \times \sin(2 \alpha) = 2 \times \frac{(375 \text{ m/s})^2}{9.81 \text{ m/s}^2} \times \sin(2 \times 45) \approx 28.669 \text{ km}$$

- P30:

$$t_{max} = 2 \times \frac{v_0}{g} \times \sin(\alpha) = 2 \times \frac{360 \text{ m/s}}{9.81 \text{ m/s}^2} \times \sin(45^\circ) \approx 51.897 \text{ s}$$

$$x_{max} = \frac{v_0^2}{g} \times \sin(2 \alpha) = 2 \times \frac{(360 \text{ m/s})^2}{9.81 \text{ m/s}^2} \times \sin(2 \times 45) \approx 26.422 \text{ km}$$

6.1.2 Treffen eines Zieles auf anderer Höhe

Wenn die Waffe und das Ziel nicht auf einer Höhe liegen, ist die Ziellinie nicht mehr waagrecht. In so einem Fall muss der Abgangswinkel verändert werden. Wird dieser nicht verändert würde es, wenn man einen Berg hinaufschiesst, zu einem Kurzschuss kommen. Würde man den Berg hinab schießen, ohne den Abgangswinkel zu ändern, käme es zu einem Weitschuss.

Eine einfache Formellösungen gibt es nicht, jedoch ist die Lendersche Formel einigermaßen anwendbar. Es muss allerdings angenommen werden, dass die Schrägschussweite etwa der Schussentfernung in der Ebene entspricht. Der Winkel Y beschreibt den Höhenunterschied h zur Schussentfernung x , der Winkel α beschreibt den Aufsatzwinkel für eine Schussentfernung in der Ebene. Damit lässt sich der gesuchte Aufsatzwinkel β berechnen. [40]

$$\beta = 0.5 \times (\sin^{-1}(\sin(2 \times \alpha) \times \cos(Y)^2 + \sin(Y)) - g)$$

$$\text{mit } \tan Y = \frac{h}{x}$$

Y : Geländewinkel

α : Aufsatzwinkel

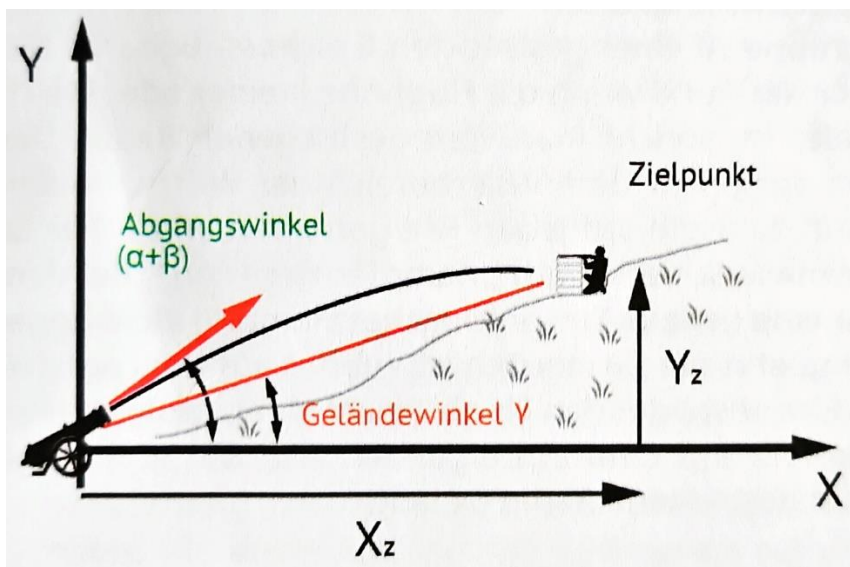
β : Aufsatzwinkel

g : Erdbeschleunigungskonstante; 9.81 m/s^2

h : Höhenunterschied

x : Schussentfernung

21



22

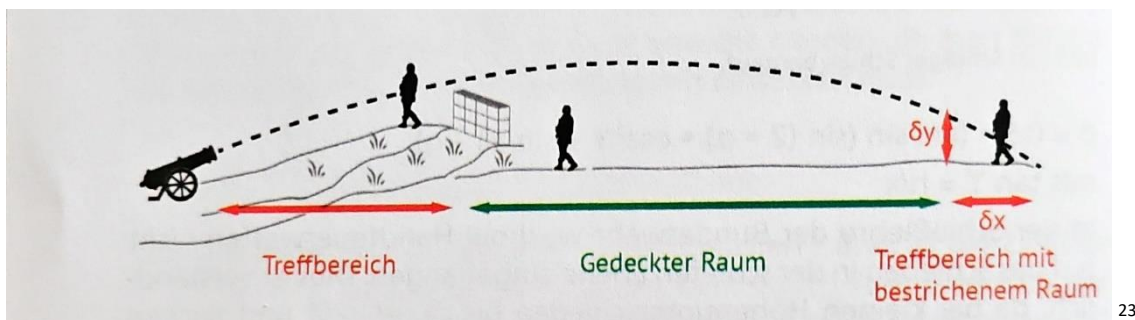
²¹ Formel: Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seite 39, Kapitel 1.3.1.2

²² Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seite 39, Bild 1.7

6.1.3 Gedeckter sowie bestrichener Raum

Die hohen Geschossgeschwindigkeiten können beim Schiessen in der unteren Winkelgruppe zu einer Geschossflugbahn, welche gestreckt ist, führen. Dabei ist die Gipfelhöhe sehr flach. Man spricht vom bestrichenen Raum, wenn die Flughöhe kleiner oder gleich der Höhe des Zieles ist. Der bestrichene Bereich entspricht hierbei dem Visierbereich der Waffe, also dort, wo beim Anhalten auf die Zielfront definitiv getroffen wird. Die Flugbahn ist dabei parabelähnlich, das heisst es gibt auf dem auf- und absteigenden Flugbahnast einen bestrichenen Raum. In der Grafik ist er auf dem absteigenden Ast abgebildet. Mit der Zielhöhe von δ_y ist der bestrichene Raum in diesem Fall δ_x lang.

Ziele, welche sich hinter einer Deckung befinden, sind mit Geschossen, welche mit gestreckten Flugbahnen fliegen, nur schwer erreichbar. Man spricht vom sogenannten gedeckten Raum. [41]



23

6.2 Geschossflugbahn im realen Raum

6.2.1 Die Atmosphäre

Für die Berechnung der Geschossflugbahn im realen Raum ist es wichtig, die Atmosphäre genauer zu betrachten.

