

Beat P. Kneubuehl (Hrsg.)

Robin M. Coupland

Markus A. Rothschild

Michael J. Thali

**Wundballistik**

Grundlagen und Anwendungen

**3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage**

Beat P. Kneubuehl (Hrsg.)  
Robin M. Coupland  
Markus A. Rothschild  
Michael J. Thali

# Wundballistik

Grundlagen und Anwendungen

3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage

Mit 234 Abbildungen und 107 Tabellen

 Springer

**Beat P. Kneubuehl, Dr. sc. forens., Dipl.-Math.**  
Leiter Zentrum für Forensische Physik/Ballistik  
Institut für Rechtsmedizin der Universität Bern  
Bühlstr. 20, 3012 Bern, Schweiz

**Markus A. Rothschild, Prof. Dr. med.**  
Direktor des Instituts für Rechtsmedizin  
Klinikum der Universität zu Köln  
Melatengürtel 60-62, 50823 Köln, Deutschland

**Robin M. Coupland, MD**  
ICRC, Legal Division  
19, ave. de la Paix, 1202 Genève, Schweiz

**Michael J. Thali, Prof. Dr. med.**  
Direktor des Instituts für Rechtsmedizin  
der Universität Bern  
Bühlstr. 20, 3012 Bern, Schweiz

Übersetzung von Kapitel 6 aus dem Englischen:  
Stephan Bolliger, Dr. med.  
Institut für Rechtsmedizin der Universität Bern  
Bühlstr. 20, 3012 Bern, Schweiz

Die 2. Auflage erschien unter dem Titel  
K. Sellier, B.P. Kneubuehl: Wundballistik und ihre ballistischen Grundlagen

### **ISBN 978-3-540-79008-2 Springer Medizin Verlag Heidelberg**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

### **Springer Medizin Verlag**

[springer.de](http://springer.de)

© Springer Medizin Verlag Heidelberg 1992, 2001, 2008

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Produkthaftung: Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag keine Gewähr übernommen werden. Derartige Angaben müssen vom jeweiligen Anwender im Einzelfall anhand anderer Literaturstellen auf ihre Richtigkeit geprüft werden.

Planung: Hinrich Küster

Projektmanagement: Meike Seeker

Einbandgestaltung: deblik Berlin

Einbandphoto: photos.com

Satz: Druckfertige Vorlage vom Herausgeber

SPIN 12029228

Gedruckt auf säurefreiem Papier 2126 – 5 4 3 2 1 0

## Vorwort zur 3. Auflage

Dieses nun bereits in der dritten Auflage erscheinende Buch über die Physik und Ballistik der Schussverletzung (die physikalische Wundballistik) trägt neu einen etwas abgewandelten Titel. Damit wollen Herausgeber und Verlag der Tatsache gerecht werden, dass in diesem Fachgebiet seit dem Erscheinen der 2. Auflage ein deutlicher Wandel stattgefunden hat. Die beiden ersten Auflagen haben in erster Linie die Phänomenologie des Geschossverhaltens im Körper eines Lebewesens behandelt und versucht, diese in entsprechenden physikalischen Modellvorstellungen darzustellen. Parallel dazu wurde ein System von Simulanzen aufgebaut, mit denen Schussverletzungen experimentell simuliert werden können.

In den Jahren seit der letzten Auflage stand die wundballistische Forschung vielmehr im Zeichen der Bestätigung und der Anwendung. Die gewonnenen Erkenntnisse ließen sich bereits in vielen forensischen und chirurgischen Fragestellungen erfolgreich anwenden. Sowohl die physikalischen Modelle als auch die experimentelle Simulation von Schussverletzungen mit Hilfe von Simulanzen haben sich bisher bewährt. Dementsprechend haben sich auch die Schwerpunkte dieser Monografie in Richtung Praxis und Anwendung verschoben.

Die früher auf zwei Kapitel verteilte Einführung in die physikalischen, munitionstechnischen und ballistischen Grundlagen wurde in ein Kapitel zusammengefasst und die auf drei Kapitel verteilte spezielle Wundballistik der Kurz- und Langwaffen sowie der Splitter in einem vereint. Dies schaffte Platz für drei der Anwendung gewidmete Kapitel: der Wundballistik in der Rechtsmedizin, in der Chirurgie und im Bereich der Internationalen Abkommen. Für die Themen Chirurgie und Rechtsmedizin konnten in Dr. Robin Coupland, langjähriger Chefchirurg des IKRK (Internationales Komitee des Roten Kreuzes), in Prof. Dr. med. Markus Rothschild, Direktor des Instituts für Rechtsmedizin in Köln und in Prof. Dr. med. Michael Thali, Direktor des Instituts für Rechtsmedizin in Bern drei namhafte und kompetente Mitautoren gewonnen werden.

Die sogenannten «nicht-letal» Geschosse haben im Verlauf der letzten Jahre nicht nur im polizeilichen, sondern auch im militärischen Bereich sehr stark an Bedeutung gewonnen. Dies war Grund genug, auf diese Geschossgattung sowohl ballistisch als auch bezüglich der Wirksamkeit in einem eigenen Abschnitt einzugehen.

Im Tabellenteil wurden die ballistischen Daten einiger Sportwurfkörper aufgenommen, welche im Zusammenhang mit Sportunfällen bedeutsam sein können.

Die Bearbeitung eines derart interdisziplinären Gebiets, wie es die Wundballistik darstellt, erfordert immer wieder einen intensiven Erfahrungs- und Gedankenaustausch. Ich danke dem Institut für Rechtsmedizin der Universität Bern unter der Leitung von Prof. Dr. med. Michael Thali und Prof. Dr. med. Ulrich Zollinger für die fortwährende, gute Unterstützung. Dr. med. Robin Coupland und Dr. med. Wolfgang Titius haben mit ihrer großen chirurgischen Erfahrung sehr viel zum Gelingen des Konzepts der experimentellen Simulation von Schussverletzungen beigetragen. Dr. med. Ulrich Stoller danke ich für die vielen Anregungen und Hinweise zu medizinischen Fragen.

Das von Dr. Robin Coupland in Englisch verfasste 6. Kapitel wurde von Dr. med. Stephan Bolliger in die deutsche Sprache übersetzt. Ihm sei für diese ausgezeichnet ausgeführte Arbeit herzlich gedankt.

Dr. Christoph Simon der Firma Gelita überprüfte und verbesserte in verdankenswerter Weise den Abschnitt über die Eigenschaften und die Herstellung der Gelatine.

Für eine gründliche und sachverständige Durchsicht des Manuskriptes durfte ich einmal mehr auf Ueli Geiger, Rüti (Zürich), zählen. Ganz besonders danke ich auch meiner Frau für sehr viel Geduld während der Entstehung dieses Werkes und für die gewissenhafte sprachliche Prüfung des Textes.

Ein weiterer Dank geht an die armasuisse, Wissenschaft und Technologie für die Bewilligung, Abbildungen verwenden zu dürfen. Dem Springer-Verlag sei für die sehr angenehme Zusammenarbeit und die hervorragende Ausstattung des Werkes herzlich gedankt.

Thun, im März 2008

Der Herausgeber:

Beat P. Kneubuehl

## Aus dem Vorwort zur 2. Auflage

Seit dem Erscheinen der 1. Auflage dieses Werks vor 8 Jahren hat sich im weitläufigen Bereich der Wundballistik einiges getan. So kristallisierten sich in der Forschung zwei Richtungen heraus: Das Schwergewicht der einen liegt bei den medizinisch-biologischen Folgen einer Schussverletzung („biological effects“), die andere befasst sich hauptsächlich mit den physikalisch-ballistischen Fragen, die sich bei der Wechselwirkung von Geschoss und Körper stellen („wounding mechanism“).

Dieses Buch behandelt – wie schon die 1. Auflage – vor allem die physikalischen und ballistischen Probleme der Wundballistik. Auf diesem Gebiet wurden in den letzten Jahren einige wesentliche Fortschritte erzielt. Zum einen ist dies auf die Entwicklung neuer Simulanzen zurückzuführen, die es erlauben, neben den weichen Geweben auch Knochen, Haut und neuerdings Blutgefäße nachzubilden. Andererseits hat das optische Erfassen schneller Vorgänge enorme Fortschritte gemacht. Ereignisse, die sich in Bruchteilen von Mikrosekunden abspielen, lassen sich heute direkt betrachten. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, mit experimenteller Simulation Einsichten in dynamische Abläufe zu gewinnen (z. B. der Knochenschuss), die sich früher einer direkten Beobachtung entzogen. Die gewonnenen Erkenntnisse führten zu einer Überarbeitung der Phänomenologie der Schussverletzung.

