

# **Einführung in die Innenballistik**



## **Vorwort**

Das vorliegende Dokument enthält die Zusammenstellung einer Artikelserie, welche im Schweizer Waffenmagazin Ausgaben 11/2004 bis 4/2005 erschien. Dargestellt sind die Vorgänge in der Waffe vom Moment der Schussauslösung bis zum Mündungsabgang des Geschosses – Vorgänge, deren Drücke, Kräfte, Temperaturen und Zeitverhältnisse jenseits des Vorstellungsvermögens liegen. Dies darf man nie vergessen, auch wenn die einfache und klare Darstellung ein Gefühl der Beherrschbarkeit dieser Vorgänge vermitteln mag. Die Darstellung dient rein der Analyse, nicht der Entwicklung von Patronen – diese gehört in die Hände von Spezialisten, denen auch geeignetes, sicheres Testgerät zur Verfügung steht. Das Layout ist für umseitigen Druck in schwarz-weiss vorbereitet.

Marcel Tschannen



## **Inhaltsverzeichnis**

Einführung in die Innenballistik	7
Energiebilanz am Lauf	10
Anwendung der Energiebilanz	13
Innenballistische Vorgänge	17
Der Lauf	20
Abgangsbalistik	23
Anhang: Umrechnungstabellen	27



## Einführung in die Innenballistik

Das Geschoss einer Feuerwaffe durchrast den Lauf in weniger als einer Tausendstel-Sekunde. Dabei bewirken Drücke von mehreren tausend Atmosphären Beschleunigungen, die hunderttausendmal grösser sind als die Erdbeschleunigung. Solch extreme Werte lassen schon erahnen, dass man diese Vorgänge nur mit grossem mathematischem und messtechnischem Aufwand erfassen kann – zum blossen Verständnis jedoch genügen schon einige wenige Kenntnisse.

### 1. Wie funktioniert eine Patrone?

Eine Patrone besteht aus vier Hauptbestandteilen (Bild 1):

- Dem Zündelement;
- dem Treibmittel;
- dem Geschoss;
- der Hülse.

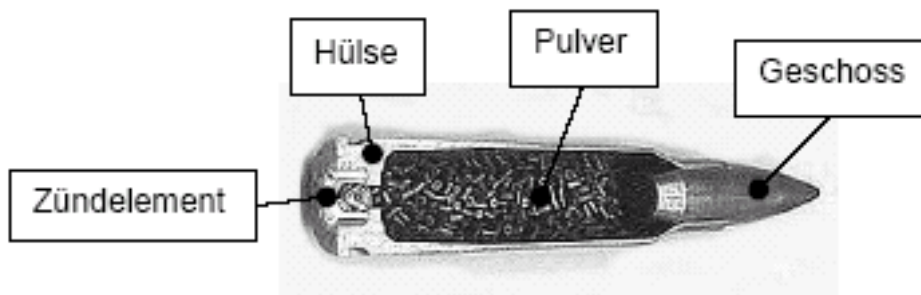


Bild 1

Das Zündelement besteht aus einem schlagempfindlichen Explosivstoff, der durch einen Schlag zur Explosion gebracht wird und mit seiner Flamme das Treibmittel entzündet. Bei Randfeuerpatronen ist dieser Stoff in einem hohlen Wulst um den Hülsenboden angebracht, bei Zentralfeuerpatronen in der Mitte des Hülsenbodens. Bei Zentralfeuerpatronen mit sogenannter „Boxer-Zündung“ (heute Standard) ist das Zündelement eine eigenständige Baugruppe.

Das Treibmittel ist ein Pulver, das den zur Verbrennung notwendigen Sauerstoff chemisch eingebunden gleich selber enthält und so bei der Verbrennung sehr viel Gas erzeugt. In dem engen Raum der Hülse steht dieses grosse Gasvolumen (Grössenordnung von Litern!) unter sehr hohem Druck; die chemische Energie des Pulvers wird also durch Verbrennung in mechanische Energie der gespannten Gase umgewandelt.

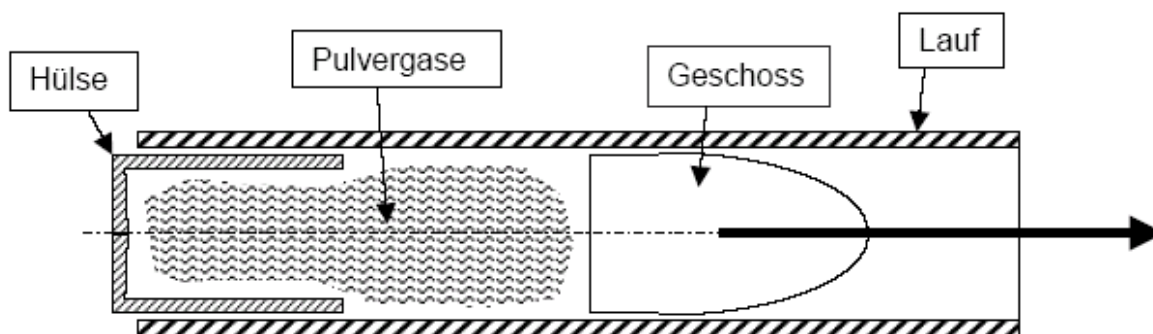


Bild 2

Wenn alles gut geht, so gibt das Geschoss, das vorne in die Hülse eingeklemmt ist, dem hohen Druck als erstes nach. Indem es sich in Bewegung setzt, wandelt sich die

mechanische Energie der Gase in Bewegungsenergie des Geschosses um (Bild 2). Die Aufgabe des Geschosses besteht dann darin, diese Energie möglichst weit bis ins Ziel zu transportieren, was der eigentliche Zweck einer Patrone ist.

Bis dahin stimmt dies alles im Wesentlichen für Feuerwaffen seit deren Entstehung, nur dass bei den alten Vorderlader-Waffen die drei Komponenten einzeln in die Waffe gebracht wurden. Erst mit der Erfindung der Hülse und der Fähigkeit, solche herzustellen, wurden die mehrschüssigen Hinterlader, wie wir sie heute gebrauchen, möglich. Die Hülse muss zahlreiche Aufgaben erfüllen, welche beim Vorderlader noch die Waffe selbst übernahm:

- Sie ist ein öl- und wasserdichter Transportbehälter für die pyrotechnischen Komponenten.
- Sie positioniert Zündelement, Treibmittel und Geschoss in der Waffe.
- Sie führt das Geschoss auf dem kurzen Weg, bis es in den Lauf eintritt.
- Sie dichtet beim Schuss den Lauf nach hinten ab, so dass die Gase nur in Richtung Geschoss entweichen können.

Letztere Aufgabe nennt man „Liderung“, wozu die Hülse so elastisch sein muss, dass der Gasdruck sie aufblasen und eng an die Wände des Patronenlagers pressen kann; dazu müssen natürlich auch enge Masstoleranzen eingehalten werden. Wenn der Druck mit dem entweichenden Geschoss zusammenfällt, muss sich auch die Hülse wieder zusammenziehen, damit der Schütze sie leicht entfernen und durch eine volle Patrone ersetzen kann.

## 2. Die Arbeit der Gase

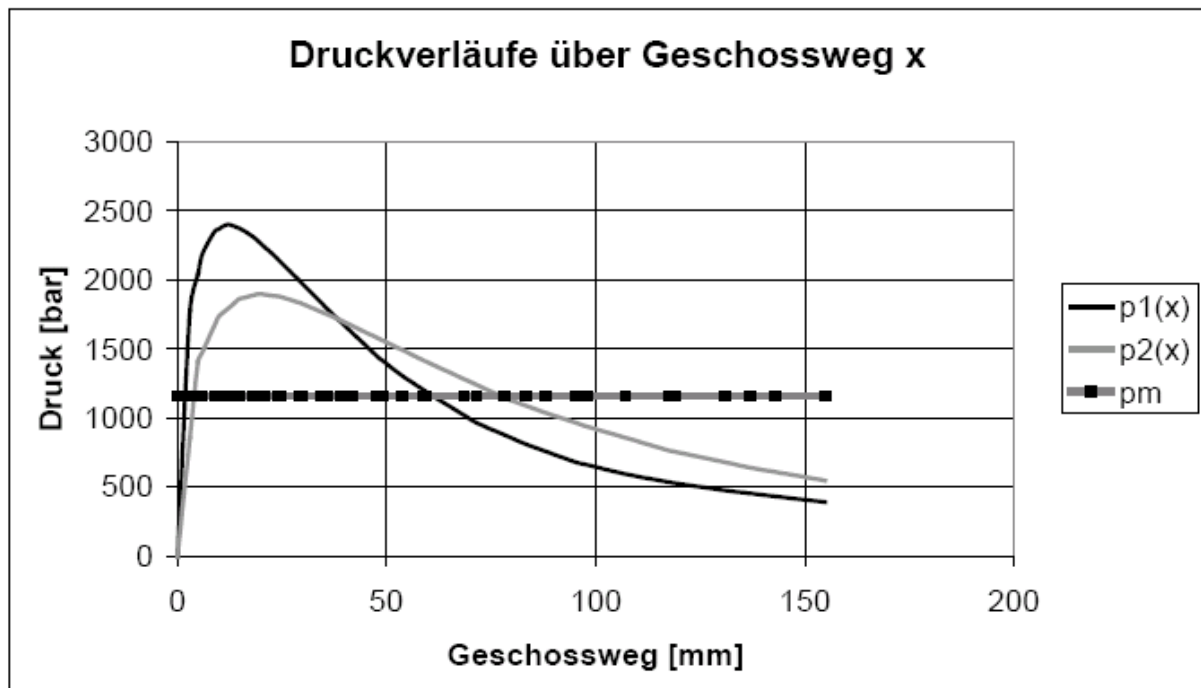


Bild 3

Im Lauf zwischen Hülsenboden und Geschossweg besteht eine geschlossene Kammer (Bild 2). Durch die Bewegung des Geschosses wird das Volumen dieser Kammer immer grösser, wodurch sich natürlich auch der Gasdruck darin beständig ändert. Zuerst nimmt er noch zu, weil das bei der Verbrennung des Pulvers entstehende Gasvolumen die Zunahme des Kammer-Volumens überkompensiert. Wenn aber einmal alles Pulver verbrannt ist, fällt der Druck rasch zusammen (Bild 3). Je nach Form und chemischer Behandlung des Pulvers verbrennt es schneller oder langsamer und baut somit auch den Druck schneller oder langsamer auf. Schnelle Pulver nennt man „offensiv“ oder „degressiv“ (Kurve  $p_1$  in Bild 3), langsame hingegen „progressiv“ (Kurve  $p_2$  in Bild 3). Da die Kraft des Gasdruckes auf das Geschoss dessen Beschleunigung besorgt, bestimmt sein Verlauf auch denjenigen der



Geschwindigkeitszunahme des Geschosses: Offensive Pulver sorgen für eine hohe Anfangsbeschleunigung (Kurve  $v_1$  in Bild 4), progressive hingegen beschleunigen länger (Kurve  $v_2$ ). Aus Bild 4 sieht man, dass offensive Pulver in kurzen Läufen höhere Geschwindigkeiten bringen, weshalb man sie vorwiegend in Faustfeuerwaffen und Flinten braucht, wohingegen progressive Pulver eher bei Büchsen eingesetzt werden. Der maximale Gasdruck wird immer bereits nach wenigen Zentimetern Geschossweg erreicht, der Druck bleibt aber auch danach noch weit über dem Umgebungsdruck und beschleunigt weiterhin das Geschoss.

