



**DIE MOBILE SCHIEßTRAINERIN**

**Physik beim Kurzwaffenschießen**

# **HAND SHEET**

zum  
Nachlesen





# EXKLUSIV

## © - Urheberrechtshinweis & Markenschutz

Das gesamte Skriptum ist gem. § 2 Z 1 UrhG sowie markenrechtlich geschützt. Jedwede Vervielfältigung, Verbreitung oder Verwertung, insbes. im kommerziellen Sinn, ist untersagt und stellt sowohl eine Urheber- als auch Markenrechtsverletzung dar.

Physik beim Kurzwaffenschießen

Version 1.1

© by Silvia Geringer

Ergänzungen: Roman Eder

Stand: 18. Oktober 2025



**ERKENNEN.**

**VERSTEHEN.**

**ANWENDEN.**

Der Schießsport und insbes. seine Disziplinen des Präzisionsschießens sind sehr technisch-physikalische Möglichkeiten der körperlichen Betätigung. Physik ist allgegenwärtig und sorgt neben anderen Einflussfaktoren dafür, dass das präzise Schießen immer bis zu einem gewissen Grad unkontrollierbar bleibt.

Ob Sie nun gerade erst in den Schießsport einsteigen oder als erfahrener Sportschütze unzufrieden mit Ihrem Trefferbild sind: Physikalische Ursachen verbergen sich in den kleinsten Details der Waffenhandhabung und wir alle neigen dazu, sie zu übersehen oder außer Acht zu lassen.

Wenn die Worte „Physik beim Kurzwaffenschießen“ fallen, denken Sie vermutlich zuerst an den Begriff der *Ballistik*. Um Ihren Erwartungen gerecht zu werden, wird die Ballistik auch einen kleinen Teil dieses Vortrages einnehmen – aber nur einen kleinen. Denn viel spannender als die Ballistik selbst ist beim Schießen mit Pistole und Revolver alles, was schon lange vor den ballistischen Abläufen geschieht.

Im heutigen Kurzvortrag widmen Sie sich unter anderem den Fragen nach den physikalischen Zusammenhängen zwischen Schütze, Schusswaffe und Munition, wie Sie physikalische Gesetzmäßigkeiten austricksen können und warum so viele schlanke Menschen mit wenig Körpergewicht mit großkalibrigen, schweren Waffen am Schießstand für Staunen sorgen.

Beim Schießen, vor allem mit der Kurzwaffe, werden die direkten Folgen von *Reibung* spürbar und sichtbar. Die *Materialeigenschaften* der Waffe haben wiederum unmittelbaren Einfluss auf diese Reibung und damit auch auf die Ihnen mögliche (treffsichere) Schussfrequenz.

Eng mit der Physik verbunden ist in diesem Fall die *Chemie* – so bringen auch die Zusammensetzung des NC-Pulvers in der Patrone und dessen *Abbrandverhalten* Unterschiede in der Rückstoß- und damit in der Reibungsstärke hervor; was abermals die Flugbahn des Geschosses und damit wiederum die Außenballistik beeinflusst.

Wesentliche und durch den Schützen selbst – in Maßen – kontrollierbare Aspekte sind etwa die *Bewegungsübertragung* auf die Waffe und die *innere wie äußere Impulskontrolle*, was beides eine enorme mentale Anstrengung erfordert; gerade beim Einstieg in die regelmäßige Schießpraxis.

Letztendlich ist es sogar der Schütze selbst, der beim Schießen als physikalische Größe fungiert, nämlich als *Masse*. Und hier lernen Sie nun die Wirkung von Energie auf Masse, ihr Zusammenspiel und den Einfluss aufeinander am eigenen Leibe kennen. Und das (fast) ganz ohne Zahlen und mathematische Formeln. Die Physik muss dem Schützen nämlich gewiss kein hochkomplexer Feind sein – vielmehr sollten Sie sie als wertvolles Werkzeug am Schießstand verwenden.

Heute lernen Sie, wie.

**LERNEN.**

**WISSEN.**

**NUTZEN.**



# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1. SCHÜTZE &amp; SCHÜTZIN ALS MASSETRÄGER IN DER PHYSIK</b> .....	<b>9</b>
1.1 ENERGIE TRIFFT AUF MASSE .....	9
1.2 MASSE WIRKT AUF ENERGIE .....	9
1.3 WECHSELWIRKUNG ZW. WAFFE & SCHÜTZE .....	10
1.3.1 Grifftechnik & Reibung .....	11
<b>2. WAFFE &amp; MUNITION BAULICHE &amp; CHEMISCHE EINFLUSSFAKTOREN</b> .....	<b>12</b>
2.1 DIE WAFFE .....	12
2.1.1 Masseverteilung & Schwerpunkt .....	12
2.1.2 Lauflänge & Visierabstand .....	13
2.1.3 Fertigungstoleranzen & Abnutzung .....	14
2.2 MUNITION: .....	15
2.2.1 Treibladung .....	15
2.2.2 Zündvorgang einer Patrone & seine Wirkung .....	17
2.2.3 Kaliber & Geschossgewicht .....	19
<b>3. BALLISTIK DIE FLUGBAHN DES GESCHOSSES &amp; DIE BEDEUTUNG DER UMGEBUNGSEIGENSCHAFTEN</b> .....	<b>20</b>
3.1 AUßENBALLISTIK .....	20
3.1.1 Luftwiderstand & Auftrieb .....	20
3.1.2 Geschoss vs. umgebende Luftmoleküle .....	21
3.1.3 Geschoss vs. Schussdistanz .....	21
3.2 ENDBALLISTIK .....	22



# 1. Schütze & Schützin als Masseträger in der Physik

Der Schießsport bietet eine Diversität wie nur wenige andere Sportarten. Unterschiedliche Waffenmodelle mit unterschiedlichen Kalibern und der Einsatz verschiedener Munitionstypen desselben Kalibers resultieren in völlig individuellen Auswirkungen - auf den Schützen und sein Trefferbild. Aus physikalischer Sicht ist der Schütze beim Schießen Träger einer physikalischen Kenngröße: nämlich der Masse. Masse ist naturgemäß träge. Das **1. Newtonsche Gesetz** besagt: „Ein Körper, bleibt in seinem jeweiligen Bewegungszustand, solange keine äußere Kraft auf ihn einwirkt.“ Das gilt für ruhende Körper gleichermaßen wie für solche, die sich bewegen: „Ein Körper, der sich bewegt, bleibt in Bewegung, solange keine äußere Kraft auf ihn wirkt.“ Und zwar gleichförmig, das heißt mit gleicher Geschwindigkeit, in dieselbe Richtung. Unverändert.

Bei der Schussabgabe entsteht eine Kraft, die auf den Schützen wirkt und seinen Bewegungszustand (als Masseträger) kurzzeitig verändert. Diese Rückstoßkraft der Waffe ist das direkte Gegenstück zur Vorwärtsbewegung des Geschosses. Der (statische) Schütze beginnt mit dem Rückstoß zu schwanken. So mancher Schütze schwankt nach dem Schuss mit einer bestimmten Waffe in einem bestimmten Kaliber jedoch mehr, als es andere Schützen mit derselben Waffe tun. Und hier kommt dem Schützen als Masseträger essenzielle Bedeutung zu. Warum wirken 2 identische Waffen mit der gleichen Munition auf zwei verschiedene Schützen mit *scheinbar* unterschiedlicher Intensität?

