

Ballistik für den Feldgebrauch

Vorwort

Das vorliegende Dokument enthält die Zusammenstellung einer Artikelserie, welche im Schweizer Waffenmagazin Ausgaben 10/2003 bis 2/2004 erschien. Im Gegensatz zur Publikation werden hier die Tabellen jeweils für die Meereshöhen 0 m, 500 m, 1000 m und 1500 m über Meer angegeben, immer am Schluss des betreffenden Artikels. Ausserdem findet der interessierte Leser hier am Schluss noch die Einzelheiten zur Mathematik, welche den Tabellen zu Grunde liegt.

Das Layout ist für umseitigen Druck in schwarz-weiss vorbereitet.

Marcel Tschannen

Inhaltsverzeichnis

1. Der Ort des transsonischen Durchgangs	7
2. Wirksamkeit und Energie im Ziel	13
3. Flugbahn und Visierlinie	19
4. Die Flugzeit	25
5. Der Einfluss des Seitenwindes	31
Anhang: Einzelheiten der Mathematisierung	38

Ballistik für den Feldgebrauch

Aus den ballistischen Gleichungen ergibt sich leider nicht eine Formel, die den Geschossflug vollständig beschreibe, sondern ein Computer muss die Flugdaten Meter für Meter schrittweise berechnen. Solche Programme sind für jedermann erhältlich und arbeiten sehr genau, jedoch tauchen dringende Fragen oft weitab vom nächsten Computer auf, sei es in der Werkstatt oder auf dem Schiessplatz im Gebirge. Für solche Fälle – und für Leute, die keine Computer mögen – wird hier in einer Folge von fünf Artikeln eine praktische Tabellen-Methode vorgestellt, die alle Fragen eines Long-Range-Schützen oder Jägers beantworten kann. Um die Methode anzuwenden, braucht man nur den ballistischen Koeffizienten BC und die Mündungsgeschwindigkeit seines Geschosses zu kennen. Ersteren entnimmt man Katalogen, letztere sollte man selber messen.

1. Der Ort des transsonischen Durchgangs

Der bekannte Begriff „Schallmauer“ bezeichnet folgendes physikalisches Phänomen: Wenn ein Körper sich gerade gleich schnell bewegt wie die Luft, die er verdrängen muss, so erfährt er einen besonders hohen Luftwiderstand. Dies ist dann der Fall, wenn er sich mit Schallgeschwindigkeit bewegt; die „Schallmauer“ befindet sich also beim Uebergang zwischen Unterschallgeschwindigkeit (subsonisch) und Ueberschallgeschwindigkeit (supersonisch). Der genaue Wert der Schallgeschwindigkeit ist abhängig vom Zustand der Atmosphäre, als typischen Richtwert kann man 340 m/s annehmen. Um diese lästige Abhängigkeit formal zu umgehen, definiert man die Machzahl: Schallgeschwindigkeit sei Mach 1, halbe Schallgeschwindigkeit Mach 0.5, doppelte Schallgeschwindigkeit Mach 2 und so fort. Bild 1 zeigt einen typischen Verlauf des Luftwiderstandbeiwertes c_w mit seinem Maximum im transsonischen Bereich (also um Mach 1). Ebenfalls eingezeichnet ist der Geschwindigkeitsverlauf eines Geschosses, das mit Ueberschallgeschwindigkeit (ca. Mach 2.5) den Büchsenlauf verlässt und dann wegen des Luftwiderstandes nach einigen hundert Metern Flug soweit abgebremst wird, dass es an die Schallmauer kommt.

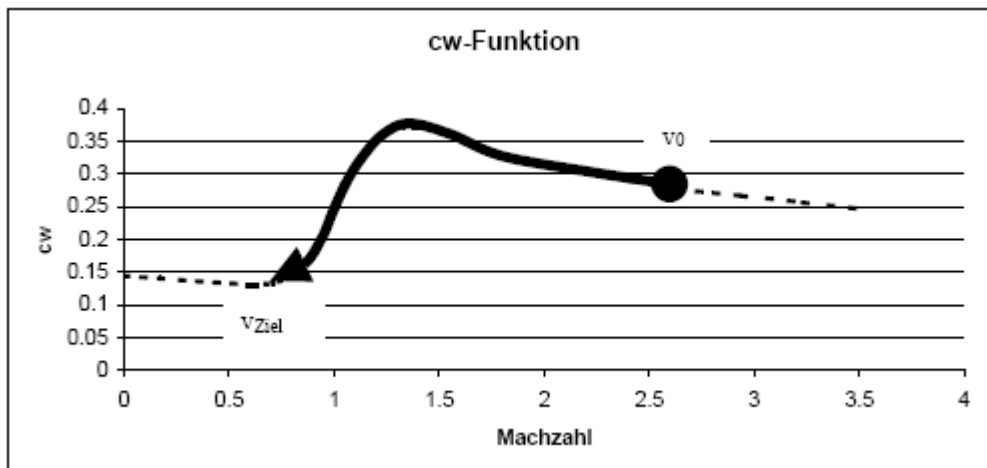


Bild 1

Da bei einem langen Büchsengeschoss die Luftwiderstandskraft vor dem Schwerpunkt des Geschosses angreift, verzögert sie nicht nur das Geschoss, sondern sie will es umkippen. Dieser „umwerfenden“ Luftwiderstandskraft wirkt die Kreiselkraft des schnell um die eigene Achse rotierenden (drallstabilisierten) Geschosses entgegen. Der stabile Geschossflug mit der Spitze voran ist also ein beständiges Ringen zwischen stabilisierender Kreisel- und destabilisierender Luftwiderstandskraft – ein Kampf, der die Geschossachse bisweilen ziemlich chaotische Bewegungen vollführen lässt, genannt Präzession und Nutation (s. Bild 2).

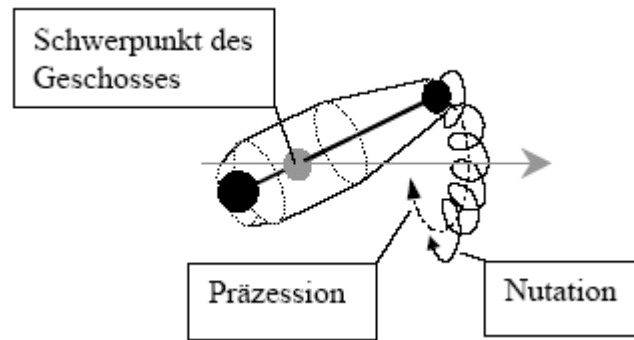


Bild 2

Unmittelbar nach Mündungsabgang sind die Präzession und Nutation ziemlich heftig und das Geschoss bietet dem Luftwiderstand keinen wohldefinierten Angriffspunkt, sondern nur einen statistischen mittleren, wodurch jedes Geschoss etwas in eine andere Richtung gedrückt wird und die Garbe sich öffnet. Nach einigen zehn Metern Flug sind diese Abgangsstörungen abgeklungen und das Geschoss hat seine optimale Lage eingenommen. In diesem Bereich entwickeln sich alle Flugbahnen etwa gleich und die Garbe bleibt klein – es ist der Bereich, in welchem die Waffe am präzisesten schießt. Wenn dann das Geschoss an die Schallmauer stösst, schaukeln sich die Störungen wieder auf und die Garbe nimmt erneut stark zu. Bild 3 zeigt qualitativ diesen Zusammenhang von Geschossgeschwindigkeit und Präzision und macht eines klar: Wer auf maximale Präzision Wert legt, braucht ein Geschoss, das entweder von Anfang an subsonisch fliegt oder aber bis ins Ziel supersonisch bleibt! Gerade Long-Range-Schützen müssen also ihre Patrone mit Rücksicht auf den Ort des transsonischen Durchgangs wählen, den sie einfach mit Tafeln 1 ermitteln können.

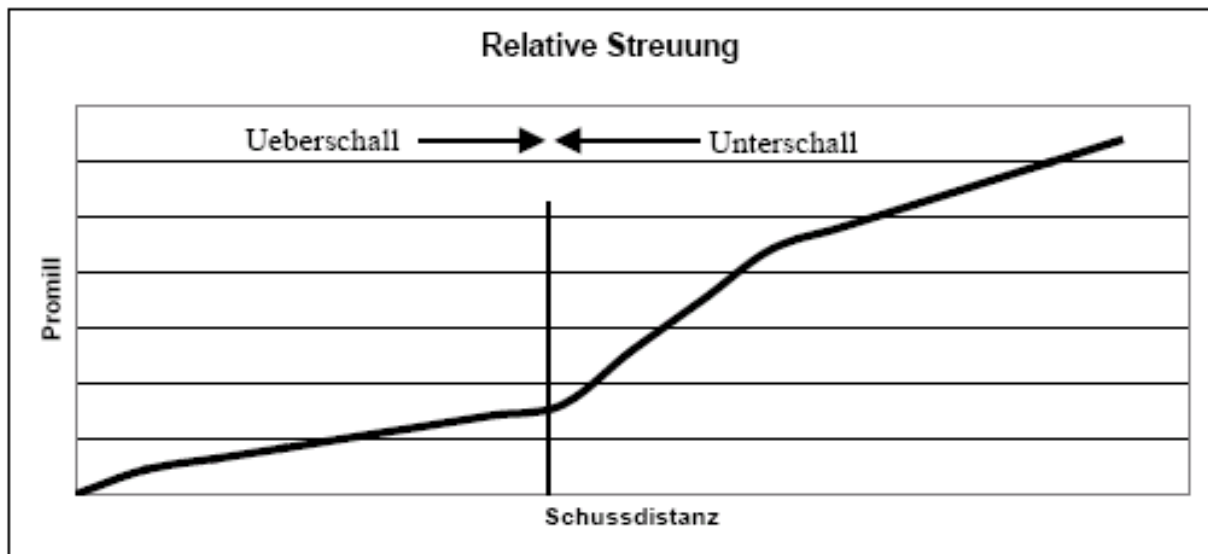


Bild 3

Anwendungsbeispiel zu Tabelle 1: Für seine Büchse Kal. .300 Win Mag will ein Schütze Präzisions-Patronen laden, um damit an einem 1000m-Wettbewerb teilzunehmen. Als Geschoss wählt er Sierra Matchking 200gr mit einem BC von 0.560. Auf welche Mündungsgeschwindigkeit muss er die Patrone laden? Aus Tafel 1.500 (für 500 m. ü. M.) sieht der Schütze, dass bereits eine mässige v_0 von 750m/s genügend Reserve bietet für Schüsse auf 1000m.

0 m.ü.M.	v_0 [m/s]										Ort des transsonischen Durchgangs [m]
	BC	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	
0.200	270	310	350	380	410	440	460	490	520	540	
0.225	310	350	390	430	460	490	520	550	580	610	
0.250	340	390	430	470	510	550	580	610	640	670	
0.275	370	430	470	520	560	600	640	670	710	740	
0.300	410	460	520	570	610	660	700	740	770	810	
0.325	440	500	560	610	660	710	760	800	840	870	
0.350	480	540	600	660	720	770	810	860	900	940	
0.375	510	580	650	710	770	820	870	920	970	1010	
0.400	540	620	690	760	820	880	930	980	1030	1080	
0.425	580	660	730	800	870	930	990	1040	1090	1140	
0.450	610	700	780	850	920	980	1050	1100	1160	1210	
0.475	650	740	820	900	970	1040	1100	1170	1220	1280	
0.500	680	770	860	950	1020	1090	1160	1230	1290	1350	
0.525	710	810	910	990	1070	1150	1220	1290	1350	1410	
0.550	750	850	950	1040	1120	1200	1280	1350	1420	1480	
0.575	780	890	990	1090	1180	1260	1340	1410	1480	1550	
0.600	820	930	1040	1130	1230	1310	1390	1470	1550	1620	
0.625	850	970	1080	1180	1280	1370	1450	1530	1610	1680	
0.650	880	1010	1120	1230	1330	1420	1510	1590	1670	1750	
0.675	920	1050	1170	1280	1380	1480	1570	1660	1740	1820	
0.700	950	1080	1210	1320	1430	1530	1630	1720	1800	1880	
0.725	990	1120	1250	1370	1480	1590	1690	1780	1870	1950	
0.750	1020	1160	1290	1420	1530	1640	1740	1840	1930	2020	
0.775	1050	1200	1340	1470	1580	1700	1800	1900	2000	2090	
0.800	1090	1240	1380	1510	1640	1750	1860	1960	2060	2150	
0.825	1120	1280	1420	1560	1690	1810	1920	2020	2120	2220	
0.850	1160	1320	1470	1610	1740	1860	1980	2090	2190	2290	
0.875	1190	1360	1510	1650	1790	1920	2030	2150	2250	2360	
0.900	1220	1390	1550	1700	1840	1970	2090	2210	2320	2420	
0.925	1260	1430	1600	1750	1890	2020	2150	2270	2380	2490	
0.950	1290	1470	1640	1800	1940	2080	2210	2330	2450	2560	
0.975	1330	1510	1680	1840	1990	2130	2270	2390	2510	2620	
1.000	1360	1550	1730	1890	2040	2190	2320	2450	2580	2690	

Tafel 1.0: Ort des transsonischen Durchgangs, 0 m.ü.M.
 Grau schraffiert: Patronen mit Eignung für Schüsse über 1000m.

500 m.ü.M.	v_0 [m/s]										Ort des transsonischen Durchgangs [m]
	BC	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	
0.200	290	330	360	400	430	460	490	520	540	570	
0.225	320	370	410	450	480	520	550	580	610	640	
0.250	360	410	460	500	540	580	610	650	680	710	
0.275	390	450	500	550	590	630	670	710	750	780	
0.300	430	490	550	600	650	690	730	780	810	850	
0.325	470	530	590	650	700	750	800	840	880	920	
0.350	500	570	640	700	750	810	860	900	950	990	
0.375	540	610	680	750	810	860	920	970	1020	1060	
0.400	570	650	730	800	860	920	980	1030	1080	1130	
0.425	610	690	770	850	920	980	1040	1100	1150	1200	
0.450	650	740	820	900	970	1040	1100	1160	1220	1280	
0.475	680	780	860	950	1020	1100	1160	1230	1290	1350	
0.500	720	820	910	1000	1080	1150	1220	1290	1360	1420	
0.525	750	860	960	1050	1130	1210	1290	1360	1420	1490	
0.550	790	900	1000	1100	1180	1270	1350	1420	1490	1560	
0.575	820	940	1050	1150	1240	1330	1410	1490	1560	1630	
0.600	860	980	1090	1200	1290	1380	1470	1550	1630	1700	
0.625	900	1020	1140	1250	1350	1440	1530	1610	1690	1770	
0.650	930	1060	1180	1300	1400	1500	1590	1680	1760	1840	
0.675	970	1100	1230	1340	1450	1560	1650	1740	1830	1910	
0.700	1000	1140	1270	1390	1510	1610	1710	1810	1900	1980	
0.725	1040	1190	1320	1440	1560	1670	1780	1870	1970	2050	
0.750	1080	1230	1370	1490	1620	1730	1840	1940	2030	2130	
0.775	1110	1270	1410	1540	1670	1790	1900	2000	2100	2200	
0.800	1150	1310	1460	1590	1720	1840	1960	2070	2170	2270	
0.825	1180	1350	1500	1640	1780	1900	2020	2130	2240	2340	
0.850	1220	1390	1550	1690	1830	1960	2080	2200	2310	2410	
0.875	1260	1430	1590	1740	1880	2020	2140	2260	2370	2480	
0.900	1290	1470	1640	1790	1940	2070	2200	2330	2440	2550	
0.925	1330	1510	1680	1840	1990	2130	2260	2390	2510	2620	
0.950	1360	1550	1730	1890	2050	2190	2330	2450	2580	2690	
0.975	1400	1590	1770	1940	2100	2250	2390	2520	2640	2760	
1.000	1430	1630	1820	1990	2150	2310	2450	2580	2710	2830	

Tafel 1.500: Ort des transsonischen Durchgangs, 500 m.ü.M.
 Grau schraffiert: Patronen mit Eignung für Schüsse über 1000m.