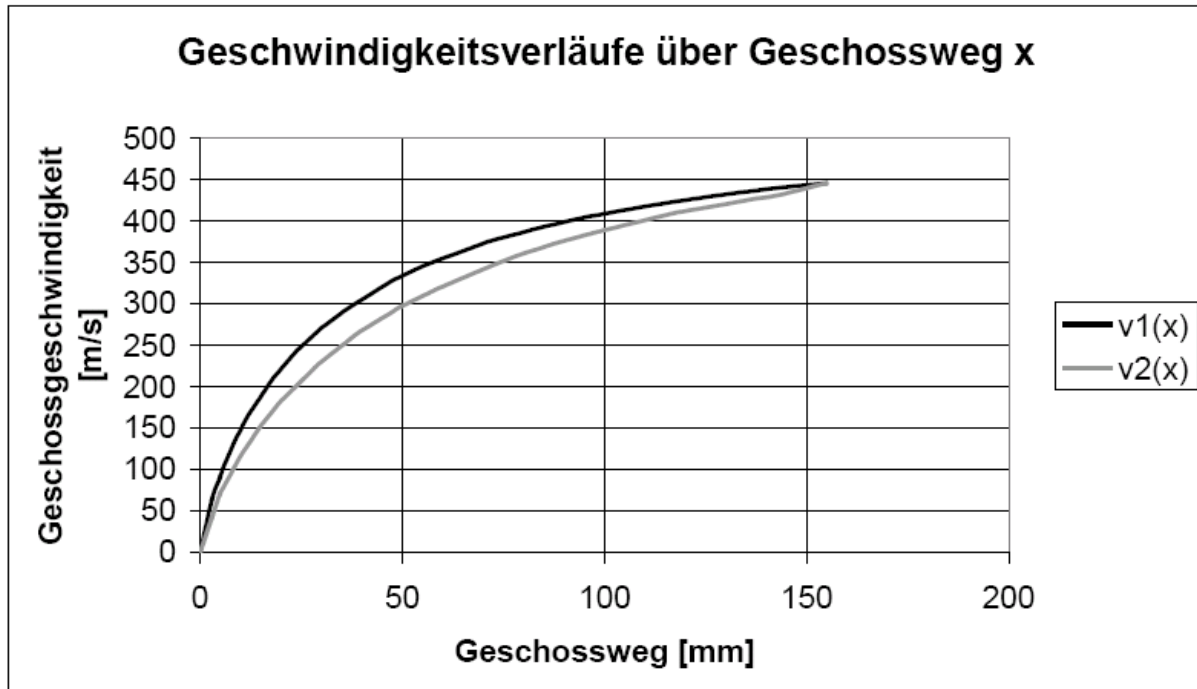


Bild 4

Dieselbe Kraft, die das Geschoss antreibt, wirkt natürlich auch auf die Waffe und den Schützen. Die grosse Beschleunigung des offensiven Pulvers bringt einen scharfen, heftigen Rückstoss mit sich, das progressive hingegen eher einen schiebenden. Der höhere Gasdruck des offensiven Pulvers erhöht auch die mechanischen Spannungen in der Waffe, weshalb diese entsprechend stark gebaut sein muss. Dafür hat das offensive Pulver den Vorteil eines geringeren Mündungsdruckes (Druck bei Geschossaustritt), was weniger Lärm und bessere Präzision bedeutet.

Bilder 3 und 4 zeigen beispielhafte .44 Magnum Laborierungen für Geschosse von 15.55 gramm. Beide Pulversorten bringen nach 150 mm Lauflänge genau dieselbe Mündungsgeschwindigkeit. Dies rührt daher, weil für die letztendliche Geschwindigkeit des Geschosses nur die Summe der Arbeit, die der Gasdruck über die Lauflänge am Geschoss verrichtet, massgeblich ist, nicht der Verlauf desselben. Wenn man nämlich im Beispiel die beiden Druckverläufe über die Lauflänge 150 mm mittelt, so erkennt man, dass beide denselben mittleren Gasdruck aufweisen ( $p_m$  in Bild 3), weshalb eben auch die Summen ihrer Arbeit und somit die Zustände der Geschosse nach 150 mm gleich sind. Würde man das Experiment nach 100 mm abrechnen, so wäre der mittlere Gasdruck der Laborierung 1 höher und ebenso die Geschwindigkeit  $v_1$  des Geschosses; würde man hingegen den Lauf verlängern, so wäre genau das Gegenteil der Fall. Die Laborierung 1 ist realistisch, Laborierung 2 eher ein Rechenbeispiel, denn in Wirklichkeit ist es sehr schwierig, einen so flachen Druckverlauf zu erzeugen; der maximale Gasdruck ist normalerweise 3 bis 4 mal höher als der mittlere, der Mündungsdruck ebensoviel tiefer.

## Energiebilanz am Lauf

Um die Zeitverläufe der Zustandsgrössen eines Geschosses zu berechnen, das sich durch den Lauf einer Feuerwaffe zwingt, braucht man aufwendige Mathematik und die Kenntnis von Parametern, die nur schwierig zu ermitteln sind. Viel einfacher ist es, die Zustandsgrössen über eine Energiebilanz am Lauf zu verknüpfen und so spannende Erkenntnisse über die innenballistischen Zusammenhänge zu gewinnen.

### 1. Die Energiebilanz

Von allen Energieformen ist hier nur eine von Belang: Die Bewegungsenergie (kinetische Energie) des Geschosses. Diese berechnet sich  $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ , wobei  $m$  die Geschossmasse (in kg) bezeichnet und  $v$  dessen Geschwindigkeit (in m/s). Vor der Schussauslösung ist das Geschoss in Ruhe und seine kinetische Energie deshalb gleich 0. An der Mündung erreicht es die leicht messbare Mündungsgeschwindigkeit  $v_0$  und somit gemäss obiger Formel die Energie  $E_0$ . Die Energiebilanz ist so einfach, weil sie nur den Anfangs- und den Endzustand betrachtet, nicht aber die Zustände unterwegs. Alle Zeitverläufe aus Bild 1 sind möglich und könnten nur mit weitergehenden Ueberlegungen ausgeschlossen werden – ein offensichtlicher Nachteil der Methode und Preis für deren Einfachheit. Die Energiebilanz für reale Zeitverläufe wie in Bild 2 ist die gleiche wie für einen Phantasieverlauf, sofern Anfangs- und Endzustand übereinstimmen.

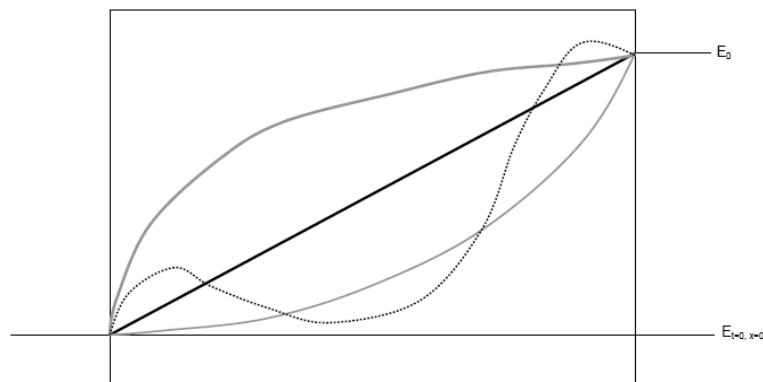


Bild 1

Um seine kinetische Energie zu ändern, muss an einem Körper Arbeit erbracht werden; nach den Gesetzen der Physik ist Arbeit = Kraft x Weg. In der Feuerwaffe ist der Gasdruck der Arbeiter und seine Kraft auf das Geschoss ist gleich Druck x Querschnittfläche. Die Arbeit des Gasdruckes über die Lauflänge am Geschoss ergibt dessen Energieänderung  $\Delta E$ . Da wir den Zeitverlauf des Druckes nicht kennen, setzen wir einen hypothetischen konstanten Druck  $p_m$  (mittlerer Gasdruck) und schreiben als Formel:

$$\Delta E = p_m \cdot A \cdot l \quad (p_m \text{ in N/m}^2, A \text{ in m}^2 \text{ und } l \text{ in m})$$

Dabei bedeutet  $l$  die Lauflänge (exakt: den Geschossbodenweg) und  $A$  die Querschnittfläche des Geschosses gemäss  $A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$  (mit  $\pi = 3.14$  und  $d$  als Durchmesser oder Kaliber des Geschosses).

Da das Geschoss am Ort  $x=0$  und zur Zeit  $t=0$  in Ruhe ist, berechnet sich die Energiezunahme  $\Delta E = E_0 - E_{t=0, x=0} = E_0 - 0 = E_0$ , d.h. die Energiezunahme ist gleich der Mündungsenergie, welche durch die Mündungsgeschwindigkeit und die Geschossmasse bestimmt ist. Wir schreiben deshalb:

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 = p_m \cdot A \cdot l \quad \text{als Energiebilanz am Lauf.}$$

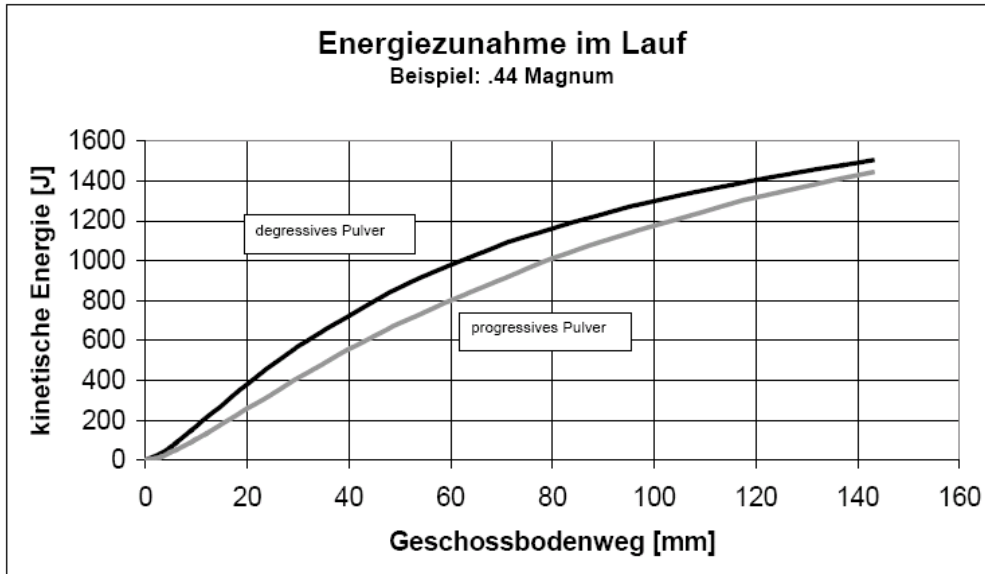


Bild 2

## 2. Interessierende Grössen

Der Begriff des mittleren Gasdruckes braucht weitere Erläuterung: In der Energiebilanz ist es der Gasdruck gemittelt über den Geschossbodenweg. Für „vernünftige“ Lauflängen (über 50 mm) ist der mittlere Gasdruck  $p_m$  (grau in Bild 3) immer grösser als der aktuelle Druck (als Mündungsdruck aufzufassen, schwarze Linie in Bild 3), aber immer kleiner als der Maximaldruck  $p_{max}$  (graue Linie in Bild 3). Für dieselbe Patrone wird also  $p_m$  mit zunehmender Lauflänge immer wie kleiner, obwohl  $p_{max}$  derselbe bleibt. Da wirkliche Druckverläufe einander alle ähneln, kann man sagen, dass für Faustfeuerwaffen (Pistolen und Revolver)  $p_{max}$  2 bis 3 mal höher ist als  $p_m$ , für Handfeuerwaffen eher 3 bis 4 mal höher. Obwohl die Energiebilanz nichts über  $p_{max}$  aussagt, kann man also diese wichtige Grösse doch wenigstens mit geringem Aufwand abschätzen.