## 1.1 Energie trifft auf Masse

Im Falle eines sportlichen Kurzwaffenschützen bestimmt die Masse des Schützen eine gute Waffenkontrolle und ein gelungenes Trefferbild mit. Auch ist sie maßgeblich dafür, ob Sie den Rückstoß mit einer bestimmten Schusswaffe mit einem bestimmten Kaliber als angenehm oder unangenehm, als schwach oder als stark empfinden. Je höher Ihr Körpergewicht ist (je mehr Masse Sie aufbringen), desto angenehmer und schwächer empfinden Sie den Rückstoß (relativ). Je weniger Körpergewicht Sie haben, desto unangenehmer und stärker empfinden Sie ihn.

Auch können Sie den Rückstoß Ihrer Waffe als unterschiedlich empfinden. Beispielsweise dann, wenn sich zwischen zwei Trainingseinheiten mit demselben Equipment Ihr Körpergewicht verändert. Schon der Verlust oder die Zunahme von 2 kg Gewicht kann darüber entscheiden, ob beim Schießen mit einer bestimmten Waffe häufiger oder seltener Störungen beim Nachladen auftreten. Denn:

## 1.2 Masse wirkt auf Energie

Jede Waffe setzt bei einer Schussabgabe eine Form von Kraft frei, die Sie beim Schießen als einzelnen kurzen Kraftstoß wahrnehmen. Der Kraftstoß wirkt auf die Masse des Schützen ein und verändert damit den Bewegungszustand seines Körpers (Impuls); und zwar in dieselbe Richtung, in die die Kraft wirkt: Der Kraftstoß (Rückstoß) wirkt von der Waffe vorne zu Ihnen nach hinten - Sie schwanken mit dem Oberkörper ebenfalls von vorne nach hinten.

Dieselbe spezifische Rückstoßstärke einer Waffe in einem bestimmten Kaliber und bestimmtem Munitionstyp beeinträchtigt einen leichtgewichtigen, schlanken Schützen stärker und bringt ihn eher aus dem Gleichgewicht (seinem ruhenden Bewegungszustand), da eine weniger Masse leichter in Bewegung versetzt (beschleunigt) werden kann, als ein Körper mit mehr Masse. (**Impuls-Kraft-Prinzip**)

## 1.3 Wechselwirkung zw. Waffe & Schütze

Nicht nur Sie als Schütze haben ein für die Schießpraxis relevantes Körpergewicht – Ihre Waffe hat ebenfalls eines. Wirkt der Kraftstoß in Form eines Rückstoßes, verteilt er sich nicht nur auf die Masse des Schützen, sondern auch auf die Masse der Waffe, die einen Teil der Rückstoßkraft aufnimmt.

Im Unterschied zur Masse des Schützen, die sich während einer Trainingseinheit normalerweise nicht maßgeblich verändert (es sei denn, Sie ziehen dicke Jacken an oder aus), kann das Gewicht der Waffe durchaus variabel sein: Zubehör wie optische Visierhilfen oder ein volles Magazin, machen die Waffe zunächst schwerer. Ein volles Magazin macht sie aber auch mit jedem abgegebenen Schuss wieder leichter.

### 1.3.1 Masseveränderung während des Schießens

Bei einer Glock 17 mit vollem 33-Schuss-Magazin (ca. 1.142 g), liegt die Differenz zur Waffe mit leerem Magazin (ca. 732 g) bei satten 410 g. Das entspricht etwa einem Softcover-Buch mit ca. 350 Seiten. Mit jedem Schuss verringert sich das Gesamtgewicht der Waffe um ca. 12,42 g. Das führt innerhalb einer einzigen Schusserie dazu, dass der Rückstoß sich für Sie nach einer Zeit stärker, unangenehmer anfühlt als zu Beginn. Obwohl sich die Energie, die von der Patrone bei der Zündung freigesetzt wird, nicht verändert.

Der Vorteil aus diesen beiden Masseträgern, Waffe und Schütze, ist, *dass beide Massen die jeweils andere beeinflussen und bis zu einem gewissen Grad zu kompensieren vermögen*. Aus diesem Grund empfinden die meisten Menschen mit niedrigem Körpergewicht schwere Waffen beim Schießen als angenehmer als eine leichte Polymerwaffe im selben Kaliber. Umgekehrt kommen Personen mit höherem Körpergewicht mit leichtgewichtigen Waffen oft gut zurecht, da sie meist auch mehr Muskelkraft aufbringen: Leichte halbautomatische Pistolen benötigen in der Regel einen festeren Griff, da sonst gehäuft Auswurf- und Zufuhrstörungen auftreten.

#### **Tipp:**

Die Wahl Ihrer eigenen Waffe ist idealerweise auf Ihre persönlichen körperlichen Befindlichkeiten abgestimmt. Vor allem im Wettkampf kann eine Harmonie zwischen dem Körpergewicht des Schützen und dem Waffengewicht Zeitvorteile mit sich bringen. Bedenken Sie, dass sich bei körperlichen Veränderungen Ihrerseits auch das persönliche Rückstoßempfinden gegenüber derselben Waffe verändert – ins Positive wie ins Negative.

Im jagdlichen Kontext, bei Notwendigkeit eines Fangschusses beispielsweise, kann das Bewusstsein um Ihr Körpergewicht entweder *lebensrettend oder lebensgefährlich* sein. Der Teufel schläft nicht: Ihr Organismus funktioniert und reagiert im Stress- und Überlebensmodus niemals so souverän wie in einer reinen Trainingsstunde oder jagdlichem Übungsschießen. Ein Fehlschuss mit einer Pistole, begleitet von einer Funktionsstörung der Waffe, da Sie für Ihre mitgeführte Waffe nicht die erforderliche Kraft oder Masse aufbringen, kann einen tödlichen Ausgang nehmen. Schlanken Jägerinnen und Jäger rate ich aus Gründen der Funktionssicherheit (unter Bedachtnahme auf die Waidgerechtigkeit und gesetzliche Zulässigkeit) zu verhältnismäßig schweren Pistolen in größerem Kaliber. Oder zu einem Revolver, da er vor einer Fehlfunktion beim Nachladen (bei korrekter Anwendung und Intaktheit) weitgehend gefeit ist. Dennoch: Die strategischste Wahl der Waffe ersetzt nicht das Mindset in einer solchen Situation.

## 1.3.2 Grifftechnik & Reibung

Kurzwaffen müssen Sie, um damit zu schießen, irgendwie stabilisieren, festhalten. Während bei der Langwaffe der gesamte Schützenkörper den Rückstoß abfängt und dieser sich auf die Gesamtmasse verteilt, trifft der Stoß beim Kurzwaffenschießen zunächst „nur“ auf die Handgelenke, die wesentlich weniger Stabilität bieten können als ein ganzer Mensch. Die Grifftechnik an sich ist ein wesentlicher Faktor einer adäquaten Schießtechnik. Aber nicht der einzige, den es zu berücksichtigen gilt.

### 1.3.2.1 Reibung

Wenn Sie einen Gegenstand halten, auch ohne damit herumzuspielen oder sonst etwas damit zu tun, entsteht zwischen Ihrer Hand und diesem Gegenstand aus physikalischer Sicht Reibung. Reibung erzeugt Wärme. Was tut der Mensch, wenn ihm warm wird? Er beginnt zu schwitzen. Je stärker die Reibung ist, desto stärker reagiert die Haut mit Schweißabsonderung. Zusätzlich zur ohnehin vorhandenen Reibung bloß durch das Halten erzeugt jeder Schuss eine zusätzliche Reibung beim Hochschlagen der Waffe. Ein Schuss mit einer Kleinkaliberpatrone á la .22 Ir löst eine schwächere zusätzliche Reibung aus als ein Schuss mit einer 9x19 mm Patrone oder einer .45er.

