

# Wundballistik

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

# Wundballistik

**Grundlagen und Anwendungen**

4. überarbeitete und ergänzte Auflage  
Mit 260 Abbildungen und 107 Tabellen

 Springer

Dr. sc. forens., Dr. med. h. c.  
Beat P. Kneubuehl  
bpk consultancy GmbH  
Thun, Schweiz

Dr. Robin M. Coupland  
Former Head Surgeon ICRC  
Genève, Schweiz

Prof. Dr. Markus A. Rothschild  
Direktor Institut für Rechtsmedizin  
Universitätsklinikum Köln (AöR)  
Köln, Deutschland

Prof. Dr. med Michael J. Thali  
Direktor Institut für Rechtsmedizin  
Zürich  
Universitätscampus Irchel  
Zürich, Schweiz

Übersetzung des Kapitels 6 aus dem Englischen:  
Dr. med. Stephan Bollinger, Bern

ISBN 978-3-662-64858-2      ISBN 978-3-662-64859-9 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-64859-9>

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

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer-Verlag GmbH, DE, ein Teil von Springer Nature 1992, 2001, 2008, 2022

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Hinrich Küster

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

## Vorwort zur 4. Auflage

In dieser Neuauflage sind einige Ergänzungen und Erweiterungen in jenen Gebieten eingefügt, welche in den vergangenen Jahren an Bedeutung gewonnen haben oder auf denen größere Fortschritte erzielt wurden. Dies betrifft vor allem das Kapitel „Wundballistik in der Rechtsmedizin“, welches von den beteiligten Autoren überarbeitet wurde. So hat die Registrierung und Dokumentation von Verletzungen, die heute mittels Computer- und Magnetresonanztomografie sowie mit Oberflächenscanning und Ganzkörperfotografie erfolgen kann, eine hohe Aussagekraft erreicht. Dreidimensionale Tatortrekonstruktionen und die Visualisierung von Tatabläufen mit 3D-Brillen werden dadurch ermöglicht.

Der Abschnitt „Wundballistik der Kurzwaffengeschosse“ wurde um einen Beitrag zur Polizeimunition ergänzt, die seit Jahrhundertbeginn in mehreren europäischen Ländern eingeführt ist. Darin wird ein Blick auf einige wundballistische Eigenschaften der zugehörigen Geschosse geworfen. Im gleichen Abschnitt werden auch einige Ergebnisse von Untersuchungen an Flüssigkeitsstrahlen präsentiert, wie sie bei Reizstoffgeräten auftreten.

Im Abschnitt „Wundballistik der Langwaffengeschosse“ wird neu der Einfluss des Waffenlaufs auf das Verletzungspotenzial der nicht-expandierenden Geschosse besprochen und auf Eigenschaften bleifreier Jagdgeschosse hingewiesen.

Allen Mitautoren danke ich für die prompte und zeitgerechte Überarbeitung und Aktualisierung ihrer Beiträge. Dr. Fabiano Riva führte eine Literaturrecherche zu Arbeiten über Knochensimulanzien durch und Matthieu Glardon stellte Auszüge aus seiner umfassenden Arbeit über die Polizeimunition in Europa zur Verfügung. Dominique Gascho sorgte für adäquate Abbildungen im Abschnitt über bildgebende Verfahren. Ihnen allen sei für ihre Mithilfe herzlich gedankt. Durch die Möglichkeit, Abbildungen in Farbe darzustellen, hat sich eine wesentliche Verbesserung der Aussagekraft der Bilder ergeben. Hierfür und für die ausgezeichnete Zusammenarbeit sei dem Springer-Verlag herzlich gedankt.

Mit der vorliegenden 4. Auflage dieser Monografie zur Wundballistik möchte ich es nicht versäumen, an **Diplom-Physiker Prof. Dr. med. Karl G. Sellier** vom Institut für Rechtsmedizin der Universität Bonn zu erinnern. In seinen Büchern „Schusswaffen und Schusswirkungen“ legte er bereits verschiedene visionäre Ideen zu den Ereignissen nieder, die sich in den Tausendstelsekunden abspielen, in denen ein Geschoss einen menschlichen Körper durchdringt. Seit Ende der 70er Jahre des vergangenen Jahrhunderts trafen wir uns während eines Jahrzehnts

mehrmals jährlich zu intensiven Diskussionen, Versuchen und Untersuchungen und bezogen auch die Ergebnisse der gemeinsam besuchten internationalen Symposien zur Wundballistik mit ein. Gegen Ende der 80er Jahre dachte Karl Sellier an eine zusammenfassende Publikation des Erarbeiteten und lud mich zur Mitarbeit ein. Es sollte ein Buch über die Physik der Schussverletzung werden. „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“, schrieb er im Vorwort zur 1. Auflage.

