

Inhalt

	Vorwort	17
1	Einleitung	19
2	Physikalische Grundlagen	21
2.1	Allgemeines	21
2.1.1	Motivation	21
2.1.2	Bezugssysteme und Maßeinheiten	21
2.2	Mechanik	22
2.2.1	Kinematik	22
2.2.1.1	Allgemeines	22
2.2.1.2	Geradlinige Bewegungen	22
2.2.1.3	Kreisbewegungen	24
2.2.2	Masse, Kraft, Impuls	25
2.2.2.1	Die Masse	25
2.2.2.2	Die Newton'schen Axiome	25
2.2.2.3	Schwerpunkt und Punktmasse	27
2.2.2.4	Spannungen	27
2.2.3	Arbeit und Energie	27
2.2.3.1	Definition der Arbeit	27
2.2.3.2	Energie	28
2.2.4	Drehbewegungen	29
2.2.4.1	Das Drehmoment	29
2.2.4.2	Das Trägheitsmoment eines Körpers	29
2.2.4.3	Drehimpuls und Drehenergie	30
2.2.4.4	Vergleich zwischen linearer Bewegung und Drehbewegung	30
2.2.5	Erhaltungssätze	31
2.2.5.1	Erhaltung der Masse und des Schwerpunktes	31
2.2.5.2	Impulserhaltung	31
2.2.5.3	Energieerhaltung	31
2.2.6	Bewegungsgleichungen	32
2.2.6.1	Allgemeines	32
2.2.6.2	Das Prinzip von d'Alembert	32
2.2.6.3	Flugbahnen ohne Luftwiderstand	33
2.2.6.4	Wegabhängigkeit	34
2.2.7	Stoßvorgänge	34
2.2.7.1	Allgemeines, Stoßarten	34
2.2.7.2	Einfache Stoßgesetze	35
2.2.7.3	Spezialfälle	37
2.3	Strömungslehre	38
2.3.1	Allgemeines	38
2.3.2	Wichtige Sätze aus der Wärmelehre (Thermodynamik)	38
2.3.2.1	Temperatur und Wärme	38
2.3.2.2	Aggregatzustände	39
2.3.2.3	Zustandsgleichung der Gase	39

2.3.2.4	Wärme, Arbeit und innere Energie	40
2.3.2.5	Schallgeschwindigkeit und Machzahl	41
2.3.3	Strömungsgesetze	42
2.3.3.1	Reibung in Fluiden	42
2.3.3.2	Charakterisierung von Strömungen	42
2.3.3.3	Erhaltungssätze	42
2.3.3.4	Die Gleichung von Bernoulli	43
2.3.4	Kräfte auf umströmte Körper	43
2.3.4.1	Strömungswiderstand	43
2.3.4.2	Auftrieb	44
2.3.4.3	Der Magnus-Effekt	45
2.3.4.4	Drehmoment	46
2.3.4.5	Verdichtungsstöße	46
3	Munitions- und waffentechnische Grundlagen	47
3.1	Allgemeines, Begriffe	47
3.2	Die Bestandteile von Munition	47
3.2.1	Aufbau und Bezeichnung einer Patrone	47
3.2.2	Das Geschoss	48
3.2.3	Treibmittel	49
3.2.3.1	Allgemeines	49
3.2.3.2	Explosivstoffe	50
3.2.3.3	Schwarzpulver	50
3.2.3.4	Nitrotreibmittel (rauchschwache Pulver)	51
3.2.4	Das Zündelement	52
3.2.5	Die Hülse	54
3.3	Waffen	55
3.3.1	Wesentliche Bauteile einer Waffe	55
3.3.1.1	Die Baugruppen einer Waffe	55
3.3.1.2	Der Lauf	55
3.3.1.3	Der Verschluss	56
3.3.1.4	Die Abzugsvorrichtung	57
3.3.1.5	Die Zielvorrichtung	57
3.3.2	Waffenkategorien	58
3.3.2.1	Bezeichnungen	58
3.3.2.2	Kurzwaffen	58
3.3.2.3	Langwaffen	59
3.4	Munitionsarten	60
3.4.1	Munition für Kurzwaffen	60
3.4.1.1	Pistolenmunition	60
3.4.1.2	Revolvermunition	61
3.4.2	Munition für Langwaffen	62
3.4.2.1	Munition für Armeegewehre	62
3.4.2.2	Jagdmunition	63
3.4.2.3	Flintenmunition	64
4	Ballistik	65
4.1	Allgemeines	65
4.1.1	Die Teilgebiete der Ballistik	65
4.1.2	Größenordnungen	65
