
Ballistischer Schutz

Beat P. Kneubuehl

Dr. sc. forens., Dipl.-Math.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Schutz ist auch eine Waffe	1
1.2	Personenschutz und Sachwertschutz.....	1
2	Die Bedrohung	2
3	Materialklassen	3
4	Bedrohungs- und Schutzwahrscheinlichkeit	4
4.1	Allgemeines	4
4.2	Bedrohungswahrscheinlichkeit	4
4.3	Festlegen des Angriffspotenzials	9
4.3.1	Kurzwaffen.....	9
4.3.2	Langwaffen	10
4.4	Schutzwahrscheinlichkeit.....	12
4.4.1	Allgemeines	12
4.4.2	Schutzwahrscheinlichkeit und Angriffspotenzial	14
5	Prüfung von ballistischem Schutz	19
5.1	Allgemeines	19
5.2	Regelwerke	20
5.2.1	Definition, Arten von Regelwerken.....	20
5.2.2	Angrifforientierte Regelwerke.....	20
5.2.3	Schutzorientierte Regelwerke	22
5.3	Prüfmethoden	22
5.3.1	Möglichkeiten von Prüfmethoden.....	22
5.3.2	Bestimmung der mittleren Durchschussgeschwindigkeit und Streuung	24
5.3.3	Bestimmung von Durchschusswahrscheinlichkeiten	26
5.3.4	Bestimmung von v_{50} und s bei gegebener Prüfgeschwindigkeit	26
5.3.5	Zuverlässigkeit der Prüfung auf Nicht-Durchschuss	27
5.3.6	Zur notwendigen Schusszahl bei Prüfung auf Nicht-Durchschuss	29
5.4	Die wesentlichen Festlegung in angrifforientierten Regelwerken	31
5.4.1	Das Prüfgeschoss.....	31
5.4.2	Die Prüfgeschwindigkeit.....	32
5.4.3	Zur Streuung der Prüfgeschwindigkeit.....	33
5.4.4	Entscheidungskriterien bei Nichteinhalten der Prüfgeschwindigkeit.....	34
5.5	Weitere Festlegungen	35
5.5.1	Allgemeines	35
5.5.2	Schussdistanz.....	35

5.5.3	Schussrichtung.....	37
5.5.4	Schusszahl und Beschussmuster	38
5.5.5	Vorbehandlung des Prüfobjektes	39
6	Wirkungen hinter dem ballistischen Schutz	40
7	Existierende Normen und Richtlinien.....	40
7.1	Allgemeines.....	40
7.2	ISO und CEN	41
7.3	Normen für ballistische Schutzkonstruktionen	41
7.4	Normen und Richtlinien für ballistischen Körperschutz	43
A	Anhang	47
A.1	Berechnungsanleitung für das Prüfverfahren zur Bestimmung der mittleren Durchschussgeschwindigkeit (v_{50}) und der zugehörigen Streuung.....	47
A.2	Tabelle zur Berechnung der Durchschusswahrscheinlichkeit.....	48
A.3	Beispiele von v_{50} und zugehöriger Standardabweichung.....	48

1 Einleitung

1.1 Schutz ist auch eine Waffe

Es ist aufschlussreich, sich an dieser Stelle einmal Gedanken zum Sinn des Wortes „Waffe“ zu machen. „Waffe“ bedeutet ganz allgemein „Kampfgerät“ und gilt als Sammelbezeichnung für alle Mittel, die der Verteidigung oder dem Angriff dienen.

Waffen lassen sich in zwei Kategorien einteilen. In der einen werden die Defensiv- oder Schutzwaffen zusammengefasst. Mit ihrer Hilfe werden die empfindlichen Teile des Körpers gegen Angriffe geschützt (z. B. Schutzwesten, Helme usw., in früheren Zeiten die Rüstungen). Die andere Kategorie umfasst die Offensivwaffen. Diese werden dazu verwendet, den Angreifer oder Gegner zu schädigen. Sie lassen sich weiter in Hieb-, Stoß- und Stichwaffen (sog. *Blankwaffen*) und in *Wurfwaffen* unterteilen. Schusswaffen gehören selbstverständlich zu der Kategorie der Wurfwaffen.

Da die Grundgedanken der beiden Waffenkategorien einander diametral gegenüber stehen, wird eine Leistungsspirale unausweichlich. Ist einmal ein Schutz gegen die vorhandenen Offensivwaffen gefunden, so wird umgehend deren Leistung gesteigert, was wiederum neue Entwicklungen im Schutzbereich zur Folge hat.

Diese Leistungsspirale lässt sich bei den leichten Schutzwesten sehr gut beobachten. Als die ersten einigermaßen tragbaren Schutzwesten auf den Markt kamen, tauchte in kurzer Zeit eine ganze Reihe von Geschossen auf (KTW, Arcane, THV, Starkmantelgeschoss usw.) die den Durchschlag jener Westen zum Ziele hatten. Die Entwicklung besserer Schutzmaterialien ließ allerdings nicht lange auf sich warten.

1.2 Personenschutz und Sachwertschutz

Durchschusshemmende Stoffe werden in erster Linie für den Personenschutz eingesetzt, da das eingesetzte Angriffsmittel – die Schuss- und auch die Stichwaffen – in diesem Zusammenhang vor allem gegen den Menschen selbst gerichtet ist. Weniger häufig kommen gezielte Sachbeschädigungen durch Schusswaffen vor. Hier sind es vor allem wichtige und empfindliche Einrichtungen (Radaranlagen, Computer, Energieanlagen, Steuerungen), die eines Schutzes bedürfen.

Der Personenschutz lässt sich in zwei Gebiete einteilen:

- Schutz, der unmittelbar auf dem Körper getragen wird (Schutzwesten, Helme).
- Schutz des Raumes, in dem sich die Personen aufhalten.

Der Körperschutz ist üblicherweise nur partiell, da einerseits die Beweglichkeit nicht zu stark beeinträchtigt werden darf und andererseits das Gewicht des Schutzes be-

schränkt sein muss. Geschützte Räume werden in Gebäuden und Gebäudeteilen (Bank- und Postschalter) sowie bei Fahrzeugen eingerichtet. Die Materialien, die dabei verwendet werden, dürfen in der Regel im Schutzbereich keine Splitter bilden. Ausgenommen davon ist der Schutz von Personen, die sich stets genügend weit von der Schutzkonstruktion aufhalten (beispielsweise in Schießständen).

Beim Sachwertschutz ist Splitterfreiheit der Schutzkonstruktion nur dann gefordert, wenn die Splitter ebenfalls eine Bedrohung der Sachwerte darstellen.

2 Die Bedrohung

Gegen lebensbedrohende Einwirkung von außen sucht sich der Mensch stets zu schützen. Die möglichen Bedrohungen sind jedoch so vielfältig, dass die Schutzvorrichtungen jeweils einem bestimmten Bedrohungsbild angepasst werden müssen. Eine häufig vorkommende Bedrohung bilden dabei Geschosse aus Kurz- und Langwaffen, die mit hoher Geschwindigkeit auftreffen und deren Wirkungspotenzial in ihrer kinetischen Energie liegt.

Zu den Kurz- und Langwaffen (englisch: „Small Arms“) werden alle Waffen gezählt, die ein- oder zweihändig bedienbar sind und die ein Kaliber kleiner als 13 mm aufweisen. Außerdem gehören die Flinten (glattläufige Gewehre) dazu, deren Kaliber bis rund 20 mm (Kaliber 10) betragen kann.

Obwohl die Vielfalt der Gewehre, Pistolen und Revolver und der zugehörigen Munition außerordentlich groß ist, ist durch diese Abgrenzung das Angriffspotenzial recht eindeutig umschrieben, da aus Gründen der Handhabbarkeit sowohl die maximale Mündungsenergie als auch der Mündungsimpuls (Rückstoß) beschränkt sein müssen. Dadurch ergeben sich Grenzen für die Geschossmasse und die Mündungsgeschwindigkeit. Allgemein gelten etwa die folgenden Werte:

Mündungsenergie	< 10	kJ	(18 kJ)
Mündungsimpuls	< 25	Ns	(40 Ns)
Geschossmasse	< 35	g	(50 g)
Mündungsgeschwindigkeit	< 1200	m/s	

Mit dem Aufkommen von Repetiergewehren und Halbautomaten in den Kalibern 12.7 × 99 mm (50 Browning) (USA) und 12.7×108 mm (GUS) werden diese Grenzen allerdings deutlich nach oben verschoben, wie die in Klammern angegebenen Werte zeigen.

Auf Grund unterschiedlicher Anwendungsgebiete haben sich im Laufe der Zeit Waffenkategorien mit einigen typischen Mündungsenergiebereichen herausgebildet (siehe Tabelle 1). Dies widerspiegelt sich in der Häufigkeit der vorkommenden Waffen, was sich wiederum auf die Bedrohungswahrscheinlichkeit auswirkt.

Tabelle 1: Gebräuchliche Waffenkategorien: Richtwerte für die Mündungsenergie E_0

Waffenkategorie	Kaliberbereich [mm]	mittlere E_0 [J]	maximale E_0 [J]
Gebrauchskurzwaffen	< 12	500	750
schwere Kurzwaffen	< 12	1000	2500
Langwaffen (Armeen)	< 6.5	1600	1800
	> 6.5	3000 - 3500	4000
Langwaffen (Jagd)	< 6.5	2000	3000
	> 6.5	4000 - 5500	12000
12.7×99 mm	12.7	16000	
Langwaffen (Flinten)	12/70	2500	3500

Außer Mündungsenergie und Mündungsimpuls ist auch die Geschosskonstruktion ins Bedrohungsbild einzubeziehen. Vollmantelgeschosse oder gar Geschosse mit einem gehärteten Stahlkern sind aus der Sicht des ballistischen Schutzes eine wesentlich stärkere Bedrohung als etwa Teilmantel- oder Vollbleigeschosse. Auch hier ist die Häufigkeit des Vorkommens derartiger Geschosse bei der Beurteilung der Bedrohung zu berücksichtigen.

3 Materialklassen

Unter durchschusshemmenden Materialien versteht man ganz allgemein jede Art von Stoffen, die geeignet sind, einem Beschuss durch Kurz- oder Langwaffen zu widerstehen. Die Materialien lassen sich dabei bezüglich ihres Verhaltens beim Beschuss grundsätzlich in zwei Gruppen aufteilen:

- Gläser und glasartige Materialien (z.B. Keramik)
- alle übrigen Materialien (auch Kunststoffgläser)

Diese auf den ersten Blick überraschende Einteilung hat ihre Ursache in der Reaktion, mit der ein Material auf eine punktförmige Belastung (Energieübertragung) antwortet. In Glas bilden sich Risse, die sich mit hoher Geschwindigkeit (> 5000 m/s) fortpflanzen. Sie eilen somit dem Geschoss voraus, das bei seiner Durchdringung nur noch fragmentiertes Glas antrifft. In allen übrigen Baustoffen bleibt die durch das Geschoss verursachte Zerstörung auf einen relativ kleinen Umkreis der Geschossbahn beschränkt; dem Geschoss stellt sich auf seinem Weg immer wieder unzerstörtes Material entgegen.

Es zeigt sich, dass für die Durchdringung dieser beiden Materialklassen nicht die gleichen physikalischen Geschossmerkmale maßgebend sind. Während bei

Gläsern die *Auftreffenergie* eine zentrale Rolle spielt, ist die Eindringtiefe in den übrigen Materialien in erster Linie von der *Energiedichte* (Energie pro Fläche) am Auftreffpunkt abhängig. Dies ist der Grund, weshalb für Gläser und übrige Schutzmaterialien unterschiedliche Normen existieren.

4 Bedrohungs- und Schutzwahrscheinlichkeit

4.1 Allgemeines

Es ergibt keinen Sinn, sich stets gegen die maximale Bedrohung schützen zu wollen. Beim Bedrohungsbild „alle Kurz- und Langwaffen“ müsste man einen derart schweren und unhandlichen Schutzanzug wählen, dass ein längeres Tragen unmöglich wäre. Im Bereich des Raumschutzes setzen oft die Kosten und die konstruktiven Möglichkeiten die Grenze für den möglichen Schutz.

Wird man mit dem Problem konfrontiert, sich selbst oder einen gewissen Raum schützen zu müssen, so ist der erste wichtige Schritt die genaue Definition der Bedrohung, gegen die der Schutz zu wirken hat. Dabei muss man sich von der Wahrscheinlichkeit der Bedrohung leiten lassen. So sind Gebrauchskurzwaffen (gemäß Tabelle 1) in Europa wesentlich häufiger anzutreffen als schwere Kurzwaffen. Dies hat zur Folge, dass die Bedrohungswahrscheinlichkeit durch – beispielsweise – Waffen im Kaliber 9 mm Luger größer ist als durch solche im Kaliber 44 Rem. Mag. Bei den Armeewaffen wird in Deutschland das Schweizer Kaliber GP 11 wegen der geringen Verbreitung eine ausgesprochen kleine Bedrohung darstellen, ganz im Gegensatz zur Schweiz, wo es die (noch) am meisten verwendete Munition ist.

Ist einmal das Bedrohungsbild festgelegt, so darf dennoch nicht damit gerechnet werden, dass der dazu gehörende Schutz absolut sicher ist. Jeder Schutz schützt nur mit einer gewissen, wenn auch sehr hohen Wahrscheinlichkeit. Der Grund ist einerseits darin zu suchen, dass ein festgelegtes Bedrohungsbild stets statistischer Art ist und damit Streuungen unterworfen sein wird, andererseits kommen auch bei den Schutzmaterialien geringe Qualitätsschwankungen vor.

4.2 Bedrohungswahrscheinlichkeit

Die Bedrohung durch Kurz- und Langwaffen ist stets unter zwei Gesichtspunkten zu betrachten: Die Bedrohung durch das Geschoss einerseits und die örtliche Verbreitung und Häufigkeit des Vorkommens der betrachteten Waffen (der betreffenden Bedrohungsstärke) andererseits.

Je nach dem bei der Schutzkonstruktion verwendeten Material ist das Maß für die Bedrohung durch die Energie des Geschosses oder durch seine Energiedichte gegeben (siehe Kap. 3). Weil es nun Dutzende verschiedener Kaliber und Hunderte

von Patronenarten gibt, ist es sinnvoll, die verschiedenen Waffen nach ihrem Angriffspotenzial in Klassen einzuteilen. Dabei kann man sich entweder an der Energie oder an der Energiedichte orientieren. Trägt man die Nominalenergie von 26 üblichen Kurzwaffenkalibern auf, so ergibt sich das in der Abb. 1 dargestellte Bild. Daraus lassen sich recht deutlich Abstufungen ersehen, und zwar bei rund 250 J, 500 J und 750 J. Oberhalb 750 J sind nur noch wenige verschiedene Kaliber vorhanden, wobei die Energie von Kaliber zu Kaliber relativ stark zunimmt.

Werden dieselben Kaliber nach zunehmender Energiedichte geordnet, so lässt sich eine analoge Einteilung machen, wobei die Sprünge allerdings etwas weniger deutlich sind (siehe Abb. 2). Abstufungen lassen sich bei 5 J/mm^2 , 8 J/mm^2 und 11 J/mm^2 vertreten.

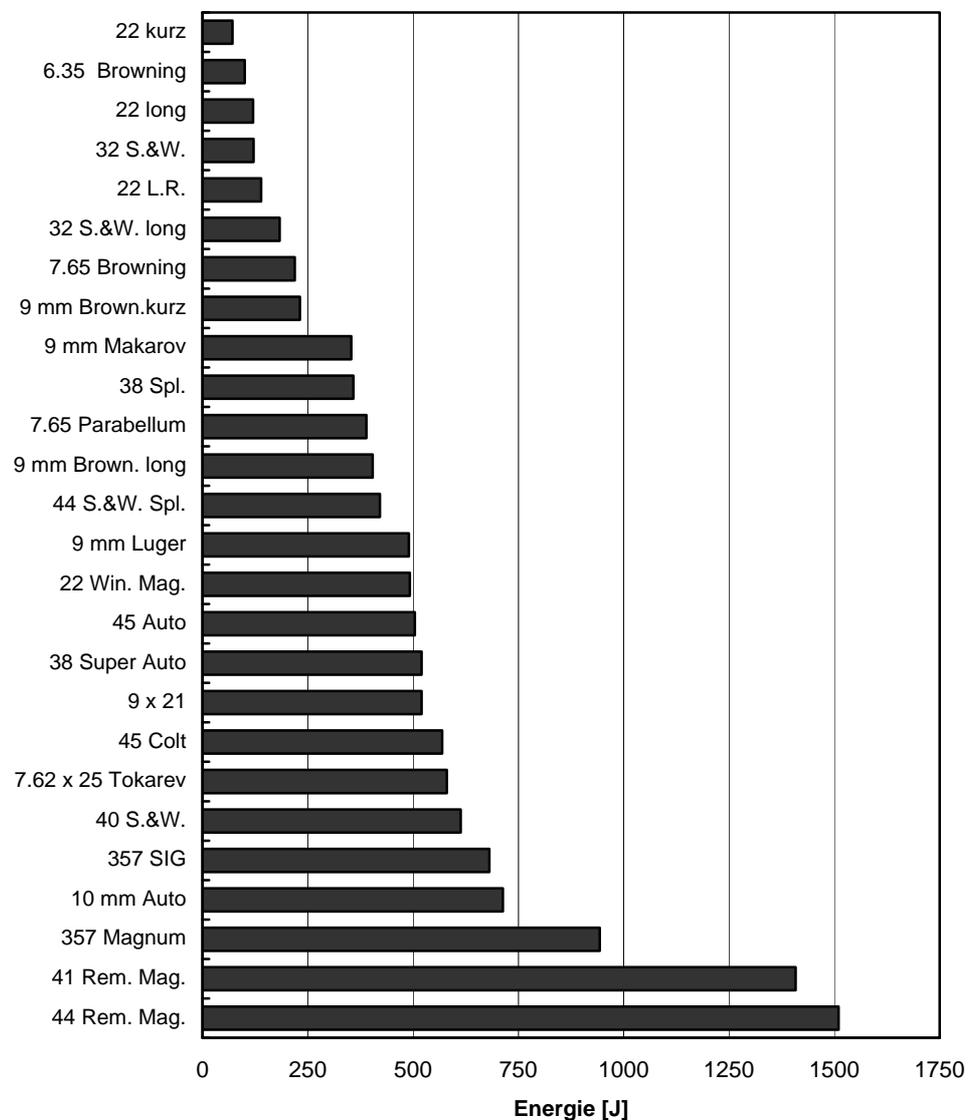


Abb. 1. Zusammenstellung der üblichsten Kurzwaffenkaliber und deren nomineller Mündungsenergien

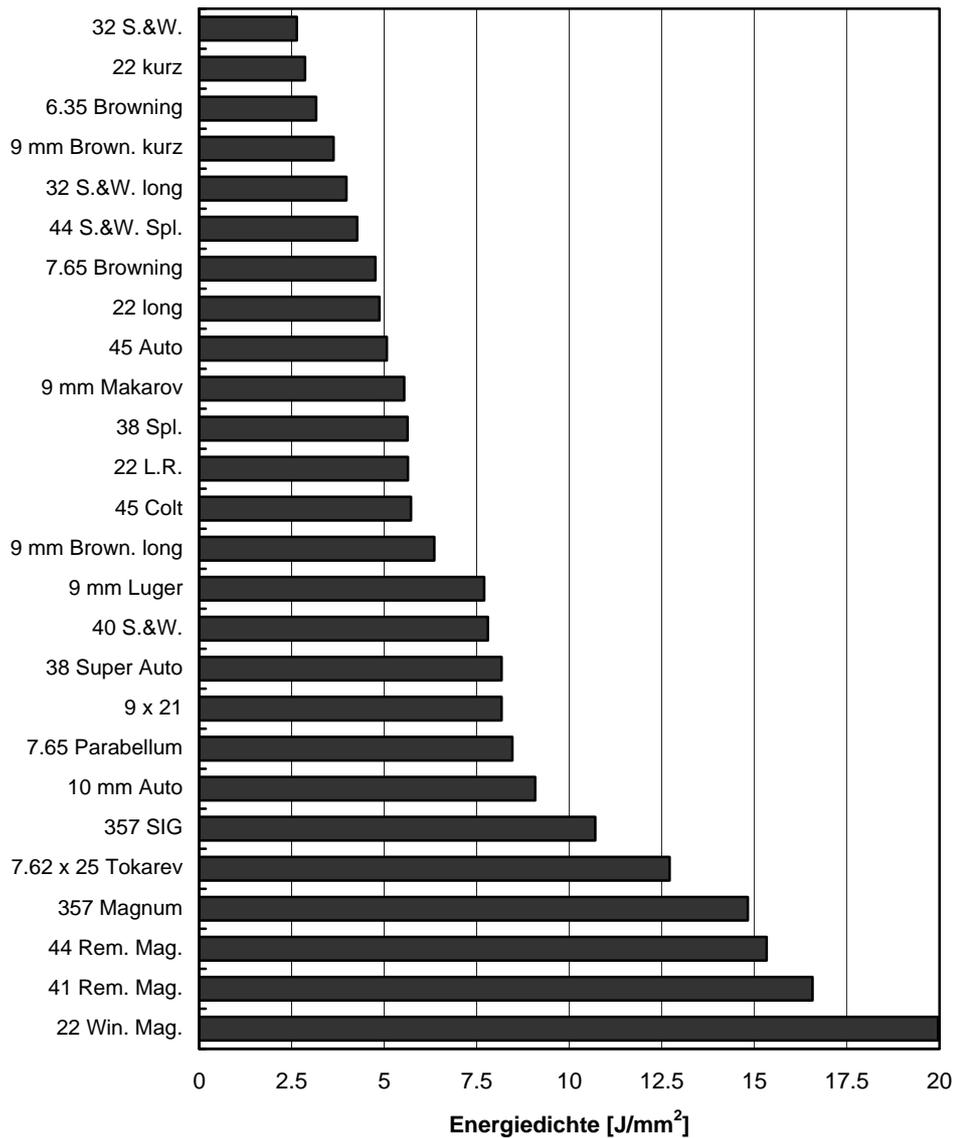


Abb. 2. Zusammenstellung der üblichsten Kurzwaffenkaliber und deren nomineller Mündungsenergiedichten.

