

# Inhalt

## Vorwort zur 2. Auflage

v

1	<b>Einleitung</b>	1
2	<b>Physikalische Grundlagen</b>	3
2.1	Allgemeines	3
2.1.1	Motivation	3
2.1.2	Bezugssysteme und Maßeinheiten	3
2.2	Mechanik	4
2.2.1	Kinematik	4
2.2.1.1	Allgemeines	4
2.2.1.2	Geradlinige Bewegungen	4
2.2.1.3	Kreisbewegungen	6
2.2.2	Masse, Kraft, Impuls	7
2.2.2.1	Die Masse	7
2.2.2.2	Die Newton'schen Axiome	7
2.2.2.3	Schwerpunkt und Punktmasse	9
2.2.2.4	Spannungen	9
2.2.3	Arbeit und Energie	9
2.2.3.1	Definition der Arbeit	9
2.2.3.2	Energie	10
2.2.4	Drehbewegungen	11
2.2.4.1	Das Drehmoment	11
2.2.4.2	Das Trägheitsmoment eines Körpers	11
2.2.4.3	Drehimpuls und Drehenergie	12
2.2.4.4	Vergleich zwischen linearer Bewegung und Drehbewegung	12
2.2.5	Erhaltungssätze	13
2.2.5.1	Erhaltung der Masse und des Schwerpunktes	13
2.2.5.2	Impulserhaltung	13
2.2.5.3	Energieerhaltung	13
2.2.6	Bewegungsgleichungen	14
2.2.6.1	Allgemeines	14
2.2.6.2	Das Prinzip von d'Alembert	14
2.2.6.3	Flugbahnen ohne Luftwiderstand	15
2.2.6.4	Wegabhängigkeit	16
2.2.7	Stoßvorgänge	16
2.2.7.1	Allgemeines, Stoßarten	16
2.2.7.2	Einfache Stoßgesetze	17
2.2.7.3	Spezialfälle	19
2.3	Strömungslehre	20
2.3.1	Allgemeines	20
2.3.2	Wichtige Sätze aus der Wärmelehre (Thermodynamik)	20
2.3.2.1	Temperatur und Wärme	20
2.3.2.2	Aggregatzustände	21
2.3.2.3	Zustandsgleichung der Gase	21

2.3.2.4	Wärme, Arbeit und innere Energie	22
2.3.2.5	Schallgeschwindigkeit und Machzahl	23
2.3.3	Strömungsgesetze	24
2.3.3.1	Reibung in Fluiden	24
2.3.3.2	Charakterisierung von Strömungen	24
2.3.3.3	Erhaltungssätze	24
2.3.3.4	Die Gleichung von Bernoulli	25
2.3.4	Kräfte auf umströmte Körper	25
2.3.4.1	Strömungswiderstand	25
2.3.4.2	Auftrieb	26
2.3.4.3	Der Magnus-Effekt	27
2.3.4.4	Drehmoment	28
2.3.4.5	Verdichtungsstöße	28
3	<b>Munitions- und waffentechnische Grundlagen</b>	29
3.1	Allgemeines, Begriffe	29
3.2	Die Bestandteile von Munition	29
3.2.1	Aufbau und Bezeichnung einer Patrone	29
3.2.2	Das Geschoß	30
3.2.3	Treibmittel	31
3.2.3.1	Allgemeines	31
3.2.3.2	Explosivstoffe	32
3.2.3.3	Schwarzpulver	32
3.2.3.4	Nitrotreibmittel (rauchschwache Pulver)	33
3.2.4	Das Zündelement	34
3.2.5	Die Hülse	36
3.3	Waffen	37
3.3.1	Wesentliche Bauteile einer Waffe	37
3.3.1.1	Die Baugruppen einer Waffe	37
3.3.1.2	Der Lauf	37
3.3.1.3	Der Verschluss	38
3.3.1.4	Die Abzugsvorrichtung	39
3.3.1.5	Die Zielvorrichtung	39
3.3.2	Waffenkategorien	40
3.3.2.1	Bezeichnungen	40
3.3.2.2	Kurzwaffen	40
3.3.2.3	Langwaffen	41
3.4	Munitionsarten	42
3.4.1	Munition für Kurzwaffen	42
3.4.1.1	Pistolenmunition	42
3.4.1.2	Revolvermunition	43
3.4.2	Munition für Langwaffen	44
3.4.2.1	Munition für Armeegewehre	44
3.4.2.2	Jagdmunition	45
3.4.2.3	Flintenmunition	46
4	<b>Ballistik</b>	47
4.1	Allgemeines	47
4.1.1	Die Teilgebiete der Ballistik	47
4.1.2	Größenordnungen	47
4.1.3	Die Querschnittsbelastung	48