Splitter gelten in der Kriegschirurgie noch immer als eine der häufigsten Verletzungsursachen. Infolge einer merklichen Zunahme an Bomben- und Handgranatenanschlägen im zivilen Umfeld treten sie auch in der Rechts- und Notfallmedizin immer häufiger auf. Dies war Grund genug, ein Kapitel über die Wundballistik der Splitter in die Neuauflage aufzunehmen und die Abschnitte Ballistik, Waffen und Munition entsprechend zu ergänzen. Ebenfalls aus aktuellem Anlass (Auftreten von Verletzungen durch Gasstrahlen aus Raketentriebwerken und Schreckschusswaffen) wurden Abschnitte über die Physik der Fluidstrahlen und deren projektilähnliches Verhalten hinzugefügt.

Im Verlauf der Zeit hat sich eine ansehnliche Menge englischer und französischer Fachausdrücke der Ballistik, Waffen- und Munitionskunde und Wundballistik angesammelt, die in der Regel in den Wörterbüchern nicht zu finden sind. Sie sind im Anhang zusammengestellt.

Thun, im März 2000

B. P. Kneubuehl

## Aus dem Vorwort zur 1. Auflage

Sechs internationale Symposien über Wundballistik sind vorübergegangen. Viele der ständigen Besucher hatten und haben den Eindruck gewonnen, dass die mechanischen Grundlagen der Wundballistik im Wesentlichen erforscht sind und verstanden werden, dass aber noch viele biologische Erscheinungen und die Reaktionen auf das mechanische Trauma der Erklärung bedürfen.

So lag es nahe, das bisher Erreichte und Erforschte, nämlich das Verständnis für die mechanischen Abläufe, einmal umfassend darzustellen und auf das noch nicht Erforschte hinzuweisen, gewissermaßen eine Marschrichtung aufzuzeigen.

Es ist das Verdienst der schwedischen Forschergruppe unter ihrem Generalsekretär Bo RYBECK, die oben erwähnten Symposien ins Leben gerufen zu haben unter dem Motto:

«To create an inter-disciplinary forum for the exchange of knowledge regarding the wounding mechanisms and the biological effects of missile trauma.»

Das 1. Internationale Symposium fand 1975 in Göteborg statt, weitere am gleichen Ort folgten 1977, 1978, 1981 und 1985. Das 6. Internationale Symposium wurde 1988 von China in Chongqing ausgerichtet, der Austragungsort des 7. Symposiums ist noch nicht bekannt.

Obwohl die Wundballistik ein kleines Gebiet darstellt, erfordert es doch umfassende Kenntnisse in Mechanik, Ballistik, Waffenkunde, allgemeiner Medizin, Physiologie, Neurologie, Traumatologie, um nur die hauptsächlichen Teilgebiete aufzuzählen.

Wir hoffen, ein umfassendes und – hoffentlich – verständliches Buch geschrieben zu haben. Aber ohne einen gewissen mathematischen Aufwand lassen sich die physikalischen Vorgänge nun einmal nicht beschreiben. Die meisten Gleichungen sind mit den auf der Oberschule erworbenen Kenntnissen ohne Schwierigkeiten zu verstehen. Wir meinen aber, dass selbst beim Überlesen der Gleichungen das Verständnis nicht leidet, weil der Sachverhalt auch in Worten erläutert wird.

Bonn / Thun, Ende 1992

K. Sellier    B. Kneubuehl

# Inhaltsübersicht

<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b> .....	<b>3</b>
	<i>Beat P. Kneubuehl</i>	
2.1	Physikalische Grundlagen der Wundballistik .....	3
2.2	Munitions- und waffentechnische Grundlagen .....	35
2.3	Ballistik.....	69
<b>3</b>	<b>Allgemeine Wundballistik</b> .....	<b>91</b>
	<i>Beat P. Kneubuehl</i>	
3.1	Einführung.....	91
3.2	Die Vorgänge im Schusskanal; temporäre Höhle .....	99
3.3	Simulanzen .....	143
3.4	Andere Simulationsmöglichkeiten .....	162
<b>4</b>	<b>Wundballistik der Geschosse und Splitter</b> .....	<b>171</b>
	<i>Beat P. Kneubuehl</i>	
4.1	Zur Wirksamkeit von Geschossen.....	171
4.2	Wundballistik der Kurzwaffengeschosse .....	195
4.3	Wundballistik der Langwaffengeschosse .....	223
4.4	Wundballistik der Splitter.....	244
4.5	Die sogenannten «nicht-letalen» Geschosse .....	253
<b>5</b>	<b>Wundballistik in der Rechtsmedizin</b> .....	<b>267</b>
5.1	Klassische Rechtsmedizin .....	267
	<i>Markus A. Rothschild</i>	
5.2	Moderne bildgebende Verfahren .....	304
	<i>Michael J. Thali</i>	
5.3	Experimentelle Rekonstruktion .....	310
	<i>Beat P. Kneubuehl, Michael J. Thali</i>	
<b>6</b>	<b>Wundballistik und Chirurgie</b> .....	<b>322</b>
	<i>Robin M. Coupland</i>	
6.1	Die historische Verbindung zwischen Wundballistik und Chirurgie .....	322
6.2	Wundballistik und ballistisches Trauma: Worin besteht der Unterschied? .....	323
6.3	Vergleich simulierter und realer Schussverletzungen .....	324
6.4	Klinische Aspekte realer Verletzungen .....	330



6.5 Beitrag der Wundballistik zur Versorgung schussverletzter Personen ...	331
6.6 Die Dokumentation ballistischer Traumen.....	336
<b>7 Wundballistik und internationale Abkommen.....</b>	<b>341</b>
<i>Beat P. Kneubuehl</i>	
7.1 Einleitung .....	341
7.2 Historische Entwicklung von Waffen und Munition.....	341
7.3 Internationale Abkommen .....	355

## Anhang

<b>A Tabellen.....</b>	<b>365</b>
A.1 Übersicht über die Tabellen im Text .....	365
A.2 Materieeigenschaften.....	367
A.3 Kaliberbezeichnungen .....	368
A.4 Ballistische Daten von Patronen.....	370
A.5 Bezeichnungen bei Geschossen.....	375
A.6 Geometrische Daten ausgewählter Geschosse .....	376
A.7 Dralllängen, Drallwinkel und Drehzahlen.....	377
A.8 Schusstafeln.....	379
A.9 Flinten und Schrot .....	398
<b>B Fachwörterbuch .....</b>	<b>401</b>
B.1 Deutsch – Englisch – Französisch .....	401
B.2 Englisch – Deutsch – Französisch .....	419
B.3 Französisch – Deutsch – Englisch .....	439
<b>C Literaturverzeichnis.....</b>	<b>457</b>
Abbildungsnachweise .....	480
<b>Sachverzeichnis .....</b>	<b>481</b>

# Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Formelzeichen.....	XXI
SI-Vorsätze für dezimale Teile oder Vielfache von Einheiten .....	XXV
Umrechnung von Einheiten .....	XXV
<b>1 Einführung.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen.....</b>	<b>3</b>
2.1 Physikalische Grundlagen der Wundballistik .....	3
2.1.1 Vorbemerkung.....	3
2.1.2 Bezugs- und Maßsysteme, Notation .....	3
2.1.3 Mechanik.....	4
2.1.3.1 Kinematik, lineare Bewegungen .....	4
2.1.3.2 Masse, Impuls, Kraft.....	7
2.1.3.3 Arbeit und Energie.....	8
2.1.3.4 Drehbewegungen .....	10
2.1.3.5 Erhaltungssätze .....	12
2.1.3.6 Bewegungsgleichungen .....	13
2.1.4 Fluiddynamik .....	15
2.1.4.1 Allgemeines .....	15
2.1.4.2 Thermodynamische Grundbegriffe .....	16
2.1.4.3 Materieeigenschaften .....	19
2.1.4.4 Reibungsfreie Strömungen.....	22
2.1.4.5 Strömungen mit Reibung .....	24
2.1.5 Fluidstrahlen.....	27
2.1.5.1 Allgemeines .....	27
2.1.5.2 Ausströmen aus Mündungen.....	27
2.1.5.3 Laval-Düsen .....	29
2.1.5.4 Geschwindigkeits- und Energieverlauf im Strahl .....	30
2.1.6 Zur Messtechnik in der Wundballistik .....	31
2.1.6.1 Allgemeines .....	31
2.1.6.2 Dynamische Vorgänge.....	32
2.1.6.3 Physikalische Maßzahlen .....	34
2.2 Munitions- und waffentechnische Grundlagen .....	35
2.2.1 Einleitung .....	35
2.2.2 Munition.....	36

