

Schussverletzungen

C. Neitzel, E. Kollig

9.1 Grundlagen – 200

- 9.1.1 Waffen – 200
- 9.1.2 Munition – 200

9.2 Einführung in die Wundballistik – 202

- 9.2.1 Kinetische Energie und ihre Übertragung – 202
- 9.2.2 Wundhöhlenbildung – 202
- 9.2.3 Schockwelle/Schalldruckwelle – 203
- 9.2.4 Faktoren der Wundhöhlenbildung – 204

9.3 Geschosskonstruktionen – 205

- 9.3.1 Vollmantelgeschosse – 205
- 9.3.2 Deformationsgeschosse – 209
- 9.3.3 Hohlspitzgeschosse – 209
- 9.3.4 Vollgeschosse – 209
- 9.3.5 Zerlegungsgeschosse – 210
- 9.3.6 Flintenmunition – 210
- 9.3.7 Kurzwaffenmunition – 211

9.4 Spezifische Wundballistik – 212

- 9.4.1 Extremitäten – 212
- 9.4.2 Skelett – 212
- 9.4.3 Abdomen – 212
- 9.4.4 Thorax – 213
- 9.4.5 Kopf – 213
- 9.4.6 Infektion – 213
- 9.4.7 Ein- und Ausschuss – 214

9.5 Letalität von Schussverletzungen – 214

9.6 Literatur – 215

- 9.6.1 Weiterführende Literatur – 215

9.1 Grundlagen

9.1.1 Waffen

Handfeuerwaffen werden in Langwaffen mit einer Gesamtlänge über 60 cm (Büchsen, Flinten) und Kurzwaffen mit einer Gesamtlänge von bis zu 60 cm (Pistolen, Revolver) unterteilt.

Büchsen sind Waffen mit langen Läufen, deren Innendurchmesser etwas kleiner als der auch Kaliber genannte Geschossaußendurchmesser ist. Dadurch wird das Geschoss in die spiralartig im Lauf angeordneten Profile (Züge) eingepresst. Es entsteht durch die Verbrennungsgase ein hoher Druck, der dieses auf größere Geschwindigkeiten (meist 750–950 m/s) beschleunigt. Die Züge versetzen das Geschoss in eine Drehung um die Längsachse, die es im Flug stabilisiert. Auch militärische Waffen, wie Sturmgewehre und Maschinengewehre, sind von ihrer Bauart her Büchsen. Sie unterscheiden sich von zivilen Waffen im Wesentlichen dadurch, dass sie vollautomatisch Patronen nachladen und abfeuern.

Flinten verfügen ebenfalls über einen langen Lauf, der allerdings im Regelfall innen glatt ist. Es werden mit niedrigen Gasdrücken und einer im Vergleich zu Büchsen geringeren Mündungsgeschwindigkeit aus vielen Kügelchen bestehende Schrotladungen oder große Flintenlaufgeschosse verschossen.

Kurzwaffen sind Pistolen und Revolver. Der Lauf weist ebenfalls Züge und Felder auf, das Geschoss erreicht aber im Vergleich zu Langwaffen nur geringe Mündungsgeschwindigkeiten (meist 250–400 m/s).

9.1.2 Munition

Moderne Patronen wurden zum Ende des 19. Jh. hin entwickelt. Sie werden heute noch häufig als Jagdpatronen verwendet. Patronen wie die deutsche 8 × 57 IS oder die US-amerikanische .30-06 Springfield wiesen eine ausreichend gestreckte Flugbahn und ein gutes zielballistisches Potenzial auf, bedingten aber hinsichtlich der Traglast eines Soldaten ein relativ großes Volumen und Gewicht und verursachten einen nicht unerheblichen Rückstoß. Das Leistungspotential dieser alten Militärstan-

dardpatronen war für den gedachten Zweck überzogen, insbesondere für die tatsächlichen Schussentfernungen im Gefecht. Insbesondere bei den im 2. Weltkrieg eingeführten Sturmgewehren, die mehrere Schüsse in schneller Folge abgeben konnten, schränkte der Rückstoß die Zielgenauigkeit der Folgeschüsse im Feuerstoß stark ein.

Der geänderte Infanteriefeuerkampf führte auf Seiten des Militärs zu der Forderung einer Selbstladewaffe mit geringem Rückstoß, ausreichender zielballistischer Wirkung, und geringerer Patronendimensionen, um bei gleichem Gewicht mehr Feuerkraft mitführen zu können. Auch die Verknappung kriegswichtiger Rohstoffe in Deutschland spielte hier eine Rolle. Deswegen wurde z. B. in der Wehrmacht die 8 × 57 IS-Standardpatrone zur Nutzung im StG 44 auf die Patrone 7,92 × 33 verkleinert.

Die NATO standardisierte zunächst die zivil als .308 Winchester bezeichnete 7,62 mm × 51 als Kurzversion der .30-06 Springfield (7,62 mm × 63). In der Bundeswehr fand die Patrone im Sturmgewehr G3 und im Maschinengewehr MG3 Verwendung.

Um die zunehmend automatisierten Waffen im Feuerstoß kontrollierbarer zu machen, die Munitionskosten zu senken und es dem Soldaten zu erlauben, bei gleichem Gewicht mehr Munition mitzuführen, wurde in der NATO 1980 die Patrone 5,56 mm × 45 (zivil: .223 Remington) eingeführt. Sie ist mit einem sehr viel leichteren Geschoss (4 g) als die 7,62 mm × 51 (9,5 g) geladen und weist eine deutlich höhere Mündungsgeschwindigkeit von über 900 m/s auf, aber auch ein Absinken der Geschossenergie von 3.272 J auf 1.693 J. Das als Standard genutzte 4 g schwere Doppelkerngeschoss enthält einen Stahlpenetrator, der trotz der geringeren Geschossenergie die Durchschlagleistung des alten Vollmantelweichkerngeschosses der Patrone 7,62 mm NATO auf einen Stahlhelm als Standardziel erreicht oder übertrifft. Die Patrone wird seit der Einführung von G36 und MG4 im Jahr 1997 auch in der Bundeswehr verwendet.

In den Warschauer-Pakt-Staaten durchlief die Munition eine ähnliche Entwicklung: Ausgehend von der alten russischen Ordonnanzpatrone 7,62 × 54 R hatte man hier das Kaliber beibehalten und eine Kurzpatrone 7,62 × 39 entwickelt, die zunächst im Selbstladekarabiner verwendet wurde,

■ **Tab. 9.1** Typische Laborierungen gängiger Patronen im Vergleich.

m : Geschossmasse, v_0 : Mündungsgeschwindigkeit, v_{100} : Geschwindigkeit nach 100 m, E_0 : Mündungsenergie, E_{100} : Energie nach 100 m

Patrone	m (g)	v_0 (m/s)	v_{100} (m/s)	E_0 (J)	E_{100} (J)
9 mm × 19 (9 mm Parabellum)	8,0	350	297	490	353
.40 Smith & Wesson	10	350	291	613	424
.44 Remington Magnum	15,6	450	358	1.574	994
4,6 mm × 30	1,7	774	545	500	250
5,45 mm × 39 (AK74)	3,45	910	808	1.429	1.126
5,56 mm × 45 (.223 Remington)	4,0	920	822	1.693	1.350
7,62 mm × 39 (AK47)	8,0	710	603	2.016	1.454
7,62 mm × 51 (.308 Win)	9,5	830	756	3.272	2.711
7,62 mm × 67 (.300 WinMag)	12,3	880	825	4.763	4.185
12,7 mm × 99 (.50 BMG)	42	890	842	16.634	1.4872

um dann in Sturmgewehr AK 47 ihre weltweite Verbreitung anzutreten. Die in den Sturmgewehren AK-47 und AKM genutzte Patrone 7,62 × 39 wurde 1974 mit Einführung des AK-74 durch die 5,45 × 39 ersetzt. Die 7,62 × 39 ist weltweit in Verbindung mit der AK47 weiterhin die in allen Krisengebieten immer noch am meisten verbreitete Patrone.

■ Tab. 9.1 und ■ Abb. 9.1 zeigen einige heute gebräuchliche Patronen.

Nach den Anwendungsgebieten werden orientierend Militär-, Polizei-, Jagd- und Sportmunition unterschieden:

Militärmunition ist in Deutschland nahezu ausschließlich Vollmantelmunition. Die Geschosse sollen im Sinne der Haager Landkriegsordnung von 1899 im Ziel ihre Form beibehalten, um »unnötiges Leid« zu verhindern. Außerdem ist eine möglichst gute Penetrationswirkung durch Deckung hindurch erwünscht. Für spezielle Anwendungen gibt es besondere Geschossarten (Hartkern, Leuchtspur).

Als **Jagdmunition** werden meist Deformations- oder Zerlegegeschosse (z. B. Teilmantelgeschosse) in Patronen mit vergleichsweise großem Kaliber und hoher Mündungsgeschwindigkeit eingesetzt. Sie sind für schnelles Töten konstruiert und zielen

daher auf einen möglichst großen und frühen Energietransfer und/oder Splitterabgabe im Gewebe ab.

