

# Inhalt

	<b>Vorwort</b>	13
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	15
<b>2</b>	<b>Abriss der physikalischen und ballistischen Grundlagen</b>	17
2.1	Allgemeines	17
2.1.1	Zielsetzung	17
2.1.2	Bezugssysteme und Bezeichnungen	17
2.1.3	Unabhängigkeit von Bewegungen	17
2.2	Physik	18
2.2.1	Mechanik	18
2.2.1.1	Kinematik der geradlinigen Bewegungen	18
2.2.1.2	Kinematik der Drehbewegungen	19
2.2.1.3	Masse, Impuls, Kraft	19
2.2.1.4	Arbeit, Energie	20
2.2.1.5	Erhaltungssätze	21
2.2.2	Strömungslehre	21
2.2.2.1	Wichtige Sätze aus der Wärmelehre	21
2.2.2.2	Schallgeschwindigkeit und Machzahl	22
2.2.2.3	Strömungsgesetze	22
2.2.2.4	Kräfte und Momente in Strömungen	23
2.3	Ballistik	23
2.3.1	Die Querschnittsbelastung	23
2.3.2	Innen- und Abgangsballistik	23
2.3.2.1	Bewegung im Lauf	23
2.3.2.2	Mündungsenergie und Wirkungsgrad	24
2.3.2.3	Rückstoß	25
2.3.3	Außenballistik	25
2.3.3.1	Flugbahnwerte	25
2.3.3.2	Windablage und Streuung	26
2.3.4	Gesetzmäßigkeiten der Endballistik	27
2.3.5	Die ballistischen Paradoxa	27
<b>3</b>	<b>Besondere Waffengattungen und ihre Ballistik</b>	29
3.1	Ballistik alter Waffen (Schwarzpulverballistik)	29
3.1.1	Einleitung	29
3.1.2	Schwarzpulver	29
3.1.2.1	Geschichtliches	29
3.1.2.2	Bestandteile	30
3.1.2.3	Herstellung	31
3.1.2.4	Rezepturen und Reaktionsprodukte	32
3.1.2.5	Ballistische Eigenschaften	32
3.1.3	Innenballistik von Schwarzpulverwaffen	33
3.1.3.1	Gasdruck und innenballistische Auslegung	33

	3.1.3.2	Der Einfluss der Pulverkorngröße	35
	3.1.3.3	Der Wirkungsgrad	36
	3.1.3.4	Leistungsbeurteilung	36
3.1.4		Außenballistik	37
	3.1.4.1	Einflüsse auf die Flugbahn	37
	3.1.4.2	Schusstafeln	38
	3.1.4.3	Streuung und Treffgenauigkeit	38
3.2		Federwaffen	40
3.2.1		Allgemeines	40
3.2.2		Beschleunigung mittels Federkraft («Innenballistik» der Federwaffen)	40
	3.2.2.1	Grundlegendes	40
	3.2.2.2	Das Weg-Kraft-Diagramm	41
	3.2.2.3	Bogen und Armbrust	41
	3.2.2.4	Federpistole und Federgewehr	42
	3.2.2.5	Schleudern	43
	3.2.2.6	Der Recurvefaktor	43
	3.2.2.7	Die Beschleunigung des Projektils	44
	3.2.2.8	Der Wirkungsgrad	45
3.2.3		Die optimale Projekttilmasse und weitere ballistische Fragen	47
	3.2.3.1	Optimierungsmöglichkeiten	47
	3.2.3.2	Die optimale Pfeilmasse bei Bogen und Armbrust	48
	3.2.3.3	Außenballistische Eigenschaften des Pfeils	50
	3.2.3.4	Ballistische Eigenschaften der Federpistole	51
	3.2.3.5	Ballistische Eigenschaften der Schleuder	52
4		<b>Spezielle außenballistische Probleme</b>	53
4.1		Schießen und Bewegung	53
4.1.1		Allgemeines	53
4.1.2		Ziel in Bewegung	53
	4.1.2.1	Das Begegnungsproblem	53
	4.1.2.2	Die Schusszeit	54
	4.1.2.3	Vorhaltmaße bei Zielweg senkrecht zur Schussrichtung	55
	4.1.2.4	Vorhaltmaße bei zur Schussrichtung geneigtem Zielweg	56
	4.1.2.5	Mitbewegen der Waffe	57
4.1.3		Schütze in Bewegung	58
	4.1.3.1	Relativbewegungen	58
	4.1.3.2	Bewegung in Schussrichtung	59
	4.1.3.3	Bewegung quer zur Schussrichtung	59
	4.1.3.4	Querwindsimulation	61
4.2		Optimale Geschosse	61
4.2.1		Optimierungsprinzipien	61
4.2.2		Geschosse mit minimalem Luftwiderstand	61
	4.2.2.1	Die Anteile des Luftwiderstandes	61
	4.2.2.2	Optimierung der Geschossspitze nach Haack	63
	4.2.2.3	Optimierung der Geschossspitze nach Newton	65
	4.2.2.4	Experimenteller Vergleich	65
	4.2.2.5	Optimierung des Geschosshecks	66
4.2.3		Stabilität und Schlankheitsgrad	69