Damit sind sowohl bezüglich der Energie als auch bezüglich der Energiedichte für Kurzwaffen je 4 Bedrohungsklassen definiert. Die Einordnung der verschiedenen Kaliber zu den betreffenden Klassen kann der Tabelle 2 entnommen werden.

Es ist aus ballistischer Sicht durchaus klar, aber dennoch bemerkenswert, dass einige Kaliber unterschiedlichen Klassen zugeordnet werden, je nachdem welches Kriterium betrachtet wird. Beim Übergang von der Energie zur Energiedichte fallen einige großkalibrige Waffen in eine tiefere Klasse, einige kleinkalibrige eine Klasse nach oben. Den krassesten Unterschied ergibt sich bei der 22 Win. Mag., die mit moderaten 500 J Energie mit Abstand die größte Energiedichte erzeugt.

Tabelle 2. Einteilung in Bedrohungsklassen

Bedrohungs- klasse	bezüglich Energie	bezüglich Energiedichte	gemeinsame Kaliber
I bis 250 J bzw. bis 5 J/mm ²	22 kurz 22 long 22 L.R. 32 S.&W. 32 S.&W. long 6.35 Browning 7.65 Browning 9 mm Brown. kurz	22 kurz 22 long 32 S.&W. 32 S.&W. long 44 S.&W. Spl. 6.35 Browning 7.65 Browning 9 mm Brown. kurz	22 kurz 22 long 32 S.&W. 32 S.&W. long 6.35 Browning 7.65 Browning 9 mm Brown. kurz
II bis 500 J bzw. bis 8 J/mm ²	22 Win. Mag. <i>38 Spl.</i> 44 S.&W. Spl. <i>45 Auto</i> 7.65 Parabellum 9 mm Brown. long 9 mm Luger 9 mm Makarov	22 L.R. <i>38 Spl.</i> <i>40 S&W</i> <i>45 Auto</i> 45 Colt 9 mm Brown. long 9 mm Luger 9 mm Makarov	<i>38 Spl.</i> <i>45 Auto</i> 9 mm Brown. long 9 mm Luger 9 mm Makarov
III bis 750 J bzw. bis 11 J/mm ²	10 mm Auto 357 SIG 38 Super Auto <i>40 S & W</i> 45 Colt 7.62 x 25 Tokarev 9 x 21	10 mm Auto 357 SIG 38 Super Auto 7.65 Parabellum 9 x 21	10 mm Auto 357 SIG 38 Super Auto 9 x 21
IV über 750 J bzw. über 11 J/mm ²	357 Magnum 41 Rem. Mag. 44 Rem. Mag.	357 Magnum 41 Rem. Mag. 44 Rem. Mag. 7.62 x 25 Tokarev 22 Win. Mag.	357 Magnum 41 Rem. Mag. 44 Rem. Mag.

Die drei am häufigsten vorkommenden Kaliber sind **fett** gedruckt, die drei folgenden *kursiv*.

Es sei an dieser Stelle nochmals daran erinnert, dass für Schutzkonstruktionen aus Glas oder glasartigen Materialien grundsätzlich die Energie maßgebend ist, für alle übrigen Materialien jedoch die Energiedichte.

In die Beurteilung der Bedrohungswahrscheinlichkeit ist aber auch die Häufigkeit des Vorkommens der verschiedenen Kaliber einzubeziehen. Diese Häufigkeit ist allerdings recht schwierig abzuschätzen. Um dennoch einen Richtwert zu erhalten, wurden im Waffen Digest 1999 bei rund 500 Kurz Waffen festgestellt, in welchen Kalibern sie angeboten werden. Dabei ergab sich die in Abb. 3 dargestellte Statistik prozentualer Häufigkeiten. Nur 6 Kaliber (22 L.R., 357 Magnum, 9 mm Luger, 38 Spl., 40 S.&W. und 45 Auto) erreichen Werte über 5%. Insgesamt werden rund zwei Drittel der aufgelisteten Waffen in diesen 6 Kalibern angeboten. Die drei ersten der genannten Kaliber kommen gar mit einer Häufigkeit von über

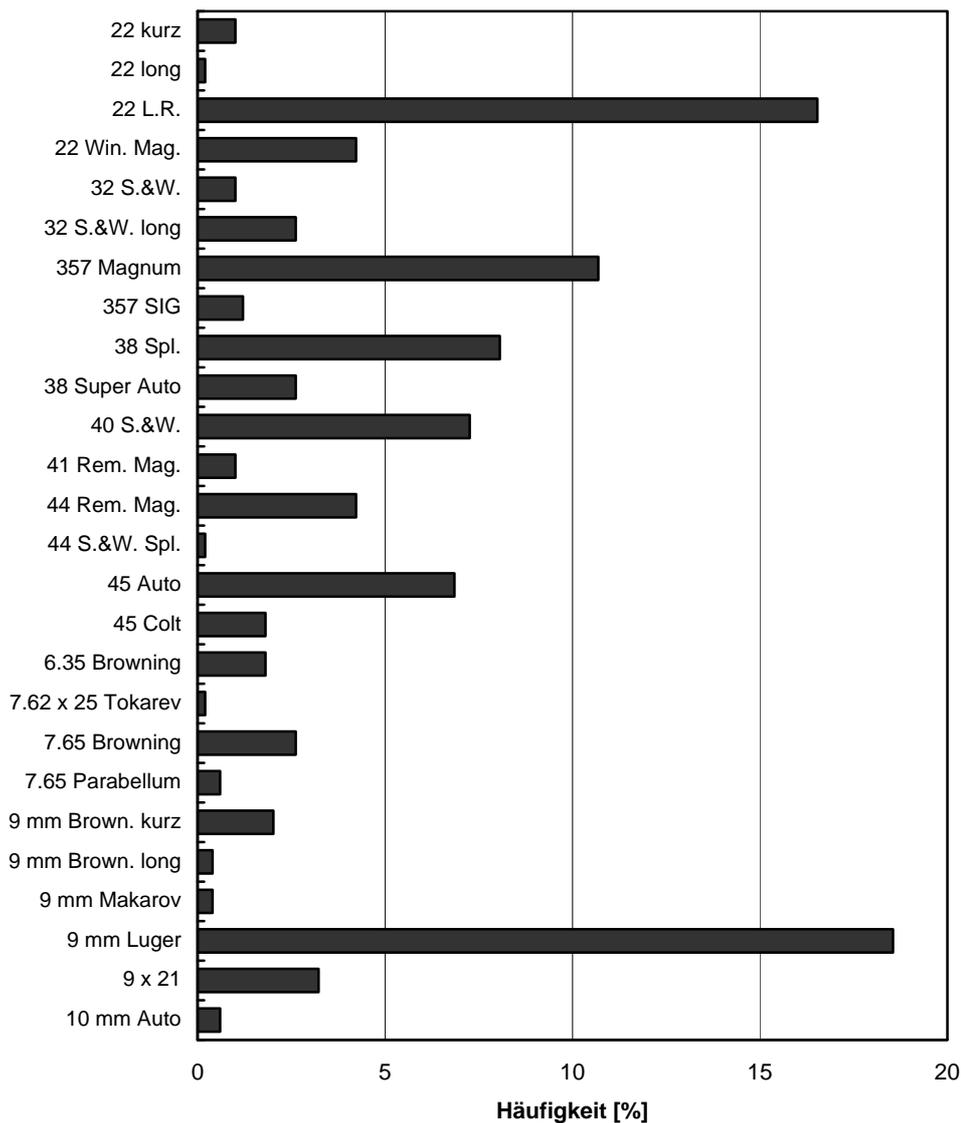


Abb. 3. Häufigkeit des Vorkommens von Kurzwaffenkalibern, basierend auf dem Handelsangebot (1999).

10 % vor und machen zusammen rund 45 % aller angebotenen Waffen aus. Es ist interessant, dass in jeder der oben zusammengestellten Bedrohungsklassen mindestens eines dieser häufigen Kaliber vorkommt. (Diese drei häufigsten Kaliber sind in der Tabelle 2 fett, die drei folgenden kursiv hervorgehoben).

Es liegt nun auf der Hand, in jeder Bedrohungsklasse dasjenige Kaliber als wahrscheinlichste Bedrohung auszuwählen, das zugleich am häufigsten vorkommt. In der Klasse bis 500 J betrifft dies beispielsweise das Kaliber 9 mm Luger.

4.3 Festlegen des Angriffspotenzials

4.3.1 Kurzwaffen

Ist einmal für eine bestimmte Klasse das Kaliber der wahrscheinlichsten Bedrohung festgelegt, taucht bereits eine weitere Frage auf, die im Folgenden am Beispiel des Kalibers 9 mm Luger untersucht wird. In den Abb. 1 und 2 wurde auf die im jeweiligen Kaliber üblichste Mündungsenergie abgestellt. Diese stellt in der Regel einen Standardwert dar, der mit gebräuchlichen Lauflängen und handelsüblichen Patronen erreicht wird. Soll nun ein Schutz gegen die Bedrohung „9 mm Luger“ ausgelegt werden, ist zu berücksichtigen, dass mit größeren Lauflängen (z. B. Maschinenpistolen) oder speziellen Patronen oft merklich höhere Energien erzielt werden. Es gilt deshalb herauszufinden, welche Mündungsenergien (bzw. Mündungsgeschwindigkeiten) bei einer solchen Patrone überhaupt vorkommen.

Dabei darf man sich nicht auf Firmenunterlagen abstützen, da deren Angaben zumeist mit Standardlauflängen (Messläufen) ermittelt werden und so kein Bild der Geschwindigkeitsverteilung wirklicher Waffen ergeben.

Beim Zusammentragen von über 60 Messreihen (mit je mindestens 6 Schuss) ergab sich mit 18 Patronenfabrikaten und Lauflängen zwischen 90 und 225 mm die in der Abb. 4 dargestellte Geschwindigkeitsverteilung. Diese lässt sich überraschend gut durch eine Normalverteilung approximieren (Mittelwert 363.4 m/s, Stan-

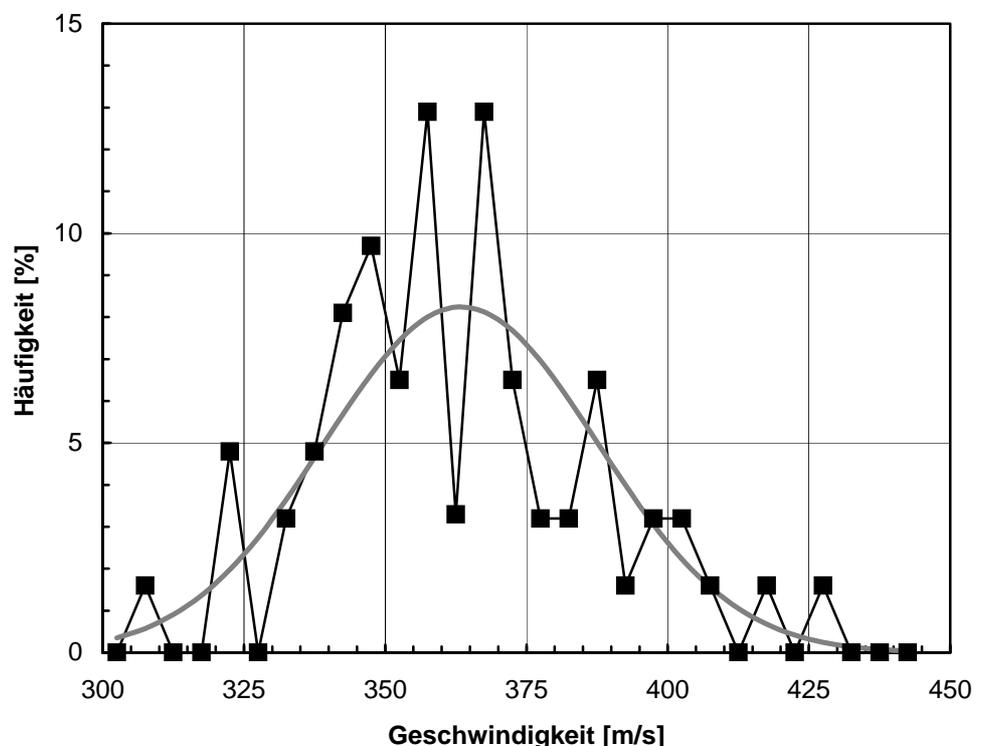


Abb. 4. Häufigkeit der Mündungsgeschwindigkeit beim Kaliber 9 mm Luger (bei Verwendung eines 8 g Geschosses). Die graue Linie stellt die zugehörige Normalverteilung dar.

dardabweichung 24.2 m/s). Wird demnach beim Kaliber 9 mm Luger mit einer Geschwindigkeit von 360 m/s gerechnet (ca. 520 J bei einer Geschossmasse von 8 g), so werden dadurch höchstens 50 % der vorkommenden Angriffspotenziale dieses Waffenkalibers abgedeckt. Mit einer Geschwindigkeit von 395 m/s werden bereits 90 % und mit 420 m/s 99 % der möglichen Fälle erfasst.

Ein ballistischer Schutz, der für das Kaliber 9 mm Luger bei einer Geschwindigkeit von 420 m/s (705 J) ausgelegt ist, deckt somit 99 % der möglichen Angriffspotenziale der (in Europa) wohl am meisten verbreiteten Kurzwaffe ab.

Dabei stellt sich sofort die Frage, weshalb nicht ein praktisch vollständiger Schutz (z. B. 99.99%) angestrebt wird. Dies liegt einerseits darin, dass die Schutzkonstruktion mit zunehmender Schutzwahrscheinlichkeit schwerer, unhandlicher und auch teurer wird. Es ist daher stets ein Gleichgewicht zwischen Handlichkeit, Aufwand und Schutzgrad anzustreben. (Bei Schutzwesten nützt eine hohe Schutzwahrscheinlichkeit nichts, wenn die Weste derart unbequem wird, dass sie überhaupt nicht getragen wird.) Andererseits wird im oben erwähnten Beispiel mit 420 m/s eine Energie von 705 J und eine Energiedichte von 11 J/mm^2 erreicht. Dies liegt bereits weit in der nächst höheren Klasse (nach Tabelle 2) und der Schutz könnte dort als 50 oder 60 % Sicherheit angeboten werden. Damit könnte bereits der Wunsch nach einem praktisch vollständiger Schutz in dieser Klasse auftreten, was jedoch zu noch schwereren Konstruktionen führen würde.

Zusammenfassend kann aus diesen Darlegungen Folgendes geschlossen werden:

- Standardgeschwindigkeiten von Faustfeuerwaffen eignen sich wohl für eine Klasseneinteilung der Bedrohung, für die Festlegung des effektiven Angriffspotenzial sind sie ungeeignet.
- Bei der Festlegung der Bedrohungswahrscheinlichkeit ist das Angriffspotenzial und die Häufigkeit des Vorkommens zu berücksichtigen.
- Es gibt keinen hundertprozentigen Schutz.

4.3.2 *Langwaffen*

Bei den Langwaffen empfiehlt sich ein analoges Vorgehen. Allerdings ist es bei dieser Waffengattung von Vorteil, sich erst über die Verbreitung und anschließend über eine mögliche Klasseneinteilung Gedanken zu machen. Der Grund dafür liegt in der klaren Dominanz der Verbreitung, die durch die große Zahl der durch die Armeen beschafften Karabiner und Sturmgewehre gegeben ist.

Bei der Betrachtung der häufigsten Kaliber und der zugehörigen ballistischen Daten (siehe Tabelle 3) drängen sich bezüglich der Energie zwei Bedrohungsklassen auf. In der einen können die beiden 5.56 x 45 Kaliber zusammengefasst werden (Mündungsenergie ca.1700 J), wobei zugleich auch die 5.45 x 39 Kalashnikov abgedeckt wird. Die andere umfasst die so genannten 30er-Kaliber (7.62 mm), de-

Tabelle 3. Energie und Energiedichte der häufigsten Armeewaffen.

Kaliber	Energie [J]	Energiedichte [J/mm ²]
5.45×39 mm Kalaschnikow	1400	60.0
5.56×45 mm Remington	1660	68.4
5.56×45 mm NATO	1690	69.6
7.62×39 mm Kalaschnikow	1960	43.0
7.62×51 mm NATO	3270	71.7
7.5 mm GP 11	3180	71.9
30-06 (7.62×63 mm)	3400	74.5
7.62×54R	3840	84.2
7.92 mm Mauser	4010	81.4

ren Mündungsenergie zwischen 3000 und 3500 J liegt und zu denen auch die Schweizer Patrone GP 11 gezählt werden kann. Es ist bemerkenswert, dass bezüglich der Energiedichte die beiden Klassen (5.56 mm und 7.62 mm) sogar zusammengelegt werden können. In beiden Fällen beträgt sie rund 70 J/mm². Auf Grund der außerordentlich großen Häufigkeit dieser Waffen ist es nicht verwunderlich, dass sich zwei entsprechende Klassen im Bedrohungskatalog durchschusshemmender Objekte etablieren konnten.