Polizeimunition strebt einen frühen und hohen Energietransfer an, um Täter schnell handlungsunfähig zu machen. Das Geschoss soll trotzdem Kleidung und leichte Deckung sicher durchschlagen, um die Wirkung im Ziel zu garantieren, aber zur Minderung der Umfeldgefährdung möglichst



■ **Abb. 9.1** Eingeführte Patronen der Bundeswehr. Von links nach rechts: 9 mm × 19, 4,6 mm × 30, 5,56 mm × 45, 7,62 mm × 51, 7,62 mm × 67, 12,7 mm × 99, zum Größenvergleich: Feuerzeug. (Foto: Dr. Christian Neitzel)

keinen Ausschuss erzielen. Außerdem soll die Munition das Ziel zwar schnell kampfunfähig machen, aber nicht töten. Dies ist ein Widerspruch in sich und von keiner Munition in allen Aspekten zu erfüllen. In der Vergangenheit wurden auch Vollmantelgeschosse durch die Polizei eingesetzt. Aufgrund der schlechten Wirkung und hohen Umfeldgefährdung durch Ausschüsse erfolgte in den 90er Jahren eine Umstellung auf Deformationsgeschosse für Kurz- und Langwaffeneinsatz. Die Konstruktion moderner Polizeieinsatzmunition ist letztlich ein Kompromiss und ähnelt stark der Jagdmunition, teilweise werden identische Geschosse verwendet (z. B. SF-Geschoss von MEN für Scharfschützengewehre).

Sportmunition ist für eine möglichst präzise Schussleistung optimiert. Ihr Verhalten im Ziel ist nicht relevant, sodass eine Vielzahl verschiedener Konstruktionen Verwendung findet. Meist handelt es sich um Vollmantel- oder Hohlspitzgeschosse, regelhaft mit dünnen Geschossmänteln.

Eine strenge Einteilung in Militär-, Jagd-, Sport- und Polizeigeschosse ist nicht möglich. Deutlich abgrenzbar sind lediglich die im Waffengesetz als »verbotene Gegenstände« bezeichneten oder dem Kriegswaffenkontrollgesetz unterliegenden hoheitlich genutzten Hartkern-, Leuchtspur-, Brand- und Explosivgeschosse.

9.2 Einführung in die Wundballistik

9.2.1 Kinetische Energie und ihre Übertragung

Beim Abfeuern eines Schusses entsteht durch die explosionsartige Verbrennung der Treibladung hinter dem Geschoss ein Gasdruck, der es durch den Lauf treibt und dabei in die spiralartig angeordneten Züge und Felder presst. Hierdurch wird ein Drall erzielt, der das Geschoss durch eine Drehung um die Längsachse im Flug stabilisiert.

Das beschleunigte Geschoss verfügt über kinetische Energie, die abhängig ist:

- von der Masse des Geschosses (schwere Geschosse sind energiereicher als leichte) und
- der Geschwindigkeit (schnelle sind energiereicher als langsame)

Gemäß der Formel $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ hat die Geschwindigkeit dabei größeren Einfluss als die Masse des Geschosse: Die Verdopplung der Geschossmasse verdoppelt die kinetische Energie, die Verdopplung der Geschwindigkeit vervierfacht sie. Das Maß für die kinetische Energie des Geschosses ist Joule (J).

Während des Fluges wird die Geschwindigkeit des Geschosses v a. durch den Luftwiderstand fortwährend abgebremst und somit die kinetische Energie verringert.

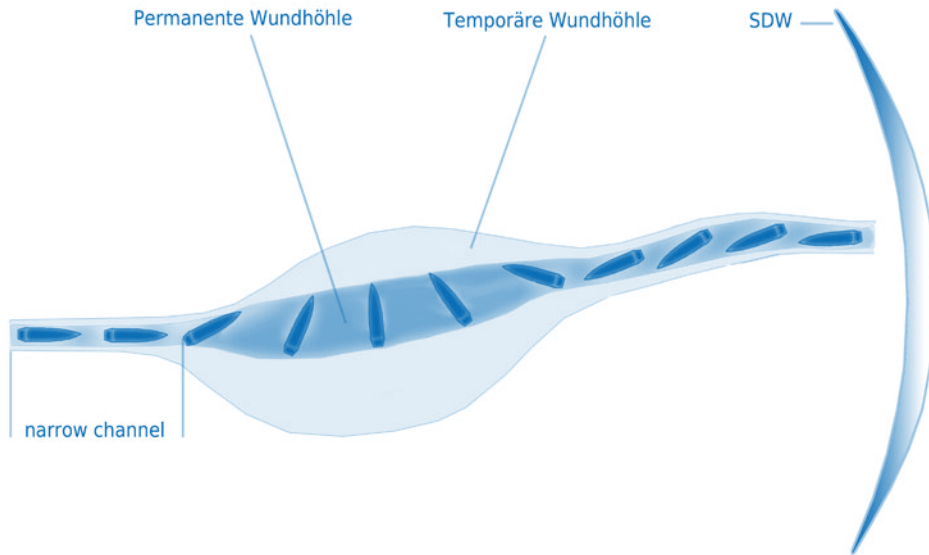
Trifft das Geschoss auf Gewebe, wird es aufgrund der höheren Dichte wesentlich stärker als durch Luft abgebremst. Die kinetische Energie wandelt sich in Druck-, Verformungs- und Wärmeenergie um, die Gewebe verdrängt, zerquetscht oder zerreißt. Je größer die Frontfläche oder Querschnittsfläche des Geschosses ist, umso mehr Energie wird punktuell übertragen: Ein an der Spitze stumpf und breit aufgebautes Projektil erzeugt mehr lokalen Widerstand im Zielmedium als ein schlankes, spitzes Geschoss. Somit wird es initial stärker abgebremst, d. h. es überträgt hier mehr Energie ins Gewebe. Die Querschnittsfläche des Geschosses hängt ab von:

- der Geschossform
- dem Deformationsverhalten
- Taumelbewegungen und
- einer möglichen Geschosszerlegung (Fragmentation)

Bleibt das Geschoss im Ziel stecken (Steckschuss), hat es seine gesamte kinetische Energie abgegeben oder für Verformung bzw. Fragmentation genutzt. Wird ein Durchschuss erzielt, verfügt das Geschoss noch über kinetische Energie, die sich aus dem Restgewicht des Geschosses und seiner Geschwindigkeit ergibt. Theoretisch gesehen ist die Differenz zur Auftreffenergie die ins Zielmedium übertragene Energie.

9.2.2 Wundhöhlenbildung

Das Gewebe wird durch die übertragene Energie nach allen Seiten radial verdrängt, es bildet sich vorübergehend eine Wundhöhle (temporäre Kavitation). Die Elastizität des Gewebes bewirkt die Rück-



■ **Abb. 9.2** Schematische Darstellung einer Wundhöhle. *SDW*: Schalldruckwelle

kehr in die Ausgangslage. Diese temporäre Wundhöhle bleibt also nur für Sekundenbruchteile bestehen, bis der entstandene Unterdruck sie wieder zusammenfallen lässt. Temporäre Wundhöhlen treten bei allen Geschossen auf, im Regelfall erreichen sie aber nur bei Hochgeschwindigkeitsgeschossen oder speziell auf eine höchstmögliche Energieabgabe konstruierten Niedriggeschwindigkeitsgeschossen eine relevante Größe.

Das durch die Bildung der temporären Wundhöhle verdrängte Gewebe wird nicht zwingend irreversibel geschädigt. Nur wenn es nicht genügend Elastizität aufweist, um der Kinematik problemlos zu folgen, wird es strukturell geschädigt und behält bleibende Gewebeschäden. Diese Gewebezerrstörungen stellen um den unmittelbar durch das Geschoss verursachten eigentlichen Schusskanal herum die permanente Wundhöhle (permanente Kavitation) und deren Randbereiche dar. Sie ist umso größer, je stärker und abrupter eine Energieübertragung verläuft und je weniger elastisch das betroffene Gewebe ist. Um die permanente Wundhöhle herum liegt eine Zone, in der es durch Überdehnung zu einer Vasokonstriktion kommt, die das Gewebe vorübergehend avital erscheinen lässt. Im äußeren Bereich der temporären Wundhöhle wird Gewebe verdrängt, aber nicht irreversibel geschädigt.

Die permanente und temporäre Wundhöhle weisen charakteristische Verläufe auf. Zu Beginn des Wundkanals bildet sich ein wenig mehr als kalibergroßer »narrow channel« (■ Abb. 9.2). Die Länge ist stark von Geschossform und -konstruktion, Auftreffgeschwindigkeit und Gewebewiderstand abhängig. Vollmantelgeschosse erzeugen typischerweise einen relativ langen »narrow channel« auf, der im muskelähnlichen Gewebe meist über 10 cm lang ist. Bei Deformationsgeschossen ist er hingegen nur wenige Zentimeter lang. Anschließend vergrößert sich die Frontfläche des Geschosses in der Regel durch Drehung, Zerlegung oder Deformation. Die erhöhte Energieübertragung erzeugt eine größere Wundhöhle. Verringert sich die Energieabgabe des Geschosses im Anschluss wieder, sinkt der Durchmesser der Wundhöhle erheblich ab.