### 1.3.2.2 Konzentration vs. Physik

Durch das Schwitzen, das mit jedem Schuss mehr und mehr wird, wird die Waffe in der Hand mit jedem Schuss instabiler und beginnt immer mehr zu rutschen. Das wiederum verfälscht die Haltung der Waffe, den Griff: wir neigen zum verkrampften Würgegriff, was sich auf der Trefferbild auswirkt. Folglich sind (bei erfahrenen Schützen mit regelmäßiger Schießpraxis) die ersten Schüsse in der Regel die Schönsten, während das Trefferbild im Laufe einer Trainingseinheit immer mehr an Präzision verliert – damit ist Präzision nicht ausschließlich eine Frage der Konzentration, sondern auch eine der Physik.

### 1.3.2.3 Umgebungstemperatur: Sommer vs. Winter

Die durch Reibung entstehende Wärme hat zunächst allerdings nicht viel mit dem subjektiven Wärmeempfinden zu tun: Auch wenn Ihnen gefühlsmäßig kalt ist und Sie zittern, entsteht zwischen Hand und Waffe trotzdem Reibungswärme, die die Hände früher oder später zum Schwitzen bringt. Herrschen kalte Umgebungstemperaturen, dauert dieser Prozess länger – im Sommer bei 35 Grad Außentemperatur ist mit der bereits umgebenden Hitze eine wesentlich schlechtere Ausgangslage für absolute Präzision gegeben.

Für den Sportschützen bedeutet das wiederum, dass er *seinen Wettkampferfolg auch beim Kurzwaffenschießen von der Witterung abhängig machen* kann: Bei besonders kalten Temperaturen, wo die Hände anfangs kälter sind und mehr Zeit benötigen, um sich aufzuwärmen, beginnen sie auch erst später zu schwitzen. Folglich kann ein Schütze mit einer bestimmten Waffe und deren spezifischer Rückstoßstärke länger präzise schießen und mehr exakte Treffer platzieren als im Hochsommer mit derselben Waffe; bloß, weil die Waffe im Sommer früher zu rutschen beginnt.

Insbes. Jäger müssen bei sommerlichen wie winterlichen Verhältnissen treffsicher unterwegs sein. Während ein Sportschütze mehrere Schüsse auf sein Ziel abgibt, sollte der Jäger aber idealerweise gar nicht mehr als einen Schuss benötigen. Das Wissen um die Wirkung der Temperatur bei der Schussabgabe hilft bei der Optimierung des Ansitzes – von der Waffenwahl und ihrem Kaliber/Rückstoß bis zur Kleidung und Zubehör (etwaige künstliche Wärme oder Kühlung). So können Jägerinnen und Jäger sowohl im Sommer als auch im Winter durch die künstliche Veränderung der Bedingungen bis zu einem gewissen Grad fördern.

## 2. Waffe & Munition

### Bauliche & chemische Einflussfaktoren

Dass die Waffe als Masseträger ebenfalls Einfluss auf das Rückstoßempfinden des Schützen hat, wurde bereits erwähnt; jedoch gibt es an der Waffe einige andere Aspekte, die aus physikalischer Sicht fürs Kurzwaffenschießen bedeutend sind, so etwa Fertigungstoleranzen und Lauflänge. In diesem Abschnitt widmen Sie sich den baulichen und materialbezogenen Besonderheiten der Waffe – die wiederum entweder förderlich oder auch nicht so förderlich für die treffsichere, kontrollierte Handhabung durch den Schützen sind.

## 2.1 Die Waffe

### 2.1.1 Masseverteilung & Schwerpunkt

Pistolen (Revolver seltener) sind in ihrer Bauform meist etwas asymmetrisch. Dass ein längerer Lauf nach vorne-unten zieht, das Griffstück zum Ausgleich aber nach hinten-unten ragt, stellt eine Gemeinsamkeit dar. Bei Pistolen ist zu bedenken, dass diese – im Vergleich zu den meisten Revolvern – eine erheblich größere Zahl an beweglichen Kleinteilen aufweisen. Diese sind oft nur an einer Seite (eher vorne, eher hinten, eher links oder eher rechts) vorhanden.

Außenliegende Bedienelemente wie Sicherungen, Magazinauswurfknopf oder Verschlussfanghebel sind bei vielen Modellen *nur rechts- oder nur linksseitig* angebracht, wodurch ersichtlich wird, ob es sich bei der Waffe um ein Rechtshänder- oder ein Linkshändermodell handelt. Im Inneren einer Pistole können einzelne Teile, etwa die Abzugsstange, ebenfalls nur rechts angeordnet sein, wodurch sich eine etwaige leichte Linkslastigkeit durch die äußeren Bedienelemente kompensieren lässt; so ist die Waffe wieder im Gleichgewicht.

Bei Pistolen spielt auch das *Magazin mit seiner Schusskapazität* eine entscheidende Rolle – je voller das Magazin und je schwerer die einzelne Patrone, desto schwerer ist die Waffe am Griffstück. Umgekehrt verliert die Pistole mit jedem abgefeuerten Schuss an Gewicht (siehe Abschnitt 1.3 „Wechselwirkung zw. Waffe & Schütze“). Die Folge der Schwerpunktverlagerung nach hinten ist eine stärkere Tendenz zum Hochschlag der Waffe, wenngleich der Rückstoß sich durch das Gesamtgewicht anfangs nicht so kräftig anfühlt. Durch den Gewichtsverlust der Waffe mit jedem Schuss fühlt er sich aber mit jedem Schuss stärker an. Dies wiederum macht es Ihnen schwerer, nach einem Schuss mit der Visiereinrichtung im Ziel zu bleiben. Das neue Ausrichten aufs Ziel für den nächsten Schuss kann im Wettkampf Zeit kosten. Auch steigt im Laufe des Leerfeuerns eines vollen Magazins die Reibung zwischen Hand und Waffe, was das Trefferbild rasch verschlechtert (siehe Abschnitt 1.3.1.1 „Reibung“).

Bei Revolvern treten diese Probleme für gewöhnlich nicht oder zumindest nicht in derselben Ausprägung auf, da diese einerseits weniger Kleinteile aufweisen und aus Schützenperspektive meist (bis auf einige Sondermodelle) symmetrischer gebaut sind. Auch passen nicht so viele Patronen in eine Revolvertrommel, wodurch eine Gewichtsveränderung an gängigen Freizeit- und Sportrevolvern normalerweise nicht wahrnehmbar ist. Bei „Exotenkalibern“ durchaus.

### 2.1.1.1 Laufposition & Beanspruchung der Handgelenke

Ein klassisches Beispiel für die Bedeutung der Laufposition beim Schießen mit Kurzwaffen sind Pistolen mit besonders tiefer Laufachse, etwa eine LAUGO Alien. Ihre Besonderheit liegt in der *Abweichung vom üblichen Pistolen-Layout*: Der Lauf befindet sich unterhalb der Schließfeder und ist starr, er bewegt sich bei der Schussabgabe also nicht mit. Der sehr wohl bewegliche Verschluss der Alien weist wiederum sehr wenig Gewicht auf, es gibt also nur wenig Masse, die in Bewegung versetzt wird.

Diese Bauweise reduziert den Hochschlag der Waffe und zugleich das Rückstoßempfinden maßgeblich. Nicht, weil sich etwa die Rückstoßstärke an sich ändert – sondern das Drehmoment und der Hebel in der Hand. Der Rückstoß arbeitet gerade nach hinten in die durch Gewebe und Fleisch gepolsterten Hände bzw. Handballen, was die Rotationsbewegung der Handgelenke reduziert. Daher fühlt sich das Schießen sanfter an als mit solchen Waffen, die durch ihren Hochschlag das Handgelenk verstärkt belasten.