Nicht zuletzt aus historischen Gründen kommt dem Kaliber 7.62 × 39 Kalashnikov spezielle Aufmerksamkeit zu. Einerseits stellt es bezüglich Energie und Energiedichte innerhalb der Kaliber in Tabelle 3 einen Sonderfall dar. Andererseits war es bis vor kurzer Zeit in den westlichen Ländern vergleichsweise nur sehr wenig vertreten, weshalb es in den entsprechenden Bedrohungslisten bisher nicht erschien. Da es aber mit geschätzten 100 Millionen Waffen das wohl verbreitetste Kaliber der Welt ist, hat sich dies in der Zwischenzeit geändert, und die „Kalashnikov“ wird neuerdings gebührend berücksichtigt.

Für eine allgemeine Analyse der Bedrohung durch Langwaffen genügt allerdings die Häufigkeit des Auftretens nicht. Ein Blick auf die Zusammenstellung der entsprechenden ballistischen Mündungsdaten einiger Jagdkaliber (Tabelle 4) zeigt, dass wohl deren Vorkommen relativ selten, die Stärke der Bedrohung jedoch umso größer ist.

In der Tat sind die Mündungsenergien im gleichen Kaliberbereich rund 50 % größer, was sich natürlich entsprechend auch auf die Energiedichten auswirkt. Es empfiehlt sich daher, zumindest eines der stärkeren Jagdkaliber (z. B. 8 × 68 S oder 7 mm Rem. Mag.) in einem Bedrohungskatalog der Langwaffen zu berücksichtigen. Ein Blick auf die Zahlenwerte in den beiden Tabellen 3 und 4 macht jedoch sofort klar, dass dies nur mit einer eigenen Bedrohungsklasse erfolgen kann.

Tabelle 4. Energie und Energiedichte typischer Jagdwaffenkaliber.

Kaliber	Energie [J]	Energiedichte [J/mm ²]
5.6x57 mm	2600	105.4
6 mm Remington	3030	107.3
6.5x57R	3060	92.2
7 mm Remington	4800	124.8
8x68S	5690	113.3

4.4 Schutzwahrscheinlichkeit

4.4.1 Allgemeines

Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen müssen nicht nur bei der Bedrohung, sondern auch beim Schutz angestellt werden. Gemeinhin wird angenommen, dass ein Schutzaufbau einem bestimmten Angriff entweder standhält oder nicht. In der Praxis zeigt sich jedoch ein anderes Bild.

Wird beispielsweise eine Schutzkonstruktion mit stetig steigender Geschwindigkeit beschossen, so wird vorerst das Geschoss aufgehalten, dann aber einmal eine Geschwindigkeit erreicht, bei der das Material erstmals durchschossen wird. Bei noch höherer Auftreffgeschwindigkeit kann aber das Geschoss durchaus wieder gestoppt werden. Insgesamt ergibt sich stets ein Geschwindigkeitsbereich, in dem sich Nicht-Durchschüsse und Durchschüsse überlappen. Abb. 5 zeigt ein realistisches Bild einer Serie von 26 Schuss gegen ein leichtes Schutzwestenpaneel.

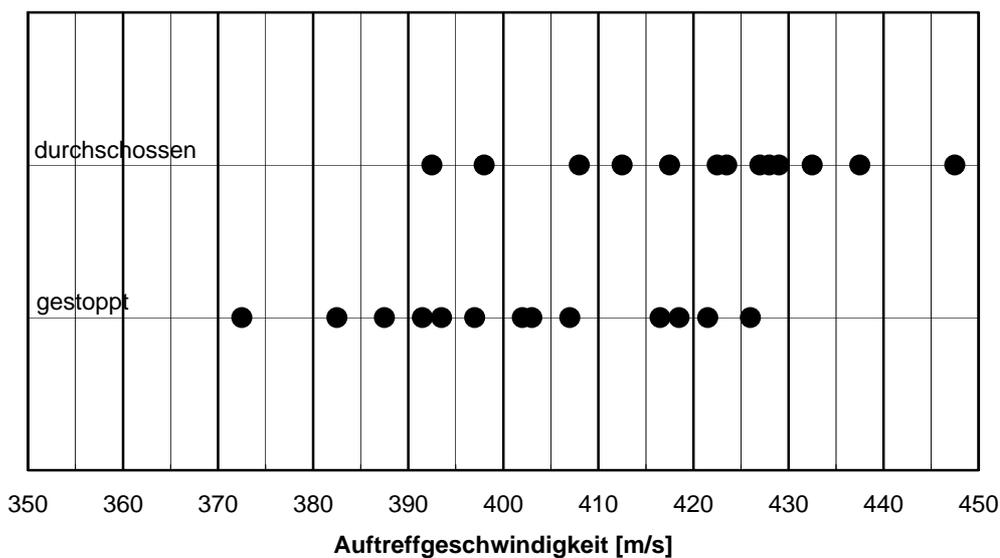


Abb. 5. Resultat einer realistischen Prüfung eines Schutzwestenpaneels mit 26 Schüssen. Die Einteilung in Klassen der Breite 5 m/s ist bereits angedeutet.

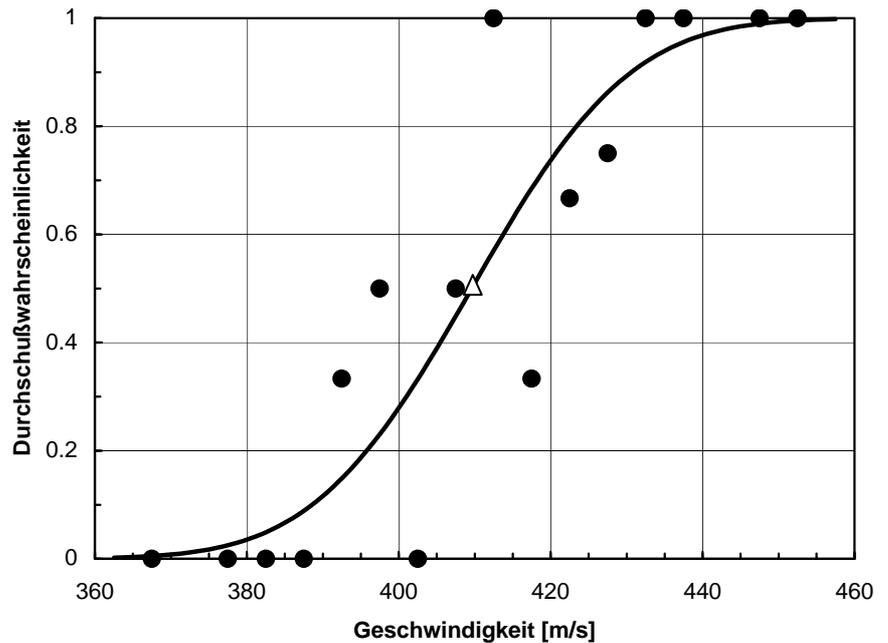


Abb. 6. Relative Durchschußhäufigkeiten gemäß den Resultaten von Abb. 5 (schwarze Punkte) und die Kurve der zugehörigen Durchschußwahrscheinlichkeit. Das Dreieck bezeichnet die v_{50} .

Unterhalb von 390 m/s wurden alle Schüsse gestoppt, oberhalb von 430 m/s durchschlugen alle das Paneel. Werden die Geschwindigkeiten dazwischen in Abschnitte von beispielsweise 5 m/s eingeteilt (statistisch gesehen wird eine Klasseneinteilung vorgenommen), so kann das Geschoss in jedem Abschnitt (Klasse) sowohl gestoppt werden, als auch einen Durchschuss erzeugen.

In jeder Klasse lässt sich nun die relative Durchschußhäufigkeit berechnen und aufzeichnen. Dabei ergibt sich die in der Abb. 6 dargestellte Situation. Man kann nun zeigen, dass sich bei sehr viel mehr Schüssen diese Durchschußhäufigkeit nach und nach einer theoretischen Kurve nähert, die durch die so genannte Gauss'sche Normalverteilung vorgegeben ist (ausgezogene Linie in Abb. 6). Diese Kurve stellt die Durchschußwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Auftreffgeschwindigkeit des betreffenden Paneels dar.

Da Durchschießen und Stoppen sich gegenseitig ausschließen, kann aus der Durchschußwahrscheinlichkeit durch Ergänzung auf 1 (bzw. 100 %) die Stopp- oder Schutzwahrscheinlichkeit bestimmt werden. (Bei einer Durchschußwahrscheinlichkeit von 0.15 bzw. 15 % ist die Schutzwahrscheinlichkeit entsprechend 0.85 bzw. 85 %). Die Kurve der Schutzwahrscheinlichkeit des betrachteten Schutzwestenpaneels ist in Abb. 7 dargestellt.

Jeder ballistische Schutz – sei es ein durchschusshemmendes Glas, eine Schutzweste oder ein Stahlblech – besitzt eine entsprechende Schutzwahrscheinlichkeit. Je nach Art und Beschaffenheit des Materials verläuft die Kurve steiler oder flacher. Homogene und genau definierte Materialien (z. B. Stahl) weisen in der Regel steilere, stark strukturierte Materialien wie Gewebe eher flachere Verläufe auf.

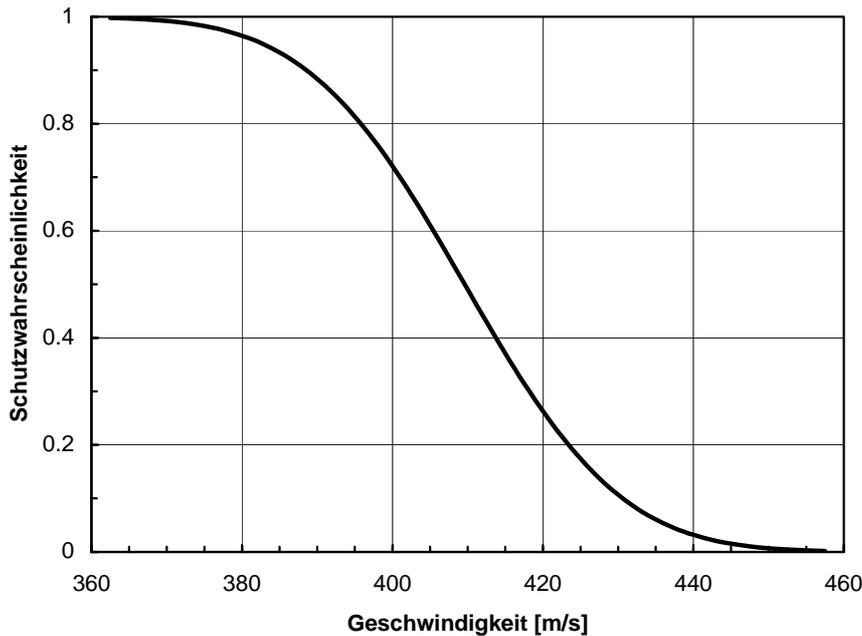


Abb. 7. Die zu Abb. 5 und 6 gehörende Kurve der Schutzwahrscheinlichkeit.

Da die Kurven der Durchschuss- und der Schutzwahrscheinlichkeit einer Normalverteilung folgen, lassen sich ohne weiteres einige wichtige und interessante Daten berechnen und angeben. So ist die mittlere Durchschussgeschwindigkeit (die so genannte v_{50}) ein wichtige Zahl bei der Beurteilung einer Schutzvorrichtung. Es ist diejenige Auftreffgeschwindigkeit, bei der noch mit 50 % Durchschüssen gerechnet werden muss. Entsprechend können aber auch v_1 oder $v_{0.1}$ (Geschwindigkeiten, bei der 1 % bzw. 0.1% Durchschüsse zu erwarten sind) angegeben werden. $v_{0.1}$ bedeutet eine Schutzwahrscheinlichkeit von 99.9%, d. h. bei dieser Geschwindigkeit ist im Mittel auf 1000 Schuss mit einem Durchschuss zu rechnen.

4.4.2 Schutzwahrscheinlichkeit und Angriffspotenzial

In Abschnitt 4.3 wurde vom Angriffspotenzial gesprochen und am Beispiel des Kalibers 9 mm Luger gezeigt, dass bei Zusammenfassung aller Waffen- und Munitionsauslegungen in diesem Kaliber die Verteilung der Mündungsgeschwindigkeiten (und damit auch der Mündungsenergie und der Energiedichte) angenähert eine Normalverteilung darstellt. Daraus lässt sich eine Summenkurve konstruieren (siehe Abb. 8), aus der für eine bestimmte Geschwindigkeit abgelesen werden kann, mit welcher Wahrscheinlichkeit man mit einer höheren Energie noch bedroht werden kann (bei Verwendung eines 8 g Geschoss Vollmantelgeschosses). So werden beispielsweise mit einer Geschwindigkeit von 405 m/s (weißer Kreis in Abb. 8) rund 95 % aller vorkommenden Geschwindigkeiten der 9 mm Luger erfasst. Dies bedeutet, dass etwa 5 % der vorkommenden Waffen-Munitionskombinationen in diesem Kaliber eine höhere Geschwindigkeit erzielen.

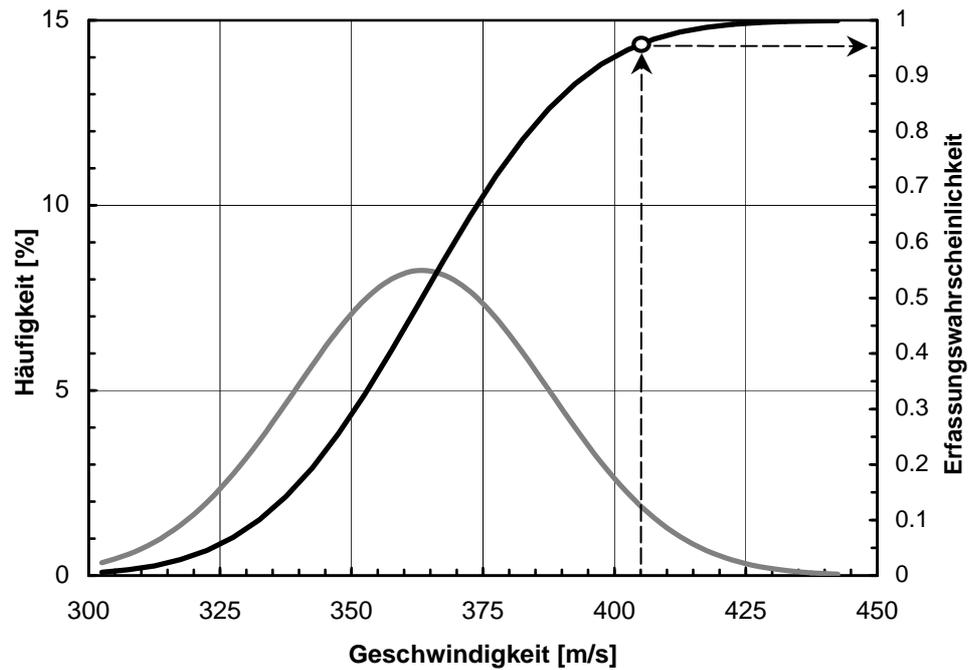


Abb. 8. Verteilung der Mündungsgeschwindigkeiten im Kaliber 9 mm Luger und die zugehörige Normalverteilungskurve.

Dies lässt sich nun mit der Schutzwahrscheinlichkeit in Verbindung bringen. Zu diesem Zweck zeigt Abb. 9 die Schutzwahrscheinlichkeit eines ballistischen Schutzes, dessen mittlere Durchschussgeschwindigkeit (v_{50}) 430 m/s und die Streuung (Standardabweichung) 15 m/s beträgt. Eine 95 %-ige Sicherheit wird dabei bei einer Angriffsgeschwindigkeit von 405 m/s erzielt. Diese (oder kleinere) Geschwindigkei-

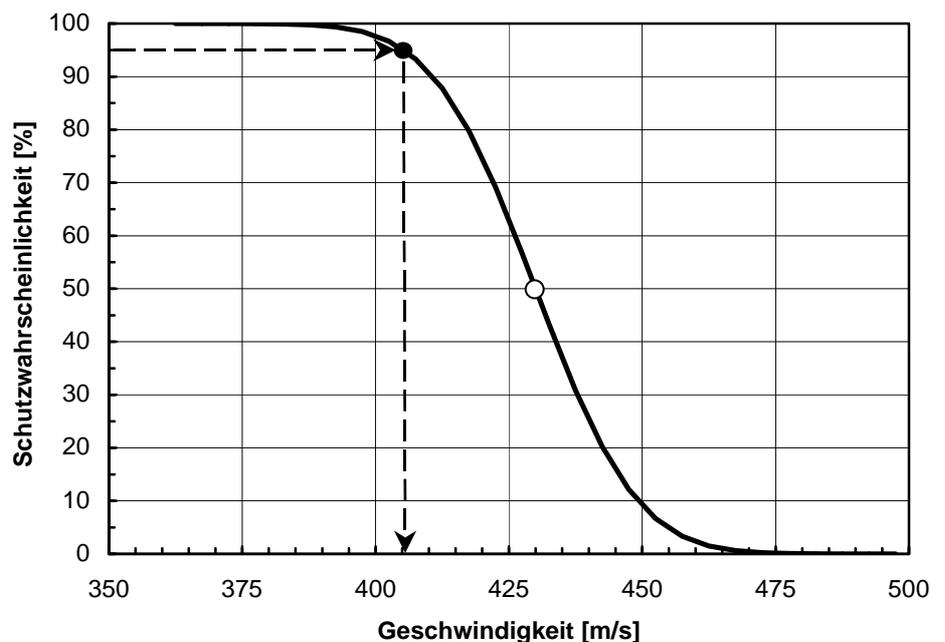


Abb. 9. Schutzwahrscheinlichkeit eines ballistischen Schutzes mit $v_{50} = 440$ m/s und einer Streuung (Standardabweichung) von 15 m/s.

ten erbringen jedoch gemäß Abb. 8 (gestrichelter Pfeil) höchstens 95 % der möglichen vorkommenden Waffen in diesem Kaliber. Gegen 5 % ist die erwartete Sicherheit nicht gewährleistet.

An dieser Stelle seien einige Bemerkungen zum Wahrscheinlichkeitsbegriff eingeschoben. Tritt bei einem Ereignis (z. B. Schuss auf eine Schutzplatte) ein bestimmtes Merkmal (z. B. das Durchschießen dieser Schutzplatte) nie ein, so ist die Wahrscheinlichkeit des Merkmales 0. Null bedeutet in diesem Fall wirklich nie. Würde beispielsweise jene Plattenkonstruktion bei einer Million Schüssen ein einziges Mal durchschossen, wäre die Durchschusswahrscheinlichkeit bereits nicht mehr 0 sondern etwa ein Millionstel oder 0.000001. Tritt hingegen ein Merkmal immer ein, so ist seine Wahrscheinlichkeit 1 (oder auch 100 %).

Sind zwei Ereignisse voneinander unabhängig, so lassen sich die Wahrscheinlichkeiten ihrer Merkmale miteinander multiplizieren. Bei zwei entgegengesetzten Merkmalen (z. B. durchschießen und nicht-durchschießen) ergänzen sich die Wahrscheinlichkeiten zu 1 bzw. zu 100 %. Hat beispielsweise ein ballistischer Schutz eine Durchschusswahrscheinlichkeit von 8 % so ist die entsprechende Schutzwahrscheinlichkeit (Nicht-Durchschusswahrscheinlichkeit) 92 %.