Schiesst man in der unteren Winkelgruppe, bleiben die Umweltfaktoren wie Luftdruck, Temperatur, Schallgeschwindigkeit, Luftfeuchtigkeit und Seitenwind etwa konstant. Beim Schiessen in der oberen Winkelgruppe ändert sich dies jedoch und die Umweltfaktoren können stark variieren. Beispielsweise je höher das Geschoss fliegt, desto mehr ändert sich der Luftdruck. Es sind bestimmte Annahmen zu beachten, welche von der DIN ISO 2533 und der ICAO (International Civil Aviation Organization) gestellt sind:

- Auf der Erdoberfläche herrscht in der Regel ein Standard-Luftdruck von 1013.25 hPa. Der Luftdruck nimmt in den unteren Luftschichten in der Regel um etwa 1 hPa pro acht Meter Höhe ab. Als weitere Faustformel gilt, dass der Luftdruck jede 5'500 Meter halbiert werden kann. Zur genauen Berechnung des Luftdruckes wird eine Exponentialfunktion genutzt. Diese geht allerdings davon aus, dass sich die Lufttemperatur nicht verändert. Zu beachten ist, dass bei abnehmendem Luftdruck, also bei abnehmender spezifischer Masse, ein Geschoss eine weitere Distanz zurücklegen kann, da sich der Luftwiderstand verringert.
- Als Normwert beginnt die Lufttemperatur bei 15.0 °C. In der Troposphäre (0 – 15km Höhe) nimmt diese jeden Kilometer etwa 6 °C ab. In der Stratosphäre herrscht eine konstante Temperatur von -40 °C – -50°C. Diese steigt dann bei etwa einer Höhe von 50 km auf 0 °C auf. Da allerdings bei dieser Höhe die Anzahl Luftmoleküle pro Volumeneinheit so gering ist, würde man von den «warmen» 0 °C nichts spüren.

²³ Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seite 40, Bild 1.8

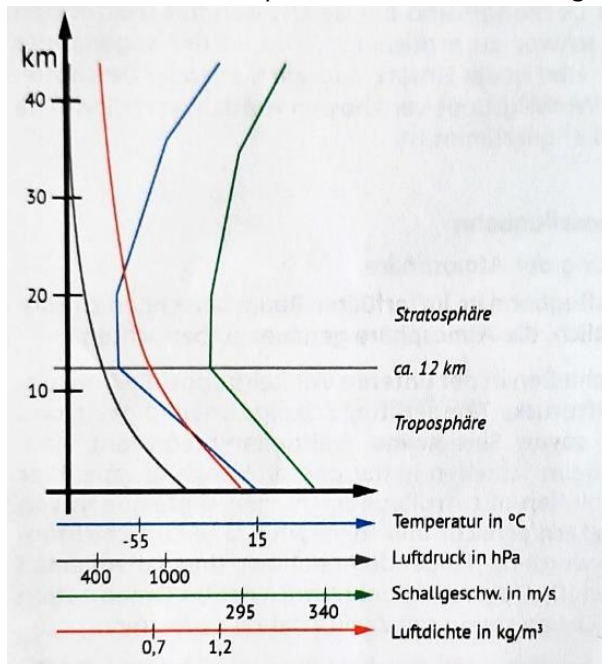
- Die Schallgeschwindigkeit a ist grundsätzlich nur von der Lufttemperatur abhängig und wird bei einer Höhensteigung immer geringer. Am Boden gilt die Schallgeschwindigkeit a_0 von 340.29 m/s. Bis 11 km im Höhenbereich gilt:

$$a = a_0 \times \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

a : derzeitige Schallgeschwindigkeit
 a_0 : Schallgeschwindigkeit am Boden
 T : derzeitige Temperatur
 T_0 : generelle Temperatur am Boden

24

- In der Standardatmosphäre wird die Luftfeuchtigkeit nicht betrachtet und auf 0% gesetzt.



25

[42]

²⁴ Formel: Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seite 42, Kapitel 1.3.2.1

²⁵ Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seite 42, Bild 1.9

6.2.2 Schwerkraft, Luftwiderstand und Verschleppung als Einflussfaktoren

Zur Beschreibung der Geschossflugbahn im luftleeren Raum musste nur die Erdanziehungskraft als Einflussfaktor betrachtet werden. Sie wurde allerdings als Konstante angegeben. Die Erdanziehungskraft kann an bodennahen Geschossen auch noch als Konstante genutzt werden. Allerdings nimmt sie im realen Raum pro Kilometer Höhe um etwa 3.1 mm/s^2 ab.

Als weiterer wichtiger Faktor muss die Erddrehung betrachtet werden. Sie hat keinen direkten Einfluss auf das Geschoss jedoch dreht sich die Erde unter dem Geschoss weiter. Dies führt zu Ablagen (Entfernung zum Ziel, welches man treffen wollte) in der Treffgenauigkeit. Dies passiert durch den Coriolis-Effekt:

- Schiesst man senkrecht in die Höhe, dann wird das Geschoss beim Hinauffliegen nach Westen und beim Hinabfliegen nach Osten abgelenkt. Das führt zu einem Versatz nach Westen, welcher am Äquator grösser wird.
- Wird in genauer Ost-West-Richtung geschossen, bewegt sich die Erdoberfläche entweder mit dem Geschoss mit oder dem Geschoss entgegen. Dies hat Einfluss auf die Fliehkraft und die relative Geschwindigkeit des Geschosses zur Erdoberfläche.
- Schiesst man in genauer Nord-Süd-Richtung, dann kommt es auf der Nordhalbkugel zu einer seitlichen Ablage nach rechts und auf der Südhalbkugel nach links. Wird ein gleichmässiger Schuss geschossen, welcher die Gipfelhöhe über dem Äquator erreicht, dann heben sich die Ablagen gegenseitig auf.

Das Geschoss wird entsprechend der Querschnittsbelastung durch den Luftwiderstand abgebremst. Es wird dabei der Einfluss der Schwerkraft von der Bremskraft des Luftwiderstands um ein Vielfaches übertroffen. Das ist der Grund, warum der Luftwiderstand bei der Berechnung der realen Geschossflugbahn auf jeden Fall berücksichtigt werden muss. Die reale Geschossflugbahn ähnelt dadurch einer gestauchten Parabelkurve. Die Querschnittsbelastung Q hat dabei einen Einfluss auf den Luftwiderstand. Als Formel wird sie definiert als:

$$Q = \frac{m}{F}$$

Q: Querschnittsbelastung

m: Masse des Geschosses

F: Geschossquerschnittsfläche

26

Der Abbremseneffekt durch die Luft wird geringer je grösser die Querschnittsbelastung wird. Da der Luftwiderstand nicht nur von der Geschwindigkeit abhängig ist, sondern auch von der Geschossform, muss der Luftwiderstand auch noch anders betrachtet werden.

- Weil die Luft durch das Geschoss beiseitegedrängt werden muss, entsteht an der Stirnseite des Geschosses ein Überdruck. Aus der beiseite gedrängten Luft entstehen erst Wirbel, welche sich an den Seiten des Geschosses fortsetzen. Man spricht dabei vom Wellenwiderstand.
- Das Geschoss wird durch die Luftreibung an der Oberfläche des Geschosses und der umliegenden Luft abgebremst. An Kanten wie beispielsweise den Führungsbändern bilden sich weitere Wirbel, welche die Abbremsung des Geschosses begünstigen. Auch die Struktur der Geschossoberfläche ist nicht zu vernachlässigen, denn es kann dazu kommen, dass durch die mehr oder weniger raue Oberfläche Luftmoleküle mitgerissen werden.

²⁶ Formel: Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seite 43, Kapitel 1.3.2.2

- Hinter dem Geschoss entsteht ein Vakuum, in das die Luft hineinströmt. Das führt zu einer Bildung einer Wirbelschlepe. Auch durch das Geschoss wird eine zusätzliche Masse an Luft mitgezogen. Das führt zu einer zusätzlichen Bremswirkung, dem sogenannten Bodensog.
- Der Bewegungsenergie des Geschosses wird ausserdem Energie entzogen, da mit weiterem Abstand hinter dem Geschoss die Luft verwirbelt.