### 2.1.1.2 Körpergewicht, Muskelkraft & der Waffenschwerpunkt

Die Masseverteilung und der individuelle Schwerpunkt einer Kurzwaffe, egal wodurch begründet, nehmen wiederum Einfluss auf Ihre Ausdauer und Konzentration: Sind Sie besonders schlank und weisen wenig Körpergewicht und wenig Muskelkraft auf, fühlt sich das Schießen mit einer schweren (oder kopflastigeren) Waffen zwar im Rückstoß angenehmer an als mit einer leichteren Waffe desselben Kalibers – aber Sie ermüden dafür schneller und Ihr Oberkörper wird mit jedem Schuss instabiler. Durch das Schwanken des Oberkörpers *wirken nun Sie als äußere Kraft auf die Waffe ein*: Durch die Bewegung geraten Kimme und Korn aus dem Ziel und das genaue Anvisieren wird mit jedem Schuss herausfordernder.

#### **Tipp:**

Ein Kompromiss muss her: Sie müssen für sich entscheiden, woran Sie Ihre Muskulatur gewöhnen und womit Sie treffsicher umgehen können wollen. Mit dem richtigen Mindset und einer adäquaten Schießtechnik ist es auch schlanken Menschen mit wenig Masse und Muskelkraft möglich, mit einer Patrone vom Kaliber .500 S&W treffsicher abzufeuern. Beides müssen Sie aber trainieren. Dennoch entscheiden Sie selbst, ob Sie beispielsweise durch eine bewusst gewählte, schwerere Waffe die Biomechanik fördern und an Muskelkraft, vielleicht sogar Körpergewicht aufbauen wollen - oder ob Sie die Dauerlast für die Gelenke vermeiden und eine unangestrengt gemütliche Zeit am Schießstand verbringen wollen. Im Sport ist diese Entscheidung eine Frage des persönlichen Willens; in der Jagd hingegen eine der Sicherheit und des Überlebens.

### 2.1.2 Lauflänge & Visierabstand

Die Länge des Laufes einer Kurzwaffe verlängert die Visierlinie für den Schützen: Durch die verlängerte Visierlinie reduzieren sich Winkelfehler beim Zielen (Einknicken des Handgelenks nach links oder rechts) und Kimme und Korn lassen sich genauer auf das Ziel ausrichten.

Zudem ist ein längerer Lauf *vorteilhaft für die gyroskopische Stabilität des Projektils*: Es dreht sich nämlich nicht nur um die eigene Achse, sondern auch um den eigenen Schwerpunkt, der in jedem einzelnen Geschoss unterschiedlich gelagert sein kann. Ist die Dralllänge der Felder und Züge im Lauf optimal auf das jeweilige Geschoss (Geschosslänge, Form, Material, Dichte, Gewicht) abgestimmt, stabilisiert sich diese Drehung um den Schwerpunkt nach dem Abgang schneller.

Durch die Felder und Züge im Lauf kann das Geschoss eine zusätzliche Umdrehung erreichen, die die Rotationsgeschwindigkeit erhöht. Dadurch bleibt die Rasanz (Flachheit der Flugbahn) des Geschosses über einen längeren Zeitraum erhalten.

## 2.1.3 Fertigungstoleranzen & Abnutzung

Fertigungstoleranzen an der Waffe sagen zunächst aus, wie eng oder lose Einzelteile aufeinander anpasst sind. Sie können weit oder hoch sein, was akustisch durch Klicken/Klackern und haptisch durch Bewegungsfreiheit einzelner Komponenten erkennbar ist; oder eng bzw. niedrig, erkennbar daran, dass sich Einzelteile wenig oder gar nicht bewegen lassen. Oder eben kein Geräusch produzieren. Optisch weisen etwa ungleichmäßige Spalten und Schlitze auf die Ausprägung bestimmter Toleranzen hin.

Nicht jede höhere Toleranz bedeutet aber automatisch schlechte Qualität. *So manch höhere Toleranz ist erforderlich, um eine ordentliche Funktion der Waffe zu gewährleisten.* Im Allgemeinen sprechen niedrige Toleranzen für bessere Präzision, können aber bei starker Hitze durch Gebrauch oder Umgebung (Komponenten dehnen sich bei Hitzeeinwirkung aus) zu Funktionsstörungen führen. Auch Verschmutzungen stellen bei engen Toleranzen Herausforderungen dar und sie erhöhen den Wartungsaufwand. Vergleichsweise weitere Toleranzen wiederum werden häufig mit einer höheren funktionstechnischen Robustheit unter rauen Bedingungen in Verbindung gebracht, sorgen aber oft für Unwohlsein beim Schützen, weil die Waffenteile wackeln und scheppern.

### 2.1.3.1 Energieverluste durch Schlupflöcher

#### **Maße ab Werk**

Für die Schussabgabe selbst bedeuten zu hohe Fertigungstoleranzen aus chemisch-physikalischer Sicht zunächst *Energieverluste*: Je mehr Schlupflöcher es gibt, durch die der Gasdruck sich ausbreiten kann (oder je größer diese sind), desto weniger von diesem Druck gelangt dorthin, wo er primär hin soll – nämlich als schiebende Kraft an den Geschossboden. Problematisch wird es vor allem, wenn diese hohen Toleranzen am Patronenlager einer Pistole zu finden sind:

Die Hülse soll eingeführt ins Patronenlager den Lauf hinten zwar sauber abdichten, muss aber bei der Schussabgabe noch ausreichend Platz haben, um sich ausdehnen zu können. *Weder eine zu enge noch eine zu weite Toleranz ist gut.* Ist die Fertigungstoleranz hier anfangs zu hoch, dichtet die Hülse bei der hitzebedingten (thermischen) Dehnung nicht ordentlich ab. Ein Teil des Gasdrucks kann nach hinten entweichen und in Richtung Gesicht gelangen. Sind die Toleranzen hingegen zu eng bemessen, kann dies dazu führen, dass die abgefeuerte Hülse zwar abdichtet, aber so eng an der Wand des Laufes gepresst ist, dass sie nicht aus dem Patronenlager ausgeworfen werden kann. Sie haben eine Auswurfstörung und folglich ein Nachladeproblem beim Halbautomaten.

Anderes Beispiel:

#### **Die Abdichtung des Laufes durch die Patronenhülse**

Bei der Schussabgabe trennt sich aufgrund des zunehmenden Gasdrucks irgendwann das Geschoss von der Hülse und wird zwischen den Feldern und Zügen durch den Lauf gepresst. Bei gezogenen Läufen ist ein absolut vollständiges Abdichten über die gesamte Lauflänge hinweg durch das Geschoss nicht möglich, da es einen „Höhenunterschied“ zwischen Feldern und Zügen gibt. Aufgrund dieses Höhenunterschieds *variiert auch der Grad der Abdichtung durchs Geschoss.* Bei Büchsenläufen (auch die meisten modernen Pistolen und Revolver sind waffentechnisch gesehen Büchsen) ergibt sich damit ein gewisser Mindest-Energieverlust bei jedem Schuss: Die Treibgasmoleküle, die sich zuerst hinter dem Geschoss ausbreiten, bewegen sich in weiterer Folge am Geschoss vorbei. Dort, wo es möglich ist, überholen sie es und verlassen den Lauf noch bevor das Geschoss es tut.