---

2.2.2.1	Bauteile einer Patrone .....	36
2.2.2.2	Munitionsarten .....	44
2.2.2.3	Knall- und Reizstoffkartuschen .....	55
2.2.2.4	Splitterbildende Munition .....	57
2.2.3	Waffen .....	59
2.2.3.1	Allgemeiner Aufbau und Einteilung der Schusswaffen...	59
2.2.3.2	Kurzwaffen .....	63
2.2.3.3	Langwaffen .....	65
2.2.3.4	Schreckschusswaffen .....	69
2.3	Ballistik .....	69
2.3.1	Definitionen .....	69
2.3.2	Innenballistik .....	70
2.3.2.1	Allgemeines .....	70
2.3.2.2	Der Pulverabbrand .....	71
2.3.2.3	Die Schussentwicklung .....	72
2.3.2.4	Innenballistische Rechnungen .....	72
2.3.2.5	Energiebilanz .....	73
2.3.3	Die Vorgänge an der Mündung .....	74
2.3.3.1	Strömung der Pulvergase .....	74
2.3.3.2	Feuererscheinungen .....	75
2.3.4	Außenballistik .....	76
2.3.4.1	Allgemeines, Bezeichnungen .....	76
2.3.4.2	Außenballistische Rechnungen .....	76
2.3.4.3	Schusstafeln .....	78
2.3.4.4	Die Eigenbewegung des Geschosses .....	78
2.3.4.5	Flugbahnstörungen .....	79
2.3.5	Stabilität und Folgsamkeit .....	80
2.3.5.1	Definition der Stabilität .....	80
2.3.5.2	Drallstabilisierte Geschosse .....	81
2.3.5.3	Luftkraftstabilisierte Geschosse .....	83
2.3.5.4	Schulterstabilisierung .....	84
2.3.5.5	Die Folgsamkeit .....	84
2.3.5.6	Stabilitätsfragen beim Abpraller .....	86
2.3.6	Splitterballistik .....	87
2.3.6.1	Splitterbeschleunigung .....	87
2.3.6.2	Außenballistik der Splitter .....	88
2.3.7	Modelle der Endballistik .....	89
2.3.7.1	Allgemeines .....	89
2.3.7.2	Das Stanzmodell .....	89
2.3.7.3	Das Verdrängungsmodell .....	89
2.3.7.4	Durchschießen dünner Schichten .....	90

<b>3 Allgemeine Wundballistik .....</b>	<b>91</b>
3.1 Einführung .....	91
3.1.1 Allgemeines .....	91
3.1.2 Historisches zur Wundballistik .....	92
3.1.3 Grundlegende Beziehungen .....	98
3.2 Die Vorgänge im Schusskanal; temporäre Höhle .....	99
3.2.1 Vorbemerkungen .....	99
3.2.1.1 Zum Begriff der temporären Höhle .....	99
3.2.1.2 Betrachtungsweisen .....	100
3.2.1.3 Experimentelle Modellierung wundballistischer Vorgänge .....	101
3.2.2 Bewegung und Verhalten des Geschosses .....	102
3.2.2.1 Langwaffengeschosse .....	102
3.2.2.2 Kurzwaffengeschosse .....	108
3.2.2.3 Splitter und splitterähnliche Geschosse .....	109
3.2.2.4 Überblick über die möglichen Schusskanaltypen .....	112
3.2.2.5 Physikalische Modellansätze .....	112
3.2.3 Die temporäre Höhle .....	115
3.2.3.1 Phänomenologie der temporären Höhle .....	115
3.2.3.2 Quantitative Beschreibung der temporären Höhle .....	122
3.2.3.3 Einfluss der Auftreffbedingungen und der Geschoss- daten .....	124
3.2.3.4 Einfluss der Querschnittsbelastung auf die Form der temporären Höhle .....	128
3.2.4 Das Geschossverhalten in Abhängigkeit der Bauart .....	131
3.2.4.1 Einteilung der Geschosse .....	131
3.2.4.2 Allgemeines zur Geschossdeformation und -zerlegung .....	132
3.2.4.3 Experimentelle Befunde .....	134
3.2.5 Gesetzmäßigkeiten beim Knochenschuss .....	138
3.2.6 Temperatur und Sterilität von Geschossen .....	139
3.2.6.1 Historisches .....	139
3.2.6.2 Geschosstemperatur .....	140
3.2.6.3 Bakteriell verunreinigte Geschosse .....	141
3.2.6.4 Bemerkung über Verbrennungen durch Geschosse .....	142
3.3 Simulanzien .....	143
3.3.1 Allgemeines .....	143
3.3.2 Gelatine .....	144
3.3.2.1 Eigenschaften, Herstellung .....	144
3.3.2.2 Herstellung der Gelatineblöcke, Vorbereitung zum Beschluss .....	145
3.3.2.3 Auswertung der Gelatinebeschüsse .....	146
3.3.3 Glycerinseife (Ballistische Seife) .....	150

3.3.3.1	Herstellung, Eigenschaften .....	150
3.3.3.2	Alterungsverhalten .....	151
3.3.3.3	Auswertung von Seifenbeschüssen .....	152
3.3.3.4	Seife als Messmittel .....	153
3.3.4	Vergleich Seife – Gelatine .....	154
3.3.4.1	Allgemeines .....	154
3.3.4.2	Verfügbarkeit, Handhabung, Messtechnik .....	154
3.3.4.3	Verhalten beim Beschuss .....	155
3.3.4.4	Welches Simulans? .....	157
3.3.4.5	Zusammenhang der Auswertemethoden .....	158
3.3.5	Knochen .....	159
3.3.5.1	Allgemeines .....	159
3.3.5.2	Röhrenknochen .....	160
3.3.5.3	Kopfmodell .....	160
3.3.6	Weitere Simulanzien .....	161
3.4	Andere Simulationsmöglichkeiten .....	162
3.4.1	Tier- und Leichenexperimente .....	162
3.4.1.1	Tierversuche .....	162
3.4.1.2	Leichen .....	165
3.4.1.3	Zellkulturen .....	165
3.4.2	Physikalisch-mathematische Modelle .....	165
3.4.2.1	Allgemeines .....	165
3.4.2.2	Geschwindigkeitsprofil nach Sellier .....	166
3.4.2.3	Der «Computer Man» .....	167
3.4.2.4	Das «Verwundungsmodell Schütze» (VeMo-S) .....	168
<b>4</b>	<b>Wundballistik der Geschosse und Splitter .....</b>	<b>171</b>
4.1	Zur Wirksamkeit von Geschossen .....	171
4.1.1	Wirksamkeit und Wirkung .....	171
4.1.1.1	Definitionen .....	171
4.1.1.2	Anteile der Wirkung .....	171
4.1.2	Maßzahlen der Wirksamkeit .....	173
4.1.2.1	Historisches .....	173
4.1.2.2	Der «Aufhaltekraft»-Irrtum .....	174
4.1.2.3	Klassische Wirksamkeitszahlen .....	175
4.1.2.4	Zusammenfassung und Beurteilung .....	185
4.1.3	Bestimmung der Wirksamkeit eines Geschosses .....	187
4.1.3.1	Definition der Wirksamkeit .....	187
4.1.3.2	Messung der Wirksamkeit .....	187
4.1.4	Militärische Wirksamkeitskriterien .....	188
4.1.4.1	Wirksamkeitsdefinitionen .....	188
4.1.4.2	Wahrscheinlichkeiten der Außergefechtsetzung .....	190
4.2	Wundballistik der Kurzwaffengeschosse .....	195

