

Zeitschrift: ASMZ : Sicherheit Schweiz : Allgemeine schweizerische
Militärzeitschrift

Herausgeber: Schweizerische Offiziersgesellschaft

Band: 120 (1954)

Heft: 12

Artikel: Die Beurteilung der Fliegerabwehrwaffen der Mittelkaliberklasse

Autor: Wattenwyl, René von

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-25237>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 08.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Die Beurteilung der Fliegerabwehrwaffen der Mittelkaliberklasse

Von Oberstbrigadier R. von Wattenwyl

Einleitung

Die auffallendsten Fortschritte beim Fliegerabwehrmaterial wurden in der letzten Zeit auf dem Gebiete der Mittelkaliberwaffen erzielt. Während bei den klassischen Kanonen vom Kaliber 7,5 cm und mehr eine gewisse Stagnation festzustellen ist, vor allem dadurch bedingt, daß jedermann auf das Erscheinen felddüchtiger Raketenwaffen wartet, die etwas länger auf sich warten lassen, als manche vor 10 Jahren glaubten, während auf der anderen Seite die kleinkalibrige Fliegerabwehr infolge der Fortschritte der Flugzeugtechnik nur noch symbolischen Wert behält, sind in der Kaliberklasse 20 mm bis 57 mm wirklich erstaunliche greifbare Fortschritte zu verzeichnen. Die Verbesserungen betreffen sowohl die Geschützleistung bezüglich Anfangsgeschwindigkeit und Kadenz als die Zerstörungswirkung des einzelnen Geschosses. Große Fortschritte sind auch auf dem Gebiete der dazugehörenden Ziel- und Richtvorrichtungen zu verzeichnen.

Damit wächst das Bedürfnis nach einem Gradmesser für die Leistungsfähigkeit der in Frage kommenden Waffen. Verbesserungen müssen meist wenigstens teilweise durch irgendwelche Nachteile erkauft werden, so mit Gewichtsvermehrungen, sei es bei der Waffe, sei es bei der Munition. Dabei kann nicht blind alles zugestanden werden, sondern der Mehraufwand muß sich lohnen.

Gewisse Eigenschaften müssen selbstverständlich immer vorausgesetzt werden, allem voran die Funktionssicherheit einer Waffe auch unter ungünstigsten Bedingungen, ihre Robustheit, die Einfachheit des Unterhaltes und der Reparaturarbeiten.

Daneben ist es ebenso selbstverständlich, daß die Munition manipulations- und transportsicher sein muß und beim Auftreffen auf das Ziel größtmögliche Zerstörungswirkung ausüben soll.

Es ist eine Binsenwahrheit, daß von zwei Fliegerabwehrgeschützen von gleichem Kaliber, gleichem Gewicht, gleicher Kadenz und gleicher Munitionswirkung dasjenige mit der kleineren Geschößflugzeit vorzuziehen ist; aber es ist schon nicht mehr eine Selbstverständlichkeit, daß das Geschütz, welches kleinere Flugzeiten ergibt, auch dann vorzuziehen ist, wenn das Geschützgewicht und das Geschößgewicht viel größer sind. Hier gibt es immerhin eine Grenze, und wo diese Grenze liegt, muß und kann durch Berechnung abgeklärt werden. Ebenso ist der Nutzen der Erhöhung der

Kadenz nicht a priori gegeben, sondern nur dort vorhanden, wo der damit verbundene erhöhte Aufwand sich lohnt.

Man kann vorstehende Fragen als Ermessensfragen bezeichnen. Wir möchten aber im nachstehenden nachweisen, daß sich die Probleme rechnerisch mit einfachen Mitteln stark eingrenzen lassen. Der dem Ermessen überlassene Raum wird damit bedeutend kleiner, was sicher erwünscht ist.

Gleichzeitig wird sich Gelegenheit bieten, die Frage der Problemstellung, welche in der Kriegstechnik so oft verkannt wird, zu erörtern; es handelt sich darum, welche Fragen dem Taktiker, welche dem Techniker zur Entscheidung obliegen.