## **Laufabnutzung**

Abhängig von der Nutzungsintensität der Waffe nutzt sich der Innendurchmesser des Laufes (Feldmaß) mit der Zeit ab, wodurch sich sein *Durchmesser am Feldmaß in Relation zum Geschossdurchmesser vergrößert*. Die Abdichtung leidet, der Reibungswiderstand im Lauf lässt nach. Je ausgeschossener der Lauf, desto mehr Platz ergibt sich zwischen Geschoss und Feldern und der Energieverlust (Entweichung des Gasgemisches nach vorne hin) wird größer. Da das Geschoss sich nun nicht mehr optimal an die Felder pressen kann, leidet die Stabilität im Flug: Die Felder können das Geschoss nicht mehr lenken, da sie weniger Kraft auf das Geschoss ausüben als vorgesehen. Unmittelbar nach dem Abgang neigt das Geschoss zur *Präzession* (Kreiselbewegung, sorgt für Schiefstellung des Geschosses zur Flugachse) und *Nutation* (zusätzliche Kreiselbewegung mit kleinerem Radius, aber höherer Drehfrequenz, Folge der Präzession). Und damit leiden weitere Aspekte:

- Die  $V_0$ , weil der Gasdruck hinter dem Geschoss immer niedriger wird.
- Die gyroskopische Stabilität, weil dem Geschoss schon im Lauf mehr Spiel geboten wird.
- Die Reichweite des Geschosses, weil es nicht mehr so schnell fliegt, wie vorgesehen.
- Die Präzision, weil das Geschoss seine Stabilität im Flug erst später oder gar nicht erreicht.
- Die Funktionstüchtigkeit der Waffe, weil es durch den Energieverlust nach vorne hin hinten nicht mehr ausreichend Energie zum Nachladen gibt (insbes. bei Gasdruckladern) – das kann bei entsprechendem Ausmaß bei halbautomatischen Kurzwaffen vermehrt zu Auswurf- und Zufuhrstörungen führen.
- Das subjektive Rückstoßempfinden, da sich mit dem Energieverlust auch die tatsächliche übertragene Energie auf den Schützen verändert, der wiederum von Personen mit niedrigem Körpergewicht eher wahrgenommen wird.

## **2.2 Munition:**

Moderne Kurzwaffenpatronen bestehen aus 4 Komponenten:

- Zündmasse im Zündhütchen oder im Hülsenbodenrand,
- Hülse,
- Treibladung und
- Geschoss.

Jede einzelne Komponente hat ihre eigenen Besonderheiten und bringt nur im optimalen Zusammenspiel mit den jeweils anderen ihre optimale Leistung. Auf diese gehen Sie im Folgenden ein.

### **2.2.1 Treibladung**

Ein kurzer Exkurs:

Der ugs. Begriff „Schießpulver“ meint in der Regel das Schwarzpulver, das besonders fein gemahlen beim Vorderladerschießen, Böllern und in der Pyrotechnik zum Einsatz kommt. Im Umgang mit Pistolen, Revolvern und Gewehren wurde das rauchintensive Schwarzpulver größtenteils abgelöst. Primär verwendet man für die meisten Schusswaffen heute ein einbasiges Schießmittel, ugs. *Nitrocellulosepulver* genannt; das ist technisch geformte, nitrierte (mit Salpetersäure und Schwefelsäure behandelte) Cellulose. „Einbasig“ bedeutet, dass dieses Schießmittel nur eine energetische Komponente hat, nämlich diese Nitrocellulose.

Im Gegensatz zum Schwarzpulver ist NC-Pulver nicht mehlartig pulverisiert, sondern tritt u. a. als runde oder rechteckige Plättchen, Zylinder oder macaroniförmig auf. Die Sorten variieren nach Größe

der Plättchen/Zylinder, Beschichtung und zylinderförmige Pulverstückchen können zudem mehrere Bohrungen aufweisen. Weitere chemische Zusätze (diese müssen keine energetische Komponente sein) sind ebenfalls möglich. Die Eigenschaften der Plättchen bestimmen gemeinsam das Brandverhalten des Pulvers in der Patrone und seinen Druckaufbau: Manche Pulversorten verbrennen schneller, manche langsamer. Manche Sorten gleichmäßiger, manche ungleichmäßiger. Der eine Pulvertyp hinterlässt mehr Rauch (Schwarzpulver), der andere (NC-Pulver) weniger.

Daneben existieren zweibasige Pulver: Sie setzen sich aus NC-Pulver und einem weiteren Treibmittel (meist Nitroglycerin) zusammen. Mehrbasige Pulver bestehen aus Nitrozellulose und zwei weiteren Treibmitteln (meist Nitroglycerin und Nitroguanidin). Mehr als drei energetische Hauptkomponenten sind aber unüblich.

### **Kernaufgabe des Treibmittels**

Das Treibmittel in der Patrone muss in seiner Gesamtheit so beschaffen sein, dass sein Abbrand genug Gasdruck erzeugt, um das Geschoss durch den Lauf der Waffe zu manövrieren und ihm auch für den Flug danach noch ausreichend Energie zu verleihen. Wieviel davon für eine optimale Funktion der Waffe und Präzision im Treffen erforderlich ist, hängt u. a. ab von der baulichen Beschaffenheit der Waffe: vom Geschossgewicht und Schussdistanz sowie von Lauflänge, Dralllänge, Kammervolumen und dem für die Waffe konstruktionsbedingt maximal zulässigen Druck. Damit das Treibmittel seiner Aufgabe nachkommen kann, sind aber noch weitere Faktoren ausschlaggebend:

- *Der Zündvorgang muss zuverlässig gleichmäßig ablaufen*, um den gewünschten bzw. für das jeweilige Geschoss erforderlichen Gasdruck zu erreichen. Fehler im Zündsatz oder falsche Lagerung der Munition können bereits den (An)Zündvorgang verfälschen oder gar verhindern: Feuchte Lagerung kann zu Feuchtigkeit in der Hülse führen, was ein schwächeres Abbrandverhalten zur Folge hat. Somit baut sich der erforderliche Gasdruck nicht auf oder es kommt gar nicht erst zu einer (Ent)Zündung des Treibmittels.
- *Mit zunehmender Temperatur im Pulverraum ändert sich die Brennrate des Pulvers*: Je wärmer es wird, desto schneller (ver)brennt es. Brennt es zu langsam (etwa, weil die Munition feucht und sehr kalt gelagert wurde), stehen Sie vor demselben Problem: Es wird nicht genug Druck aufgebaut.
- *Die für die Waffe richtige Laborierung der Munition muss her*: Eine zu schwache Munition in der Waffe kann zu Funktionsstörungen führen, auch wenn der Gasdruck ausreicht, um das Geschoss aus dem Lauf zu treiben. Ein klassisches Beispiel sind kleine und leichte, halbautomatische Kleinkaliberpistolen; sie reagieren auf die Munition oftmals sehr empfindlich und die meisten Modelle haben nach jedem zu schwachen Schuss eine Auswurf- oder Zufuhrstörung. Umgekehrt kann eine zu starke Ladung die Waffe auf Augenhöhe zerstören und den Schützen schwer verletzen.
- *Verunreinigungen im Lauf, mechanische Beschädigungen oder Verformungen am Geschoss* können dazu führen, dass selbst bei optimalem Zündvorgang und Pulverabbrand die Aerodynamik leidet. Wird die Waffe nicht regelmäßig gereinigt, fressen sich Rückstände über die Zeit an Waffenteilen fest. Haben sich Staub, Schmutz und Schmauch erst einmal an den Feldern im Lauf festgefressen, verändert dies das Laufinnenprofil: Das Geschoss schabt sich an der jeweiligen Stelle ab, wird deformiert. Materialabtragungen an der Waffe haben wiederum Energieverluste zur Folge (siehe Abschnitt 2.1.3.1 „Energieverluste durch Schlupflöcher“); Deformierungen am Geschoss beeinträchtigen den Flug.