1000 m.ü.M.	v_0 [m/s]									
	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050
BC	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050
0.200	310	350	390	420	460	490	520	550	570	600
0.225	340	390	430	480	510	550	580	620	650	670
0.250	380	430	480	530	570	610	650	680	720	750
0.275	420	480	530	580	630	670	710	750	790	820
0.300	460	520	580	630	680	730	780	820	860	900
0.325	500	560	630	690	740	790	840	890	930	970
0.350	530	610	680	740	800	850	910	960	1000	1050
0.375	570	650	720	790	860	920	970	1030	1080	1120
0.400	610	690	770	850	910	980	1040	1090	1150	1200
0.425	650	740	820	900	970	1040	1100	1160	1220	1270
0.450	690	780	870	950	1030	1100	1170	1230	1290	1350
0.475	720	820	920	1000	1080	1160	1230	1300	1360	1420
0.500	760	870	970	1060	1140	1220	1300	1370	1440	1500
0.525	800	910	1010	1110	1200	1280	1360	1440	1510	1570
0.550	840	960	1060	1160	1260	1340	1430	1500	1580	1650
0.575	880	1000	1110	1220	1310	1400	1490	1570	1650	1720
0.600	920	1040	1160	1270	1370	1470	1560	1640	1720	1800
0.625	950	1090	1210	1320	1430	1530	1620	1710	1790	1870
0.650	990	1130	1260	1370	1480	1590	1690	1780	1870	1950
0.675	1030	1170	1300	1430	1540	1650	1750	1850	1940	2020
0.700	1070	1220	1350	1480	1600	1710	1810	1910	2010	2100
0.725	1110	1260	1400	1530	1660	1770	1880	1980	2080	2170
0.750	1140	1300	1450	1580	1710	1830	1940	2050	2150	2250
0.775	1180	1350	1500	1640	1770	1890	2010	2120	2220	2320
0.800	1220	1390	1550	1690	1830	1950	2070	2190	2300	2400
0.825	1260	1430	1590	1740	1880	2020	2140	2260	2370	2470
0.850	1300	1480	1640	1800	1940	2080	2200	2320	2440	2550
0.875	1340	1520	1690	1850	2000	2140	2270	2390	2510	2620
0.900	1370	1560	1740	1900	2050	2200	2330	2460	2580	2700
0.925	1410	1610	1790	1950	2110	2260	2400	2530	2650	2770
0.950	1450	1650	1830	2010	2170	2320	2460	2600	2730	2850
0.975	1490	1690	1880	2060	2230	2380	2530	2670	2800	2920
1.000	1530	1740	1930	2110	2280	2440	2590	2740	2870	3000

Ort des transsonischen Durchgangs [m]

Tafel 1.1000: Ort des transsonischen Durchgangs, 1000 m.ü.M.
 Grau schraffiert: Patronen mit Eignung für Schüsse über 1000m.

1500 m.ü.M.	v_0 [m/s]									
	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050
BC	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050
0.200	330	370	410	450	490	520	550	580	610	640
0.225	370	420	460	510	550	580	620	650	690	720
0.250	410	460	510	560	610	650	690	730	760	800
0.275	450	510	570	620	670	710	760	800	840	870
0.300	490	550	620	670	730	780	830	870	910	950
0.325	530	600	670	730	790	840	890	940	990	1030
0.350	570	650	720	790	850	910	960	1020	1070	1110
0.375	610	690	770	840	910	970	1030	1090	1140	1190
0.400	650	740	820	900	970	1040	1100	1160	1220	1270
0.425	690	790	870	950	1030	1100	1170	1230	1290	1350
0.450	730	830	920	1010	1090	1170	1240	1310	1370	1430
0.475	770	880	980	1070	1150	1230	1310	1380	1450	1510
0.500	810	920	1030	1120	1210	1300	1380	1450	1520	1590
0.525	850	970	1080	1180	1270	1360	1450	1520	1600	1670
0.550	890	1020	1130	1240	1330	1430	1510	1600	1680	1750
0.575	940	1060	1180	1290	1400	1490	1580	1670	1750	1830
0.600	980	1110	1230	1350	1460	1560	1650	1740	1830	1910
0.625	1020	1160	1280	1400	1520	1620	1720	1810	1900	1990
0.650	1060	1200	1340	1460	1580	1690	1790	1890	1980	2070
0.675	1100	1250	1390	1520	1640	1750	1860	1960	2060	2150
0.700	1140	1290	1440	1570	1700	1820	1930	2030	2130	2230
0.725	1180	1340	1490	1630	1760	1880	2000	2110	2210	2310
0.750	1220	1390	1540	1690	1820	1950	2070	2180	2280	2390
0.775	1260	1430	1590	1740	1880	2010	2130	2250	2360	2470
0.800	1300	1480	1640	1800	1940	2080	2200	2320	2440	2550
0.825	1340	1530	1700	1850	2000	2140	2270	2400	2510	2620
0.850	1380	1570	1750	1910	2060	2210	2340	2470	2590	2700
0.875	1420	1620	1800	1970	2120	2270	2410	2540	2670	2780
0.900	1460	1660	1850	2020	2180	2340	2480	2610	2740	2860
0.925	1510	1710	1900	2080	2240	2400	2550	2690	2820	2940
0.950	1550	1760	1950	2130	2300	2460	2620	2760	2890	3020
0.975	1590	1800	2000	2190	2370	2530	2680	2830	2970	3100
1.000	1630	1850	2060	2250	2430	2590	2750	2900	3050	3180

Ort des transsonischen Durchgangs [m]

Tafel 1.1500: Ort des transsonischen Durchgangs, 1500 m.ü.M.
 Grau schraffiert: Patronen mit Eignung für Schüsse über 1000m.

2. Wirksamkeit und Energie im Ziel

Dem Sportschützen genügen gute Treffer, der Jäger jedoch will mit seinem Treffer auch noch Wirkung erzielen und muss sich deshalb Gedanken über die Wirksamkeit seiner Patrone machen. Grundsätzlich ist die Wirksamkeit eines Geschosses seine physikalische Fähigkeit, überhaupt Wirkung erzielen zu können. Je grösser die physikalische Wirksamkeit, umso wahrscheinlicher eine genügende Wirkung – die effektiv mit einem Treffer erzielte Wirkung hängt dann allerdings noch von anderen Umständen ab (namentlich dem genauen Ort des Treffers und der individuellen Konstitution des Wildes). Die physikalische Wirksamkeit eines Geschosses ist proportional zu seiner Energieabgabe an das Ziel. Die Energieabgabe wiederum ist proportional zur Energie des Geschosses und umgekehrt proportional zu dessen Querschnittbelastung.

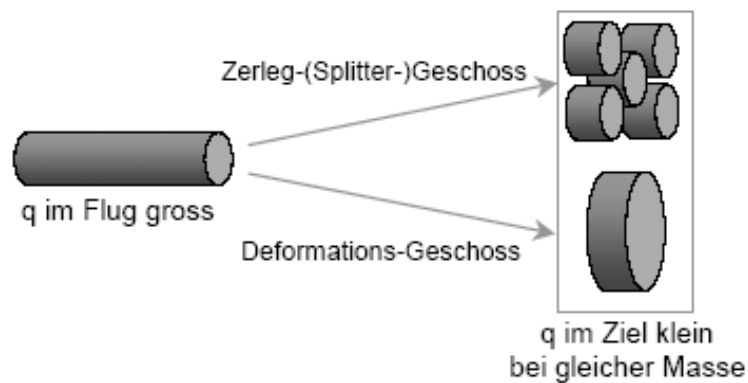


Bild 1

Die Querschnittbelastung q eines Geschosses ist gleich dessen Masse geteilt durch seine Querschnittfläche: Ein Pfeil hat also eine sehr grosse Querschnittbelastung, eine Papierkugel eine sehr geringe. Um gut zu fliegen, muss q gross sein, für eine hohe Wirksamkeit bzw. Energieabgabe hingegen klein; dieses sogenannte „ballistische Dilemma“ löst man durch aufwendige Geschosskonstruktionen, die durch Aufpilzen oder Splitterbildung im Ziel ihr q drastisch verkleinern. Bild 1 illustriert diese Veränderung von q durch Vergrösserung des Querschnittes bei gleichbleibender Gesamtmasse, Bild 2 verdeutlicht die Mechanik der Energieabgabe an das Ziel für drei Geschosse gleicher Energie, aber unterschiedlicher Querschnittbelastung; man beachte die grosse Restenergie des untersten Geschosses nach dem Ziel-Durchschuss!

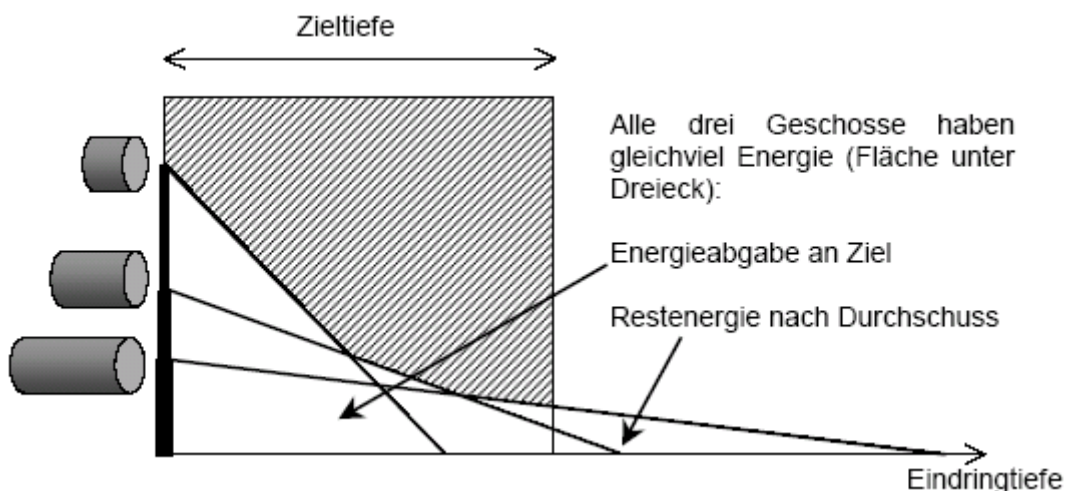


Bild 2

Unabhängig von seiner Konstruktion kann ein Geschoss natürlich maximal soviel Energie abgeben, wie es auf die Zieldistanz überhaupt noch innehat. Da der Luftwiderstand das

Geschoss beständig abbremst, ist dessen Energie auf 100 m schon beträchtlich kleiner als an der Mündung. Ein typisches Jagdreglement schreibt vor, wieviel Energie ein Geschoss auf eine gewisse Distanz noch aufweisen muss (vgl. Tabelle unten) und mit Tafeln 2 kann ein Jäger diese Grösse für seine Patrone einfach berechnen; wissen muss er dazu nur den ballistischen Koeffizienten BC, die Masse und die Mündungsgeschwindigkeit v_0 seines Geschosses.

Distanz [m]	Energie [mkg]	Energie [J]	Wild
100	100	980	Reh
150	150	1470	Gemse
200	200	1960	Hirsch/ Schwarzwild

Tabelle: Nach Jagdreglement vorgeschriebene Restenergien

Die Energie des Geschosses ist kinetische Energie und berechnet sich gemäss Formel 1:

$$\text{Formel 1)} \quad E[\text{J}] = \frac{1}{2} \cdot m[\text{kg}] \cdot v[\text{m/s}]^2$$

Für die Mündungsenergie E_0 setzt man $v = v_0$ in die Formel. Anstelle der SI-Einheit Joule J findet sich in Jagdreglementen noch oft die alte Einheit Meterkilogramm mkg; die Umrechnung erfolgt nach Formel 2.

$$\text{Formel 2)} \quad E[\text{J}] = 9.81 \cdot E[\text{mkg}]$$

Beachte: Die Faktoren k_E in Tafeln 2 lassen sich als Prozent lesen! Die Tafeln zeigen also den prozentualen Energieverlust des Geschosses, bezogen auf seine Mündungsenergie.

Anwendungsbeispiel 1 zur Tabelle 2: Ein Jäger will prüfen, inwiefern seine Patrone dem Jagdreglement wie in obiger Tabelle genügt. Das Geschoss seiner Patrone GP11 (7.5x55) wiegt 11.7 g (=180 grs), hat einen BC von 0.28 (Rundkopf-Geschoss) und eine Mündungsgeschwindigkeit von 750 m/s. Nach Formel 1 ergibt dies eine Mündungsenergie E_0 von 3291 J. In Tafel 2.500 benutzt der Jäger die Zeile zu einem BC von 0.275 und findet für 100 m den Faktor 0.75 und für 200 m 0.56. Die Restenergie seiner Patrone beträgt deshalb auf 100 m $3291 \text{ J} \cdot 0.75 = 2468 \text{ J}$ und auf 200 m $3291 \text{ J} \cdot 0.56 = 1843 \text{ J}$ – für das Reh genügt die Patrone bei weitem, für den Hirsch hingegen nicht. Zur nicht tabellierten Distanz 150 m schätzt er den Faktor 0.65 und rechnet $3291 \text{ J} \cdot 0.65 = 2139 \text{ J}$ – für die Gemsjagd ist seine Patrone also zugelassen.

Anwendungsbeispiel 2 zu Tafeln 2: Wie schnell müsste obiges Geschoss die Mündung verlassen, um die Zulassung zur Hirschjagd zu erlangen? Der Jäger rechnet rückwärts: Da das Geschoss auf 200 m noch 56% (Faktor 0.56) der Mündungsenergie hat, muss diese also für den Hirsch mindestens $1960 \text{ J} / 0.56 = 3500 \text{ J}$ betragen. Diese erreicht es ab Mündungsgeschwindigkeiten von 775 m/s, was bei einem Geschossgewicht von 11.7 g in einer GP11 durchaus machbar ist. Natürlich könnte der Schütze aber auch bei seiner Laborierung bleiben und einfach das plumpe Rundkopf-Geschoss gegen ein aerodynamisch besseres Spitzgeschoss mit einem BC von über 0.325 laden – gemäss Reglement würde diese Patrone dann auch für den Hirsch genügen.