9.2.3 Schockwelle/Schalldruckwelle

Dem Geschoss voraus eilt im Gewebe eine Schalldruckwelle (»Schockwelle«) mit einer Geschwindigkeit von ca. 1.400–1.550 m/sec und Druckspitzen von bis zu 117 bar. Da sie aber nur wenige Millisekunden anhält und eine geringere Amplitude

als z. B. therapeutische Ultraschallanwendungen hat, kommt es zu keiner wesentlichen Gewebeschädigung.

9.2.4 Faktoren der Wundhöhlenbildung

Die Größe und das Profil der temporären und permanenten Wundhöhle sind von einer Vielzahl von Faktoren abhängig:

- Geschosskonstruktion und -form
- Auftreffgeschwindigkeit
- Gierwinkel
- spezifischer Widerstand des Zielgewebes

Abhängig von der verwendeten Waffenart unterscheiden sich Geschosse und erreichbare Auftreffgeschwindigkeiten deutlich.

Auftreffgeschwindigkeit

Schussverletzungen werden im theoretischen Modell unterteilt in Verletzungen durch Projektile mit hoher (>600–650 m/s) und niedriger (<600–650 m/s) Geschwindigkeit.

Geschosse mit niedriger Geschwindigkeit verursachen meist keine großen Wundhöhlen. Diese Verletzungen sind im Regelfall durch Kurzwaffen (Pistolen, Revolver) oder durch entsprechend langsam gewordene Langwaffengeschosse bei sehr großen Schussentfernungen verursacht. Die Gewebazerstörung reicht als Faustregel nicht deutlich über den Geschossdurchmesser hinaus.

Hochgeschwindigkeitsverletzungen verursachen meistens durch die Bildung einer größeren Wundhöhle starke Gewebeschädigungen. Da sich die Auftreffgeschwindigkeit stärker auf die kinetische Energie des Geschosses auswirkt als das Geschossgewicht, haben Hochgeschwindigkeitsgeschosse zumeist rechnerisch eine deutliche größere kinetische Energie als Niedriggeschwindigkeitsgeschosse.

Dieser Grundsatz berücksichtigt aber nicht die teilweise erheblichen Einflüsse anderer maßgeblicher Faktoren. Die effektive Gewebeschädigung wird nicht primär durch v_{Ziel} bzw. Geschossenergie, sondern durch den tatsächlichen Verlauf des Energietransfers ins Gewebe bedingt. Eine Schusswunde

durch ein Deformations- oder Hohlsplitzgeschoss aus einer Kurzwaffe kann also durchaus größere Gewebekerstörungen bewirken, als ein richtungsstabil das Gewebe durchdringendes Vollmantelgeschoss aus einer Langwaffe.

Die Auftreffgeschwindigkeit beeinflusst auch maßgeblich Deformationsverhalten und Zerlegungsneigung von Geschossen.

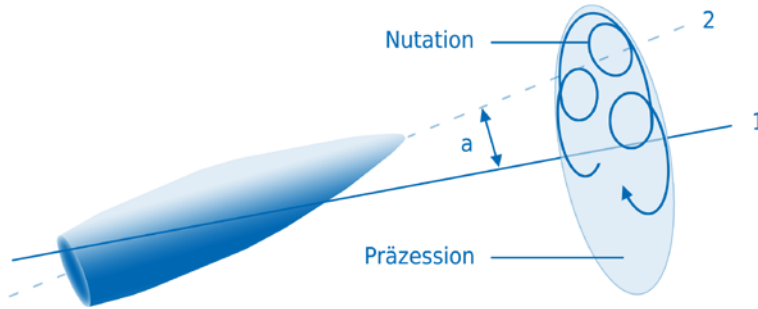
Widerstand des Zielmediums

Gewebe von hoher Dichte (z. B. Muskel, Knochen, Leber, Niere) bremsen Geschosse stark ab. Der große Energieübertrag bewirkt eine stärkere Zerstörung von Gewebe. Je höher der Widerstand des Zielmediums ist, desto grösser sind auch die auf das Geschoss wirkenden Biege- und Druckspannungen. Sie können eine Verformung oder Zerlegung des Geschosses bewirken. Vereinfacht dargestellt, verändert auch die Erhöhung der Auftreffgeschwindigkeit den Widerstand des Zielmediums. Es sei hier an den Vergleich einer Hand verwiesen, die mit geringer oder sehr hoher Geschwindigkeit auf eine Wasseroberfläche schlägt, und die so als weich oder sehr hart empfunden wird.

Gierwinkel

Ein drallstabilisiertes Geschoss verhält sich während des Fluges physikalisch gesehen wie ein Kreisel und fliegt nie völlig gerade. Es führt durch den außerhalb des Schwerpunktes angreifenden Luftwiderstand eine Präzession aus, also eine Bewegung der Geschosslängsachse (■ Abb. 9.3). Die Abweichung von der Flugbahn beträgt im Allgemeinen 1–3° und wird Gierwinkel oder Anstellwinkel genannt. Weitere Einflüsse, z. B. nachfolgende Pulvergase beim Mündungsdurchgang, können die Präzession mit einer weiteren Bewegung, der Nutation, überlagern. Dies führt zu einer stetigen Änderung des Anstellwinkels, die sich insbesondere in den ersten 20–30 m Flugstrecke auswirkt.

Der Effekt wird Gieren (engl. »yawing«) genannt. Trifft ein Geschoss mit einem Gierwinkel >0° auf ein Zielmedium, so ist von Beginn an die Frontfläche größer, es kommt schon nach einer geringeren Penetrationsstrecke und somit noch vergleichsweise hoher Geschwindigkeit zum Tummeln mit möglicher folgender Fragmentation. Dies



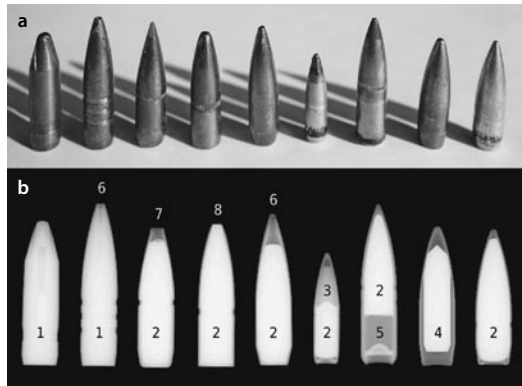
■ **Abb. 9.3** Eigenbewegung eines drallstabilen Geschosses: 1 ist die Flugrichtung, 2 die Geschossachse, a der Gierwinkel. Die Geschossachse dreht um die Flugrichtung (Präzession)

und der Anstellwinkel schwankt zwischen einem minimalen und einem maximalen Wert (Nutation). (Modifiziert nach [1], S. 79)

erklärt auch, warum die Durchschlagskraft einer Hochgeschwindigkeitspatrone auf kurze Distanzen von unter 50 m durch Zerlegung des Geschosses geringer sein kann als auf weitere Distanzen.

Geschosskonstruktion

Je nach Konstruktion des Geschosses variieren das Verhalten im Gewebe und das daraus resultierende Wundprofil erheblich (s. ► Kap. 9.3).



■ **Abb. 9.4** a Von links nach rechts: MEN Schrägläche (SF), Deformationsgeschoss; Barnes TSX, Deformationsgeschoss; Hornady SST, Deformationsgeschoss; Remington Core-Lokt, Deformationsgeschoss; Sierra Matchking, Hohlspitzgeschoss; Doppelkerngeschoss, Leuchtspurgeschoss, Hartkerngeschoss, Weichkerngeschoss. b Röntgenbild der oben gezeigten Geschosse. 1: Kupferlegierungsmassivgeschoss, 2: Bleikern (Weichkern), 3: Stahlpenetrator, 4: Hartkern, 5: Brandsatz, 6: Hohlspitze, 7: Plastikspitze, 8: freiliegender Bleikern (Teilmantel). (Foto: Dr. Christian Neitzel)

9.3 Geschosskonstruktionen

Die Geschosskonstruktionen nehmen wesentlichen Einfluss auf die Zielballistik. Es existieren eine Vielzahl verschiedener Geschosskonstruktionen (■ Abb. 9.4). Die grundlegenden Eigenschaften sollen orientierend dargestellt werden.