Karl Sellier ist im April 1997 viel zu früh verstorben, also genau 25 Jahre vor Erscheinen dieser Ausgabe. So konnte er den Erfolg der von ihm angestoßenen Monografie nicht mehr erleben. Seinem Andenken sei diese 4. Auflage gewidmet.

Thun, im Januar 2022

Beat P. Kneubuehl

## 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 Simulanzien 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 Einführung.....</b>	<b>1</b>
<b>2 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 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 Simulanzien .....	143
3.4 Andere Simulationsmöglichkeiten .....	164
<b>4 Wundballistik der Geschosse und Splitter.....</b>	<b>173</b>
<i>Beat P. Kneubuehl</i>	
4.1 Zur Wirksamkeit von Geschossen.....	173
4.2 Wundballistik der Kurzwaffengeschosse .....	197
4.3 Wundballistik der Langwaffengeschosse .....	231
4.4 Wundballistik der Splitter.....	254
4.5 Die sogenannten „nicht-letal“ Geschosse.....	263
<b>5 Wundballistik in der Rechtsmedizin .....</b>	<b>277</b>
5.1 Klassische Rechtsmedizin .....	277
<i>Markus A. Rothschild</i>	
5.2 Moderne bildgebende Verfahren.....	319
<i>Michael J. Thali</i>	
5.3 Experimentelle Rekonstruktion.....	327
<i>Beat P. Kneubuehl, Michael J. Thali</i>	
<b>6 Wundballistik und Chirurgie.....</b>	<b>341</b>
<i>Robin M. Coupland</i>	
6.1 Die historische Verbindung zwischen Wundballistik und Chirurgie .....	341
6.2 Wundballistik und ballistisches Trauma: Worin besteht der Unterschied? .....	342
6.3 Vergleich simulierter und realer Schussverletzungen .....	343
6.4 Klinische Aspekte realer Verletzungen.....	349

6.5 Beitrag der Wundballistik zur Versorgung schussverletzter Personen ...	350
6.6 Die Dokumentation ballistischer Traumen.....	355
<b>7 Wundballistik und internationale Abkommen.....</b>	<b>361</b>
<i>Beat P. Kneubuehl</i>	
7.1 Einleitung .....	361
7.2 Historische Entwicklung von Waffen und Munition.....	361
7.3 Internationale Abkommen .....	375

## Anhang

<b>A Tabellen.....</b>	<b>385</b>
A.1 Übersicht über die Tabellen im Text .....	385
A.2 Materieeigenschaften.....	387
A.3 Kaliberbezeichnungen .....	388
A.4 Ballistische Daten von Patronen.....	390
A.5 Bezeichnungen bei Geschossen.....	395
A.6 Geometrische Daten ausgewählter Geschosse .....	396
A.7 Dralllängen, Drallwinkel und Drehzahlen.....	397
A.8 Schusstafeln.....	399
A.9 Flinten und Schrot .....	418
<b>B Fachwörterbuch .....</b>	<b>421</b>
B.1 Deutsch – Englisch – Französisch .....	421
B.2 Englisch – Deutsch – Französisch .....	439
B.3 Französisch – Deutsch – Englisch .....	459
<b>C Literaturverzeichnis.....</b>	<b>477</b>
Abbildungsnachweise .....	503
<b>Sachverzeichnis .....</b>	<b>505</b>

# Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Formelzeichen.....	XXIII
SI-Vorsätze für dezimale Teile oder Vielfache von Einheiten .....	XXVII
Umrechnung von Einheiten .....	XXVII