4.1.3	Die Querschnittsbelastung	66

4.2	Die Vorgänge in der Waffe (Innenballistik)	67
4.2.1	Allgemeines	67
4.2.2	Die Schussentwicklung	67
4.2.2.1	Die Zündung	67
4.2.2.2	Der Pulverabbrand	67
4.2.2.3	Geschossbewegung und Druckverlauf	68
4.2.2.4	Energiebilanz	69
4.2.3	Innenballistische Berechnungen	70
4.2.3.1	Das innenballistische Gleichungssystem	70
4.2.3.2	Der mittlere Druck und das Druckverhältnis	72
4.2.3.3	Die Methode von Heydenreich Berechnungsbeispiel: 7.5 × 55 Swiss (GP 11)	73
4.2.3.4	Das Entspannungsverhältnis	74
4.2.3.5	Die Leistenkräfte	75
4.2.3.6	Das Druckgefälle im Lauf	76
4.3	77	
4.3.1	Der Geschossabgang (Abgangsballistik)	77
4.3.1.1	Die Vorgänge an der Mündung	77
4.3.1.2	Die Ausströmgeschwindigkeit der Pulvergase	77
4.3.1.3	Die Gasströmung aus der Mündung und ihre Auswirkungen	79
4.3.1.4	Feuerphänomene	79
4.3.2	Der Rückstoß	80
4.3.2.1	Ursachen des Rückstoßes	80
4.3.2.2	Bestimmung des Rückstoßimpulses	80
4.3.2.3	Rücklaufgeschwindigkeit und Rückstoßenergie	81
4.3.2.4	Das Hochschlagen der Waffenmündung	81
4.3.2.5	Möglichkeiten der Beeinflussung	83
4.4	Außenballistik	83
4.4.1	Allgemeines	83
4.4.2	Die Atmosphäre	83
4.4.2.1	Eigenschaften der Luft	83
4.4.2.2	Die ICAO - Atmosphäre	85
4.4.2.3	Wirkliche Verhältnisse	85
4.4.3	Der Luftwiderstand	86
4.4.3.1	Der Staudruck	86
4.4.3.2	Der Luftwiderstandsbeiwert	87
4.4.3.3	Die Anteile des Luftwiderstandes	87
4.4.3.4	Luftwiderstand und Verzögerung	90
4.4.4	Weitere Kräfte, die auf das Geschoss wirken	90
4.4.4.1	Das Gewicht	90
4.4.4.2	Antriebskräfte	91
4.4.4.3	Eigenbewegungen des Geschosses und daraus folgende Kräfte	91
4.4.5	Flugbahnrechnungen	92
4.4.5.1	Allgemeines zur Berechnung von Flugbahnen	92
4.4.5.2	Die Bewegungsgleichungen	93
4.4.5.3	Näherungen für flache Flugbahnen	94
4.4.5.4	Gipfelhöhe, Visierbereich und GEE	95
4.4.5.5	Der Einfluss von Querwind	97
4.4.5.6	Schusstafeln	98
4.4.5.7	Die amerikanische Berechnungsweise	99
4.4.6	Stabilität und Folgsamkeit	101
4.4.6.1	Definition der Stabilität	101
4.4.6.2	Stabilitätsbedingungen beim Geschoss	101
4.4.6.3	Geschosse mit Drallstabilisierung	102

4.4.6.4	Stabilisierung drallloser Geschosse	103
4.4.6.5	Schulterstabilisierung	104
4.4.6.6	Folgsamkeit	104
4.4.7	Ausgewählte außenballistische Probleme	105
4.4.7.1	Schrotgarben	105
4.4.7.2	Der Einfluss der Erdrotation	106
4.4.7.3	Der Schuss steil aufwärts in die Luft	107
4.5	Optimale Geschosse (Geschossaerodynamik)	108
4.5.1	Optimierungsprinzipien	108
4.5.2	Geschosse mit minimalem Luftwiderstand	109
4.5.2.1	Optimierungsmöglichkeiten	109
4.5.2.2	Optimierung der Geschossspitze nach Haack	109
4.5.2.3	Optimierung der Geschossspitze nach Newton	111
4.5.2.4	Experimenteller Vergleich	112
4.5.2.5	Optimierung des Geschosshecks	112
4.5.2.6	Geschosse mit Führungsbändern	114