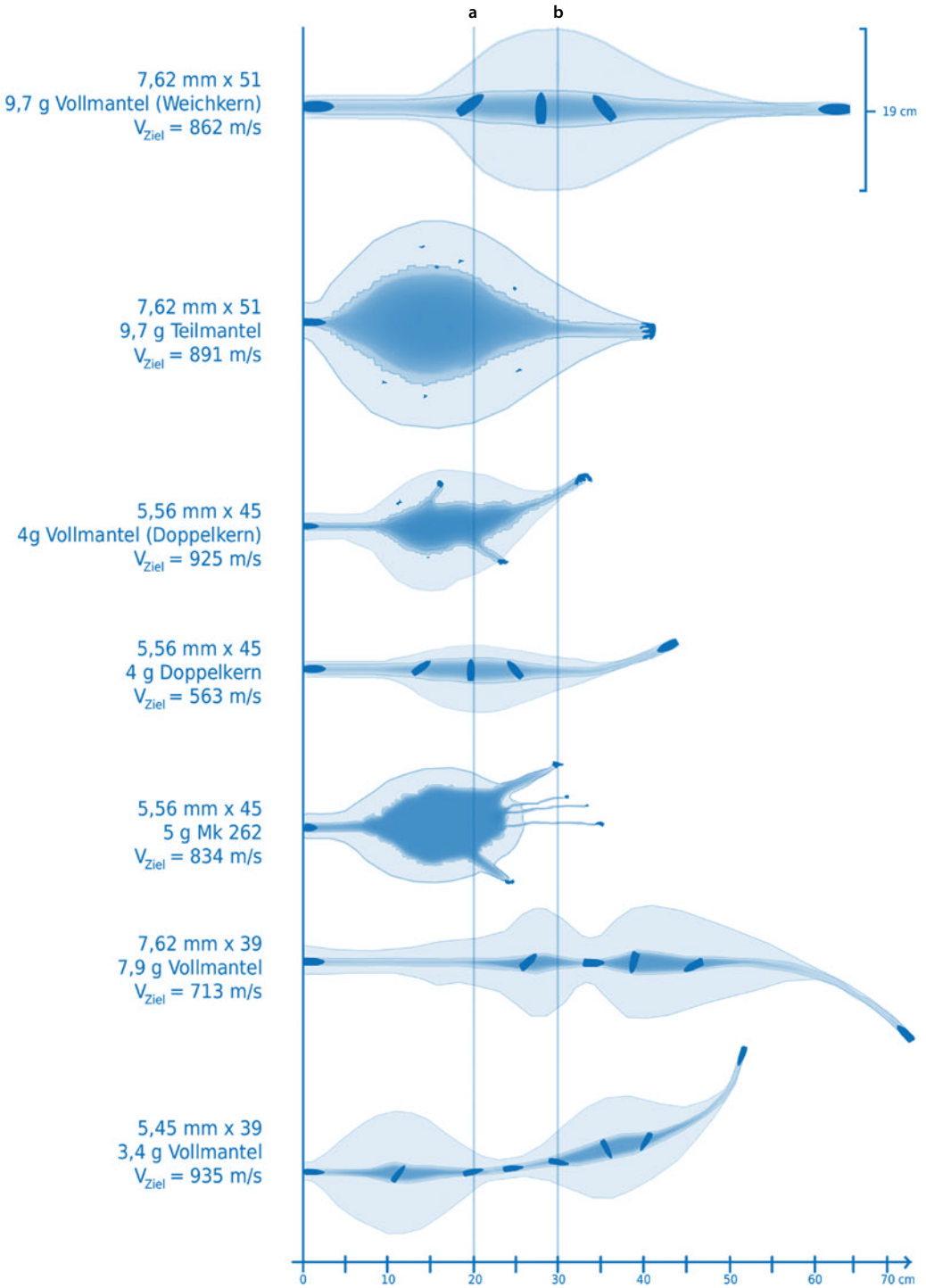
■ Abb. 9.5 zeigt die typische Wundballistik verschiedener Patronen.

9.3.1 Vollmantelgeschosse

Geschosse, deren Kern vollständig ummantelt oder lediglich am Heck offen ist, werden als Vollmantelgeschosse bezeichnet. Sie sind aufgrund der völkerrechtlichen Einschränkungen Standardgeschosse im militärischen Bereich, wurden früher aber auch durch die Polizei genutzt.

Für den Mantel werden Tombak, Stahl oder Flusseisen genutzt. Besteht der Kern aus Blei, spricht

man von Weichkerngeschossen. Ist der vordere Teil des Bleikerns durch einen die Durchschlagsleistung erhöhenden Stahlpenetrator ersetzt, handelt es sich um ein Doppelkerngeschoss. Ein panzerbrechender Kern, meist aus Wolfram, wird als Hartkerngeschoss bezeichnet. Am Heck können Brandsätze verbaut sein, die eine Leuchtspur erzeugen und somit den Flug des Geschosses besser verfolgbar machen. Alle Vollmantelgeschosse wirken im Sinne der Wundballistik grundsätzlich ähnlich.



■ **Abb. 9.5** Typische Wundkanäle verschiedener Geschosstypen und Büchsenpatronen. a: Extremitätendurchmesser (Oberschenkel), b: Rumpfdurchmesser (quer)

➤ **Brandsätze in Leuchtspurgegeschossen sind nicht auf externe Sauerstoffzufuhr angewiesen und brennen nach dem Verschließen über einen Zeitraum von 1 s auch im Körperinneren vollständig ab. Es ist daher mit Verbrennungen im Bereich des Schusskanals zu rechnen, insb. bei Steckschüssen.**

Vollmantelgeschosse können drei charakteristische **Wirkmuster** im Gewebe zeigen:

- richtungsstabile Penetration
- Taumeln
- Fragmentation

Richtungsstabile Penetration

Treffen Vollmantelgeschosse mit einem kleinen Gierwinkel auf das Ziel auf, durchdringen sie dieses anfangs richtungsstabil: es bildet sich der »narrow channel«. Tritt das Geschoss vor Beginn einer Drehung wieder aus, ist das Wundprofil meist eng um den Schusskanal herum begrenzt.

Taumeln

Die Drallgeschwindigkeit reicht – im Gegensatz zum Flug in der Luft – im Gewebe nicht aus, um das Geschoss ausreichend zu stabilisieren. Durch die einwirkenden Kräfte während der Penetration von Gewebe wird das Projektil stark abgebremst, wobei das Heck als Schwerpunkt des Geschosses nach vorne drängt: Das Geschoss taumelt über die Querachse. Dadurch vergrößert sich während der Drehung die Frontfläche erheblich, es kommt zur deutlichen Größenzunahme der temporären und permanenten Wundhöhle. Taumeln tritt häufig erst nach Strecken auf, die z. B. bei Extremitätentreffern kaum gegeben sind.

Für die vollständige Wendung bis zur Geschosslage mit Heck voraus werden ca. 30–40 cm Penetrationstiefe in muskelähnlichem Gewebe benötigt. Ausreichend lange Schusskanäle sind nur in Ausnahmefällen zu erreichen (z. B. bei Quer- oder Längsdurchschüssen des Rumpfes). Das Geschoss durchdringt das restliche Gewebe dann meist mit dem Heck voran. Dabei treten geringe Pendelbewegungen um die Längsachse auf. Je nach Lage des Geschosses beim Austritt aus dem Zielmedium entstehen unterschiedlich große Ausschüsse. Bei Querlage werden große Ausschusswunden verursacht,

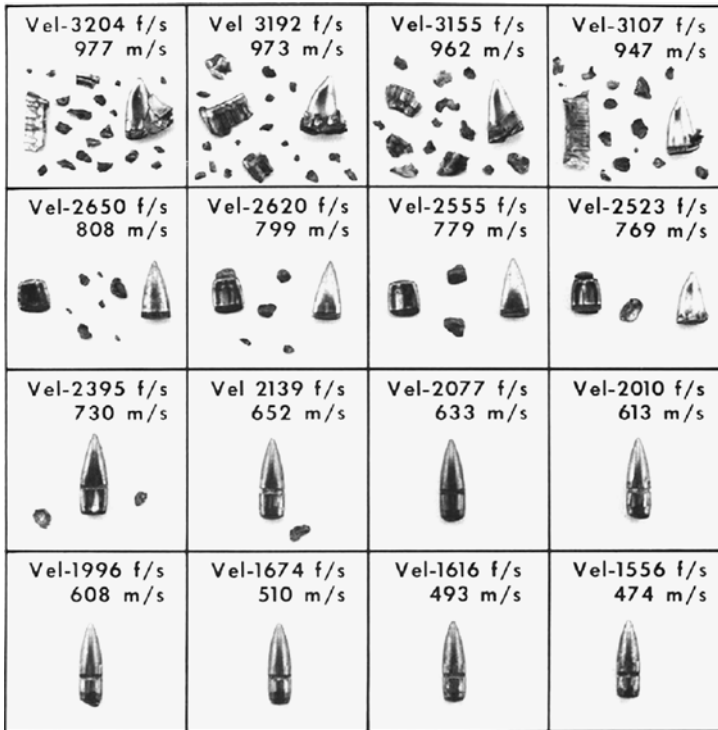
bei Austritt mit Heck voran eher kleine. Hierdurch wird die große Bandbreite an Ausschusswunden bei Vollmantelgeschossen verständlich.

Die Geschossverzögerung im Gewebe erreicht bei 90° Drehung ihr Maximum. Dementsprechend ist bei einer entsprechenden Penetrationstiefe durch die große Stirnfläche die Fragmentation am wahrscheinlichsten. Das zur Vietnamkriegszeit in der 5,56 × 5 verwendete M193-Geschoss zerlegte sich z. B. bei ausreichender Geschwindigkeit relativ zuverlässig nach Penetration von ca. 15 cm Muskelgewebe (»nicht formstabil«).