Die Berechnung der relativen Abschußwerte

Die Anzahl der mit einer bestimmten Waffe unter bestimmten Bedingungen im Mittel erzielten Treffer x_1 ist umgekehrt proportional zur Treffwahrscheinlichkeit w

$$x_1 = \frac{1}{w}$$

Nicht jeder Treffer führt zum Abschuß. Bezeichnen wir die Abschußerwartung, d. h. das Verhältnis der Treffer, die unter den vorliegenden Verhältnissen zum Abschuß führen, zur Gesamttrefferzahl mit a , so ist die Schußzahl x_2 die zum Abschuß führt

$$x_2 = \frac{1}{a \cdot w}$$

Das Geschößgewicht G^* , welches verschossen werden muß, um im Mittel einen Abschuß zu erzielen, ist, wenn das Gewicht des einzelnen Geschosses mit G bezeichnet wird,

$$G^* = x_2 \cdot G = \frac{G}{a \cdot w} \quad 1)$$

Um die im Mittel für einen Abschuß erforderliche Schußzahl x_2 in einer bestimmten Zeit T verfeuern zu können, braucht es, wenn die Kadenz einer Waffe n beträgt, y Waffen, wobei

$$x_2 = n \cdot y \cdot T \quad \text{also } y = \frac{x_2}{n \cdot T}$$

¹ Man kann statt mit dem Geschößgewicht G auch mit dem Patronengewicht P rechnen, was sich überall dort empfiehlt, wo Waffen mit stark verschiedenem V_0 und damit stark variierendem Verhältnis G/P verglichen werden sollen.

Es ist dann analog
$$P^* = \frac{P}{a \cdot w}$$

Wenn das Gewicht einer Waffe, alle Hilfsaggregate eingerechnet, pro Lauf L beträgt, muß zur Erreichung eines Abschusses im Mittel ein Geschützgewicht L^* eingesetzt werden, wobei

$$L^* = L \cdot y = \frac{L \cdot x_2}{n \cdot T} = \frac{L}{a \cdot w \cdot n \cdot T}$$

Die Werte G^* und L^* sind also Bewertungsgrößen für den Aufwand, der unter den vorliegenden bestimmten Bedingungen im Mittel für einen Abschuß an Munitionsgewicht, bzw. an Geschützgewicht erforderlich ist. Es sind dies Absolutwerte, die sich leider nur schwer berechnen lassen, da sie nicht nur von technischen, sondern auch von menschlichen Faktoren abhängig sind. Die absolute Treffwahrscheinlichkeit ist stark abhängig von der Ausbildung der Mannschaft und von den äußeren Faktoren des Kampfesgeschehens. Die Zeit, die beim Schießen zur Verfügung steht, ist nicht allein eine Funktion der vorhandenen Richtmittel, sondern wiederum von den Eigenschaften und der Verfassung der Bedienungsmannschaft abhängig.

Man könnte infolgedessen an der Lösbarkeit der Aufgabe, die wir uns gestellt haben, zweifeln. Nun ist es aber in der Praxis in den allermeisten Fällen gar nicht notwendig, die Absolutwerte zu kennen.

Das Problem, welches sich dem Kriegstechniker stellt, besteht fast ausschließlich darin, zwischen zwei oder mehreren praktisch ausführbaren Lösungsmöglichkeiten zu wählen oder sogar zwei oder mehrere bereits vorhandene, auf dem Markt erhältliche oder sonstwie zur Verfügung stehende Waffen *miteinander zu vergleichen*.

Die Berechnung mag ergeben, welches Mehrgewicht an Munition und Geschützmaterial in Kauf genommen werden muß, um das v_0 oder die Kadenz um ein bestimmtes Maß zu steigern und nun sollte man eine brauchbare Methode haben um festzustellen, ob sich dieser Aufwand lohnt.

So und nicht anders stellen sich dem Praktiker die Aufgaben und dafür ist nun glücklicherweise die Kenntnis der Absolutwerte nicht erforderlich und es genügen die entsprechenden *Relativwerte*.