	4.2.3.1 Gyroskopische Stabilität	69
	4.2.3.2 Die Munk'sche Luftschiffformel	70
	4.2.3.3 Geschosse maximaler Stabilität	70
	4.2.3.4 Die optimale Geschossform	72
	4.2.3.5 Wie lang darf ein drallstabilisiertes Geschoss sein?	72
	4.2.4 Flugbahnstreckung	73
	4.2.4.1 Maßzahlen der Flugbahnstreckung	73
	4.2.4.2 Die optimale Geschossmasse	74
	4.2.5 Optimierung der Streuung	75
4.3	Schießen auf große Distanzen	76
	4.3.1 Allgemeines	76
	4.3.2 Historisches	76
	4.3.3 Allgemeine Gesetzmäßigkeiten, Einflüsse bei Langwaffen	77
	4.3.3.1 Der Einfluss der Flugzeit	77
	4.3.3.2 Grundsätzliches zum Windeinfluss	78
	4.3.3.3 Querwind	79
	4.3.3.4 Längswind	81
	4.3.3.5 Der Einfluss der Mündungsgeschwindigkeit	81
	4.3.4 Folgerungen	82
	4.3.5 Kurzwaffen	83
	4.3.5.1 Motivation	83
	4.3.5.2 Historischer Rückblick	83
	4.3.5.3 Ballistische Einflüsse	84
	4.3.5.4 Waffentechnische Einflüsse	85
	4.3.5.5 Mögliche Schussdistanzen	86
	4.3.6 Die maximale Reichweite	86
<b>5</b>	<b>Geschosskonzepte</b>	<b>88</b>
5.1	Vorbemerkung	88
5.2	Geschosse für Flinten	88
	5.2.1 Allgemeines	88
	5.2.2 Schrot	88
	5.2.3 Geschosse für glatte Läufe	89
	5.2.3.1 Stabilisierungsprinzipien	89
	5.2.3.2 Frühe Flintenlaufgeschosse	90
	5.2.3.3 Klassische Flintenlaufgeschosse	91
	5.2.3.4 Neuere Entwicklungen	92
	5.2.3.5 Eine charakteristische Eigenschaft der Flintenlaufgeschosse	92
5.3	Kurzwaffengeschosse	93
	5.3.1 Allgemeines	93
	5.3.2 Polizeigeschosse	94
	5.3.3 Weitere Geschosse	95
	5.3.3.1 Deformierende Vollmantelgeschosse	95
	5.3.3.2 Nicht-deformierende Teilmantelgeschosse	95
	5.3.3.3 Geschosse mit sekundären Projektilen	96
	5.3.4 Bleiarms und bleifreie Geschosse	97
5.4	Geschosse für Langwaffen	97
	5.4.1 Entwicklungstendenzen im nicht-jagdlichen Bereich	97
	5.4.2 Jagdgeschosse	98