4.5.3	Stabilität und Schlankheitsgrad	115
4.5.3.1	Optimale Geschosse und gyrokopische Stabilität	115
4.5.3.2	Die Munk'sche Luftschiffformel	116
4.5.3.3	Geschosse maximaler Stabilität	116
4.5.3.3	Die optimale Geschossform	117
4.5.3.4	Wie lang darf ein drallstabilisiertes Geschoss sein?	118
4.5.4	Flugbahnstreckung	119
4.5.4.1	Maßzahlen der Flugbahnstreckung	119
4.5.4.2	Die optimale Geschossmasse	120
4.5.5	Optimierung der Streuung	122
4.6	Schießen auf große Distanzen	123
4.6.1	Allgemeines	123
4.6.2	Langwaffen	123
4.6.2.1	Historisches	123
4.6.2.2	Die Bedeutung der Flugzeit	124
4.6.2.3	Grundsätzliches zum Windeinfluss	125
4.6.2.4	Querwind	126
4.6.2.5	Längswind	127
4.6.2.6	Der Einfluss der Mündungsgeschwindigkeit	128
4.6.2.7	Folgerungen	129
4.6.3	Kurzwaffen	130
4.6.3.1	Motivation	130
4.6.3.2	Historischer Rückblick	130
4.6.3.3	Einfluss von Wind und Mündungsgeschwindigkeit	131
4.6.3.4	Waffentechnische Einflüsse	132
4.6.3.5	Mögliche Schussdistanzen	133
4.6.4	Die maximale Reichweite	134
4.7	Endballistik der Materie	134
4.7.1	Allgemeines	134
4.7.1.1	Vorbemerkungen	134
4.7.1.2	Elementare Gesetzmäßigkeiten	135
4.7.1.3	Materialarten	135
4.7.1.4	Das Backman-Goldsmit-Diagramm	136
4.7.2	Ein- und Durchdringungsmodelle	137
4.7.2.1	Das Stanzmodell	137
4.7.2.2	Das Verdrängungsmodell	137
4.7.2.3	Durchschießen dünner Schichten	137

4.7.3	Zielanordnungen	138
4.7.3.1	Ballistischer Schutz	138
4.7.3.2	Geneigte Ziele	138
4.7.3.3	Geschottete Ziele	139
4.7.3.4	Asymmetrische Anordnungen	140
4.7.4	Verhaltensmerkmale verschiedener Materialien	140
4.7.4.1	Metalle	140
4.7.4.2	Holz	141
4.7.4.3	Sand, Erde	141
4.7.4.4	Glasartige Materialien	142
4.7.5	Abprallende Geschosse	142
4.7.5.1	Allgemeines, Definitionen	142
4.7.5.2	Einflüsse auf das Abprallverhalten eines Geschosses	143
4.7.5.3	Prellkörper großer Masse	144
4.7.5.4	Der senkrechte Schuss gegen eine harte Oberfläche	144
4.7.5.5	Berührung mit leichten Gegenständen	145
4.7.5.6	Der Einfluss von Regen	146
4.7.5.7	Die Flugbahn des Prellschusses	146
4.8	Die ballistischen Paradoxa	147
5	Kriterien des Treffens	149
5.1	Einleitung	149
5.2	Der Umgang mit zufälligen Ereignissen	149
5.2.1	Grundlagen	149
5.2.1.1	Zufällige Ereignisse	149
5.2.1.2	Häufigkeitsverteilungen	150
5.2.1.3	Die Normalverteilung	151
5.2.1.4	Die Charakterisierung von Verteilungen	152
5.2.1.5	Das Ausmessen eines Trefferbildes	152
5.2.2	Maßzahlen der Lage	153
5.2.2.1	Mittelwert und mittlerer Treffpunkt	153
5.2.2.2	Der Median	154
5.2.3	Maßzahlen der Streuung	154
5.2.3.1	Die Standardabweichung	154
5.2.3.2	Die 50 %-Streuung	155
5.2.3.3	Spannweite und Streukreisdurchmesser	156
5.3	Auswertung und Beurteilung von Trefferbildern und Messreihen	157
5.3.1	Gesamtheit und Stichprobe	157
5.3.1.1	Gesamtheiten	157