Der sogenannte Widerstandsbeiwert c_w lässt sich aus diesem Grund in drei entsprechende Grössen unterteilen.

$$c_w = c_{wW} + c_{wR} + c_{wB}$$

c_w : Widerstandsbeiwert

c_{wW} : Wellenwiderstand

c_{wR} : Reibungswiderstand

c_{wB} : Bodensog

27

Der Wellenwiderstand ist hierbei die Hauptursache für die Geschwindigkeitsabhängigkeit. Wenn das Geschoss im Unterschallbereich fliegt, dann ist ein Druckausgleich durch die beiseite gedrängte Luft möglich. Dadurch hat der Wellenwiderstand im Unterschallbereich einen geringen Einfluss. Im Überschallbereich sieht dies ganz anders aus, denn der Wellenwiderstand hat hier einen grossen Einfluss. Der Druckausgleich ist im Überschallbereich nicht mehr möglich. Es wird eine sogenannte Stossfront gebildet, welche in diesem Fall die Schallmauer ist.

Beispiele für den c_w -Wert:

- Mountainbike	0.6
- Geschoss (Überschall)	0.55
- VW-Käfer	0.49
- Rennrad	0.4
- VW-Golf II	0.34
- Mercedes CLA	0.22
- Geschoss (Unterschall)	0.2
- Kugel	0.15

28

Der Prandtlische Ansatz ist eine einfache Formel zur Berechnung der Widerstandskraft W :

$$W = c_w \times \frac{r}{2} \times v^2 \times \frac{p}{4} \times d^2$$

W : Widerstandskraft

c_w : Widerstandsbeiwert

r : Luftdichte

v : Geschossgeschwindigkeit

d : Geschosskaliber

p : Luftdruck

29

²⁷ Formel: Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seite 44, Kapitel 1.3.2.2

²⁸ Tabelle: Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seite 45, Kapitel 1.3.2.2

²⁹ Formel: Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seite 45, Kapitel 1.3.2.2

Den Abbremsseffekt eines Geschosses beschreibt der sogenannte ballistische Koeffizient BC. Dabei wird Bezug auf den Normwert genommen. Die Flugbahn verkürzt sich dann, wenn das Geschoss stärker abgebremst wird. Dies ist der Fall, wenn der Wert des ballistischen Koeffizienten stark unter 1 liegt. Das heisst, je näher der berechnete Koeffizient bei 1 ist, desto weiter fliegt das Geschoss. Die Berechnung ist dabei abhängig von der Geschossform, dessen Masse und der Querschnittsfläche des Geschosses. [43]

6.2.3 Geschossstabilisierung

Mithilfe von den Zügen im Lauf und dem Drall einer Waffe wird das Geschoss stabilisiert.

Bei den Zügen handelt es sich um Rillen, welche sich von hinten nach vorne durch den Lauf ziehen. Hat ein Lauf vier Züge, so sind es vier Rillen, die sich durch den Lauf ziehen. Die Rillen folgen allerdings nicht gerade von hinten nach vorne dem Lauf, sondern ziehen sich wie eine Schlaufe um den Lauf.

Der Drall einer Waffe stabilisiert das Geschoss nach dem Abfeuern. Mithilfe des Dralls, des Luftwiderstands, der Schwerkraft und des Verlassens des Laufs führt das Geschoss vier Bewegungen aus. Die Bewegungen können sich gegebenenfalls auch überlagern. Diese vier Bewegungen wären die Präzession oder auch Kreiselbewegung, die Nutation, der Poisson-Effekt und der Magnus-Effekt.

- *Die Präzession:*
Bei der Präzession beginnt sich das Geschoss, je nach Drall in eine Richtung zu drehen. Bei einem Rechtsdrall dreht sich das Geschoss im Uhrzeigersinn und hat eine kleine Abweichung nach rechts. Bei einem Linksdrall dreht sich das Geschoss folglich im Gegenuhrzeigersinn und hat eine kleine Abweichung nach Links. Diese Kreiselbewegung kommt zu Stande, da nach dem Abfeuern des Geschosses der Staudruck der Luft unter diesem angreift und versucht, das Geschoss aufzurichten. Möglich ist dies, da man bei einem Geschoss den Druckpunkt und den Schwerpunkt nicht gleichsetzen kann. Um dieser Kraft nun entgegenzuwirken, beginnt sich das Geschoss wie ein Kreisel zu drehen.
- *Die Nutation:*
Die Nutation ist eine zusätzliche Kreiselbewegung, welche durch die Präzession hervorgerufen wird. Das liegt daran, dass bei der Präzession die Flugachse des Geschosses schiefgestellt wird. Im Gegensatz zur Präzession besitzt die Nutation einen kleineren Radius, jedoch eine höhere Drehfrequenz. Aufgrund des Luftwiderstands wird die Nutation allerdings schnell gedämpft und klingt demnach schnell ab. Erst nach der Nutation wird die Geschossflugbahn als stabil angesehen.
- *Der Poisson-Effekt:*
Dieser Effekt wird wegen der unterschiedlichen Lage des Druck- und des Schwerpunktes eines Geschosses hervorgerufen. Es kommt daraufhin weder zur Präzession noch zur Nutation, sondern zu einem permanenten Anstellwinkel. Das Geschoss rollt daraufhin auf einem sogenannten Luftpolder ab. Bei diesem Luftpolder handelt es sich im eigentlichen Sinne um eine Druckerhöhung. Die Folge von diesem Effekt ist, dass rechtsdrallende Geschosse sich nach rechts rollen und sich demnach linksdrallende Geschosse nach links drehen.

- *Der Magnus-Effekt:*

Beim Magnus-Effekt handelt es sich um eine Art Bogenbewegung des Geschosses. Das Geschoss fliegt nicht geradeaus, sondern einen Bogen. Zur Entstehung des Effektes spielt die ungleichmässige Luftreibung am rotierenden Geschoss eine zentrale Rolle. Bei einem rechtsdrallenden Geschoss beispielsweise werden durch die rauen Oberflächenteile, welche allerdings nur mikroskopisch klein sind, Luftteilchen von der linken Seite aus beginnend, an die rechte Seite des Geschosses mitgerissen, wobei man das Geschoss in Flugrichtung betrachtet. Der Poisson-Effekt nimmt auf den Magnus-Effekt Einfluss, denn durch den Poisson-Effekt kommt es an der Unterseite des Geschosses zu einem Luftpolster. Dies führt auf der rechten Seite des Geschosses zu einem Anstauen der Luft, was dann zu einem leichten Überdruck führt. Dazu kommt, dass durch den Überdruck auf der rechten Seite des Geschosses folglich auf der linken Seite Luftteilchen fehlen, wobei ein Unterdruck herrscht. Das alles zusammen führt bei einem rechtsdrallenden Geschoss zu einer Linksbewegung und bei einem linksdrallenden Geschoss zu einer Rechtsbewegung.