Mit diesen Regeln lässt sich nun für eine gegebene Angriffsgeschwindigkeit die allgemeine Durchschusswahrscheinlichkeit eines ballistischen Schutzes unter Berücksichtigung des Angriffspotenzials bestimmen. Sie ergibt sich nämlich aus dem Produkt der Durchschusswahrscheinlichkeit des Schutzes und der Wahrscheinlichkeit, dass der Angriff mit einer höheren Geschwindigkeit als die betrachtete ausgeführt wird. Ergänzt man die so erhaltene Durchschusswahrscheinlichkeit zu 1 (bzw. zu 100 %), so ergibt sich die dem ballistischen Schutz entsprechende effektive Schutzwahrscheinlichkeit, die die ballistischen Möglichkeiten des zu Grunde gelegten Angriffskalibers berücksichtigt.

In der Abb. 10 sind die Schutzwahrscheinlichkeiten von zwei ballistischen Schutzkonstruktionen dargestellt, die bezüglich des Kalibers 9 mm Luger (VMR) eine mittlere Durchschussgeschwindigkeit (v_{50}) von 400 m/s bzw. 430 m/s bei einer Streuung von 15 m/s aufweisen. Daraus lassen sich zwei Dinge ersehen:

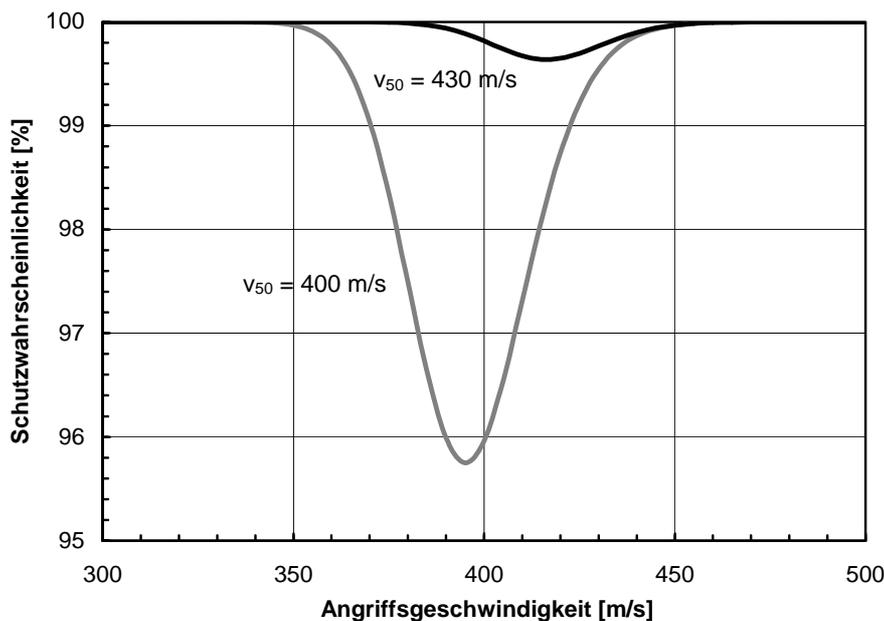


Abb. 10. Schutzwahrscheinlichkeit von ballistischem Schutz mit einer v_{50} von 400 m/s bzw. 430 m/s. Bei beiden beträgt die Standardabweichung 15 m/s.

- Die Schutzwahrscheinlichkeit hat ein Minimum bei einer Angriffsgeschwindigkeit, die etwas unterhalb der v_{50} liegt.
- Die Schutzwahrscheinlichkeit steigt mit zunehmender v_{50} rasch an.

In dem dargestellten Beispiel beträgt die Schutzwahrscheinlichkeit bei einer v_{50} von 400 m/s rund 95.7 %, bei 430 m/s bereits rund 99.6 %. Dies bedeutet, dass bei 1000 Schuss gegen diese Schutzkonstruktion im ersten Fall im Mittel mit 43, im zweiten Fall mit 4 Durchschüssen zu rechnen ist. Auch wenn im zweiten Fall der Schutz wesentlich besser ist als im Ersten, stellt sich sofort die Frage, ob man sich einem solchen Schutz wirklich anvertrauen könnte.

Damit sind wir bei dem für Schutzfragen äußerst wichtigen Problem angelangt, welche Schutzwahrscheinlichkeit überhaupt vorausgesetzt werden soll. Geht es um den Schutz von Menschen, sind Risikofaktoren von 1 zu 100'000 ($= 10^{-5}$) bis 1 zu 1'000'000 ($= 10^{-6}$) üblich, was bedeutet, dass auf 100'000 bzw. 1'000'000 Ereignisse ein fatales Ereignis (d. h. ein Durchschuss des Schutzes) in Kauf genommen wird.

Da die Verteilung des Angriffspotenzials und – bei gegebener mittlerer Durchschusswahrscheinlichkeit und Streuung eines ballistischen Schutzes – die Schutzwahrscheinlichkeit bekannt sind, lässt sich für die obigen Risikofaktoren der Zusammenhang zwischen mittlerer Durchschussgeschwindigkeit und zulässiger Angriffsgeschwindigkeit berechnen. Die Ergebnisse einer solchen Rechnung sind in der Abb. 11 dargestellt. Aus dieser Grafik lassen sich Zusammenhänge ablesen, wie sie in den folgenden Beispielen illustriert sind:

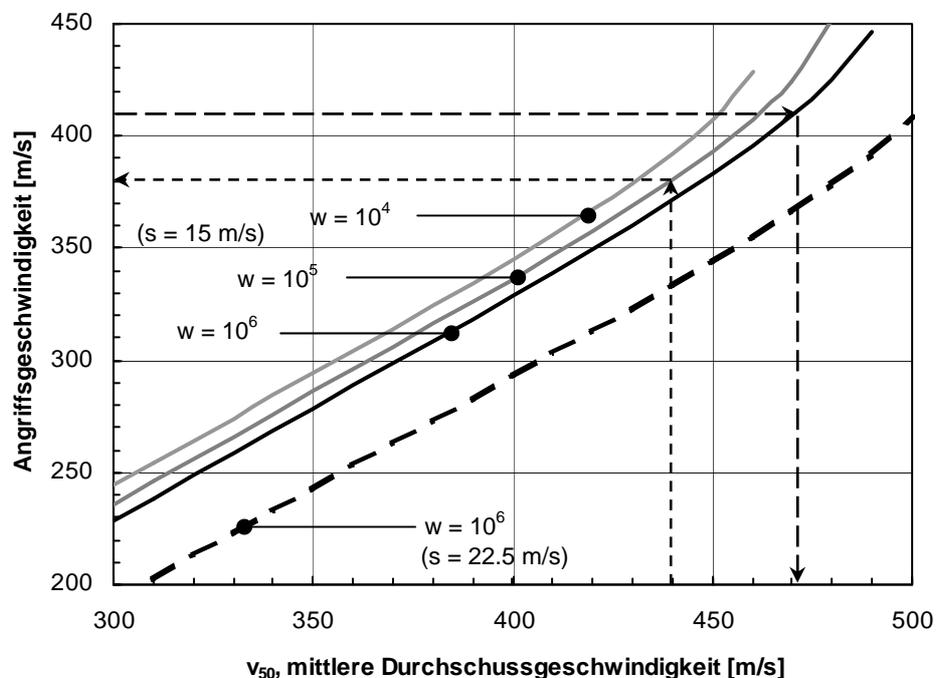


Abb. 11. Beziehung zwischen mittlerer Durchschussgeschwindigkeit und Angriffsgeschwindigkeit für verschiedene Schutzwahrscheinlichkeiten w . (s bedeutet die Standardabweichung des ballistischen Schutzes.)

- *Beispiel 1:* Es liege ein ballistischer Schutz vor, dessen v_{50} 440 m/s und die Streuung 15 m/s betrage). Aus Abb. 11 (gepunktete Linie) lässt sich herauslesen, dass dieser Schutz bis zu einer Angriffsgeschwindigkeit von 380 m/s eine Schutzwahrscheinlichkeit w von 10^5 (100'000 zu 1) oder mehr bietet. Für höhere Geschwindigkeiten sinkt der Schutzgrad recht schnell ab (pro 10 m/s ungefähr um das 10-fache).
- *Beispiel 2:* Man möchte einen ballistischen Schutz, der bei einer Angriffsgeschwindigkeit von 410 m/s eine Schutzwahrscheinlichkeit von 10^6 (1'000'000 zu 1) bietet. Nach Abb. 11 (gestrichelte Linie) ist für einen derartigen Schutz eine mittlere Durchschussgeschwindigkeit von rund 470 m/s (bei einer Streuung von 15 m/s) erforderlich.

Es bedarf noch einer Begründung, weshalb bei allen Beispielen großen Wert auf die Standardabweichung (Streuung) des ballistischen Schutzes bezüglich der Durchschussgeschwindigkeit gelegt wurde. In der Tat spielt diese Streuung bei der Schutzwahrscheinlichkeit eine entscheidende Rolle. Nimmt sie beispielsweise um 50 % auf 22.5 m/s zu, so wirkt der ballistische Schutz im Beispiel 1 bei gleich bleibender Schutzwahrscheinlichkeit nur noch bis rund 340 m/s. Im Beispiel 2 müsste zum Erreichen des gleichen Schutzfaktors die mittlere Durchschussgeschwindigkeit auf ca. 500 m/s erhöht werden.

Der Einfluss der Streuung (Standardabweichung) der Durchschussgeschwindigkeit lässt sich am besten anhand eines realen Beispiels darstellen. In der Abb. 12 sind die Schutzwahrscheinlichkeiten eines ballistischen Schutzes mit einer mittleren Durchschussgeschwindigkeit (v_{50}) von 480 m/s für die beiden Streuungen 15 m/s und 22.5 m/s dargestellt. Die massive Verschlechterung, die sich bei Vergrößerung der Streuung ergibt, ist deutlich ersichtlich.

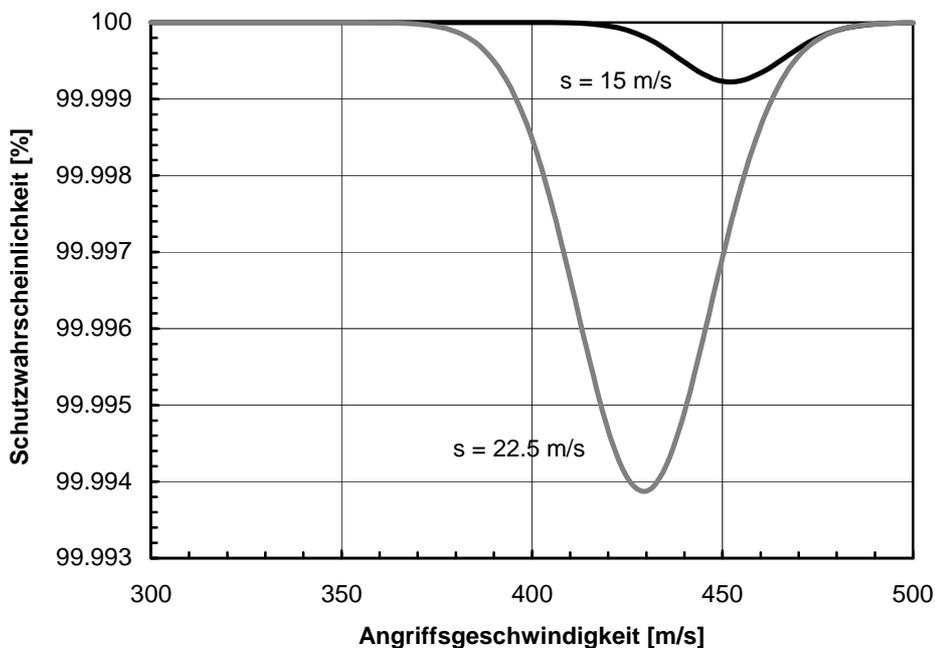


Abb. 12. Einfluss der Streuung (Standardabweichung) der Durchschussgeschwindigkeit auf die Schutzwahrscheinlichkeit. Die mittlere Durchschussgeschwindigkeit (v_{50}) beträgt 480 m/s.

Zusammenfassend lässt sich Folgendes festhalten:

- Die mittlere Durchschussgeschwindigkeit eines ballistischen Schutzes muss deutlich über der zu erwartenden Angriffsgeschwindigkeit liegen, wenn eine hohe Schutzwahrscheinlichkeit erreicht werden soll.
- Die Streuung der Durchschussgeschwindigkeit ist ein Qualitätsmerkmal des Schutzes. Sie sollte so klein wie möglich sein.
- Analoge Untersuchungen und Überlegungen lassen sich selbstverständlich für alle Kaliber durchführen.

5 Prüfung von ballistischem Schutz

5.1 Allgemeines

Auf den ersten Blick scheint es nichts leichteres, als eine Schutzeinrichtung praktisch zu prüfen: Man stellt sie auf, schießt darauf und schaut nach, ob das Geschoss den Schutz durchdrungen hat oder nicht. Doch so einfach geht es nicht, und ohne gewisse Vorschriften kann keine korrekte Prüfung durchgeführt werden. Eine Prüfung gibt nämlich nur dann einen Sinn, wenn bei gleichem Prüfobjekt jede Wiederholung das gleiche Resultat liefert und wenn jedes Prüfinstitut zum gleichen Schluss kommt.

Wird beispielsweise ein durchschusshemmendes Glas einmal hart und einmal weich im Rahmen eingespannt, so kann es das eine Mal das Geschoss stoppen, das andere Mal hingegen durchschossen werden.

Beschussprüfungen finden daher stets unter idealisierten Bedingungen statt. Geschosstyp und Geschwindigkeit sind genau bekannt, das Prüfobjekt ist auf einem definierten Zielaufbau aufgebaut, gewisse Umgebungsbedingungen wie Temperatur und Feuchtigkeit müssen gemäß den Vorgaben einer Norm oder Richtlinie eingehalten werden. Solche Festlegungen sind unbedingt nötig, damit eine der wichtigsten Forderungen an eine Prüfung – die Wiederholbarkeit – erfüllt ist.

Prüfungen sind deshalb nicht in erster Linie dazu da, die „Wirklichkeit“ nachzubilden, sondern verschiedene Produkte unter gleichen Bedingungen und gegenüber einem vorgegebenen Standard zu vergleichen. Dass dieser Standard sich an der „Wirklichkeit“ (d. h. am effektiven Angriffspotenzial) orientieren muss, ist selbstverständlich und im Kapitel 4 dargelegt worden. Eine direkte Umsetzung der Prüfergebnisse auf die „Wirklichkeit“ ist allerdings nur bedingt möglich.

Im Hinblick auf die reale Anwendung der Prüfobjekte ist es hingegen wichtig, die so genannte Empfindlichkeit der Prüfbedingungen genau zu kennen. *Eine Prüfbedingung heißt empfindlich (oder sensitiv), wenn sie durch eine geringfügigen Änderung bereits ein wesentlich anderes Prüfergebnis erzeugt.*

Würde beispielsweise ein Kunststoffglas bei einer Temperatur von 15 °C durchschusssicher sein, bei 12 °C unter sonst gleichen Bedingungen bereits einen Durchschuss ergeben, so wäre in diesem Falle die Temperatur eine sensitive Prüfbedingung.

Geringfügige Änderungen der Prüfbedingungen sollten stets nur geringfügige Änderungen im Testergebnis erwarten lassen. Die Reproduzierbarkeit von Prüfungen könnte sonst sehr schwierig werden.

5.2 Regelwerke

5.2.1 Definition, Arten von Regelwerken

Unter dem Begriff „Regelwerk“ werden Vorschriften zusammengefasst, die die Durchführung von Prüfungen und die Beurteilung von Prüfergebnissen festlegen. Regelwerke lassen sich grundsätzlich in zwei Gruppen einteilen:

- *Normen* sind gesetzlich verankert und staatlich anerkannt. Sie werden von den staatlichen oder staatlich anerkannten Normeninstituten erlassen. Ihre Anwendung ist oft verbindlich.
- *Richtlinien* sind nicht gesetzlich verankert. Es sind Prüfanweisungen, die von öffentlichen oder privaten Institutionen aufgestellt werden, um eine einheitliche Prüfung bestimmter Objekte zu erreichen.

Typische Beispiele von Normen sind die Regelwerke des Deutschen Instituts für Normung (DIN), des Österreichischen Normungsinstitut (Önorm) oder der Schweizerischen Normenvereinigung (SNV). Richtlinien tauchen meist als Vorgaben für die Beschaffung von Ausrüstungen (z.B. für Armee oder Polizei) auf. Als Beispiel lassen sich hier die STANAG–Richtlinien der NATO oder die Richtlinien der deutschen Polizeiführungsakademie (PFA) in Münster (Westfalen) anführen.

Ein Regelwerk kann nach zwei verschiedenen Grundprinzipien aufgestellt werden. Entweder orientiert es sich am Angriffspotenzial (*angrifforientiertes* Regelwerk) oder aber am möglichen Schutz (*schutzorientiertes* Regelwerk).

5.2.2 Angrifforientierte Regelwerke

In einem angrifforientierten Regelwerk wird üblicherweise ein bestimmtes Angriffspotenzial spezifiziert, basierend auf Überlegungen, wie sie im Kapitel 4 beschrieben worden sind (Häufigkeit des Vorkommens gewisser Waffen usw.). Die zu prüfenden Objekte werden dann mit der als Angriffspotenzial definierten Waffe und Munition geprüft. Die Bemessung der Konstruktion richtet sich nur nach dem betreffenden Kaliber (eingeschlossen die Geschossart), das auch die so genannte Schutzklasse festlegt.

An dieser Stelle sei daran erinnert, dass bei Gläsern (und glasartigen Stoffen wie z. B. Keramik) primär die Energie eines Geschosses für den Durchschuss verantwortlich ist, bei allen übrigen Stoffen hingegen die Energiedichte. Ein Blick auf Tabelle 5 zeigt, dass dadurch in speziellen Fällen bei einem angrifforientierten Regelwerk uneinheitliche Konstruktionen entstehen.

Geschosse mit ähnlicher Energie können große Unterschiede bezüglich der Energiedichte aufweisen (vgl. 44 Rem. Mag. und 5.56 mm NATO). Umgekehrt gibt es Geschosse mit praktisch gleicher Energiedichte, deren Energie weit auseinander liegen (vgl. 9 mm Luger mit der Flinte im Kaliber 12/70 oder auch 5.56 mm NATO und 7.62 mm NATO).

Ein kombiniertes Bauelement (z. B. eine durchschusshemmende Tür mit Glas), die gegen das Kaliber 9 mm Luger ausgelegt wird, benötigt rund um das Fenster einen Aufbau, der zugleich auch gegen Flinten schützen würde. Das Fenster hält jedoch dem Flintenlaufgeschoss nicht stand. Wird andererseits die Tür gegen das Flintenlaufgeschoss ausgelegt, so schützt das Glas auch gegen die 357 Magnum und 44 Rem. Mag., die Konstruktion um das Fenster hingegen nur gegen 9 mm Luger.

Objekte, die sowohl Gläser als auch andere Materialien enthalten und die nach einem angrifforientierten Regelwerk geprüft werden, sind stets in einem Teil überdimensioniert.

Dieses Problem kann mit dem Konzept der schutzorientierten Regelwerke vermieden werden.

Tabelle 5. Übliche Kaliber für Beschusstests.

Waffenart	Kaliber	Geschoss- masse [g]	Energie [J]	Energiedichte [J/mm ²]
Kurz Waffen	9 mm Luger	8.0	670	10.5
	357 Magnum	10.2	940	14.8
	44 Rem. Mag.	15.5	1500	15.2
Langwaffen Armeen	5.56 mm NATO	4.0	1750	72.8
	7.62 mm NATO	9.5	3270	71.8
	7.5 mm GP 11	11.3	3440	76.8
Langwaffen Jagd	7 mm Rem. Magnum	10.5	4840	125.7
	8 x 68S	12.7	5375	106.9
Flinten	12/70	31.4	2860	10.6

5.2.3 Schutzorientierte Regelwerke

Mit dieser Art Regelwerk wird in erster Linie Homogenität in der Schutzkonstruktion angestrebt. Die Bemessung erfolgt dabei im Grunde genommen für eine bestimmte Energie und für eine bestimmte Energiedichte, die in der Regel nicht beide mit dem gleichen Kaliber geprüft werden können. Die Klasseneinteilung richtet sich in diesem Falle nach dem Aufbau und dem Gewicht der Konstruktion. So können beispielsweise leichte, mittlere und schwere Konstruktionen unterschieden werden.

