

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Über dieses Buch</b>	<b>5</b>
<b>I</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Das Wesen des Luftwiderstandes</b>	<b>11</b>
2.1	Hohe Geschwindigkeiten . . . . .	12
2.2	Machzahl . . . . .	14
2.3	Definition Luftwiderstandsmodell . . . . .	14
2.4	Die Rolle der Grenzschicht . . . . .	16
<b>3</b>	<b>Die Abbremsung zählt</b>	<b>19</b>
3.1	Kaliber ist nicht Geschossdurchmesser . . . . .	19
3.2	Durchmesser und Querschnittsbelastung . . . . .	22
<b>4</b>	<b>Geschossformen</b>	<b>25</b>
4.1	Benennungen und Geometrie . . . . .	25
4.2	Verwendete Geschossformen . . . . .	27
<b>5</b>	<b>Messung des Luftwiderstandes</b>	<b>39</b>
5.1	Windkanal . . . . .	39
	Beispiel für Windkanalergebnisse . . . . .	40
	Probleme mit Windkanalergebnissen . . . . .	42
	Zylindrische Geschosse – Skalierungseffekt . . . . .	44
5.2	Schießversuch . . . . .	46
	Exotische Methoden . . . . .	46
	Standardmethoden . . . . .	48
5.3	Bestimmen des Luftwiderstandsbeiwerts . . . . .	52
5.4	Ein Luftwiderstandsmodell entsteht . . . . .	57
<b>6</b>	<b>Katalog der Luftwiderstandsmodelle</b>	<b>65</b>
	Realistischer Machbereich 1.2 bis 3 . . . . .	65
6.1	Russland: Majewski-Sabudski . . . . .	68
6.2	Sowjetunion: 1943 . . . . .	70
6.3	Sowjetunion: Schapiro-Mazing-Prudnikow . . . . .	72
6.4	Frankreich: Gâvre (USA: G1) . . . . .	73
	Datengewinnung für Modell GAVRE_G1 . . . . .	73
	Andere Datenquellen für Gâvre . . . . .	74
6.5	Frankreich: Demogue . . . . .	76
6.6	Frankreich: Dupuis . . . . .	78
	Frankreich: Dupuis (mit j 0.080) . . . . .	80
	Frankreich: Dupuis (mit j 0.140) . . . . .	81

Frankreich: Dupuis (mit j 0.240) . . . . .	82
6.7 Vereinigtes Königreich: 1910 Law . . . . .	83
6.8 Vereinigtes Königreich: 2_CRH . . . . .	87
6.9 Vereinigtes Königreich: 1940 Law (USA G8) . . . . .	88
6.10 Vereinigtes Königreich: 5_10_CRH . . . . .	91
6.11 Vereinigtes Königreich: 2_4_CRH . . . . .	92
6.12 Vereinigtes Königreich: 8_16_CRH . . . . .	93
6.13 Vereinigtes Königreich: Hodsock . . . . .	94
6.14 Deutschland: Burgsdorff . . . . .	98
6.15 Deutschland: S-Geschoss (Luftwiderstandsgesetz Nr. 1) . . . . .	100
6.16 Deutschland: Luftwiderstandsgesetz Nr. 2 . . . . .	102
6.17 Deutschland: Kutterer . . . . .	104
6.18 Deutschland: RWS 1943 . . . . .	106
6.19 Deutschland: VM_556 . . . . .	108
6.20 Deutschland: 46_VOLLM . . . . .	109
6.21 Deutschland: 46_STAHL . . . . .	111
6.22 Deutschland: 46_ACTION . . . . .	112
6.23 Deutschland: 46_TMZINN . . . . .	113
6.24 USA: Ingalls . . . . .	114
6.25 USA: G1 . . . . .	115
6.26 USA: G2 (auch J oder J2) . . . . .	116
6.27 USA: G3 . . . . .	118
6.28 USA: G4 . . . . .	119
6.29 USA: G5 . . . . .	120
6.30 USA: G6 . . . . .	122
6.31 USA: G6 (FORTRAN-Modell) . . . . .	124
6.32 USA: G8 . . . . .	126
6.33 USA: G7 . . . . .	128
6.34 USA: MCCOY_M2 . . . . .	130
6.35 (USA:) BRL620_M2 . . . . .	131
6.36 USA: NAVPG . . . . .	132
6.37 USA: Lowry . . . . .	134
6.38 USA: M855_WEIN . . . . .	135
6.39 USA: FTB_M118 . . . . .	137
6.40 USA: FTB_190FMJ . . . . .	138
6.41 USA: FLECHETTE . . . . .	139
6.42 Italien: Siacci . . . . .	141
6.43 Niederlande: Normaal Schietschool . . . . .	143
6.44 Schweiz: Gewehrpatrone 11 . . . . .	145
6.45 Schweiz: Gewehrpatrone 11 (Kneubühl) . . . . .	146
6.46 Schweiz: Gewehrpatrone 11 (Kurve 41.02) . . . . .	148
6.47 Schweden: 7.62 mm Geschoss . . . . .	150
6.48 Spanien: CETME Langgeschoss . . . . .	152
6.49 Sonderfälle . . . . .	154
Einfache Potenzregel . . . . .	154
Konstanter Luftwiderstandsbeiwert . . . . .	155
6.50 Elementare Geschossformen . . . . .	156
Kugel . . . . .	156
Zylinder nach Cranz . . . . .	158