Durch die Kreiselbewegung des Geschosses kommen allerdings noch andere Konsequenzen dazu. Hat der Drall eine zu hohe Drehzahl, kann sich das Geschoss nicht mehr der erwünschten Flugbahn anpassen. Das führt dazu, dass das Geschoss nicht mehr mit der Geschossspitze voran ankommt. Im schlimmsten Fall kann das Geschoss auch Kippen, wenn es zu stark destabilisiert wird. Auch eine zu niedrige Drehzahl kann schlechte Folgen haben, denn das Geschoss gerät dadurch ins Taumeln und dies kann auch dazu führen, dass sich das Geschoss überschlägt. Da die Drehzahl durch den Luftwiderstand immer weiter abnimmt, wird das Geschoss nach einiger Zeit zu taumeln beginnen und sich überschlagen. [44]

6.3 Berechnung ideale Dralllänge des Sturmgewehr 90

Um die ideale Dralllänge eines Laufes einer Handfeuerwaffe mit einer Mündungsgeschwindigkeit von mehr als 800 m/s zu ermitteln, gibt es eine Formel, damit das Geschoss nach dem Abfeuern so weit und stabil wie möglich fliegt:

$$I_D = \frac{k \times \frac{D}{2}}{I_G}$$

k ist eine Konstante, k = 7 bis zu einem Geschossdurchmesser bis 7mm, über 7 mm k = 6

D = Geschossdurchmesser in mm

I_G = Geschosslänge in mm

I_D = Dralllänge in Inch

$$I_D = \frac{k \times \frac{D}{2}}{I_G} = \frac{7 \times \frac{5.56mm}{2}}{45mm} \approx 0.4324 \text{ in}$$

Berechnete Dralllänge:

0.4324 in = 10.9829 mm

Dralllänge des Gewehrs: 254 mm

³⁰

³⁰ Formel: Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seite 49, Kapitel 1.3.2.3
Information Dralllänge; SG 550 / PE 90 Standard: [SG 550 / PE 90 Sturmgewehr \(sigsauer.swiss\)](http://sigsauer.swiss)

6.4 Formel aus der realen Geschossflugbahn

Für die Geschossflugbahn gibt es keine einfache Formel, allerdings kann man festhalten:

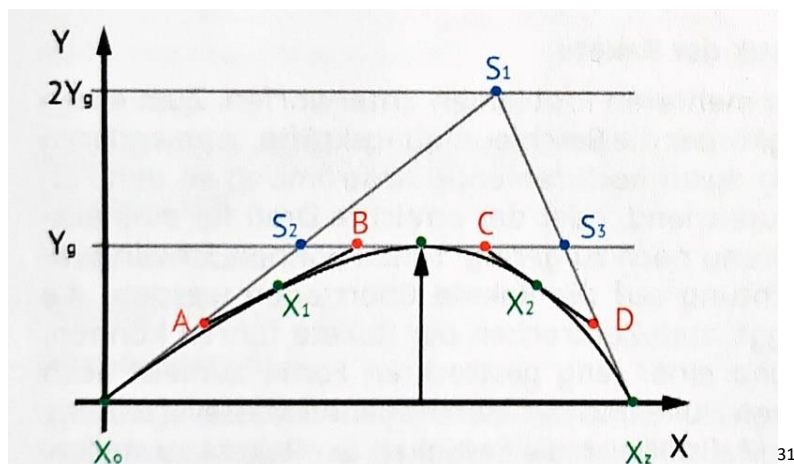
- Die Schussweite verringert sich aufgrund des Luftwiderstands.
- Über die gesamte Flugbahn nimmt die Geschossgeschwindigkeit langsam ab. Das Geschoss ist schneller bei der Mündung wie beim Zielaufschlag. Es gilt hierbei bei jedem Punkt in der Flugbahn, dass bei gleichbleibender Flughöhe im aufsteigenden Ast die Geschwindigkeit des Geschosses höher ist als beim absteigenden Ast. Geltend ist dies für die vertikale wie die horizontale Komponente der Geschossgeschwindigkeit.
- Die Parabel ist gestaucht, da die Länge des aufsteigenden Astes die des absteigenden Astes übersteigt, der Abgangswinkel kleiner ist als der Fallwinkel und sich der Gipfelpunkt in Richtung des Zielaufschlages und Erdboden verschiebt. Das führt dazu, dass der absteigende Flugbahnast der Parabel steiler verläuft.
- Bei der Bildung von zwei Parabeln mit gleicher Schussentfernung, wobei eine allerdings den Abgangswinkel als Ausgangspunkt und die andere den Aufschlagwinkel als Ausgangspunkt besitzt, liegt die Parabel, welche zwischen den anderen zweien entsteht, ungefähr auf der Geschossflugbahn. Allerdings wird der reale Gipfelpunkt nicht korrekt wiedergegeben.
- Es kommt ausserdem eine Seitenablage hinzu, welche in Abhängigkeit von Seitenwind, der Stabilisierung und der Flugzeit steht.

Dies führt zu einigen Anhaltspunkten, jedoch zu keiner einfachen mathematischen Lösung.

Zusätzlich gibt es eine zeichnerische Flugbahndarstellung nach Robert Schmidt. Mit den oberen Annahmen ist die Basis dazu schon gelegt.

- Es wird der Abschuss- und der reale Aufschlagpunkt benötigt. Von diesen nimmt man die Entfernung x_z und zeichnet sie in ein Koordinatensystem ein.
- Man fügt dem Koordinatensystem nun 2 Achsen ein, welche parallel zur x-Achse sind und beschriftet diese mit der Gipfelhöhe y_g und der doppelten Gipfelhöhe $2y_g$.
- Danach wird eine Gerade vom Nullpunkt mit dem Abgangswinkel gezogen, bis sie die Parallele der doppelten Gipfelhöhe erreicht. Dort wo sie sich schneiden, entsteht der Punkt S_1 .
- Der Schnittpunkt mit der gerade gezogenen Geraden und der Gipfelhöhe wird mit S_2 beschriftet.
- Verbindet man den Punkt S_1 mit dem Aufschlagpunkt x_z dann erhält man den Punkt S_3 , welcher sich an dem Punkt befinden, bei dem sich die Gerade zwischen S_1 und x_z und die Gipfelhöhe schneiden.
- Bei der ungefähren Hälfte von der Strecke zwischen S_2 und S_3 befindet sich der Gipfelpunkt y_g . Danach sind drei Punkte bekannt.
- A, B, C und D sind Punkte, welche sich ungefähr in der Hälfte der Strecken von x_0 und S_2 , S_2 und y_g , y_g und S_3 sowie S_3 und x_z befinden.
- Die Bahnpunkte x_1 und x_2 befinden sich bei der ungefähren Hälfte der Strecken von A zu B und von C zu D.

Es werden dadurch 5 Bahnpunkte bekannt, mit denen man nun eine Geschossflugbahn legen kann.
[45]



³¹ Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seite 51, Bild 1.14

7. Zündung

7.1 Zündsatz

Der Zündsatz befindet sich entweder im Zündhütchen bei Zentralfeuerpatronen oder auf dem Hülsenboden bei Randfeuerpatronen. Das Ziel der Zündmittel ist es, durch einen Schlag, durch Reibung, Elektrizität oder chemische gespeicherte Energie Wärmeenergie wiederzugeben. Die Flammen, welche entstehen, haben die Aufgabe, die gesamte Zündung der Treibladung zu gewährleisten. Da es sich allerdings nur um kleine Flammen handelt, muss bei grösseren Ladungsräumen die Zündung durch Beiladungen wie Schwarzpulver unterstützt werden. Der Zündvorgang kann durch längere Zündkanäle, zu grosse Ladungsräume oder bei zu hoher Feuchtigkeit mehrere Sekunden bis Minuten dauern. Setzt die Zündung komplett aus, dann handelt es sich um einen Versager.