Schutzorientierte Regelwerke lassen sich daran erkennen, dass in den einzelnen Schutzklassen (die einer bestimmten Konstruktion entsprechen) mehrere Kaliber und Geschossarten aufgeführt sind. Typische Vertreter dieser Art sind die amerikanischen NIJ-Normen für die Prüfung von Geschossschutzwesten und die französischen Normen für durchschusshemmende Türen, Fenster und Fassaden.

Die meisten Regelwerke sind nach dem angrifforientierten Prinzip aufgebaut, da dieses wesentlich einfachere Prüfabläufe erlaubt. Wegen der (wichtigen!) Forderung, dass jede Schutzklasse die darunter liegenden mit einzuschließen hat, ergibt sich allerdings auch dabei gelegentlich die Notwendigkeit, in gewissen Schutzklassen mehr als ein Kaliber aufzuführen.

So führt beispielsweise die europäische Glasnorm die beiden Kaliber 5.56 × 45 und 7.62 × 51 (zu recht) in unterschiedlichen Klassen (B 5 bzw. B 6), da sich die beiden in der Energie deutlich unterscheiden (siehe Tabelle 5). In der Prüfnorm für Fensterrahmen hingegen muss die höhere Klasse (FB 6, die der Glasnorm Klasse B 6 entspricht) beide Kaliber enthalten, da das kleinere Kaliber (5.56 × 45) die größere Energiedichte aufweist (Tabelle 5) und somit für den Rahmen das stärkere Angriffspotenzial darstellt.

5.3 Prüfmethoden

5.3.1 Möglichkeiten von Prüfmethoden

Eine entscheidendes Problem bei der Festlegung von Normen und Richtlinien ist die Bestimmung der Prüfmethode, mit der der entsprechende ballistische Schutz geprüft werden soll. Auf Grund der früher bereits besprochenen Kurve der Durchschusswahrscheinlichkeit (siehe Abb. 13) stehen für die Prüfmethode grundsätzlich zwei Möglichkeiten offen:

- 1 Prüfen einer festgelegten, minimalen mittleren Durchschussgeschwindigkeit (der so genannten v_{50} , Punkt 1 in Abb. 13)
- 2 Prüfen bei einer festgelegten Angriffsgeschwindigkeit, bei der von einer bestimmten Anzahl Schüssen keiner den Schutz durchdringen darf (Punkt 2 in Abbildung 1).

Bei der ersten Prüfmethode wird eine Anzahl Schüsse mit unterschiedlicher Geschwindigkeit gegen den Schutz geschossen (in der Regel zwischen 10 und 20) von denen ungefähr die Hälfte den Schutz zu durchdringen hat, die restlichen hingegen gestoppt werden müssen. Der gesamte Geschwindigkeitsbereich aller Schüsse darf

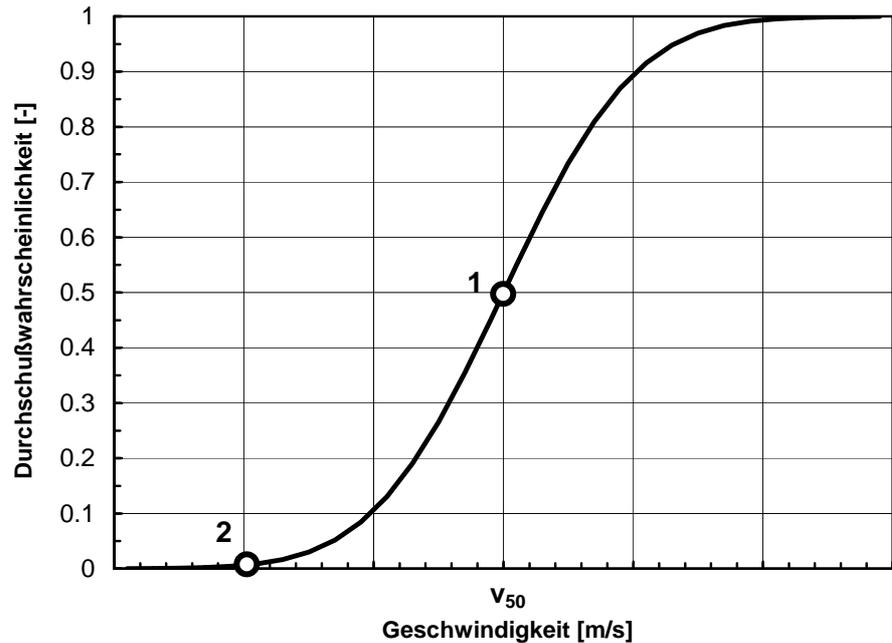


Abb. 13. Typischer Verlauf der Durchschußwahrscheinlichkeit eines ballistischen Schutzes. Mögliche Prüfgeschwindigkeiten sind: die mittlere Durchschußgeschwindigkeit (v_{50} , Punkt 1) und eine Geschwindigkeit, die eine genügend hohe Schutzsicherheit verspricht (Punkt 2).

ein bestimmten Maß nicht überschreiten. Aus der Anzahl und der Geschwindigkeit der Durchschüsse und der Anzahl und der Geschwindigkeit der gestoppten Schüsse lässt sich durch eine statistischen Auswertung die mittlere Durchschußgeschwindigkeit (v_{50}) und – mit verbesserten Methoden – auch die Standardabweichung (Streuung) der Durchschußgeschwindigkeit bestimmen. Eine derartige Prüfung gibt in ausgezeichneter Weise Auskunft über einen ballistischen Schutz, da sie nicht nur die Durchschußsicherheit, sondern auch die Fertigungsgüte (Fabrikationsstreuung) des Produktes offen legt.

Beim Anwender von Körperschutz ist diese Prüfungsart und die entsprechende Angabe der v_{50} oft nicht sehr beliebt, da eben von „Durchschuß“ und nicht von „Schutz“ gesprochen wird. Sie ist möglicherweise aus diesem Grund (noch) nicht sehr verbreitet. Mit Hilfe der erwähnten verbesserten Auswertemethode lässt sich allerdings nicht nur die v_{50} , sondern auch jene Geschwindigkeit bestimmen, die einer allgemein tolerierten Durchschußwahrscheinlichkeit entspricht (10^{-5} bis 10^{-6}).

Ein Regelwerk, das mit der mittleren Durchschußgeschwindigkeit v_{50} arbeitet, ist der NATO-Standard für die Prüfung von Splitterschutz (Westen und Helme).

Die zweite erwähnte Prüfmethode verläuft normalerweise so, dass eine bestimmte Anzahl Schüsse (üblich sind 5 bis 10) gegen den Schutz geschossen werden, wobei die Prüfgeschwindigkeit möglichst genau einzuhalten ist. Werden alle Schüsse gestoppt, hat der Schutz die Prüfung bestanden, ergibt sich ein Durchschuß, so ist der Schutz durchgefallen. Diese Methode kann in erster Linie dort angewendet wer-

den, wo die Streuung der Durchschussgeschwindigkeiten sehr klein ist. Dies bedeutet, dass zwischen den Geschwindigkeiten bei denen mit großer Wahrscheinlichkeit kein Durchschuss erzielt wird, und den Geschwindigkeiten, bei denen der Schutz fast immer durchschossen wird, nur ein kleiner Unterschied besteht. Bei solchen Materialien kommt es praktisch nie vor, dass bei einer bestimmten Geschwindigkeit sowohl Durchschüsse als auch Nicht-Durchschüsse auftreten.

Solche Eigenschaften besitzen vor allem physikalisch gut definierbare Werkstoffe, wie z. B. Stahl und Aluminium. Ein grenzgängiges Verhalten ist dabei sofort ersichtlich, sodass die Güte des Schutzes zumindest qualitativ beurteilt werden kann.

Geschossschutzwesten werden nach den geltenden Normen und Richtlinien – wohl nicht zuletzt wegen den erwähnten psychologischen Gründen – ebenfalls nach der zweiten Prüfmethode getestet. Dabei werden je nach Regelwerk 5 bis 6 Schüsse gegen das Schutzpaket geschossen. Allerdings ist es recht problematisch, aus dieser geringen Schusszahl auf eine (übliche) Schutzsicherheit von etwa 10^5 bis 10^6 zu schließen. Dieses Problem verschärft sich natürlich mit dem Trend, bei gleich bleibender Testprozedur den Tragkomfort zu erhöhen und entsprechend das Gewicht zu reduzieren. Es ist daher durchaus am Platz, bei Geschossschutzwesten von Zeit zu Zeit nach der ersten Methode eine Typenprüfung durchzuführen.

5.3.2 *Bestimmung der mittleren Durchschussgeschwindigkeit und Streuung*

Für die Bestimmung der mittleren Durchschussgeschwindigkeit (v_{50}) existiert ein genormtes Verfahren (nach STANAG 2920), das allerdings zwei markante Nachteile besitzt:

- Die Schätzung der v_{50} beruht auf einer Schätzung des Medians. Informationen über die Streuung der Durchschussgeschwindigkeit (und damit über die Qualität des getesteten Produktes) sind keine erhältlich.
- Bei diesem Verfahren muss die Spannweite der Geschwindigkeit der Prüfschüsse eingeschränkt werden. Bei der Auswertung können dadurch oft nicht alle Prüfschüsse berücksichtigt werden, wodurch auch Information verloren geht.

Mit einem verbesserten statistischen Verfahren können hingegen ohne wesentlichen Mehraufwand die mittlere Durchschussgeschwindigkeit ($v_{50} = v_m$) direkt und zugleich die Streuung (Standardabweichung) geschätzt werden.

Das Verfahren beruht auf der Tatsache, dass für eine gegebene Wahrscheinlichkeitsfunktion $p(v)$ die folgenden zwei Beziehungen gelten:

$$(5.1) \quad v_m = \int_{-\infty}^{\infty} v \cdot p(v) \cdot dv$$

$$(5.2) \quad \sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (v - v_m)^2 \cdot p(v) \cdot dv$$

Dabei stellt die Wahrscheinlichkeitsfunktion $p(v)$ die Ableitung der Durchschusswahrscheinlichkeitsfunktion (vgl. dazu Abb. 13) dar.

Prüfungen werden stets mit einer endlichen Anzahl von Ereignissen (Schüssen) durchgeführt. Die beiden Beziehungen (5.1) und (5.2) sind daher zu diskretisieren und die Wahrscheinlichkeitsfunktion $p(v)$ ist zu schätzen.

Dies geschieht durch Einteilen der Geschwindigkeit in Klassen, in denen die Wahrscheinlichkeitsfunktion durch die relative Häufigkeit f_k geschätzt werden kann. Wird die Klassenmitte mit v_k bezeichnet, so ergeben sich aus (5.1) und (5.2) die folgenden Beziehungen ($v_m = v_{50}$):

$$(5.3) \quad v_m = \sum v_k \cdot f_k$$

$$(5.4) \quad s^2 = \sum (v_k - v_m)^2 \cdot f_k$$

In den einzelnen Klassen resultieren aus den Versuchsergebnissen jedoch Durchschusshäufigkeiten, sodass zur Bestimmung von f_k (als Schätzung der Wahrscheinlichkeitsfunktion) noch eine Differenzbildung erforderlich wird. Bezeichnet man die relative Durchschusshäufigkeit in der k -ten Klasse mit F_k und die Klassenmitte mit v_k^* , so ergeben sich für f_k und v_k die folgenden Beziehungen:

$$(5.5) \quad f_k = \Delta F_k = F_{k+1} - F_k$$

$$(5.6) \quad v_k = \frac{1}{2} \cdot (v_{k+1}^* + v_k^*)$$

Der Bereich der Geschwindigkeitsklassen kann in drei Abschnitte eingeteilt werden:

Abschnitt 1: nur gestoppte Schüsse ($F_k = 0$),

Abschnitt 2: sowohl Durchschüsse als auch gestoppte Schüsse ($0 \leq F_k \leq 1$),

Abschnitt 3: nur Durchschüsse ($F_k = 1$).

Für eine korrekte Auswertung müssen folgende Bedingungen eingehalten werden:

- Die minimale Anzahl Schüsse sollte 16 betragen (besser 20 bis 30)
- Keiner der drei Abschnitte darf leer sein.

Dies bedeutet, dass der Schuss mit der kleinsten Geschwindigkeit kein Durchschuss sein darf und der Schuss mit der höchsten Geschwindigkeit ein Durchschuss sein muss. Ist der mittlere Abschnitt leer, so ist keine Bestimmung der Streuung möglich.

- Zwischen zwei benachbarten Abschnitten darf nicht mehr als eine leere Geschwindigkeitsklasse sein.

- In den Regionen 1 und 3 müssen innerhalb der vier an Region 2 anschließenden Klassen mindestens drei nicht-leer sein.

Eine Anleitung zur praktischen Auswertung mit Beispiel ist im Anhang A.1 beigefügt.

5.3.3 Bestimmung von Durchschusswahrscheinlichkeiten

Ist einmal die mittlere Durchschussgeschwindigkeit (v_{50}) und die zugehörige Standardabweichung bestimmt, so können zu einer gegebenen Durchschusswahrscheinlichkeit p die zugehörige Schwellen- bzw. Prüfgeschwindigkeit v_p durch:

$$(5.7) \quad v_p = v_{50} + \alpha_p \cdot s$$

bestimmt werden. Werte für die Zahl α_p sind in Abhängigkeit der Durchschusswahrscheinlichkeit in der Tabelle 6 zusammengestellt. Sie entstammen der standardisierten Normalverteilung.

Tabelle 6. Zahlen zur Bestimmung von Durchschusswahrscheinlichkeiten.

p [%]	0.0001	0.001	0.01	0.1	1	2	5	10
α_p	-4.753	-4.265	-3.719	-3.090	-2.326	-2.054	-1.645	-1.282

Umgekehrt lässt sich bei Kenntnis von v_m und s zu einer gegebenen Geschwindigkeit v_p die zugehörige Durchschusswahrscheinlichkeit p_v ermitteln. Dazu wird Gleichung (5.7) nach α_p aufgelöst:

$$(5.8) \quad \alpha_p = \frac{v_p - v_{50}}{s}$$

Mit Hilfe einer entsprechenden Tabelle (siehe Anhang A.2) lässt sich aus α_p die gesuchte Wahrscheinlichkeit p_v bestimmen.

Rechnerisch ergibt sich p_v aus der folgenden Gleichung:

$$(5.9) \quad p_v = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\alpha_p} e^{-\frac{x^2}{2}} \cdot dx$$

5.3.4 Bestimmung von v_{50} und s bei gegebener Prüfgeschwindigkeit

Aus den Erläuterungen zum Angriffspotenzial ging hervor, dass in der Praxis für ein gewisses Angriffspotenzial eine Prüfgeschwindigkeit vorzugeben ist, bei der eine gewünschte Durchschusswahrscheinlichkeit nicht überschritten wird.

Zwischen der Prüfgeschwindigkeit, der v_{50} und der Standardabweichung s besteht jedoch nach (5.7) ein linearer Zusammenhang, aus dem bei gegebener, maximaler Durchschusswahrscheinlichkeit und gegebener Prüfgeschwindigkeit Paare von v_{50} und s bestimmt werden können. Aus (5.7) und Tabelle 6 ergibt sich:

$$(5.10a) \quad s = (v_{50} - v_p) \cdot 0.234 \quad \text{bei } p_v = 10^{-5} \text{ (also 1 zu 100'000)}$$

$$(5.10b) \quad s = (v_{50} - v_p) \cdot 0.210 \quad \text{bei } p_v = 10^{-6} \text{ (also 1 zu 1'000'000)}$$

Praktische Beispiele für die Wahl von v_{50} und s können dem Anhang A.3 entnommen werden.

5.3.5 Zuverlässigkeit der Prüfung auf Nicht-Durchschuss

Die (nach Abschn. 5.3.1) zweite Prüfmethode basiert auf einer gewissen Anzahl Schüssen pro Prüfobjekt. Durchschlägt ein Schuss, wird das Prüfobjekt zurückgewiesen, durchschlägt kein Schuss, wird es angenommen. Eine solche „gut-schlecht“-Prüfung besitzt stets zwei Möglichkeiten, mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eine Fehlaussage zu machen:

- 1 Das Prüfobjekt wird angenommen, obwohl es in Wirklichkeit die Anforderungen nicht erfüllt,
- 2 Das Prüfobjekt wird zurückgewiesen, obwohl es in Wirklichkeit die Anforderungen erfüllt.

Es ist daher wichtig, sich über die Zuverlässigkeit eines solchen Prüfverfahrens im Klaren zu sein.

Zu Fall 1: Bei gegebener Schusszahl und gegebener (wahrer) Durchschusswahrscheinlichkeit ergibt sich die Wahrscheinlichkeit der Annahme des Prüfobjektes mittels einer Binominalverteilung:

$$(5.11) \quad w_A = \binom{n}{k} \cdot p^k \cdot (1 - p)^{n-k}$$

Darin bedeuten w_A die Annahmewahrscheinlichkeit, n die Anzahl Prüfschüsse, p die Durchschusswahrscheinlichkeit und k die Anzahl Durchschüsse, wobei wegen der Voraussetzung der Annahme des Prüfobjektes stets $k = 0$ einzusetzen ist.

Für kleine Anzahlen von Prüfschüssen ist der Verlauf der Annahmewahrscheinlichkeit in der Abb. 14 dargestellt.

Aus der Grafik lässt sich ablesen, dass ein Prüfobjekt mit einer Durchschusswahrscheinlichkeit von 1 % (1 Durchschuss pro 100 Schüsse) bei einer 10-Schuss-Abnahme-prozedur in 90 % der Fälle angenommen wird.

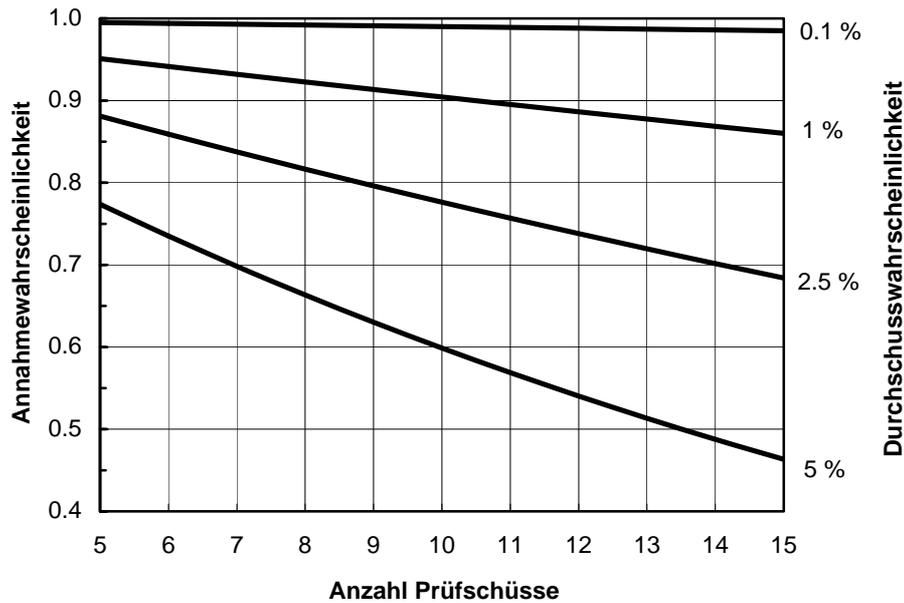


Abb. 14. Beziehung zwischen der Durchschusswahrscheinlichkeit eines Prüfobjektes und der Wahrscheinlichkeit dessen Annahme in Funktion der Anzahl der Prüfschüsse.