5.3.1.2	Stichproben	157
5.3.2	Planung und Durchführung von Versuchen	158
5.3.2.1	Das Versuchsziel	158
5.3.2.2	Die Stichprobengröße	158
5.3.2.3	Testverfahren	162
5.3.3	Praktische Ermittlung von mittlerem Treffpunkt und Streuung	162
5.3.3.1	Berechnung der statistischen Maßzahlen	162
5.3.3.2	Angenäherte Bestimmung des mittleren Treffpunktes	162
5.3.3.3	Angenäherte Bestimmung der Streuung	163
5.3.3.4	Zusammenfassen von Trefferbildern	163
5.3.4	Vergleich zweier Trefferbilder (Stichproben)	163
5.3.4.1	Vergleichstest für Streuungen (F-Test)	163
5.3.4.2	Streuungsvergleich mittels Spannweite und Streukreisdurchmesser	165

5.3.4.3	Vergleichstest für Mittelwerte	166
5.3.5	Ausreißerregeln	167
5.3.5.1	Das Ausreißerproblem	167
5.3.5.2	Begründbare Ausreißer	168
5.3.5.3	Ausreißer ohne ersichtlichen Grund	168
5.3.5.4	Ausreißerkriterien	169
5.3.5.5	Berechnungsbeispiele	169
5.4	Einflüsse auf den Treffpunkt	171
5.4.1	Fehler und Störungen	171
5.4.2	Der Einfluss von Fehlern	171
5.4.2.1	Zielfehler	171
5.4.2.2	Verkanten	172
5.4.2.3	Aufwärts- und Abwärtschießen	173
5.4.3	Der Einfluss von Störungen	174
5.4.3.1	Patronentemperatur	174
5.4.3.2	Streuung der Geschossmasse	174
5.4.3.3	Auszieh- und Einpresswiderstand, rotationsloser Geschossweg	174
5.4.3.4	Der Abgangsfehler	175
5.4.3.5	Nachwirkung der Pulvergase	175
5.4.3.6	Die Streuung der Mündungsgeschwindigkeit	176
5.4.3.7	Der Einfluss von Wind	176
5.4.3.8	Luftdruck- und Temperaturschwankungen	177
5.5	Treffwahrscheinlichkeit und Trefferprognosen	177
5.5.1	Bestimmung der Treffwahrscheinlichkeit	177
5.5.1.1	Allgemeines, Definitionen	177
5.5.1.2	Die relative Häufigkeit	178
5.5.1.3	Wahrscheinlichkeit	178
5.5.1.4	Bestimmung weiterer Wahrscheinlichkeiten	179
5.5.2	Treffwahrscheinlichkeit beim Scheibenschießen	180
5.5.2.1	Die Treffwahrscheinlichkeit eines Kreises	180
5.5.2.2	Die Treffwahrscheinlichkeit eines Kreisringes	181
5.5.2.3	Schätzen der Standardabweichung aus geschossenen Punktzahlen	182
5.5.2.4	Der Einfluss von Kaliber und Schussdistanz auf die Trefferwahrscheinlichkeit	184
5.5.3	Die Beeinflussung der Streuung	184
5.5.3.1	Die Anteile der Streuung	184
5.5.3.2	Streuung und Visierlänge	185
5.5.3.3	Wann lohnt sich Matchmunition?	185
5.5.4	Die Treffwahrscheinlichkeit beim jagdlichen Schießen	187
5.5.4.1	Einflüsse auf den mittleren Treffpunkt	187
5.5.4.2	Die Streuung des mittleren Treffpunktes	187
5.5.4.3	Schätzung der Spannweite	188
5.6	Treffen in der Bewegung	188
5.6.1	Allgemeines	188
5.6.2	Ziel in Bewegung	189
5.6.2.1	Das Begegnungsproblem	189
5.6.2.2	Die Schusszeit	190
5.6.2.3	Vorhaltmaße bei Zielweg senkrecht zur Schussrichtung	191
5.6.2.4	Vorhaltmaße bei zur Schussrichtung geneigtem Zielweg	192
5.6.2.5	Mitbewegen der Waffe	192
5.6.3	Schütze in Bewegung	193
5.6.3.1	Relativbewegungen	193