Zylinder nach Krupp . . . . .	158
Proof Law (1950) . . . . .	159
Würfel nach Carter . . . . .	159
6.51 Radardaten . . . . .	160
6.52 Lapua AP485 . . . . .	162
6.53 Lapua AP492 . . . . .	163
6.54 Lapua API526 . . . . .	164
6.55 Lapua AP529 alt . . . . .	165
6.56 Lapua AP529 neu . . . . .	166
6.57 Lapua B408 . . . . .	167
6.58 Lapua B466 . . . . .	168
6.59 Lapua B476 . . . . .	169
6.60 Lapua B557 . . . . .	170
6.61 Lapua BULLEXN . . . . .	171
6.62 Lapua BULLEX2 . . . . .	172
6.63 Lapua D46 . . . . .	173
6.64 Lapua D166 . . . . .	175
6.65 Lapua E539 . . . . .	176
6.66 Lapua G490 . . . . .	177
6.67 Lapua GB422 . . . . .	178
6.68 Lapua GB432 . . . . .	179
6.69 Lapua GB458, GB464, GB489 und GB504 . . . . .	180
6.70 Lapua GB478 und GB542 . . . . .	181
6.71 Lapua GB488 . . . . .	182
6.72 Lapua GB491 und GB552 . . . . .	183
6.73 Lapua GB493 . . . . .	184
6.74 Lapua GB501 . . . . .	185
6.75 Lapua GB527 und GB545 . . . . .	186
6.76 Lapua GB528 . . . . .	187
6.77 Lapua GB541 und GB544 . . . . .	188
6.78 Lapua GB543 . . . . .	189
6.79 Lapua GB546 . . . . .	190
6.80 Lapua GB547 . . . . .	191
6.81 Lapua GB550 . . . . .	192
6.82 Lapua GB551 . . . . .	193
6.83 Lapua GB553 . . . . .	194
6.84 Lapua GB554 . . . . .	195
6.85 Lapua N505 . . . . .	196
6.86 Lapua N508 . . . . .	197
6.87 Lapua N518 . . . . .	198
6.88 Lapua N522 . . . . .	199
6.89 Lapua N558 . . . . .	200
6.90 Lapua N559 . . . . .	201
6.91 Lapua N560 . . . . .	202
6.92 Lapua N563 . . . . .	203
6.93 Lapua S374 . . . . .	204
6.94 Lapua S405 . . . . .	205
6.95 Lapua S538 . . . . .	206
6.96 (Frankreich:) 98D_ETBS – balle D . . . . .	207

6.97 (Frankreich): 98DR_ETBS – balle D Replika . . . . .	210
6.98 (Frankreich): 32N_ETBS . . . . .	213
6.99 (Frankreich): 24C_ETBS . . . . .	215
6.100(Frankreich): 33D_ETBS . . . . .	217
6.101(Frankreich): 61_ETBS . . . . .	219
6.102(Frankreich): M74_ETBS . . . . .	221
6.103(Frankreich): HFB_ETBS . . . . .	223
6.104(Frankreich): 7RN_ETBS – Rundkopf . . . . .	225
6.105Sonderfall: drei UNSTx_G7 Modelle . . . . .	227
6.106Die Modelle in Tabellenform . . . . .	229
<b>7 Das bestpassende Luftwiderstandsmodell finden</b>	<b>231</b>
7.1 Datentabelle aufstellen . . . . .	231
7.2 Anpassung mit dem Formfaktor . . . . .	234
Den Formfaktor für ein weiteres Modell bestimmen . . . . .	235
7.3 Anpassungsgüte des Formfaktors messen . . . . .	237
7.4 Formfaktor-Paradoxon . . . . .	238
7.5 Abweichungen durch konstante Einflussgrößen . . . . .	240
7.6 Formfaktortabelle per Programm . . . . .	240
7.7 Komprimierte Formfaktortabelle . . . . .	243
7.8 Validierung . . . . .	244
<b>8 Prinzip der Flugbahnrechnung nach Siacci</b>	<b>249</b>
8.1 Siacci-Tabelle . . . . .	249
Ballistischer Koeffizient . . . . .	251
Rechenbeispiel . . . . .	251
Andere Luftwiderstandsmodelle . . . . .	252
Wenn keine Tabelle passt . . . . .	252
8.2 Anmerkungen zum Ballistischen Koeffizienten . . . . .	253
Siacci-Formfaktor . . . . .	254
Primärfunktionen und Sekundärfunktionen . . . . .	254
<b>9 Prinzip der Flugbahnrechnung mit numerischer Integration</b>	<b>257</b>
9.1 Ablauf der Rechnung . . . . .	257
Anfangswerte . . . . .	257
Unterprogramm für die Abbremsung . . . . .	258
Unterprogramm für die Erdanziehung . . . . .	259
Nyström-Formelsatz . . . . .	259
9.2 Mehr über numerische Integration . . . . .	263
9.3 Andere Rechenverfahren . . . . .	265
9.4 Grafische und mechanische Verfahren . . . . .	267
9.5 Elektronik . . . . .	270
9.6 Beispiel der Anwendung des Formfaktors . . . . .	271
<b>II Erweiterte Grundlagen</b>	<b>273</b>
<b>10 Höher entwickelte Flugbahnmodelle</b>	<b>275</b>
10.1 Zwei Freiheitsgrade (2DOF) . . . . .	275