---

4.2.1	Eindringtiefe und Durchschlagsvermögen von Geschossen in Gelatine, Seife, Muskulatur und Knochen..	195
4.2.1.1	Allgemeines .....	195
4.2.1.2	Eindringtiefe in Gelatine, Seife und Muskulatur .....	196
4.2.1.3	Durchschlagsvermögen in Knochen .....	205
4.2.1.4	Grenzgeschwindigkeiten für das Auge .....	210
4.2.2	Kurzwaffengeschosse und ihre Eigenschaften .....	211
4.2.2.1	Allgemeines .....	211
4.2.2.2	Geschosse mit guten Durchschlagseigenschaften .....	212
4.2.2.3	Im Hinblick auf Wirksamkeit konstruierte Geschosse ..	213
4.2.2.4	Außergewöhnliche Geschosskonstruktionen .....	218
4.2.3	Gas- und Flüssigkeitsstrahlen als Projektile .....	219
4.2.3.1	Allgemeines .....	219
4.2.3.2	Flüssigkeitsstrahlen .....	220
4.2.3.3	Gasstrahlen .....	220
4.2.3.4	Gasstrahlwirkung bei Gas- und Schreckschusswaffen ..	220
4.3	Wundballistik der Langwaffengeschosse .....	223
4.3.1	Einleitung .....	223
4.3.2	Effekte abseits vom Schusskanal («remote effects»).....	224
4.3.2.1	Allgemeines .....	224
4.3.2.2	Stoßwellen.....	225
4.3.2.3	Biologisch-pathologische Folgen der Stoßwellen.....	229
4.3.2.4	Druckwechsel in Blutgefäßen .....	235
4.3.2.5	Druckstöße auf Blutgefäße.....	236
4.3.2.6	Knochenbrüche abseits des Schusskanals .....	238
4.3.3	Wundballistische Eigenschaften der Langwaffengeschosse .....	238
4.3.3.1	Geschosse für militärische Verwendung.....	238
4.3.3.2	Jagdgeschosse .....	240
4.3.3.3	Schrot und Flintenlaufgeschosse .....	242
4.4	Wundballistik der Splitter.....	244
4.4.1	Allgemeines.....	244
4.4.1.1	Zur Häufigkeit von Splitterverletzungen .....	244
4.4.1.2	Verletzungen durch splitterähnliche Projektile .....	245
4.4.2	Bewegungs- und Energiegleichungen eines Splitters .....	246
4.4.2.1	Hypothesen.....	246
4.4.2.2	Geometrische Form des Schusskanals .....	247
4.4.2.3	Energie- und Bewegungsgleichung .....	247
4.4.2.4	Durchmesser der Einschussöffnung und Eindringtiefe..	248
4.4.3	Experimentelle Überprüfung der Modellansätze .....	249
4.4.3.1	Methodik .....	249
4.4.3.2	Durchmesser der Einschussöffnung.....	249
4.4.3.3	Eindringtiefe.....	251

4.4.3.4	Vergleich mit weiteren Untersuchungen.....	251
4.4.3.5	Anwendungen .....	252
4.5	Die sogenannten «nicht-letalen» Geschosse .....	253
4.5.1	Allgemeines.....	253
4.5.2	Geschosskonstruktionen.....	253
4.5.2.1	Geschosse kleiner Querschnittsbelastung .....	253
4.5.2.2	Expandierende Geschosse.....	255
4.5.2.3	Gummischrot.....	257
4.5.2.4	Spezialgeschosse für Kurzwaffen .....	259
4.5.3	Wundballistik «nicht-letaler» Geschosse .....	259
4.5.3.1	Eindringende Geschosse .....	259
4.5.3.2	Nicht eindringende Geschosse.....	261
4.5.4	Gefährlichkeit von Projektilen .....	263
4.5.4.1	Gefährlichkeitskriterien .....	263
4.5.4.2	Bestimmung von Gefährdungsbereichen .....	264
4.5.4.3	Gefährdungsbereich bei Trägern von Schutzaus- rüstung.....	265
<b>5</b>	<b>Wundballistik in der Rechtsmedizin .....</b>	<b>267</b>
5.1	Klassische Rechtsmedizin .....	267
5.1.1	Allgemeines.....	267
5.1.2	Untersuchungen am Tatort .....	267
5.1.2.1	Schussbedingte Beschädigungen am Tatort.....	267
5.1.2.2	Untersuchung der Leiche am Fundort.....	268
5.1.2.3	Analyse des Blutspurenverteilungsmusters .....	269
5.1.3	Ein- und Ausschussmorphologie in der Haut.....	272
5.1.3.1	Einschusswunde .....	272
5.1.3.2	Ausschusswunde .....	276
5.1.3.3	Streifschuss .....	277
5.1.3.4	Hinweise auf die Schussentfernung .....	277
5.1.4	Der Schusskanal im Körper .....	280
5.1.4.1	Wundmorphologie .....	280
5.1.4.2	Hinweise auf die Schussrichtung innerhalb des Schusskanals .....	282
5.1.5	Kopfschussverletzungen .....	283
5.1.5.1	Hirnverletzungen.....	283
5.1.5.2	Schädelverletzungen .....	284
5.1.6	Schussverletzungen des Rumpfes .....	287
5.1.6.1	Brustkorb.....	287
5.1.6.2	Abdomen.....	287
5.1.7	Knöcherne Schussverletzungen.....	288
5.1.7.1	Allgemeines .....	288
5.1.7.2	Platte Knochen .....	290

5.1.7.3	Lange Röhrenknochen .....	291
5.1.7.4	Wirbelkörper .....	292
5.1.8	Besonderheiten bei Flintenschüssen .....	292
5.1.8.1	Allgemeines .....	292
5.1.8.2	Einschussmorphologie .....	293
5.1.8.3	Innere Wundmorphologie .....	294
5.1.9	Todesursachen und Handlungsfähigkeit .....	294
5.1.9.1	Todesursachen .....	294
5.1.9.2	Handlungsfähigkeit .....	296
5.1.10	Besondere Geschosse .....	299
5.1.10.1	Gasdruckwaffen .....	299
5.1.10.2	Schreckschuss- und Reizstoffwaffen .....	300
5.1.10.3	Pfeilschussverletzungen .....	301
5.1.10.4	Bolzenschuss- und Bolzensetzgeräte .....	302
5.2	Moderne bildgebende Verfahren .....	304
5.2.1	Oberflächendokumentation .....	304
5.2.2	Radiologische Dokumentation .....	305
5.2.3	Fusion von Oberflächen- und radiologischer Dokumentation .....	308
5.2.4	Dokumentation von Ereignisorten mit modernen bildgebenden Verfahren .....	308
5.3	Experimentelle Rekonstruktion .....	310
5.3.1	Einführung .....	310
5.3.2	Rekonstruktion von Schussfällen .....	310
5.3.2.1	Vorbemerkungen .....	310
5.3.2.2	Zu beachtende Punkte .....	311
5.3.2.3	Fallbeispiele .....	311
5.3.3	Stumpfe Gewalt .....	314
5.3.3.1	Einrichtungen und Möglichkeiten .....	314
5.3.3.2	Anwendungsbeispiele .....	316
5.3.4	Anwendung der Virtopsy .....	317
5.3.4.1	Dokumentation und Visualisierung .....	317
5.3.4.2	Fallbeispiel .....	320
<b>6</b>	<b>Wundballistik und Chirurgie .....</b>	<b>322</b>
6.1	Die historische Verbindung zwischen Wundballistik und Chirurgie .....	322
6.2	Wundballistik und ballistisches Trauma: Worin besteht der Unterschied? .....	323
6.3	Vergleich simulierter und realer Schussverletzungen .....	324
6.3.1	Vorbemerkungen .....	324
6.3.2	Fallbeispiele .....	324
6.3.3	Folgerungen .....	329
6.4	Klinische Aspekte realer Verletzungen .....	330
6.5	Beitrag der Wundballistik zur Versorgung schussverletzter Personen .....	331
6.5.1	Das «Wundprofil» .....	331



