

Inhaltsverzeichnis

1	Über dieses Buch	5
I	Grundlagen	9
2	Das Wesen des Luftwiderstandes	11
2.1	Hohe Geschwindigkeiten	12
2.2	Machzahl	15
2.3	Definition Luftwiderstandsmodell	15
3	Die Abbremsung zählt	17
3.1	Kaliber ist nicht Geschossdurchmesser	18
3.2	Durchmesser und Querschnittsbelastung	20
4	Geschossformen	23
4.1	Benennungen und Geometrie	23
4.2	Verwendete Geschossformen	26
5	Messung des Luftwiderstandes	39
5.1	Windkanal	39
	Beispiel für Windkanalergebnisse	41
	Probleme mit Windkanalergebnissen	43
	Zylindrische Geschosse – Skalierungseffekt	45
5.2	Schießversuch	47
	Exotische Methoden	47
	Standardmethoden	49
5.3	Bestimmen des Luftwiderstandsbeiwerts	53
5.4	Erstellung eines Luftwiderstandsmodells	60
6	Katalog der Luftwiderstandsmodelle	69
	Realistischer Machbereich 1.2 bis 3	69
6.1	Russland: Majewski-Sabudski	72
6.2	Sowjetunion: 1943	75
6.3	Sowjetunion: Schapiro-Mazing-Prudnikow	77
6.4	Frankreich: Gâvre (USA: G1)	79
	Datengewinnung für Modell GAVRE_G1	80

Andere Datenquellen für Gâvre	81
6.5 Frankreich: Demogue	83
6.6 Frankreich: Dupuis	85
Frankreich: Dupuis (mit j 0.080)	87
Frankreich: Dupuis (mit j 0.140)	88
Frankreich: Dupuis (mit j 0.240)	89
6.7 Vereinigtes Königreich: 1910 Law	90
6.8 Vereinigtes Königreich: 2_CRH	95
6.9 Vereinigtes Königreich: 1940 Law (USA G8)	96
6.10 Vereinigtes Königreich: 5_10_CRH	100
6.11 Vereinigtes Königreich: 2_4_CRH	101
6.12 Vereinigtes Königreich: 8_16_CRH	102
6.13 Vereinigtes Königreich: Hodsock	103
6.14 Deutschland: Burgsdorff	107
6.15 Deutschland: S-Geschoss (Luftwiderstandsgesetz Nr. 1)	109
6.16 Deutschland: Luftwiderstandsgesetz Nr. 2	112
6.17 Deutschland: Kutterer	114
6.18 Deutschland: RWS 1943	116
6.19 USA: Ingalls	119
6.20 USA: G1	120
6.21 USA: G2 (auch J oder J2)	121
6.22 USA: G3	124
6.23 USA: G4	125
6.24 USA: G5	126
6.25 USA: G6	128
6.26 USA: G6 (FORTRAN-Modell)	130
6.27 USA: G8	132
6.28 USA: G7	134
6.29 USA: MCCOY_M2	136
6.30 (USA:) BRL620_M2	138
6.31 USA: NAVPG	139
6.32 USA: Lowry	141
6.33 USA: M855_WEIN	143
6.34 USA: FTB_M118	145
6.35 USA: FTB_190FMJ	146
6.36 Italien: Siacci	147
6.37 Niederlande: Normaal Schietschool	149
6.38 Schweiz: Gewehrpatrone 11	152
6.39 Schweiz: Gewehrpatrone 11 (Kneubühl)	154
6.40 Schweiz: Gewehrpatrone 11 (Kurve 41.02)	156
6.41 Schweden: 7.62 mm Geschoss	158
6.42 Spanien: CETME Langgeschoss	160