Fragmentation

Auch Vollmantelgeschosse können sich zerlegen, wenn sie mit hoher Geschwindigkeit auf formstabiles Gewebe auftreffen, besonders bei Knochen. Ein Zerschneiden (Fragmentation) bildet eine vergleichsweise große Wundhöhle. Durch die plötzliche Vergrößerung der Querschnittsfläche (Summe der Frontfläche aller Geschosssplitter) erfolgt die Energieübertragung konzentriert über eine kurze Penetrationsstrecke im Gewebe und richtet dort großen Schaden an. Die Splitter bewegen sich meist radiär außerhalb der eigentlichen Schusskanalrichtung und verletzen dabei ggf. abhängig von ihrer Größe, Form und Restenergie zusätzlich Gewebe. Dies erklärt die sehr unterschiedlichen, häufig stark abweichenden Verwundungsmuster.

Die Geschwindigkeit des Geschosses im Gewebe zum Zeitpunkt des Querstellens ist maßgeblich für die wirkenden Kräfte und wichtigster Parameter für die Wahrscheinlichkeit einer Geschossfragmentierung. Die durch den Geschossaufbau bedingte Strukturstabilität ist ein weiterer wesentlicher Faktor (dünnmantelige Geschosse platzen schneller als starkmantelige), nicht aber Kaliber oder Form. Gängige militärische Weichkerngeschosse, also Vollmantelbleikerngeschosse, fragmentieren fast nie unter einer Auftreffgeschwindigkeit von 600 m/s, aber meist bei über 800 m/s im Zielmedium (■ Abb. 9.6). Erste Einflüsse bei niedrigeren v_{Ziel} sind Deformationen des Geschosses, teils mit Tubeneffekt, also Bleiaustritt am offenen Heck. Bei höheren Auftreffgeschwindigkeiten kommt es dann zum Zerschneiden des Geschosses, was meist im Bereich der Kneif- oder Crimp-Rille als Sollbruchstelle geschieht. Doppelkerngeschosse verhalten sich



■ **Abb. 9.6** Deformation bzw. Zerlegung des 5,56 × 45 Geschosses M193 in Abhängigkeit von der Auftreffgeschwindigkeit. (Aus [1])

ähnlich. Ein weiterer wesentlicher Faktor für die Anfälligkeit des Geschosses für Fragmentierung ist die Dicke des Geschossmantels. Kleine, schnelle Geschosse mit dünnem Mantel sind besonders anfällig für Zerlegung. So fragmentierte das zur Zeit des kalten Krieges in Deutschland hergestellte Vollmantelgeschoss im Kaliber 7,62 schon bei niedrigeren Geschwindigkeiten als der NATO-Standard, da der Mantel im Bereich der Kneiffrille dünner gehalten war.

Ein hoher Widerstand des Zielgewebes erhöht die Wahrscheinlichkeit einer Zerlegung. Trifft ein »dünnhäutiges« VM-Geschoss beim Eindringen in den Thorax mit ausreichender v_{Ziel} , z. B. auf eine Rippe, zerlegt es sich regelhaft.

Die Patrone 5,56 mm × 25

Die zivil als .223 Remington bezeichnete Patrone ist vergleichsweise leistungsschwach. In Deutschland ist sie daher – trotz der gut wirksamen Jagdgeschosse – nur für die Jagd auf das ca. 20 kg schwere Rehwild zugelassen. Beim Men-

schen ist bei Verwendung von formstabilen Vollmantelgeschossen außerhalb direkt tödlicher Trefferzonen nur eine geringe zielballistische Wirkung zu erwarten. In direkten, intensiven Gefechten in Afghanistan hat sich diese Beobachtung bestätigt. Bei deutlich über 100 m betragenden Kampferfernungen erreichen die Geschosse kaum noch die kritische Geschwindigkeit, um fragmentieren zu können. Durch eine zunehmende Einführung des verkürzten G36K mit niedrigerer Mündungsgeschwindigkeit verschärft sich die Problematik: Beim G36 wird die für eine relativ verlässliche Fragmentierung notwendige Geschwindigkeit von 800 m/s ab einer Schussentfernung von 110 m unterschritten, beim G36K dagegen schon bei 50 m.

Die US-Streitkräfte führten bereits zu Beginn der Kriege im Irak und Afghanistan als Konsequenz ähnlicher Erfahrungen Hohlspitzgeschosse (z. B. Mk 262) zur Verwendung in Sturmgewehren ein. Durch die offene Spitze deformiert oder fragmentiert das Geschoss bei geringeren Geschwindigkeiten häufig einfacher. Die Verwendung ist nach der – von den USA nicht ratifizierten – Haager Landkriegsordnung von 1899 allerdings völkerrechtswidrig.

9.3.2 Deformationsgeschosse

Deformationsgeschosse sind so konstruiert, dass sie sich im Gewebe an der Spitze aufpilzen und dadurch bereits nach kurzer Penetrationsstrecke viel Energie auf das Zielgewebe übertragen. Sie sind größtenteils als Jagdgeschosse konstruiert, aber auch die neueren Generationen von Polizeigeschossen sind Deformationsgeschosse.

Bei klassischen Deformationsgeschossen, den Teilmantelgeschossen, umhüllt der Mantel nicht die Spitze des Geschosses. Der Bleikern liegt vorne frei. Moderne Deformationsgeschosse haben häufig eine Plastikspitze, die die Aerodynamik begünstigt und die Verformung einleitet. Teilweise werden Mantel und Kern chemisch verbunden (»bonding«), um die Trennung von Mantel und Kern zu verhindern und so mit hohem Restgewicht eine tiefe Penetration oder einen Ausschuss zu erzielen. Abhängig vom Widerstand des Zielmediums und der Auftreffgeschwindigkeit kommt es bei nahezu allen Teilmantelgeschossen meist zur Abtrennung von Splintern.

Bereits nach einem sehr kurzen »narrow channel« (nur wenige Zentimeter) wird durch den hohen Energietransfer eine Wundhöhle verursacht, deren maximaler Durchmesser nahe des Einschusses liegt. Bei Experimenten in Versuchsmitteln betrug ihr Durchmesser das bis zu 30fache des Geschossdurchmessers. Das verformte Projektil durchdringt das Treffermedium aufgrund des nach vorne verlagerten Schwerpunkts und der Schulterstabilisierung (eine nach vorne wandernde Kante der Frontfläche erzeugt einen höheren Widerstand und wird dadurch verzögert) relativ richtungsstabil und taumelt selten. Die Wundhöhle wird dabei durch das langsamer werdende Geschoss und den resultierenden niedrigeren Energieübertrag keilförmig immer kleiner.

Deformationsgeschosse zeigen das gewünschte Deformationsverhalten nur innerhalb eines bestimmten v_{Ziel} -Bereiches. Liegt die Auftreffgeschwindigkeit oberhalb dieses Bereiches, verformt sich das Geschoss stark und führt damit zu größerer Gewebeschädigung, aber auch zu einer deutlich verringerten Penetrationstiefe. Dies kommt insbesondere bei extrem kurzen Schussentfernungen vor. Liegt die Auftreffgeschwindigkeit unter dem vorgesehenen Bereich (z. B. durch weite Schussentfer-

nungen), deformiert das Geschoss nur schwach, der Geschossquerschnitt erhöht sich nicht in dem erwünschten Maße und der Energietransfer bleibt entsprechend kleiner.

9.3.3 Hohlspitzgeschosse

Bei Hohlspitzgeschossen befindet sich an der Geschossspitze eine Öffnung, die den Bleikern in der Tiefe freilegt. Aufgrund der guten Präzision wird es häufig beim Präzisionsschießen genutzt. Weist das Loch eine ausreichende Größe auf, dringt beim Auftreffen des Geschosses auf das Ziel Gewebe ins Geschoss und baut im Inneren der Geschossspitze einen erhöhten Druck auf, der letztlich zur unkontrollierten und schlecht vorhersehbaren Deformation oder Fragmentation führen kann. Hohlspitzgeschosse mit kleinen Öffnungen und starkem Mantel verhalten sich dagegen häufig wie Vollmantelgeschosse. Letztlich besteht eine große Bandbreite beim zielballistischen Verhalten von Hohlspitzgeschossen je nach ihrer spezifischen Konstruktion, der Auftreffgeschwindigkeit und dem Widerstand des Zielmediums.

Dum-Dum-Geschosse

Die ersten in der Patrone .303 British eingeführten Vollmantelgeschosse zeigten im 19. Jh. beim englischen Chitral-Feldzug in Afghanistan keine befriedigende Wirkung. Auf der Suche nach wirksamerer Munition wurden die ersten Hohlspitzgeschosse 1895 im Auftrag der britischen Kolonialtruppen in der Munitionsfabrik der indischen Stadt Dum Dum gefertigt. Das Geschoss zeigte eine erheblich bessere Wirkung beim Gegner. Die mit den »Dum-Dum-Geschossen« gemachten wundballistischen Erfahrungen führten aus ethischen Gründen aber letztlich zum Verbot von sich verformenden Geschossen in der Haager Landkriegsordnung von 1899.