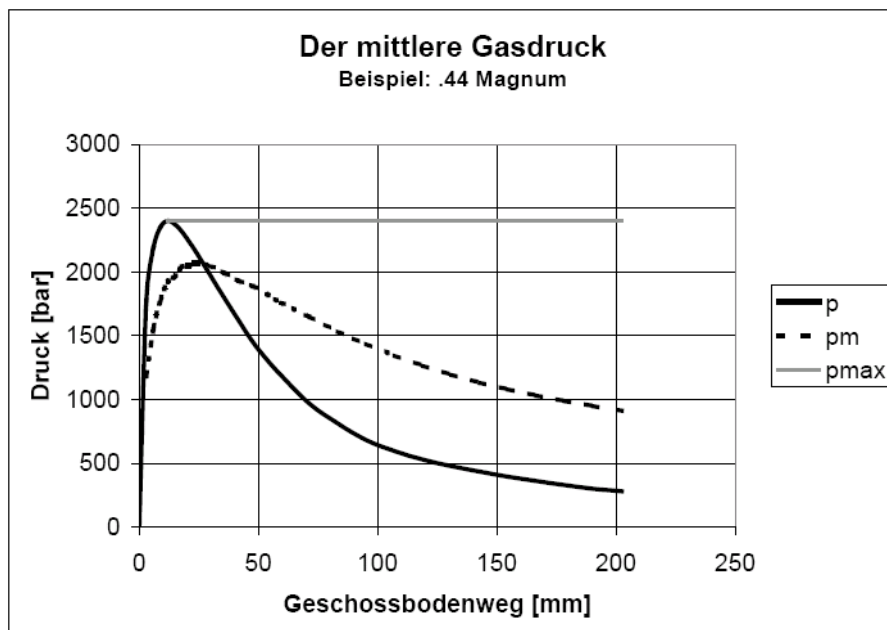


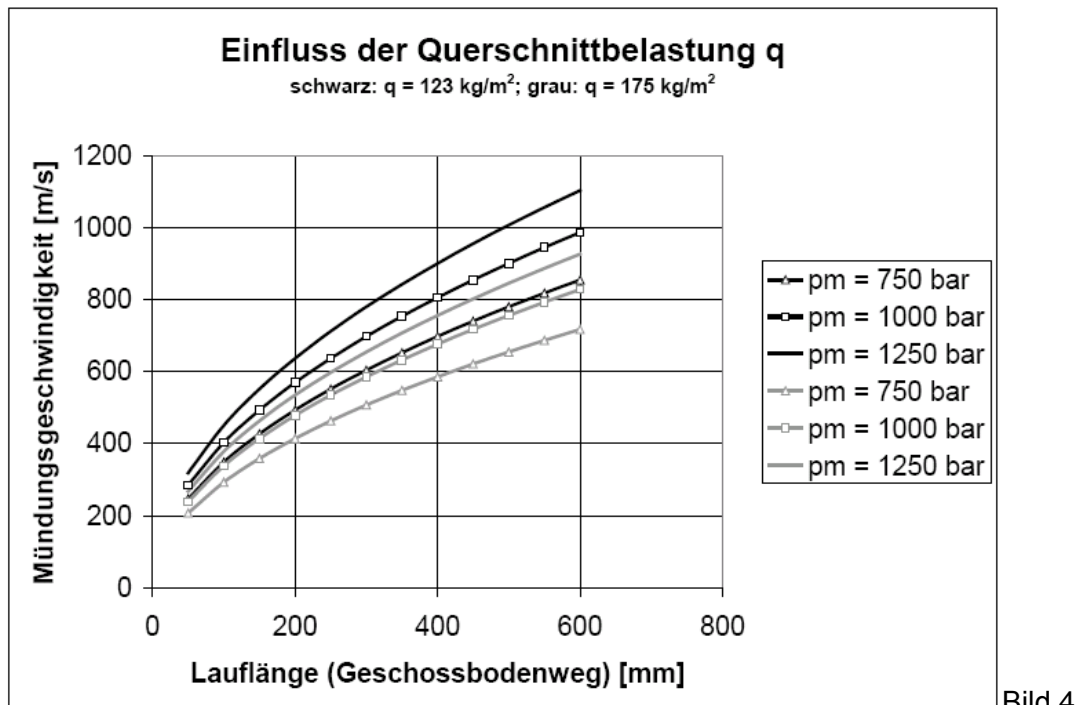
Bild 3

Wirklich interessant wird die Energiebilanz, wenn man die Querschnittbelastung  $q$  einführt. Diese ist definiert als  $q = m/A$ , also die Flächendichte des Geschosses. Die Querschnittbelastung ist die Königin der Ballistik: Sie beherrscht die Aussenballistik, wobei eine grosse  $q$  gute Flugeigenschaften verspricht, als auch die Zielballistik, wo eine kleine  $q$

für gute Energieabgabe bürgt. Um ihre Bedeutung für die Innenballistik zu verstehen, setzen wir sie in die Formel der Energiebilanz ein:

$$\frac{1}{2} \cdot q \cdot v_0^2 = p_m \cdot l$$

Um eine weitreichende Patrone zu erhalten, müssen gleichzeitig  $q$  und  $v_0$  maximiert werden. Diese Maximierung beeinflusst aber den Gasdruck und die Lauflänge – Größen, welche den Unterschied zwischen Gewehr und Revolver/Pistole ausmachen. Bild 4 illustriert die Aussagen der Energiebilanz für die Querschnittbelastung anhand von .44 Magnum Patronen, welche sowohl aus Revolvern/Pistolen als auch aus Gewehren verschossen werden. Die schwarzen Linien entsprechen einem Geschoss von 180 grs ( $q = 123 \text{ kg/m}^2$ ), die grauen einem von 255 grs ( $q = 175 \text{ kg/m}^2$ ). Aus dem Diagramm können viele allgemeingültige Aussagen abgelesen werden, z. B.: Um ein 40% schwereres Geschoss bei gleichem Kaliber auf dieselbe  $v_0$  wie das leichtere Geschoss zu beschleunigen, brauche ich entweder einen 40% längeren Lauf oder ich muss einen 40% höheren mittleren Gasdruck zulassen.



### 3. Zusammenfassung

Aus der Energiebilanz heraus versteht man, weshalb es Handfeuerwaffen (Gewehre) und Faustfeuerwaffen (Pistolen und Revolver) gibt: Die kurze Einsatzdistanz von Faustfeuerwaffen erlaubt eine geringe Querschnittbelastung, weshalb die Geschosse auch aus kurzen Läufen und bei moderaten Drücken (also aus kleinen Waffen) genügend Geschwindigkeit (Energie) gewinnen können. Die grossen Einsatzdistanzen von Handfeuerwaffen hingegen verlangen eine grosse  $q$  und müssen deshalb lange Läufe haben und stärkere Drücke aushalten. Das Mittelding sind Magnum-Faustfeuerwaffen, welche Geschosse mit grosser  $q$  aus relativ kurzen Läufen mit entsprechend hohen Drücken verschossen – sie müssen deshalb besonders stark gebaut sein und fordern auch dem Schützen einiges ab, denn die Erhöhung des Gasdruckes erhöht auch den Rückstoss.

## Anwendung der Energiebilanz

Die Kugel einer Patrone muss Energie ins Ziel transportieren und dort in Wirkung umsetzen. Die Innenballistik ist ein klassisches Optimierungsproblem, indem man die Forderungen der Aussen- und Zielballistik verknüpft mit zulässiger Grösse und zulässigem Gewicht der Waffe sowie deren zumutbarem Rückstoss. Wie man die Energiebilanz am Lauf als Werkzeug dieser Optimierung einsetzen kann, sei im Folgenden erläutert.

### 1. Allgemeingültige Überlegungen

Die Energiebilanz am Lauf lautet:

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 = p_m \cdot A \cdot l$$

Dabei bedeuten  $m$ : Geschossmasse in kg;  $v_0$ : Mündungsgeschwindigkeit in m/s;  $p_m$ : mittlerer Gasdruck in Pa (1/100000 bar) ;  $A$ : Geschossquerschnitt in  $m^2$ ;  $l$ : Geschossbodenweg (ca. Lauflänge) in m. Wenn man nun die Energiedichte an der Mündung  $ED_0 = E_0/A$  einführt, vereinfacht sich die Formel zu

$$ED_0 = p_m \cdot l$$

Patrone	Kal [mm]	$m_g$ [g]	$l$ [mm]	$v_0$ [m/s]	$p_{max}$ [bar]	$q$ [g/mm <sup>2</sup> ]	$E_0$ [J]	ED [J/mm <sup>2</sup> ]	$p_m$ [bar]	$p_{max}/p_m$
.50 BMG	12.70	48.60	1143.0	853	--	0.384	17681	139.65	1222	--
.338 LM	8.60	16.20	700.0	890	4200	0.279	6416	110.51	1579	2.7
.308 Win	7.62	10.89	609.6	802	3400	0.239	3502	76.84	1260	2.7
.223 Rem	5.56	3.56	609.6	947	3372	0.147	1596	65.78	1079	3.1
4.6x30 HK	4.60	1.70	180.0	750	3900	0.102	478	28.78	1599	2.4
.454 Casull	11.46	19.44	146.0	533	3448	0.189	2761	26.78	1835	1.9
5.7x28 FN	5.7	2.02	228.6	715	--	0.079	516	20.24	886	--
.44 Mag	10.92	11.66	144.8	536	2324	0.125	1675	17.89	1236	1.9
.44 Mag	10.92	15.55	144.8	439	2399	0.166	1498	16.01	1105	2.2
.50 AE	12.70	21.06	152.4	436	--	0.166	2002	15.81	1037	--
.480 Ruger	12.00	21.13	190.5	411	--	0.187	1785	15.79	829	--
.45 WinMag	11.46	14.90	127.0	430	2000	0.145	1378	13.36	1052	1.9
7.62x25 Tok	7.62	5.85	122.0	455	--	0.128	606	13.29	1089	--
.357 Mag	9.00	10.24	152.4	370	2482	0.161	701	11.02	723	3.4
.357 SIG	9.00	8.04	101.6	408	2668	0.126	669	10.52	1036	2.6
10mm Auto	10.16	10.04	127.0	401	2462	0.124	807	9.96	784	3.1
.45 Super	11.46	11.99	127	396	1931	0.116	940	9.12	718	2.7
.400 Corbon	10.16	10.04	127	381	--	0.124	729	8.99	708	--
.38 Super	9.00	8.10	127.0	370	2248	0.127	554	8.72	687	3.3
9x19 Para	9.00	5.83	101.6	431	2131	0.092	541	8.52	838	2.5
10mm Auto	10.16	11.66	127.0	344	2468	0.144	690	8.51	670	3.7
.45 Super	11.46	14.90	127	335	1931	0.145	836	8.11	639	3.0
.400 Corbon	10.16	11.66	127	335	--	0.144	654	8.07	636	--
.40 S&W	10.16	10.04	101.6	361	2296	0.124	654	8.07	795	2.9
9x19 Para	9.00	8.04	101.6	346	2110	0.126	481	7.57	745	2.8
.40 S&W	10.16	11.66	101.6	319	2303	0.144	593	7.32	721	3.2
.45 ACP	11.46	11.99	127.0	299	1200	0.116	536	5.20	409	2.9
.45 ACP	11.46	14.90	127.0	260	1165	0.145	504	4.88	385	3.0
9x18 Mak	9.00	6.48	101.6	308	1620	0.102	307	4.83	476	3.4
7.65x17 Br	7.65	4.60	101.6	253	1034	0.100	147	3.20	315	3.3
9x17 Kurz	9.00	5.83	95.3	256	1048	0.092	191	3.00	315	3.3

Hier zeigt sich, dass bei gegebener Energiedichte eigentlich auch schon Grösse und Stärke der Waffe gegeben sind: Je grösser  $l$ , umso länger die Waffe, je grösser  $p_m$ , umso massiver ihr Verschluss. Wenn man nun diverse Kaliber nach ihrer Energiedichte ordnet (s. Tabelle

und Bild 1), so ergibt dies eine Reihenfolge, die auch dem intuitiven Verständnis von Gewehr- und Faustfeuerwaffenpatronen entspricht. In Bild 2 ist dieselbe Aussage graphisch dargestellt und der Versuch unternommen, den verschiedenen Energiedichten Waffenkategorien zuzuordnen (von Dienstpistole/revolver bis Gewehr).