5.6.3.2	Bewegung in Schussrichtung	194
5.6.3.3	Bewegung quer zur Schussrichtung	195
5.6.3.4	Querwindsimulation	195

6	Besondere Waffengattungen und ihre Ballistik	197
6.1	Ballistik alter Waffen («Schwarzpulverballistik»)	197
6.1.1	Einleitung	197
6.1.2	Schwarzpulver	197
6.1.2.1	Geschichtliches	197
6.1.2.2	Bestandteile	198
6.1.2.3	Herstellung	199
6.1.2.4	Rezepturen und Reaktionsprodukte	200
6.1.2.5	Ballistische Eigenschaften	200
6.1.3	Innenballistik von Schwarzpulverwaffen	201
6.1.3.1	Gasdruck und innenballistische Auslegung	201
6.1.3.2	Der Einfluss der Pulverkorngröße	202
6.1.3.3	Der Wirkungsgrad	203
6.1.3.4	Leistungsbeurteilung	204
6.1.4	Außenballistik	205
6.1.4.1	Einflüsse auf die Flugbahn	205
6.1.4.2	Schusstafeln	205
6.1.4.3	Streuung und Treffgenauigkeit	206
6.2	Bogen, Armbrust und andere Federwaffen	207
6.2.1	Allgemeines	207
6.2.2	Beschleunigung mittels Federkraft («Innenballistik» der Federwaffen)	207
6.2.2.1	Grundlegendes	207
6.2.2.2	Das Weg-Kraft-Diagramm	208
6.2.2.3	Bogen und Armbrust	209
6.2.2.4	Federpistole und Federgewehr	210
6.2.2.5	Schleudern	210
6.2.2.6	Der Recurvefaktor	211
6.2.2.7	Die Beschleunigung des Projektils	211
6.2.2.8	Der Wirkungsgrad	213
6.2.3	Die optimale Projektilmasse und weitere ballistische Fragen	214
6.2.3.1	Optimierungsmöglichkeiten	214
6.2.3.2	Die optimale Pfeilmasse bei Bogen und Armbrust	215
6.2.3.3	Außenballistische Eigenschaften des Pfeils	217
6.2.3.4	Ballistische Eigenschaften der Federpistole	218
6.2.3.5	Ballistische Eigenschaften der Schleuder	220
7	Wirksamkeit und Gefährlichkeit von Geschossen	221
7.1	Zur Wirksamkeit von Geschossen	221
7.1.1	Einführung	221
7.1.2	Wirksamkeit und Wirkung	222
7.1.2.1	Definitionen	222
7.1.2.2	Anteile der Wirkung	223
7.1.3	Wirksamkeitskriterien	224
7.1.3.1	Historisches	224
7.1.3.2	Zur mechanischen Aufhaltekraft eines Geschosses («Stopping Power»)	226
7.1.3.3	Wirksamkeitskriterien auf der Basis des Geschossimpulses	227
7.1.3.4	Wirksamkeitskriterien auf der Basis der Geschossenergie	228
7.1.3.5	Statistische Wirksamkeitskriterien	230
7.1.3.6	Militärische Wirksamkeitskriterien	231
7.2	Bestimmung der Wirksamkeit	233
7.2.1	Grundsätzliches	233
7.2.1.1	Definition der Wirksamkeit	233
7.2.1.2	Wirkungsweisen eines Geschosses	234

7.2.2	Simulanzien	235
7.2.2.1	Allgemeines	235
7.2.2.2	Gelatine	235
7.2.2.3	Glyzerinseife	236
7.2.2.4	Wasser	237
7.2.2.5	Feuchter Ton	238
7.2.3	Ermitteln der Wirksamkeit	239
7.2.3.1	Messtechnik	239
7.2.3.2	Wirksamkeitsfunktionen von Kurzwaffengeschossen	240
7.2.3.3	Wirksamkeitsfunktionen von Langwaffengeschossen	241
7.2.3.4	Vergleich zwischen Kurz- und Langwaffengeschossen	242
7.3	Wundballistik	242
7.3.1	Allgemeines	242
7.3.2	Geschossbewegung und -verhalten im Körper	242