9.3.4 Vollgeschosse

Voll- oder Monoblockgeschosse sind durchgehend aus einem Material (meist Kupferlegierungen) gefertigte Geschosse. Besonders stabile Geschosse (»solids«) deformieren im Ziel nicht und werden z. B. zur Großwildjagd eingesetzt.

Daneben gibt es auch Vollgeschosse aus Kupferlegierungen, die, abhängig von der Zähigkeit des

Metalls und der Konstruktion, deformieren oder sich zerlegen. Sie sind dann sinngemäß den Deformations- oder Zerlegungsgeschossen zuzuordnen. Häufig weisen sie eine Hohlspitze auf, die diese Prozesse einleitet. Durch ein hohes Restgewicht verfügen sie in den meisten Fällen über ein hohes Penetrationsvermögen. Vollgeschosse mit kontrollierter Deformation stellen zurzeit den Standard im Bereich der Polizeimunition dar (z. B. QD P.E.P., Action 4).

Eine im Sportschützenbereich gebräuchlich Variante sind Vollgeschosse aus Blei ohne Mantel, die insbesondere aus älteren, leistungsschwachen Kurzgewehren verschossen werden. Sie neigen aufgrund des weichen Materials zu starken, aber unkontrollierten Verformungen.

9.3.5 Zerlegungsgeschosse

Splittergeschosse sind im Aufbau so konstruiert, dass sie mit hoher Wahrscheinlichkeit auch bei normalen Auftreffgeschwindigkeiten zumindest partiell fragmentieren. Der Wundmechanismus entspricht dem der Fragmentation (s. dazu ▶ Abschn. »Fragmentation«). Ähnlich den Deformationsgeschossen öffnet sich die Wundhöhle aber bereits direkt hinter dem Einschuss.

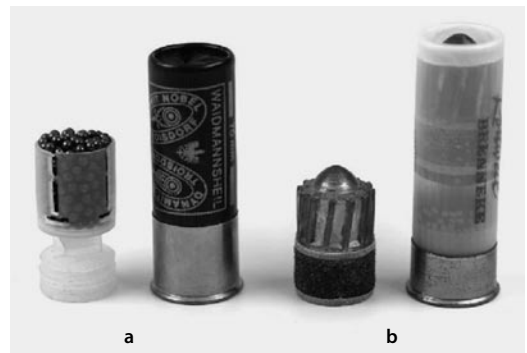
Splittergeschosse werden meistens zur Jagd genutzt. Besonders zerlegefreudige Geschosse mit sehr geringer Penetrationstiefe und minimaler Gefährdung durch Querschläger («frangibles») werden aber auch beim Übungsschießen auf Hartziele oder in besonders empfindlicher Umgebung (z. B. durch »sky marshals« in Flugzeugen) eingesetzt.

➤ **Geschosse, die in ihrer Flugbahn Hindernisse berühren, Deckung durchschlagen oder als Abpraller («Querschläger») abgelenkt werden, deformieren oder fragmentieren dabei meist oder weisen beim Auftreffen im Ziel hohe Gierwinkel auf. Abhängig von der kinetischen Restenergie kann es auch bei Vollmantelgeschossen wegen der von Beginn des Gewebekontakts an erhöhten Querschnittfläche zu erheblichen Gewebeerstörungen schon nach kurzer**

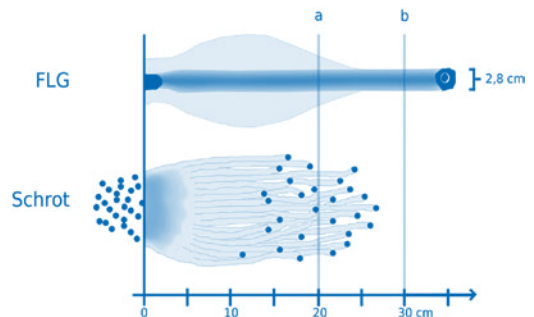
Eindringtiefe kommen. Besonders schnelle, leichte Geschosse zerlegen sich häufig schon beim Kontakt mit minimalen Hindernissen, wie z. B. Grashalmen oder kleinen Zweigen.

9.3.6 Flintenmunition

Aus Flinten wird meist Schrot verschossen, also eine Vielzahl kleiner Kugeln. Diese bestehen traditionell aus Blei, neuerdings aus Umweltschutzgründen auch aus anderen Metallen und haben einen Durchmesser von 1–9 mm (▣ Abb. 9.7). Verletzungen mit Schrot weisen trotz der geringen Geschwindigkeit (und der theoretischen Klassifizierung als Niedriggeschwindigkeitsverletzung) auf kurze Entfernungen in der Regel schwere Gewebeerstörung auf (▣ Abb. 9.8). Die Schrotkugeln verfügen zusammen



▣ **Abb. 9.7** Flintenpatronen: a Schrotpatrone und Schrotladung im Plastikbecher, b Patronen mit Brenneke-Flintenlaufgeschoss. (Aus [1], S. 52)



▣ **Abb. 9.8** Wundprofile von Flintenmunition. FLG: Flintenlaufgeschoss

über eine große Stirnfläche und verformen sich aufgrund des zumeist weichen Materials im Körper zusätzlich. Das größte Zerstörungspotenzial ist unmittelbar im Bereich des Einschusses und wird in der Tiefe rasch geringer. Die Penetrationstiefe ist im Regelfall gering, Ausschüsse sind nicht häufig. Auf Entfernungen von 3–5 m dringt die noch kompakt fliegende Schrotladung meist relativ tief ein. Frontale Schrotkörner werden beim Eindringen in den Körper teilweise von nachfolgenden im Sinne eines Billardeffekts zur Seite gedrängt, wodurch sich die Wundhöhle vergrößern kann. Über 10 m Schussdistanz kommt es durch das Auseinanderweichen der Schrotkörner zu multiplen Einschüssen mit geringerer Penetrationstiefe. Auf weitere Entfernungen verursacht Flintenmunition nur geringe Verletzungen, über 100 m hinaus ist bei der Verwendung von Schrot mit Ausnahme von Treffern in sensible Areale (z. B. Augen) keine gefährliche Verletzung mehr zu erwarten. Dies ist durch die erhebliche Verzögerung durch den Luftwiderstand bedingt. Als Faustregel gilt, dass die Schrotgröße in mm multipliziert mit 100 m einen sicheren Abstand zur Waffe ergibt.

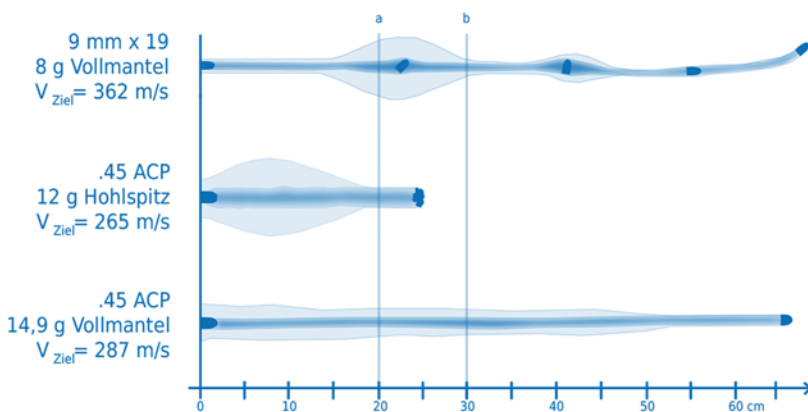
Spezielle Munition für Öffnungsverfahren an Türen (z. B. Zinkstaubpellets) zerlegt sich unmittelbar bei Widerstand, um Querschläger zu vermeiden. Sie zeichnen sich deswegen aber bei direkten Treffern auch durch eine massive Energieabgabe schon bei kurzer Eindringtiefe aus und verursachen auf kurze Entfernung erhebliche Gewebedefekte.

Sehr grobes Schrot mit einem Durchmesser von über 4,5 mm wird Posten, Sau-Roller oder englisch »buck shot« genannt. Hier stehen insbesondere auf Entfernungen von über 10–20 m die Wundprofile der einzelnen Kugeln im Vordergrund.

Flintenlaufgeschosse (»slugs«) sind einzelne aus Flinten verschossene Projektile, die einen großen Durchmesser und eine hohe Masse (30–40 g) bei niedriger Mündungsgeschwindigkeit haben (s. ■ Abb. 9.7). Sie bestehen meist aus Blei und sind nicht ummantelt, wodurch sie sich im Ziel verformen. Es entsteht in der Regel ein typisches Wundprofil von Niedriggeschwindigkeitsverletzungen (s. ■ Abb. 9.8).

9.3.7 Kurzwaffenmunition

Kurzwaffengeschosse sind in der Regel deutlich kürzer und weniger spitz konstruiert als Langwaffengeschosse. Dadurch kommt es auch bei einer Taumbewegung nicht zu wesentlich andersartigen Wundkanälen als bei Penetration entlang der Längsachse. Deformationsgeschosse für Kurzwaffen sind im Gegensatz zu Langwaffen meist als Hohlspitzgeschosse mit einer sehr tiefen und breiten Öffnung konstruiert. Sie sind in der Regel für den polizeilichen Einsatz mit einem optimalen Energietransfer bis Penetrationstiefen von 15–30 cm konstruiert und erzeugen nicht unerhebliche Wundhöhlen (■ Abb. 9.9).