Eine Erhöhung der Schusszahl führt bei konstanter Durchschusswahrscheinlichkeit zu kleineren Annahmewahrscheinlichkeiten. Im Bereich praktikabler Prüfschusszahlen bleibt die Annahmewahrscheinlichkeit jedoch stets hoch und es resultiert kaum eine Information über den wirklichen Schutzgrad des geprüften Objektes.

Zu Fall 2: Bei der zweiten möglichen Fehlaussage lassen sich zwei Fälle unterscheiden. Beim einen wird von einer (z. B. in technischen Anforderungen) vorgegebenen Durchschusswahrscheinlichkeit p_v ausgegangen und die Frage gestellt, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Prüfobjekt zurückgewiesen wird, obwohl es die Vorgabe erfüllt. Diese Wahrscheinlichkeit ergibt sich aus der Beziehung:

$$(5.12) \quad w_R = 1 - [1 - p_v]^n$$

n bedeutet die Anzahl der Prüfschüsse pro Prüfobjekt.

Der zweite Fall tritt ein, wenn ein ballistischer Schutz (bei bekannter mittlerer Durchschussgeschwindigkeit und bekannter Standardabweichung) mit einer vorgegebenen Prüfgeschwindigkeit v_p auf Nicht-Durchschuss geprüft werden soll. Eine Fehlaussage (Rückweisung eines zu akzeptierenden Prüfobjektes) ist dabei mit folgender Wahrscheinlichkeit zu erwarten:

$$(5.13) \quad w_R = 1 - [1 - P(v_p)]^n$$

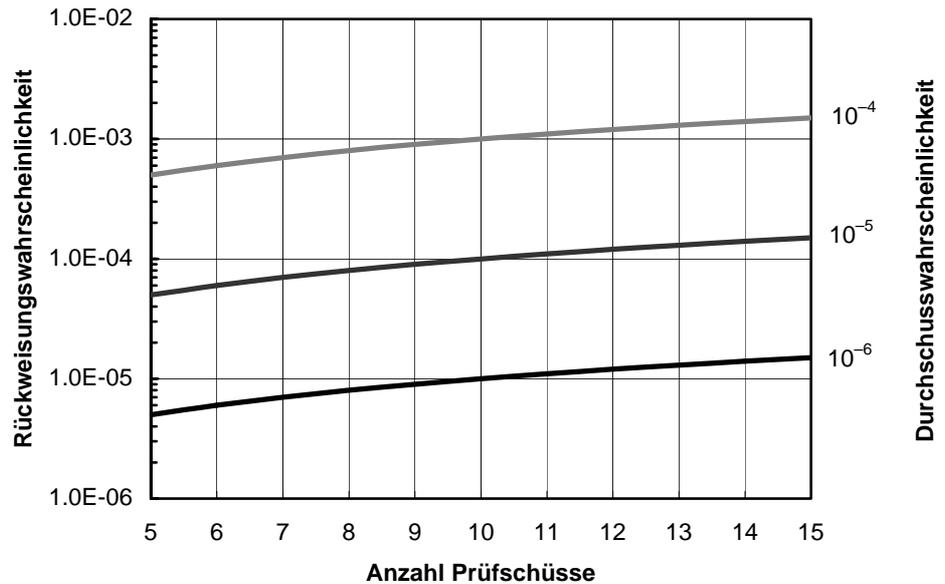


Abb. 15. Wahrscheinlichkeit der ungerechtfertigten Rückweisung eines Prüfobjektes bei vorgegebener Durchschusswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Anzahl der Prüfschüsse.

$P(v_p)$ stellt die Durchschusswahrscheinlichkeit bei der Geschwindigkeit v_p und n die Anzahl der Prüfschüsse pro Prüfobjekt dar. Sie kann aus der Tabelle A.2 im Anhang herausgelesen bzw. mit den Gleichungen (5.8) und (5.9) berechnet werden. Abb. 15 zeigt die entsprechende grafische Darstellung.

Dieser zweite Fall kommt beispielsweise dann vor, wenn die Evaluation eines ballistischen Schutzes auf Grund der Vorgabe von mittlerer Durchschussgeschwindigkeit v_m und Streuung s durchgeführt wird, die Abnahme der Produktion hingegen (z. B. aus Kostengründen) mit einer Prüfung auf Nicht-Durchschuss erfolgt.

5.3.6 Zur notwendigen Schusszahl bei Prüfung auf Nicht-Durchschuss

Jeder ballistische Schutz besitzt bei einer bestimmten Angriffsgeschwindigkeit (bzw. -energie) eine gewisse Durchschusswahrscheinlichkeit. Damit ein Schutz die an ihn gestellten Erwartungen erfüllt, darf diese Durchschusswahrscheinlichkeit einen vorgegebenen Wert P_a nicht überschreiten.

Im Zusammenhang mit dem Schutz von menschlichem Leben wird – sofern keine weiteren Randbedingungen zu berücksichtigen sind – üblicherweise mit Durchschusswahrscheinlichkeiten von 10^{-5} bis 10^{-6} (1 zu 100'000 bis 1 zu 1'000'000) gerechnet.

Von einem Prüfverfahren wird nun erwartet, dass es einen ballistischen Schutz, der die Forderung *nicht* erfüllt (d. h. dessen Durchschusswahrscheinlichkeit den Wert P_a übersteigt), mit einer gewissen, möglichst hohen Rückweisungswahrscheinlichkeit Q_R entdeckt. Bei einer Prüfung auf Nicht-Durchschuss bedeutet dies, dass minde-

stens einer der Prüfschüsse den Schutz zu durchdringen hat. Dabei stellt sich die Frage, wie viel Prüfschüsse erforderlich sind, damit die Rückweisungswahrscheinlichkeit Q_R eingehalten werden kann.

Wird die Durchschusswahrscheinlichkeit eines ballistischen Schutzes mit P bezeichnet und ist n die Anzahl der Prüfschüsse, so ergibt sich als Wahrscheinlichkeit w_{np} , dass kein Schuss durchdringt:

$$(5.14) \quad w_{np} = (1 - P)^n$$

Mindestens ein Durchschuss entsteht mit der Gegenwahrscheinlichkeit:

$$(5.15) \quad w_{m1} = 1 - (1 - P)^n$$

Somit gilt unter der Bedingung $P \geq P_a$ die folgende Ungleichung:

$$(5.16) \quad 1 - (1 - P)^n \geq Q_R$$

Auflösung nach n führt zu der folgenden Bedingung für die Anzahl Prüfschüsse:

$$(5.17) \quad n \geq \frac{\log(1 - Q_R)}{\log(1 - P)} \quad (P \geq P_a).$$

Die Beziehung (5.17) ist in der Abb. 16 grafisch dargestellt.

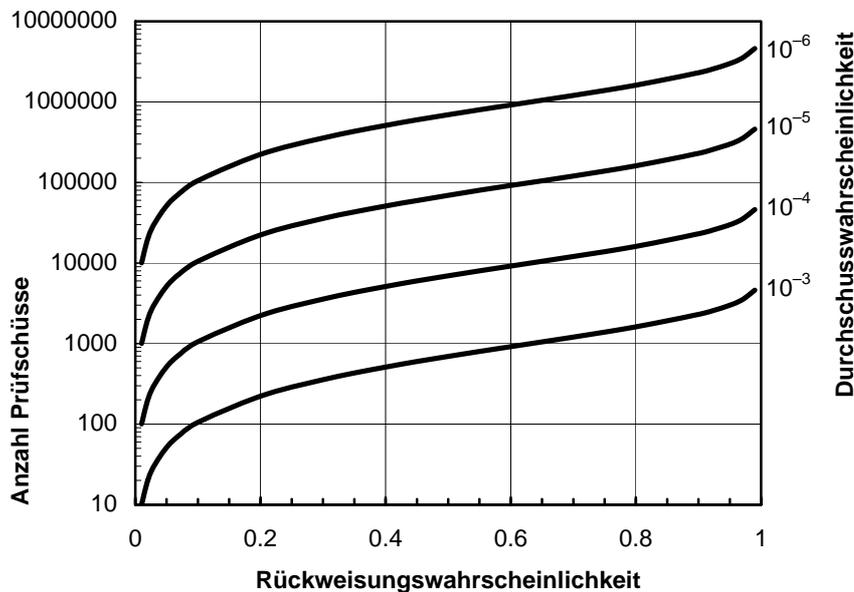


Abb. 16. Anzahl Prüfschüsse, die mindestens erforderlich sind, um einen ungenügenden ballistischen Schutz (mit zu hoher Durchschusswahrscheinlichkeit mit der vorgegebenen Rückweisungswahrscheinlichkeit zu entdecken).

Beispiel: Ein Prüfobjekt, das bei einer bestimmten Prüfgeschwindigkeit eine geforderte maximale Durchschusswahrscheinlichkeit von 10^{-5} (1 zu 100'000) gerade nicht erfüllt, soll mit einer Rückweisungswahrscheinlichkeit von 0.5 (50 %) entdeckt werden. Die Fragestellung lautet demnach: Wie viel Prüfschüsse mit der Prüfgeschwindigkeit sind erforderlich, damit mit einer 50%igen Wahrscheinlichkeit mindestens ein Durchschuss entsteht? Aus der Abb. 16 lässt sich als Resultat rund 70'000 Prüfschüsse ablesen.

Die Prüfung auf Nicht-Durchschuss erfordert stets eine außerordentlich große Anzahl von Prüfschüssen, wenn ein ungenügender ballistischer Schutz einigermaßen zuverlässig entdeckt werden soll. Es ist daher sehr zu empfehlen, zumindest periodisch die mittlere Durchschussgeschwindigkeit und ihre Streuung zu bestimmen. Daraus lässt sich die Durchschusswahrscheinlichkeit für ein gegebenes Angriffspotenzial ohne weiteres bestimmen und mit der geforderten, maximalen Durchschusswahrscheinlichkeit vergleichen.

5.4 Die wesentlichen Festlegungen in angrifforientierten Regelwerken

5.4.1 Das Prüfgeschoss

Die am weitesten verbreitete Geschossart ist noch immer das Vollmantel-Bleikern-Geschoss (Weichkerngeschoss). Deshalb findet diese Geschosskonstruktion auch an ehesten Eingang in die verschiedenen Bedrohungsklassen der Regelwerke. Da die Dicke und das Material des Mantels (es handelt sich zumeist um Tombak oder plättierten Stahl) die Durchschussfähigkeit des Geschosses beeinflusst, ist der Aufbau der Prüfgeschosse im Regelwerk genau zu definieren.

Mit dem Aufkommen von Vollgeschossen aus harten Metallen wie z. B. das KTW-Geschoss (Messing mit Teflonüberzug) oder das Alpha-Geschoss (Stahlgeschoss mit Kunststofftreibspiegel), verstärkten Mantelgeschossen (z. B. von Bofors) sowie Geschossen mit Stahlkernen (z. B. 7.62 mm Tokarev) bei Kurzwaffen drängt sich eine Erweiterung der Regelwerke für diese Geschossart auf.

Bei der Flintenmunition interessieren eigentlich nur die Flintenlaufgeschosse. Wegen ihrem großen Kaliber und der relativ geringen Energiedichte sind sie als Sonderfall zu betrachten, der allerdings oft überraschende Ergebnisse zeigen kann. Obwohl auch hier die verschiedensten Ausführungen mit sehr unterschiedlichen Durchschlageigenschaften existieren, sind in den Regelwerken in erster Linie die am weitesten verbreiteten Konstruktionen zu berücksichtigen, da diese in der Regel das wahrscheinlichste Angriffspotenzial bilden.

In den Armeen kommen neben den Weichkerngeschossen auch recht verbreitet Geschosse mit gehärteten Stahlkernen (oft auch als Hartkerngeschosse bezeichnet) zum Einsatz, die speziell gegen harte Ziele gedacht sind. Es ist durchaus sinnvoll, diese Geschossart in Regelwerken ebenfalls zu berücksichtigen, da diese das stärkste Angriffspotenzial im jeweiligen Kaliber darstellen.

5.4.2 Die Prüfgeschwindigkeit

Für jede der auf der Basis von Abschnitt 4.2 gewählten Bedrohungsklassen ist außer dem Geschoss auch die zugehörige Prüfgeschwindigkeit festzulegen. Wie diese Prüfgeschwindigkeiten aus der Bedrohungswahrscheinlichkeit abgeleitet werden können, wurde im Abschnitt 4.3 am Beispiel des Kalibers 9 mm Luger beschrieben. Die endgültige Festlegung kann jedoch erst erfolgen, wenn zudem noch die erwartete Schutzsicherheit des ballistischen Schutzes vorgegeben wird.

Diese Schutzsicherheit ist nicht eine ballistische, sondern eine einsatztaktische Frage. Schutz und Beweglichkeit sind gegeneinander abzuwägen. Übliche Werte für die Schutzsicherheit (Schutzwahrscheinlichkeit) unter diesem Gesichtspunkt liegen zwischen 10^4 (10'000 zu 1) und 10^6 (1'000'000 zu 1).

In Abschnitt 4.3 wurde ebenfalls gezeigt, dass im Kaliber 9 mm Luger die Mündungsgeschwindigkeiten über alle Munitionssorten (bei gleicher Geschossmasse!) und über alle Lauflängen betrachtet ungefähr normalverteilt sind. Dasselbe lässt sich auch für alle andern Prüfkaliber voraussetzen. Ist der Mittelwert und die Standardabweichung dieser Verteilung bekannt, so kann zu jeder Prüfgeschwindigkeit angegeben werden, wie viel Prozent aller vorkommenden Mündungsgeschwindigkeiten dadurch abgedeckt sind.

Für 9 mm Luger ergibt sich mit den Werten von Abschnitt 4.3 ($v_m = 363.4$ m/s, $s = 24.2$ m/s) bei $v(\text{Prüf}) = 410$ m/s eine Abdeckung von 97.3 %, bei $v(\text{Prüf}) = 420$ m/s eine solche von 99.0 %.

Ist die Prüfgeschwindigkeit und die gewünschte Schutzsicherheit festgelegt, so kann jeder entsprechende ballistische Schutz durch Bestimmung der mittleren Durchschussgeschwindigkeit (v_{50}) und der zugehörigen Streuung (Standardabweichung) zuverlässig geprüft werden (siehe Abschnitt 5.3.4). Eine Festlegung der v_{50} ist nur in Verbindung mit einer maximal zulässigen Standardabweichung sinnvoll.

Tabelle 7. Übliche Kaliber für Beschusstests und mögliche Prüfgeschwindigkeiten.

Waffenart	Kaliber	Geschossmasse [g]	Prüfgeschwindigkeit [m/s]	Energie [J]
Kurz Waffen	9 mm Luger	8.0	410	670
	357 Magnum	10.2	430	940
	44 Rem. Mag.	15.5	440	1500
Langwaffen Armeen	5.56 mm NATO	4.0	935	1750
	7.62 mm NATO	9.5	830	3270
Langwaffen Jagd	7 mm Rem. Mag.	10.5	960	4840
	8 x 68S	12.7	920	5375
Flinten	12/70	31.4	425	2860

Eine gewünschte Schutzsicherheit bei einer bestimmten Prüfgeschwindigkeit kann bei einer geringen Streuung mit einer kleineren v_{50} genauso erreicht werden wie mit einer höheren v_{50} bei einer größeren Streuung. Da aber die Streuung von der Fabrikationsstreuung des ballistischen Schutzes abhängig und daher wohl weniger beherrschbar ist als die v_{50} , ist wohl die Angabe einer minimalen v_{50} empfehlenswert.

Soll beispielsweise im Kaliber 9 mm Luger bei 410 m/s eine Schutzsicherheit von 10^5 (100'000 zu 1) erreicht werden, so sind bei den üblichen Fabrikationsstreuungen Werte der mittleren Durchschussgeschwindigkeit von 470 bis 490 m/s erforderlich.

Für eine Prüfung auf Nicht-Durchschuss lässt sich aus der gewünschten Schutzsicherheit auf die Anzahl Prüfschüsse schließen. Über die dabei auftretenden Probleme wurde in den Abschnitten 5.3.5 und 5.3.6 hingewiesen.

5.4.3 Zur Streuung der Prüfgeschwindigkeit

Aus praktischen Gründen lässt es sich nicht vermeiden, dass bei der Durchführung von Prüfungen auf Nicht-Durchschuss die auf die Prüfgeschwindigkeit eingestellte Munition selber auch in der Geschwindigkeit streut. Dies bedeutet, dass mit einer gewissen (von dieser Streuung abhängigen) Wahrscheinlichkeit einige Prüfschüsse mit zu geringer Geschwindigkeit, und – entsprechend – einige mit zu großer Geschwindigkeit auf den Prüfling auftreffen (siehe Abb. 17). Dadurch werden aber Fehlentscheidungen provoziert: Bei zu geringer Geschwindigkeit wird der Prüfling zu unrecht angenommen, bei zu großer Geschwindigkeit (im Falle eines Durchschusses) zu unrecht zurückgewiesen. Das Urteil über eine Prüfung ist demnach auch nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit richtig: Man spricht von der Aussagegewissheit.

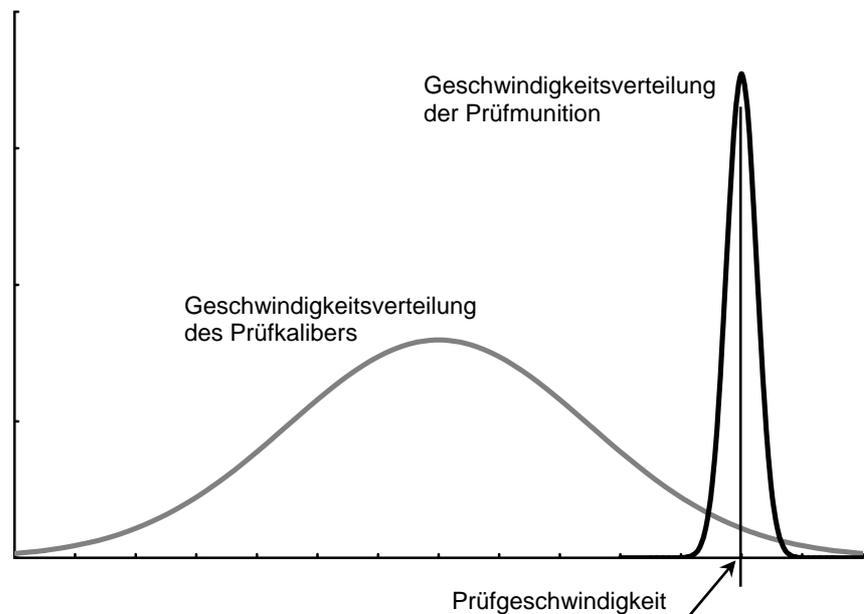


Abb. 17. Verteilung der Geschwindigkeit eines Prüfkalibers und Verteilung der zugehörigen Prüfgeschwindigkeit.