4.2	Die Vorgänge in der Waffe (Innenballistik)	49
4.2.1	Allgemeines	49
4.2.2	Die Schussentwicklung	49
4.2.2.1	Die Zündung	49
4.2.2.2	Der Pulverabbrand	49
4.2.2.3	Geschossbewegung und Druckverlauf	50
4.2.2.4	Energiebilanz	51
4.2.3	Innenballistische Berechnungen	52
4.2.3.1	Das innenballistische Gleichungssystem	52
4.2.3.2	Der mittlere Druck und das Druckverhältnis	54
4.2.3.3	Die Methode von Heydenreich	55
	Berechnungsbeispiel: $7.5 \times 55$ Swiss (GP 11)	56
4.2.3.4	Das Entspannungsverhältnis	57
4.2.3.5	Die Leistenkräfte	58
4.2.3.6	Das Druckgefälle im Lauf	59
4.3	Der Geschossabgang (Abgangsballistik)	59
4.3.1	Die Vorgänge an der Mündung	59
4.3.1.1	Die Ausströmgeschwindigkeit der Pulvergase	59
4.3.1.2	Die Gasströmung aus der Mündung und ihre Auswirkungen	61
4.3.1.3	Feuerphänomene	61
4.3.2	Der Rückstoß	62
4.3.2.1	Ursachen des Rückstoßes	62
4.3.2.2	Bestimmung des Rückstoßimpulses	62
4.3.2.3	Rücklaufgeschwindigkeit und Rückstoßenergie	63
4.3.2.4	Das Hochschlagen der Waffenmündung	63
4.3.2.5	Möglichkeiten der Beeinflussung	65
4.4	Außenballistik	65
4.4.1	Allgemeines	65
4.4.2	Die Atmosphäre	65
4.4.2.1	Eigenschaften der Luft	65
4.4.2.2	Die ICAO - Atmosphäre	67
4.4.2.3	Wirkliche Verhältnisse	67
4.4.3	Der Luftwiderstand	68
4.4.3.1	Der Staudruck	68
4.4.3.2	Der Luftwiderstandsbeiwert	69
4.4.3.3	Die Anteile des Luftwiderstandes	69
4.4.3.4	Luftwiderstand und Verzögerung	72
4.4.4	Weitere Kräfte, die auf das Geschoss wirken	72
4.4.4.1	Das Gewicht	72
4.4.4.2	Antriebskräfte	73
4.4.4.3	Eigenbewegungen des Geschosses und daraus folgende Kräfte	73
4.4.5	Flugbahnrechnungen	74
4.4.5.1	Allgemeines zur Berechnung von Flugbahnen	74
4.4.5.2	Die Bewegungsgleichungen	75
4.4.5.3	Näherungen für flache Flugbahnen	76
4.4.5.4	Gipfelhöhe, Visierbereich und GEE	77
4.4.5.5	Der Einfluss von Querwind	79
4.4.5.6	Schusstafeln	80
4.4.5.7	Die amerikanische Berechnungsweise	81
4.4.6	Stabilität und Folgsamkeit	83
4.4.6.1	Definition der Stabilität	83
4.4.6.2	Stabilitätsbedingungen beim Geschoss	83
4.4.6.3	Geschosse mit Drallstabilisierung	84