6.43	Sonderfälle	162
	Einfache Potenzregel	162
	Konstanter Luftwiderstandsbeiwert	163
6.44	Elementare Geschossformen	164
	Kugel	164
	Zylinder nach Cranz	166
	Zylinder nach Krupp	166
	Proof Law (1950)	166
	Würfel nach Carter	167
6.45	Radardaten für Lapua-Geschosse	168
6.46	Lapua AP485	170
6.47	Lapua AP492	171
6.48	Lapua API526	172
6.49	Lapua AP529 alt	173
6.50	Lapua AP529 neu	174
6.51	Lapua B408	175
6.52	Lapua B466	176
6.53	Lapua B476	177
6.54	Lapua BULLEXN	178
6.55	Lapua BULLEX2	179
6.56	Lapua D46	180
6.57	Lapua D166	182
6.58	Lapua E539	184
6.59	Lapua G490	185
6.60	Lapua GB422	186
6.61	Lapua GB432	187
6.62	Lapua GB458, GB464, GB489 und GB504	188
6.63	Lapua GB478 und GB542	189
6.64	Lapua GB488	190
6.65	Lapua GB491 und GB552	191
6.66	Lapua GB493	192
6.67	Lapua GB501	193
6.68	Lapua GB527 und GB545	194
6.69	Lapua GB528	195
6.70	Lapua GB541 und GB544	196
6.71	Lapua GB543	197
6.72	Lapua GB546	198
6.73	Lapua GB547	199
6.74	Lapua GB550	200
6.75	Nachtrag: Lapua GB551	201
6.76	Nachtrag: Lapua GB553	202
6.77	Nachtrag: Lapua GB554	203
6.78	Lapua N505	204

6.79	Lapua N508	205
6.80	Lapua N518	206
6.81	Lapua N522	207
6.82	Lapua S374	208
6.83	Lapua S405	209
6.84	Lapua S538	210
6.85	Die Modelle in Tabellenform	211
6.86	Nachtrag: VM_556	212
7	Das bestpassende Luftwiderstandsmodell finden	213
7.1	Datentabelle aufstellen	213
7.2	Anpassung mit dem Formfaktor	216
	Den Formfaktor für ein weiteres Modell bestimmen	218
7.3	Anpassungsgüte des Formfaktors messen	220
7.4	Formfaktor-Paradoxon	221
7.5	Abweichungen durch konstante Einflussgrößen	223
7.6	Formfaktortabelle per Programm	224
7.7	Komprimierte Formfaktortabelle	226
7.8	Validierung	227
8	Prinzip der Flugbahnrechnung nach Siacci	231
8.1	Siacci-Tabelle	231
	Ballistischer Koeffizient	233
	Rechenbeispiel	233
	Andere Luftwiderstandsmodelle	234
	Wenn keine Tabelle passt	235
8.2	Anmerkungen zum Ballistischen Koeffizienten	236
	Siacci-Formfaktor	237
	Primärfunktionen und Sekundärfunktionen	238
9	Prinzip der Flugbahnrechnung mit numerischer Integration	239
9.1	Ablauf der Rechnung	239
	Anfangswerte	239
	Unterprogramm für die Abbremsung	240
	Unterprogramm für die Erdanziehung	241
	Nyström-Formelsatz	242
9.2	Mehr über numerische Integration	246
9.3	Andere Rechenverfahren	249
9.4	Grafische und mechanische Verfahren	251
9.5	Elektronik	255
9.6	Beispiel der Anwendung des Formfaktors	256

II	Erweiterte Grundlagen	259
10	Höher entwickelte Flugbahnmodelle	261
10.1	Zwei Freiheitsgrade (2DOF)	261
10.2	Drei Freiheitsgrade (3DOF)	262
10.3	Sechs Freiheitsgrade (6DOF)	262
	Kreiselbewegung des Geschosses	264
	Korkenzieherbahn	266
	Berechnungsproblematik	268
	Luftwiderstand und Anstellwinkel	268
	Magnuseffekt	271
	Drallabnahme	275
10.4	Modifiziertes Massepunktmodell (4DOF)	276
10.5	Fünf Freiheitsgrade (5DOF)	277
10.6	Sieben Freiheitsgrade (7DOF)	277
11	Zusatzformeln für 2DOF	279
11.1	Exkurs: Streukreis	279
11.2	Seitenwindeinfluss	280
	Höhenänderung durch Seitenwind	281
	Rücken- und Gegenwind	282
11.3	Drift (Drallabweichung)	282
11.4	Corioliskraft	284
	Corioliskraft aus radialer Bewegung	284
	Corioliskraft aus tangentialer Bewegung	286
	Schätzformeln für den Corioliseffekt	287
12	Mit Rückwärtsrechnung zum Formfaktor	289
12.1	Aus Geschwindigkeiten	289
12.2	Aus Flugzeiten	293
12.3	Aus Erhöhung und Schussweite	294
12.4	Aus Änderung der Treffpunktlage	296
III	Störungen der Flugbahn	299
13	Innere Störungen	301
13.1	Praktische Beispiele	301
13.2	Anfangsgeschwindigkeit (Schuss zu Schuss)	304
13.3	Anfangsgeschwindigkeit (Waffe zu Waffe)	306
13.4	Geschossmasse	308
13.5	Geschossform (Luftwiderstandsbeiwert)	311
	Logisches Abstreifen der Geschossmasse	313