## **1 Einführung..... 1**

## **2 Grundlagen..... 3**

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 Matericeigenschaften .....	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</b>	<b>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	Simulanzen .....	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 Beschuss.....	145
3.3.2.3	Auswertung der Gelatinebeschüsse .....	146
3.3.3	Glyzerinseife (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
3.3.5.4	Publikationen zu Kunststoffknochen .....	161
3.3.6	Weitere Simulanzien .....	163
3.4	Andere Simulationsmöglichkeiten .....	164
3.4.1	Tier- und Leichenexperimente .....	164
3.4.1.1	Tierversuche.....	164
3.4.1.2	Leichen.....	167
3.4.1.3	Zellkulturen.....	167
3.4.2	Physikalisch-mathematische Modelle.....	167
3.4.2.1	Allgemeines .....	167
3.4.2.2	Geschwindigkeitsprofil nach Sellier .....	168
3.4.2.3	Der „Computer Man“ .....	169
3.4.2.4	Das „Verwundungsmodell Schütze“ (VeMo-S) .....	170
<b>4</b>	<b>Wundballistik der Geschosse und Splitter.....</b>	<b>173</b>
4.1	Zur Wirksamkeit von Geschossen.....	173
4.1.1	Wirksamkeit und Wirkung .....	173
4.1.1.1	Definitionen .....	173
4.1.1.2	Anteile der Wirkung.....	173
4.1.2	Maßzahlen der Wirksamkeit .....	175
4.1.2.1	Historisches.....	175
4.1.2.2	Der „Aufhaltekraft“-Irrtum .....	176
4.1.2.3	Klassische Wirksamkeitszahlen.....	177
4.1.2.4	Zusammenfassung und Beurteilung.....	187
4.1.3	Bestimmung der Wirksamkeit eines Geschosses.....	189
4.1.3.1	Definition der Wirksamkeit .....	189
4.1.3.2	Messung der Wirksamkeit .....	189
4.1.4	Militärische Wirksamkeitskriterien.....	190
4.1.4.1	Wirksamkeitsdefinitionen .....	190
4.1.4.2	Wahrscheinlichkeiten der Außergefechtsetzung.....	192

4.2	Wundballistik der Kurzwaffengeschosse .....	197
4.2.1	Eindringtiefe und Durchschlagsvermögen von Geschossen in Gelatine, Seife, Muskulatur und Knochen .....	197
4.2.1.1	Allgemeines .....	197
4.2.1.2	Eindringtiefe in Gelatine, Seife und Muskulatur .....	198
4.2.1.3	Durchschlagsvermögen in Knochen .....	207
4.2.1.4	Grenzgeschwindigkeiten für das Auge .....	212
4.2.2	Kurzwaffengeschosse und ihre Eigenschaften .....	213
4.2.2.1	Allgemeines .....	213
4.2.2.2	Geschosse mit guten Durchschlageigenschaften .....	214
4.2.2.3	Im Hinblick auf Wirksamkeit konstruierte Geschosse ..	215
4.2.2.4	Polizeigeschosse .....	220
4.2.2.5	Außergewöhnliche Geschosskonstruktionen .....	224
4.2.3	Gas- und Flüssigkeitsstrahlen als Projektile .....	226
4.2.3.1	Allgemeines .....	226
4.2.3.2	Flüssigkeitsstrahlen .....	226
4.2.3.3	Gasstrahlen .....	228
4.2.3.4	Gasstrahlwirkung bei Gas- und Schreckschusswaffen ..	228
4.3	Wundballistik der Langwaffengeschosse .....	231
4.3.1	Einleitung .....	231
4.3.2	Effekte abseits vom Schusskanal („remote effects“) .....	232
4.3.2.1	Allgemeines .....	232
4.3.2.2	Stoßwellen .....	233
4.3.2.3	Biologisch-pathologische Folgen der Stoßwellen .....	237
4.3.2.4	Druckwechsel in Blutgefäßen .....	243
4.3.2.5	Druckstöße auf Blutgefäße .....	244
4.3.2.6	Knochenbrüche abseits des Schusskanals .....	245
4.3.3	Nicht-expandierende Langwaffengeschosse .....	246
4.3.3.1	Geschosse für militärische Verwendung .....	246
4.3.3.2	Der Einfluss der Waffe .....	248
4.3.3.3	Schrot und Flintenlaufgeschosse .....	250
4.3.4	Expandierende Langwaffengeschosse, Jagdgeschosse .....	251
4.3.4.1	Zur Wirksamkeit von Jagdgeschossen .....	251
4.3.4.2	Bleifreie Jagdgeschosse .....	253
4.4	Wundballistik der Splitter .....	254
4.4.1	Allgemeines .....	254
4.4.1.1	Zur Häufigkeit von Splitterverletzungen .....	254
4.4.1.2	Verletzungen durch splitterähnliche Projektile .....	255
4.4.2	Bewegungs- und Energiegleichungen eines Splitters .....	256
4.4.2.1	Hypothesen .....	256
4.4.2.2	Geometrische Form des Schusskanals .....	257
4.4.2.3	Energie- und Bewegungsgleichung .....	257