Tabelle 8. Mittelwert und Standardabweichung für Prüfmunition

Abdeckung Angriffspot.. [%]	Prüfgeschwindigkeit [m/s]	Standardabweichung bei Aussagegewissheit			
		50 % [m/s]	75 % [m/s]	90 % [m/s]	99 % [m/s]
75	379.7	2.5	1.5	1.0	0.7
80	383.8	2.9	1.7	1.2	0.8
85	388.5	3.5	2.0	1.4	0.9
90	394.4	4.7	2.7	1.9	1.2
95	403.2	6.4	3.7	2.6	1.7
99	419.7	12.4	7.3	5.1	3.3

Zwischen der Wahrscheinlichkeit der Abdeckung des Prüfkalibers (Angriffspotenzials), der Aussagegewissheit und der Streuung der Prüfmunition besteht nun ein mathematisch-statistischer Zusammenhang, der anhand des Beispiels der 9 mm Luger in der Tabelle 8 dargestellt ist.

Aus der Tabelle lassen sich zwei bemerkenswerte Fakten entnehmen. Zum Einen darf die Prüfmunition mit zunehmender Prüfgeschwindigkeit bei gleicher Aussagegewissheit mehr streuen. Dies folgt daraus, dass bei einer kleinen Prüfgeschwindigkeit (kleinere Abdeckung des Angriffspotenzials) die Angriffsgeschwindigkeiten allgemein häufiger auftreten als bei großen Prüfgeschwindigkeiten.

Zum andern kann man feststellen, dass für eine hohe Aussagegewissheit die Streuung der Prüfmunition sehr gering sein muss. Mit einer fabrikmäßigen Herstellung lassen sich derartige Werte kaum je erreichen. So dürfte beispielsweise die ganze v-Streuung bei einer Abdeckung des Angriffspotenzials von 80% und einer Aussagegewissheit von 90 % 6 m/s (± 3 m/s) nicht überschreiten, eine Forderung, die nicht leicht einzuhalten ist. Prüfmunition muss daher in jedem Fall sehr präzise (von Hand) geladen werden.

In Normen und Technischen Richtlinien wird in der Regel anstelle einer Streuung für die Prüfmunition eine bestimmte Toleranzgrenze festgelegt (die so genannte ganze Streuung), die sich allerdings an den obigen Überlegungen orientieren muss. Bei jedem Prüfschuss ist dann die Auftreffgeschwindigkeit zu messen, sodass für jeden Schuss entschieden werden kann, ob er gültig ist oder nicht.

5.4.4 *Entscheidungskriterien bei Nichteinhalten der Prüfgeschwindigkeit*

Trotz sorgfältiger Arbeit ist es dennoch möglich, dass ab und zu ein Schuss außerhalb der festgelegten Geschwindigkeitsgrenzen auftritt, die auch hier eng gehalten werden müssen. Wird jedoch die Geschwindigkeit jedes einzelnen Schusses gemessen, können die außerhalb der Toleranzgrenze liegenden Schüsse gemäß der

Entscheidungsmatrix nach Tabelle 9 behandelt werden. Diese ist natürlich nur dann relevant, wenn eine Prüfung auf Nicht-Durchschuss vorgenommen wird.

Tabelle 9. Entscheidungskriterien

Ergebnis	Geschwindigkeit zu klein	Geschwindigkeit zu groß
Durchschuss	nicht bestanden	Prüfschuss ungültig
kein Durchschuss	Prüfschuss ungültig	bestanden

Eine Prüfung ist somit nur dann ungültig, wenn mit einer zu großen Geschwindigkeit ein Durchschuss, oder wenn mit einer zu kleinen Geschwindigkeit kein Durchschuss erzielt worden ist. In den andern beiden Fällen (Durchschuss bei zu kleiner Geschwindigkeit oder kein Durchschuss bei zu großer Geschwindigkeit) kann der Prüfentscheid gefällt werden.

Die Entscheidungsmatrix gemäß Tabelle 9 lässt sich bei einer Prüfung ohne Geschwindigkeitsmessungen auch dann nicht anwenden, wenn nachgewiesen ist, dass die Prüfmunition die Forderungen gemäß Tabelle 8 erfüllt. Prüfverfahren mit Angabe einer Toleranzgrenze anstelle einer Streuung haben sich deshalb allgemein durchgesetzt.

5.5 Weitere Festlegungen

5.5.1 Allgemeines

Prüfungen haben nicht primär den Zweck, die „Wirklichkeit“ nachzubilden, sondern sie dienen in erster Linie dazu, Produkte an einem gewissen Standard zu messen und untereinander zu vergleichen. Der Standard darf natürlich nicht wirklichkeitsfremd sein; er muss sich – wie in früheren Abschnitten dieser Arbeit erläutert – am effektiven Angriffspotenzial orientieren.

Eine der wichtigsten Forderungen an derartigen Prüfungen ist die Reproduzierbarkeit. Die (auch mehrfache) Wiederholung einer Prüfung sollte also stets zum gleichen Ergebnis führen. Nur mit gleichem Geschoss und gleicher Auftreffenergie ist dies allerdings nicht zu erreichen. Auch das Beschussmuster muss nachvollzogen werden können, wobei gleichzeitig auch eine möglichst hohe Bedrohung zu prüfen ist.

5.5.2 Schussdistanz

Bisher wurde im Zusammenhang mit den Geschossgeschwindigkeiten stillschweigend vorausgesetzt, dass es sich dabei um Mündungsgeschwindigkeiten handelt. In der Tat beziehen sich die bisher erwähnten Angriffsgeschwindigkeiten im Kaliber

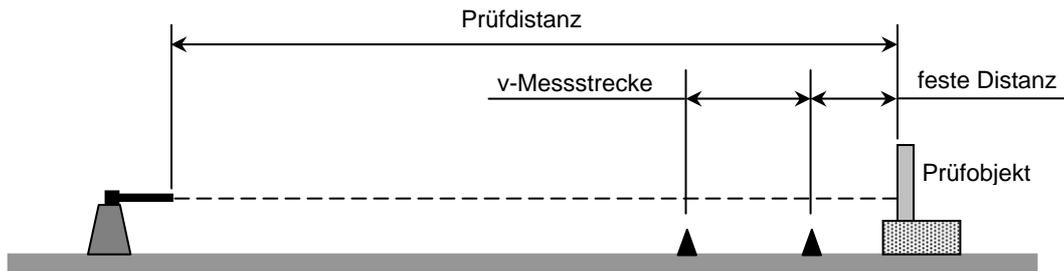


Abb. 18. Schematische Darstellung der Prüfanordnung für ballistischen Schutz. Durch Festlegung der Geschwindigkeit vor dem Prüfbjekt kann die Prüfdistanz auf Grund ballistischer Kriterien festgelegt werden.

9 mm Luger auf die Mündung. Geschwindigkeitsmessungen finden jedoch im Raum zwischen Mündung und Prüfbjekt statt, wodurch eine gewisse, minimale Schussdistanz erforderlich wird. Da aber ein ballistischer Schutz auch beim aufgesetzten Schuss wirksam sein muss, hat sich die Prüfgeschwindigkeit auf den Auftreffpunkt zu beziehen. Eine Geschwindigkeitsmessung in diesem Punkt ist allerdings nur mit großem Messaufwand möglich. In Prüfvorschriften wird daher in der Regel eine Geschwindigkeit festgelegt, die eine bestimmte Strecke vor dem Prüfbjekt (und nicht nach der Mündung!) eingehalten werden muss.

Die für eine Prüfung gewählte Schussentfernung scheint daher beliebig gewählt werden zu können (siehe Abbildung 18), wenn nur genügend Raum für die Geschwindigkeitsmessung vorgesehen wird. Dennoch werden in den Regelwerken Schussdistanzen festgelegt. Dabei geht es in erster Linie darum dem Geschoss eine gewisse „Beruhigungsstrecke“ zu gewähren, nachdem es an der Mündung durch die nachströmenden Gase gestört und in pendelnde Bewegungen versetzt worden ist.

Genau genommen müsste nicht eine Schussdistanz, sondern neben der Auftreffgeschwindigkeit auch ein maximaler Anstellwinkel des Geschosses im Auftreffpunkt festgelegt werden. Da jedoch dessen Messung recht aufwändig ist, begnügt man sich in der Regel mit der Festlegung einer minimalen Schussdistanz, die ein zumindest teilweises Abklingen der Geschosspendelung erlaubt und damit eine Verkleinerung des Anstellwinkels mit sich bringt.

Andererseits darf die Schussdistanz auch nicht so groß gewählt werden, dass die Treffgenauigkeit (an die bei Prüfbeschüssen besonders hohe Anforderungen gestellt werden) darunter leidet.

In älteren Normen und Richtlinien finden sich für Prüfungen mit Kurzwaffenmunition Schussdistanzen von 3 und 5 m, ab und zu auch 10 m. Bei sehr kurzen Entfernungen (5 m und kürzer) ist eine Geschwindigkeitsmessung problematisch, da unverbrannte Pulverteilchen über 1 m weit aus der Mündung geschleudert werden können und dabei das Geschoss überholen. Der Start der Zeitmessung kann dann durch das Pulverteilchen ausgelöst werden, der Stopp jedoch durch das Geschoss. Solche Fehlmessungen lassen sich kaum erkennen, da sich der gemessene Wert nur wenig vom erwarteten unterscheidet.

Für Prüfungen mit Langwaffenmunition waren Prüfdistanzen von 10 und 25 m üblich. Gelegentlich kam auch 100 m vor. Ein präzises Beschussmuster (im cm-Bereich) war bei diesen Distanzen nicht mehr möglich.

Neue Normen und Richtlinien schreiben allgemein eine Prüfdistanz von 5 und 10 m für Kurzwaffenmunition und 10 m für Langwaffenmunition vor. Die Treffpunkte können so genügend genau eingehalten werden, Geschwindigkeiten können zuverlässig gemessen werden (zumindest bei 10 m) und die Strecke zum Auspendeln reicht bei beiden Munitionsarten einigermaßen aus.

5.5.3 Schussrichtung

Bei Schutzmaterialien mit homogenem Aufbau (z. B. Stahlplatten) spielt die Durchdringungsrichtung keine Rolle. Dies bedeutet, dass es keine spezielle Angriffs- und keine Schutzseite gibt. Bei schrägem Beschuss hat das Geschoss eine längere Strecke zu durchschlagen als beim senkrechten Auftreffen (Abb. 19 a). Die Schussrichtung senkrecht zum Ziel stellt in diesen Fällen die härteste Prüfung dar.

Eine Verbesserung des Schutzes durch Schrägstellen tritt allerdings erst ein, wenn der Winkel größer ist als etwa 30° . Dies lässt sich damit begründen, dass das Geschoss den Schutz nicht geradlinig durchdringt, sondern (einem Lichtstrahl ähnlich) „gebrochen“ wird (siehe Abb. 19 a). Bei kleinen Neigungswinkeln bleibt daher die Durchdringungsstrecke praktisch gleich.

Werkstoffe, die aus mehreren geschichteten Lagen aufgebaut sind, besitzen oft eine definierte Angriffsseite (Abb. 19 b). Erfolgt der Angriff von dieser Seite, bieten sie Schutz, erfolgt er von der Gegenseite, werden sie durchschossen. Bei solchen Konstruktionen ist die Angriffsseite eindeutig zu bezeichnen.

Geschichtete Werkstoffe können zudem die Eigenschaft haben, dass ein senkrechter Schuss gestoppt wird, weil alle Schichten gleichzeitig auf ihn einwirken; ein

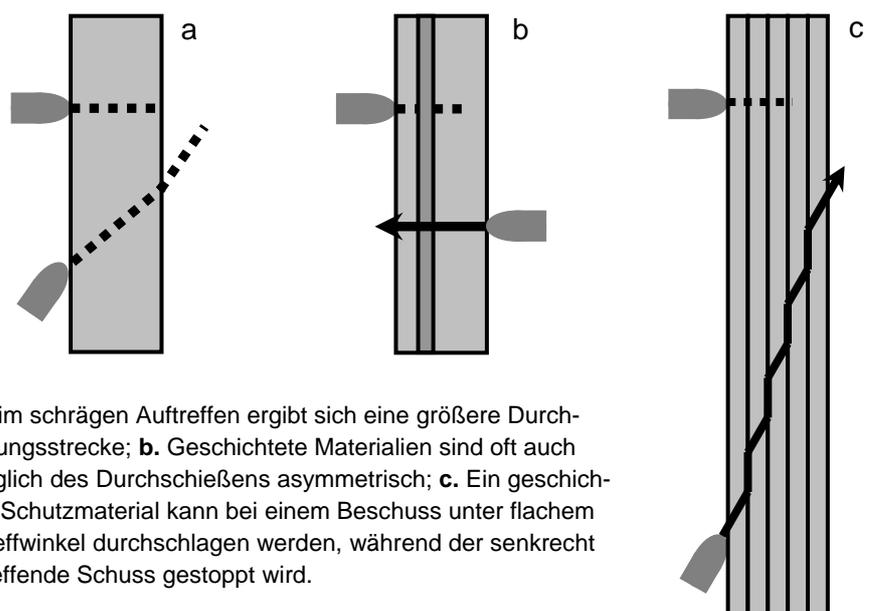


Abb. 19. a. Beim schrägen Auftreffen ergibt sich eine größere Durchdringungsstrecke; b. Geschichtete Materialien sind oft auch bezüglich des Durchschießens asymmetrisch; c. Ein geschichtetes Schutzmaterial kann bei einem Beschuss unter flachem Auftreffwinkel durchschlagen werden, während der senkrecht auftreffende Schuss gestoppt wird.

schräg auftreffender Schuss hingegen durchdringt unter Umständen die Schichten einzeln und erzeugt so einen Durchschuss (Abb. 19 c). Derartige Schutzkonstruktionen müssen selbstverständlich nicht nur senkrecht, sondern auch in geneigter Lage einer Prüfung unterzogen werden.

Eine Sonderstellung bezüglich der Prüfschussrichtung nehmen verbundene Konstruktionen (wie z. B. Fensterrahmen, Türen) ein. Hier lassen sich die zu prüfenden Schwachstellen und die entsprechende Schussrichtung oft erst am Objekt selber festlegen. Dies wird in der Regel dem Prüfexperten überlassen, der auf Grund seiner Erfahrung bestimmt, welche Punkte unter welchem Winkel beschossen werden sollen.

5.5.4 *Schusszahl und Beschussmuster*

Jeder ballistische Schutz lässt sich durchschießen, wenn die Schusszahl genügend groß ist und die Treffpunkte genügend nahe beieinander liegen. Reproduzierbare Prüfungen erfordern daher auch ein Festlegen der Schusszahl und des Beschussmusters. Dabei sind zwei verschiedene Gesichtspunkte zu beachten:

- Das Prüfobjekt wird mit mehreren Schüssen beschossen damit sich eine statistische Aussage über die Schutzsicherheit ergibt.
- Das Prüfobjekt muss auch dann noch einem Beschuss standhalten, wenn es bereits durch vorangegangene Schüsse geschädigt worden ist.

Im ersten Fall (Mehrfachbeschuss aus statistischen Gründen) ist bei der Wahl des Beschussmusters darauf zu achten, dass jeder Schuss unter genau gleichen Bedingungen auf das Prüfobjekt auftrifft wie der erste. Eine gegenseitige Beeinflussung der Treffpunkte (z. B. durch zu geringen Abstand voneinander oder durch Schädigen des gleichen Faserbündels) ist also zu vermeiden.

Auch im zweiten Fall werden mehrere Schüsse auf das Prüfobjekt abgegeben. Dies kann so aufgefasst werden, dass die ersten Schüsse zur Vorschädigung des Prüfobjektes dienen und erst der letzte Schuss den eigentlichen Prüfschuss darstellt. Eine reproduzierbare Prüfung wird auch hier nur möglich, wenn Schusszahl und Beschussmuster genau festgelegt worden sind. Allerdings gilt dabei ein ganzes Beschussmuster aus statistischer Sicht nur als ein einziger „Angriff“. Eine statistische Auswertung erfordert deshalb den Beschuss mehrerer Prüfobjekte, die alle nach demselben Beschussmuster zu prüfen sind.

Die Frage, welche Schutzmaterialien mit Vorschädigung und welche ohne Vorschädigung geprüft werden sollen, führt einmal mehr auf die bereits in Kapitel 3 angesprochene Einteilung der Schutzmaterialien in glasartige Stoffe (z. B. Keramik und Glas) und in übrige Stoffe. In den glasartigen Stoffen ergibt sich beim Beschuss ein erheblicher Schädigungsdurchmesser, sodass hier praktisch ausschließlich Prüfung mit Vorschädigung zur Anwendung kommt. In allen übrigen Materialien ist

der Schädigungsdurchmesser in der Regel so klein, dass ohne weiteres mehrere Schüsse auf ungestörtes Material abgegeben werden können. (Bei Stahl ist der Schädigungsdurchmesser oft nur 3 bis 5 Kaliber).

Einen Sonderfall bilden die gewobenen Schutzmaterialien, bei denen sich die durch einen Schuss verursachte Schädigung auf ein oder zwei Faserbündel auswirkt (Überdehnung). Hier lassen sich beide Prüfprozeduren vertreten. Im ersten Fall ist darauf zu achten, dass kein weiterer Schuss bereits gedehnte Fasern trifft, im zweiten Fall müssen die weiteren Schüsse auf bereits getroffene Fasern abgegeben werden.

Wegen des großen Schädigungsdurchmessers spielt bei den Gläsern auch die Probengröße eine wichtige Rolle. Bei kleinen Abmessungen können die Risse des ersten Schusses bereits bis zum Rand laufen, bei größeren Prüfobjekten bleibt der Rand oft intakt. Die folgenden Schüsse treffen daher je nach Größe des Prüfobjektes unterschiedliche Auftreffbedingungen an, was einer reproduzierbaren Prüfung widerspricht. Da die Rissbildung in den Gläsern auch mit Eigenspannungen im Material zusammenhängt, muss auch auf eine definierte Einspannung des Prüfkörpers an den Rändern geachtet werden.

Bei den Nicht-Gläsern ist die Größe des Prüfobjektes nicht von derart entscheidender Bedeutung. Sie wird hier in erster Linie durch die aus statistischer Sicht gewünschte Schusszahl bestimmt. Dies gilt insbesondere für verbundene Konstruktionen (z. B. Fenster und Fensterrahmen), bei denen die zu prüfenden Schwachstellen oftmals nur kleine Ausdehnung aufweisen.

5.5.5 *Vorbehandlung des Prüfobjektes*

Bei vielen Materialien (Kunststoffen!) hängt die Durchschussfestigkeit stark von Temperatur und Feuchtigkeit ab. Die zu prüfenden Objekte müssen deshalb vor dem Beschuss längere Zeit unter definierten Bedingungen gelagert werden.

Die üblichen Festlegungen für Normalbedingungen in den vorhandenen Normen liegen zwischen 15 °C und 20 °C mit Toleranzen vom 2–5 °C. Gewisse Materialien, die extremen Temperaturen ausgesetzt werden können (Schutzwesten im Auto!), werden zudem bei entsprechend hohen und tiefen Temperaturen geprüft. Die temperaturempfindlichsten Baustoffe sind Sicherheitsgläser und Kunststoffe. Beide sind bei kalten Temperaturen weniger durchschussfest.

Textile Schutzmaterialien sind zudem oft feuchtigkeitsempfindlich. Wird Wasser im Gewebe zurückgehalten, so kann der Schutz durchschossen werden, auch wenn er im trockenen Zustand schusssicher gewesen ist. Auf diese Eigenschaft muss besonders bei Schutzwesten geachtet werden, da diese im Einsatz durch Regen, Spritzwasser aber auch durch Schweiß sehr wohl Feuchtigkeit aufnehmen können. Solche Materialien werden entweder in wasserdichte Umhüllungen verschweißt oder müssen auch im nassen Zustand der Prüfung unterzogen werden.