4.4.6.4	Stabilisierung drallloser Geschosse	85
4.4.6.5	Schulterstabilisierung	86
4.4.6.6	Folgsamkeit	86
4.4.7	Ausgewählte Außenballistische Probleme	87
4.4.7.1	Schrotgarben	87
4.4.7.2	Der Einfluss der Erdrotation	88
4.4.7.3	Der Schuss steil aufwärts in die Luft	89
4.5	Optimale Geschosse (Geschossaerodynamik)	90
4.5.1	Optimierungsprinzipien	90
4.5.2	Geschosse mit minimalem Luftwiderstand	91
4.5.2.1	Optimierungsmöglichkeiten	91
4.5.2.2	Optimierung der Geschossspitze nach Haack	91
4.5.2.3	Optimierung der Geschossspitze nach Newton	93
4.5.2.4	Experimenteller Vergleich	94
4.5.2.5	Optimierung des Geschosshecks	94
4.5.2.6	Geschosse mit Führungsbändern	96
4.5.3	Stabilität und Schlankheitsgrad	97
4.5.3.1	Optimale Geschosse und gyrokopische Stabilität	97
4.5.3.2	Die Munk'sche Luftschiffformel	98
4.5.3.3	Geschosse maximaler Stabilität	98
4.5.3.4	Die optimale Geschossform	99
4.5.3.5	Wie lang darf ein drallstabilisiertes Geschoss sein?	100
4.5.4	Flugbahnstreckung	101
4.5.4.1	Maßzahlen der Flugbahnstreckung	101
4.5.4.2	Die optimale Geschossmasse	102
4.5.5	Optimierung der Streuung	104
4.6	Schießen auf große Distanzen	105
4.6.1	Allgemeines	105
4.6.2	Langwaffen	105
4.6.2.1	Historisches	105
4.6.2.2	Die Bedeutung der Flugzeit	106
4.6.2.3	Grundsätzliches zum Windeinfluss	107
4.6.2.4	Querwind	108
4.6.2.5	Längswind	109
4.6.2.6	Der Einfluss der Mündungsgeschwindigkeit	110
4.6.2.7	Folgerungen	111
4.6.3	Kurzwaffen	112
4.6.3.1	Motivation	112
4.6.3.2	Historischer Rückblick	112
4.6.3.3	Einfluss von Wind und Mündungsgeschwindigkeit	113
4.6.3.4	Waffentechnische Einflüsse	114
4.6.3.5	Mögliche Schussdistanzen	115
4.6.4	Die maximale Reichweite	116
4.7	Endballistik der Materie	116
4.7.1	Allgemeines	116
4.7.1.1	Vorbemerkungen	116
4.7.1.2	Elementare Gesetzmäßigkeiten	117
4.7.1.3	Materialarten	117
4.7.1.4	Das Backman-Goldsmit-Diagramm	118
4.7.2	Ein- und Durchdringungsmodelle	119
4.7.2.1	Das Stanzmodell	119
4.7.2.2	Das Verdrängungsmodell	119
4.7.2.3	Durchschießen dünner Schichten	119

4.7.3	Zielanordnungen	120
4.7.3.1	Ballistischer Schutz	120
4.7.3.2	Geneigte Ziele	120
4.7.3.3	Geschottete Ziele	121
4.7.3.4	Asymmetrische Anordnungen	122
4.7.4	Verhaltensmerkmale verschiedener Materialien	122
4.7.4.1	Metalle	122
4.7.4.2	Holz	123
4.7.4.3	Sand, Erde	123
4.7.4.4	Glasartige Materialien	124
4.7.5	Abprallende Geschosse	124
4.7.5.1	Allgemeines, Definitionen	124
4.7.5.2	Einflüsse auf das Abprallverhalten eines Geschosses	125
4.7.5.3	Prellkörper großer Masse	126
4.7.5.4	Der senkrechte Schuss gegen eine harte Oberfläche	126
4.7.5.5	Berührung mit leichten Gegenständen	127
4.7.5.6	Der Einfluss von Regen	128
4.7.5.7	Die Flugbahn des Prellschusses	128
4.8	Die ballistischen Paradoxa	129
5	<b>Kriterien des Treffens</b>	131
5.1	Einleitung	131
5.2	Der Umgang mit zufälligen Ereignissen	131
5.2.1	Grundlagen	131
5.2.1.1	Zufällige Ereignisse	131
5.2.1.2	Häufigkeitsverteilungen	132
5.2.1.3	Die Normalverteilung	133
5.2.1.4	Die Charakterisierung von Verteilungen	134
5.2.1.5	Das Ausmessen eines Trefferbildes	134
5.2.2	Maßzahlen der Lage	135
5.2.2.1	Mittelwert und mittlerer Treffpunkt	135
5.2.2.2	Der Median	136
5.2.3	Maßzahlen der Streuung	136
5.2.3.1	Die Standardabweichung	136
5.2.3.2	Die 50 %-Streuung	137
5.2.3.3	Spannweite und Streukreisdurchmesser	138
5.3	Auswertung und Beurteilung von Trefferbildern und Messreihen	139
5.3.1	Gesamtheit und Stichprobe	139
5.3.1.1	Gesamtheiten	139
5.3.1.2	Stichproben	139
5.3.2	Planung und Durchführung von Versuchen	140
5.3.2.1	Das Versuchsziel	140
5.3.2.2	Die Stichprobengröße	140
5.3.2.3	Testverfahren	144
5.3.3	Praktische Ermittlung von mittlerem Treffpunkt und Streuung	144
5.3.3.1	Berechnung der statistischen Maßzahlen	144
5.3.3.2	Angenäherte Bestimmung des mittleren Treffpunktes	144
5.3.3.3	Angenäherte Bestimmung der Streuung	145
5.3.3.4	Zusammenfassen von Trefferbildern	145
5.3.4	Vergleich zweier Trefferbilder (Stichproben)	145
5.3.4.1	Vergleichstest für Streuungen (F-Test)	145
5.3.4.2	Streuungsvergleich mittels Spannweite und Streukreisdurchmesser	147