6.5.2	Wodurch wird der Gewebeschaden verursacht? .....	332
6.5.3	Nachweis von Gas in Geweben anhand eines klinischen Röntgenbildes .....	333
6.5.4	Die «heißes Geschoss»-Theorie .....	333
6.5.5	Brüche langer Röhrenknochen .....	333
6.5.6	Schädel-Hirn-Verletzungen .....	335
6.5.7	Ungeklärte Punkte .....	335
6.6	Die Dokumentation ballistischer Traumen .....	336
6.6.1	Übersicht .....	336
6.6.2	Die Bewertung von Verletzungen im Feld .....	337
6.6.3	Die Rolle der Chirurgen und die Anwendung des internatio- nalen humanitären Rechts .....	339
6.6.4	Die Dokumentation von ballistischem Trauma: Eine breitere Verantwortlichkeit für medizinisch tätige Personen? .....	339
<b>7</b>	<b>Wundballistik und internationale Abkommen .....</b>	<b>341</b>
7.1	Einleitung .....	341
7.2	Historische Entwicklung von Waffen und Munition .....	341
7.2.1	Allgemeines .....	341
7.2.2	Entwicklung der Munition .....	342
7.2.2.1	Der Stand um 1800 .....	342
7.2.2.2	Das Langgeschoss .....	342
7.2.2.3	Das Zündhütchen .....	343
7.2.2.4	Die Metallpatrone .....	344
7.2.2.5	Das raucharme Pulver .....	344
7.2.2.6	Geschossentwicklungen .....	346
7.2.2.7	Die sogenannten Dumdumgeschosse .....	346
7.2.3	Entwicklung der Waffen im 19. Jahrhundert .....	349
7.2.3.1	Die Vorderlader und ihre Probleme .....	349
7.2.3.2	Hinterlader .....	350
7.2.3.3	Repetierer .....	351
7.2.3.4	Kurzwaffen .....	351
7.2.4	Das 20. Jahrhundert .....	352
7.2.4.1	Munition .....	352
7.2.4.2	Waffen .....	353
7.3	Internationale Abkommen .....	355
7.3.1	Grundsätze .....	355
7.3.2	Die verschiedenen Abkommen .....	355
7.3.2.1	Die erste Genfer Konvention von 1864 .....	355
7.3.2.2	Die Deklaration von St. Petersburg 1868 .....	356
7.3.2.3	Die Konferenz von Brüssel 1874 .....	356
7.3.2.4	Die Haager Konvention von 1899 .....	357
7.3.2.5	Die Haager Landkriegsordnung von 1907 .....	358

7.3.2.6	Die Genfer Rotkreuz-Abkommen von 1949.....	359
7.3.2.7	Die Zusatzprotokolle von 1977 zu den Genfer Rotkreuz-Abkommen.....	359
7.3.2.8	Die UNO-Konferenz von Genf 1980.....	360
7.3.2.9	Die Abkommen aus wundballistischer Sicht.....	361
7.3.3	Grundlagen für die Formulierung künftiger völkerrechtlicher Konventionen.....	361
7.3.3.1	Nachteile der Wortlaute bestehender Konventionen.....	361
7.3.3.2	Projekttilunabhängige Beurteilungsverfahren.....	362
7.3.3.3	Normierungsmöglichkeiten.....	363

## Anhang

<b>A</b>	<b>Tabellen.....</b>	<b>365</b>
A.1	Übersicht über die Tabellen im Text.....	365
A.2	Materieeigenschaften.....	367
A.2.1	Fluide und fluidähnliche Stoffe.....	367
A.2.2	Feste Stoffe.....	367
A.3	Kaliberbezeichnungen.....	368
A.3.1	Kurzwaffen.....	368
A.3.2	Armeegewehre.....	369
A.3.3	Jagd- und Sportgewehre.....	369
A.4	Ballistische Daten von Patronen.....	370
A.4.1	Kurzwaffenpatronen.....	370
A.4.2	Armeemunition.....	371
A.4.3	Jagd- und Sportmunition.....	372
A.4.4	Alte Munition vor 1900 und die dazugehörigen Waffen.....	373
A.4.5	Ballistische Leistungen einiger Armbrüste und Bögen.....	374
A.4.5.1	Technische Daten.....	374
A.4.5.2	Ballistische Daten.....	374
A.4.6	Ballistische Daten einiger Sportwurfkörper.....	374
A.5	Bezeichnungen bei Geschossen.....	375
A.5.1	Geschossform.....	375
A.5.2	Geschossmaterial.....	375
A.5.3	Geschossaufbau.....	375
A.6	Geometrische Daten ausgewählter Geschosse.....	376
A.6.1	Armeegeschosse.....	376
A.6.2	Weitere Geschosse.....	376
A.7	Dralllängen, Drallwinkel und Drehzahlen.....	377
A.7.1	Kurzwaffen.....	377
A.7.2	Langwaffen.....	377

A.7.2.1	Armeegewehre .....	377
A.7.2.2	Jagd- und Sportgewehre.....	378
A.8	Schusstafeln.....	379
A.8.1	Erläuterungen .....	379
A.8.2	Kurzwaffen.....	379
A.8.3	Langwaffen .....	385
A.8.4	Alte Langwaffen.....	392
A.8.5	Diverses.....	394
A.9	Flinten und Schrot .....	398
A.9.1	Kaliber von Flintenläufen .....	398
A.9.2	Ballistische Daten von Schrotkörnern.....	398
A.9.3	Benennung von «Buckshot»-Größen .....	398
A.9.4	Benennung von normalen Schrotgrößen: angloamerikanisches System .....	399
A.9.5	Benennung von normalen Schrotgrößen: metrisches System .....	399
<b>B</b>	<b>Fachwörterbuch .....</b>	<b>401</b>
B.1	Deutsch ⇒ Englisch ⇒ Französisch .....	401
B.2	Englisch ⇒ Deutsch ⇒ Französisch .....	419
B.3	Französisch ⇒ Deutsch ⇒ Englisch .....	439
<b>C</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>457</b>
Allgemeine Literatur .....		457
Einzelarbeiten.....		459
Abbildungsnachweise .....		480
<b>Sachverzeichnis .....</b>		<b>481</b>

## Verzeichnis der Formelzeichen

Die Angabe der Einheiten erfolgt gemäß dem internationalen Einheitensystem (SI) oder in den gebräuchlichen Ableitungen. Dimensionslose Größen sind mit [-] bezeichnet, bei Größen die keine sinnvolle Dimension haben, ist die Angabe weggelassen.

A	Fläche	[m <sup>2</sup> ]
C	allg. Proportionalitätskonstante (z. B. spezifische Wärmekapazität)	
C/L	Wirksamkeitszahl nach CARANTA und LEGRAIN	
C <sub>D</sub>	Widerstandsbeiwert	[-]
C <sub>dr</sub>	Druckkoeffizient	[-]
C <sub>F</sub>	Reibungsbeiwert	[-]
C <sub>L</sub>	Auftriebsbeiwert	[-]
C <sub>M</sub>	Momentenbeiwert	[-]
C <sub>p</sub>	Druckkoeffizient	[-]
D	Plattendicke (Endballistik)	[m]
E	Energie	[J]
E'	Energiedichte	[J/mm <sup>2</sup> ]
E' <sub>ab</sub>	Verletzungspotenzial (pro cm Wegstrecke abgegebene Energie)	[J/cm]
E' <sub>gr</sub>	Grenzenergiedichte	[J/mm <sup>2</sup> ]
E <sub>a</sub>	Auftreffenergie	[J]
E <sub>ab</sub>	abgegebene Energie	[J]
E <sub>ad</sub>	Eintrittsenergie (nach Durchschlag einer Schicht)	[J]
E <sub>dr</sub>	Druckenergie	[J]
E <sub>ds</sub>	Zum Durchschlag einer Schicht aufgewendete Energie	[J]
E <sub>e</sub>	Austrittsenergie	[J]
E <sub>gr</sub>	Grenzenergie	[J]
EKE	Erwarteter Transfer kinetischer Energie	[J]
E <sub>kin</sub>	kinetische Energie (Bewegungsenergie)	[J]
E <sub>mech</sub>	mechanische Energie (= E <sub>kin</sub> + E <sub>pot</sub> + E <sub>rot</sub> )	[J]
E <sub>pot</sub>	potenzielle Energie (Lageenergie)	[J]
E <sub>rot</sub>	Drehenergie	[J]
E <sub>rst</sub>	Restenergie nach Austritt	[J]
E <sub>stk</sub>	Residuum-Energie (im Moment des Steckenbleibens)	[J]
F	Kraft	[N]
F <sub>D</sub>	Widerstandskraft (Strömungswiderstand)	[N]
F <sub>Q</sub>	Querkraft	[N]
F <sub>R</sub>	resultierende Kraft	[N]
F <sub>W</sub>	Luftwiderstand	[N]
G	Gewicht	[N]
G <sub>K</sub>	Gurney-Konstante	[m/s]