Bild 1

Geschossmasse, Kaliber, Mündungsgeschwindigkeit und Mündungsenergie sind also verknüpft mit Grösse und Stärke der Waffe; je nachdem, welche Grössen davon der Waffenentwickler vorgibt, folgt daraus über die abgeleitete Grösse der Energiedichte auch schon, ob die Waffe ein Gewehr oder eine Faustfeuerwaffe sein wird.

## **2. Die Patrone .454 Casull**

Die Entwicklung der Patrone .454 Casull war die Entwicklung einer Jagdpatrone. Eine gute Jagdpatrone muss eine gestreckte Flugbahn aufweisen (hohe  $v_0$ ) und ausserdem haben Jäger vom Schlage eines Dick Casull auch eine Vorliebe für grosse Kaliber und Geschossmassen. Wenn man diese Grössen gleichzeitig maximiert und zusätzlich noch verlangt, dass die resultierende Waffe eine Faustfeuerwaffe sei (Laufänge unter 200 mm), so handelt man sich gemäss der Energiebilanz einen gewaltigen mittleren Gasdruck ein. Die massgebende Grösse für die Stärke der Waffe ist natürlich der maximale Gasdruck, nicht der mittlere, und es war die geniale Leistung von Dick Casull, „flache“ Laborierungen zu entwickeln, deren maximaler Gasdruck verhältnismässig wenig grösser war als der mittlere Gasdruck (s. Tabelle, Spalte  $p_{max}/p_m$ ); dank diesem Kunststück gelang es ihm tatsächlich, eine gewöhnliche Leistung aus einem Revolver zu erbringen. Seine Revolver sind



allerdings ausserordentlich gross und schwer, weisen horrenden Rückstoss und Lärm auf und verfügen bloss über fünf Schuss Magazinkapazität. Vom Entwicklungsziel her musste der Rückstoss jedoch nur verkräftbar sein, der Lärm in bewaldetem Gelände erträglich und von langen Schussfolgen war gar nie die Rede – insgesamt wurde das Entwicklungsziel einer jagdtauglichen Faustfeuerwaffe unter den gegebenen Randbedingungen also voll erreicht.

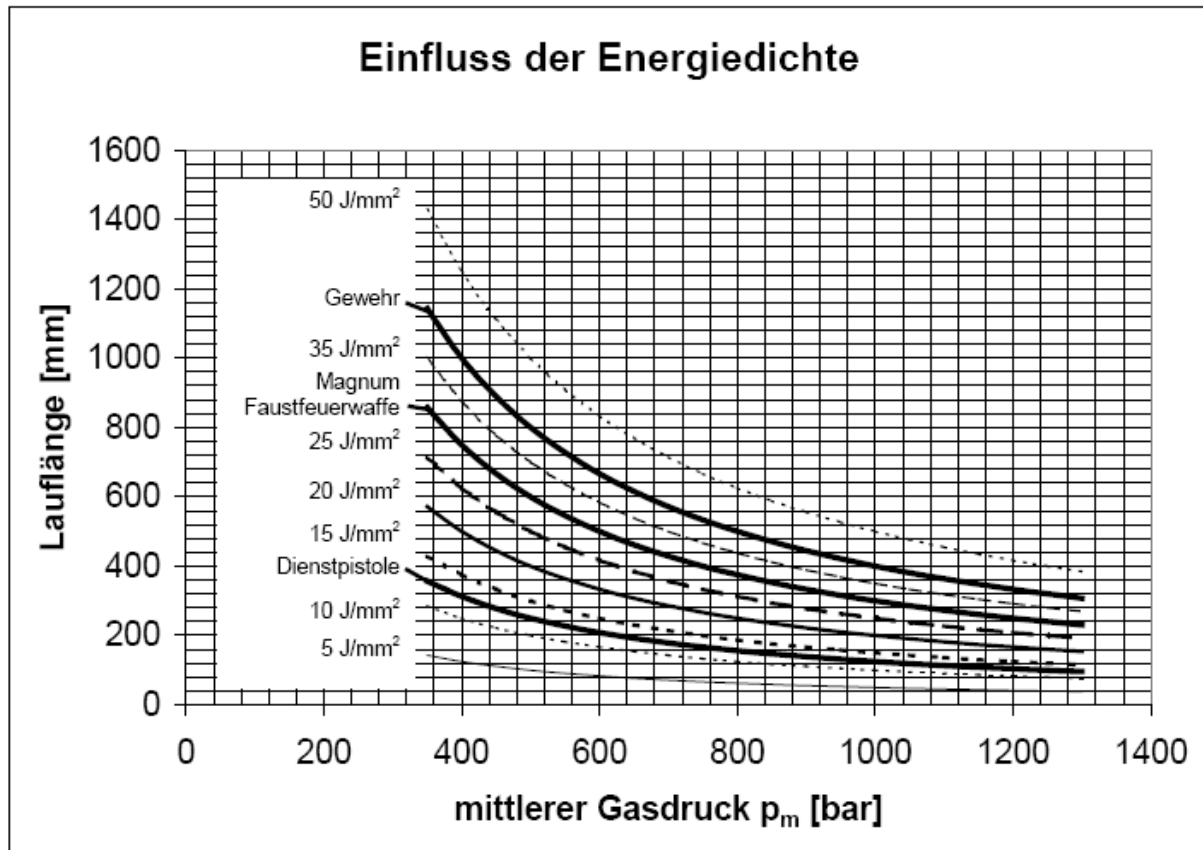


Bild 2

### 3. Die Patrone 4.6x30 HK

Der Forderungskatalog an eine militärische Selbstverteidigungswaffe PDW (Personal Defense Weapon) lautet etwa wie folgt:

1. Einsatzdistanz 150 m (hohe  $v_0$  für gestreckte Flugbahn, gute Flugeigenschaften);
2. durchschlägt Kugelschutz (hohe Energiedichte);
3. in Seriefire einsetzbar (geringer Rückstoss, hohe Magazinkapazität);
4. Waffe in Holster tragbar (kurzer Lauf, geringes Gewicht).

Aus Punkt 2 folgt wegen der Energiebilanz, dass  $p_m \cdot l$  gross sein muss. Wenn nun gleichzeitig wegen Punkt 4 die Laufweite  $l$  klein sein soll, so folgt ein erheblicher Gasdruck; Heckler & Koch gelang es mit der MP7, einen Verschluss zu konstruieren, der so einem hohen Gasdruck ( $p_{max}$  4000 bar) standhält und dennoch kompakt ist.

Diese Kompaktheit folgt auch aus der Tatsache, dass ein extrem kleines Kaliber gewählt wurde. Gemäss den Gesetzen der Physik ist Kraft = Druck  $\cdot$  Querschnittsfläche – wenn der Konstrukteur also bei gegebenem Druck die Kraft auf die Waffe und den Schützen (Rückstoss, Forderung Punkt 3) klein halten will, wählt er ein Kaliber mit kleinem Querschnitt. Somit hatten Heckler & Koch also eine kompakte Waffe mit grosser Energiedichte an der Mündung – aber wie sieht es nach 150 m aus (Forderung Punkt 1)? An diesem Punkt nun wurde die Entwicklung kompliziert, denn um die hohe Energiedichte von der Mündung bis ins Ziel zu transportieren, musste ein gewehrähnliches Langgeschoss her. Aber je länger ein Geschoss wird, umso grösser wird auch seine Querschnittbelastung  $m/A$  und der Druck

steigt ins Unermessliche. Hier hatten nun Heckler & Koch die Idee, die konventionelle Geschosskonstruktion mit Bleikern zu verlassen und stattdessen leichte Geschosse mit Aluminiumkern, Stahlkern oder Vollgeschosse aus Messing einzusetzen. Dadurch erhielten die aerodynamischen Langgeschosse Querschnittbelastungen geringer als bei Pistolenpatronen (s. Tabelle) und konnten deshalb auch aus kurzen Läufen auf gewehrähnliche Geschwindigkeiten gebracht werden.

Das geringe Kaliber der 4.6x30 ergibt sich also aus der innenballistischen Optimierung und den Anforderungen, welche per se schon eine miniaturisierte Gewehrpatrone verlangen: Bedenkt man nämlich, dass eine richtige Gewehrkugel alleine schon grösser ist als eine ganze Pistolenpatrone, so erkennt man, dass Heckler & Koch gar keine andere Wahl hatten, als ein winziges Kaliber zu wählen, denn schliesslich sollte die Waffe bei geringer Grösse (und also auch kleinem Magazin) eine hohe Magazinkapazität haben.

#### **4. Zusammenfassung**

Die Energiebilanz am Lauf ist ein einfaches Mittel des Entwurfs und der Analyse von Patronen. Sie macht zwar keine genaue Angabe über den Maximaldruck und sagt nichts über die Zeitverläufe der innenballistischen Zustandsgrössen, aber man kann damit doch so komplexe Entwicklungen wie die der .454 Casull oder der 4.6x30 HK nachvollziehen. Aus obigen Ueberlegungen versteht man auch, wie die Entwickler moderne Patronen häufig gezielt auf konkrete Vorgaben hin optimieren – der Preis dafür sind Nachteile in Aspekten, die bei den Vorgaben ausser acht gelassen wurden. Auch modernste Methoden können die Möglichkeiten der Physik nicht sprengen, wohl aber sehr gezielt ausnutzen.



## Innenballistische Vorgänge

Die globale Energiebilanz am Lauf setzt dem Wunschdenken eines Patronenentwicklers erste physikalische Grenzen und weist ihm gleichzeitig die Richtung, wie er seine Wünsche optimal verwirklichen kann. Ob ein solcher physikalischer Entwurf dann technisch umsetzbar ist, hängt hauptsächlich von den Eigenschaften real existierender Pulver und Zündhütchen ab.

### 1. Eigenschaften von Pulvern

Die Körner von modernem Nitropulver können verschiedene Form aufweisen (Bild 1): Kugel-, Blättchen-, Röhren- oder Siebenloch-Pulver. Der Abbrand und somit die Umwandlung von Feststoff in Gas erfolgt senkrecht zur Oberfläche. Mit zunehmendem Abbrand werden die Oberflächen von Kugel- und Blättchenpulver immer kleiner und sie ergeben zunehmend weniger Gas – man nennt sie deshalb „degressiv“. Die Oberfläche des Siebenloch-Pulvers hingegen wird mit dem Abbrand immer grösser und man nennt sie „progressiv“. Die Oberfläche des Röhrenpulvers schliesslich bleibt praktisch konstant und heisst deshalb „neutral“.

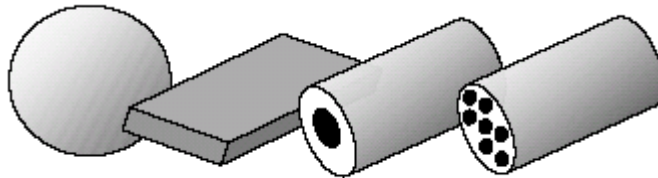


Bild 1

Wie schnell die Umwandlung von Feststoff in Gas geschieht, sagt uns die Abbrandgeschwindigkeit. Sie hängt einerseits von der Chemie des Pulvers ab und nimmt andererseits mit zunehmendem Druck zu – daher der steile Anstieg der Druckverläufe auch progressiver Pulver. Normalerweise gibt man schnellen Pulvern degressive Form, um sie für kurzläufige Waffen zu optimieren, und umgekehrt langsamen Pulvern progressive Form für lange Läufe.