10.2	Drei Freiheitsgrade (3DOF)	276
10.3	Sechs Freiheitsgrade (6DOF)	276
	Kreiselbewegung des Geschosses	278
	Korkenzieherbahn	280
	Berechnungsproblematik	281
	Luftwiderstand und Anstellwinkel	281
	Magnuseffekt	283
	Drallabnahme	287
10.4	Modifiziertes Massepunktmodell (4DOF)	288
10.5	Fünf Freiheitsgrade (5DOF)	289
10.6	Sieben Freiheitsgrade (7DOF)	289
<b>11</b>	<b>Zusatzformeln für 2DOF</b>	<b>291</b>
11.1	Exkurs: Streukreis	291
11.2	Seitenwindeinfluss	292
	Höhenänderung durch Seitenwind	293
	Rücken- und Gegenwind	293
11.3	Drift (Drallabweichung)	294
11.4	Corioliskraft	295
	Corioliskraft aus radialer Bewegung	295
	Corioliskraft aus tangentialer Bewegung	296
	Schätzformeln für den Corioliseffekt	298
<b>12</b>	<b>Mit Rückwärtsrechnung zum Formfaktor</b>	<b>301</b>
12.1	Aus Geschwindigkeiten	301
12.2	Aus Flugzeiten	304
12.3	Aus Erhöhung und Schussweite	305
12.4	Aus Änderung der Treffpunktlage	307
<b>III</b>	<b>Störungen der Flugbahn</b>	<b>309</b>
<b>13</b>	<b>Innere Störungen</b>	<b>311</b>
13.1	Praktische Beispiele	311
13.2	Anfangsgeschwindigkeit (Schuss zu Schuss)	314
13.3	Anfangsgeschwindigkeit (Waffe zu Waffe)	315
13.4	Geschossmasse	318
13.5	Geschossform (Luftwiderstandsbeiwert)	320
	Logisches Abstreifen der Geschossmasse	322
13.6	Analyse der praktischen Beispiele	323
13.7	Zusammenfassung der inneren Störungen	326
<b>14</b>	<b>Äußere Störungen</b>	<b>327</b>
14.1	Erdanziehungskraft	327
14.2	Standardatmosphäre: trockene Luft	328
14.3	Wirkliche Atmosphäre: feuchte Luft	330
	Feuchtigkeitsgehalt	331
14.4	Dichte feuchter Luft	333
14.5	Schallgeschwindigkeit in feuchter Luft	334