■ **Abb. 9.9** Vergleich von Kurzwaffenpatronen. Bemerkenswert ist die erheblich größere temporäre und permanente Wundhöhlenbildung beim Hohlspitzgeschoss im Vergleich

zum Vollmantelgeschoss. **a:** Extremitätendurchmesser (Oberschenkel), **b:** Rumpfdurchmesser (quer)

9.4 Spezifische Wundballistik

Das Ausmaß der tatsächlichen Zerstörung ist gewebespezifisch. Neben der Gewebedichte, die maßgeblich die Effizienz der Übertragung kinetischer Energie beeinflusst, spielt auch die Elastizität, mit der Gewebe einer Wundhöhlenbildung folgen kann, eine Rolle. Luft im Gewebe ist komprimierbar und absorbiert so Teile der Druckwelle, während Flüssigkeiten nicht komprimierbar sind und daher die Druckwelle weiterleiten.

9.4.1 Extremitäten

Arme und Beine bestehen im Wesentlichen aus Haut, Muskel und Knochen. **Muskeln und Bindegewebe**, wie Haut, sind vergleichsweise dicht, aber elastisch. Hierdurch wird Energie absorbiert, das Ausmaß der Gewebeschädigung aber durch die Elastizität eingeschränkt. Häufig geht die Größe der permanenten Wundhöhle nicht wesentlich über den eigentlichen Schusskanal hinaus, da das Gewebe sich nach der temporären Wundhöhlenbildung wieder weitgehend zusammenzieht. Knochentreffer führen häufig zu einer erheblichen Vergrößerung der Gewebeerstörung.

Elastische Leitungsbahnen, z. B. **Gefäße und Nerven**, werden durch die Kavitation eher verdrängt, als dass Gewebe durch Zerreißung geschädigt wird. Nerven können durch die entstehende Kontusion auch bei struktureller Intaktheit zeitweise oder endgültig ausfallen, Gefäße einen äußerlich nicht sichtbaren Schaden an der Innenhaut mit resultierender Bildung eines Gefäßverschlusses erleiden. Verletzungen der Extremitäten sind in der Regel nur dann unmittelbar lebensbedrohlich, wenn es zu massiven oder länger anhaltenden Blutungen kommt.

9.4.2 Skelett

Knochen ist ein hartes und im Vergleich zu Muskulatur unelastisches Gewebe. Trifft ein Geschoss auf **Knochen** oder wird der Knochen durch die Kavitation erfasst, widersteht er solange einer Verformung, bis er bricht. Dabei entsteht in vielen Fällen eine

große Zahl von Knochensplintern, die häufig weit ins Gewebe versprengt werden und ggf. zusätzliche Schäden verursachen können. Meist kommt es bei einem auf Knochen treffenden Geschoss zur starken Deformation oder Fragmentation, wodurch sich die Gewebeerstörung erheblich vergrößern kann.

Beckenschussbrüche können stabil oder instabil sein und bringen immer das Risiko einer inneren Blutung mit sich. Schussverletzungen der Wirbelsäule führen häufig zu einer Schädigung des Rückenmarks.

9.4.3 Abdomen

Bauchhöhle und Beckenhöhle enthalten eine große Zahl von Organen, die bei Schussverletzungen durch die Wundhöhlenbildung betroffen sein können. Im Oberbauch liegen im Wesentlichen solide Organe wie **Leber, Nieren, Milz und Pankreas**. Sie ähneln in ihrer Dichte dem Muskelgewebe ohne dessen Elastizität aufzuweisen. Es kommt bei Schussverletzungen zu einem hohen Energieübertrag mit entsprechender Dehnung und Kompression. Im Gegensatz zum Muskelgewebe nähert sich die Größe der permanenten Wundhöhle der Größe der temporären erheblich mehr an. Wird die Organkapsel nicht zerstört, kehrt das geschädigte Gewebe aufgrund deren Elastizität meist wieder an die Ursprungslage zurück. Eine massive Gewebeerstörung bei wichtigen Organen endet meist tödlich.

Hohlorgane wie **Magen-Darm-Trakt und Harnblase** enthalten meist Flüssigkeit. Durch die fehlende Komprimierbarkeit wird Druck unmittelbar auf die Umgebung übertragen. Ist das Organ zum Zeitpunkt des Treffers prall gefüllt und gedehnt, kann es explosionsartig zerrissen werden. Bei einer mäßigen Füllung und geringeren Wandspannung werden Druckwellen dagegen deutlich besser toleriert. Große Blutgefäße verhalten sich grundsätzlich ähnlich. Enthalten Hohlorgane Luft, wie es bei Darm und Magen häufig der Fall ist, absorbiert diese durch ihre Komprimierbarkeit einen Teil der Druckwelle. Die Luft erweist sich somit gemeinsam mit der hohen Elastizität des Magen-Darm-Traktes als »Retter« und bedingt häufig erheblich geringere Schädigungen im Vergleich zu flüssigkeitsgefüllten Organen wie der Harnblase.

Schussverletzungen im Abdominalbereich haben eine sehr unterschiedliche Letalität. Werden größere Blutgefäße getroffen, ist eine präklinische Stabilisierung bis zum Erreichen chirurgischer Versorgung meist nicht mehr möglich. Auch die meist gut durchbluteten Organe können bei Verletzung zu lebensbedrohlichen intraabdominellen Blutverlusten führen. Häufig sind diese Strukturen bei abdominalen Treffern aber nicht unmittelbar beteiligt, sodass die Patienten auch Intervalle von teils deutlich mehr als einer Stunde bis zur chirurgischen Versorgung überleben können.

9.4.4 Thorax

Der Brustkorb enthält neben Atemwegen und Lunge auch Herz und große Gefäße sowie den Ösophagus als Teil des Gastrointestinaltraktes. Die **Lunge** ist bezogen auf das Volumen zu erheblichen Teilen luftgefüllt. Trifft die Druckwelle Lungengewebe, wird die darin befindliche Luft komprimiert. Sie absorbiert so einen Teil der übertragenen Energie und begrenzt die Größe der Wundhöhle. In Kombination mit der hohen Elastizität des Lungengewebes ergeben sich somit meist deutlich geringere Wundprofile im Lungengewebe als in allen anderen Gewebearten. Trifft das Projektil allerdings beim Einschuss auf Rippen oder Schulterblatt, kommt es durch Deformation oder Fragmentierung meist zu einem erheblich größeren Energieübertrag auf das dahinter liegende Gewebe.

Bedeutsamer als die unmittelbare Verletzung von Lungengewebe ist die Beeinträchtigung der Atmung durch Verursachung eines Pneumothorax oder Spannungspneumothorax. Auch die Verletzung von Gefäßen an der Thoraxinnenwand kann zu erheblichen Blutverlusten in den Brustkorb hinein führen. Werden **Herz oder große Gefäße** bei praller Füllung mit Blut von einem Geschoss mit hoher Geschwindigkeit getroffen, kann es zu tödlichen Organzerreißen führen. Diese ist im Wesentlichen auf die fehlende Komprimierbarkeit des Blutes zurückzuführen, das die auftretenden Druckwellen explosionsartig weiterleitet. In der Diastole kann es dagegen auch bei direkten Treffern eher zu umschriebener Gewebeerstörung kommen, weil das entspannte, wenig gefüllte Herz De-

nungsreserven aufweist. Myokardtreffer mit geringer Gewebeerstörung tamponieren sich teilweise während der Systole selbst. Der unmittelbare Blutverlust ist dann kurzfristig überlebbar, es droht aber eine Perikardtamponade.

➤ **Grundsätzlich haben Patienten mit ausgedehnten Thoraxverletzungen unter Beteiligung großer Gefäße eine schlechte Prognose und versterben häufig unrettbar vor Erreichen einer chirurgischen Versorgung.**

9.4.5 Kopf

Dringt ein Projektil in den Kopf ein, entsteht aufgrund des inflexiblen knöchernen Schädels eine Kompressionswirkung über die verursachten Druckwellen. Häufig wird durch die Beteiligung des Hirnstamms ein Atemstillstand ausgelöst. Bei einer ausreichend hohen übertragenen Energie kann der Schädel durch die hydrodynamische Sprengwirkung zerbersten. Geschosse mit niedriger Energie können häufig keinen Ausschuss mehr erzielen und prallen innerhalb des Schädels mehrfach ab oder gleiten an der Innenseite des Schädels entlang. Hierdurch wird ein erheblicher Schaden im Bereich der stark vaskularisierten Hirnhäute verursacht. Der Effekt tritt insbesondere bei sog. Kleinkaliberpatronen auf, z. B. .22 lFB.

Schussverletzungen im Bereich des Gehirnschädels haben eine schlechte Prognose. Bei Schussverletzungen im Mittelgesichtsbereich ohne zerebrale Beteiligung und im Halsbereich stehen meist Blutungen und Beeinträchtigungen der Atemwege im Vordergrund. Darüber hinaus kommt es bei Halstreffern häufig zu einer Mitbeteiligung der HWS.