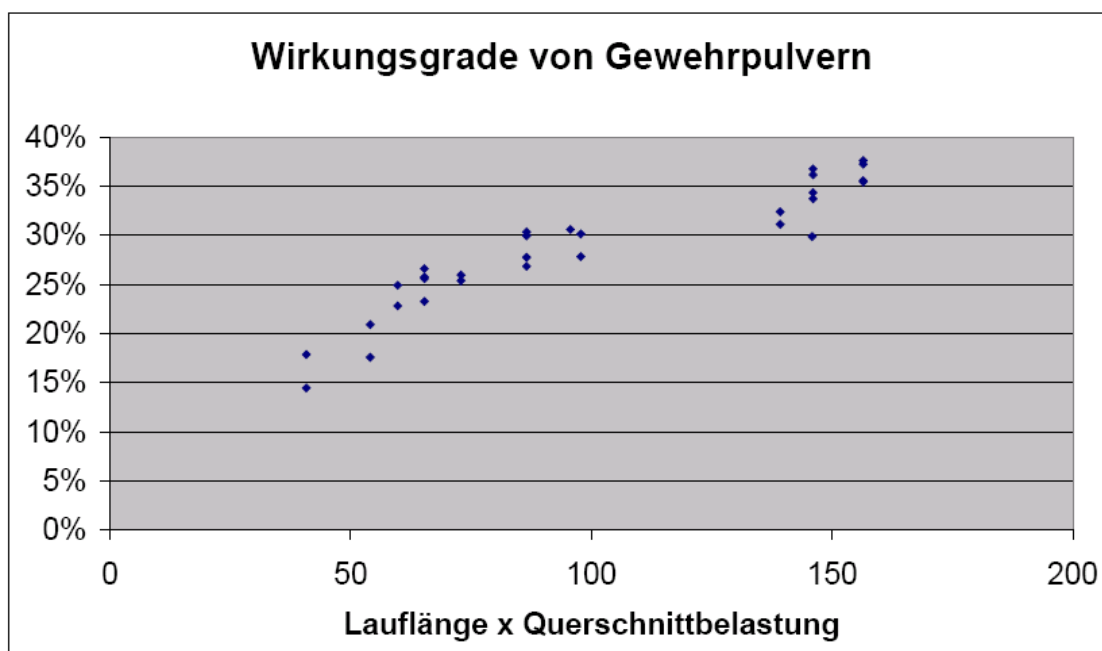


Bild 2

Den gesamten Energieinhalt eines Pulvers nennt man Verbrennungs- oder Explosionswärme, welche in Joule/gramm bemessen wird. Einbasige Pulver (nur Nitrozellulose als Energieträger) verfügen im Durchschnitt über 3500 J/g, zweibasige Pulver (Nitrozellulose und Nitroglycerin als Energieträger) erreichen 4800 J/g. Wieviel davon letztendlich in Bewegungsenergie des Geschosses an der Mündung umgesetzt werden kann, hängt vom Wirkungsgrad  $\eta$  der Kombination Waffe/Patrone ab; in der Regel ist es nur etwa ein Drittel der gesamten Explosionswärme.

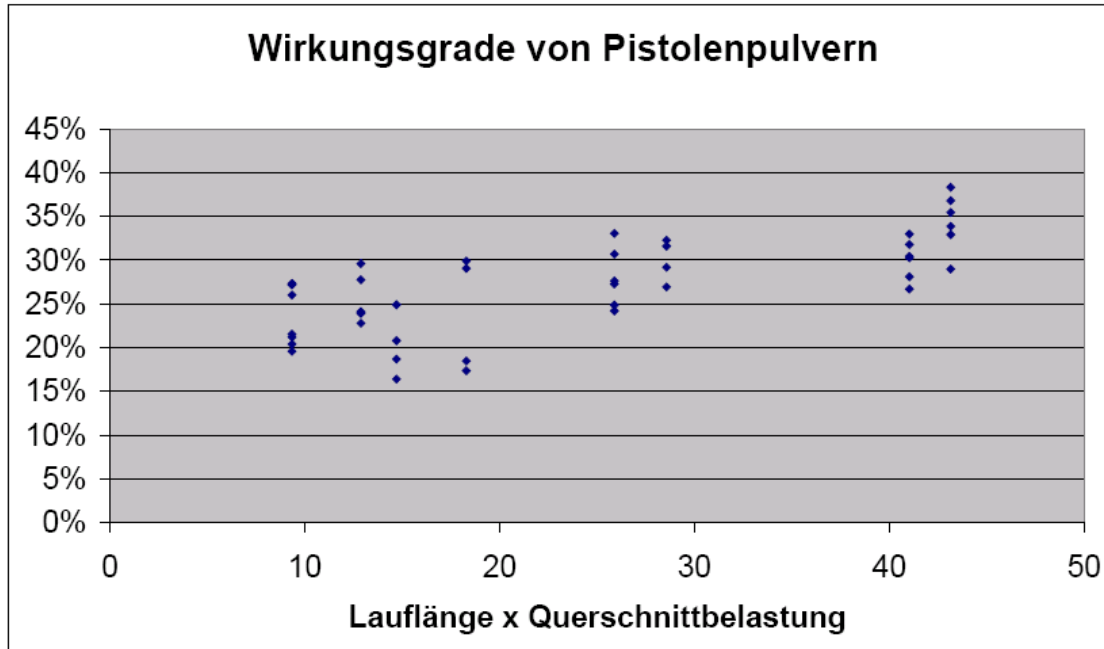


Bild 3

Ein langer Lauf gibt dem Pulver mehr Zeit zu verbrennen und erhöht den Wirkungsgrad. Ein träges Geschoss mit grosser Querschnittbelastung erhöht den Gegendruck, beschleunigt so den Abbrand und erhöht ebenfalls den Wirkungsgrad. Bild 2 zeigt die Wirkungsgrade verschiedener Laborierungen in Abhängigkeit des Parameters Lauflänge x Querschnittbelastung für Gewehrpatronen, Bild 3 dasselbe für Pistolenpatronen. Die progressiven Gewehrlaborierungen zeigen eine sehr schöne Korrelation mit Lauflänge und Querschnittbelastung, bei den schnellen Pistolenlaborierungen ist der Zusammenhang weniger ausgeprägt. Bei letzteren gilt vorallem der Zusammenhang mit der Querschnittbelastung und weniger der mit der Lauflänge, denn da sie schnell abbrennen, brauchen sie keinen langen Lauf zur vollständigen Umsetzung ihrer Energie; die schlechtesten Wirkungsgrade in Bild 3 stammen von Pistolenlaborierungen mit Gewehrpulvern, welche folgerichtig nur einen Bruchteil der Explosionswärme umzuwandeln vermögen.

## 2. Eigenschaften von Zündhütchen

Die Anfeuerung des Pulvers besorgt das Zündhütchen. Es enthält dazu eine geringe Menge Explosivstoff, der durch den Aufschlag des Schlagbolzens detoniert und eine Flamme in das Hülseninnere wirft; Bild 4 zeigt so eine Zündflamme sowie die Brennfrent, die von ihr ausgeht. Der Einfluss der Hülsenform auf die Innenballistik (und namentlich auf die resultierende Präzision) ist umstritten, da das meiste Pulver erst im Lauf verbrennt. Bild 4 weist jedoch darauf hin, dass flaschenförmige Hülsen für eine vollständige Anfeuerung von Vorteil sind; man bedenke dazu, dass Pulverkörner, die nicht schon in der Hülse angefeuert werden, wahrscheinlich den Lauf unverbrannt verlassen werden und nichts zur Leistung der Patrone beitragen. Die Gefahr einer ungenügenden Anfeuerung besteht vorallem bei langsamen Pulvern, welche nämlich nicht nur langsam abbrennen, sondern sich auch nur langsam anfeuern lassen.

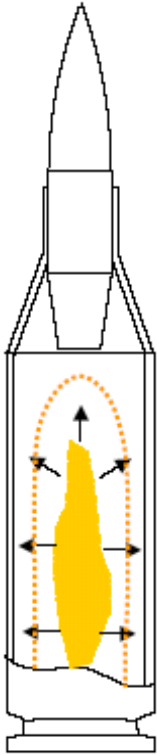


Bild 4

Nur eine von Patrone zu Patrone gleiche Anfeuerung gewährleistet eine immer gleiche Innenballistik, einen immer gleichen Geschossabgang und eine immer gleiche Treffpunktlage, sprich: Gute Präzision. Bei einer geringen Ladungsdichte (Verhältnis von Pulvervolumen zu Hülsenvolumen) kann jedoch das Pulver sich beliebig verteilen (s. Bild 5) und wird auch unterschiedlich Gas entwickeln; gleichmässige, maximale Leistung und beste Präzision werden deshalb mit Ladungsdichten von knapp 1 erzielt.

Für Hand- und Faustfeuerwaffen finden sich im Wesentlichen zwei Grössen von Zündhütchen: „small“ mit Durchmesser 0.175“ (4.45 mm) und „large“ mit .210“ (5.33 mm); Ausnahmen bilden die zweiteiligen Flinten-Zündhütchen und dann noch diejenigen für die Patrone .50BMG, am Uebergang zu den Kanonen-Patronen. Die gängigen zwei Grössen finden sich jeweils in Standard- oder Magnum-Qualität, wobei letztere mehr Explosivstoff enthält und eine grössere Flamme erzeugt. Die Verwendung eines Magnum-Zündhütchens erhöht in der Regel den Maximaldruck, weshalb ein Wiederlader nicht nur die angegebene Pulvermenge verwenden muss, sondern auch den vorgeschriebenen Zünder.

Die Hülle des Zündhütchens muss als Teil der Hülse auch den entstehenden Druck aufnehmen können. Da dieser bei Gewehrpatronen höher ist als bei Pistolenpatronen, sind Gewehr-Zündhütchen stärker und brauchen auch einen stärkeren Schlag des Schlagbolzens; man kann zwar wegen gleicher Grösse „rifle“-Zündhütchen in Pistolenhülsen einsetzen, riskiert dabei aber Zündversager.

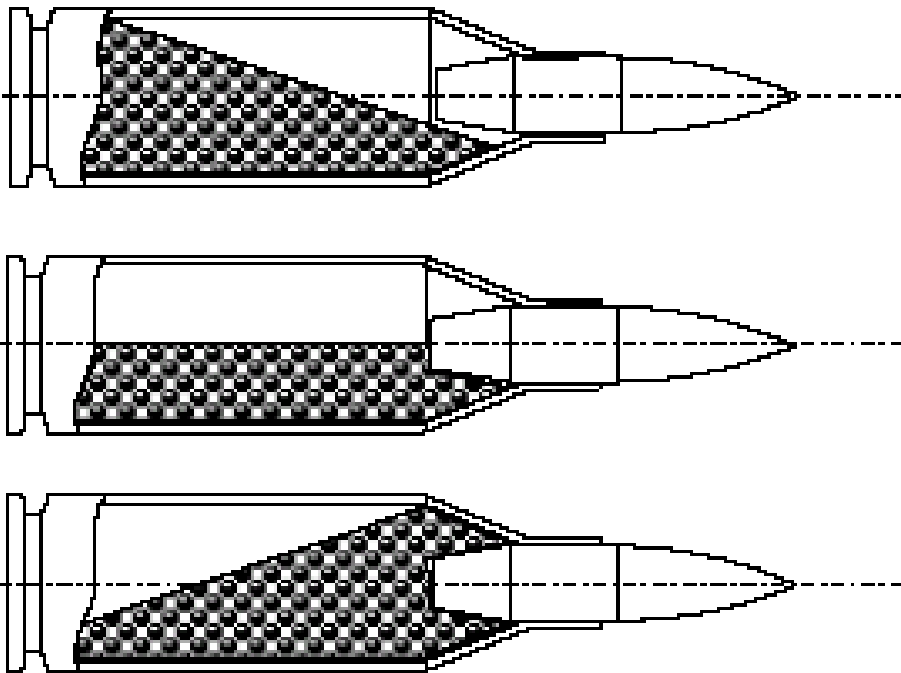


Bild 5

### 3. Zusammenfassung

Die Innenballistik wird in schierig durchschaubarer Weise von vielen Parametern beeinflusst. Die Variation mancher bringt einfach nur einen schlechteren Wirkungsgrad, die meisten aber führen zu Erhöhung des Gasdruckes bis hin zur Waffensprengung. Die Vielfalt der Parameter beweist auch den Nutzen einer globalen Betrachtung wie der Energiebilanz, um eine erste Voroptimierung durchzuführen.