I	Impuls	[N·s]
J	Trägheitsmoment	[kg·m <sup>2</sup> ]
J <sub>a</sub>	axiales Trägheitsmoment	[kg·m <sup>2</sup> ]
J <sub>q</sub>	Querträgheitsmoment	[kg·m <sup>2</sup> ]
KO	«Knockout-Value» von TAYLOR	
L	Drehimpuls	[N·m·s], [kg·m <sup>2</sup> /s]
L	Luftangriffspunkt (in Zeichnungen)	
M	Drehmoment	[N·m]
Ma	Machzahl	[-]
NC	«Narrow Channel»	[cm]
P(I/H)	Bedingte Ausfallwahrscheinlichkeit (unter Bedingung eines Treffers)	[-]
PIR	«Power Index Rating» von MATUNAS	
Q	Wärmemenge (Wärmeenergie)	[J]
Q <sub>ex</sub>	spezifische Explosionswärme eines Explosivstoffes	[J/g]
ℜ	Retardationskoeffizient	[1/m]
R	spezielle Gaskonstante	[J/(kg·K)]
Re	Reynolds-Zahl	[-]
RII	«Relative Incapacitation Index»	
RSP	«Relative Stopping Power»	
S	Schwerpunkt (in Zeichnungen)	
StP	«Stopping Power»	
T	Temperatur	[K]
T <sub>C</sub>	Temperatur in Celsius	[C]
U	innere Energie	[J]
V	Volumen	[m <sup>3</sup> ]
VI	«Vulnerability Index» (im Zusammenhang mit dem RII)	
V <sub>TH</sub>	Volumen der temporären Höhle	[cm <sup>3</sup> ]
W	Arbeit	[N·m], [J]
W <sub>H</sub>	Wirksamkeitszahl nach Weigel	
W <sub>TH</sub>	Wirksamkeitszahl nach Sellier	
Y	Elastizitätsmodul	[N/mm <sup>2</sup> ]
Z	Wellenwiderstand eines Mediums	[kg/(m <sup>2</sup> ·s)]
a	Beschleunigung	[m/s <sup>2</sup> ]
c	Schallgeschwindigkeit	[m/s]
c <sub>p</sub>	spezifische Wärme (bei konstantem Druck)	[J/(kg·K)]
c <sub>v</sub>	spezifische Wärme (bei konstantem Volumen)	[J/(kg·K)]
d	Durchmesser (allgemein)	[m]
e	Euler'sche Zahl, Basis der natürlichen Logarithmen (2.71828...)	[-]
f	Formfaktor bzw. Folgsamkeitszahl (Außenballistik)	[-]
fw	Fallwinkel	[Prom]
g	Erdbeschleunigung	[m/s <sup>2</sup> ]

k	Kaliber	[mm]
$l$	Länge allgemein	[mm, cm]
$l_g$	Geschosslänge	[mm]
$l_{NC}$	Länge des «Narrow Channel»	[cm]
$l_s$	Länge des Schusskanals	[cm]
ln	natürlicher Logarithmus (Basis e)	[-]
m	Masse	[g, kg]
$m_c$	Ladungsmasse (Innenballistik)	[g]
p	Druck	[N/m <sup>2</sup> ], [bar]
q	Querschnittsbelastung	[g/mm <sup>2</sup> ], [kg/m <sup>2</sup> ]
r	Korrelationskoeffizient (bei statistischen Angaben)	
r	Radius, Drehradius	[m]
r	Reflexionsfaktor (Stoßwelle)	[-]
s	gyroskopische Stabilitätszahl (Außenballistik)	[-]
s	Standardabweichung (bei statistischen Angaben)	
s	Wegstrecke	[m]
$s_{ad}$	Eindringtiefe mit der Eintrittsgeschwindigkeit $v_{ad}$	[cm]
sw	Schusswinkel	[Prom]
t	Zeit	[s]
$t_e$	Flugzeit	[s]
v	Geschwindigkeit	[m/s]
$v_0$	Mündungsgeschwindigkeit	[m/s]
$v_a$	Auftreffgeschwindigkeit	[m/s]
$v_{ad}$	Eintrittsgeschwindigkeit (nach Durchschlag einer Schicht)	[m/s]
$v_{ds}$	Geschwindigkeitsverlust beim Durchschlag einer Schicht	[m/s]
$v_{gr}$	Grenzgeschwindigkeit	[m/s]
$v_{rst}$	Austrittsgeschwindigkeit	[m/s]
$v_{stk}$	Geschwindigkeit unmittelbar vor dem Steckenbleiben	[m/s]
$x, y, z$	kartesische Raumkoordinaten	[m]
$x_e$	Schussdistanz	[m]
$x_s$	Scheiteldistanz	[m]
$y_s$	Gipfelhöhe (Scheitelhöhe) der Flugbahn	[m]
z	Abbrandrate des Pulvers (Innenballistik)	[-]
$\alpha$	Winkelbeschleunigung	[rad/s <sup>2</sup> ]
$\beta$	Reflexionsfaktor (bei Stoßwellen)	[-]
$\gamma$	$c_p/c_v$	[-]
$\delta$	Auftreffwinkel	[°]
$\eta$	dynamische Zähigkeit	[Pa·s]
$\theta$	Bahnwinkel (Flugbahn)	[rad]
$\theta_0$	Abgangswinkel	[rad]
$\kappa$	Kompressibilität	[1/Pa]

$\lambda_1$	1. Proportionalitätszahl (Splitterwundballistik)	[s/m]
$\lambda_2$	2. Proportionalitätszahl (Splitterwundballistik)	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\mu$	Proportionalitätsfaktor Volumen-abgegebene Energie	[cm <sup>3</sup> /J]
$\nu$	Drehzahl (Kinematik)	[s <sup>-1</sup> ]
$\nu$	kinematische Zähigkeit (Fluiddynamik)	[m <sup>2</sup> /s]
$\rho$	Dichte	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\sigma$	Spannung (mechanisch)	[N/m <sup>2</sup> ]
$\tau$	Halbwertszeit der Amplitude bei Stoßwellen	[s]
$\tau_M$	Anstiegszeit bis zur Maximalamplitude	[ms]
$\tau_{TH}$	Zeitdauer eine Pulsation der temporären Höhle	[ms]
$\varphi$	Drehwinkel	[rad]
$\psi$	Anstellwinkel	[rad]
$\psi_e$	Anstellwinkel im Auftreffpunkt	[rad]
$\omega$	Winkelgeschwindigkeit	[rad/s]
$\Gamma$	Drallwinkel	[°]
$\Lambda$	Dralllänge	[mm]
$\Sigma$	Summenzeichen	
$\Psi$	Wirksamkeitsfunktion	[J/cm]

### Relationen

$\propto$	proportional zu	$\approx$	ungefähr gleich
$<$	kleiner als	$\ll$	sehr viel kleiner als
$>$	größer als	$\gg$	sehr viel größer als

**SI-Vorsätze für dezimale Teile oder Vielfache von Einheiten**

Faktor	Vorsatz	Zeichen	Faktor	Vorsatz	Zeichen
$10^{12}$	Tera	T	$10^{-1}$	Dezi	d
$10^9$	Giga	G	$10^{-2}$	Zenti	c
$10^6$	Mega	M	$10^{-3}$	Milli	m
$10^3$	Kilo	k	$10^{-6}$	Mikro	$\mu$
$10^2$	Hekto	h	$10^{-9}$	Nano	n
$10^1$	Deka	da	$10^{-12}$	Piko	p

**Umrechnung von Einheiten*****U.S.-Einheiten → metrische Einheiten***

	U.S.-Einheiten	Symbol	Definition	Metrische Einheit	
Länge	1 Inch	in		25.4	mm
	1 foot	ft	12 in	0.3048	m
	1 yard	yd	3 ft	0.9144	m
Fläche	1 square inch	in <sup>2</sup>		645.16	mm <sup>2</sup>
Geschwindigkeit	1 foot/second	ft/s		0.3048	m/s
Masse	1 Grain	gr	$1/7000$ lbs	0.0647989	g
	1 pound	lb		0.4535924	kg
Energie	1 foot pound weight	ft lb wt		1.35582	J
Kraft	1 pound weight	lb wt		4.448221	N
Druck	1 lb wt/square-inches	lb wt/in <sup>2</sup>		0.0689476	bar