0 m.ü.M.	Schussdistanz [m]														
BC	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
0.200	0.66	0.43	0.28	0.19	0.12	0.08	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
0.225	0.69	0.47	0.33	0.22	0.15	0.11	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
0.250	0.71	0.51	0.36	0.26	0.19	0.13	0.10	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
0.275	0.74	0.54	0.40	0.29	0.22	0.16	0.12	0.09	0.06	0.05	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01
0.300	0.76	0.57	0.43	0.33	0.25	0.19	0.14	0.11	0.08	0.06	0.05	0.03	0.03	0.02	0.01
0.325	0.77	0.60	0.46	0.36	0.27	0.21	0.16	0.13	0.10	0.08	0.06	0.04	0.03	0.03	0.02
0.350	0.79	0.62	0.49	0.38	0.30	0.24	0.19	0.15	0.12	0.09	0.07	0.06	0.04	0.03	0.03
0.375	0.80	0.64	0.51	0.41	0.33	0.26	0.21	0.17	0.13	0.11	0.09	0.07	0.05	0.04	0.03
0.400	0.81	0.66	0.53	0.43	0.35	0.28	0.23	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07	0.05	0.04
0.425	0.82	0.67	0.55	0.45	0.37	0.31	0.25	0.21	0.17	0.14	0.11	0.09	0.08	0.06	0.05
0.450	0.83	0.69	0.57	0.47	0.39	0.33	0.27	0.22	0.19	0.15	0.13	0.11	0.09	0.07	0.06
0.475	0.84	0.70	0.59	0.49	0.41	0.35	0.29	0.24	0.20	0.17	0.14	0.12	0.10	0.08	0.07
0.500	0.85	0.71	0.60	0.51	0.43	0.36	0.31	0.26	0.22	0.19	0.16	0.13	0.11	0.10	0.08
0.525	0.85	0.73	0.62	0.53	0.45	0.38	0.33	0.28	0.24	0.20	0.17	0.15	0.12	0.11	0.09
0.550	0.86	0.74	0.63	0.54	0.47	0.40	0.34	0.29	0.25	0.22	0.19	0.16	0.14	0.12	0.10
0.575	0.86	0.75	0.65	0.56	0.48	0.42	0.36	0.31	0.27	0.23	0.20	0.17	0.15	0.13	0.11
0.600	0.87	0.76	0.66	0.57	0.50	0.43	0.38	0.33	0.28	0.25	0.21	0.19	0.16	0.14	0.12
0.625	0.87	0.76	0.67	0.58	0.51	0.45	0.39	0.34	0.30	0.26	0.23	0.20	0.17	0.15	0.13
0.650	0.88	0.77	0.68	0.60	0.52	0.46	0.40	0.36	0.31	0.27	0.24	0.21	0.19	0.16	0.14
0.675	0.88	0.78	0.69	0.61	0.54	0.47	0.42	0.37	0.33	0.29	0.25	0.22	0.20	0.18	0.15
0.700	0.89	0.79	0.70	0.62	0.55	0.49	0.43	0.38	0.34	0.30	0.27	0.24	0.21	0.19	0.17
0.725	0.89	0.79	0.71	0.63	0.56	0.50	0.44	0.40	0.35	0.31	0.28	0.25	0.22	0.20	0.18
0.750	0.89	0.80	0.71	0.64	0.57	0.51	0.46	0.41	0.36	0.33	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19
0.775	0.90	0.81	0.72	0.65	0.58	0.52	0.47	0.42	0.38	0.34	0.30	0.27	0.24	0.22	0.20
0.800	0.90	0.81	0.73	0.66	0.59	0.53	0.48	0.43	0.39	0.35	0.32	0.28	0.26	0.23	0.21
0.825	0.90	0.82	0.74	0.67	0.60	0.54	0.49	0.44	0.40	0.36	0.33	0.29	0.27	0.24	0.22
0.850	0.91	0.82	0.74	0.67	0.61	0.55	0.50	0.45	0.41	0.37	0.34	0.31	0.28	0.25	0.23
0.875	0.91	0.83	0.75	0.68	0.62	0.56	0.51	0.46	0.42	0.38	0.35	0.32	0.29	0.26	0.24
0.900	0.91	0.83	0.76	0.69	0.63	0.57	0.52	0.47	0.43	0.39	0.36	0.33	0.30	0.27	0.25
0.925	0.91	0.83	0.76	0.70	0.64	0.58	0.53	0.48	0.44	0.40	0.37	0.34	0.31	0.28	0.26
0.950	0.92	0.84	0.77	0.70	0.64	0.59	0.54	0.49	0.45	0.41	0.38	0.35	0.32	0.29	0.27
0.975	0.92	0.84	0.77	0.71	0.65	0.60	0.55	0.50	0.46	0.42	0.39	0.36	0.33	0.30	0.27
1.000	0.92	0.85	0.78	0.71	0.66	0.60	0.56	0.51	0.47	0.43	0.40	0.36	0.34	0.31	0.28

$E(SD) = E_0 \times K_E(SD)$
 Einheit E = Joule

Tafel 2.0: Restenergie bei Schussdistanz, 0 m.ü.M.

500 m.ü.M.	Schussdistanz [m]															
	BC	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
0.200	0.67	0.45	0.30	0.20	0.14	0.09	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
0.225	0.70	0.49	0.34	0.24	0.17	0.12	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
0.250	0.73	0.53	0.38	0.28	0.20	0.15	0.11	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
0.275	0.75	0.56	0.42	0.31	0.23	0.17	0.13	0.10	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01
0.300	0.77	0.59	0.45	0.34	0.26	0.20	0.15	0.12	0.09	0.07	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02
0.325	0.78	0.61	0.48	0.37	0.29	0.23	0.18	0.14	0.11	0.09	0.07	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02
0.350	0.80	0.63	0.50	0.40	0.32	0.25	0.20	0.16	0.13	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03
0.375	0.81	0.65	0.53	0.43	0.34	0.28	0.22	0.18	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04	0.04
0.400	0.82	0.67	0.55	0.45	0.37	0.30	0.25	0.20	0.17	0.14	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.05
0.425	0.83	0.69	0.57	0.47	0.39	0.32	0.27	0.22	0.18	0.15	0.13	0.10	0.09	0.07	0.06	0.06
0.450	0.84	0.70	0.59	0.49	0.41	0.34	0.29	0.24	0.20	0.17	0.14	0.12	0.10	0.08	0.07	0.07
0.475	0.84	0.71	0.60	0.51	0.43	0.36	0.31	0.26	0.22	0.19	0.16	0.13	0.11	0.09	0.08	0.08
0.500	0.85	0.73	0.62	0.53	0.45	0.38	0.33	0.28	0.24	0.20	0.17	0.15	0.12	0.11	0.09	0.09
0.525	0.86	0.74	0.63	0.54	0.47	0.40	0.34	0.30	0.25	0.22	0.19	0.16	0.14	0.12	0.10	0.10
0.550	0.86	0.75	0.65	0.56	0.48	0.42	0.36	0.31	0.27	0.23	0.20	0.17	0.15	0.13	0.11	0.11
0.575	0.87	0.76	0.66	0.57	0.50	0.43	0.38	0.33	0.29	0.25	0.22	0.19	0.16	0.14	0.12	0.12
0.600	0.88	0.77	0.67	0.59	0.51	0.45	0.39	0.34	0.30	0.26	0.23	0.20	0.18	0.15	0.14	0.14
0.625	0.88	0.77	0.68	0.60	0.53	0.46	0.41	0.36	0.32	0.28	0.24	0.22	0.19	0.17	0.15	0.15
0.650	0.88	0.78	0.69	0.61	0.54	0.48	0.42	0.37	0.33	0.29	0.26	0.23	0.20	0.18	0.16	0.16
0.675	0.89	0.79	0.70	0.62	0.55	0.49	0.44	0.39	0.34	0.31	0.27	0.24	0.21	0.19	0.17	0.17
0.700	0.89	0.80	0.71	0.63	0.56	0.50	0.45	0.40	0.36	0.32	0.28	0.25	0.23	0.20	0.18	0.18
0.725	0.90	0.80	0.72	0.64	0.58	0.52	0.46	0.41	0.37	0.33	0.30	0.27	0.24	0.21	0.19	0.19
0.750	0.90	0.81	0.73	0.65	0.59	0.53	0.47	0.43	0.38	0.34	0.31	0.28	0.25	0.22	0.20	0.20
0.775	0.90	0.81	0.73	0.66	0.60	0.54	0.49	0.44	0.39	0.36	0.32	0.29	0.26	0.24	0.21	0.21
0.800	0.90	0.82	0.74	0.67	0.61	0.55	0.50	0.45	0.41	0.37	0.33	0.30	0.27	0.25	0.22	0.22
0.825	0.91	0.82	0.75	0.68	0.62	0.56	0.51	0.46	0.42	0.38	0.34	0.31	0.28	0.26	0.23	0.23
0.850	0.91	0.83	0.75	0.69	0.62	0.57	0.52	0.47	0.43	0.39	0.36	0.32	0.29	0.27	0.24	0.24
0.875	0.91	0.83	0.76	0.69	0.63	0.58	0.53	0.48	0.44	0.40	0.37	0.33	0.30	0.28	0.25	0.25
0.900	0.91	0.84	0.77	0.70	0.64	0.59	0.54	0.49	0.45	0.41	0.38	0.34	0.31	0.29	0.26	0.26
0.925	0.92	0.84	0.77	0.71	0.65	0.60	0.55	0.50	0.46	0.42	0.39	0.35	0.32	0.30	0.27	0.27
0.950	0.92	0.84	0.78	0.71	0.66	0.60	0.55	0.51	0.47	0.43	0.40	0.36	0.33	0.31	0.28	0.28
0.975	0.92	0.85	0.78	0.72	0.66	0.61	0.56	0.52	0.48	0.44	0.41	0.37	0.34	0.32	0.29	0.29
1.000	0.92	0.85	0.79	0.73	0.67	0.62	0.57	0.53	0.49	0.45	0.41	0.38	0.35	0.33	0.30	0.30

$E(SD) = E_0 \times k_E(SD)$
 Einheit E = Joule

Tafel 2.500: Restenergie bei Schussdistanz, 500 m.ü.M.

1000 m.ü.M.	Schussdistanz [m]														
	BC	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
0.200	0.68	0.47	0.32	0.22	0.15	0.10	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00
0.225	0.71	0.51	0.36	0.26	0.18	0.13	0.09	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
0.250	0.74	0.54	0.40	0.30	0.22	0.16	0.12	0.09	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01
0.275	0.76	0.58	0.44	0.33	0.25	0.19	0.14	0.11	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02
0.300	0.78	0.60	0.47	0.36	0.28	0.22	0.17	0.13	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02
0.325	0.79	0.63	0.50	0.39	0.31	0.25	0.19	0.15	0.12	0.10	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03
0.350	0.80	0.65	0.52	0.42	0.34	0.27	0.22	0.18	0.14	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.04
0.375	0.82	0.67	0.54	0.44	0.36	0.30	0.24	0.20	0.16	0.13	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05
0.400	0.83	0.68	0.57	0.47	0.39	0.32	0.26	0.22	0.18	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06
0.425	0.84	0.70	0.58	0.49	0.41	0.34	0.29	0.24	0.20	0.17	0.14	0.12	0.10	0.08	0.07
0.450	0.84	0.71	0.60	0.51	0.43	0.36	0.31	0.26	0.22	0.18	0.16	0.13	0.11	0.09	0.08
0.475	0.85	0.73	0.62	0.53	0.45	0.38	0.33	0.28	0.24	0.20	0.17	0.15	0.12	0.11	0.09
0.500	0.86	0.74	0.63	0.54	0.47	0.40	0.35	0.30	0.25	0.22	0.19	0.16	0.14	0.12	0.10
0.525	0.87	0.75	0.65	0.56	0.48	0.42	0.36	0.31	0.27	0.24	0.20	0.18	0.15	0.13	0.11
0.550	0.87	0.76	0.66	0.58	0.50	0.44	0.38	0.33	0.29	0.25	0.22	0.19	0.17	0.14	0.13
0.575	0.88	0.77	0.67	0.59	0.52	0.45	0.40	0.35	0.30	0.27	0.23	0.20	0.18	0.16	0.14
0.600	0.88	0.78	0.68	0.60	0.53	0.47	0.41	0.36	0.32	0.28	0.25	0.22	0.19	0.17	0.15
0.625	0.89	0.78	0.69	0.61	0.54	0.48	0.43	0.38	0.33	0.30	0.26	0.23	0.21	0.18	0.16
0.650	0.89	0.79	0.70	0.63	0.56	0.50	0.44	0.39	0.35	0.31	0.28	0.25	0.22	0.19	0.17
0.675	0.89	0.80	0.71	0.64	0.57	0.51	0.45	0.41	0.36	0.32	0.29	0.26	0.23	0.21	0.18
0.700	0.90	0.80	0.72	0.65	0.58	0.52	0.47	0.42	0.38	0.34	0.30	0.27	0.24	0.22	0.20
0.725	0.90	0.81	0.73	0.66	0.59	0.53	0.48	0.43	0.39	0.35	0.32	0.28	0.26	0.23	0.21
0.750	0.90	0.82	0.74	0.67	0.60	0.54	0.49	0.44	0.40	0.36	0.33	0.30	0.27	0.24	0.22
0.775	0.91	0.82	0.75	0.68	0.61	0.56	0.50	0.46	0.41	0.38	0.34	0.31	0.28	0.25	0.23
0.800	0.91	0.83	0.75	0.68	0.62	0.57	0.51	0.47	0.43	0.39	0.35	0.32	0.29	0.26	0.24
0.825	0.91	0.83	0.76	0.69	0.63	0.58	0.52	0.48	0.44	0.40	0.36	0.33	0.30	0.28	0.25
0.850	0.91	0.84	0.76	0.70	0.64	0.58	0.53	0.49	0.45	0.41	0.37	0.34	0.31	0.29	0.26
0.875	0.92	0.84	0.77	0.71	0.65	0.59	0.54	0.50	0.46	0.42	0.38	0.35	0.32	0.30	0.27
0.900	0.92	0.84	0.78	0.71	0.66	0.60	0.55	0.51	0.47	0.43	0.39	0.36	0.33	0.31	0.28
0.925	0.92	0.85	0.78	0.72	0.66	0.61	0.56	0.52	0.48	0.44	0.41	0.37	0.34	0.32	0.29
0.950	0.92	0.85	0.79	0.73	0.67	0.62	0.57	0.53	0.49	0.45	0.41	0.38	0.35	0.33	0.30
0.975	0.93	0.86	0.79	0.73	0.68	0.63	0.58	0.54	0.50	0.46	0.42	0.39	0.36	0.34	0.31
1.000	0.93	0.86	0.80	0.74	0.68	0.63	0.59	0.54	0.50	0.47	0.43	0.40	0.37	0.35	0.32

$E(SD) = E_0 \times k_E(SD)$
 Einheit E = Joule

Tafel 2.1000: Restenergie bei Schussdistanz, 1000 m.ü.M.