<b>6</b>	<b>Messen ballistischer Größen</b>	<b>99</b>
6.1	Einleitung	99
6.1.1	Allgemeines	99
6.1.2	Ballistische Messgrößen	99
6.1.2.1	Die wichtigsten physikalischen Größen der Ballistik	99
6.1.2.2	Welche Größen können gemessen werden?	100
6.1.2.3	Das Problem Zeitmessung	100
6.2	Geschwindigkeitsmessungen	101
6.2.1	Frühe Messgeräte	101
6.2.1.1	Das ballistische Pendel	101
6.2.1.2	Die Messapparatur von Le Boulengé	102
6.2.1.3	Der Spulen-Boulengé	104
6.2.1.4	Der Papierfunkenchronograf	104
6.2.1.5	Der Kondensatorchronograf	105
6.2.2	Moderne Geschwindigkeitsmessung	106
6.2.2.1	Lichtschranken und Impulszähler	106
6.2.2.2	Fehlerquellen bei Lichtschrankenmessungen	106
6.2.2.3	Radar	108
6.2.2.4	Fehlerquellen bei Radarmessungen	108
6.2.2.5	Bestimmung der Geschossgeschwindigkeit mittels Schattenaufnahmen	109
6.3	Innenballistische Druckmessungen	109
6.3.1	Allgemeines	109
6.3.2	Historische Messverfahren	110
6.3.2.1	Die ersten Messversuche	110
6.3.2.2	Methode der sukzessiven Laufverkürzung	111
6.3.2.3	Methode der Rücklaufmessung	112
6.3.2.4	Methode der «Seitenstollen»	113
6.3.3	Messung mit Stauchkörper	113
6.3.3.1	Messprinzip	113
6.3.3.2	Fehlerquellen	114
6.3.3.3	Patronierte Munition	115
6.3.4	Piezoelektrische Verfahren	115
6.3.4.1	Der piezoelektrische Effekt	115
6.3.4.2	Messtechnik	116
6.3.4.3	Fehlerquellen	117
6.3.4.4	Patronierte Munition	117
6.3.4.5	Andere elektrische Druckmessverfahren	118
6.4	Rücklauf- und Rückstoßmessungen	118
6.4.1	Entstehung des Rückstoßes	118
6.4.2	Messverfahren	119
6.4.2.1	Bestimmung der Rücklaufgeschwindigkeit	119
6.4.2.2	Messung der Rückstoßkraft	120
6.4.2.3	Die Rückstoßenergie	121
6.4.3	Zum subjektiven Rückstoßempfinden	121
6.5	Außenballistische Messungen	122
6.5.1	Allgemeines	122
6.5.2	Bestimmung des Luftwiderstandbeiwertes	123
6.5.2.1	Bestimmung mit Zeit-Weg-Messungen	123

---

6.5.2.2	Bestimmung mit Weg-Geschwindigkeit-Messungen	123
6.5.2.3	Bestimmung mit Radar	124
6.5.3	Die Eigenbewegung des Geschosses	124
6.5.3.1	Beschreibung der Eigenbewegung	124
6.5.3.2	Bestimmung des Anstellwinkels eines Geschosses	125
6.5.3.3	Bestimmung der Trägheitsmomente	126
6.6	Bildgebende Verfahren	127
6.6.1	Allgemeines	127
6.6.2	Lichtquellen	128
6.6.2.1	Kontinuierliche Lichtquellen	128
6.6.2.2	Diskontinuierliche Lichtquellen	128
6.6.3	Gegenlichtaufnahmen	129
6.6.3.1	Schattenaufnahmen	129
6.6.3.2	Schlierenaufnahmen	129
6.6.4	Kinematografie	130
6.6.4.1	Funkenkinematografie nach Cranz-Schardin	130
6.6.4.2	Hochgeschwindigkeitskamera IMACON 200	131
6.6.4.3	Hochgeschwindigkeits-Video	132
<b>7</b>	<b>Wirksamkeit und Gefährlichkeit von Geschossen</b>	<b>133</b>
7.1	Zur Wirksamkeit von Geschossen	133
7.1.1	Einführung	133
7.1.2	Wirksamkeit und Wirkung	134
7.1.2.1	Definitionen	134
7.1.2.2	Anteile der Wirkung	135
7.1.3	Wirksamkeitskriterien	136
7.1.3.1	Historisches	136
7.1.3.2	Zur mechanischen Aufhaltekraft eines Geschosses («Stopping Power»)	138
7.1.3.3	Klassische Wirksamkeitskriterien	139
7.1.3.4	Militärische Wirksamkeitskriterien	140
7.2	Bestimmung der Wirksamkeit	141
7.2.1	Grundsätzliches	141
7.2.1.1	Definition der Wirksamkeit	141
7.2.1.2	Wirkungsweisen eines Geschosses	142
7.2.2	Simulanzen	142
7.2.2.1	Allgemeines	142
7.2.2.2	Gelatine	143
7.2.2.3	Glyzerinseife	143
7.2.2.4	Wasser	145
7.2.2.5	Feuchter Ton	146
7.2.3	Messen der Wirksamkeit	147
7.2.3.1	Messtechnik	147
7.2.3.2	Wirksamkeitsfunktionen von Kurzwaffengeschossen	148
7.2.3.3	Wirksamkeitsfunktionen von Langwaffengeschossen	148
7.2.3.4	Vergleich Kurzwaffe-Langwaffe	148
7.2.4	Anwendungen	149
7.2.4.1	Diagnosenhilfe in der Chirurgie der Schussverletzung	149
7.2.4.2	Kriminalistik	149