Zu diesem Zwecke führen wir anstelle der absoluten Bewertungsgrößen G^* und L^* die folgenden, als relative Abschußwahrscheinlichkeit bezeichneten Größen ein, wobei aus praktischen Gründen eine zu G^* und L^* reziproke Darstellung gewählt wird.

Es ist die *relative Abschußwahrscheinlichkeit in bezug auf ein gegebenes Munitionsgewicht*

$$\Omega = \frac{a \cdot w}{G} \quad (\text{Omega-Wert})$$

die relative Abschußwahrscheinlichkeit in bezug auf ein gegebenes Geschützgewicht und eine gegebene Beschußzeit

$$\Delta = \frac{\alpha \cdot w \cdot n}{L} \quad (\text{Delta-Wert})$$

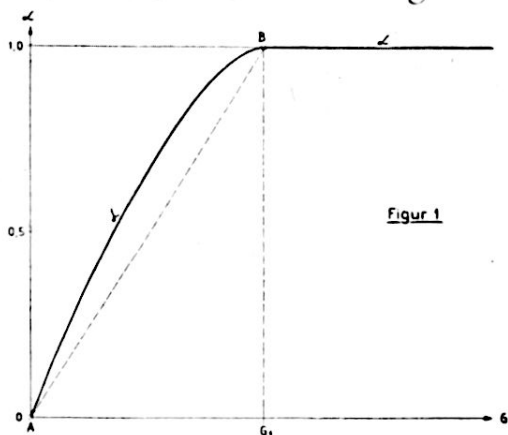
Bevor wir die Anwendung dieser Werte an Beispielen erklären, soll mitgeteilt werden, wie sie am besten berechnet werden können.

Die Bestimmung der Abschüßerwartung α

α ist das Verhältnis der Anzahl Abschüsse zur Anzahl Treffer. In den uns bekannten Studien wurde meist der Zusammenhang zwischen Geschößgewicht und Abschüßerwartung in der Weise gesucht, daß bei jedem Flugzeugtyp eine sogenannte «Todesdosis» (Dose mortelle) festgelegt und damit die Anzahl Treffer berechnet wurde, die im Mittel erforderlich sind, um das Flugzeug zum Abschuß zu bringen.

Diese Berechnungsart halten wir nicht für richtig. Ist es doch möglich, daß schon ein Gewehrsgeschöß, welches den Piloten verletzt, einen Absturz bewirkt. Zudem führt das System der «Dose mortelle» zu nicht einfachen, wahrscheinlichkeitstheoretischen Überlegungen, auf die einzutreten hier nicht möglich ist.

Ferner muß eine andere Überlegung gemacht werden. Es ist nicht richtig, wenn ausschließlich diejenigen Treffer in die Berechnung einbezogen werden, die unmittelbar zum Absturz führen. Auch solche Treffer, die nur eine Verletzung des Flugzeuges ohne Absturz zur Folge haben, sind wirkungsvoll. Entweder setzen sie das Flugzeug außer Gefecht oder bewirken doch wenigstens eine erfahrungsgemäß stets lang dauernde Reparatur. Je komplizierter die Flugzeuge werden, um so wichtiger ist dieser Teilerfolg. Wir sprechen deshalb ausdrücklich nicht von Abstürzen, sondern von Abschüssen, um es demjenigen, der unsere Rechenmethode verwendet, frei zu stellen, als «Abschuß» auch Fälle zu berücksichtigen, wo nicht ein unmittelbarer Absturz erfolgt.



Wir müssen nun versuchen, die Abhängigkeit der Abschüßerwartung α vom Geschößgewicht für eine bestimmte Munitionskonstruktion und für einen bestimmten Flugzeugtyp durch einen Linienzug zur Darstellung zu bringen.