## Der Lauf

Zur Innenballistik zählen nicht nur die Vorgänge in der Hülse, sondern auch der Uebergang des Geschosses in den Lauf und sein Gang durch den Lauf; Prozesse, die den Wirkungsgrad und die Präzision eines Systems Waffe/Patrone massgeblich beeinflussen.

### 1. Nach der Patrone

Nebst der Querschnittbelastung des Geschosses und den „heissen“ Parametern Pulver und Zündhütchen beeinflussen noch weitere Grössen die Innenballistik, namentlich der Auszugswiderstand, der Freiflug, die Setztiefe und die Geschosslänge; diese Grössen bestimmen den Uebergang des Geschosses von der Patronenhülse in den Lauf.

Der Auszugswiderstand ist die Kraft, die benötigt wird, um das Geschoss aus der Hülse zu ziehen, bzw. stossen. Erst wenn der Druck in der Hülse diesen zu überwinden vermag, setzt sich das Geschoss in Bewegung – offensichtlich hat also der Auszugswiderstand grossen Einfluss auf die Druckentwicklung in der Hülse. In Jagd- und Militärpatronen ist das Geschoss nicht nur eingeklemmt, sondern regelrecht eingeklebt – dies, um den Pulverraum gegen Feuchtigkeit abzudichten. Durch den Klebstoff riskiert man allerdings ungleichmässige Auszugswiderstände, was der Präzision abträglich ist. Reine Match-Patronen sind daher in der Regel nicht abgedichtet, was vertretbar ist, weil sie nicht denselben widrigen Umweltbedingungen widerstehen müssen wie eben Jagd- und Militärpatronen.

Sobald sich das Geschoss zu bewegen beginnt, vergrössert sich das Volumen, das den Gasen zur Verfügung steht, und der Druckaufbau entschärft sich etwas (unter Standardbedingungen von 1 bar Druck und 20° C Temperatur würden Pulvergase ein Volumen von 1 Liter pro Gramm Pulver beanspruchen!). Der nächste Druckanstieg erfolgt, wenn das Geschoss unter grosser Kraftaufwendung in die Züge des Laufes gepresst werden muss (s.u.). Zwischen dem Austritt aus der Hülse und dem Eintritt in das Zugprofil liegt eine Strecke, welche Freiflug heisst (Bild 1, f) – je kürzer der Freiflug, umso steiler der Druckanstieg.

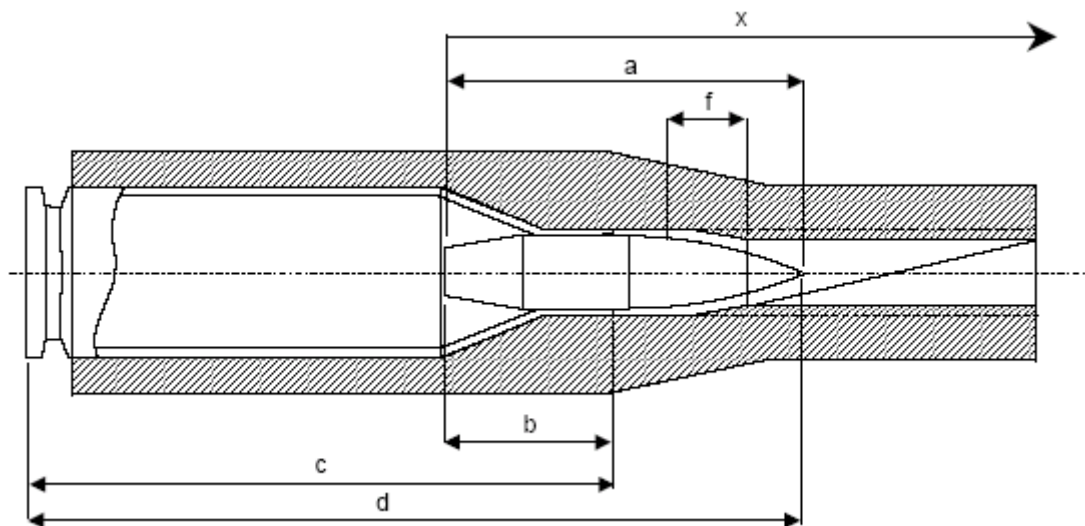


Bild 1

In diesem Uebergangsbereich von Patronenlager zu gezogenem Lauf herrschen beim Schuss sehr hohe Temperaturen und Drücke, welche die Korrosion des Laufes beschleunigen – er brennt aus. In diesem Bereich entscheidet sich die Lebensdauer eines Laufes, denn der zunehmende Ausbrand verlängert den Freiflug und vermindert Präzision und Leistung der Waffe bis hin zur Unbrauchbarkeit.

Die Setztiefe ist der Weg von Geschossboden zu Hülsenmund, also das Mass, mit welchem das Geschoss ins Hülseninnere ragt (Bild 1, b). Je grösser die Setztiefe, umso kleiner das

freie Volumen im Innern der Hülse, das den expandierenden Gasen zur Verfügung steht, bzw. umso geringer die Ladungsdichte bei gleicher Pulvermenge; eine Vergrößerung der Setztiefe führt also zu einer Erhöhung des Gasdruckes in der Hülse.

Freiflug und Setztiefe sind verknüpft über die Geschosslänge: Um in einem gegebenen Patronenlager ein längeres Geschoss unterzubringen, muss man entweder den Freiflug vermindern oder die Setztiefe erhöhen; da ein längeres Geschoss gewöhnlich auch noch eine höhere Querschnittbelastung aufweist, bringt es auf jeden Fall einen höheren Gasdruck. Dies wird in der Regel durch eine geringere Ladung kompensiert, was aber natürlich auch eine geringere Mündungsgeschwindigkeit bringt. Oder andersherum: Man baut eine stärkere Patrone, z. B. von .308 Winchester auf .300 Winchester Magnum.

Der Freiflug variiert mit der Geschossform, indem bei einem rundköpfigen Geschoss die Flanken früher das Zugprofil berühren als bei einem Spitzgeschoss. Für die anderen genannten Größen gilt (nach Bild 1) Geschosslänge  $a$  + Hülsenlänge  $c$  - Setztiefe  $b$  = Patronenlänge  $d$ .

## 2. Im Lauf

In der Hülse werden die Pulver entzündet, im Lauf verrichten sie ihre Arbeit. Je länger der Lauf, umso höher die Mündungsgeschwindigkeit und somit auch die Mündungsenergie und die Reichweite der Waffe; die chemische Energie des Pulvers wird besser umgesetzt und der Wirkungsgrad steigt. Nach Erreichen des Maximaldrucks wird allerdings die Geschwindigkeits- bzw. Energiezunahme pro Centimeter Lauflänge immer geringer, d.h. der Grenznutzen jedes weiteren Centimeters Lauflänge sinkt und muss sorgfältig gegen die Führbarkeit und das Gewicht der Waffe abgewogen werden.

Die Zeit, welche das Geschoss braucht, um den Lauf zu durchheilen, heisst Durchlaufzeit  $t$  und lässt sich näherungsweise berechnen gemäss  $t \approx 2 \cdot l / v_0$  ( $l$ : Lauflänge in mm,  $v_0$ : Mündungsgeschwindigkeit in m/s,  $t$ : Durchlaufzeit in Millisekunden ms). Typische Werte liegen deutlich unter 1 Millisekunde.

In der Innenballistik benützt man übrigens ein Koordinatensystem, dessen Ursprung  $x = 0$  im Geschossboden liegt (s. Bild 1). Wann immer beiläufig von der „Lauflänge“ gesprochen wird, ist eigentlich der Geschossbodenweg bis zu dessen Mündungsaustritt gemeint; dies gilt namentlich auch für  $l$  in den Formeln. Dieser Geschossbodenweg berechnet sich aus Lauflänge (mit Patronenlager, bzw. mit Trommel bei Revolvern) - Hülsenlänge  $c$  + Setztiefe  $b$  (Bezeichnungen aus Bild 1) auf wenige Millimeter genau.

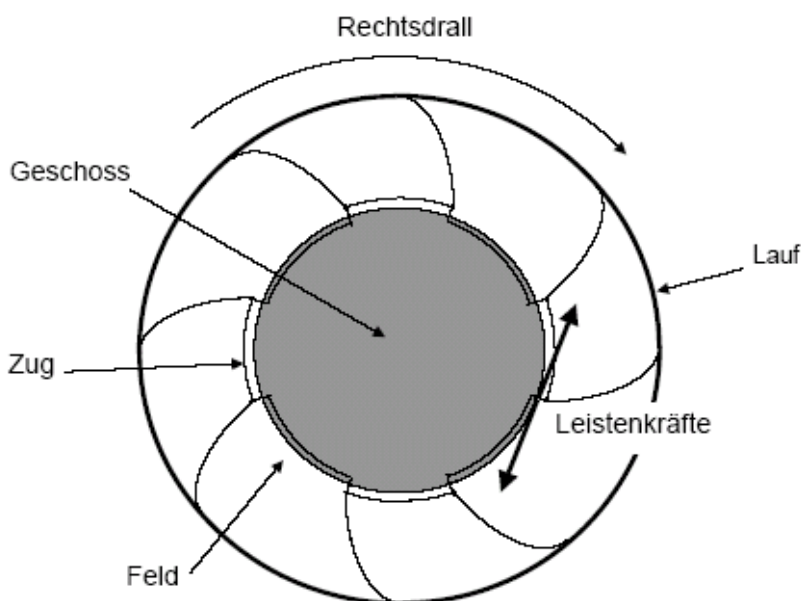


Bild 2

Im Gegensatz zu den glatten Läufen von Flinten zeigen die Läufe von Büchsen und Faustfeuerwaffen eine Art von flachem Gewinde – sie sind gezogen. Dieses „Gewinde“ gibt dem Geschoss auf seinem Weg durch den Lauf eine Drehung um die eigene Achse („Drall“), welche verhindert, dass das Geschoss sich im Flug überschlägt („Drallstabilisierung“).

Bild 2 zeigt einen Blick vom Patronenlager her durch einen gezogenen Lauf: Der grössere Durchmesser heisst Zug-Durchmesser und der kleinere Feld-Durchmesser; dieser entspricht dem Kaliber der Waffe. Als Mass für die Steigung des „Gewindes“ gibt man die Länge an, auf welche sich das Geschoss einmal um die eigene Achse dreht. Dieses Mass nennt man Dralllänge: Je kürzer die Dralllänge, umso schneller rotiert das Geschoss.