1500 m.ü.M.	Schussdistanz [m]															
	BC	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
0.200	0.70	0.49	0.34	0.24	0.17	0.12	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
0.225	0.73	0.53	0.38	0.28	0.20	0.15	0.11	0.08	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
0.250	0.75	0.56	0.42	0.32	0.24	0.18	0.13	0.10	0.07	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01
0.275	0.77	0.59	0.46	0.35	0.27	0.21	0.16	0.12	0.09	0.07	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02
0.300	0.79	0.62	0.49	0.38	0.30	0.24	0.19	0.15	0.12	0.09	0.07	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03
0.325	0.80	0.64	0.51	0.41	0.33	0.26	0.21	0.17	0.14	0.11	0.09	0.07	0.06	0.04	0.04	0.04
0.350	0.81	0.66	0.54	0.44	0.36	0.29	0.24	0.19	0.16	0.13	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05
0.375	0.83	0.68	0.56	0.46	0.38	0.32	0.26	0.22	0.18	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06	0.06
0.400	0.84	0.70	0.58	0.49	0.41	0.34	0.28	0.24	0.20	0.17	0.14	0.12	0.10	0.08	0.07	0.07
0.425	0.84	0.71	0.60	0.51	0.43	0.36	0.31	0.26	0.22	0.18	0.16	0.13	0.11	0.09	0.08	0.08
0.450	0.85	0.73	0.62	0.53	0.45	0.38	0.33	0.28	0.24	0.20	0.17	0.15	0.12	0.11	0.09	0.09
0.475	0.86	0.74	0.63	0.55	0.47	0.40	0.35	0.30	0.26	0.22	0.19	0.16	0.14	0.12	0.10	0.10
0.500	0.87	0.75	0.65	0.56	0.49	0.42	0.36	0.32	0.27	0.24	0.21	0.18	0.15	0.13	0.12	0.12
0.525	0.87	0.76	0.66	0.58	0.50	0.44	0.38	0.33	0.29	0.25	0.22	0.19	0.17	0.15	0.13	0.13
0.550	0.88	0.77	0.68	0.59	0.52	0.46	0.40	0.35	0.31	0.27	0.24	0.21	0.18	0.16	0.14	0.14
0.575	0.88	0.78	0.69	0.61	0.53	0.47	0.42	0.37	0.32	0.29	0.25	0.22	0.20	0.17	0.15	0.15
0.600	0.89	0.79	0.70	0.62	0.55	0.49	0.43	0.38	0.34	0.30	0.27	0.24	0.21	0.19	0.17	0.17
0.625	0.89	0.79	0.71	0.63	0.56	0.50	0.45	0.40	0.35	0.32	0.28	0.25	0.22	0.20	0.18	0.18
0.650	0.90	0.80	0.72	0.64	0.57	0.51	0.46	0.41	0.37	0.33	0.30	0.26	0.24	0.21	0.19	0.19
0.675	0.90	0.81	0.73	0.65	0.59	0.53	0.47	0.43	0.38	0.34	0.31	0.28	0.25	0.22	0.20	0.20
0.700	0.90	0.81	0.73	0.66	0.60	0.54	0.49	0.44	0.40	0.36	0.32	0.29	0.26	0.24	0.21	0.21
0.725	0.91	0.82	0.74	0.67	0.61	0.55	0.50	0.45	0.41	0.37	0.34	0.30	0.27	0.25	0.23	0.23
0.750	0.91	0.83	0.75	0.68	0.62	0.56	0.51	0.46	0.42	0.38	0.35	0.32	0.29	0.26	0.24	0.24
0.775	0.91	0.83	0.76	0.69	0.63	0.57	0.52	0.48	0.43	0.39	0.36	0.33	0.30	0.27	0.25	0.25
0.800	0.91	0.84	0.76	0.70	0.64	0.58	0.53	0.49	0.44	0.41	0.37	0.34	0.31	0.28	0.26	0.26
0.825	0.92	0.84	0.77	0.71	0.65	0.59	0.54	0.50	0.46	0.42	0.38	0.35	0.32	0.29	0.27	0.27
0.850	0.92	0.84	0.78	0.71	0.65	0.60	0.55	0.51	0.47	0.43	0.39	0.36	0.33	0.31	0.28	0.28
0.875	0.92	0.85	0.78	0.72	0.66	0.61	0.56	0.52	0.48	0.44	0.40	0.37	0.34	0.32	0.29	0.29
0.900	0.92	0.85	0.79	0.73	0.67	0.62	0.57	0.53	0.49	0.45	0.41	0.38	0.35	0.33	0.30	0.30
0.925	0.93	0.86	0.79	0.73	0.68	0.63	0.58	0.54	0.50	0.46	0.42	0.39	0.36	0.34	0.31	0.31
0.950	0.93	0.86	0.80	0.74	0.68	0.63	0.59	0.55	0.51	0.47	0.43	0.40	0.37	0.35	0.32	0.32
0.975	0.93	0.86	0.80	0.74	0.69	0.64	0.60	0.55	0.51	0.48	0.44	0.41	0.38	0.36	0.33	0.33
1.000	0.93	0.87	0.81	0.75	0.70	0.65	0.60	0.56	0.52	0.49	0.45	0.42	0.39	0.36	0.34	0.34

$E(SD) = E_0 \times k_E(SD)$
 Einheit E = Joule

Tafel 2.1500: Restenergie bei Schussdistanz, 1500 m.ü.M.

3. Flugbahn und Visierlinie

Manche Zielfernrohre bieten den Komfort, die Visiereinstellung zu verschiedenen Schussdistanzen gleich eingraviert zu zeigen (s. Bild 1), was allerdings nur bei Verwendung von Standard-Komponenten einigermaßen stimmt; mit Tafeln 3 kann ein Schütze Schusswinkel und daraus individuelle Visierkorrekturen berechnen. Mit den Schusswinkeln kann er ausserdem zugeordnete Kurzdistanzen abschätzen, welche nützlich sind für Kontrollschüsse oder zum Ausrichten des Zielfernrohrs bei der Montage.

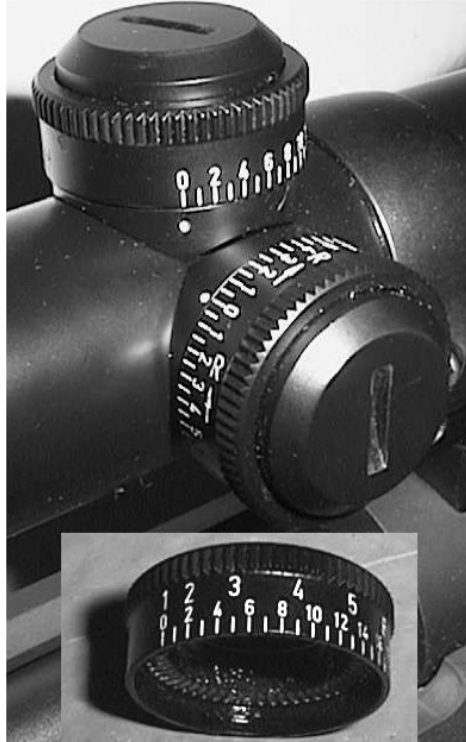


Bild 1

Im Umgang mit Gewehren hat man es mit sehr kleinen Winkeln zu tun, welche man entweder in Bogenminuten MOA (minute of angle) oder in Promille bzw. mrad (Bogenmass, 1/1000 rad) misst. Die MOA ist 1/60 des bekannten Winkelgrades (360 Winkelgrad ergeben einen Vollkreis), das Promille ist das Verhältnis von Gegenkathete G in Millimeter zu Ankathete g in Meter (Bild 2). Tafeln 3 liefern die Schusswinkel in Promille, die verschiedenen Einheiten lassen sich jedoch für so kleine Winkel einfach umrechnen (Tabelle unten).

[MOA]	[Promille]	cm auf 100m
1	0.29	2.91
2	0.58	5.81
3	0.87	8.72
5	1.45	14.54
10	2.91	29.07
60	17.45	174.46
600	176.24	1762.36
1800	577.00	5769.96

Tabelle: Vergleich von Winkeleinheiten

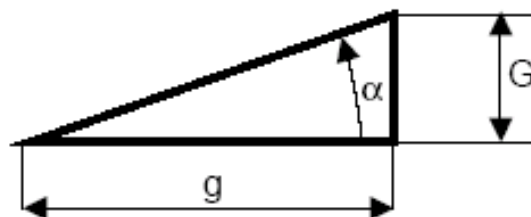


Bild 2

Bild 3 zeigt die Standard-Situation eines „waagerechten Fleckschusses“. Die Bezugslinie (x-Achse) ist die Waagerechte durch die Mündung, die Mündungslinie. Das Ziel befinde sich ebenfalls auf dieser Mündungslinie und die Gerade vom Ziel durch das Visier ins Auge des Schützen heisse Visierlinie. Der zweite Schnittpunkt der geraden Visierlinie mit der krummen Flugbahn liege genau im Ziel.

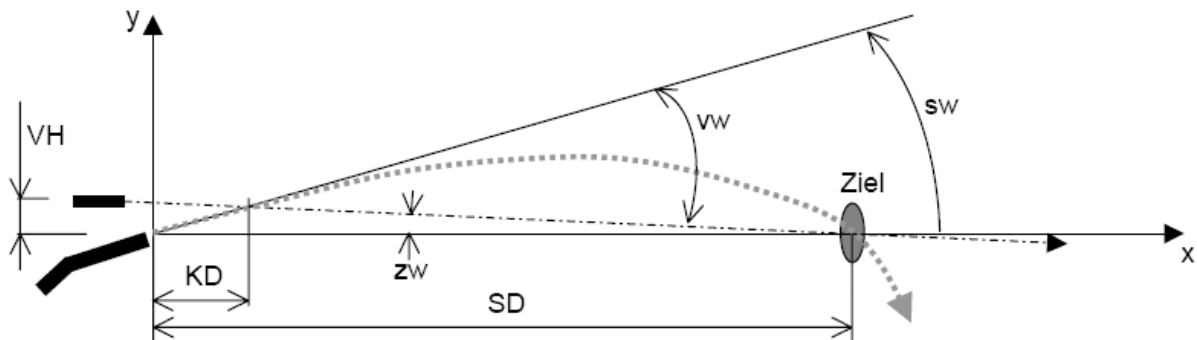


Bild 3

Die eingezeichneten Größen bedeuten:

VH die Höhe des Visiers über der Mündungslinie;

KD den ersten Schnittpunkt der Visierlinie mit der Flugbahn (Kurzdistanz);

SD die Schussdistanz, also den zweiten Schnittpunkt von Flugbahn und Visierlinie;

sw den Winkel zwischen Laufseele und Mündungslinie, genannt Schusswinkel;

zw den Zielwinkel, d.h. den Winkel zwischen der Visierlinie und der Mündungslinie;

vw den Winkel zwischen der Laufseele und der Visierlinie, genannt Visierwinkel.

Der Zielwinkel berechnet sich gemäss $zw[\text{Promille}] = VH[\text{mm}] / SD[\text{m}]$.

Der Visierwinkel ist die Summe von zw und sw, also $vw[\text{Promille}] = zw[\text{Promille}] + sw[\text{Promille}]$.

Die gesuchte Visierkorrektur zu einer Distanz SD ist dann nichts anderes als die Änderung des Visierwinkels zum Visierwinkel der Einschussdistanz (s. Beispiel 1).

Für eine möglichst einfache Berechnung der Kurzdistanz ermittelt man aus der Flugbahn im Vakuum $KD[\text{m}] = VH[\text{mm}] / sw[\text{Promille}]$.

In den folgenden zwei Anwendungsbeispielen geht es beide Mal um eine Büchse im Kal. .308 Winchester, welche Geschosse mit einem BC von 0.525 (Sierra Matchking HPBT 12.3 g) und einer Mündungsgeschwindigkeit v_0 von 750 m/s verschießt.

Beispiel 1: Die erwähnte Büchse soll auf Distanzen bis 1000 m eingesetzt werden, zum Einschieszen steht jedoch nur ein Jagdschiesstands von 150 m zur Verfügung. Der Büchsenmacher muss das Zielfernrohr so montieren, dass dem Schützen der ganze Verstellbereich zur Verfügung steht. Er berechnet zuerst mit Tafel 3.500 den Schusswinkel auf 150 m: $sw(150 \text{ m}) = 1000 \times 803 / 750 / 750 = 1.43 \text{ Promille}$. Dann misst er die Visierhöhe von der Seele des Laues bis zur Seele des Zielfernrohres $VH = 50 \text{ mm}$. Daraus berechnet er die Kurzdistanz $KD(150 \text{ m}) = 50 / 1.43 = 35 \text{ m}$. Der Büchsenmacher spannt nun das Gewehr in einen Schraubstock und richtet es mit einem Blick durch den Lauf nach einem Bezugspunkt in gut 30 m Distanz aus. Dann dreht er die Höhenverstellung des Zielfernrohres in die unterste Position (mit etwas Reserve) und setzt es provisorisch auf das Gewehr. Nun verändert er die Montage, bis das Fadenkreuz auf denselben Bezugspunkt zeigt wie die Laufseele und fertig: Das Zielfernrohr ist jetzt so montiert, dass der Schütze die Büchse auf 150 m einschieszen kann und nach oben noch den ganzen Verstellbereich für Schüsse bis 1000 m nutzen kann.

Beispiel 2: Der Schütze hat sein Gewehr auf 150 m eingeschossen, was dank der Vorarbeit des Büchsenmachers keinen Aufwand bereitete. Nun will er wissen, wieviel er das Visier

korrigieren muss, um auf 1000 m zu treffen. Er rechnet mit $Tafel\ 3.500\ sw(1000\ m) = 1000 \times 8769 / 750 / 750 = 15.59$ Promille, dann den Zielwinkel $zw(1000\ m) = 50 / 1000 = 0.05$ Promille und schliesslich den Visierwinkel $vw(1000\ m) = 15.59 + 0.05 = 15.64$ Promille. Die Visierkorrektur von 150 m auf 1000 m ist nun nichts anderes als die Differenz der Visierwinkel, also $vw(1000\ m) - vw(150\ m) = 15.64 - 1.76 = 13.88$ Promille. Nun sind leider viele Zielfernrohre für MOA graviert, nicht für Promille. Nach Tabelle oben ist 1 MOA = 0.29 Promille und folglich $13.88\ Promille = 48MOA$. Mit dieser Methode kann der Schütze sich eine vollständige Visierkorrektur-Tabelle zu allen Distanzen erstellen und er kann auch vor dem Kauf eines Zielfernrohres bereits festlegen, welchen Verstellbereich es mindestens abdecken muss.

0 m.ü.M.	Schussdistanz [m]												
BC	100	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
0.200	576	935	1351	2378	3721	5458	7686	10523	14113	18632	24295	31361	40148
0.225	565	911	1304	2255	3465	4994	6909	9292	12242	15877	20338	25791	32435
0.250	557	891	1267	2160	3274	4651	6343	8411	10926	13970	17642	22056	27346
0.275	551	876	1238	2086	3125	4388	5916	7753	9954	12581	15704	19406	23782
0.300	546	863	1214	2026	3006	4181	5581	7245	9211	11529	14252	17442	21170
0.325	541	853	1195	1977	2909	4013	5313	6840	8626	10709	13130	15937	19185
0.350	537	844	1178	1936	2828	3874	5094	6512	8154	10052	12238	14751	17632
0.375	534	836	1164	1901	2760	3758	4911	6240	7766	9515	11514	13794	16388
0.400	531	830	1151	1871	2702	3659	4756	6011	7442	9069	10916	13008	15372
0.425	529	824	1140	1844	2652	3574	4624	5816	7167	8693	10414	12352	14528
0.450	527	819	1131	1821	2608	3500	4509	5648	6931	8372	9988	11796	13817
0.475	525	814	1122	1801	2569	3435	4409	5502	6727	8095	9621	11321	13210
0.500	523	810	1115	1783	2534	3377	4321	5374	6548	7853	9302	10909	12687
0.525	521	806	1108	1767	2504	3326	4242	5261	6390	7641	9023	10549	12231
0.550	520	803	1102	1752	2476	3281	4173	5160	6250	7452	8776	10232	11831
0.575	519	800	1096	1739	2451	3239	4110	5069	6125	7285	8557	9952	11478
0.600	517	797	1091	1727	2429	3202	4053	4987	6012	7134	8361	9701	11163
0.625	516	794	1087	1716	2408	3168	4001	4913	5910	6998	8185	9476	10881
0.650	515	792	1083	1706	2389	3137	3954	4846	5818	6876	8025	9273	10626
0.675	514	790	1079	1696	2372	3109	3911	4785	5734	6764	7880	9089	10396
0.700	513	788	1075	1688	2356	3082	3872	4728	5657	6661	7748	8921	10187
0.725	513	786	1072	1680	2341	3058	3835	4676	5586	6568	7627	8768	9996
0.750	512	784	1068	1672	2327	3036	3802	4629	5520	6481	7515	8627	9822
0.775	511	783	1065	1666	2314	3015	3770	4584	5460	6401	7412	8497	9661
0.800	511	781	1063	1659	2302	2995	3741	4543	5404	6327	7317	8378	9512
0.825	510	780	1060	1653	2291	2977	3714	4505	5352	6259	7229	8267	9375
0.850	509	778	1058	1647	2281	2960	3689	4469	5303	6195	7147	8164	9247
0.875	509	777	1055	1642	2271	2945	3665	4435	5258	6135	7071	8068	9129
0.900	508	776	1053	1637	2262	2930	3643	4404	5215	6079	6999	7978	9018
0.925	508	775	1051	1632	2253	2916	3622	4374	5175	6027	6932	7894	8915
0.950	507	774	1049	1628	2245	2902	3602	4346	5138	5978	6870	7815	8818
0.975	507	773	1048	1624	2237	2890	3584	4320	5102	5932	6810	7741	8727
1.000	506	772	1046	1620	2230	2878	3566	4296	5069	5888	6755	7672	8642

$sw(SD) = 1000 \times k_{sw}(SD) / v_0^2$
 Einheit sw = Promille

Tafel 3.0: Schusswinkel zu Fleckschussdistanz, 0 m.ü.M.
 Gültigkeit für Schusswinkel bis max. 20Promille.