5.3.4.3	Vergleichstest für Mittelwerte	148
5.3.5	Ausreißerregeln	149
5.3.5.1	Das Ausreißerproblem	149
5.3.5.2	Begründbare Ausreißer	150
5.3.5.3	Ausreißer ohne ersichtlichen Grund	150
5.3.5.4	Ausreißerkriterien	151
5.3.5.5	Berechnungsbeispiele	151
5.4	Einflüsse auf den Treppunkt	153
5.4.1	Fehler und Störungen	153
5.4.2	Der Einfluss von Fehlern	153
5.4.2.1	Zielfehler	153
5.4.2.2	Verkanten	154
5.4.2.3	Aufwärts- und Abwärtsschießen	155
5.4.3	Der Einfluss von Störungen	156
5.4.3.1	Patronentemperatur	156
5.4.3.2	Streuung der Geschossmasse	156
5.4.3.3	Auszieh- und Einpresswiderstand, rotationsloser Geschossweg	156
5.4.3.4	Der Abgangsfehler	157
5.4.3.5	Nachwirkung der Pulvergase	157
5.4.3.6	Die Streuung der Mündungsgeschwindigkeit	158
5.4.3.7	Der Einfluss von Wind	158
5.4.3.8	Luftdruck- und Temperaturschwankungen	159
5.5	Treffwahrscheinlichkeit und Trefferprognosen	159
5.5.1	Bestimmung der Treffwahrscheinlichkeit	159
5.5.1.1	Allgemeines, Definitionen	159
5.5.1.2	Die relative Häufigkeit	160
5.5.1.3	Wahrscheinlichkeit	160
5.5.1.4	Bestimmung weiterer Wahrscheinlichkeiten	161
5.5.2	Treffwahrscheinlichkeit beim Scheibenschießen	162
5.5.2.1	Die Treffwahrscheinlichkeit eines Kreises	162
5.5.2.2	Die Treffwahrscheinlichkeit eines Kreisringes	163
5.5.2.3	Schätzen der Standardabweichung aus geschossenen Punktzahlen	164
5.5.2.4	Der Einfluss von Kaliber und Schussdistanz auf die Trefferwahrscheinlichkeit	166
5.5.3	Die Beeinflussung der Streuung	166
5.5.3.1	Die Anteile der Streuung	166
5.5.3.2	Streuung und Visierlänge	167
5.5.3.3	Wann lohnt sich Matchmunition?	167
5.5.4	Die Treffwahrscheinlichkeit beim jagdlichen Schießen	169
5.5.4.1	Einflüsse auf den mittleren Treppunkt	169
5.5.4.2	Die Streuung des mittleren Treppunktes	169
5.5.4.3	Schätzung der Spannweite	170
5.6	Treffen in der Bewegung	170
5.6.1	Allgemeines	170
5.6.2	Ziel in Bewegung	171
5.6.2.1	Das Begegnungsproblem	171
5.6.2.2	Die Schusszeit	172
5.6.2.3	Vorhaltmaße bei Zielweg senkrecht zur Schussrichtung	173
5.6.2.4	Vorhaltmaße bei zur Schussrichtung geneigtem Zielweg	173
5.6.2.5	Mitbewegen der Waffe	173
5.6.3	Schütze in Bewegung	175
5.6.3.1	Relativbewegungen	175
5.6.3.2	Bewegung in Schussrichtung	176
5.6.3.3	Bewegung quer zur Schussrichtung	177
5.6.3.4	Querwindsimulation	177