14.6	Übersicht anderer Standardatmosphären . . . . .	335
14.7	Der zutreffende Luftdruck . . . . .	335
14.8	Virtuelle Temperatur als Aushilfe . . . . .	337
14.9	Typische Luftdaten für Deutschland . . . . .	338
	Meereshöhe . . . . .	339
	Höher gelegenes Binnenland . . . . .	343
<b>15</b>	<b>Nochmals Seitenwind</b>	<b>347</b>
15.1	Alternative Betrachtung . . . . .	347
15.2	Typischer Seitenwind . . . . .	348
15.3	Beispiele für die Auswirkung . . . . .	350
15.4	Rechenweg zur Treffwahrscheinlichkeit . . . . .	352
<b>16</b>	<b>Verkantung</b>	<b>353</b>
<b>IV</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>355</b>
<b>17</b>	<b>Formfaktor-Basiskatalog</b>	<b>357</b>
17.1	Schlanke Geschosse mit Heckkonus . . . . .	357
	7.9 mm schweres Spitzgeschoss sS (12.8 g) . . . . .	357
	Varianten 7.9 mm SmK und SmE . . . . .	360
	FR: 8 mm Mle 1886 balle D . . . . .	360
	FR: 8 mm Mle 1932N . . . . .	362
	FR: 7.5 mm Mle 1933D . . . . .	364
	CH: 7.5 mm Gewehrpatrone 11 . . . . .	365
	US: 7 mm (.276) Pedersen . . . . .	367
	US: 7.62 mm (.30) M1 – später M72 und M118 . . . . .	368
	SU: 7.62 mm LPS und D . . . . .	370
	UK: 7.7 mm (.303) Mark 8 . . . . .	370
	SE: 6.5 mm m/41 . . . . .	371
	SU: 5.45 mm M74 . . . . .	372
	SP: CETME Langgeschoss . . . . .	373
17.2	Schlanke Geschosse mit geradem Heck . . . . .	376
	7.9 mm Spitzgeschoss S (10 g) . . . . .	376
	US: 7.62 mm (.30) M1906 – später M2 . . . . .	376
	UK: 7.7 mm (.303) Mark 7 . . . . .	377
	FR: 7.5 mm Mle 1929C (Geschoss 24C) . . . . .	378
	SU: 7.62 mm 1908 bzw. L . . . . .	380
	FR: 6.5 mm Versuchsgeschoss HFB_ETBS . . . . .	381
17.3	Zwischenbilanz . . . . .	382
<b>18</b>	<b>Formfaktoren für Kurzpatronen</b>	<b>387</b>
	DE: 7.9 mm Kurzpatrone 43 . . . . .	387
	SU: 7.62 mm M43 (Kalaschnikow) . . . . .	387
	„Westliche“ Varianten der M43 . . . . .	388

<b>19 Formfaktoren 7.62 mm NATO</b>	<b>391</b>
19.1 Formen ähnlich M80 . . . . .	391
UK: L2A2 . . . . .	395
FR: Mle 1961 . . . . .	395
19.2 Formen ähnlich SS77 . . . . .	397
Schwedischer Schritt rückwärts? . . . . .	400
Leichtes CETME NATO Geschoss . . . . .	402
<b>20 Formfaktoren 5.56 mm NATO</b>	<b>403</b>
20.1 Daten für M855 . . . . .	403
20.2 Daten für SS109 . . . . .	407
20.3 Ungewöhnlicher Widerstandsverlauf . . . . .	409
20.4 Vorläufer: 5.56 mm M193 . . . . .	411
20.5 Weitere 5.56 mm Geschossformen . . . . .	414
5.0 g Mauser-IWK . . . . .	414
Amerikanisches Mk 262 . . . . .	415
Schweizerische GP90 . . . . .	418
<b>21 Rundkopfgeschosse</b>	<b>421</b>
<b>22 Einfluss der Waffe (des Laufes)</b>	<b>425</b>
22.1 Waffeneinfluss im Überschallbereich . . . . .	425
22.2 Waffeneinfluss auf Geschossverhalten im Transschallbereich . . . . .	426
22.3 Änderungen an der Munition . . . . .	427
<b>23 Treffpunktlage gemessen und gerechnet</b>	<b>429</b>
23.1 Ablauf von Versuch und Rechnung . . . . .	429
23.2 Probleme . . . . .	431
23.3 Kaliber 5.56 mm . . . . .	435
<b>24 Zu den Daten von Bryan Litz</b>	<b>439</b>
24.1 Vorgehensweise von Litz . . . . .	439
24.2 Eigene Auswertung . . . . .	440
<b>25 Schätzung des Widerstands aus der Geschossform</b>	<b>445</b>
25.1 Krasnow-Formel . . . . .	446
25.2 Programm McDrag . . . . .	446
25.3 Litz-Formel . . . . .	447
25.4 Exkurs Heckkonus . . . . .	448
Praktische Auswirkung einer besseren Geschossform . . . . .	450
Heckkonus und Stabilität . . . . .	452
25.5 Höhere Schätzprogramme . . . . .	454
<b>26 Fazit</b>	<b>455</b>
26.1 Erkenntnisse . . . . .	455
26.2 Schlusswort . . . . .	456
26.3 Danksagung der Erstauflage . . . . .	457

<b>V</b>	<b>Anhänge und Verzeichnisse</b>	<b>459</b>
27	Anhang A: Computer-Daten	461
28	Anhang B: Stabilitätsformel nach Miller	465
29	Anhang C: Temperatur und Mündungsgeschwindigkeit	467
30	Anhang D: Winkelmaße im Schießwesen	471
31	Anhang E: Formelzeichen	473
	Hinweise zum Quellenverzeichnis	479
	Quellen und Literatur	483