13.6 Analyse der praktischen Beispiele	315
13.7 Zusammenfassung der inneren Störungen	319
14 Äußere Störungen	321
14.1 Erdanziehungskraft	321
14.2 Standardatmosphäre: trockene Luft	323
14.3 Wirkliche Atmosphäre: feuchte Luft	325
Feuchtigkeitsgehalt	326
14.4 Dichte feuchter Luft	328
14.5 Schallgeschwindigkeit in feuchter Luft	329
14.6 Übersicht anderer Standardatmosphären	332
14.7 Der zutreffende Luftdruck	332
14.8 Virtuelle Temperatur als Aushilfe	334
14.9 Typische Luftdaten für Deutschland	335
Meereshöhe	335
Höher gelegenes Binnenland	338
15 Nochmals Seitenwind	343
15.1 Alternative Betrachtung	344
15.2 Typischer Seitenwind	344
15.3 Beispiele für die Auswirkung	347
15.4 Rechenweg zur Treffwahrscheinlichkeit	348
16 Verkantung	351
IV Ergebnisse	353
17 Formfaktor-Basiskatalog	355
17.1 Schlanke Geschosse mit Heckkonus	355
7.9 mm schweres Spitzgeschoss sS (12.8 g)	355
Varianten 7.9 mm SmK und SmE	358
FR: 8 mm Mle 1886 balle D	359
CH: 7.5 mm Gewehrpatrone 11	360
US: 7 mm (.276) Pedersen	362
US: 7.62 mm (.30) M1 – später M72 und M118	362
SU: 7.62 mm LPS und D	365
UK: 7.7 mm (.303) Mark 8	365
SE: 6.5 mm m/41	366
SU: 5.45 mm M74	367
SP: CETME Langgeschoss	368
17.2 Schlanke Geschosse mit geradem Heck	371
7.9 mm Spitzgeschoss S (10 g)	371

US: 7.62 mm (.30) M1906 – später M2	372
UK: 7.7 mm (.303) Mark 7	373
FR: 7.5 mm Mle 1929C	374
SU: 7.62 mm 1908 bzw. L	375
17.3 Zwischenbilanz	375
18 Formfaktoren für Kurzpatronen	379
DE: 7.9 mm Kurzpatrone 43	379
SU: 7.62 mm M43 (Kalaschnikow)	380
„Westliche“ Varianten der M43	380
19 Formfaktoren 7.62 mm NATO	383
19.1 Formen ähnlich M80	383
19.2 Formen ähnlich SS77	388
Schwedische Rückwendung?	392
Leichtes CETME NATO Geschoss	393
20 Formfaktoren 5.56 mm NATO	395
20.1 Daten für M855	395
20.2 Daten für SS109	400
Ungewöhnlicher Widerstandsverlauf	402
20.3 Vorläufer: 5.56 mm M193	404
20.4 Weitere 5.56 mm Geschossformen	407
5.0 g Mauser-IWK	407
Amerikanisches Mk 262	408
Schweizerische GP90	411
21 Rundkopfgeschosse	413
22 Einfluss von Waffe/Lauf	417
23 Treffpunktlage gemessen und gerechnet	419
23.1 Ablauf von Versuch und Rechnung	420
23.2 Probleme	421
23.3 Kaliber 5.56 mm	426
24 Zu den Daten von Bryan Litz	429
24.1 Vorgehensweise von Litz	429
24.2 Eigene Auswertung	430
25 Schätzung des Widerstands aus der Geschossform	435
25.1 Krasnow-Formel	436
25.2 Programm McDrag	436
25.3 Litz-Formel	438

25.4 Exkurs Heckkonus	438
25.5 Höhere Schätzprogramme	440
26 Fazit	441
26.1 Erkenntnisse	441
26.2 Schlusswort	442
26.3 Danksagung	443
V Anhänge und Verzeichnisse	445
27 Anhang A: Computer-Daten	447
28 Anhang B: Stabilitätsformel nach Miller	449
29 Anhang C: Temperatur und Mündungsgeschwindigkeit	451
30 Anhang D: Winkelmaße im Schießwesen	455
31 Anhang E: Formelzeichen	457
Hinweise zum Quellenverzeichnis	461
Quellen und Literatur	465