6	<b>Besondere Waffengattungen und ihre Ballistik</b>	179
6.1	Ballistik alter Waffen («Schwarzpulverballistik»)	179
6.1.1	Einleitung	179
6.1.2	Schwarzpulver	179
6.1.2.1	Geschichtliches	179
6.1.2.2	Bestandteile	180
6.1.2.3	Herstellung	181
6.1.2.4	Rezepturen und Reaktionsprodukte	182
6.1.2.5	Ballistische Eigenschaften	182
6.1.3	Innenballistik von Schwarzpulverwaffen	183
6.1.3.1	Gasdruck und innenballistische Auslegung	183
6.1.3.2	Der Einfluss der Pulverkorngröße	184
6.1.3.3	Der Wirkungsgrad	185
6.1.3.4	Leistungsbeurteilung	186
6.1.4	Außenballistik	187
6.1.4.1	Einflüsse auf die Flugbahn	187
6.1.4.2	Schusstafeln	187
6.1.4.3	Streuung und Treffgenauigkeit	188
6.2	Bogen, Armbrust und andere Federwaffen	189
6.2.1	Allgemeines	189
6.2.2	Beschleunigung mittels Federkraft («Innenballistik» der Federwaffen)	189
6.2.2.1	Grundlegendes	189
6.2.2.2	Das Weg-Kraft-Diagramm	190
6.2.2.3	Bogen und Armbrust	191
6.2.2.4	Federpistole und Federgewehr	192
6.2.2.5	Schleudern	192
6.2.2.6	Der Recurvenfaktor	193
6.2.2.7	Die Beschleunigung des Projektils	193
6.2.2.8	Der Wirkungsgrad	195
6.2.3	Die optimale Projektilmasse und weitere ballistische Fragen	196
6.2.3.1	Optimierungsmöglichkeiten	196
6.2.3.2	Die optimale Pfeilmasse bei Bogen und Armbrust	197
6.2.3.3	Außenballistische Eigenschaften des Pfeils	199
6.2.3.4	Ballistische Eigenschaften der Federpistole	200
6.2.3.5	Ballistische Eigenschaften der Schleuder	202
7	<b>Wirksamkeit und Gefährlichkeit von Geschossen</b>	203
7.1	Zur Wirksamkeit von Geschossen	203
7.1.1	Einführung	203
7.1.2	Wirksamkeit und Wirkung	204
7.1.2.1	Definitionen	204
7.1.2.2	Anteile der Wirkung	205
7.1.3	Wirksamkeitskriterien	206
7.1.3.1	Historisches	206
7.1.3.2	Zur mechanischen Aufhaltekraft eines Geschosses («Stopping Power»)	208
7.1.3.3	Wirksamkeitskriterien auf der Basis des Geschossimpulses	209
7.1.3.4	Wirksamkeitskriterien auf der Basis der Geschossenergie	210
7.1.3.5	Statistische Wirksamkeitskriterien	212
7.1.3.6	Militärische Wirksamkeitskriterien	213
7.2	Bestimmung der Wirksamkeit	215
7.2.1	Grundsätzliches	215
7.2.1.1	Definition der Wirksamkeit	215
7.2.1.2	Wirkungsweisen eines Geschosses	216