7.3.2.1	Voll- und Vollmantelgeschosse	242
7.3.2.2	Kugelige und zylinderförmige Projektil	244
7.3.2.3	Deformierende und zerlegende Geschosse	244
7.3.2.4	Pfeile und Flechettes	245
7.3.3	Anwendungen	246
7.3.3.1	Kriegs- und Notfallchirurgie	246
7.3.3.2	Kriminalistik	246
7.3.3.3	Internationale Vereinbarungen	246
7.4	Gefährlichkeit von Projektilen	247
7.4.1	Definition der Gefährlichkeit	247
7.4.1.1	Ein gefährliches Ungefährlichkeitskriterium	247
7.4.1.2	Gefährlichkeitskriterien	248
7.4.1.3	Biologische Grenzwerte	248
7.4.2	Gefährlichkeitskriterien in der Praxis	248
7.4.2.1	Gefährlichkeitsgrenzwerte bei bekannten Projektilen	248
7.4.2.2	Gefährlichkeit bei maximaler Schussdistanz	250
7.4.2.3	Gefährlichkeit des Schießens steil aufwärts in die Luft	251
7.4.2.4	Gefährlichkeit abgeprallter Geschosse	252
7.4.2.5	«Softair»-Waffen und Schleudern	253
8	Geschosskonzepte	254
8.1	Vorbemerkung	254
8.2	Allgemeines	254
8.2.1	Das Grundprinzip des Geschosses	254
8.2.2	Energieverhältnisse	255
8.2.3	Historische Entwicklung des Geschosses	256
8.2.3.1	Steingeschosse	256
8.2.3.2	Pfeile und Speere	257
8.2.3.3	Kugeln	258
8.2.3.4	Das Langgeschoss	259
8.2.3.5	Kurzwaffengeschosse	261
8.3	Geschosse für Kurzwaffen	262
8.3.1	Das Dilemma der Kurzwaffengeschosse	262
8.3.2	Voll- und Vollmantelgeschosse	263
8.3.2.1	Klassische Geschosskonstruktionen	263
8.3.2.2	Die leichten Vollgeschosse	264
8.3.2.3	Deformierende Vollmantelgeschosse	264
8.3.2.4	Bleiarme und bleifreie Geschosse	265
8.3.3	Deformations- und Zerlegungsgeschosse	265

8.3.3.1	Klassische Geschosskonstruktionen	265
8.3.3.2	Monoblock-Deformationsgeschosse	266
8.3.3.3	Geschosse mit sekundären Projektilen	268
8.3.3.4	Nicht-deformierende Teilmantelgeschosse	268
8.3.4	Weitere Geschosse	269
8.3.4.1	Die «Personal Defence Weapon» (PDW)	269
8.3.4.2	Seltener Geschosskonstruktionen	270
8.4	Geschosse für Langwaffen, gezogene Läufe	271
8.4.1	Geschosse für militärische Anwendungen	271
8.4.1.1	Voll- und Vollmantelgeschosse	271
8.4.1.2	Leuchtpurgeschosse	273
8.4.1.3	Brand- und Explosivgeschosse	274
8.4.1.4	Die so genannten «Dumdumgeschosse»	275
8.4.1.5	Hartkerngeschosse	276
8.4.1.6	Kurzbahngeschosse	276
8.4.2	Jagdgeschosse	277
8.4.2.1	Frühe Jagdgeschosse	277
8.4.2.2	Die Kontroverse um Deformation und Durchschlagskraft	278
8.4.2.3	Energieumsetzung und Eindringtiefe	279
8.4.2.4	Moderne Jagdgeschosse	280
8.4.2.5	Zur Wirksamkeit von Jagdgeschossen	281
8.4.3	Entwicklungstendenzen	283
8.5	Geschosse für Langwaffen, glatte Läufe	284
8.5.1	Allgemeines	284
8.5.2	Schrot	284
8.5.3	Flintenlaufgeschosse	285
8.5.3.1	Frühe Flintenlaufgeschosse	285
8.5.3.2	Klassische Flintenlaufgeschosse	287
8.5.3.3	Neuere Entwicklungen	287
8.5.3.4	Eine charakteristische Eigenschaft der Flintenlaufgeschosse	288
8.6	Spezialkonstruktionen	289