Früher wurde als Zündmittel Knallquecksilber verwendet, da dieses billig war. Heutzutage werden Bleiazid, Bleitrizinat und Silberazid verwendet. [46]

- **Knallquecksilber:**

Beschreibung:

Bei Knallquecksilber beziehungsweise Quecksilber(II)-fulminat handelt es sich um ein Salz. Es ist eine Verbindung zwischen Quecksilber-Ionen (Hg^{2+}) und Fulminat-Ionen (CNO^-).

Ausserdem ist es wegen dem Quecksilber giftig. Bei Erhitzung, Reibung oder Stössen sowie Übergiessen mit konzentrierter Schwefelsäure explodiert das Knallquecksilber.

Herstellung:

In Umgebung von Ethanol wird Quecksilber in konzentrierter Salpetersäure aufgelöst. [47]

Chemische Informationen:

Summenformel	$\text{C}_2\text{HgN}_2\text{O}_2$
Strukturformel	$\text{}^-\text{O}-\text{N}^+\equiv\text{C}-\text{Hg}-\text{C}\equiv\text{N}^+-\text{O}^-$ 32
Reaktionsgleichung	$\text{ONC}-\text{Hg}-\text{CNO} \longrightarrow \text{Hg} + \text{N}_2 + 2 \text{CO}$ 33
Aussehen	Farblose Kristalle, Salz
Molare Masse	284.62 g/mol
Dichte	4.42 g/cm ³
Aggregatzustand	fest
Schmelzpunkt	Explosion bei über 190°C
Löslichkeit	Kaum löslich
Gefahrstoffkennzeichnung	

[48]

³² Bild: [Knallquecksilber – Chemie-Schule](#)

³³ Bild: [Knallquecksilber \(chemie.de\)](#)

- **Bleiazid:**

Beschreibung:

Bleiazid ist wie auch das Knallquecksilber ein Salz. Es handelt sich dabei um eine Verbindung zwischen Pb^{2+} -Ionen und N_3^- -Ionen. Bleiazid ist aufgrund des Schwermetalls Blei ausserdem giftig. Um es zur Explosion zu bringen, wird entweder ein Schlag, ein Stoss oder eine Erhitzung benötigt.

Herstellung:

In Gegenwart von Dextrin werden Blei(II)-nitrat ($\text{Pb}[\text{NO}_3]_2$) und Natriumazid (NaN_3) als wässrige Lösungen zusammengegeben. Das Dextrin wird hinzugefügt, um rundliche Kristalle zu erhalten, denn grosse Kristalle können auch unter Wasser durch leichte Schläge explodieren. [49]

Chemische Informationen:

Summenformel	$\text{Pb}[\text{N}_3]_2$
Strukturformel	$\text{Pb}^{2+} \left[\text{N}^+=\text{N}^-=\text{N}^- \right]_2^-$ 34
Beschreibung	Farblose Kristalle, Salz
Molare Masse	291.23 g/mol
Dichte	4.71 g/cm ³
Aggregatzustand	fest
Schmelzpunkt	Etwa 350°C, Zersetzung schon ab 250°C
Löslichkeit	Schlecht wasserlöslich
Gefahrstoffkennzeichnung	

[50]

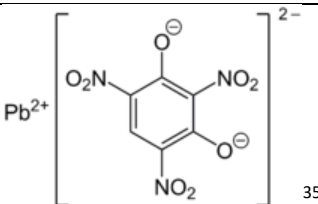
³⁴ Bild: [Bleiazid – Chemie-Schule](#)

- **Beitrizinat:**

Beschreibung:

Bleitrizinat oder auch Bleistypnat ist ein Salz, welches durch Reibung, Schläge und Erhitzung empfindlich reagiert und schnell explodiert. Es ist ein weitverbreiteter Initialstoff und wird wegen seiner starken Empfindlichkeit gegenüber elektrostatischen Aufladungen nur im Gemisch mit Zusatzstoffen verwendet. Bleitrizinat ist ein Hauptbestandteil von SinOxid-Zündhütchen.

Chemische Informationen:

Summenformel	C_6HNO_8Pb
Strukturformel	
Aussehen	Orangefarbene oder braunrötliche rhombische Kristalle, Salz
Molare Masse	450.28 g/mol
Dichte	3.07 g/cm ³
Aggregatzustand	fest
Schmelzpunkt	190°C
Löslichkeit	Schlecht löslich
Gefahrstoffkennzeichnung	

[51]

- **Silberazid:**

Beschreibung:

Silberazid ist ein Salz, welches auch als Initialsprengstoff genutzt wird. Es detoniert bei Erhitzung des Stoffes. Bei der Sprengstärke übertrifft das Silberazid das Bleiazid stark.

Herstellung:

Zur Herstellung von Silberazid wird eine Fällungsreaktion von Silbernitrat (AgNO_3) und Natriumazid (NaN_3) benötigt. [52]

Chemische Informationen:

Summenformel	AgN_3
Strukturformel	$\text{Ag}^+ \quad \text{N}=\text{N}=\text{N}^-$ 36
Aussehen	Weisses Pulver
Molare Masse	149.89 g/mol
Dichte	4.98 g/cm ³
Aggregatzustand	fest
Löslichkeit	Schlecht löslich
Gefahrstoffkennzeichnung	

[53]

7.2 Treibladung

Die Treibladung befindet sich in der Hülse der Patrone und ist für die Beschleunigung des Geschosses verantwortlich. Es ist hochexplosiv und wird mithilfe des Zündsatzes gezündet.

7.2.1 Schwarzpulver

Schwarzpulver wird schon seit dem frühen Mittelalter eingesetzt. Bei Schwarzpulver handelt es sich nicht um eine chemische Verbindung, sondern um ein Gemenge aus etwa 15% Holzkohle, 10% Schwefel und 75% Salpeter (KNO_3). Obwohl es heutzutage praktischere Varianten zu Schwarzpulver gibt, wird es immer noch häufig verwendet. Beispielsweise als Beiladung zur Anzündflammenverstärkung aber auch im pyrotechnischen Bereich wie bei Feuerwerk oder als Sprengstoff in Steinbrüchen. Die Umsetzungsgeschwindigkeit von etwa 250 m/s im unverdämmten Zustand kann abhängig von der Menge (ab etwa 1 kg) und Verdämmung auf über 600 m/s ansteigen und dabei explosiv sein.

Die Schwarzpulververbrennung durchläuft mehrere Schritte. Ab einer Temperatur von 98°C schmilzt zuerst der Schwefel. Bei etwa 300°C reagiert der Schwefel mit Kaliumnitrat (Salpeter, KNO_3) zu Kaliumsulfat (K_2SO_4) und Stickstoffmonoxid (NO). Durch die entstehende Hitze schmilzt das Kaliumsulfat bei etwa 335°C. Diese flüssigen Stoffe werden dann von der Holzkohle aufgesogen und reagieren dann zu den Verbrennungsprodukten Kohlenmonoxid (CO), Stickstoffmonoxid, Kaliumnitrit (KNO_2) und anderen Reaktionsprodukten. Das heisse und leichtentzündliche Gasgemisch reagiert danach heftig zu einer Explosion.