7.2.2	<b>Simulanzien</b>	217
7.2.2.1	Allgemeines	217
7.2.2.2	Gelatine	217
7.2.2.3	Glyzerinseife	218
7.2.2.4	Wasser	219
7.2.2.5	Feuchter Ton	220
7.2.3	<b>Ermitteln der Wirksamkeit</b>	221
7.2.3.1	Messtechnik	221
7.2.3.2	Wirksamkeitsfunktionen von Kurzwaffengeschossen	222
7.2.3.3	Wirksamkeitsfunktionen von Langwaffengeschossen	223
7.2.3.4	Vergleich zwischen Kurz- und Langwaffengeschossen	224
7.3	<b>Wundballistik</b>	224
7.3.1	Allgemeines	224
7.3.2	<b>Geschossbewegung und -verhalten im Körper</b>	224
7.3.2.1	Voll- und Vollmantelgeschosse	224
7.3.2.2	Kugelige und zylinderförmige Projekteile	226
7.3.2.3	Deformierende und zerlegende Geschosse	226
7.3.2.4	Pfeile und Flechettes	227
7.3.3	<b>Anwendungen</b>	228
7.3.3.1	Kriegs- und Notfallchirurgie	228
7.3.3.2	Kriminalistik	228
7.3.3.3	Internationale Vereinbarungen	228
7.4	<b>Gefährlichkeit von Projektilen</b>	229
7.4.1	<b>Definition der Gefährlichkeit</b>	229
7.4.1.1	Ein gefährliches Ungefährlichkeitskriterium	229
7.4.1.2	Gefährlichkeitskriterien	230
7.4.1.3	Biologische Grenzwerte	230
7.4.2	<b>Gefährlichkeitskriterien in der Praxis</b>	230
7.4.2.1	Gefährlichkeitsgrenzwerte bei bekannten Projektilen	230
7.4.2.2	Gefährlichkeit bei maximaler Schussdistanz	232
7.4.2.3	Gefährlichkeit des Schießens steil aufwärts in die Luft	233
7.4.2.4	Gefährlichkeit abgeprallter Geschosse	234
7.4.2.5	«Softair»-Waffen und Schleudern	235
8	<b>Geschosskonzepte</b>	236
8.1	Vorbemerkung	236
8.2	<b>Allgemeines</b>	236
8.2.1	Das Grundprinzip des Geschosses	236
8.2.2	Energieverhältnisse	237
8.2.3	Historische Entwicklung des Geschosses	238
8.2.3.1	Steingeschosse	238
8.2.3.2	Pfeile und Speere	239
8.2.3.3	Kugeln	240
8.2.3.4	Das Langgeschoß	241
8.2.3.5	Kurzwaffengeschosse	243
8.3	<b>Geschosse für Kurzwaffen</b>	244
8.3.1	Das Dilemma der Kurzwaffengeschosse	244
8.3.2	Voll- und Vollmantelgeschosse	245
8.3.2.1	Klassische Geschosskonstruktionen	245
8.3.2.2	Die leichten Vollgeschosse	246
8.3.2.3	Deformierende Vollmantelgeschosse	246
8.3.2.4	Bleiarme und bleifreie Geschosse	247
8.3.3	Deformations- und Zerlegungsgeschosse	247

8.3.3.1	Klassische Geschosskonstruktionen	247
8.3.3.2	Monoblock-Deformationsgeschosse	248
8.3.3.3	Geschosse mit sekundären Projektilen	250
8.3.3.4	Nicht-deformierende Teilmantelgeschosse	250
8.3.4	Weitere Geschosse	251
8.3.4.1	Die «Personal Defence Weapon» (PDW)	251
8.3.4.2	Seltene Geschosskonstruktionen	252
8.4	Geschosse für Langwaffen, gezogene Läufe	253
8.4.1	Geschosse für militärische Anwendungen	253
8.4.1.1	Voll- und Vollmantelgeschosse	253
8.4.1.2	Leuchtpurgeschosse	255
8.4.1.3	Brand- und Explosivgeschosse	256
8.4.1.4	Die sogenannten «Dum dumgeschosse»	257
8.4.1.5	Hartkerngeschosse	258
8.4.1.6	Kurzbahngeschosse	258
8.4.2	Jagdgeschosse	259
8.4.2.1	Frühe Jagdgeschosse	259
8.4.2.2	Die Kontroverse um Deformation und Durchschlagskraft	260
8.4.2.3	Energieumsetzung und Eindringtiefe	261
8.4.2.4	Moderne Jagdgeschosse	262
8.4.2.5	Zur Wirksamkeit von Jagdgeschossen	263
8.4.3	Entwicklungstendenzen	265
8.5	Geschosse für Langwaffen, glatte Läufe	266
8.5.1	Allgemeines	266
8.5.2	Schrot	266
8.5.3	Flintenlaufgeschosse	267
8.5.3.1	Frühe Flintenlaufgeschosse	267
8.5.3.2	Klassische Flintenlaufgeschosse	269
8.5.3.3	Neuere Entwicklungen	269
8.5.3.4	Eine charakteristische Eigenschaft der Flintenlaufgeschosse	270
8.6	Spezialkonstruktionen	271
8.6.1	Unterkalibergeschosse und Flechettes	271
8.6.2	Geschosse für konische Läufe	272
8.6.3	Das Röhrengeschoss	273
8.6.4	Mehrachsgeschosse	274
8.6.5	Raketengeschosse	275
8.7	Die so genannten «nicht-lethalen» Geschosse	277
8.7.1	Allgemeines	277
8.7.1.1	Abgrenzung	277
8.7.1.2	Ballistisch-biomechanische Zusammenhänge	277
8.7.2	Geschosskonstruktionen	278
8.7.2.1	Geschosse normaler Bauart	278
8.7.2.2	Geschosse kleiner Querschnittsbelastung	279
8.7.2.3	Expandierende Geschosse	280
8.7.2.4	Gummischrot	282
8.7.2.5	Geschosse großer Masse	283
8.7.2.6	Spezialgeschosse für Kurzwaffen	283
9	<b>Messen ballistischer Größen</b>	285
9.1	Einleitung	285
9.1.1	Allgemeines	285
9.1.2	Ballistische Messgrößen	286
9.1.2.1	Die wichtigsten physikalischen Größen der Ballistik	286