8.6.1	Unterkalibergeschosse und Flechettes	289
8.6.2	Geschosse für konische Läufe	290
8.6.3	Das Röhrengeschoss	291
8.6.4	Mehrfachgeschosse	292
8.6.5	Raketengeschosse	293
8.7	Die so genannten «nicht-lethalen» Geschosse	295
8.7.1	Allgemeines	295
8.7.1.1	Abgrenzung	295
8.7.1.2	Ballistisch-biomechanische Zusammenhänge	295
8.7.2	Geschosskonstruktionen	296
8.7.2.1	Geschosse normaler Bauart	296
8.7.2.2	Geschosse kleiner Querschnittsbelastung	297
8.7.2.3	Expandierende Geschosse	298
8.7.2.4	Gummischrot	300
8.7.2.5	Geschosse großer Masse	301
8.7.2.6	Spezialgeschosse für Kurzwaffen	301
9	Messen ballistischer Größen	303
9.1	Einleitung	303
9.1.1	Allgemeines	303
9.1.2	Ballistische Messgrößen	304
9.1.2.1	Die wichtigsten physikalischen Größen der Ballistik	304

9.1.2.2	Welche Größen können gemessen werden?	304
9.1.2.3	Das Problem Zeitmessung	305
9.2	Geschwindigkeitsmessungen	305
9.2.1	Frühe Messgeräte	305
9.2.1.1	Das ballistische Pendel	305
9.2.1.2	Die Messapparatur von LE BOULENGÉ	306
9.2.1.3	Der Spulen-Boulengé	308
9.2.1.4	Der Papierfunkenchronograf	308
9.2.1.5	Der Kondensatorchronograf	310
9.2.2	Moderne Geschwindigkeitsmessung	310
9.2.2.1	Lichtschränken und Impulszähler	310
9.2.2.2	Fehlerquellen bei Lichtschränkenmessungen	311
9.2.2.3	Radar	312
9.2.2.4	Fehlerquellen bei Radarmessungen	313
9.2.2.5	Bestimmung der Geschossgeschwindigkeit mittels Schattenaufnahmen	313
9.3	Innenballistische Druckmessungen	314
9.3.1	Allgemeines	314
9.3.2	Historische Messverfahren	315
9.3.2.1	Die ersten Messversuche	315
9.3.2.2	Methode der sukzessiven Laufverkürzung	315
9.3.2.3	Methode der Rücklaufmessung	316
9.3.2.4	Methode der «Seitenstollen»	317
9.3.3	Messung mit Stauchkörper	318
9.3.3.1	Messprinzip	318
9.3.3.2	Fehlerquellen	319
9.3.3.3	Patronierte Munition	320
9.3.4	Piezoelektrische Verfahren	320
9.3.4.1	Der piezoelektrische Effekt	320
9.3.4.2	Messtechnik	320
9.3.4.3	Fehlerquellen	321
9.3.4.4	Patronierte Munition	322
9.3.4.5	Andere elektrische Druckmessverfahren	322
9.4	Rücklauf- und Rückstoßmessungen	323
9.4.1	Entstehung des Rückstoßes	323
9.4.2	Messverfahren	323
9.4.2.1	Bestimmung der Rücklaufgeschwindigkeit	323
9.4.2.2	Messung der Rückstoßkraft	325
9.4.2.3	Die Rückstoßenergie	325
9.5	Außenballistische Messungen	326
9.5.1	Allgemeines	326
9.5.2	Bestimmung des Luftwiderstandsbeiwertes	327
9.5.2.1	Bestimmung mit Zeit-Weg-Messungen	327
9.5.2.2	Bestimmung mit Weg-Geschwindigkeit-Messungen	327
9.5.2.3	Bestimmung mit Radar	328
9.5.3	Die Eigenbewegung des Geschosses	329
9.5.3.1	Beschreibung der Eigenbewegung	329
9.5.3.2	Bestimmung des Anstellwinkels eines Geschosses	329
9.5.3.3	Bestimmung der Trägheitsmomente	331
9.6	Bildgebende Verfahren	332
9.6.1	Allgemeines	332
9.6.2	Lichtquellen	332
9.6.2.1	Kontinuierliche Lichtquellen	332