Irgendwo gibt es ein minimales Geschößgewicht G_1 , bei welchem mit einem Treffer praktisch jedes Flugzeug des be-

treffenden Typs abgeschossen wird, das also dem Wert $\alpha = 1$ entspricht (Punkt B). Ferner wissen wir, daß auch kleinste Geschosse in allerdings sehr seltenen Fällen einen Abschluß bewirken können. Die α -Kurve geht also praktisch von A aus. Der Verlauf der Kurve zwischen A und B hängt von der Konstruktion des Flugzeuges ab, nämlich von der Frage, wie groß die Teilflächen im Verhältnis zum Ganzen sind, auf welchen auch schon der Treffer eines leichteren Geschosses als G_1 zum Abschluß führt.

Es kann hier mitgeteilt werden, daß die α -Kurve zwischen A und B in der Praxis der Gegenwart stets konvex verläuft, also oberhalb der Geraden AB liegt, daß also das Geschößgewicht unter G_1 , wenn man nur die Treffer berücksichtigt, besser ausgenützt wird als G_1 . Oberhalb G_1 ist α konstant $= 1$, jeder Treffer bewirkt einen Abschluß, wobei die Ausnützung des Geschößgewichtes, wie leicht ersichtlich ist, um so schlechter wird, je mehr G ansteigt.

Der Verlauf von α zwischen A und B ist nun aber nicht allein vom Flugzeugtyp abhängig, sondern auch von der Richtung, aus welcher die Geschosse auftreffen.

Beim Direktanflug ist die allerdings kleine Frontfläche des Flugzeuges maßgebend. In dieser Fläche nehmen die auch durch Treffer kleinerer Geschosse einen Abschluß bewirkenden Teilflächen einen *relativ* größeren Raum ein, als bei Beschuß von der Seite oder von unten. Die α -Kurve für Direktanflug liegt also zwischen A und B höher als die α -Kurve für Vorbeiflug, und man muß dies berücksichtigen, wenn man zwei Waffen vergleichen will, von denen die eine hauptsächlich bei Direktanflug verwendet wird, die andere dagegen bei Vorbeiflug.

Es ist natürlich möglich, eine mittlere α -Kurve zu bestimmen, welche die verschiedenen Beschußrichtungen nach der Häufigkeit ihres Auftretens in angemessener Weise berücksichtigt.

Die beste Methode der Bestimmung der α -Kurve ist die Statistik. Sie kann uns zeigen, wieviele Prozent Treffer eines bestimmten Kalibers zu Abschüssen geführt haben oder nach den bei Schießversuchen festgestellten Zerstörungen zu Abschüssen führen müssen. Mit den Versuchs-Resultaten von 3 oder 4 Kalibern kann der Verlauf der α -Kurve mit hinreichender Genauigkeit festgestellt werden.

Falls man Waffen mit Geschossen gleicher Konstruktionsart vergleicht, welche alle, wie es häufig der Fall ist, die gleiche Querdichte

$$D = \frac{G}{a^3}$$

– wo a das Kaliber bedeutet – aufweisen, so kann die α -Kurve auch als

Funktion des Kalibers betrachtet werden, denn es gehört dann zu jedem Geschößgewicht ein bestimmtes Kaliber.

Wir möchten ohne weiteres zugeben, daß die Bestimmung der α -Kurve nicht einfach ist. Es ist durchaus richtig, daß man eigentlich nicht von einer α -Kurve, sondern von einem α -Band sprechen sollte, dessen Breite um so größer ist, je mehr verschiedene Flugzeugtypen und Geschößarten man in Betracht zieht.

Es ist jedoch unerläßlich, daß man sich trotz aller Schwierigkeiten zu einer Annahme über den Verlauf der α -Kurve durchringt, wenn man überhaupt gewillt ist, eine ernstliche vergleichende Beurteilung von verschiedenen in Frage kommenden Waffenausführungen vorzunehmen und sich nicht nur mit einer gefühlsmäßigen Beurteilung begnügen will.