³⁶ Bild: [Silberazid – Chemie-Schule](#)

Als Folge der Explosion wird heisses Gas produziert, welches dann zur mechanischen Arbeitsleistung genutzt wird, beispielsweise beim Abbau von Gestein oder als Antrieb von Geschossen. Der vollständige Reaktionsmechanismus von Schwarzpulver ist allerdings noch nicht ganz geklärt. Die Konsequenz daraus ist, dass die Herstellung von Schwarzpulver sehr viel Erfahrung benötigt. Die Körnung, Verdämmung und Umweltbedingungen beeinflussen die Herstellung stark. [54]

Chemische Reaktion



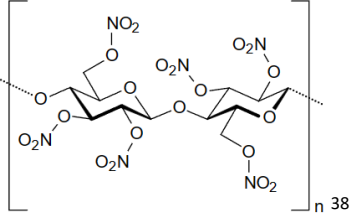
7.2.2 Nitrozellulosepulver

Nitrozellulose ist im Gegensatz zu Schwarzpulver eine chemische Verbindung. Es wird vor allem in Infanteriewaffen genutzt und weniger in Hochleistungskanonen. Während es noch im gelatinierten Zustand ist, wird es stranggepresst und erhält so die endgültige Pulverform. Je nach gewünschtem Einsatz entsteht entweder Plättchen-, Kugel- oder Röhrenpulver (*Kap. 4.2*). Nitrozellulosepulver benötigt Stabilisatoren in Form von Arkadit oder Zentralit (Harnstoff). Diese werden benötigt, um die Nutzungs- und Ladungsdauer zu verlängern. Bei zu hohen Temperaturen oder wenn der Stabilisator aufgebraucht ist, dann nitriert das Nitrozellulosepulver und wird dadurch empfindlicher. Es kann zu einer Selbstentzündung kommen. Wenn die Herstellung des Nitrozellulosepulvers abgeschlossen ist, wird es noch mit Campfer oberflächenbehandelt, damit das Pulver in der Anfangsphase der Verbrennung phlegmatisiert ist. Das bedeutet, dass der Abbrand weniger schnell beschleunigt wird. Ausserdem werden die Pulversorten je nach Verwendung mit einer Graphitschicht versehen, um die elektrostatische Empfindlichkeit zu verringern. Das wird gemacht, um die Transportsicherheit zu gewährleisten. [55]

Erkenntnis durch eigene Experimente:

Nitrozellulosepulver zündet sehr schnell und ist sehr reaktiv. Es reicht schon, wenn nur ein Korn die Schmelztemperatur erreicht hat, um so eine heftige Reaktion hervorzurufen, dass alle anderen Körner auch gezündet werden. Beispielsweise war die Temperatur des Gefässbodens, in dem sich das Nitrozellulosepulver befand, laut Thermometer bei etwa 50°C. Allerdings zündete das Pulver schon, da ein Teilchen wohl die benötigte Temperatur schon erreicht hat.

Chemische Daten:

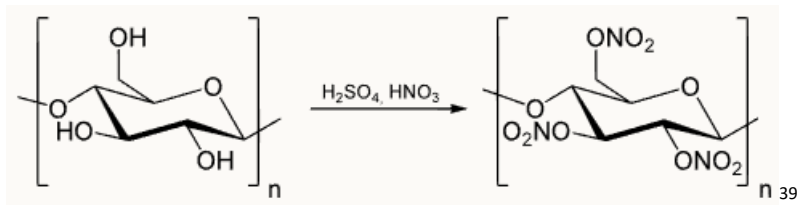
Summenformel	$\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2 (\text{ONO}_2)_3$ (Trinitrat)
Strukturformel	
Schmelztemperatur	160°C – 180°C

³⁷ Bild: [Schwarzpulver \(chemie.de\)](http://chemie.de)

³⁸ Bild: [Cellulosenitrat – Chemie-Schule](http://Chemie-Schule)

Herstellung:

Zur Herstellung von Nitrozellulose wird Zellulose, beispielsweise in Form von Baumwolle, mit Nitriersäure (Gemisch von konzentrierter Schwefelsäure und Salpetersäure) zur Reaktion gebracht. Bei der Reaktion handelt es sich um eine Reaktion von Alkohol mit einer Säure zu einem Ester. Wie hoch der Stickstoffgehalt am Schluss ist, wird durch die Zusammensetzung der Nitriersäure und der Reaktionsdauer beeinflusst. Liegt der Stickstoffgehalt bei unter 12.75%, dann handelt es sich mehr um Zellosetrinitrat. Wenn der Stickstoffgehalt über 12.75% liegt, dann handelt es sich um Zellulose-Dinitrat.



Wenn die Reaktion beendet ist, wird die übrig gebliebene Nitriersäure mit Wasser ausgewaschen, bis die Nitrozellulose den pH-Wert von 7 erhält. Das wird gemacht, weil es vor dem Waschen noch Rückstände von Salpetersäure haben kann, welche dann eine Selbstentzündung hervorrufen können. [56]

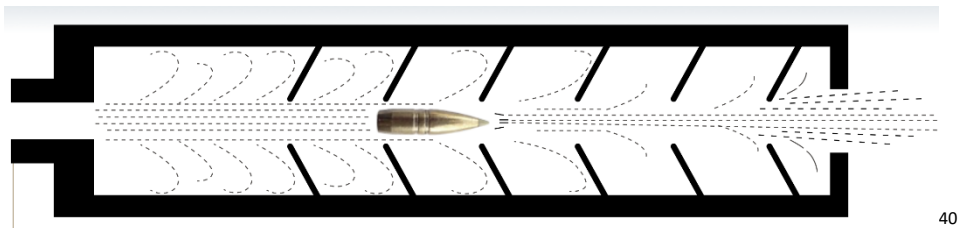
³⁹ Bild: [Cellulosenitrat – Chemie-Schule](#)

8. Aufsätze

Es gibt verschiedene Aufsätze, welche auf den Lauf einer Waffe geschraubt werden können. Jeder Aufsatz bringt eigene Vorteile mit sich.

8.1 Schalldämpfer

Schalldämpfer sind dafür zuständig, den Schuss leiser zu machen. Dies funktioniert, in dem der Schalldämpfer so gebaut ist, dass er den austretenden Gasen aus der Mündung Raum bietet. Diese heißen Verbrennungsgase können sich somit im Raum schnell abkühlen. Da dadurch das Volumen, welches das Gas benötigt, verringert wird, kann der Gasdruck stark reduziert werden. Dies führt beim Austreten zu weniger Lärm, da das Gas mit einem so geringen Druck ausgeströmt wird, dass er weniger hörbar ist. Je mehr Volumen der Schalldämpfer zu Verfügung stellt, desto mehr Gasdruck kann abgebaut werden. [57]



40

8.2 Kompensator

Kompensatoren sind dafür zuständig, dass beim Schiessen das Hochschlagen der Waffe verringert wird. Dies geschieht dadurch, dass durch spezielle Bohrungen im Kompensator gesteuert wird, in welche Richtung das Gas ausströmt. Befinden sich die Bohrungen beispielsweise an der Oberseite des Kompensators, so wird die Waffe nach unten gedrückt. Es gibt auch Kompensatoren, welche asymmetrisch sind, das heisst sie verteilen die Gase leicht versetzt, um beispielsweise bei Rechtsschützen eine Ausschlagen nach links zu verhindern. [58]



41

⁴⁰ Bild: [Der Schalldämpfer - WILD UND HUND](#)