500 m.ü.M. BC	Schussdistanz [m]												
	100	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
0.200	571	925	1331	2325	3611	5257	7348	9985	13291	17416	22539	28878	36693
0.225	562	902	1287	2210	3374	4830	6638	8868	11606	14953	19026	23967	29941
0.250	554	883	1252	2122	3196	4514	6119	8065	10414	13235	16614	20647	25446
0.275	548	869	1225	2052	3058	4270	5725	7463	9529	11978	14870	18276	22275
0.300	543	857	1202	1996	2947	4077	5416	6995	8850	11022	13557	16509	19937
0.325	539	847	1184	1950	2856	3921	5168	6623	8314	10273	12537	15148	18151
0.350	535	838	1168	1911	2780	3792	4964	6319	7879	9671	11725	14071	16748
0.375	532	831	1154	1878	2716	3683	4794	6067	7522	9179	11063	13200	15620
0.400	529	825	1143	1850	2662	3591	4650	5855	7222	8768	10514	12482	14696
0.425	527	819	1132	1825	2614	3511	4527	5674	6967	8421	10053	11881	13926
0.450	525	814	1123	1803	2573	3442	4420	5518	6749	8125	9660	11372	13275
0.475	523	810	1115	1784	2537	3381	4326	5382	6559	7868	9322	10934	12719
0.500	521	806	1108	1767	2504	3327	4244	5262	6392	7644	9027	10555	12238
0.525	520	803	1102	1752	2475	3279	4170	5156	6246	7447	8769	10223	11819
0.550	518	800	1096	1738	2449	3236	4105	5062	6115	7272	8540	9930	11450
0.575	517	797	1091	1725	2426	3197	4046	4977	5998	7116	8337	9670	11124
0.600	516	794	1086	1714	2404	3162	3993	4901	5893	6975	8155	9438	10833
0.625	515	792	1082	1703	2385	3130	3944	4832	5798	6849	7991	9229	10572
0.650	514	789	1078	1694	2367	3101	3900	4769	5712	6734	7842	9041	10336
0.675	513	787	1074	1685	2351	3074	3860	4711	5633	6630	7707	8869	10123
0.700	512	785	1070	1677	2336	3049	3822	4658	5560	6534	7583	8713	9929
0.725	512	784	1067	1669	2322	3027	3788	4609	5494	6446	7470	8570	9751
0.750	511	782	1064	1662	2309	3005	3756	4564	5433	6366	7366	8439	9589
0.775	510	780	1061	1656	2296	2986	3727	4522	5376	6291	7270	8318	9439
0.800	510	779	1059	1650	2285	2968	3699	4484	5323	6222	7181	8207	9301
0.825	509	778	1056	1644	2275	2950	3674	4448	5274	6157	7099	8103	9173
0.850	508	776	1054	1639	2265	2934	3650	4414	5229	6097	7022	8007	9054
0.875	508	775	1052	1634	2256	2919	3628	4382	5186	6041	6951	7917	8943
0.900	507	774	1050	1629	2247	2905	3607	4353	5146	5989	6884	7833	8840
0.925	507	773	1048	1625	2239	2892	3587	4325	5108	5940	6821	7754	8743
0.950	507	772	1046	1620	2231	2880	3568	4299	5073	5893	6762	7681	8652
0.975	506	771	1044	1616	2224	2868	3551	4274	5040	5850	6706	7612	8567
1.000	506	770	1043	1612	2217	2857	3534	4251	5008	5809	6654	7546	8487

$sw(SD) = 1000 \times k_{sw}(SD) / v_0^2$
 Einheit sw = Promille

Tafel 3.500: Schusswinkel zu Fleckschussdistanz, 500 m.ü.M.
 Gültigkeit für Schusswinkel bis max. 20Promille.

M. Tschannen: Ballistik für den Feldgebrauch

1000 m.ü.M.	Schussdistanz [m]												
BC	100	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
0.200	567	915	1311	2273	3504	5064	7025	9474	12517	16279	20911	26591	33535
0.225	558	893	1269	2166	3286	4672	6377	8464	11004	14082	17799	22272	27639
0.250	551	876	1237	2084	3120	4380	5903	7734	9926	12540	15647	19328	23679
0.275	545	862	1211	2019	2992	4155	5541	7183	9123	11404	14081	17211	20864
0.300	540	851	1190	1967	2888	3977	5256	6755	8503	10537	12896	15625	18776
0.325	536	841	1173	1923	2804	3832	5027	6412	8012	9855	11972	14398	17173
0.350	533	833	1158	1887	2733	3711	4838	6132	7614	9306	11233	13423	15909
0.375	530	826	1145	1856	2673	3610	4681	5900	7285	8854	10629	12632	14888
0.400	527	820	1134	1829	2622	3524	4547	5704	7008	8477	10128	11978	14049
0.425	525	815	1124	1806	2578	3450	4432	5536	6773	8158	9705	11429	13348
0.450	523	810	1116	1785	2539	3385	4332	5391	6571	7884	9344	10962	12755
0.475	521	806	1108	1767	2505	3328	4245	5264	6395	7647	9032	10561	12246
0.500	520	803	1102	1751	2474	3278	4168	5153	6241	7440	8761	10212	11806
0.525	518	799	1096	1737	2447	3233	4099	5054	6104	7258	8522	9906	11421
0.550	517	796	1090	1724	2423	3192	4038	4966	5983	7095	8311	9637	11082
0.575	516	794	1085	1712	2401	3156	3983	4887	5874	6950	8122	9397	10781
0.600	515	791	1081	1701	2380	3123	3933	4816	5776	6820	7953	9182	10513
0.625	514	789	1076	1691	2362	3093	3888	4751	5688	6703	7801	8989	10272
0.650	513	787	1073	1682	2345	3065	3846	4692	5607	6596	7663	8814	10054
0.675	512	785	1069	1674	2330	3040	3808	4638	5533	6498	7537	8655	9857
0.700	511	783	1066	1666	2316	3017	3773	4589	5466	6409	7423	8510	9677
0.725	511	781	1063	1659	2302	2995	3741	4543	5404	6327	7317	8378	9512
0.750	510	780	1060	1652	2290	2976	3711	4501	5347	6252	7220	8256	9361
0.775	509	778	1057	1646	2279	2957	3684	4462	5293	6182	7131	8143	9222
0.800	509	777	1055	1641	2268	2940	3658	4425	5244	6117	7048	8039	9094
0.825	508	776	1052	1635	2258	2924	3634	4391	5198	6057	6971	7943	8975
0.850	508	774	1050	1630	2249	2909	3612	4360	5155	6001	6899	7853	8864
0.875	507	773	1048	1625	2240	2895	3590	4330	5115	5949	6832	7769	8761
0.900	507	772	1046	1621	2232	2881	3571	4302	5078	5900	6770	7691	8665
0.925	506	771	1044	1617	2224	2869	3552	4276	5043	5854	6711	7617	8575
0.950	506	770	1043	1613	2217	2857	3535	4251	5009	5810	6656	7549	8490
0.975	505	769	1041	1609	2210	2846	3518	4228	4978	5770	6604	7484	8411
1.000	505	768	1040	1605	2203	2835	3502	4206	4949	5731	6555	7423	8336

$sw(SD) = 1000 \times k_{sw}(SD) / v_0^2$
 Einheit sw = Promille

Tafel 3.1000: Schusswinkel zu Fleckschussdistanz, 1000 m.ü.M.
 Gültigkeit für Schusswinkel bis max. 20Promille.

M. Tschannen: Ballistik für den Feldgebrauch

1500 m.ü.M.	Schussdistanz [m]												
BC	100	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
0.200	563	904	1292	2223	3401	4877	6716	8990	11788	15217	19400	24485	30648
0.225	554	884	1253	2123	3199	4519	6127	8078	10432	13262	16651	20697	25514
0.250	548	868	1222	2047	3046	4251	5694	7416	9460	11880	14735	18094	22034
0.275	542	855	1198	1986	2927	4043	5362	6914	8733	10858	13333	16209	19542
0.300	538	844	1178	1937	2831	3878	5101	6522	8170	10073	12267	14789	17683
0.325	534	835	1162	1897	2752	3744	4890	6208	7722	9454	11432	13685	16248
0.350	531	828	1148	1863	2687	3633	4716	5951	7357	8953	10761	12805	15111
0.375	528	821	1136	1834	2631	3539	4570	5737	7055	8541	10212	12088	14191
0.400	525	816	1126	1809	2583	3459	4446	5556	6801	8196	9755	11494	13431
0.425	523	811	1117	1787	2542	3389	4339	5401	6585	7903	9368	10994	12795
0.450	521	806	1109	1768	2505	3329	4247	5266	6398	7651	9037	10568	12255
0.475	520	803	1101	1751	2473	3276	4165	5149	6236	7433	8751	10200	11791
0.500	518	799	1095	1735	2445	3229	4094	5046	6093	7242	8502	9881	11388
0.525	517	796	1089	1722	2419	3187	4030	4954	5966	7073	8282	9600	11036
0.550	516	793	1084	1710	2396	3149	3973	4872	5854	6923	8087	9352	10725
0.575	515	790	1079	1699	2376	3115	3921	4799	5753	6789	7913	9131	10449
0.600	514	788	1075	1688	2357	3084	3875	4732	5662	6668	7757	8933	10202
0.625	513	786	1071	1679	2340	3056	3832	4672	5580	6559	7616	8754	9980
0.650	512	784	1068	1671	2324	3030	3793	4617	5505	6460	7488	8593	9779
0.675	511	782	1064	1663	2309	3007	3758	4567	5436	6370	7372	8446	9597
0.700	510	780	1061	1656	2296	2985	3725	4520	5373	6287	7265	8312	9431
0.725	509	779	1058	1649	2283	2965	3695	4478	5315	6211	7168	8189	9279
0.750	509	777	1056	1643	2272	2946	3667	4438	5262	6140	7078	8076	9139
0.775	508	776	1053	1637	2261	2929	3641	4402	5212	6075	6994	7972	9010
0.800	508	775	1051	1631	2251	2912	3617	4368	5166	6015	6917	7875	8891
0.825	507	773	1049	1626	2242	2897	3595	4336	5123	5959	6845	7785	8781
0.850	507	772	1047	1621	2233	2883	3574	4306	5083	5907	6779	7702	8678
0.875	506	771	1045	1617	2225	2870	3554	4278	5046	5858	6716	7624	8582
0.900	506	770	1043	1613	2217	2857	3535	4252	5011	5812	6658	7551	8493
0.925	505	769	1041	1609	2210	2846	3518	4228	4978	5769	6603	7483	8409
0.950	505	768	1039	1605	2203	2834	3501	4205	4947	5728	6552	7419	8331
0.975	505	768	1038	1601	2196	2824	3486	4183	4917	5690	6503	7358	8257
1.000	504	767	1036	1598	2190	2814	3471	4162	4890	5654	6458	7301	8187

$sw(SD) = 1000 \times k_{sw}(SD) / v_0^2$
 Einheit sw = Promille

Tafel 3.1500: Schusswinkel zu Fleckschussdistanz, 1500 m.ü.M.
 Gültigkeit für Schusswinkel bis max. 20Promille.

4. Die Flugzeit

Im Vakuum wäre die Flugzeit eines Geschosses $T_{\text{Vakuum}} = SD / v_0$ (also Schussdistanz geteilt durch Mündungsgeschwindigkeit). Im luftgefüllten Raum bremst der Luftwiderstand das Geschoss, weshalb die Flugzeit grösser wird als im Vakuum. Diese wirklichen Flugzeiten T kann man mit Tafeln 4 berechnen; wissen muss man dazu nur den ballistischen Koeffizienten BC und die Mündungsgeschwindigkeit v_0 seines Geschosses. Bemerkenswert: Die Zahlenwerte k_T in den Tafeln haben die Bedeutung einer „Vakuum-Äquivalenz-Distanz“, also der Distanz, welche das Geschoss in derselben Zeit T im luftleeren Raum zurücklegen würde! Normalerweise beträgt die Flugzeit des Geschosses bis ins Ziel deutlich weniger als eine Sekunde – inwiefern ist dies für die Praxis überhaupt von Bedeutung?

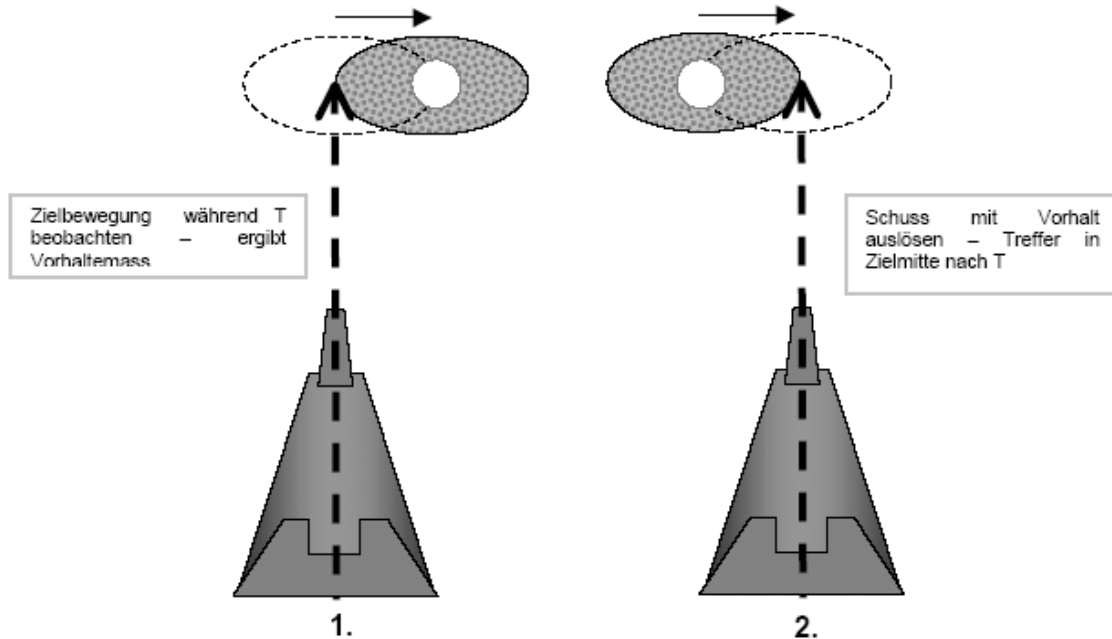


Bild 1

Wenn ein Schütze auf ein bewegtes Ziel schießen will, muss er sich fragen, ob seine Kugel noch rechtzeitig ankommt, um es zu treffen – die Flugzeit entscheidet hier über Treffer oder Fehlschuss. Deshalb berechnet er als Einsatzvorbereitung aus Tafel 4 die Flugzeiten seiner Kugel auf verschiedene Distanzen und notiert sie auf seine Visierkorrektur-Tabelle. Wenn er dann zum Schuss kommt, kann er normalerweise nicht mit einer Stoppuhr arbeiten, weshalb er lernen muss, im Sekundentakt auf vier oder fünf zu zählen. So kann er dann im Anschlag die Flugzeit für die gemessene (oder geschätzte) Schussdistanz auf die Viertel- bzw. Fünftel-Sekunde genau abzählen und beurteilen, ob er schießen will und wie er zielen muss.