***Metrische Einheiten → U.S.-Einheiten***

	Metrische Einheiten	Symbol	Definition	U.S.-Einheiten	
Länge	1 Millimeter	mm	$1/1000$ m	0.03937	in
	1 Meter	m	Grundeinheit	3.28084	ft
	1 Meter	m		1.0936133	yd
Fläche	1 Quadratmillimeter	mm <sup>2</sup>		0.001550	in <sup>2</sup>
Geschwindigkeit	1 Meter/Sekunde	m/s		3.28084	ft/s
Masse	1 Gramm	g	$1/1000$ kg	15.43236	gr
	1 Kilogramm	kg	Grundeinheit	2.204622	lbs
Energie	1 Joule	J	1 N·m	0.737561	ft lb wt
Kraft	1 Newton	N	1 kg·m/s <sup>2</sup>	0.224809	lb wt
	1 bar	bar	$10^5$ Pa	14.503774	psi



# 1 Einführung

Ballistik ist jene Wissenschaft, welche die gesamten physikalischen Erscheinungen und die Bewegung eines geworfenen Körpers (Geschosses) behandelt. Sie wird je nach dem Umfeld, worin Geschossbewegung stattfindet, in verschiedene Teilgebiete unterteilt:

Die *Innenballistik* beschäftigt sich mit den Vorgängen rund um die Beschleunigung des Geschosses innerhalb der Waffe. Ihre Zuständigkeit endet, sobald das Geschoss die Waffe verlässt. Auch unmittelbar danach kann die Waffe den Geschossflug noch beeinträchtigen, z. B. durch Schwingungen oder nachfolgende Gase, welche zunächst das Geschoss überholen. Für diesen Teil der Geschossbewegung ist die sogenannte *Abgangballistik* zuständig.

Hat das Geschoss den Einflussbereich der Waffe vollständig verlassen, so folgt es während seines Fluges bis zum Ziel den Gesetzmäßigkeiten der *Außenballistik*. In dieses Gebiet fällt die Bestimmung des örtlichen und zeitlichen Verlaufs der Flugbahn, der Geschwindigkeit und der Eigenbewegung des Geschosses um seinen Schwerpunkt, unter Berücksichtigung aller auf das Geschoss einwirkenden Kräfte.

Trifft das Geschoss auf ein Objekt auf und dringt in dieses ein, so werden die dabei auftretenden Gesetzmäßigkeiten durch die *Endballistik* untersucht. Handelt es sich beim getroffenen Objekt um einen Menschen oder ein Tier, bezeichnet man das betreffende Wissensgebiet mit *Wundballistik*.

Je nach Schussdistanz tragen sowohl innen- als auch abgangs- und außenballistische Gegebenheiten zum wundballistischen Vorgang bei. Oft spielen die Konstruktion des Geschosses und gewisse technische Auslegungen der Waffe ebenfalls eine Rolle. Was mit einem Geschoss in einem Lebewesen geschieht, kann daher nur verstanden werden, wenn entsprechende Grundkenntnisse der Physik (Mechanik, Thermo- und Fluidodynamik), der Ballistik sowie von Waffen und Munition vorhanden sind. Diese werden in Kapitel 2 vermittelt.

Kapitel 3 – «Allgemeine Wundballistik» – behandelt die Phänomenologie des Schusskanals, beschreibt einfache physikalische Modelle für den Geschwindigkeits- und Energieverlauf und gibt einen Überblick über die gebräuchlichen Simulanzien für wundballistische Untersuchungen.

Im Kapitel 4 werden – basierend auf den Erkenntnissen des dritten Kapitels – die Begriffe «Wirksamkeit» und «Wirkung» eines Projektils eingeführt und die

wundballistischen Grundlagen der Kurzwaffen- und Langwaffengeschosse detailliert untersucht. Eigene Abschnitte sind der Wundballistik des Splitters gewidmet, der bei kriegerischen Auseinandersetzungen und bei Bombenattentaten die häufigste Ursache von Verletzungen darstellt. Ebenfalls einen eigenen Abschnitt erhalten die sogenannten «nicht-letalen» Geschosse, deren Bedeutung heute immer wichtiger wird.

Die restlichen drei Kapitel beschäftigen sich mit den Anwendungen der in den Kapiteln 3 und 4 erarbeiteten Grundlagen:

Die Rechtsmedizin (Kapitel 5) bedient sich der wundballistischen Gesetzmäßigkeiten bei der Ermittlung der ballistischen Daten (Art der Waffe und Munition, Schussrichtung, Schussdistanz usw.), welche der Aufklärung von Tötungsdelikten mit Schusswaffen dienen. Die Simulanzien lassen sich problemlos für die dynamische Rekonstruktion von Tathergängen einsetzen, wobei sie sich für eine Einbindung in das Virtopsy-Konzept besonders gut eignen (Abschn. 5.2 u. 5.3).

In der Kriegschirurgie (Kapitel 6) steht die Diagnose bei Schussverletzungen im Zentrum. Kennt der Chirurg das ballistische Verhalten eines Geschosses im menschlichen Körper, kann er sein Vorgehen und seine Behandlung gezielter planen.

Wenn auch dieses Buch im Wesentlichen die naturwissenschaftlichen Fakten und Vorgänge sowie die pathologischen Gegebenheiten und Veränderungen bei Schussverletzungen darstellt, so darf doch die menschliche Seite nicht vergessen werden. Immer wieder haben sich Ärzte zu Wort gemeldet, um Auswüchsen im Bereich der Waffen- und Munitionsentwicklungen Einhalt zu gebieten (leider meist mit wenig Erfolg). Auch das Internationale Komitee des Roten Kreuzes (IKRK) mit Sitz in Genf ist erheblich daran beteiligt. So lag es nahe, die historische Entwicklung der Munition und die parallel dazu verlaufenden Bemühungen um eine humane Kriegführung aufzuzeigen, die in verschiedenen internationalen Abkommen ihren Niederschlag gefunden haben. Es werden aber auch Möglichkeiten aufgezeigt, wie diese Abkommen mit Hilfe der wundballistischen Erkenntnisse wesentlich präziser formuliert werden können (Kapitel 7).

In Anhang A sind Tabellen mit umfangreichen ballistischen Daten verschiedenster Munitionssorten und Geschossarten zusammengestellt, deren Kenntnisse für die Ballistik und Wundballistik unabdingbar sind. Weiter finden sich zahlreiche Schusstafeln von heutigen und älteren Geschossen und von weiteren Projektilen (Splitter, Pfeil). Tabellen über Schrot (Benennungen, ballistische Daten) schließen sich an.

Anhang B enthält ein Fachwörterbuch, das speziell auf die Terminologie der Ballistik und Wundballistik ausgerichtet ist. Anschließend folgen Literatur- und Sachverzeichnis.

## 2 Grundlagen

B. P. KNEUBUEHL

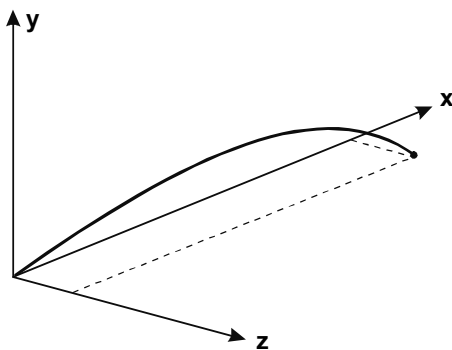
### 2.1 Physikalische Grundlagen der Wundballistik

#### 2.1.1 Vorbemerkung

Wundballistik als typisch interdisziplinäre Wissenschaft spricht ein breites Spektrum von Wissenschaftlern an (Mediziner, Physiker, Juristen, Schusswaffenexperten), so dass es unumgänglich ist, die notwendigen physikalischen Grundbegriffe in straffer Form darzustellen. Die in der Physik versierten Leserinnen und Leser können den Abschn. 2.1 ohne weiteres überschlagen.

#### 2.1.2 Bezugs- und Maßsysteme, Notation

Physikalische Ereignisse lassen sich nur dann einfach beschreiben, wenn ein geeignetes Bezugssystem zur Verfügung steht. Für ballistische Vorgänge wird üblicherweise das sogenannte *ballistische Koordinatensystem* verwendet, das folgendermaßen definiert ist:  $x$ - und  $y$ -Achse spannen eine vertikale Ebene auf, wobei die  $y$ -Achse der Erdbeschleunigung entgegengesetzt ist. Die  $z$ -Achse ergänzt die  $x$ - $y$ -Ebene zu einem räumlichen Rechtssystem (Abb. 2-1). Eigenbewegungen von Körpern (hier: Geschosse) werden auf ein sogenanntes körperfestes System bezogen, dessen Ursprung im Massenmittelpunkt (Schwerpunkt) des Körpers liegt und dessen Hauptachse mit der momentanen Bewegungsrichtung des Schwerpunkts zusammenfällt.