9.1	9.1.2.2 Welche Größen können gemessen werden?	286
	9.1.2.3 Das Problem Zeitmessung	287
9.2	9.2 Geschwindigkeitsmessungen	287
9.2.1	9.2.1 Frühe Messgeräte	287
	9.2.1.1 Das ballistische Pendel	287
	9.2.1.2 Die Messapparatur von LE BOULENGÉ	288
	9.2.1.3 Der Spulen-Boulengé	290
	9.2.1.4 Der Papierfunkenchronograf	290
	9.2.1.5 Der Kondensatorchronograf	292
9.2.2	9.2.2 Moderne Geschwindigkeitsmessung	292
	9.2.2.1 Lichtschranken und Impulszähler	292
	9.2.2.2 Fehlerquellen bei Lichtschrankenmessungen	293
	9.2.2.3 Radar	294
	9.2.2.4 Fehlerquellen bei Radarmessungen	295
	9.2.2.5 Bestimmung der Geschossgeschwindigkeit mittels Schattenaufnahmen	295
9.3	9.3 Innenballistische Druckmessungen	296
9.3.1	9.3.1 Allgemeines	296
9.3.2	9.3.2 Historische Messverfahren	297
	9.3.2.1 Die ersten Messversuche	297
	9.3.2.2 Methode der sukzessiven Laufverkürzung	297
	9.3.2.3 Methode der Rücklaufmessung	298
	9.3.2.4 Methode der «Seitenstollen»	299
9.3.3	9.3.3 Messung mit Stauchkörper	300
	9.3.3.1 Messprinzip	300
	9.3.3.2 Fehlerquellen	301
	9.3.3.3 Patronierte Munition	302
9.3.4	9.3.4 Piezoelektrische Verfahren	302
	9.3.4.1 Der piezoelektrische Effekt	302
	9.3.4.2 Messtechnik	302
	9.3.4.3 Fehlerquellen	303
	9.3.4.4 Patronierte Munition	304
	9.3.4.5 Andere elektrische Druckmessverfahren	304
9.4	9.4 Rücklauf- und Rückstoßmessungen	305
9.4.1	9.4.1 Entstehung des Rückstoßes	305
9.4.2	9.4.2 Messverfahren	305
	9.4.2.1 Bestimmung der Rücklaufgeschwindigkeit	305
	9.4.2.2 Messung der Rückstoßkraft	307
	9.4.2.3 Die Rückstoßenergie	307
9.5	9.5 Außenballistische Messungen	308
9.5.1	9.5.1 Allgemeines	308
9.5.2	9.5.2 Bestimmung des Luftwiderstandsbeiwertes	309
	9.5.2.1 Bestimmung mit Zeit-Weg-Messungen	309
	9.5.2.2 Bestimmung mit Weg-Geschwindigkeit-Messungen	309
	9.5.2.3 Bestimmung mit Radar	310
9.5.3	9.5.3 Die Eigenbewegung des Geschosses	311
	9.5.3.1 Beschreibung der Eigenbewegung	311
	9.5.3.2 Bestimmung des Anstellwinkels eines Geschosses	311
	9.5.3.3 Bestimmung der Trägheitsmomente	313
9.6	9.6 Bildgebende Verfahren	313
9.6.1	9.6.1 Allgemeines	313
9.6.2	9.6.2 Lichtquellen	314
	9.6.2.1 Kontinuierliche Lichtquellen	314
	9.6.2.2 Diskontinuierliche Lichtquellen	314
9.6.3	9.6.3 Gegenlichtaufnahmen	315