## 2.2.2 Zündvorgang einer Patrone & seine Wirkung

Wenn Sie den Abzug einer geladenen, schussbereiten Waffe betätigen, wird im Inneren der Waffe (an der Patrone) ein Schlagbolzen oder Schlaghahn auf den Patronenboden geschlagen. Dies setzt den Zündvorgang in Gang, der aus mehreren Etappen besteht, die Sie aufgrund der enormen Ereignisgeschwindigkeit nicht unabhängig voneinander wahrnehmen – sondern als ein Ereignis

### **Anzündvorgang**

Der Zündvorgang beginnt mit der Reaktion eines Zündsatzes auf Druckausübung: Der Schlagbolzen oder Schlaghahn der Waffe trifft (je nach Munition) entweder auf den Patronenboden oder auf ein Zündhütchen. Durch die schnelle Kompression/Verformung wird Druck auf die darin befindliche Zündmasse ausgeübt: Der Druck verdichtet das Material – es entzündet sich und die Funken gelangen zum NC-Pulver in der Hülse. Das Treibmittel wird entzündet. Durch diesen Brand wiederum entsteht in der Hülse ein Gasgemisch, das dort nur wenig Platz hat, um sich auszubreiten. Der Gasdruck wächst und wächst – und ist irgendwann so groß, dass die Komponenten der Patrone beschließen: „Wir können nicht mehr, wir halten diesen Druck nicht mehr aus“.

### **Anstieg des Gasdrucks & Geschossfreisetzung**

Der Gasdruck nimmt nun den Weg des geringsten Widerstands, um sich noch weiter auszubreiten – er bewegt sich dorthin, wo es ihm gerade am leichtesten fällt. Da es weniger mühsam ist, das Geschoss aus der Hülse nach vorne hin durch den Lauf zu schieben, als das Zündhütchen hinten aus dem Hülsenboden herauszustößen (die Waffe ist nach hinten hin abgeschlossen und erzeugt hinten durch mehr Material auch höheren Widerstand), löst sich das Geschoss und wird nach vorne durch den Lauf gepresst.

### **Rückstoß & Schussknall**

Der Impuls (die Änderung des Bewegungszustandes der Waffe), den Sie als Rückstoß wahrnehmen, ist eine vektorielle physikalische Größe. Er setzt bereits mit dem Anzündknall ein und wächst gemeinsam mit dem zunehmenden Gasdruck. Da das alles aber in enormer Geschwindigkeit passiert, nehmen Sie diese Schritte nicht einzeln wahr, sondern spüren nur einen Stoß und hören nur einen Knall (obwohl auch der Schussknall sich aus mehreren Knällen zusammensetzt).

Der Moment, in dem diese Energie freigesetzt wird, also das geschlossene System „Waffe“ verlässt, wird der Impuls für Sie als Schütze, als Schützin spürbar: Die Waffe stößt impulsartig nach hinten und schlägt in Ihren Händen hoch.

Der Schussknall selbst setzt sich u. a zusammen aus

- Anzündknall (Explosion des Zündhütchens)
- Explosionsknall (Umsetzung der Treibladung)
- Mündungsknall (bei Dekompression des Gasdrucks an der Laufmündung)
- Geschossknall (bei fliegendem Geschoss mit Überschallgeschwindigkeit)

Der Mündungsknall entsteht, wenn die Treibgasmoleküle hinter dem Geschoss (die sich in Überschallgeschwindigkeit bewegen) nach dem Verlassen des Laufes auf die vergleichsweise statischen Luftmoleküle außerhalb des Laufes treffen. Der Mündungsknall ist damit eine Art von Überschallknall.

### **Tipp:**

Sollten Sie einmal feststellen, dass ein Schussknall in seiner Gesamtheit sich anders anhört als üblich (insbes. dumpfer ist), stellen Sie unbedingt das Schießen sofort ein und kontrollieren Sie Ihre Waffe. *Ein dumpfer Knall ist ein schweres Indiz für ein im Lauf steckengebliebenes Geschoss.* Visuell ist dies nicht immer wahrzunehmen; nur, wenn der Lauf sich aufgrund des steigenden Gasdrucks aufbläht. Das passiert aber nicht immer. Akustisch lässt sich diese Störung sehr wohl wahrnehmen, vor allem bei Pistolen.

Der Knall ist deshalb dumpfer, weil der Mündungsknall fehlt. Die Treibgasmoleküle hinter dem Geschoss können nicht nach vorne hin aus dem Lauf entweichen, da das Geschoss den Lauf verstopft. Aus physikalischer Sicht wird kein Mündungsknall produziert, das Geschoss bleibt stecken, die Pistole arbeitet aber ganz normal weiter und lädt sich nach. Technisch gesehen ist es möglich, den nächsten Schuss abzufeuern und auf das steckengebliebene Geschoss draufzuschießen. Dann können zwei Dinge passieren: Entweder, Sie schießen das steckengebliebene Geschoss hinaus und das nachfolgende bleibt stecken. Oder beide Geschosse stecken fest und der Gasdruck nimmt den Weg des geringsten Widerstands: Nun ist es nicht mehr einfacher, die Geschosse nach vorne zu drücken – sondern nach hinten durch diverse Schlitze und Spalten zu entweichen, mit enormem Verletzungspotenzial für den Schützen.

### **2.2.2.1 Thermochemische Prozesse**

Es gibt einen weiteren Aspekt, der in der Erläuterung von Schussabgabe, Treibmittel und Geschoss bisher noch nicht im Detail berücksichtigt worden ist: nämlich, welchen Einfluss die Temperatur auf all die Komponenten und das Material hat, die im Zuge der Verbrennung des Pulvers entsteht.

#### **Temperaturentwicklung**

Die Schussabgabe von innen heraus betrachtet ist eine schnelle Druckentladung, die gerne als *Explosion* bezeichnet wird. Dabei entstehen im Inneren der Patrone kurzzeitig extreme Temperaturen. Das Einzige, das Ihre Schützenhände von diesen Temperaturen trennt, sind (je nach Waffe) ein paar hundert Gramm Polymer, ein recht dünnes Stahlrohr und ein noch dünneres Stück Messing.

Je langsamer das Pulver brennt, desto langsamer breitet sich das Gasgemisch im Raum aus und desto langsamer steigt der Druck; der Schussvorgang dauert für sich also länger, braucht mehr Zeit. Je schneller das Pulver brennt, desto schneller breiten sich das entstehende Gasgemisch und der Druck aus, es braucht weniger Zeit.

#### **Zeitfaktor**

Dieser Zeitfaktor ist relevant, weil er mitbestimmt, wie lange der Lauf den heißen Temperaturen ausgesetzt ist, nachdem sich das Geschoss von der Hülse getrennt hat. Es kommt zur thermischen Dehnung, was wiederum begründet, *warum im Waffenbau gewisse Fertigungstoleranzen sinnvoll sein können*: Dehnt sich der Lauf aus, kann dies bei Kunststoffwaffen mit deutlich zu niedrigen Toleranzen etwa zu Verformung oder Verschiebung von kleinen Bauteilen und folglich zu Rissen im Rahmen oder Gehäuse führen, was wiederum Potenzial für Fehlfunktionen birgt. Auch wird durch die Ausdehnung des Laufes sein Innendurchmesser – marginal aber dennoch – künstlich verfälscht: ein kalter Lauf schießt sich präziser als ein warmgeschossener, weshalb viele Langwaffenschützen ihre Läufe am Schießstand kühlen. (siehe Abschnitt 2.1.3 „Fertigungstoleranzen“).