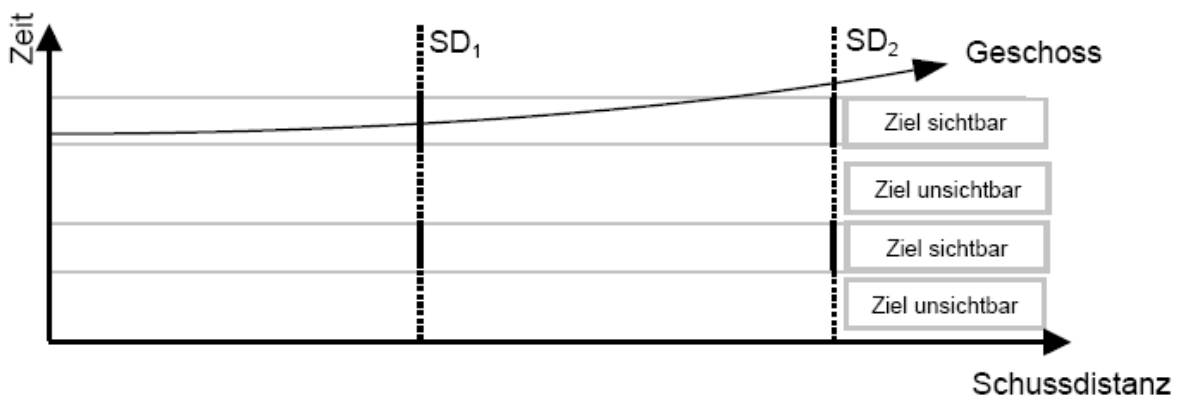


Bild 2

Man unterscheidet zwei Arten von bewegten Zielen: Das laufende Ziel (Bild 1) und das Intervall-Ziel (Bild 2). Das laufende Ziel ist beständig sichtbar, jedoch auch beständig in Bewegung, und der Schütze muss dorthin schießen, wo das Ziel sich nach Ablauf einer Flugzeit T befinden wird; man nennt dies „Vorhalten“. Das Vorhaltemass wird umso grösser, je langsamer das Geschoss, je schneller das Ziel und je weiter entfernt das Ziel ist. Jagdlich bezieht man das Vorhaltemass gerne auf die Zielausdehnung, also z.B. „halbe Länge vor“. Vorhaltemasse, die grösser sind als eine ganze Zielausdehnung, lassen sich praktisch kaum noch anwenden; Zielfernrohr-Absehen mit Hilfsmarken auf der Waagerechten erweisen sich da als hilfreich (z.B. Mildot-Absehen Bild 3).

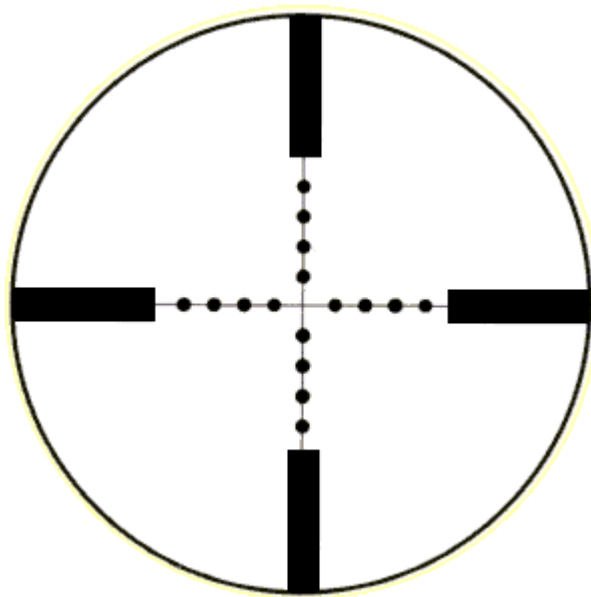


Bild 3

Im Gegensatz zum laufenden Ziel verweilt zwar das Intervall-Ziel an seinem Ort, ist aber nur jeweils kurzzeitig sichtbar; der Schütze kann direkt auf das Ziel halten, muss aber prüfen, ob die Kugel ankommt, bevor das Ziel wieder verdeckt ist. Er muss versuchen, im Auf-und-Ab des Zieles ein Muster zu erkennen und beurteilen, ob es überhaupt je lange genug sichtbar (treffbar) ist, um mit Rücksicht auf die Flugzeit einen Treffer erzielen zu können. Bild 2 zeigt eine Situation, in welcher ein Ziel auf die Distanz SD_1 noch getroffen würde, dasselbe Ziel weiter entfernt auf SD_2 jedoch verfehlt.

Schüsse auf bewegte Ziele gehören zu den schwierigsten Aufgaben für einen Schützen, weshalb man sie meist zu vermeiden sucht und einen Augenblick abwartet, in welchem das Ziel ruht. Falls jedoch gerade solche Schüsse sehr wahrscheinlich erscheinen, wählt man mit Vorteil ein besonders rasantes Kaliber: Je schneller die Kugel, umso kürzer die Flugzeit und umso weniger muss sich der Schütze Gedanken über diese Problematik machen. Umgekehrt machen obige Überlegungen deutlich, dass die altbewährten Taktiken des Haken-Schlagens und Von-Deckung-zu-Deckung-Rennens auch gegen moderne Präzisions-Gewehre noch wirksam Schutz bieten.

Anwendungsbeispiel 1 zu Tafeln 4: Ein Jäger entdeckt einen Kojoten, der in ca. 200 m Entfernung über die Prärie tragt. Seine Büchse hat das Kaliber .243 Winchester und verschießt Geschosse mit einem BC von 0.525 und einer v_0 von 920 m/s. Der Jäger hat sich gut vorbereitet und mit Tafel 4.500 für verschiedene Schussdistanzen die Flugzeiten errechnet. Für 200 m hat er gerechnet $T(200 \text{ m}) = 217 / 920 = 0.24 \text{ s}$, also eine Viertelsekunde. Währenddem der Jäger durch sein Zielfernrohr den Kojoten beobachtet, zählt er im Geiste „1 2 3 4 1 2 3 4 ...“ und stellt fest, dass der Kojote in einer Viertelsekunde seine eigene Körperlänge zurücklegt. Der Jäger hält also eine ganze Körperlänge vor, drückt ab und trifft.

Anwendungsbeispiel 2 zu Tafeln 4: Der Ausbilder einer militärischen Scharfschützen-Einheit will eine Übung anlegen, um das Verweilen in hoher Schussbereitschaft und rasche Schussauslösung zu trainieren. Dazu benutzt er ferngesteuerte Drehscheiben in 700 m

Distanz, die er jeweils ein paar Sekunden zeigen und dann wieder wegrehen will – wie lange muss er die Scheiben zeigen, damit die Schützen sie überhaupt treffen können? Die Schützen benutzen einheitlich Büchsen des Kalibers .338 Lapua Magnum, die Geschosse haben einen BC von 0.575 und eine Mündungsgeschwindigkeit von 870 m/s. Der Ausbilder rechnet für die Flugzeit $T(700\text{ m}) = 914 / 870 = 1.05\text{ s}$ und beschliesst, die Scheiben jeweils 3 Sekunden zu zeigen, den Schützen also eine Reaktionszeit von knapp 2 s zu lassen.

0 m.ü.M.	Schussdistanz [m]											
BC	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
0.200	112	249	417	621	867	1161	1512	1929	2422	3004	3689	4492
0.225	110	243	402	591	815	1079	1388	1749	2170	2659	3225	3879
0.250	109	238	391	569	776	1017	1296	1617	1987	2411	2896	3450
0.275	108	235	381	551	746	970	1225	1517	1849	2226	2652	3134
0.300	108	232	374	536	721	932	1170	1438	1741	2082	2464	2893
0.325	107	229	368	524	701	901	1124	1375	1655	1968	2316	2704
0.350	106	227	362	514	685	875	1087	1323	1585	1875	2196	2551
0.375	106	225	358	506	670	853	1055	1279	1526	1798	2097	2426
0.400	106	223	354	498	658	835	1029	1242	1476	1733	2014	2322
0.425	105	222	350	492	648	819	1006	1210	1434	1678	1944	2233
0.450	105	221	347	486	638	805	986	1183	1397	1631	1883	2158
0.475	105	219	345	481	630	792	968	1159	1365	1589	1831	2092
0.500	104	218	342	477	623	781	952	1138	1337	1553	1785	2035
0.525	104	217	340	473	617	772	939	1119	1312	1521	1744	1984
0.550	104	217	338	469	611	763	926	1102	1290	1492	1708	1939
0.575	104	216	336	466	605	755	915	1086	1270	1466	1676	1899
0.600	104	215	335	463	601	748	905	1073	1252	1443	1646	1863
0.625	104	215	333	460	596	741	896	1060	1235	1422	1620	1831
0.650	103	214	332	458	592	735	887	1049	1220	1403	1596	1801
0.675	103	213	331	456	588	730	879	1038	1207	1385	1574	1774
0.700	103	213	330	454	585	725	872	1029	1194	1369	1554	1750
0.725	103	213	329	452	582	720	866	1020	1183	1355	1536	1727
0.750	103	212	328	450	579	715	860	1012	1172	1341	1519	1706
0.775	103	212	327	448	576	711	854	1004	1162	1328	1503	1687
0.800	103	211	326	447	574	708	849	997	1153	1317	1489	1669
0.825	103	211	325	445	571	704	844	990	1144	1306	1475	1653
0.850	103	211	324	444	569	701	839	984	1136	1295	1462	1637
0.875	103	210	324	442	567	698	835	978	1129	1286	1450	1623
0.900	102	210	323	441	565	695	831	973	1121	1277	1439	1609
0.925	102	210	322	440	563	692	827	968	1115	1269	1429	1596
0.950	102	209	322	439	561	689	823	963	1109	1261	1419	1584
0.975	102	209	321	438	560	687	820	958	1103	1253	1410	1573
1.000	102	209	320	437	558	685	817	954	1097	1246	1401	1563

T(SD) = K(T(SD)) / v₀
Einheit T = Sekunde

Tafel 4.0: Flugzeit bis Schussdistanz, 0 m.ü.M.

M. Tschannen: Ballistik für den Feldgebrauch

500 m.ü.M.	Schussdistanz [m]											
BC	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
0.200	111	247	411	609	845	1127	1460	1853	2316	2858	3491	4231
0.225	110	241	397	581	797	1050	1345	1688	2085	2543	3071	3678
0.250	109	237	386	560	761	993	1260	1567	1917	2316	2771	3288
0.275	108	233	377	543	732	949	1195	1474	1789	2146	2548	3000
0.300	107	230	370	529	710	913	1143	1401	1690	2014	2376	2780
0.325	107	228	364	518	691	884	1100	1341	1610	1908	2239	2606
0.350	106	225	359	508	675	860	1065	1293	1544	1822	2128	2465
0.375	106	224	355	500	662	840	1036	1252	1490	1751	2037	2350
0.400	105	222	351	493	650	822	1011	1218	1444	1690	1960	2253
0.425	105	221	348	487	640	807	989	1188	1404	1639	1894	2171
0.450	105	220	345	482	631	794	970	1162	1370	1595	1838	2101
0.475	105	218	343	477	624	782	954	1139	1340	1556	1789	2040
0.500	104	218	340	473	617	772	939	1119	1313	1522	1746	1986
0.525	104	217	338	469	611	763	926	1102	1290	1492	1708	1939
0.550	104	216	336	466	605	754	914	1086	1269	1465	1674	1897
0.575	104	215	335	463	600	747	904	1071	1250	1441	1644	1860
0.600	104	215	333	460	596	740	894	1059	1233	1419	1617	1826
0.625	103	214	332	458	591	734	886	1047	1218	1399	1592	1796
0.650	103	213	331	455	588	728	878	1036	1204	1381	1569	1768
0.675	103	213	329	453	584	723	870	1026	1191	1365	1549	1743
0.700	103	212	328	451	581	718	864	1017	1179	1350	1530	1720
0.725	103	212	327	449	578	714	857	1009	1168	1336	1513	1699
0.750	103	212	326	447	575	710	852	1001	1158	1323	1497	1679
0.775	103	211	325	446	573	706	846	994	1149	1311	1482	1661
0.800	103	211	325	444	570	702	841	987	1140	1300	1468	1644
0.825	103	210	324	443	568	699	837	981	1132	1290	1455	1629
0.850	103	210	323	442	566	696	832	975	1124	1280	1444	1614
0.875	102	210	322	440	564	693	828	969	1117	1271	1432	1601
0.900	102	210	322	439	562	690	824	964	1110	1263	1422	1588
0.925	102	209	321	438	560	688	821	959	1104	1255	1412	1576
0.950	102	209	321	437	558	685	817	955	1098	1247	1403	1565
0.975	102	209	320	436	557	683	814	950	1093	1240	1394	1554
1.000	102	209	320	435	555	681	811	946	1087	1234	1386	1544

T(SD) = kT(SD) / v₀
Einheit T = Sekunde

Tafel 4.500: Flugzeit bis Schussdistanz, 500 m.ü.M.

M. Tschannen: Ballistik für den Feldgebrauch

1000 m.ü.M.	Schussdistanz [m]											
BC	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
0.200	111	244	405	597	824	1093	1410	1780	2214	2718	3305	3984
0.225	109	239	392	571	780	1023	1304	1629	2003	2432	2924	3487
0.250	108	235	381	551	746	970	1225	1517	1849	2226	2652	3134
0.275	108	231	373	535	719	928	1165	1431	1732	2069	2448	2872
0.300	107	229	366	522	698	895	1116	1364	1640	1948	2290	2671
0.325	106	226	361	512	680	868	1077	1309	1566	1850	2165	2511
0.350	106	224	356	503	665	845	1044	1264	1505	1771	2062	2382
0.375	105	223	352	495	653	826	1017	1226	1454	1705	1978	2276
0.400	105	221	349	489	642	810	993	1193	1411	1649	1907	2187
0.425	105	220	345	483	633	796	973	1166	1375	1601	1846	2111
0.450	105	219	343	478	624	783	955	1142	1343	1560	1794	2046
0.475	104	218	340	473	617	772	940	1120	1315	1524	1748	1989
0.500	104	217	338	469	611	763	926	1102	1290	1492	1708	1939
0.525	104	216	336	466	605	754	914	1085	1268	1464	1673	1895
0.550	104	215	335	463	600	746	903	1070	1248	1439	1641	1856
0.575	104	214	333	460	595	739	893	1057	1231	1416	1613	1822
0.600	103	214	332	457	591	733	884	1044	1215	1396	1587	1790
0.625	103	213	330	455	587	727	876	1033	1200	1377	1564	1762
0.650	103	213	329	452	583	722	868	1023	1187	1360	1543	1736
0.675	103	212	328	450	580	717	861	1014	1175	1345	1524	1712
0.700	103	212	327	448	577	712	855	1005	1164	1331	1506	1691
0.725	103	211	326	447	574	708	849	998	1154	1318	1490	1671
0.750	103	211	325	445	571	704	844	990	1144	1306	1475	1653
0.775	103	211	324	443	569	700	839	983	1135	1294	1461	1636
0.800	103	210	323	442	567	697	834	977	1127	1284	1448	1620
0.825	102	210	323	441	564	694	829	971	1119	1274	1436	1605
0.850	102	210	322	439	562	691	825	966	1112	1265	1425	1591
0.875	102	209	321	438	561	688	821	961	1106	1257	1414	1579
0.900	102	209	321	437	559	686	818	956	1099	1249	1405	1567
0.925	102	209	320	436	557	683	814	951	1093	1241	1395	1555
0.950	102	209	320	435	556	681	811	947	1088	1234	1387	1545
0.975	102	208	319	434	554	679	808	943	1082	1228	1378	1535
1.000	102	208	319	433	553	676	805	939	1077	1221	1371	1525

$T(SD) = k_T(SD) / v_0$
 Einheit T = Sekunde

Tafel 4.1000: Flugzeit bis Schussdistanz, 1000 m.ü.M.