5.1.6.1	Brustkorb.....	300
5.1.6.2	Abdomen.....	301
5.1.7	Knöcherne Schussverletzungen .....	302
5.1.7.1	Allgemeines .....	302
5.1.7.2	Platte Knochen .....	304
5.1.7.3	Lange Röhrenknochen .....	305
5.1.7.4	Wirbelkörper .....	306
5.1.8	Besonderheiten bei Flintenschüssen .....	306
5.1.8.1	Allgemeines .....	306
5.1.8.2	Einschussmorphologie .....	307
5.1.8.3	Innere Wundmorphologie .....	308
5.1.9	Todesursachen und Handlungsfähigkeit .....	308
5.1.9.1	Todesursachen.....	308
5.1.9.2	Handlungsfähigkeit .....	311
5.1.10	Besondere Geschosse .....	313
5.1.10.1	Gasdruckwaffen .....	313
5.1.10.2	Schreckschuss- und Reizstoffwaffen .....	314
5.1.10.3	Pfeilschussverletzungen .....	316
5.1.10.4	Bolzenschuss- und Bolzensetzgeräte .....	318
5.2	Moderne bildgebende Verfahren .....	319
5.2.1	Oberflächendokumentation .....	319
5.2.2	Radiologische Dokumentation .....	321
5.2.3	Fusion von Oberflächen- und radiologischer Dokumentation .....	323
5.2.4	Dokumentation von Ereignisorten mit modernen bildgebenden Verfahren.....	325
5.2.5	Visualisierungen mit 3D-Brillen .....	325
5.3	Experimentelle Rekonstruktion .....	327
5.3.1	Einführung.....	327
5.3.2	Rekonstruktion von Schussfällen .....	327
5.3.2.1	Vorbemerkungen.....	327
5.3.2.2	Zu beachtende Punkte .....	328
5.3.2.3	Fallbeispiele .....	328
5.3.3	Stumpfe und scharfe Gewalt .....	332
5.3.3.1	Einrichtungen und Möglichkeiten.....	332
5.3.3.2	Anwendungsbeispiele .....	333
5.3.4	Anwendung der Virtopsy .....	335
5.3.4.1	Dokumentation und Visualisierung .....	335
5.3.4.2	Fallbeispiel .....	339
<b>6</b>	<b>Wundballistik und Chirurgie.....</b>	<b>341</b>
6.1	Die historische Verbindung zwischen Wundballistik und Chirurgie .....	341
6.2	Wundballistik und ballistisches Trauma: Worin besteht der Unterschied? .....	342
6.3	Vergleich simulierter und realer Schussverletzungen .....	343

---

6.3.1	Vorbemerkungen.....	343
6.3.2	Fallbeispiele .....	343
6.3.3	Folgerungen.....	348
6.4	Klinische Aspekte realer Verletzungen.....	349
6.5	Beitrag der Wundballistik zur Versorgung schussverletzter Personen.....	350
6.5.1	Das „Wundprofil“ .....	350
6.5.2	Wodurch wird der Gewebeschaden verursacht? .....	351
6.5.3	Nachweis von Gas in Geweben anhand eines klinischen Röntgenbildes.....	352
6.5.4	Die „heißes Geschoss“-Theorie .....	352
6.5.5	Brüche langer Röhrenknochen.....	352
6.5.6	Schädel-Hirn-Verletzungen.....	354
6.5.7	Ungeklärte Punkte.....	354
6.6	Die Dokumentation ballistischer Traumen.....	355
6.6.1	Übersicht .....	355
6.6.2	Die Bewertung von Verletzungen im Feld.....	356
6.6.3	Die Rolle der Chirurgen und die Anwendung des internatio- nalen humanitären Rechts .....	358
6.6.4	Die Dokumentation von ballistischem Trauma: Eine breitere Verantwortlichkeit für medizinisch tätige Personen? .....	358
<b>7</b>	<b>Wundballistik und internationale Abkommen.....</b>	<b>361</b>
7.1	Einleitung .....	361
7.2	Historische Entwicklung von Waffen und Munition.....	361
7.2.1	Allgemeines.....	361
7.2.2	Entwicklung der Munition .....	362
7.2.2.1	Der Stand um 1800 .....	362
7.2.2.2	Das Langgeschoss.....	362
7.2.2.3	Das Zündhütchen .....	363
7.2.2.4	Die Metallpatrone .....	364
7.2.2.5	Das raucharme Pulver .....	364
7.2.2.6	Geschossentwicklungen.....	366
7.2.2.7	Die sogenannten Dumdumgeschosse.....	366
7.2.3	Entwicklung der Waffen im 19. Jahrhundert.....	369
7.2.3.1	Die Vorderlader und ihre Probleme .....	369
7.2.3.2	Hinterlader .....	370
7.2.3.3	Repetierer.....	371
7.2.3.4	Kurzwaffen.....	371
7.2.4	Das 20. Jahrhundert.....	372
7.2.4.1	Munition.....	372
7.2.4.2	Waffen.....	373
7.3	Internationale Abkommen .....	375
7.3.1	Grundsätze.....	375