⁴¹ Bild: [REVIEW: SETS Kompensator .223 - SPARTANAT](#)

8.3 Mündungsbremse

Das Ziel der Mündungsbremse ist hauptsächlich, den Rückstoss einer Waffe zu vermindern. Dies wird durch Bohrungen, welche sich an der Seite der Mündungsbremse befinden, erreicht. Dadurch werden die Gase seitlich abgeleitet, was den Rückstoss verhindert. Ausserdem verringern Mündungsbremsen, wie auch Kompensatoren, das Hochschlagen der Waffe. [59]



42

8.4 Mündungsfeuerdämpfer

Die Aufgabe des Mündungsfeuerdämpfers ist es den Blitz, welcher beim Abfeuern an der Mündung entsteht, zu dämpfen. Hilfreich ist dies, da der Schütze dadurch nicht durch den Feuerblitz geblendet wird. Dies wird erreicht, indem durch die Schlitze im Mündungsfeuerdämpfer die austretenden Gase, welche noch entzündlich sind, auseinandergerissen werden und sich somit nicht mehr entzünden können.[60]



43

⁴² Bild: [TROLL Mündungsbremse M18 x 1 / M14 x 1 | Mündungsbremse / muzzle brake VISION-802 \(swissafety.com\)](#)

⁴³ Bild: [Mündungsfeuerdämpfer, Mündungsbremsen und Kompensatoren | all4shooters.com](#)

9. Fazit zur Arbeit

Die Schussabgabe beginnt mit dem Schlagen des Schlaghammer auf den Schlagbolzen, welcher dann die Initialzündung einleitet. Durch die Initialzündung wird die Treibladung gezündet was zum Austreten des Geschosses aus der Hülse und daraufhin aus der Mündung bewirkt. Mit dem Geschoss treten auch Gase aus dem Gewehr, welche den Knall hervorrufen sowie bei Gasdruckladern das automatisierte Repetieren ermöglichen. Doch auch andere Kräfte bekommt man bei der Schussabgabe zu spüren, wie beispielsweise die Erhitzung der Hülse und der Waffe sowie der Rückstoss. Dieser wird bei Rückstossladern als Vorteil genutzt und das Gewehr wird repetiert. Was allerdings nicht vernachlässigt werden darf ist, dass alle diese Vorgänge mithilfe von wenig Treibladung hervorgerufen werden. Man kann sehen, dass sehr viel Energie produziert werden kann, wenn die Reaktion in einem kleinen Raum, in diesem Fall in der Hülse und dem Patronenlager, geschieht.

Auch ausserhalb der Waffe geschehen viele Vorgänge, welche entweder durch den Aufbau der Waffe oder Umweltfaktoren beeinflusst werden. Faktoren, die von der Waffe herrühren und das Geschoss beeinflussen, wären beispielsweise der Drall oder die verschiedenen Aufsätze. Wobei die Aufsätze mehr die Funktionsweise einer Waffe beeinflussen und grundsätzlich nur bei Beschädigungen oder Verschmutzung das Geschoss direkt beeinflussen. Die Einflüsse, welche von der Waffe selbst verursacht werden, können durch die Herstellung (oder: können durch den Qualitätsgrad bei der Herstellung) der Waffe positiv, aber auch negativ beeinflusst werden. Man kann sehen, dass auch die Herstellung der Waffe ein gewisses Feingefühl benötigt. Ein Einflussfaktor, welcher unabhängig von der Waffe auf das Geschoss wirkt, wäre zum Beispiel der Luftdruck, welcher je nach Lage und Höhe variieren kann.

Die Handhabung der Waffe beeinflusst die Schussweite jedoch genau so wie die verschiedenen Einflüsse. Wenn man die Waffe ungenügend pflegt, wirkt sich dies negativ auf das Schussbild aus. Eine Waffe ist wie ein Werkzeug oder ein Fahrzeug: Möchte man, dass sie funktioniert, muss man sie richtig pflegen. Allerdings kann die Schussweite auch durch den Anfangswinkel der Mündung zum Boden beeinflusst werden. Also wie die Schützin oder der Schütze die Waffe ausrichtet.

Abschliessend ist zu sagen, dass zwischen dem Ziehen des Abzugs und dem Aufprall des Geschosses im Ziel viele mechanische, physikalische und chemische Vorgänge geschehen. Es handelt sich nicht nur um einen Knall, ein wenig Rückstoss und die Erhitzung der Waffe beziehungsweise Hülse, sondern um ein komplexes, wissenschaftliches System.

Ich bedanke mich bei Ihnen für das Durchlesen meiner Arbeit.

Quellenverzeichnis

- [1] Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seiten 234 bis 237, Kapitel 5.1.1 & 5.1.2
- [2] Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seite 239, Kapitel 5.1.2
- [3] Schützengilde-Oelsnitz, Die Pistole, Stand November 2023: [Die Pistole \(schuetzengilde-oelsnitz.de\)](https://www.schuetzengilde-oelsnitz.de)
All4shooters, Glock 18: die vollautomatische Pistole im Kaliber 9mm Luger, Stand November 2023: [GLOCK 18: die vollautomatische Pistole im Kaliber 9 mm Luger | all4shooters.com](https://www.all4shooters.com)
- [4] Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seite 238, Kapitel 5.1.2
- [5] SIG SAUER, SG 550 / PE 90 Standard, Stand Oktober 2023: [SG 550 / PE 90 Sturmgewehr \(sigsauer.swiss\)](https://www.sigsauer.swiss)
- [6] Sturmgewehr 57, STGW 57, Stand Oktober 2023: [Waffeninfos, STGW 57, - Sturmgewehr 57](https://www.waffeninfos.ch)
- [7] Karabiner 31, K31 – Rückkehr aus dem Schatten, Stand Oktober 2023: [K31 – Rückkehr aus dem Schatten – Karabiner31.ch](https://www.k31.ch)
- [8] Heckler & Koch, MP5, «Die weltweit populärste Maschinenpistole», Stand Oktober 2023: [MP5 | Heckler & Koch \(heckler-koch.com\)](https://www.heckler-koch.com)
- [9] Heckler & Koch, P30, «Mehr als nur eine Pistole», Stand Oktober 2023: [SFP9 SK | Heckler & Koch \(heckler-koch.com\)](https://www.heckler-koch.com)
- [10] Schweizerische Eidgenossenschaft, Ausbildungsgrundlagen für Schützenmeister, Jungschützenleiter und Jungschützen, 5,6 mm Sturmgewehr 90, Seite 1/5/6
- [11] Schweizer Armee, Das Sturmgewehr 57 und die Gewehrgranaten 58, Seiten 5/6/11: [AcrE236.TMP \(sg-strengelbach.ch\)](https://www.sg-strengelbach.ch)
- [12] Schweizerische Armee, Der Karabiner 31 und die Zielfernrohrkarabiner 31/42 und 31/43, Seite 3: [K31+ZFK42-43-WaMech \(swisswaffen.com\)](https://www.swisswaffen.com)
- [13] Heckler & Koch, Maschinenpistole MP 5 Bedienungsanleitung, Seite I/13: [afb3n1fkxquz.pdf \(swisswaffen.com\)](https://www.swisswaffen.com)
- [14] Heckler & Koch, Pistole P30 / P30L Bedienungsanleitung, Seite I/12: [P30 OM \(DE\) V1-V6 968748 003.1208.qxp \(gunfactory.ch\)](https://www.gunfactory.ch)
- [15] Schweizerische Eidgenossenschaft, Ausbildungsgrundlagen für Schützenmeister, Jungschützenleiter und Jungschützen, 5,6 mm Sturmgewehr 90, Seite 2
SIG Sauer SG 550 / PE 90 Standard, Stand Oktober 2023: [SG 550 / PE 90 Sturmgewehr \(sigsauer.swiss\)](https://www.sigsauer.swiss)
- [16] Schweizer Armee, Das Sturmgewehr 57 und die Gewehrgranaten 58, Seiten 2/3: [AcrE236.TMP \(sg-strengelbach.ch\)](https://www.sg-strengelbach.ch)
- [17] Karabiner 31, K31 – Rückkehr aus dem Schatten, Stand Oktober 2023: [K31 – Rückkehr aus dem Schatten – Karabiner31.ch](https://www.k31.ch)
- [18] Heckler & Koch, MP5, «Die weltweit populärste Maschinenpistole», Stand Oktober 2023: [MP5 | Heckler & Koch \(heckler-koch.com\)](https://www.heckler-koch.com)
- [19] Heckler & Koch, P30, «Mehr als nur eine Pistole», Stand Oktober 2023: [SFP9 SK | Heckler & Koch \(heckler-koch.com\)](https://www.heckler-koch.com)
- [20] Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seiten 270 & 271, Kapitel 6.1.1.2
- [21] Swisswaffen, Munition Details: 5.6mm Gewehr Patrone 90 (5.6mm GP90) 1990, Stand November 2023: [Munition Details 5.6mm Gewehr Patrone 90 \(5.6mm GP90\) 1990 \(swisswaffen.com\)](https://www.swisswaffen.com)
All4shooters, Munition: Kaliber .223 Remington bzw. 5,56x45mm, Stand November 2023: [Munition: Historie und Anwenungen für das Kaliber .223 Remington bzw. 5,56x45mm | all4shooters.com](https://www.all4shooters.com)
- [22] Swisswaffen, Munition Details: Gewehr Patrone 11 (7.5mm GP11), Stand November 2023: [Munition Details Gewehr Patrone 11 \(7.5mm GP11\) \(swisswaffen.com\)](https://www.swisswaffen.com)
- [23] Wikipedia, 9x19 mm, Stand November 2023: [9 x 19 mm – Wikipedia](https://www.wikipedia.org)