Beim Schießen mit Revolvern kann diese Hitzeentwicklung kombiniert mit einer suboptimalen Grifftechnik zum Problem werden, da Trommelrevolver im Gegensatz zu Pistolen zwischen dem Lauf und dem Patronenlager geöffnet sind. Die Zündung erfolgt im Patronenlager, weshalb seitlich an der Trommel ebenfalls heiße Gase austreten und es an der Oberseite der Revolvertrommel mitunter zum Flammenschlag kommt.

### 2.2.3 Kaliber & Geschossgewicht

Das Gewicht des Geschosses bestimmt, wie hoch bei der Schussabgabe der Gasdruck im Inneren der Patrone und folglich im Lauf sein muss, damit das Geschoss durch den Lauf hindurchgetrieben werden kann. Ist der Druck zu schwach, kann es passieren, dass sich zwar das Geschoss von der Hülse trennt, der Druck aber nicht mehr ausreicht, um es auch durch den Lauf zu bringen. Die Folge: Es bleibt stecken (Squib Load). *Je schwerer das Geschoss, desto höher müssen der Gasdruck sein, damit es dieselbe  $V_0$  erreicht, wie ein leichteres Geschoss* (siehe Abschnitt 1.1 „Energie trifft auf Masse“). Basierend auf seinem Geschossgewicht wählt der Munitionshersteller oder der Wiederlader also sein Treibmittel: das NC-Pulver mit seinem individuellen Brand- und Abbrandverhalten (siehe Abschnitt 2.2.1 „Treibladung“), das seinen ganz individuellen Druck für das jeweilige Geschoss(gewicht) aufbaut und so die spezifische Mündungsenergie produziert.

Das Geschossgewicht wird u. a. durch sein Material bestimmt. Reine Bleigeschosse sind schwerer als Kupfer, weil Blei dichter ist, aber leicht verformbar. Projektile die zur Gänze aus Kupfer bestehen und nicht nur kupferummantelt sind, sind leichter als Blei, weil weniger dicht – aber dafür härter und formstabiler. Bleigeschosse mit Kupfermantel sind schwerer als Vollkupfergeschosse und formstabiler als Vollbleigeschosse.

#### **Die außenballistische Wirkung des Luftwiderstandes auf das Geschoss**

Gehen wir nun davon aus, dass wir 2 Pistolen mit je 1 Patrone desselben Kalibers geladen haben. Das Geschossgewicht ist bei einer Waffe schwerer (Vollblei), bei der anderen leichter (Vollkupfer). Aus beiden Waffen wird zum selben Zeitpunkt der Schuss abgefeuert. Beide Geschosse weisen dieselbe  $V_0$  auf.

- Das schwere Geschoss ist nicht so träge wie das leichte. Es lässt sich schon im Inneren der Waffe leichter beschleunigen, weswegen der Gasdruck niedriger ist und trotzdem dieselbe  $V_0$  hervorruft wie beim schweren Geschoss mit höherem Druck. (siehe Abschnitt 1.1 „Energie trifft auf Masse“)
- Das leichte Geschoss lässt sich im Flug aus demselben Grund auch leichter (eher) vom Luftwiderstand abbremsen, als das schwerere; es verliert schneller an Fluggeschwindigkeit.
- Das leichte Geschoss hat eine geringere Reichweite: Das schwere Geschoss behält seinen Flug länger stabil bei, da es aufgrund seiner Masseträgheit vom Luftwiderstand langsamer abgebremst wird.

Mit diesem Wissen ist es Ihnen durch das sog. *Wiederladen* möglich, das außenballistische Verhalten Ihres abgefeuerten Projektils (und damit seine Präzision) in vielerlei Hinsicht selbst zu beeinflussen; und zwar insbes. durch die weitgehende Adaptierung der Rückstoßstärke an Ihre eigenen körperlichen Befindlichkeiten und/oder an die schießsportlichen Vorgaben (Sportordnungen). Sie können Munition, die für Sie einen unangenehm starken Rückstoß produziert, herunterladen, dass Sie sie aus derselben Waffe als angenehmer empfinden. Allerdings nur bis zu einem gewissen Grad: Laden Sie Ihre Munition nämlich zu weit herunter, laufen Sie wieder Gefahr, dass das Geschoss den Lauf der Waffe nicht verlässt, falls der Gasdruck zu niedrig ist.

Umgekehrt können Sie Ihre Munition auch mit stärkerer Ladung versehen, wobei ebenfalls Vorsicht geboten ist: Ist die Patrone überladen, besteht Verletzungsgefahr, da die Abgabe eines solchen Schusses die Waffe zerstören kann. Der Gasdruck kann sich seinen Weg durch Schlitze und Spalten bahnen, die nicht dafür konzipiert sind, diesem Druck standzuhalten.

## 3. Ballistik

### Die Flugbahn des Geschosses & die Bedeutung der Umgebungseigenschaften

Die Lehre der Ballistik ist das, was den Menschen in den Sinn kommt, wenn im Zusammenhang mit dem Schießen von Physik gesprochen wird. Grundsätzlich besteht die Ballistik aus 4 Kerngebieten.

Mit der *Innenballistik* haben Sie sich bereits befasst: Sie behandelt sämtliche Vorgänge vom Einschlag des Schlagbolzens oder -hahns auf die Zündmasse bis hin zum Abgangsmoment; jener Augenblick, in dem das Geschoss den Lauf verlässt.

Hier geht die Innenballistik fließend in die *Abgangsballistik* über, die sich dem Verhalten des Geschosses im Abgangsmoment widmet. Dazu gehören die Bewegungen des Geschosses (zB Präzession und Nutation) aber auch die Ereignisse und Vorgänge unmittelbar an der Laufmündung in Form von visuellen, akustischen und elektromagnetischen Signalen: Mündungsfeuer und Mündungsknall etwa.

Danach beginnt die *Außenballistik*, mit der Sie sich gleich befassen. Sie beschreibt das Verhalten des Geschosses im Flug: nachdem es den Lauf verlassen hat bis vor dem Auftreffen im Ziel.

Was beim Auftreffen mit Ziel und Geschoss passiert, dem beschreibt die *End- oder Zielballistik*.

### 3.1 Außenballistik

Außenballistik beginnt, wo die Abgangsballistik endet: Nämlich, sobald die Mündungsgase und der Gasdruck keine Wirkung mehr auf das Geschosß ausüben. Bei gängigen Pistolen und Revolvern in der zivilen Anwendung liegt dieser Bereich bei ~0,5-1,5 m nach der Mündung. Hier beginnt das Geschoss, sich ohne weitere Hilfe von hinten seinen Weg gegen den Luftwiderstand zu bahnen.

Zunächst ist zu erwähnen, dass ein Projektil im Regelfall nicht kerzengerade in einer Linie nach vorne fliegt; das würde den Schießsport doch vergleichsweise unanspruchsvoll machen. Es fliegt im Regelfall eine Parabel: Nach einigen Zentimetern beginnt es scheinbar zu steigen, erreicht irgendwann einen Höhepunkt und sinkt dann wieder. Warum?

#### **3.1.1 Luftwiderstand & Auftrieb**

Sie haben eingangs bereits gelernt, dass ein Körper in seinem Bewegungszustand verbleibt, solange keine äußere Kraft auf ihn einwirkt. Ein Körper, der ruht, ruht weiter – ein Körper, der in Bewegung ist, bleibt weiterhin in Bewegung. Auf das fliegende Geschoss außerhalb der Waffe wirkt nun eine Kraft ein, mit der Sie bisweilen nur am Rande zu tun hatten: die Luft.