	7.2.4.3	Internationale Vereinbarungen	149
	7.2.4.4	Kurzwaffen	151
7.3		Gefährlichkeit von Geschossen	151
	7.3.1	Definition der Gefährlichkeit	151
	7.3.1.1	Ein gefährliches Ungefährlichkeitskriterium	151
	7.3.1.2	Gefährlichkeitskriterien	152
	7.3.1.3	Biologische Grenzwerte	152
	7.3.2	Gefährlichkeitskriterien in der Praxis	153
	7.3.2.1	Gefährlichkeitsgrenzwerte	153
	7.3.2.2	Gefährlichkeit bei maximaler Schussdistanz	153
	7.3.2.3	Der Schuss steil in die Luft	156
	7.3.2.4	Gefährlichkeit abgeprallter Geschosse	157
	7.3.2.5	Bestimmung von Gefährdungsbereichen	158
	7.3.2.6	Federpistolen und Schleudern	159
7.4		Die so genannten «nicht-letalen» Geschosse	159
	7.4.1	Allgemeines	159
	7.4.1.1	Abgrenzung	159
	7.4.1.2	Ballistisch-biomechanische Zusammenhänge	160
	7.4.2	Geschosskonstruktionen	161
	7.4.2.1	Geschosse normaler Bauart	161
	7.4.2.2	Geschosse kleiner Querschnittsbelastung	161
	7.4.2.3	Expandierende Geschosse	163
	7.4.2.4	Gummischrot	164
	7.4.2.5	Geschosse großer Masse	165
	7.4.2.6	Spezialgeschosse für Kurzwaffen	165
<b>8</b>		<b>Prüfung und Beurteilung von ballistischem Schutz</b>	<b>167</b>
8.1		Allgemeines	167
	8.1.1	Schutz ist auch eine Waffe	167
	8.1.2	Personenschutz und Sachwertschutz	167
	8.1.3	Die Bedrohung	168
	8.1.4	Materialklassen	169
8.2		Bedrohungs- und Schutzwahrscheinlichkeit	169
	8.2.1	Allgemeines	169
	8.2.2	Bedrohungswahrscheinlichkeit	170
	8.2.3	Festlegen des Angriffspotenzials	173
	8.2.3.1	Kurzwaffen	173
	8.2.3.2	Langwaffen	174
	8.2.4	Schutzwahrscheinlichkeit	175
	8.2.4.1	Allgemeines	175
	8.2.4.2	Schutzwahrscheinlichkeit und Angriffspotenzial	177
8.3		Prüfung von ballistischem Schutz	179
	8.3.1	Allgemeines	179
	8.3.2	Regelwerke	180
	8.3.2.1	Definition, Arten von Regelwerken	180
	8.3.2.2	Angrifforientierte Regelwerke	180
	8.3.2.3	Schutzorientierte Regelwerke	181
	8.3.3	Prüfmethoden	182
	8.3.3.1	Möglichkeiten von Prüfmethoden	182