9.4.6 Infektion

Durch den bei der Bildung der temporären Wundhöhle entstehenden Unterdruck werden Fremdkörper mit entsprechender Besiedelung durch Krankheitserreger in den Schusskanal hineingezogen (Kleidungsfasern, Schmutz, Hautpartikel). Auch die Geschossoberfläche ist grundsätzlich kontaminiert,

eine Sterilisation im Lauf durch Reibungshitze und Druck erfolgt nicht.

Krankheitserreger aller Art finden im avitalen oder minderperfundierten zerklüfteten Gewebe mit zahlreichen Wundtaschen optimale Wachstumsbedingungen. Neben den üblichen Haut-, Feucht- und Erdkeimen sind insbesondere Gasbranderreger aufgrund des rasch fortschreitenden dramatischen Krankheitsverlaufes und der schwierigen Therapie gefürchtet. Perforationsverwundungen von Gastrointestinal- und Urogenitaltrakt führen zu einer Verschleppung der Fäkalflora in die Bauchhöhle mit nachfolgender Peritonitis.

9.4.7 Ein- und Ausschuss

Die verursachende Patrone und der verwendete Geschosstyp können ebenso wie Ein- und Ausschusswunde und deren gedachte Verbindung im Körper Hinweise auf das zu erwartende Wundprofil geben.

In der wundballistischen Lehre sind Einschusswunden je nach Auftreffwinkel rund oder oval mit nach innen gezogenen Wundrändern, während Ausschusswunden einen größeren Durchmesser mit häufig sternförmig eingerissenen, nach außen ragenden Wundrändern aufweisen.

Diese Regel trifft in den meisten Fällen zu, insbesondere bei Deformationsgeschossen. Ausschusswunden sind aber nicht immer zwingend größer als Einschusswunden. Bei fragmentierenden Geschossen kann es vorkommen, dass lediglich ein Splitter einen Ausschuss verursacht, der kleiner ist als der Einschuss. Bei einer sehr hohen v_{Ziel} (>1200 m/s) können Geschossteile und Gewebe sogar entgegen der Schussrichtung nach außen gesprengt werden, was die Einschusswunde wie eine Ausschusswunde wirken lässt. Einschusswunden sind durch die Elastizität der Haut meist kleiner als der Geschossdurchmesser. Letztlich ist die Unterscheidung zwischen Ausschuss und Einschuss für die präklinische Versorgung ohne wirkliche Relevanz.

Desweiteren sind Ein- und Ausschuss nicht unbedingt durch einen geraden Schusskanal verbunden. Geschosse oder Fragmente können von der eigentlichen Schussachse stark abweichen. Insbesondere bei Knochentreffern können das Geschoss oder seine Splitter die Richtung bis zu 180° ändern.

Formstabile, schwere Geschosse neigen weniger zu Richtungsänderungen im Körper als schnelle fragmentierende Geschosse. Mit irregulär verlaufenden Schusskanälen sollte gerechnet werden und die körperliche Untersuchung entsprechend sorgfältig erfolgen. Bei Verletzungen oberhalb des Bauchnabelniveaus ist immer auch eine thorakale Verletzung auszuschließen, bei Verletzungen unterhalb der Brustwarzen liegt in 70 % der Fälle auch eine Beteiligung der abdominalen Höhle vor.

9.5 Letalität von Schussverletzungen

Geschosse besitzen keine mechanische Aufhaltekraft. Der größtmögliche Impuls des Geschosses löst keinen merklichen mechanischen Einfluss im Sinne eines »Umwurfens« des Zieles aus.

Der sofortige Tod wird, unabhängig von der verwendeten Munition, nur durch Treffer im Bereich des Mittel- und Kleinhirns oder oberen Hirnstamms bewirkt. Dieser Effekt kann z. B. bei Geiselfreiungen wünschenswert sein.

Innerhalb von Sekunden bis wenigen Minuten können Verletzungen letal sein, die durch Gewebezerstörung eine rasche zerebrale Minderperfusion bedingen. Dabei ist von Treffern, die den unmittelbaren Zusammenbruch der Hirnversorgung verursachen (z. B. Aorta), eine Wirkung innerhalb von Sekunden zu erwarten, während Einschränkungen der kardialen Pumpfunktion durch Treffer mit massiver Zerstörung des Herzmuskels oder Herzklappensystems zumeist innerhalb von Sekunden bis Minuten zu Handlungsunfähigkeit, Bewusstlosigkeit und Tod führen. Größere Gewebeschäden bei stark perfundierten Organen wie Leber, Nieren und Milz oder die Zerstörung von mittelgroßen Blutgefäßen bedingen meist innerhalb von wenigen Minuten einen ausgeprägten hämorrhagischen Schock.

Die Auswirkungen auf das Ziel sind letztlich in erster Linie abhängig von den beteiligten Organen. Ein Treffer mit einem $9 \text{ mm} \times 19$ -Vollmantelgeschoss in den Aortenbogen bewirkt erheblich schwerere Verletzungen als ein Streifschuss mit einem $7,62 \text{ mm} \times 67$ -Teilmantelgeschoss am Oberarm. Auch ein sehr niedriger Energietransfer ins Gewebe kann tödlich sein, wenn wichtige Organe

betroffen sind. Je größer die verursachte Wundhöhe ist, umso höher ist aber die Wahrscheinlichkeit, dass auch Treffer ohne direkte Beteiligung von lebenswichtigen Organen letztlich lebensbedrohliche Wirkung haben. Maßgeblich ist also neben dem unmittelbaren Treffersitz auch ein möglichst hoher Energietransfer über die Penetrationsstrecke (Zerstörungspotenzial genannt): Geschosse mit hoher kinetischer Energie, die diese aber im Körper nicht abgeben können, hinterlassen geringere Wirkung im Ziel als solche mit geringerer kinetischer Energie, aber einem frühen Energietransfer noch während der Penetration des Ziels. Neben dem Zerstörungspotenzial ist die Penetrationstiefe maßgeblich für die Letalität. Erst eine Penetrationstiefe von zumindest 30 cm ist ausreichend, um auch bei lateralen Treffern mit Oberarmdurchschuss wichtige anatomische Strukturen mit hoher Wahrscheinlichkeit schädigen zu können.

- Otten E, Mohler D (2007) Hunting and Other Weapon Injuries. In: Auerbach P (Hrsg) *Wilderness Medicine*. 5th ed, Mosby/Elsevier, Philadelphia
- Rosenberger M (2007) *Jagdgeschosse. Aufbau, Zielverhalten, Verwendung*. 1. Auflage, Motorbuch Verlag, Stuttgart
- U.S. Department of Justice. Federal Bureau of Investigation (1989) *Handgun Wounding Factors and Effectiveness*. FBI Academy, Quantico
- Wedmore I, McManus J (2009) Penetrating and Explosive Wounds. In: Bledsoe G, Manyak M, Townes D (Hrsg) *Expedition & Wilderness Medicine*. Cambridge University Press, New York
- Wound Data and Munitions Effectiveness Team. The WDMET Study. 1970. Original data are in the possession of the Uniformed Services University of the Health Sciences, Bethesda, MD 20814–4799

9.6 Literatur

- [1] Kneubuehl BP, Coupland RM, Rothschild MA, Thali MJ (2008) *Wundballistik. Grundlagen und Anwendungen*. 3. Auflage, Springer Medizin Verlag Heidelberg

9.6.1 Weiterführende Literatur

- Borden Institute (2004) *Emergency War Surgery* Walter Reed Medical Center, Washington DC
- De Lorenzo RA, Porter RS (1999) Injury Mechanisms from Conventional Weapons. In: De Lorenzo RA, Porter RS (Hrsg) *Tactical Emergency Care. Military and Operational Out-of-Hospital Medicine*. Brady Verlag, Upper Saddle River, USA, S 29–46
- Fackler ML (1987) What's wrong with the wound ballistics literature, and why. Institute Report No. 239. Letterman Army Institute of Research, Presidio of San Francisco
- Kobbe P, Pape HC (2008) Penetrierende Verletzungen. *Notfall Rettungsmed* 11:141–151
- Kollig E (2009) Empfehlungen für die Versorgung von Schussverletzungen im Einsatz. Teil I: Grundwissen Ballistik. *Wehrmed. Mschr.* 53:210–216
- Mahoney PF, Ryan JM, Brooks AJ, Schwab CW (2005) *Ballistic Trauma. A Practical Guide*. 2. Auflage, Springer-Verlag London
- Miclau T, Gerich T, Foglar C, Lindesy RW, Krettek C (2002) Behandlung von Schussverletzungen des Bewegungsapparates. *Unfallchirurg* 105:188–198



<http://www.springer.com/978-3-642-20696-2>

Taktische Medizin

Notfallmedizin und Einsatzmedizin

Neitzel, C.; Ladehof, K. (Hrsg.)

2012, XXXVI, 508 S. 180 Abb., 11 Abb. in Farbe.,

Hardcover

ISBN: 978-3-642-20696-2