- [24] Schweizerische Eidgenossenschaft, Ausbildungsgrundlagen für Schützenmeister, Jungschützenleiter und Jungschützen, 5,6 mm Sturmgewehr 90, Seite 45
- [25] Schweizer Armee, Das Sturmgewehr 57 und die Gewehrgranaten 58, Seite 51: [AcrE236.TMP \(sg-strengelbach.ch\)](#)
- [26] Waffenbörse, RUAG SWISS 9 mm Para Patronen, Stand Oktober 2023: [RUAG SWISS 9mm Para VM Sintox SX 8,0g Action \(waffenboerse.ch\)](#)
- [27] Jägerschmiede, Innenballistik, Stand Oktober 2023: [Innenballistik | Jägerschmiede \(jaegerschmiede.de\)](#)
- [28] Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seiten 22 & 23, Kapitel 1.1.1
- [29] Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seiten 23 bis 28, Kapitel 1.1.2
- [30] Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seiten 28 & 29, Kapitel 1.1.3
- [31] Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seiten 29 bis 31, Kapitel 1.1.4
- [32] Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seiten 31 & 32, Kapitel 1.1.5
- [33] Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seite 32, Kapitel 1.1.6
- [34] Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seite 141, Kapitel 3.1.1.1
- [35] Acamedic, Rückstoßlader, Stand Oktober 2023: [Rückstoßlader \(de-academic.com\)](#)
- [36] Acamedic, Gasdrucklader, Stand Oktober 2023: [Gasdrucklader \(de-academic.com\)](#)
- [37] Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seiten 33 bis 35, Kapitel 1.2
- [38] LivingActive, Ballistik: Eine kurze Einführung, Stand Oktober 2023: [Ballistik: Eine kurze Einführung | LivingActive.de](#)
- [39] Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seiten 35 bis 38, Kapitel 1.3.1.1
- [40] Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seiten 38 bis 40, Kapitel 1.3.1.2
- [41] Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seiten 40 & 41, Kapitel 1.3.1.3
- [42] Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seiten 41 bis 42, Kapitel 1.3.2.1
- [43] Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seiten 43 bis 45, Kapitel 1.3.2.2
- [44] Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seiten 46 bis 49, Kapitel 1.3.2.3
- [45] Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seiten 50 & 51, Kapitel 1.3.3
- [46] Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seite 120, Kapitel 2.4.1 / Schweizerische Eidgenossenschaft, Störfallvorsorge bei zivilen Betrieben mit Explosivstoffen, Seite 10
- [47] Spektrum.de, Lexikon der Chemie, Quecksilberfulminat, Stand Oktober 2023: [Quecksilberfulminat - Lexikon der Chemie \(spektrum.de\)](#)
- [48] Chemie.de, Knallquecksilber, Stand Oktober 2023: [Knallquecksilber \(chemie.de\)](#)
- [49] Spektrum.de, Lexikon der Chemie, Bleiazid, Stand Oktober 2023: [Bleiazid - Lexikon der Chemie \(spektrum.de\)](#)
- [50] Chemie.de, Bleiazid, Stand Oktober 2023: [Bleiazid \(chemie.de\)](#)
- [51] Die Chemie-Schule, Bleistyphnat, Stand Oktober 2023: [Bleistyphnat – Chemie-Schule](#)
- [52] Spektrum.de, Lexikon der Chemie, Silberazid, Stand Oktober 2023: [Silberazid - Lexikon der Chemie \(spektrum.de\)](#)
- [53] Chemie.de, Silberazid, zuletzt besucht Oktober 2023: [Silberazid \(chemie.de\)](#)
Die Chemie-Schule, Silberazid, Stand Oktober 2023: [Silberazid – Chemie-Schule](#)

- [54] Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seiten 120 & 121, Kapitel 2.4.2.1
- [55] Thomas Enke, Grundlagen der Waffen- und Munitionstechnik, Walhalla, Seiten 121 & 122, Kapitel 2.4.2.1
- [56] Die Chemie-Schule, Cellulosenitrat, Stand Oktober 2023: [Cellulosenitrat – Chemie-Schule](#)
- [57] Wild und Hund, Der Schalldämpfer, Stand Oktober 2023: [Der Schalldämpfer - WILD UND HUND](#)
- [58] Wikiwand, Kompensator, Stand Oktober 2023: [Kompensator \(Waffentechnik\) - Wikiwand](#)
- [59] Maximtac.de, Wozu dient eine Mündungsbremse und was ist ein Sound-Redirect, Stand Oktober 2023: [Wozu dient eine Mündungsbremse und was ist ein Sound-Redirect? | Ihr Blog für Jagd » Schießsport » Waffenzubehör » und vieles mehr \(maximtac.de\)](#)
- [60] Akademie-Waffenwesen.de, Mündungsfeuerdämpfer und Mündungsfeuerbremsen – Funktionen und Unterschiede, Stand Oktober 2023: [Mündungsfeuerdämpfer und Mündungsbremsen - Akademie Waffenwesen \(akademie-waffenwesen.de\)](#)