6 Wirkungen hinter dem ballistischen Schutz

Schutzmaterialien und -vorrichtungen können Geschosse stoppen und dennoch auf der geschützten Seite verletzende Wirkung haben. Bei harten Materialien geschieht dies durch Abplatzen von Splintern (z. B. bei Glas) oder durch das Herausschlagen von Teilen des Schutzmaterials. Weiche Schutzmaterialien neigen auf der zu schützenden Seite zum Ausbeulen. Die Wirkung hinter der Schutzvorrichtung muss deshalb bei der Prüfung festgestellt werden.

In gewissen Regelwerken wird auf der Schutzseite Splitterabgang überhaupt nicht toleriert. Andere beschränken ihn auf eine maximale Energiedichte der Splitter, die hinter dem Prüfobjekt mit Hilfe einer dünnen Folie (z.B. Aluminium) geprüft wird. Wird diese Folie von Splintern durchschlagen, wird der geprüfte Schutz als ungenügend taxiert.

Weiche Schutzmaterialien (z. B. Schutzwesten) werden auf ein weiches, deformierbares Medium (z. B. Plastilin) aufgespannt. Die Wirkung auf der Schutzseite wird mittels der erzeugten Beultiefe beurteilt, die ein gewisses Maß nicht überschreiten darf. Weil die Durchschussfestigkeit von weichen Schutzmaterialien stark von der Verformbarkeit des Hintergrundes abhängig ist, muss für reproduzierbare Prüfungen die Auflage genau definiert sein. Dies geschieht in der Regel durch Festlegen der Eindringtiefe einer schweren Stahlkugel, die aus einer bestimmten Höhe darauf fallen gelassen wird.

Mit dem Hintergrundmaterial wird nicht die „Wirklichkeit“ (in diesem Fall der menschliche Körper) nachgebildet, sondern es werden reproduzierbare Prüfungsbedingungen geschaffen. Die zugelassene Beultiefe (die je nach Norm bis zu 44 mm betragen darf) wird dennoch oft fälschlicherweise direkt auf den menschlichen Körper übertragen, wobei jeweils die Befürchtung auftaucht, hinter dem Schutz könnten sich schwere Verletzungen ergeben. In der Tat verhält sich der menschliche Körper wesentlich elastischer und zugleich verformbarer als das Hintergrundmaterial. Schwere Verletzungen sind daher in der Regel nicht zu befürchten.

Dennoch könnten in gewissen sensitiven Körperregionen nicht-triviale, stumpfe Verletzungen entstehen ((z. B. Bruch eines Wirbelkörpers bei einem Schuss gegen die Wirbelsäule, Schlag gegen den Kopf bei einem Helmschuss). Dem Autor sind allerdings keine derartigen Fälle aus der Praxis bekannt (bis Kaliber 7.62 × 51).

7 Existierende Normen und Richtlinien

7.1 Allgemeines

Regelwerke beschreiben die Eigenschaften, die ein Produkt haben muss, um gewissen Anforderungen zu genügen. In den meisten Fällen sind zugleich die Anweisungen festgehalten, wie die geforderten Eigenschaften des Produkts überprüft werden sollen.

Es macht natürlich keinen Sinn, wenn in verschiedenen Ländern unterschiedliche Anforderungen und Prüfvorschriften zur Anwendung kommen. Das Bedrohungspotenzial macht vor Grenzen nicht Halt und die Lieferanten von ballistischem Schutz möchten auch nicht für jedes Land spezielle Produkte im Sortiment führen. Normen werden daher immer häufiger auf internationaler Ebene festgelegt.

7.2 ISO und CEN

Die ISO (International Organization for Standardization) ist ein Verein nach Schweizer Recht mit Sitz in Genf. Jedes Land kann mit seinem Normeninstitut Mitglied der ISO werden. In technischen Komitees und Arbeitsgruppen werden internationale Normen erarbeitet, die als Empfehlungen zur Angleichung nationaler Normen gelten.

Im Gegensatz dazu sind die Normen, die im CEN (Comité Européen de Normalisation) erarbeitet werden, für alle angeschlossenen Länder verbindlich. Sie müssen ausnahmslos als nationale Normen übernommen werden. Das CEN ist ebenfalls ein gemeinnütziger Verein mit Sitz in Brüssel. Mitglieder des CEN sind die Normeninstitute der Länder der EU (Europäischen Union) und der EFTA (Europäischen Freihandelszone). Zwischen CEN und ISO existieren Vereinbarungen über technische Zusammenarbeit.

Im CEN werden die Normen in technischen Komitees (von denen es einige Hundert gibt) erarbeitet, von denen jedes in verschiedene Arbeitsgruppen gegliedert ist. Nach der Fertigstellung einer Norm durchläuft sie verschiedene Stufen der Vernehmlassung bei den Mitgliedern, anschließend wird sie eine gewisse Zeit als sogenannte Vornorm (ENV) angewendet, bis sie (bei Bewährung) als europäische Norm (EN) in Kraft gesetzt wird.

7.3 Normen für ballistische Schutzkonstruktionen

Für ballistischen Schutz existieren beim CEN bereits Normen oder Vornormen für Glas (EN 1063) und für Türen, Fenster und Rollläden (ENV 1522/1523). Die beiden Regelwerke für Glas, Türen, Fenster und Rollläden haben verschiedene Ländernormen abgelöst, wie zum Beispiel

in Deutschland die bekannte Glasnorm DIN 52290/2

in Großbritannien den British Standard BS 5051 für Glas

in Frankreich die NF P 20–601 für Fenster und Türen

in Österreich die ÖNorm 1310/11 für beschusshemmende Konstruktionen

in der Schweiz die Glasnorm 04 (die allerdings nie in Kraft getreten ist).

Es ist interessant, die Anforderungen der ehemaligen Ländernormen untereinander zu vergleichen (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10. Zusammenstellung der Anforderungen in den Regelwerken für Glas und Konstruktionen diverser Länder

Land			D		GB		F		CH		A	
Regelwerk			DIN		BS		NF		Glasnorm		ÖNORM S	
Nummer			52290/2		5051		P 20-601		04		1310/11	
Material			Glas		Glas		Rahmen		Glas		Konstruktionen	
Kaliber	Geschoss	Masse [g]	Bez.	v(Prüf) [m/s]	Bez.	v(Prüf) [m/s]	Bez.	v(Prüf) [m/s]	Bez.	v(Prüf) [m/s]	Bez.	v(Prüf) [m/s]
22 L.R.	PbR	2.55					1	260 – 330				
9 mm Luger	VMR	8.0	C1	355 – 365	G0	390 – 420	2	350 – 420	A	340 – 360	1	400 – 420
357 Mag.	VMKs	10.25	C2	415 – 425	G1	435 – 465		350 – 440			2	410 – 430
44 Rem. Mag.	TMF	15.5	C3	435 – 445	G2	456 – 486			B	420 – 440	3	430 – 450
5.56x45 mm	SS 109	4.0			R1	919 – 949	4	945 – 1015 ¹⁾	C	920 – 950		
7.62x51 mm	VMS/Wk	9.5	C4	785 – 795	R2	815 – 845	4	795 – 855	D	830 – 850	4	850 – 870
7.5x55 mm	GP 11	11.3							E	780 – 810		
7.62x51 mm	VMS/Hk	9.8	C5	800 – 810			5	795 – 855	F	830 – 850	5	940 – 980
12/70	FLG	31.5			S86	406 – 446	3	345 – 415	G	410 – 440		

Bez. Bezeichnung der Schutzklassen
PbR Vollblei-Rundkopfgeschoss
VMR Vollmantel-Rundkopfgeschoss
VMKs Vollmantel-Kegelspitzzgeschoss
TMF Teilmantel-Flachkopfgeschoss

VMS/Wk Vollmantel-Spitzgeschoss mit Bleikern
VMS/Hk Vollmantel-Spitzgeschoss mit gehärtetem Stahlkern
FLG Flintenlaufgeschoss
¹⁾ mit Geschoss SS 92 (3.6 g)

Die französische Norm ist im Gegensatz zu den 4 übrigen schutzorientiert aufgebaut. Die Klassen werden dem Schutz zugeteilt und jede Klasse mit verschiedenen Kalibern geprüft, so z. B. Klasse 1 neben der 22 L.R. auch 38 Spl., Klasse 3 neben 12 Brenneke auch 9 mm Luger Hartkern, 12 Blondeau und 357 Mag. Hartkern usw.. Ein Vergleich der französischen Norm mit den andern 4 ist deshalb nur bedingt möglich.

Mit wenigen Ausnahmen waren in allen übrigen Ländernormen für die Schutzklassen Kaliber gewählt worden, die den am häufigsten zu erwartenden Angriffspotenzialen entsprechen. In einigen Ländern wurde jedoch zusätzlich auch auf nationale Spezialitäten Rücksicht genommen, so in Frankreich mit dem dort verbreiteten Kaliber 22 L.R. und in der Schweiz mit dem Kaliber 7.5 x 55 (GP 11).

Zwischen den verschiedenen Normen sind allerdings zum Teil erhebliche Unterschiede in den Prüfgeschwindigkeiten festzustellen. So ist beispielsweise in der DIN-Norm 52290/2 für die 9 mm Luger eine Geschwindigkeit vorgegeben worden, die etwa dem mittleren Angriffspotenzial dieses Kalibers entspricht, wodurch genau genommen nur etwa die Hälfte der zu erwartenden Angriffsmöglichkeiten abgedeckt worden waren. Der Entwurf der Schweizer Glasnorm lag sogar noch etwas tiefer.

Bei der Erarbeitung der CEN-Normen war es sinnvoll, die Bedrohungsklassen für Glas und für Türen und Fenster einander anzugleichen, weil es wenig Sinn gemacht hätte, bei einem Fenster oder einer Glastür das Glas mit anderen Anforderungen zu prüfen als den Rahmen und die Füllungen. Andererseits wurden die Prüfgeschwindigkeiten auf einen Wert festgelegt, der in der betreffenden Klasse eine hohe Schutzwahrscheinlichkeit zusichert.

7.4 Normen und Richtlinien für ballistischen Körperschutz

CEN-Normen für ballistischen Körperschutz existieren noch nicht, sind aber in Arbeit (Frühjahr 2000). Gegenwärtig kann man sich an vier eingeführten Regelwerken orientieren.

Im deutschsprachigen Europa werden üblicherweise die „Technischen Richtlinie für Schutzwesten“ der Polizeiführungsakademie Münster, Westfalen verwendet, die 5 Bedrohungsklassen vorsehen (3 für Kurzwaffen und 2 für Langwaffen. In den Vereinigten Staaten wird den Prüfungen der Standard des „National Institute of Justice“ (NIJ) zugrunde gelegt, der das gesamte Angriffspotenzial in 6 Schutzklassen einteilt. Die Nummerierung ist allerdings etwas verwirrend, da die Klasse III den Langwaffen zugeordnet wird, die Klasse III-A hingegen den Kurzwaffen. Ein Standard der englischen Polizei geht von nur 4 Klassen aus. Alle diese Regelwerke sind angriffsorientiert aufgebaut. Da jedoch zum Teil unterschiedliche Geschosse und verschiedene Geschwindigkeiten vorgegeben sind, lassen sich die Schutzklassen nicht direkt vergleichen. In der Tabelle 11 sind die Prüfkaliber mit den ungefähren Auftreffenergien zusammengestellt. Die Tabelle ermöglicht zudem einen Quervergleich über die verschiedenen Schutzklassen.

Tabelle 11. Schutzklassen in den Regelwerken für Körperschutz diverser Länder

Prüfkaliber	Land		D	GB	USA
	Geschoss	Energie [J]	PFA	PSDB	NIJ
			Klassenbezeichnung		
22 L.R. HV	PbR	130		HG 1	I
38 Spl.	PbR	340			II-A
357 Mag.	JSP	740			
9 mm Luger	VMR	440	L		
357 Mag.	JSP	920			II
9 mm Luger	VMR	510	I	HG 2	
9 mm Luger	VMR	670			
9 mm Luger	VMR	720			
44 Rem. Mag.	SWC	1410			
357 Mag.	MsFk	1200	II		
5.56x45 mm	SS 109	1700	III		
7.62x51 mm	VMS/Wk	3300			RF 1
7.62x51 mm	VMS/Hk	3300	IV		
30–06	VMS/Hk	4100			IV
12/70	FLG	2700		SG 1	

PbR	Vollblei–Rundkopfgeschoss
VMR	Vollmantel–Rundkopfgeschoss
VMKs	Vollmantel–Kegelspitzengeschoss
TMF	Teilmantel–Flachkopfgeschoss
JSP	Jacketed Soft Point
SWC	Semi Wadecutter mit Gascheck
MsFk	Vollmessing–Flachkopfgeschoss
VMS/Wk	Vollmantel–Spitzgeschoss mit Bleikern
VMS/Hk	Vollmantel–Spitzgeschoss mit gehärtetem Stahlkern
FLG	Flintenlaufgeschoss

Schutzwesten und -helme gegen Splitter werden üblicherweise nach einem NATO-Standard (STANAG 2920) geprüft. In diesem Regelwerk wird ein Prüfverfahren zur Bestimmung der mittleren Durchschusssgeschwindigkeit beschrieben. Dementsprechend werden auch die Anforderungen an den Schutz formuliert und geprüft.

Die Prüfung auf mittlere Durchschusssgeschwindigkeit besitzt den großen Vorteil, dass die Güte des Schutzes offen gelegt wird. Bei den nicht–durchdringenden

Verfahren (der Schutz erfüllt, wenn eine gewisse Anzahl Schüsse gestoppt werden und erfüllt nicht, wenn ein Durchschuss zu verzeichnen ist) weiß man nie genau, wie groß die Sicherheitsspanne ist.

In letzter Zeit wurden auch neue Prüfverfahren entwickelt. Beim einen wird außer der mittleren Durchschusssgeschwindigkeit auch die Standardabweichung ermittelt, sodass für jedes Angriffspotenzial die Durchschusswahrscheinlichkeit angegeben werden kann. Ein zweites, viel versprechendes Verfahren ermittelt die Energieabsorption des Schutzes und schließt daraus auf die Güte des Schutzes. Beide Möglichkeiten haben die Aussicht, dereinst für die Prüfung von ballistischem Schutz verwendet zu werden, da sie eine wesentlich bessere Beurteilung zulassen, als die eingeführten Verfahren.

A Anhang

A.1 Berechnungsanleitung für das Prüfverfahren zur Bestimmung der mittleren Durchschussgeschwindigkeit (v_{50}) und der zugehörigen Streuung

Das im Folgenden beschriebene Verfahren beruht auf den im Abschnitt 5.3.2 hergeleiteten Formeln (5.3) bis (5.6).

- Einteilen des Geschwindigkeitsbereichs in Klassen von (in der Regel) 5 m/s Breite. Eine feinere Klasseneinteilung erfordert viel mehr Schüsse, gibt dafür ein genaueres Resultat.
- Bestimmen der relativen Durchschusshäufigkeit in jeder Klasse als Schätzwert der relativen Durchschusswahrscheinlichkeit.
- Bilden der Differenz der relativen Durchschusshäufigkeit je zweier aufeinanderfolgender Klassen [Formel (5.5), Schätzwerte der Wahrscheinlichkeitsfunktion].
- Bildung der zugehörigen Klassenmitten [gemäß Formel (5.6)].
- Multiplikation der Schätzwerte nach c mit der zugehörigen Klassengrenzen m nach d. Summieren dieser Werte zur mittleren Durchschussgeschwindigkeit (v_{50}). [gemäß Formel (5.3)].
- Schätzen der Varianz s^2 [gemäß Formel (5.4)].
- Bestimmen der Grenzgeschwindigkeit für die gewünschte maximale Durchschusswahrscheinlichkeit [nach Formel (5.7)] oder bestimmen der Durchschusswahrscheinlichkeit bei der geforderten Prüfgeschwindigkeit [gemäß Formel (5.8) und (5.9), bzw. unter Verwendung der Tabelle A.2).

Tabelle A.1. Beispiel einer Auswertung gemäß Berechnungsanleitung.

untere Klassengrenze	obere	ND	D	relative Durchschuss- häufigkeit	Differenz der Durchschuss- häufigkeiten	Klassen- mitte nach (5.6)	Summanden gemäß (5.3)	Summanden gemäß (5.4)	
470	475	0	0	0.00					
475	480	1	0	0.00	→ 0.00	470.0	0.0	0.0	
480	485	1	1	0.50	→ 0.50	475.0	240.0	45.92	
485	490	3	1	0.25	-0.25	480.0	-121.3	-5.25	
490	495	1	2	0.67	0.42	485.0	204.2	0.07	
495	500	0	1	1.00	0.33	490.0	165.0	9.78	
500	505	1	2	0.67	-0.33	495.0	-166.7	-36.17	
505	510	0	1	1.00	0.33	500.0	168.3	79.22	
510	515	0	0	1.00	0.00	505.0	0.0	0.0	
Summen							$x_m = 489.5$	$s^2 = 93.57$	
								$s = 9.67$	

A.2 Tabelle zur Berechnung der Durchschusswahrscheinlichkeit

Tabelle A.2. Durchschusswahrscheinlichkeit $P(v_p)$ in Funktion von α_p

	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
-7	1.29e-12	6.28e-13	3.03e-13	1.45e-13	6.86e-14	3.22e-14	1.50e-14	6.88e-15	3.11e-15	1.44e-15
-6	9.90e-10	5.32e-10	2.83e-10	1.49e-10	7.80e-11	4.04e-11	2.07e-11	1.05e-11	5.26e-12	2.62e-12
-5	2.87e-07	1.70e-07	9.98e-08	5.80e-08	3.34e-08	1.90e-08	1.07e-08	6.01e-09	3.33e-09	1.82e-09
-4	3.17e-05	2.07e-05	1.34e-05	8.55e-06	5.42e-06	3.40e-06	2.11e-06	1.30e-06	7.94e-07	4.80e-07
-3	1.35e-03	9.68e-04	6.87e-04	4.83e-04	3.37e-04	2.33e-04	1.59e-04	1.08e-04	7.24e-05	4.81e-05
-2	2.28e-02	1.79e-02	1.39e-02	1.07e-02	8.20e-03	6.21e-03	4.66e-03	3.47e-03	2.56e-03	1.87e-03
-1	1.59e-01	1.36e-01	1.15e-01	9.68e-02	8.08e-02	6.68e-02	5.48e-02	4.46e-02	3.59e-02	2.87e-02
-0	5.00e-01	4.60e-01	4.21e-01	3.82e-01	3.45e-01	3.09e-01	2.74e-01	2.42e-01	2.12e-01	1.84e-01
0	5.00e-01	5.40e-01	5.79e-01	6.18e-01	6.55e-01	6.91e-01	7.26e-01	7.58e-01	7.88e-01	8.16e-01
1	8.41e-01	8.64e-01	8.85e-01	9.03e-01	9.19e-01	9.33e-01	9.45e-01	9.55e-01	9.64e-01	9.71e-01
2	9.77e-01	9.82e-01	9.86e-01	9.89e-01	9.92e-01	9.94e-01	9.95e-01	9.97e-01	9.97e-01	9.98e-01
3	9.99e-01	9.99e-01	9.99e-01	1.00e+00						

A.3 Beispiele von v_{50} und zugehöriger Standardabweichung

Tabelle A.3. v_{50} und s bei gegebenen Prüfgeschwindigkeiten (alle in [m/s])

Prüfgeschwindigkeit	v_{50}	s bei Durchschusswahrscheinlichkeit	
		1:100'000	1:1'000'000
410	470	14.0	12.6
	480	16.4	14.7
	490	18.7	16.8
570	620	11.7	10.5
	630	14.0	12.6
	640	16.4	14.7
820	860	9.4	8.4
	870	11.7	10.5
	880	14.0	12.6