Zwischen den Flanken des Zug-Feld-Profiles und dem darin eingepressten Geschoss wirken Leistenkräfte, welche umso grösser werden, je kürzer die Dralllänge ist und je stärker das Geschoss beschleunigt wird. Tatsächlich können diese Kräfte so gross werden, dass der Umfang eines Bleigeschosses abgesichert wird; die Leistung moderner Waffen wurde deshalb erst möglich mit der Herstellung von Geschossen, welche um den Bleikern herum einen zähen Mantel aus Messing oder Stahl tragen, der diese enormen Kräfte aufnehmen kann.

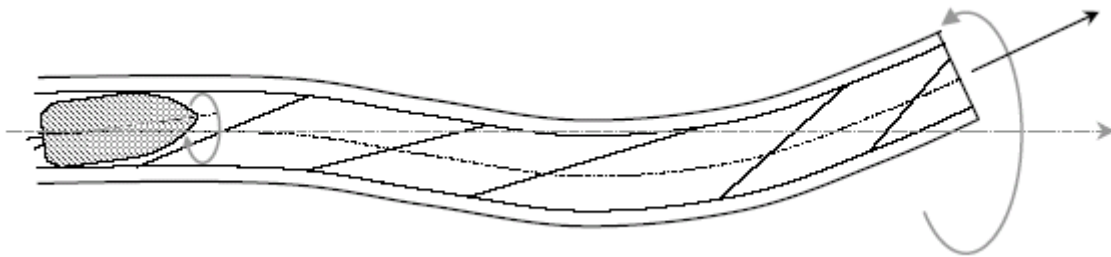


Bild 3

Natürlich wirken die Leistenkräfte auch auf den Lauf und versetzen diesen in einen komplizierten Schwingungszustand. Diese Schwingungen eilen dem Geschoss voraus, lassen die Mündung schwänzeln und erteilen dem Geschoss bei dessen Abgang eine Richtung, welche von der ruhenden Laufseelenachse abweicht (s. Bild 3). Dieses Schwänzeln der Mündung macht einen erheblichen Teil der präzisionsmindernden Abgangsfehler aus und wird am besten unterdrückt durch die Verwendung kurzer, dicker Läufe, welche kaum schwingen, oder durch eine erhöhte Masse an der Mündung (Mündungsgewicht oder gar Schalldämpfer).

### **3. Schiessen lange Läufe präziser?**

Die meisten Schützen würden diese Frage entschlossen mit Ja beantworten. Tatsächlich gilt es aber einige Pro und Contra abzuwägen:

- Mit Rücksicht auf das Waffengewicht sind lange Läufe schlanker und schwingfähiger als kurze; sie reagieren daher empfindlicher auf Unregelmässigkeiten der Patrone.
- Im langen Lauf verweilt das Geschoss länger und der Schütze muss folglich länger ruhig auf dem Ziel bleiben (problematisch bei freien Anschlägen).
- Beim Zielen mit Kimme und Korn bietet ein langer Lauf Raum für eine längere Visierlinie, welche dem Schützen hilft, Zielfehler zu erkennen – er trifft besser. Diese Erhöhung der Präzision ist aber kein Effekt des längeren Laufes, sondern eben der längeren Visierlinie.
- Im langen Lauf entspannen sich die Gase mehr, der Mündungsdruck sinkt und der Mündungsabgang des Geschosses fällt ruhiger aus – dies ein eindeutiger Vorteil langer Läufe.

Ein einfacher Zusammenhang von Lauflänge und Präzision ist also überhaupt nicht gegeben, man muss da verschiedene Einflüsse genau auseinanderhalten. Jedoch eines gewährt ein langer Lauf mit Sicherheit: Er erteilt dem Geschoss mehr Geschwindigkeit und Energie und erhöht so die Reichweite der Waffe.



## Abgangsbalistik

Zwischen Innen- und Aussenballistik steht die Abgangsbalistik, welche die Vorgänge an der Mündung beschreibt. Dieser kurze Augenblick des Mündungsabgangs hat entscheidenden Einfluss auf die Präzision einer Waffe und setzt Kräfte frei, die – geschickt genutzt – neue Wege im Waffenbau eröffnen.

### 1. Der Geschoss-Abgang

Das Geschoss wird nicht durch den Lauf gezogen, sondern durch den Druck der Pulvergase hindurch gestossen. Wie bei einem Auto mit Heckantrieb auf glattem Grund hat das Heck eine Neigung, die Geschossspitze zu überholen. Deshalb stimmt die Geschossachse nicht mit der Laufachse überein, welche ihrerseits die Bewegungsrichtung des Geschosses bestimmt (bei schräg in die Hülse gesetzten Geschossen weichen die Achsen von Anfang an voneinander ab). Das Geschoss rotiert somit nicht einfach um die eigene Achse, sondern vollführt eine komplizierte Kreisel-Bewegung, welche sich erst lange nach dem Mündungsabgang wegdämpft.

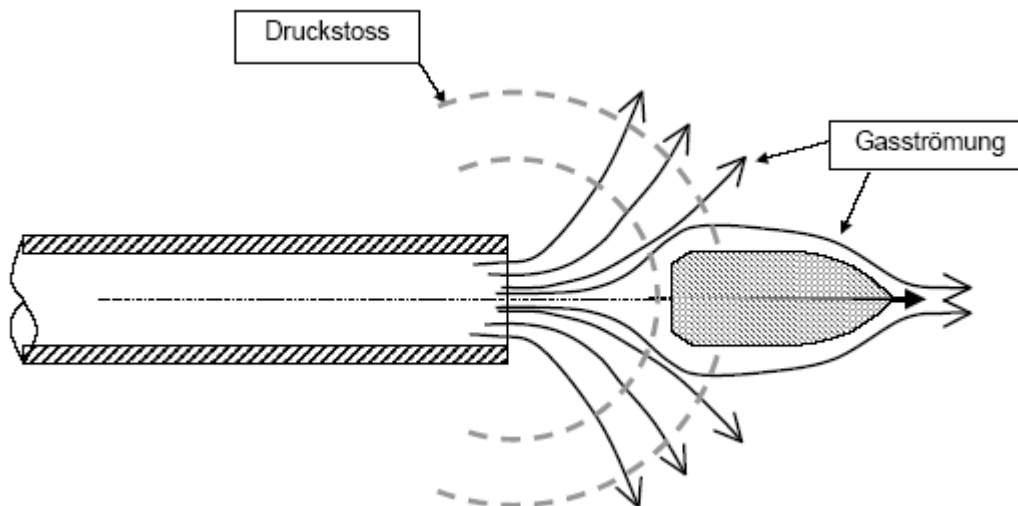


Bild 1

Wenn das Geschoss aus der Mündung austritt, geschieht dasselbe, wie beim Entkorken einer Sektflasche: Die unter hohem Druck stehenden Gase werden stark beschleunigt und schießen aus der Mündung heraus – so schnell, das sie das nunmehr ungeführt fliegende Geschoss von hinten umströmen (Bild 1). Die unruhige, kreiselnde Bewegung des Geschosses wird durch dieses Umströmen von hinten noch verschlimmert, das Geschoss kann gar aus seiner Bahn „geblasen“ werden.

Patrone	Geschossbodenweg [mm]	Mündungsdruck [bar]
.45 ACP 14.95 g	110	100
9 mm Para 8.0 g	110	180
.44 Rem Mag 15.55 g	150	540
.223 Rem 3.6 g	470	600
.44 Rem Mag 15.55 g	490	140
.308 Win 10.9 g	570	490

Der präzisionsmindernde Einfluss der Umströmung des Geschosses nach dessen Mündungsabgang nimmt mit zunehmendem Mündungsdruck zu. Dieser hängt einerseits vom Maximaldruck und dem Druckverlauf ab (progressiv/degressiv), besonders aber auch von der Lauflänge: Bild 2 zeigt beispielhaft für eine Patrone .223 Rem, dass der Mündungsdruck

bei einer Lauflänge von 300 mm doppelt so hoch ist wie nach einer Lauflänge von 560 mm; weitere typische Werte sind in der Tabelle dargestellt.

Nebst den Abgangsstörungen durch Gase ist noch das Schwingen der Mündung von Bedeutung, welches dem Geschoss eine Abgangsrichtung erteilt, die von der Laufseelenachse abweicht; dieser Abgangsfehler ist entscheidend für die Schusslage der Waffe. Insgesamt entscheidet sich also an der Mündung, wohin und wie präzise eine Waffe schießt.

Für den Schützen bedeutet der Mündungsabgang in erster Linie Lärm. Bild 1 zeigt nicht nur die Richtung der abströmenden Gase, sondern auch die Entwicklung des resultierenden Druckstosses. Dieser Druckstoss ist umso stärker, je höher der Mündungsdruck ist, und wenn er auf ein Gehör trifft, registriert dieses Lärm (bzw. sogar Schmerz). D. h. also: Je höher der Mündungsdruck, umso lauter die Waffe.

### **.223 Remington**

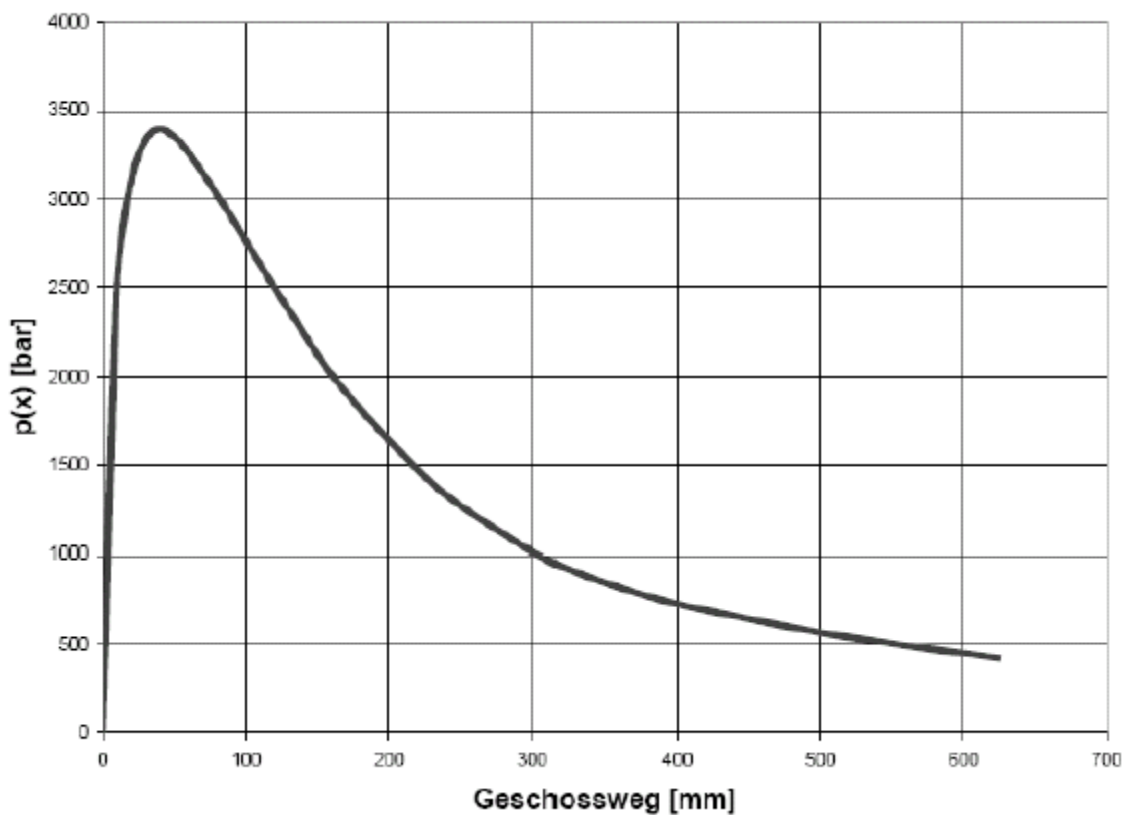


Bild 2

Schliesslich bleibt noch zu erwähnen, dass die austretenden Gase sehr heiss sind und in der sauerstoffreichen Umgebung nach der Mündung hell brennen. Die meisten Schützen stört dies nicht, für den taktischen Anwender kann das verräterische Mündungsfeuer jedoch tödlich sein.