Wenn man beispielsweise die Frage zu prüfen hat, welches Kaliber sich für einen bestimmten Zweck am besten eignet, ist das Resultat nicht sehr stark davon abhängig, ob die Kurve zwischen A und B etwas stärker oder weniger stark konvex liegt. Dagegen ist freilich die Wahl des Punktes B von Bedeutung. Wenn man annimmt, daß ein Geschößgewicht von 1 kg genügt, um in praktisch allen Fällen, wenn auch nicht einen «Absturz», so doch einen «Abschuß» im Sinne der obenstehenden Definition zu bewirken, so werden in einem bestimmten Falle die kleineren Kaliber in der Gegend von 30 und 40 mm eher bevorzugt als die größeren von 50 und 60 mm, wogegen sich die Verhältnisse umkehren, wenn man annimmt, daß es für einen «Abschuß» den Treffer eines Geschosses von 2 kg braucht.

Persönlich neigt übrigens der Verfasser zur Ansicht, daß Geschosse moderner Konstruktion vom Gewicht von 1 kg gegen fast alle Flugzeuge bis 10 t Gewicht eine Wirkung ergeben, die ihr Ausscheiden aus dem Kampf für längere Zeit zur Folge haben, doch gibt er ohne weiteres zu, daß man darüber auch anderer Ansicht sein kann.

Es ist aber hier zu unterstreichen, daß die Feststellung, welches Geschößgewicht eines einzelnen Treffers für einen Abschuß gerade noch genügt, das Problem des richtigen Kalibers für sich allein niemals zu lösen vermag, ebenso wenig wie die Feststellung, welches Geschöß die kürzere Flugzeit hat, für sich allein eine Lösung des Problems bedeutet.

Eine praktisch brauchbare und dennoch einfache Lösung ergibt sich, das sei vorweggenommen, nur aus der vergleichenden Betrachtung der Ω - und der A -Werte.

Die Bestimmung der Treffwahrscheinlichkeit w

Daß die Treffwahrscheinlichkeit w mit wachsender Flugzeit t stark abfällt, ist bekannt. Die meisten Autoren, welche sich mit dieser Frage aus-

einandersetzen, machen den in einem beschränkten Bereich gültigen Ansatz

$$w = \frac{C}{t^m}$$

wo C und m als Konstanten angenommen sind. Dieser Ansatz spiegelt die wahren Verhältnisse natürlich nicht genau wider. Weder C noch m sind wirkliche Konstanten. In C liegen alle die vielen Einflüsse verborgen, die in den optischen und mechanischen Eigenschaften von Waffe, Lafette und Zielvorrichtung sowie der Munition und der gegenseitigen Lage von Waffe und Ziel enthalten sind.

C enthält auch die anfängliche Streuung der Geschosse wie auch die Zielstreuung, die so stark von der Ausbildung einerseits, der Verfassung der Bedienungsmannschaft andererseits abhängig ist.

In m dagegen ist gewissermaßen die zeitliche und räumliche Konsequenz aller anfänglichen Fehler, die sich zu großen Abweichungen auftürmen können, enthalten.

Wenn wir, wie schon oben bemerkt, Waffen vergleichen wollen, etwa solche von verschiedenem Kaliber oder von verschiedener Kadenz, die alle die gleichen Ziel- und Richtgeräte haben, deren Antriebsmotoren so dimensioniert sind, daß sie den Bewegungen des Ziels trotz unterschiedlichem Gewicht mit der gleichen Leichtigkeit folgen können, so können wir mit gleichen C -Werten rechnen, ohne einen zu großen Fehler zu begehen.