M. Tschannen: Ballistik für den Feldgebrauch

1500 m.ü.M.	Schussdistanz [m]											
BC	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
0.200	110	242	399	585	804	1061	1361	1711	2116	2586	3128	3752
0.225	109	237	386	561	763	996	1264	1572	1924	2327	2785	3306
0.250	108	233	377	542	731	947	1192	1469	1784	2138	2538	2987
0.275	107	230	369	527	706	908	1135	1390	1676	1996	2352	2749
0.300	107	227	363	515	686	877	1091	1328	1591	1884	2208	2566
0.325	106	225	358	505	670	852	1054	1277	1523	1794	2093	2420
0.350	106	223	353	497	656	831	1024	1235	1467	1721	1999	2302
0.375	105	221	349	490	644	813	998	1200	1420	1660	1921	2204
0.400	105	220	346	484	634	798	976	1170	1380	1608	1855	2122
0.425	105	219	343	478	625	785	957	1144	1346	1564	1799	2052
0.450	104	218	341	474	618	773	941	1121	1316	1525	1750	1992
0.475	104	217	338	469	611	763	926	1102	1290	1492	1708	1939
0.500	104	216	336	466	605	754	913	1084	1267	1462	1671	1893
0.525	104	215	334	462	599	746	902	1069	1247	1436	1638	1853
0.550	104	214	333	459	594	738	891	1055	1228	1413	1609	1816
0.575	103	214	331	457	590	732	882	1042	1212	1392	1582	1784
0.600	103	213	330	454	586	726	874	1031	1197	1373	1558	1755
0.625	103	213	329	452	582	720	866	1020	1183	1355	1537	1728
0.650	103	212	327	450	579	715	859	1011	1171	1340	1517	1704
0.675	103	212	326	448	576	710	852	1002	1159	1325	1499	1682
0.700	103	211	325	446	573	706	846	994	1149	1312	1483	1662
0.725	103	211	325	444	570	702	841	987	1139	1300	1468	1643
0.750	103	210	324	443	568	698	836	980	1130	1288	1454	1626
0.775	102	210	323	441	565	695	831	973	1122	1278	1440	1610
0.800	102	210	322	440	563	692	827	967	1114	1268	1428	1596
0.825	102	209	321	439	561	689	822	962	1107	1259	1417	1582
0.850	102	209	321	437	559	686	819	957	1101	1250	1407	1569
0.875	102	209	320	436	557	683	815	952	1094	1243	1397	1557
0.900	102	209	320	435	556	681	811	947	1088	1235	1388	1546
0.925	102	208	319	434	554	679	808	943	1083	1228	1379	1535
0.950	102	208	319	433	553	676	805	939	1077	1221	1371	1525
0.975	102	208	318	432	551	674	802	935	1073	1215	1363	1516
1.000	102	208	318	432	550	672	800	931	1068	1209	1356	1507

$T(SD) = k_T(SD) / v_0$
 Einheit T = Sekunde

Tafel 4.1500: Flugzeit bis Schussdistanz, 1500 m.ü.M.

5. Der Einfluss des Seitenwindes

Um den Einfluss des Windes auf das Geschoss einzuschätzen, muss der Schütze nicht nur die Windgeschwindigkeit v_w , sondern auch die Windrichtung berücksichtigen. Der Wind hat eine Komponente in Flugrichtung, welche als Gegenwind (bremsend) oder als Rückenwind (beschleunigend) wirkt, und eine Komponente v_{QW} rechtwinklig zur Flugrichtung, welche das Geschoss ein Stück weit mit sich trägt (Bild 1); wir nennen dies die Querwindablage Δ_{QW} und man kann sie mit Tafeln 5 errechnen. Ist Δ_{QW} einmal bekannt, kann sie der Schütze ausgleichen, indem er entsprechend in den Wind hält (Bild 2).

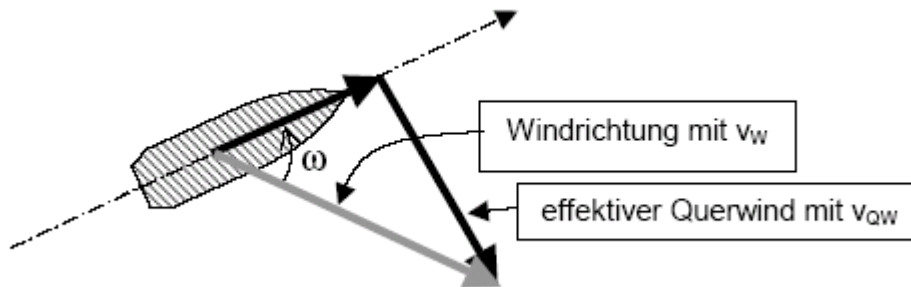


Bild 1

Für die Querwindablage eines Geschosses gilt die Didion'sche Formel:

$$\Delta_{QW} = v_{QW} \cdot (T - T_{vak})$$

Dabei bezeichnet T die effektive Flugzeit bis zur Distanz SD und T_{vak} die Flugzeit, welche das Geschoss im Vakuum bräuchte, um dieselbe Distanz SD zurückzulegen; T_{vak} ist gleich Schussdistanz durch Mündungsgeschwindigkeit ($T_{vak} = SD / v_0$). Die Resultate für Δ_{QW} sind also nur so gut wie die Berechnung der Flugzeit T . Das bringt ein numerisches Problem für langsame Patronen mit schwerem Geschoss auf kurze Distanz (typisch für Subsonic-Patronen): Da sie kaum verzögert werden, ist $T - T_{vak}$ ungefähr gleich Null und der kleinste Rechenfehler in T vervielfacht das Resultat für die Querwindablage!

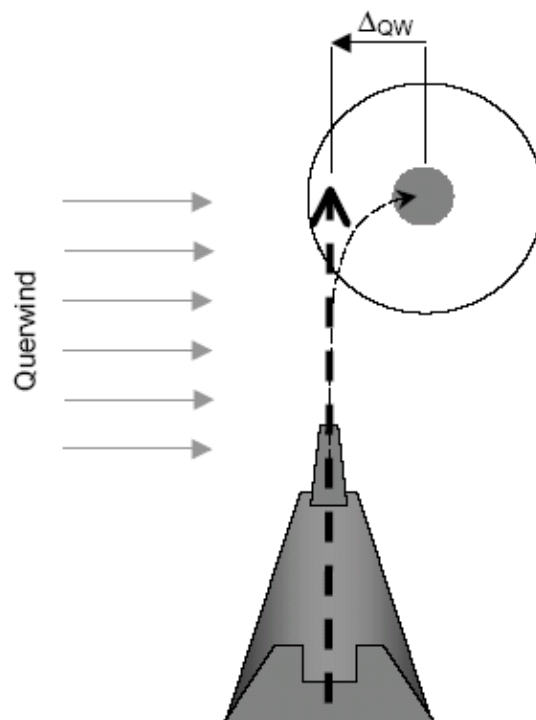


Bild 2

Die Didion'sche Formel offenbart dem Schützen eine sehr angenehme Eigenschaft, nämlich dass die Querwindablage proportional zur Querwindgeschwindigkeit v_{QW} ist. Er braucht also nicht mühsam für alle möglichen Windgeschwindigkeiten Δ_{QW} zu notieren, sondern nur für die Einheitswindstärke $v_{QW} = 1$ m/s; falls der Wind dann mit 3 m/s bläst, ist die Querwindablage einfach 3x so gross.

Die physikalischen Modelle zeigen typischerweise eine Querwindablage, wie in Bild 3 für eine .223Remington dargestellt. Die Modelle gehen von einer gleichmässigen Querwindgeschwindigkeit über die ganze Schussdistanz aus, was aber in der Praxis selten vorkommt. Man beachte deshalb, dass Δ_{QW} zu einer Schussdistanz SD mehr als 4x so gross ist als auf die halbe Schussdistanz! Aus diesem Grund muss der Schütze bei ungleichmässigem Wind vorallem die Windverhältnisse auf der zweiten Hälfte der Schussdistanz im Auge halten.

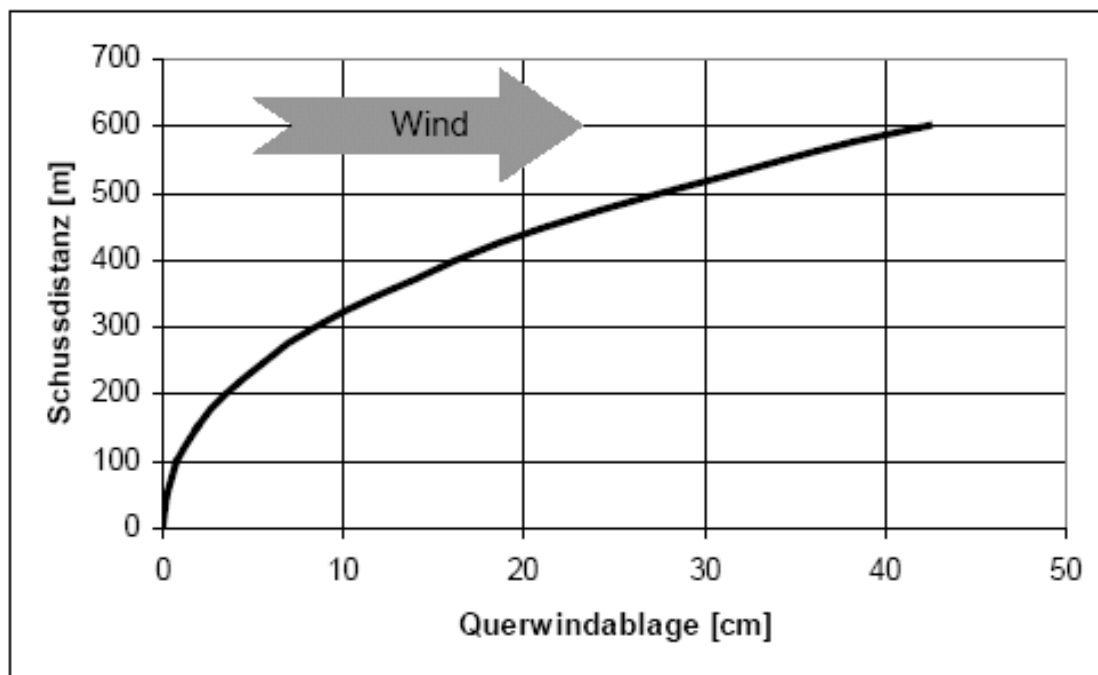


Bild 3

Ein weiterer Effekt wird von den Rechenmodellen völlig vernachlässigt: Unmittelbar nach Mündungsaustritt fliegt das Geschoss noch sehr unruhig – man nennt dies „Abgangsstörungen“. Diese Abgangsstörungen klingen erst nach einigen zehn Metern Flug ab und machen das Geschoss in dieser Flugphase sehr windempfindlich. Da sich Querwind in Mündungsnähe katastrophal auf die Präzision auswirkt, muss der Schütze die Stellung so wählen, dass sie möglichst windgeschützt ist.

Zum Ermitteln der Windgeschwindigkeit v_w gibt es Messgeräte, die sich aber in der Praxis als wenig hilfreich erweisen, da der Schütze ja selten die Strecke bis zum Ziel ablaufen und dabei den Wind messen kann. Er muss deshalb lernen, Umgebungsmerkmale zu deuten, und dabei zeigt sich so ein Windmesser als nützlicher „Trainer“: Auf Streifzügen durch sein Gelände beobachtet der Schütze die Bewegung von Gräsern, Kornfeldern, Fahnen, Bäumen, abgefallenem Laub, Staub, Schnee – von allem, was der Wind bewegt. Dann misst er mit seinem Gerät die zugehörige Windgeschwindigkeit und erarbeitet so einen Erfahrungsschatz, der es ihm dann erlaubt, vor einem Schuss anhand der Umgebungsmerkmale die Windgeschwindigkeit zu schätzen. Untenstehende Tabelle zeigt, wie man sich solche Beobachtungen notieren kann.

Windstärke [m/s]	Merkmale
0.5 – 1.5	Rauch und Fahnen geben kaum an; Laub in leichter Bewegung
2.0 – 3.5	Wind im Gesicht fühlbar, Gras und Zweige wiegen hin und her; trockenes Laub am Boden wird mitgetragen
4.0 – 6.0	Sträucher und kleine Zweige biegen sich durch; Wind rupft an Kleidung und rauscht in den Ohren
6.5 – 9.0	Staub und abgefallenes Laub werden aufgewirbelt
9.5 – 12.0	kleine belaubte Bäume biegen sich im Wind

Tabelle: Umgebungsmerkmale zu Windstärken

Der Anteil der Windgeschwindigkeit rechtwinklig zur Flugbahn v_{QW} berechnet sich gemäss $v_{QW} = v_W \cdot \sin \omega$. Da aber Windgeschwindigkeit und Windrichtung nur geschätzt werden, ist eine genaue Rechnung mit Trigonometrie übertrieben – man merke sich einfach, dass bei einer Windrichtung von 45 Grad zur Schussrichtung der Anteil v_{QW} noch ca. 70% von v_W ausmacht. Den Anteil des Windes in Schussrichtung (Gegen- oder Mitwind), der theoretisch die Höhenstreuung beeinflusst, kann man glücklicherweise vernachlässigen: Selbst bei Patronen desselben Loses schwanken die Mündungsgeschwindigkeiten v_0 von Schuss zu Schuss gut und gerne 10 m/s – selbst ein relativ starker Mitwind geht also in der normalen Streuung unter.

Anwendungsbeispiel zu Tafeln 1: Ein Sportschütze, der mit seinem Sturmgewehr 90 auf 300 m schießt, will die Visierkorrektur bei Seitenwind berechnen. Das Geschoss hat einen BC von 0.325 und eine v_0 von 905 m/s. Für die Windgeschwindigkeit setzt er $v_{QW} = 1$ m/s und rechnet nach Tafel 1.500 $\Delta_{QW} = 64 \times 1 / 905 = 0.071$ m bzw. 71 mm – diese Zahl merkt er sich. Beim nächsten Schiessen beobachtet er nun einen Wind von rechts mit einer Stärke von $v_{QW} = 3$ m/s: Wenn er nicht korrigiert, wird dieser Wind seine Kugel $3 \times 71\text{mm} = 213$ mm links der Scheibenmitte einschlagen lassen. Da sein Visier pro Klick 45 mm korrigiert, verstellt er es um $213 \text{ mm} / 45 \text{ mm} \cong 5$ Klicks nach rechts („bei Schuss links“).