**Abb. 2-1.** Ballistisches Koordinatensystem:  $x$ -Achse in Schussrichtung,  $y$ -Achse nach oben und  $z$ -Achse nach rechts.

Für die Maßeinheiten wird durchweg das in vielen Ländern gesetzlich vorgeschriebene internationale Einheitensystem («Système Internationale d'Unités», abgekürzt SI) verwendet. Länge wird in Metern, Masse in Kilogramm und Zeit in Sekunden gemessen, oft verbunden mit den entsprechenden Dezimalvorsätzen (wie z. B. Milli-, Kilo-, Mega-). Eine Zusammenstellung der Dezimalvorsätze findet sich am Ende des Verzeichnisses der Formelzeichen (S. XXV). Weiter benötigte, abgeleitete Maßeinheiten werden jeweils bei Einführung der entsprechenden physikalischen Größen erwähnt.

Im Fachgebiet der Waffen und Munition sowie der Ballistik sind die angloamerikanischen Maßeinheiten immer noch stark verbreitet. Für deren Umrechnung in die gesetzlich vorgeschriebenen SI-Einheiten und umgekehrt stehen ebenfalls am Ende des Verzeichnisses der Formelzeichen (S. XXV) die entsprechenden Formeln zur Verfügung.

Obschon die meisten der betrachteten Vorgänge räumlicher Natur sind und daher mit drei Komponenten beschrieben werden müssen, wird der Übersichtlichkeit wegen oft nur eine Komponente aufgeschrieben. Diese Einschränkung fällt nicht stark ins Gewicht, da bei geschickter Wahl des Bezugssystems viele Prozesse eindimensional betrachtet werden können.

Für die in Definitionen und Gleichungen ab und zu vorkommenden Differenzialquotienten werden gelegentlich die bekannten Schreibkonventionen verwendet: zeitabhängige Ableitungen mit dem Punkt in der Mitte oben und wegabhängige mit einem Strich, also

$$(2.1:1) \quad \frac{dx}{dt} \Leftrightarrow \dot{x}, \quad \frac{dv_x}{dt} \Leftrightarrow \dot{v}_x, \quad \frac{dv_x}{dx} \Leftrightarrow v'_x.$$

## 2.1.3 Mechanik

### 2.1.3.1 Kinematik, lineare Bewegungen

Die Kinematik behandelt die Bewegung eines Körpers im Raum, ohne auf seine spezifischen Eigenschaften einzugehen. Zentrale Aufgabe ist die Beschreibung des Weges (der «Bahn»), den der Körper zurücklegt. Dabei wird auch die räumliche Ausdehnung des Körpers nicht beachtet; er wird als punktförmig angesehen. Die wichtigste kinematische Maßzahl ist die *Geschwindigkeit*. Sie ist eine vektorielle Größe, deren Komponenten als Wegänderung pro Zeiteinheit in den drei Koordinatenrichtungen definiert sind:

$$(2.1:2) \quad v_x = \frac{dx}{dt}, \quad v_y = \frac{dy}{dt}, \quad v_z = \frac{dz}{dt}. \quad [\text{m/s}]$$

Der Betrag der Geschwindigkeit ist gegeben durch:

$$(2.1:3) \quad v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}. \quad [\text{m/s}]$$

**Tabelle 2-1.** Typische Geschwindigkeiten

Objekt / Medium		Geschwindigkeit [m/s]
Projektile	Luftdruckwaffen	100 .. 250
	Faustfeuerwaffen	250 .. 400
	Handfeuerwaffen	600 .. 1000
	Flechettes	1500 .. 1800
	Splitter	< 2000
Schallwellen	in der Luft (15 °C)	340
	im Wasser (20 °C)	1483
	in Stahl	5180
	in Glas	5225

In Tabelle 2-1 sind Größenordnungen einiger typischer Geschwindigkeiten aus der Ballistik zusammengestellt.

Eine Geschwindigkeitsänderung pro Zeiteinheit heißt im Falle einer Geschwindigkeitszunahme *Beschleunigung* und bei einer Geschwindigkeitsverminderung negative Beschleunigung (*Verzögerung*).

$$(2.1:4) \quad a_x = \frac{dv_x}{dt}, \quad a_y = \frac{dv_y}{dt}, \quad a_z = \frac{dv_z}{dt} . \quad [m/s^2]$$

Analog der Geschwindigkeit gilt auch hier für den Betrag der Beschleunigung:

$$(2.1:5) \quad a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} . \quad [m/s^2]$$

Einige Beschleunigungen, wie sie bei ballistischen Bewegungen vorkommen können, sind in der Tabelle 2-2 aufgeführt.

Weil die Geschwindigkeit eine vektorielle Größe ist, treten Beschleunigungen nicht nur dann auf, wenn sich der Betrag der Geschwindigkeit ändert, sondern auch dann, wenn ihre Richtung wechselt.

**Tabelle 2-2.** Typische Beschleunigungen

Objekt	Beschleunigung [m/s <sup>2</sup> ]
Erdbeschleunigung (Normalwert)	- 9.80665
Pistolengeschoss in Luft	- 200
Gewehrgeschoss in Luft	- 400
Splitter in Luft	- 60000
Gewehrgeschoss im Lauf beim Abschuss bis	100'000
Deformationsgeschoss beim Eindringen in ein dichtes Medium (mittlerer Wert)	bis - 800'000

Ist die Beschleunigung konstant, so kann die Bahngeschwindigkeit und die Weglänge einfach gerechnet werden:

$$(2.1:6) \quad v = v_0 + a \cdot t, \quad [\text{m/s}]$$

$$(2.1:7) \quad x = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2, \quad [\text{m}]$$

wobei  $v_0$  die zur Zeit  $t = 0$  vorhandene Geschwindigkeit und  $x_0$  der bis zu diesem Zeitpunkt bereits zurückgelegte Weg bedeutet.

Die Bewegung längs einer gekrümmten Bahn lässt sich stets auf die Bewegung längs eines Kreisbogenstückes zurückführen. Diese sogenannte Rotationsbewegung wird kinematisch durch die *Winkelgeschwindigkeit* beschrieben, wobei der Drehwinkel  $\varphi$  im Bogenmaß gemessen wird (ganze Drehung =  $2 \cdot \pi$ ):

$$(2.1:8) \quad \omega = \frac{d\varphi}{dt}. \quad [\text{rad/s}]$$

Die *Drehfrequenz*  $\nu$  (Anzahl Umdrehungen pro Sekunde) ergibt sich aus der Winkelgeschwindigkeit durch:

$$(2.1:9) \quad \nu = \frac{\omega}{2 \cdot \pi}. \quad [1/\text{s}]$$

Drehbewegungen mit konstanter Winkelgeschwindigkeit heißen gleichförmige Kreisbewegungen. Für den Betrag ihrer Bahngeschwindigkeit ergibt sich:

$$(2.1:10) \quad v = r \cdot \omega. \quad [\text{m/s}]$$

$r$  bezeichnet den Abstand des betrachteten Punktes vom Drehzentrum (Drehradius).

Sie gehören zu den beschleunigten Bewegungen, da sich die Bahngeschwindigkeit zwar nicht dem Betrage nach, so doch in ihrer Richtung stetig ändert. Die Beschleunigung steht dabei stets senkrecht zur momentanen Bewegungsrichtung und ist gegen das Kreiszentrum gerichtet. Ihr Betrag lautet:

$$(2.1:11) \quad a = v \cdot \omega = \frac{v^2}{r} = r \cdot \omega^2. \quad [\text{m/s}^2]$$

Die Umrechnung zwischen den verschiedenen Darstellungen geschieht mit Verwendung der Gl. 2.3:9. Änderungen in der Winkelgeschwindigkeit werden durch die *Winkelbeschleunigung*  $\alpha$  beschrieben:

$$(2.1:12) \quad \alpha = \frac{d\omega}{dt}. \quad [\text{rad/s}^2]$$

In der Ballistik treten Drehbewegungen beispielsweise bei drallstabilisierten Geschossen als Rotation um deren Längsachse auf. Die dabei auftretenden Winkelgeschwindigkeiten und Drehzahlen sind recht hoch. Trotz kleinen Geschossradien ergeben sich beachtliche Umfangsgeschwindigkeiten (s. Tabelle 2-3).