9.6.3.1	Schattenaufnahmen	315
9.6.3.2	Schlierenaufnahmen	315
9.6.4	<b>Kinematografie</b>	316
9.6.4.1	Funkenkinematografie nach CRANZ-SCHARDIN	316
9.6.4.2	Hochgeschwindigkeitskamera IMACON 200	317
9.6.4.3	Hochgeschwindigkeits-Video	318
<b>Anhang</b>		319
A.1	<b>Tabellen</b>	319
A.1.1	<b>Einheiten und Bezeichnungen</b>	319
A.1.1.1	U.S.-Einheiten > metrische Einheiten	319
A.1.1.2	Metrische Einheiten > U.S.-Einheiten	319
A.1.2	<b>Physikalische Daten</b>	320
A.1.2.1	Stoffzahlen von Geschosswerkstoffen	320
A.1.2.2	Trägheitsmomente und Schwerpunktsabstand ausgewählter Geschosse	320
A.1.2.3	Geschoss- und Laufabmessungen (nach C.I.P., 2007)	321
A.1.3	<b>Ballistische Daten</b>	323
A.1.3.1	Kurzwaffen (Standardgeschosse)	323
A.1.3.2	Kurzwaffen (Polizeigeschosse)	324
A.1.3.3	Langwaffen (Armeewaffen, Standardgeschosse)	324
A.1.3.4	Langwaffen (Jagdwaffen, Standardgeschosse)	325
A.1.3.5	Alte Waffen	326
A.1.3.6	Flinten	326
A.1.3.7	Federwaffen (Bogen, Armbrust, Federpistole, Schleuder)	327
A.1.4	<b>Schusstafeln</b>	327
A.1.4.1	Erklärung zu der Schusstafeln	327
A.1.4.2	Kurzwaffen	327
A.1.4.3	Langwaffen	332
A.1.4.4	Alte Langwaffen	338
A.1.4.5	Diverses	339
A.1.4.6	Flinten	342
A.1.4.7	Maximale Schussweiten	343
A.1.5	<b>Heydenreich-Tabellen</b>	344
A.1.5.1	Heydenreich'sche Faktoren $F_1$ - $F_5$	344
A.1.5.2	Heydenreich'sche Faktoren $F_6$ - $F_8$	345
A.2	<b>Begriffe, Symbole, Abkürzungen</b>	346
A.2.1	Definitionen	346
A.2.2	Verwendete Symbole, Maßeinheiten	346
A.2.3	Abkürzungen	348
A.3	<b>Zusammenfassung der wichtigsten Formeln und Gesetze</b>	349
A.3.1	<b>Physik</b>	349
A.3.1.1	Kinematik der geradlinigen Bewegungen	349
A.3.1.2	Kinematik der Drehbewegungen	349
A.3.1.3	Masse, Impuls, Kraft	350
A.3.1.4	Arbeit, Energie	350
A.3.1.5	Flugbahnen ohne Luftwiderstand	351
A.3.1.6	Wichtige Sätze aus der Wärmelehre	351
A.3.1.7	Schallgeschwindigkeit und Machzahl	351
A.3.1.8	Strömungsgesetze	352
A.3.1.9	Kräfte und Momente in Strömungen	352
A.3.2	<b>Innen- und Abgangsballistik</b>	352
A.3.2.1	Geschossbewegung im Lauf	352
A.3.2.2	Mündungsenergie und Wirkungsgrad	352

	A.3.2.3	Rückstoß	353
A.3.3	Außenballistik		353
	A.3.3.1	Flugbahn	353
	A.3.3.2	Windablage und Streuung	354
A.3.4	Gesetzmäßigkeiten der Endballistik		354
	A.3.4.1	Materialarten	354
	A.3.4.2	Eindringtiefe und Zerstörungspotenzial	354
A.4	Literaturverzeichnis		355
A.4.1	Lehrbücher und Nachschlagewerke		355
A.4.2	Physikalische Grundlagen		355
A.4.3	Munitions- und waffentechnische Grundlagen		355
A.4.4	Ballistik		355
A.4.5	Kriterien des Treffens		356
A.4.6	Besondere Waffengattungen und ihre Ballistik		357
A.4.7	Wirksamkeit und Gefährlichkeit von Geschossen		357
A.4.8	Geschosskonzepte		358
A.4.9	Ballistische Messtechnik		358
A.5	Nachweis der Abbildungen		359
A.6	Stichwortverzeichnis		360