7.3.2	Die verschiedenen Abkommen .....	375
7.3.2.1	Die erste Genfer Konvention von 1864 .....	375
7.3.2.2	Die Deklaration von St. Petersburg 1868.....	376
7.3.2.3	Die Konferenz von Brüssel 1874.....	376
7.3.2.4	Die Haager Konvention von 1899 .....	377
7.3.2.5	Die Haager Landkriegsordnung von 1907.....	378
7.3.2.6	Die Genfer Rotkreuz-Abkommen von 1949.....	379
7.3.2.7	Die Zusatzprotokolle von 1977 zu den Genfer Rotkreuz-Abkommen.....	379
7.3.2.8	Die UNO-Konferenz von Genf 1980.....	380
7.3.2.9	Die Abkommen aus wundballistischer Sicht .....	381
7.3.3	Grundlagen für die Formulierung künftiger völkerrechtlicher Konventionen .....	381
7.3.3.1	Nachteile der Wortlaute bestehender Konventionen .....	381
7.3.3.2	Projektilunabhängige Beurteilungsverfahren.....	382
7.3.3.3	Normierungsmöglichkeiten.....	383

## Anhang

<b>A</b>	<b>Tabellen.....</b>	<b>385</b>
A.1	Übersicht über die Tabellen im Text.....	385
A.2	Materieeigenschaften.....	387
A.2.1	Fluide und fluidähnliche Stoffe.....	387
A.2.2	Feste Stoffe.....	387
A.3	Kaliberbezeichnungen .....	388
A.3.1	Kurzwaffen.....	388
A.3.2	Armeegewehre .....	389
A.3.3	Jagd- und Sportgewehre.....	389
A.4	Ballistische Daten von Patronen.....	390
A.4.1	Kurzwaffenpatronen.....	390
A.4.2	Armeemunition .....	391
A.4.3	Jagd- und Sportmunition .....	392
A.4.4	Alte Munition vor 1900 und die dazugehörigen Waffen .....	393
A.4.5	Ballistische Leistungen einiger Armbrüste und Bögen.....	394
A.4.5.1	Technische Daten.....	394
A.4.5.2	Ballistische Daten .....	394
A.4.6	Ballistische Daten einiger Sportwurfkörper.....	394
A.5	Bezeichnungen bei Geschossen.....	395
A.5.1	Geschossform.....	395
A.5.2	Geschossmaterial.....	395
A.5.3	Geschossaufbau.....	395

A.6 Geometrische Daten ausgewählter Geschosse .....	396
A.6.1 Armeegeschosse .....	396
A.6.2 Weitere Geschosse .....	396
A.7 Dralllängen, Drallwinkel und Drehzahlen.....	397
A.7.1 Kurzwaffen.....	397
A.7.2 Langwaffen .....	397
A.7.2.1 Armeegewehre .....	397
A.7.2.2 Jagd- und Sportgewehre.....	398
A.8 Schusstafeln .....	399
A.8.1 Erläuterungen .....	399
A.8.2 Kurzwaffen.....	399
A.8.3 Langwaffen .....	405
A.8.4 Alte Langwaffen.....	412
A.8.5 Diverses.....	414
A.9 Flinten und Schrot .....	418
A.9.1 Kaliber von Flintenläufen .....	418
A.9.2 Ballistische Daten von Schrotkörnern.....	418
A.9.3 Benennung von „Buckshot“-Größen.....	418
A.9.4 Benennung von normalen Schrotgrößen: angloamerikanisches System .....	419
A.9.5 Benennung von normalen Schrotgrößen: metrisches System.....	419
<b>B Fachwörterbuch .....</b>	<b>421</b>
B.1 Deutsch ⇒ Englisch ⇒ Französisch .....	421
B.2 Englisch ⇒ Deutsch ⇒ Französisch .....	439
B.3 Französisch ⇒ Deutsch ⇒ Englisch .....	459
<b>C Literaturverzeichnis.....</b>	<b>477</b>
Allgemeine Literatur .....	477
Einzelarbeiten.....	479
Abbildungsnachweise .....	503
<b>Sachverzeichnis .....</b>	<b>505</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]
$\ell$	Länge allgemein	[mm, cm]
$\ell_g$	Geschosslänge	[mm]
$\ell_{NC}$	Länge des „Narrow Channel“	[cm]
$\ell_s$	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]
$t_c$	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 <sup>5</sup> Pa	14.503774 psi