In einem Vakuum, etwa im Weltraum, würde ein Geschoss theoretisch mit unveränderter Geschwindigkeit unendlich weit und immer kerzengerade weiterfliegen. Solange, bis es auf ein Hindernis trifft, das es zur Veränderung seines Bewegungszustandes und/oder der Bewegungsrichtung zwingt. Umgeben von Luft, Wind und einer Vielzahl anderer atmosphärischer Parameter ist das nicht so. Neben Luft, Luftdruck, Luftdichte, -widerstand und -feuchtigkeit kann auch Wind in unterschiedlicher Stärke und variabler Richtung auf das Geschoss wirken. Oder Regen.

Ein abgefeuertes, fliegendes Geschoss *muss in der Außenballistik ständig ohne weitere Hilfe von hinten gegen den Luftwiderstand ankämpfen*. Wie gut es das auf eine mehr oder weniger große Distanz schafft, hängt u. a. von seiner Geschwindigkeit und seiner Form ab. Während ein spitz geformtes Geschoss die Barrikade Luft regelrecht durchsticht und die Luftmoleküle regelrecht aufreißt, trifft die Luft bei einem Flachkopfgeschoss frontal auf eine größere Fläche, weshalb der Luftwiderstand auf ein Flachkopfgeschoss stärker bremsend wirkt als auf ein spitzes. Folglich reduzieren sich sowohl die Fluggeschwindigkeit als auch die Reichweite eines flachköpfigen Geschosses im Vergleich zu einem spitzes unter denselben Voraussetzungen (Schussdistanz, selbes Kaliber, Treibladung usw.).

### 3.1.2 Geschoss vs. umgebende Luftmoleküle

Der Luftwiderstand wirkt auf das Geschoss frontal ein. Die Dreh- und Kreiselbewegungen des Geschosses sorgen währenddessen für eine Umverteilung der Luftmoleküle unmittelbar um das Geschoss herum; in derselben Geschwindigkeit, in der sich auch das Geschoss bewegt. Dadurch entsteht der sog. *Magnus-Effekt*. Dieser ist Ihnen vielleicht eher aus dem Fußballspiel bekannt: Ein Spieler tritt den Ball und der Ball fliegt eine seitliche Kurve, während er sich um die eigene Achse dreht. So auch bei Geschossen.

Luftmoleküle, die sich unmittelbar um das Geschoss herum befinden, werden in derselben Geschwindigkeit in Drehrichtung des Geschosses mitgerissen. Jene Moleküle, die sich weiter weg vom Geschoss befinden, behalten ihre Umgebungsgeschwindigkeit bei. An der Unterseite des Geschosses entsteht ein Luftpolster (**Poisson-Effekt**), der von den Molekülen nicht überwunden wird. Die Luft staut sich auf der rechten Seite an. Auf der linken Seite ist viel weniger Luft vorhanden, weil diese nach rechts gerissen wird. Somit entsteht links ein Unterdruck und rechts ein Überdruck. Dieser bringt das Geschoss aus seiner Flugbahn: Geschosse mit Rechtsdrall werden durch diesen einseitigen Überdruck nach links abgelenkt; Geschosse mit einem Linksdrall nach rechts.

### 3.1.3 Geschoss vs. Schussdistanz

Mit bloßem Auge sind diese Ereignisse nicht wahrzunehmen. Auf nahe Distanzen wirken sie sich auch auf das Trefferbild kaum bis gar nicht aus. Auf weitere Entfernungen hingegen, etwa beim Long Range Schießen, kann das Ignorieren solcher ballistischer Grundsätze zu verstärkten *Ablagen (Abweichungen)* auf dem Zielmedium und zu eindeutigen Fehlschüssen führen.

Sie wissen mittlerweile, dass ein Geschoss im Flug mehrere Dreh- und Kreiselbewegungen ausführt, einen Auftrieb erhält und irgendwann wieder zu Boden sinkt. Auf dem Weg dazwischen kann gleichzeitig (abhängig von der Schussdistanz) noch die *Coriolis-Kraft* zuschlagen. Ursache für diese Kraft ist die Erdrotation. Diese ist aber in erster Linie beim Long Range Shooting auf mehrere Hundert Meter und darüber hinaus relevant; beim Pistolen- oder Revolverschießen spielt sie nur untergeordnet eine Rolle.

Die Coriolis-Kraft ist eine Folge der Trägheit von Objekten, die dazu neigen, ihren Bewegungszustand beizubehalten (**Trägheitskraft**). Sie lenkt die Bewegung von Objekten in einem rotierenden Bezugssystem ab. Das Geschoss, das abgefeuert wurde, ist träge und will seine Bewegung beibehalten; die Erde dreht sich aber während seines Fluges weiter.

## 3.2 Endballistik

### Zielballistik

In der Zielballistik geht es um die *Wirkung eines Geschosses beim Auftreffen bzw. Eindringen in ein Ziel*. Ziele können aus völlig unterschiedlichen Materialien bestehen. Neben Zielscheiben fürs sportliche Training gibt es zB Dummies, die für ballistische Tests eingesetzt werden. Grundsätzlich wird unterschieden zwischen harten und weichen Zielen.

Wie der Name vermuten lässt, sind *Hartziele* solche aus besonders festem und widerstandsfähigem Material. Stahl, Beton, Türen, Autos und Panzer. Zielscheiben im Schießsport, oder Lebewesen (auf der Jagd oder im Falle der Notwehr) sind *Weichziele*.

### Wundballistik

Die Wundballistik beschreibt konkret die *Wirkung des Geschosses auf Haut, Knochen und Organe* und widmet sich den durch Geschosse verursachten Verletzungen an Mensch und Tier. Die Wundballistik hat für sich weitreichende Verbindungen zu Physik, Medizin, Militärforschung (Kriegswesen) und Forensik. Zwar ist die Wundballistik ein Teil der Ziel- bzw. Endballistik, jedoch hat zum Beispiel bei aufgesetzter Schussabgabe auch die Innenballistik eine große Mitbestimmungsraft auf die Wundbildung.

## 3.3 Geschossformen & -arten

Je nach Verwendungszweck sind unterschiedliche Geschosseigenschaften vom Schützen gewünscht. In der *(Selbst)Verteidigung* ist die höhere Durchschlagskraft eines Vollmantelgeschosses eher von Nachteil. Da zur Notwehr idR auf Weichziele geschossen wird, *steigt bei hoher Durchschlagskraft das Risiko von Kollateralschäden*, die vom Notwehrparagrafen nicht gedeckt sind.

Um diese zu reduzieren und möglichst auszuschließen wurde *Expansivmunition (Deformationsmunition)* geschaffen. Derartige Geschosse pilzen auf, sobald sie im Ziel auftreffen, bleiben eher stecken und sorgen durch Organ- und Gewebeschäden für eine effiziente Mannstoppwirkung.

Bei der Jagd auf Kleinwild ist Blei als Geschossmaterial oft unerwünscht, da Blei durchaus beim späteren Verzehr einen unangenehmen Nachgeschmack mit sich bringt. Insbesondere bei Schrotkugeln besteht die Gefahr, dass beim Zerlegen des Tieres vielleicht eine Bleikugel übersehen wird.

Die beim unmittelbaren Auftreffen wohl massivste Wirkung entfalten neben der *Geschossenergie*, die *Geschossform und Geschossmaterial*. Im Zusammenspiel entscheiden diese Faktoren über das Erscheinungsbild eines Treffers auf der Zielscheibe (ein Flachkopfgeschoss stanzt saubere Kreise aus, ein ogivales Geschoss hinterlässt auslaufende, unsaubere Risse) sowie über die Wundwirkung (Steckschuss, Durchschuss, Organ- & Gewebeschäden).



**VIELEN DANK**  
**FÜR IHR VERTRAUEN IN**  
**DIE MOBILE SCHIEßTRAINERIN®.**

**DIE MOBILE SCHIEßTRAINERIN**