## **2. Optimierung der Mündung**

Optimierung des Geschossabganges an der Mündung bedeutet zum Einen die Unterdrückung der Mündungsschwingungen, was durch eine Erhöhung ihrer trägen Masse (Laufgewicht) und/oder mit einem steifen Lauf (kurz, dick, kannelliert) erreicht wird. Zum Zweiten muss man versuchen, die Gase möglichst gleichmässig und ohne Wirbel austreten zu lassen. Dies gelingt mit einer vollkommen symmetrischen Mündung, welche man ja nicht beim Reinigen des Laues beschädigen darf.



Man kann aber auch versuchen, die Gase abzuscheiden und am Umströmen des Geschosses zu hindern. Hier trifft man auf eine schöne Synergie: Um den Rückstoss starker Waffen zu mindern, hatten findige Konstrukteure den Einfall, die Kraft des Mündungsdruckes zu nutzen. Sie stellten dazu Prellflächen vor die Mündung, in welche die austretenden Gase hineinblasen wie in die Segel eines Schiffes und so die Waffe nach vorne ziehen (s. Bild 3, Kraft auf Waffe grosser Pfeil). Man nennt dies „Mündungsbremsen“ und nur dank ihnen ist es möglich, dass ein Mensch ein Gewehr in einem Kaliber wie .50 BMG überhaupt schießen kann. Gleichzeitig scheiden diese Prellflächen natürlich Gase ab, was die Umströmung des Geschosses vermindert und so die Präzision verbessert. Aber Vorsicht: Unsorgfältig gefertigte oder montierte Mündungsbremsen verstärken die Wirbel und verschlechtern die Präzision!

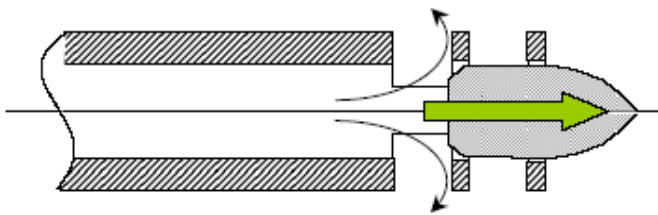


Bild 3

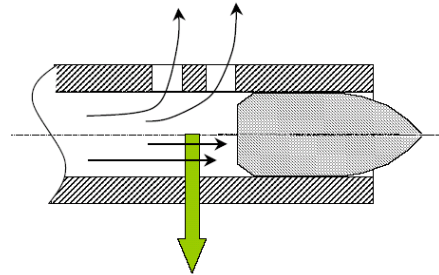


Bild 4

Mündungsbremsen werden oft mit Feuerscheindämpfern verwechselt. Letztere bestehen aus Löchern oder Schlitzen im Mündungsbereich, welche durch eine erhöhte Sauerstoffzufuhr ein vollständiges Verbrennen der Gase vor dem Mündungsaustritt ermöglichen und so das Mündungsfeuer vermindern. Im Gegensatz zur Mündungsbremse besorgt ein Feuerscheindämpfer keine Umlenkung der Gase und kann deshalb auch den Rückstoss nicht vermindern.

Ein Sonderfall tritt dann ein, wenn die Öffnungen im Mündungsbereich nur nach oben zeigen: Durch einen Raketeneffekt drücken so die asymmetrisch austretenden Gase die Mündung nach unten und unterdrücken den Hochschlag der Waffe. Diesen Effekt erreicht man durch einen „ported barrel“ (Löcher oben im Lauf, Kraft auf Waffe grosser Pfeil in Bild 4) oder durch einen Feuerscheindämpfer mit asymmetrischen Öffnungen (z. B. bei Sturmgewehr 90). Da nun aber die Waffe weniger steigt, erfolgt die Reaktion der Waffe auf den Geschossabgang geradlinig und erhöht so den Rückschlag in die Schulter, bzw. die Hand des Schützen.

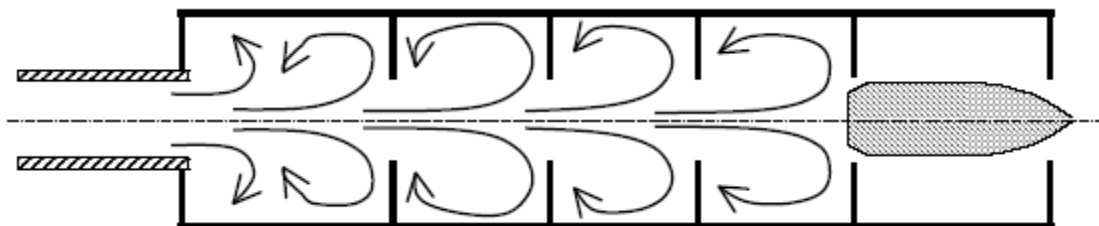


Bild 5

Mündungsschwingungen, Gasaustritt und Mündungsfeuer kann man mit relativ einfachen Mitteln kontrollieren – wesentlich trickreicher ist die Unterdrückung des Mündungsknalls, welcher für den Schützen und seine Umgebung besonders gefährlich ist (Gehörschäden!). Dazu setzt man sogenannte „Schalldämpfer“ vor die Mündung, in welchen eine starke Verwirbelung der Gase erzwungen wird (Bild 5). Durch innere Reibung verlieren die Gase in diesen Wirbeln einen grossen Teil ihrer Energie und verlassen den Schalldämpfer mit reduziertem Druck und somit vermindertem Lärm. Diese populär als „Schalldämpfer“ bezeichneten Vorrichtungen heissen eigentlich „Mündungsknalldämpfer“, denn von allen Schallquellen, die beim Schuss auftreten, dämpfen sie nur den Mündungsknall – sie

dämpfen weder die mechanischen Geräusche eines Selbstladers noch den Ueberschallknall einer rasant fliegenden Kugel noch deren Aufschlageräusch im Ziel. Dafür dämpft so ein Schalldämpfer aber nicht nur den Mündungsknall, sondern er ist gleichzeitig auch ein präzisionsförderndes Mündungsgewicht, eine sehr wirksame Mündungsbremse und ein vollkommener Feuerscheindämpfer. Mündungsknalldämpfer auf Sturmgewehren (Bild 6) werden deshalb zunehmend zum militärischen Standard, da sie den Schützen optisch und akustisch tarnen, und beim Einsatz von Nachtsichtgeräten sind sie seit den 50er-Jahren ein Muss. Diese Vorteile bietet allerdings nur ein hochwertiger und sauber montierter Schalldämpfer, denn bei schlechter Auslegung verschlechtert er die Präzision der Waffe bis zur Unbrauchbarkeit. Und wenn seine Achse nicht mit der Laufseele fluchtet, so wird der erste Schuss auch der letzte sein ...



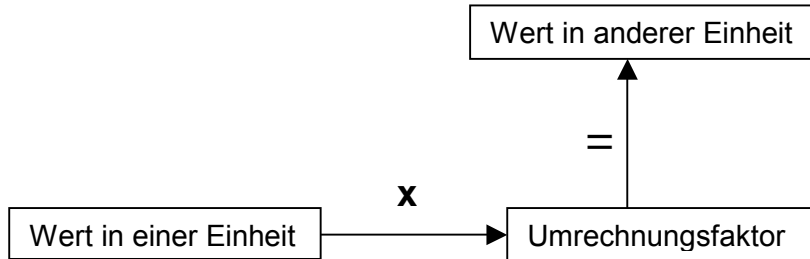
Bild 6

### **3. Zusammenfassung**

Der Lauf schießt, die Mündung trifft. Die schwingende Mündung bestimmt den Treffpunkt, die mehr oder weniger kontrolliert abströmenden Gase beeinflussen wesentlich die Streuung. Die Schwingungen der Mündung unterdrücken die Konstrukteure mit möglichst steifen Läufen und Laufgewichten. Die Gas-Abströmung kann durch geschickte innenballistische Auslegung beherrscht werden oder durch konstruktive Massnahmen wie eine hochsymmetrische Mündung oder geeignete Mündungsvorsätze – letztere dienen primär oder sekundär auch der Unterdrückung unangenehmer Nebeneffekte wie Mündungsknall und Mündungsfeuer.

## Anhang: Umrechnungstabellen

Die unten stehenden Tabellen erleichtern das Umrechnen der verschiedenen Einheiten. Die Umrechnung erfolgt nach folgendem Schema:



Sinnlose Faktoren, wie z.B. mm in miles, sind nicht angegeben (-).

### Einheiten der Länge

	mm	cm	m	km	inch	foot	yard	mile
mm	1	0.1	0.001	-	0.03937	0.0033	0.0011	-
cm	10	1	0.01	-	0.3937	0.0328	0.0109	-
m	1000	0.001	1	0.001	39.3701	3.2808	1.0936	0.0006
km	-	-	1000	1	-	-	1093.6132	0.6215
inch	25.4	2.54	0.0254	-	1	0.0833	0.0278	-
foot	304.8	30.48	0.3048	0.0003048	12	1	0.3333	0.0002
yard	914.4	91.44	0.9144	0.0009	36	3	1	0.0006
mile	-	-	1609.344	1.609	-	5280	1760	1

### Einheiten der Geschwindigkeit

	m/s	km/h	fps	mph
m/s	1	3.6	3.2808	2.2371
km/h	0.2778	1	0.9113	0.6215
fps	0.3048	1.0973	1	0.6818
mph	0.447	1.609	1.4667	1

fps = feet per second (Fuss pro Sekunde)  
 mph = miles per hour (Meilen pro Stunde)

### Einheiten der Masse

	g	kg	gr	oz	lb
g	1	0.001	15.4321	0.0357	0.0022
kg	1000	1	-	35.2113	2.2046
gr	0.0648	-	1	0.0023	1/7000
oz	28.3495	0.0284	437.5	1	1/16
lb	453.5924	0.4536	7000	16	1

gr = grain  
 oz = ounce  
 lb = pound

Einheiten der Fläche

	mm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	inch <sup>2</sup>
mm <sup>2</sup>	1	0.01	0.000001	0.00155
cm <sup>2</sup>	100	1	0.0001	0.155
m <sup>2</sup>	1000000	10000	1	1550.003
inch <sup>2</sup>	645.16	6.4516	0.00065	1

Einheiten der Energie

	J	mkg	ft lb.wt
J	1	0.102	0.737561
mkg	9.81	1	7.25
ft lb.wt	1.35582	0.138	1

J = Joule  
 mkg = meterkilogramm  
 ft lb.wt = foot pound weight

Einheiten des Druckes

	N/m <sup>2</sup>	kPa	bar	psi
N/m <sup>2</sup>	1	0.001	0.00001	0.000145
kPa	1000	1	0.01	0.145
bar	100'000	100	1	14.5
psi	6894.76	6.89476	0.06895	1

psi = pound per square inch; auch lb.wt./in.2

Winkleinheiten

	MOA	grad	rad	MIL
MOA	1	60	0.00029	0.29*
grad	1/60	1	0.0174	17.3913*
rad	3439.2	57.3248	1	1000*
MIL	3.4483*	0.0575*	0.001*	1

Faktoren mit \* gelten nur für kleine Winkel bis ca. 1grad.

Beispiel: In einem amerikanischen Katalog findet sich die Angabe der Mündungsgeschwindigkeit zu 2500 ft/sec. Was macht dies in m/s?  
 Nach Tabelle „Einheiten der Geschwindigkeit“ rechnen wir  
 2500 ft/sec x 0.3048 = 762 m/s.