8.3.3.2	Bestimmung von $v_{50}$ und Standardabweichung	183
8.3.3.3	Bestimmung beliebiger Durchschuss- wahrscheinlichkeiten	184
8.3.3.4	Bestimmung von $v_{50}$ und $s$ bei gegebener Prüfgeschwindigkeit	185
8.3.3.5	Zuverlässigkeit der Prüfung auf Nicht-Durchschuss	185
8.3.3.6	Zur notwendigen Schusszahl bei Prüfung auf Nicht-Durchschuss	187
8.3.4	Die wesentlichen Festlegungen in angrifforientierten Regelwerken	188
8.3.4.1	Das Prüfgeschoss	188
8.3.4.2	Die Prüfgeschwindigkeit	188
8.3.4.3	Zur Streuung der Prüfgeschwindigkeit	189
8.3.4.4	Entscheidungskriterien bei Nichteinhalten der Prüfgeschwindigkeit	190
8.3.5	Weitere Festlegungen	191
8.3.5.1	Allgemeines	191
8.3.5.2	Schussdistanz	191
8.3.5.3	Schussrichtung	192
8.3.5.4	Schusszahl und Beschussmuster	193
8.3.5.5	Vorbehandlung des Prüfobjektes	194
8.4	Wirkungen hinter dem ballistischen Schutz	194
8.4.1	Das Verletzungspotenzial	194
8.4.2	Zur Prüfung des Verletzungspotenzials hinter ballistischem Schutz	194
8.4.2.1	Splitterabgang	194
8.4.2.2	Energieübertrag	195
8.5	Normen und Richtlinien	195
8.5.1	Allgemeines	195
8.5.2	ISO und CEN	195
8.5.3	Normen für ballistische Schutzkonstruktionen	196
8.5.4	Normen und Richtlinien für ballistischen Körperschutz	197
<b>Anhang</b>		199
A.1	Tabellen	199
A.1.1	Einheiten und Bezeichnungen	199
A.1.1.1	U.S.-Einheiten metrische Einheiten	199
A.1.1.2	Metrische Einheiten U.S.-Einheiten	199
A.1.2	Physikalische Daten	200
A.1.2.1	Stoffzahlen von Geschosswerkstoffen	200
A.1.2.2	Trägheitsmomente und Schwerpunktsabstand ausgewählter Geschosse	200
A.1.2.3	Geschoss- und Laufabmessungen (nach C.I.P., 2001)	201
A.1.3	Ballistische Daten	203
A.1.3.1	Kurzwaffen (Standardgeschosse)	203
A.1.3.2	Kurzwaffen (Polizeigeschosse)	204
A.1.3.3	Langwaffen (Armee Waffen, Standardgeschosse)	204
A.1.3.4	Langwaffen (Jagdwaffen, Standardgeschosse)	205
A.1.3.5	Alte Waffen	206

	A.1.3.6	Flinten	207
	A.1.3.7	Federwaffen (Bogen, Armbrust, Federpistole, Schleuder)	207
A.1.4		Schusstafeln	208
	A.1.4.1	Erklärung zu der Schusstafeln	208
	A.1.4.2	Kurzwaffen	208
	A.1.4.3	Langwaffen	212
	A.1.4.4	Alte Langwaffen	215
	A.1.4.5	Flinten	217
A.2		Begriffe und Symbole	219
	A.2.1	Definitionen	219
	A.2.2.	Verwendete Symbole, Maßeinheiten und Abkürzungen	220
A.3		Literaturverzeichnis	222
	A.3.1	Nachschlagewerke	222
	A.3.2	Physikalische und ballistische Grundlagen	222
	A.3.3	Besondere Waffengattungen und ihre Ballistik	222
	A.3.4	Spezielle außenballistische Probleme	223
	A.3.5	Geschosskonzepte	224
	A.3.6	Ballistische Messtechnik	224
	A.3.7	Wirksamkeit und Gefährlichkeit von Geschossen	224
	A.3.8	Prüfung und Beurteilung von ballistischem Schutz	225
A.4		Nachweis der Abbildungen	225
A.5		Stichwortverzeichnis	226