9.6.2.2	Diskontinuierliche Lichtquellen	332
9.6.3	Gegenlichtaufnahmen	333

9.6.3.1	Schattenaufnahmen	333
9.6.3.2	Schlierenaufnahmen	333
9.6.4	Kinematografie	334
9.6.4.1	Funkenkinoematografie nach CRANZ-SCHARDIN	334
9.6.4.2	Hochgeschwindigkeitskamera IMACON 200	335
9.6.4.3	Hochgeschwindigkeits-Video	336
 Anhang		337
A.1	Tabellen	337
A.1.1	Einheiten und Bezeichnungen	337
A.1.1.1	U.S.-Einheiten > metrische Einheiten	337
A.1.1.2	Metrische Einheiten > U.S.-Einheiten	337
A.1.2	Physikalische Daten	338
A.1.2.1	Stoffzahlen von Geschosswerkstoffen	338
A.1.2.2	Trägheitsmomente und Schwerpunktsabstand ausgewählter Geschosse	338
A.1.2.3	Geschoss- und Laufabmessungen (nach C.I.P., 2007)	339
A.1.3	Ballistische Daten	341
A.1.3.1	Kurzwaffen (Standardgeschosse)	341
A.1.3.2	Kurzwaffen (Polizeigeschosse)	342
A.1.3.3	Langwaffen (Armeewaffen, Standardgeschosse)	342
A.1.3.4	Langwaffen (Jagdwaffen, Standardgeschosse)	343
A.1.3.5	Alte Waffen	344
A.1.3.6	Flinten	344
A.1.3.7	Federwaffen (Bogen, Armbrust, Federpistole, Schleuder)	345
A.1.4	Schusstafeln	345
A.1.4.1	Erklärung zu der Schusstafeln	345
A.1.4.2	Kurzwaffen	345
A.1.4.3	Langwaffen	350
A.1.4.4	Alte Langwaffen	356
A.1.4.5	Diverses	357
A.1.4.6	Flinten	360
A.1.4.7	Maximale Schussweiten	361
A.1.5	Heydenreich-Tabellen	362
A.1.5.1	Heydenreich'sche Faktoren F ₁ -F ₅	362
A.1.5.2	Heydenreich'sche Faktoren F ₆ -F ₈	363
A.2	Begriffe, Symbole, Abkürzungen	364
A.2.1	Definitionen	364
A.2.2	Verwendete Symbole, Maßeinheiten	364
A.2.3	Abkürzungen	366
A.3	Zusammenfassung der wichtigsten Formeln und Gesetze	367
A.3.1	Physik	367
A.3.1.1	Kinematik der geradlinigen Bewegungen	367
A.3.1.2	Kinematik der Drehbewegungen	367
A.3.1.3	Masse, Impuls, Kraft	368
A.3.1.4	Arbeit, Energie	368
A.3.1.5	Flugbahnen ohne Luftwiderstand	369
A.3.1.6	Wichtige Sätze aus der Wärmelehre	369
A.3.1.7	Schallgeschwindigkeit und Machzahl	369
A.3.1.8	Strömungsgesetze	370
A.3.1.9	Kräfte und Momente in Strömungen	370
A.3.2	Innen- und Abgangsballistik	370
A.3.2.1	Geschossbewegung im Lauf	370
A.3.2.2	Mündungsenergie und Wirkungsgrad	370

A.3.2.3	Rückstoß	371
A.3.3	Außenballistik	371
A.3.3.1	Flugbahn	371
A.3.3.2	Windablage und Streuung	372
A.3.4	Gesetzmäßigkeiten der Endballistik	372
A.3.4.1	Materialarten	372
A.3.4.2	Eindringtiefe und Zerstörungspotenzial	372
A.4	Literaturverzeichnis	373
A.4.1	Lehrbücher und Nachschlagewerke	373
A.4.2	Physikalische Grundlagen	373
A.4.3	Munitions- und waffentechnische Grundlagen	373
A.4.4	Ballistik	373
A.4.5	Kriterien des Treffens	374
A.4.6	Besondere Waffengattungen und ihre Ballistik	375
A.4.7	Wirksamkeit und Gefährlichkeit von Geschossen	375
A.4.8	Geschosskonzepte	376
A.4.9	Ballistische Messtechnik	376
A.5	Nachweis der Abbildungen	377
A.6	Stichwortverzeichnis	378