M. Tschannen: Ballistik für den Feldgebrauch

0 m.ü.M.	Schussdistanz [m]											
BC	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
0.200	12	49	117	221	367	561	812	1129	1522	2004	2589	3292
0.225	10	43	102	191	315	479	688	949	1270	1659	2125	2679
0.250	9	38	91	169	276	417	596	817	1087	1411	1796	2250
0.275	8	35	81	151	246	370	525	717	949	1226	1552	1934
0.300	8	32	74	136	221	332	470	638	841	1082	1364	1693
0.325	7	29	68	124	201	301	424	575	755	968	1216	1504
0.350	6	27	62	114	185	275	387	523	685	875	1096	1351
0.375	6	25	58	106	170	253	355	479	626	798	997	1226
0.400	6	23	54	98	158	235	329	442	576	733	914	1122
0.425	5	22	50	92	148	219	306	410	534	678	844	1033
0.450	5	21	47	86	138	205	286	383	497	631	783	958
0.475	5	19	45	81	130	192	268	359	465	589	731	892
0.500	4	18	42	77	123	181	252	338	437	553	685	835
0.525	4	17	40	73	117	172	239	319	412	521	644	784
0.550	4	17	38	69	111	163	226	302	390	492	608	739
0.575	4	16	36	66	105	155	215	286	370	466	576	699
0.600	4	15	35	63	101	148	205	273	352	443	546	663
0.625	4	15	33	60	96	141	196	260	335	422	520	631
0.650	3	14	32	58	92	135	187	249	320	403	496	601
0.675	3	13	31	56	88	130	179	238	307	385	474	574
0.700	3	13	30	54	85	125	172	229	294	369	454	550
0.725	3	13	29	52	82	120	166	220	283	355	436	527
0.750	3	12	28	50	79	115	160	212	272	341	419	506
0.775	3	12	27	48	76	111	154	204	262	328	403	487
0.800	3	11	26	47	74	108	149	197	253	317	389	469
0.825	3	11	25	45	71	104	144	190	244	306	375	453
0.850	3	11	24	44	69	101	139	184	236	295	362	437
0.875	3	10	24	42	67	98	135	178	229	286	350	423
0.900	2	10	23	41	65	95	131	173	221	277	339	409
0.925	2	10	22	40	63	92	127	168	215	269	329	396
0.950	2	9	22	39	61	89	123	163	209	261	319	384
0.975	2	9	21	38	60	87	120	158	203	253	310	373
1.000	2	9	20	37	58	85	117	154	197	246	301	363

$\Delta_{\text{QW}}(\text{SD}) = k_{\text{QW}}(\text{SD}) \times v_{\text{QW}} / v_0$
 Einheit $\Delta_{\text{QW}} = \text{Meter}$

Tafel 5.0: Querwindablage bei Schussdistanz, 0 m.ü.M.

M. Tschannen: Ballistik für den Feldgebrauch

500 m.ü.M.	Schussdistanz [m]											
BC	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
0.200	11	47	111	209	345	527	760	1053	1416	1858	2391	3031
0.225	10	41	97	181	297	450	645	888	1185	1543	1971	2478
0.250	9	37	86	160	261	393	560	767	1017	1316	1671	2088
0.275	8	33	77	143	232	349	495	674	889	1146	1448	1800
0.300	7	30	70	129	210	313	443	601	790	1014	1276	1580
0.325	7	28	64	118	191	284	400	541	710	908	1139	1406
0.350	6	25	59	108	175	260	365	493	644	822	1028	1265
0.375	6	24	55	100	162	240	336	452	590	751	937	1150
0.400	5	22	51	93	150	222	311	418	544	690	860	1053
0.425	5	21	48	87	140	207	289	388	504	639	794	971
0.450	5	20	45	82	131	194	270	362	470	595	738	901
0.475	5	18	43	77	124	182	254	339	440	556	689	840
0.500	4	18	40	73	117	172	239	319	413	522	646	786
0.525	4	17	38	69	111	163	226	302	390	492	608	739
0.550	4	16	36	66	105	154	214	286	369	465	574	697
0.575	4	15	35	63	100	147	204	271	350	441	544	660
0.600	4	15	33	60	96	140	194	259	333	419	517	626
0.625	3	14	32	58	91	134	186	247	318	399	492	596
0.650	3	13	31	55	88	128	178	236	304	381	469	568
0.675	3	13	29	53	84	123	170	226	291	365	449	543
0.700	3	12	28	51	81	118	164	217	279	350	430	520
0.725	3	12	27	49	78	114	157	209	268	336	413	499
0.750	3	12	26	47	75	110	152	201	258	323	397	479
0.775	3	11	25	46	73	106	146	194	249	311	382	461
0.800	3	11	25	44	70	102	141	187	240	300	368	444
0.825	3	10	24	43	68	99	137	181	232	290	355	429
0.850	3	10	23	42	66	96	132	175	224	280	344	414
0.875	2	10	22	40	64	93	128	169	217	271	332	401
0.900	2	10	22	39	62	90	124	164	210	263	322	388
0.925	2	9	21	38	60	88	121	159	204	255	312	376
0.950	2	9	21	37	58	85	117	155	198	247	303	365
0.975	2	9	20	36	57	83	114	150	193	240	294	354
1.000	2	9	20	35	55	81	111	146	187	234	286	344

$\Delta_{\text{QW}}(\text{SD}) = k_{\text{QW}}(\text{SD}) \times v_{\text{QW}} / v_0$
 Einheit $\Delta_{\text{QW}} = \text{Meter}$

Tafel E.3-500: Querwindablage bei Schussdistanz, 500 m.ü.M.

M. Tschannen: Ballistik für den Feldgebrauch

1000 m.ü.M.	Schussdistanz [m]											
BC	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
0.200	11	44	105	197	324	493	710	980	1314	1718	2205	2784
0.225	9	39	92	171	280	423	604	829	1103	1432	1824	2287
0.250	8	35	81	151	246	370	525	717	949	1226	1552	1934
0.275	8	31	73	135	219	328	465	631	832	1069	1348	1672
0.300	7	29	66	122	198	295	416	564	740	948	1190	1471
0.325	6	26	61	112	180	268	377	509	666	850	1065	1311
0.350	6	24	56	103	165	245	344	464	605	771	962	1182
0.375	5	23	52	95	153	226	317	426	554	705	878	1076
0.400	5	21	49	89	142	210	293	393	511	649	807	987
0.425	5	20	45	83	133	196	273	366	475	601	746	911
0.450	5	19	43	78	124	183	255	342	443	560	694	846
0.475	4	18	40	73	117	172	240	320	415	524	648	789
0.500	4	17	38	69	111	163	226	302	390	492	608	739
0.525	4	16	36	66	105	154	214	285	368	464	573	695
0.550	4	15	35	63	100	146	203	270	348	439	541	656
0.575	4	14	33	60	95	139	193	257	331	416	513	622
0.600	3	14	32	57	91	133	184	244	315	396	487	590
0.625	3	13	30	55	87	127	176	233	300	377	464	562
0.650	3	13	29	52	83	122	168	223	287	360	443	536
0.675	3	12	28	50	80	117	161	214	275	345	424	512
0.700	3	12	27	48	77	112	155	205	264	331	406	491
0.725	3	11	26	47	74	108	149	198	254	318	390	471
0.750	3	11	25	45	71	104	144	190	244	306	375	453
0.775	3	11	24	43	69	100	139	183	235	294	361	436
0.800	3	10	23	42	67	97	134	177	227	284	348	420
0.825	2	10	23	41	64	94	129	171	219	274	336	405
0.850	2	10	22	39	62	91	125	166	212	265	325	391
0.875	2	9	21	38	61	88	121	161	206	257	314	379
0.900	2	9	21	37	59	86	118	156	199	249	305	367
0.925	2	9	20	36	57	83	114	151	193	241	295	355
0.950	2	9	20	35	56	81	111	147	188	234	287	345
0.975	2	8	19	34	54	79	108	143	182	228	278	335
1.000	2	8	19	33	53	76	105	139	177	221	271	325

$\Delta_{\text{QW}}(\text{SD}) = k_{\text{QW}}(\text{SD}) \times v_{\text{QW}} / v_0$
 Einheit $\Delta_{\text{QW}} = \text{Meter}$

Tafel E.3-1000: Querwindablage bei Schussdistanz, 1000 m.ü.M.

M. Tschannen: Ballistik für den Feldgebrauch

1500 m.ü.M.	Schussdistanz [m]											
BC	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
0.200	10	42	99	185	304	461	661	911	1216	1586	2028	2552
0.225	9	37	86	161	263	396	564	772	1024	1327	1685	2106
0.250	8	33	77	142	231	347	492	669	884	1138	1438	1787
0.275	7	30	69	127	206	308	435	590	776	996	1252	1549
0.300	7	27	63	115	186	277	391	528	691	884	1108	1366
0.325	6	25	58	105	170	252	354	477	623	794	993	1220
0.350	6	23	53	97	156	231	324	435	567	721	899	1102
0.375	5	21	49	90	144	213	298	400	520	660	821	1004
0.400	5	20	46	84	134	198	276	370	480	608	755	922
0.425	5	19	43	78	125	185	257	344	446	564	699	852
0.450	4	18	41	74	118	173	241	321	416	525	650	792
0.475	4	17	38	69	111	163	226	302	390	492	608	739
0.500	4	16	36	66	105	154	213	284	367	462	571	693
0.525	4	15	34	62	99	146	202	269	347	436	538	653
0.550	4	14	33	59	94	138	191	255	328	413	509	616
0.575	3	14	31	57	90	132	182	242	312	392	482	584
0.600	3	13	30	54	86	126	174	231	297	373	458	555
0.625	3	13	29	52	82	120	166	220	283	355	437	528
0.650	3	12	27	50	79	115	159	211	271	340	417	504
0.675	3	12	26	48	76	110	152	202	259	325	399	482
0.700	3	11	25	46	73	106	146	194	249	312	383	462
0.725	3	11	25	44	70	102	141	187	239	300	368	443
0.750	3	10	24	43	68	98	136	180	230	288	354	426
0.775	2	10	23	41	65	95	131	173	222	278	340	410
0.800	2	10	22	40	63	92	127	167	214	268	328	396
0.825	2	9	21	39	61	89	122	162	207	259	317	382
0.850	2	9	21	37	59	86	119	157	201	250	307	369
0.875	2	9	20	36	57	83	115	152	194	243	297	357
0.900	2	9	20	35	56	81	111	147	188	235	288	346
0.925	2	8	19	34	54	79	108	143	183	228	279	335
0.950	2	8	19	33	53	76	105	139	177	221	271	325
0.975	2	8	18	32	51	74	102	135	173	215	263	316
1.000	2	8	18	32	50	72	100	131	168	209	256	307

$\Delta_{QW}(SD) = k_{QW}(SD) \times v_{QW} / v_0$
 Einheit $\Delta_{QW} = \text{Meter}$

Tafel 5.1500: Querwindablage bei Schussdistanz, 1500 m.ü.M.

Anhang: Einzelheiten der Mathematisierung

Aus der Physik wissen wir, dass die Verzögerung $\Delta v / \Delta x$ von der Geschwindigkeit abhängt. Ausserdem wissen wir, dass die Verzögerung mit zunehmendem BC geringer wird. Wir schreiben deshalb kühn die Differentialgleichung:

$$\Delta v / \Delta x = - f \cdot v / BC$$

„f“ ist dabei ein Fitting-Faktor, der später zur Angleichung des Modelles an Mess- bzw. Simulationsdaten dient. Die lineare Form erhalten wir dank dem Trick, nur flache Schusswinkel sw zu betrachten und deshalb $\sin sw \approx sw$ und $\cos sw \approx 1$ setzen zu können; dies beschränkt jedoch die Anwendung des Modelles von vornherein auf Schusswinkel kleiner als etwa 20 Promille. Diese Differentialgleichung lässt sich integrieren zu

$$v(x) = v_0 \cdot e^{-f/BC \cdot x}$$

Damit hat man ein Modell für die Fluggeschwindigkeit, aus welchem sich natürlich auch jederzeit mit der Geschossmasse die kinetische Energie berechnen lässt.

Weiter interessiert die Flugzeit $T(x)$. Wir setzen die mittlere Geschwindigkeit = Weg / Zeit, wobei die Geschwindigkeit geometrisch gemittelt wird. Dies führt auf folgende Gleichung:

$$\sqrt{(v_0 \cdot v_x)} = x / T$$

Obigen Ausdruck für $v(x)$ eingesetzt erhält man für die Flugzeit

$$T(x) = x/v_0 \cdot e^{f/2BC \cdot x}$$

Dank der Didion'schen Formel lässt sich daraus jederzeit die Querwindablage berechnen. Schliesslich müssen wir noch den besonders wichtigen Schusswinkel sw zu einer Fleckschussdistanz SD bestimmen; für die Flughöhe $y(SD)$ gilt deshalb $y(SD) = 0$. Dazu entlehnen wir aus den Vakuum-Gleichungen die Beziehung

$$sw(SD) = \frac{1}{2} \cdot T(SD) \cdot g/v_0$$

und setzen einfach unsere Modell-Zeit ein. Dies ergibt

$$sw(SD) = (g \cdot SD)/(2v_0^2) \cdot e^{f/2BC \cdot SD}$$

Die Formel liefert den Schusswinkel in Promille.

Nun benutzen wir den Fitting-Parameter f , um das Modell optimal an Simulationsdaten anzugleichen, welche mit dem Programm k-ballistics 3.11 erzeugt werden. Da wir das Modell vorwiegend zur Berechnung von Gewehr-Daten nutzen wollen, erzeugen wir entsprechende Referenzdaten mit Sierra-Matchking-Geschossen. Die Optimierung zeigt, dass der Parameter f für verschiedene Fragestellungen verschiedene Optima erhält. Das ist natürlich ein Zeichen für die physikalische Inkonsistenz des Modelles, seine Voraussagekraft jedoch ist trotzdem sehr gut. Die Tabelle zeigt die jeweiligen Werte von f , die auch von der Meereshöhe abhängen (was sicher sinnvoll ist):

Meter über Meer	f_v	f_T	f_{sw}
0	0.00042	0.00044	0.00064
500	0.00040	0.00042	0.00061
1000	0.00038	0.00040	0.00058
1500	0.00036	0.00038	0.00055

Formal lässt sich aus obigem Ansatz auch eine Formel für die Flughöhe berechnen, was der populären Vorstellung einer Flugbahn-Analyse am ehesten entspräche. Das Experiment zeigt jedoch, dass das einfache Modell dieser Aufgabe nicht gewachsen ist. Mathematisch begründet sich dies durch den Umstand, dass die Verläufe über die Distanz x von Geschwindigkeit, Flugzeit und Schusswinkel monoton zunehmend steigen und sich deshalb gut durch Exponentialfunktionen annähern lassen – für die Flugbahn mit ihrer parabolischen Form jedoch gilt dies nicht. Es zeigt sich hier auch, dass die gravierendste Vereinfachung bei der Berechnung der Flugzeit gemacht wurde, als einfach – sehr unphysikalisch – eine geometrische Mittelung vorgenommen wurde. Die Anwendung des Modelles beschränkt sich also streng auf die Anwendungsgebiete, wie sie in den vorangehenden Artikeln beschrieben werden.