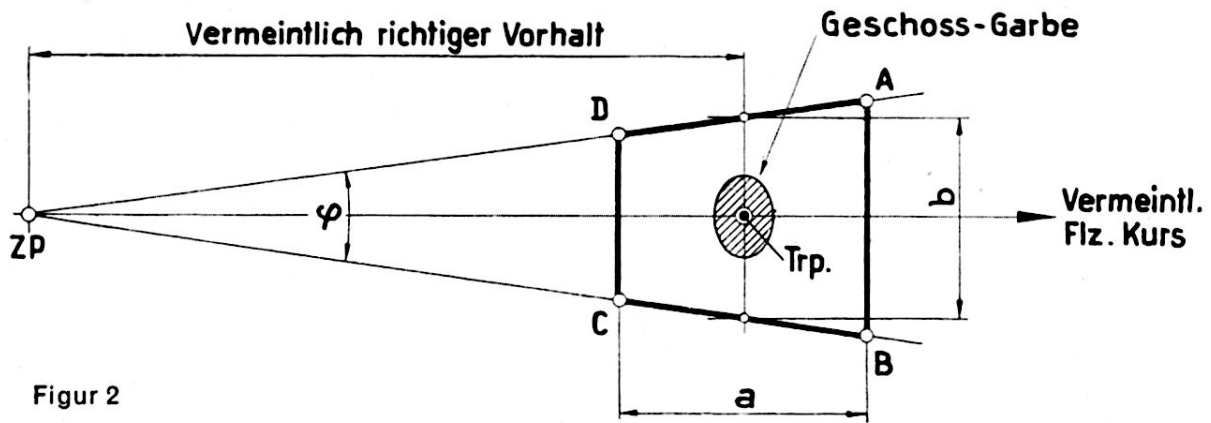
Wenn wir überdies unsere vergleichende Betrachtung auf einen nicht allzu großen Bereich ausdehnen, also nicht Waffen von allzustark verschiedenen Dimensionen miteinander vergleichen wollen, so ist nach unserer Überzeugung der Ansatz

$$w = \frac{C}{t^m}$$

absolut statthaft.

Wie groß ist nun aber m ? Zunächst sei gesagt, daß m beim Aufschlagschießen jedenfalls kleiner als beim Zeitzünderschießen ist.

Man stelle sich einmal den einfachen Fall eines Schießens lotrecht zur Zeichenebene vor, wobei das Ziel in der Zeichenebene fliegt. Wir betrachten den Spezialfall, wo der richtige Vorhalt gerade so wäre, daß der Treffpunkt am sogenannten Wechsellpunkt liegen würde, also auf kürzestem Abstand zum geradlinig vorausgesetzten Flugzeugkurs. Außerdem nehmen wir konstante Zielgeschwindigkeit in der Größenordnung von 250 m/s an:



Figur 2

Bei der Schußauslösung werden – wie stets – zwei Fehler gemacht. Die Zielgeschwindigkeit wird unrichtig ermittelt und der Flugzeugkurs ebenfalls unrichtig in die Zielloperation eingeführt. Im Augenblick, wo das Geschoss die Zeichenebene durchschlägt, befindet sich das Ziel deshalb nicht im erwarteten Treffpunkt, sondern selbst dann irgendwo im Viereck A B C D, wenn das Flugzeug seit der Schußauslösung weder Kurs noch Geschwindigkeit geändert hat. Die Distanz vom Zielpunkt zum Treffpunkt ist $v_F \cdot t$ und die Strecke a ist $dv_F \cdot t$, falls dv_F die ganze Streuung des Fehlers in der Messung der Geschwindigkeit des Ziels darstellt.

Andererseits ist die Strecke $b = v_F \cdot t \cdot \operatorname{tg} \varphi$, wenn φ die ganze Streuung der Fehlbestimmung des Flugzeugkurses in der Zeichenebene bedeutet.

Neben der Streuung des Vorhaltes dürfte die ballistische Streuung der Geschosse nur eine untergeordnete Rolle spielen, und es kann deshalb wohl gesagt werden, daß die Treffwahrscheinlichkeit umgekehrt zur Größe der Fläche A B C D wächst. Wir sind uns der theoretischen Unzulänglichkeit unserer Erklärung durchaus bewußt, wenn wir sagen, daß die Treffwahrscheinlichkeit im umgekehrten Verhältnis der Fläche A B C D wächst, daß also

$$w = \frac{C}{F} = \frac{C}{dv_F \cdot t \cdot v_F \cdot \operatorname{tg} \varphi}$$

und da dv_F , v_F und φ für bestimmte Verhältnisse nahezu konstant sind,

$$w = \frac{C_1}{t^2}$$

In erster Annäherung ist die Erklärung dagegen genau genug. Nun gilt dies aber wie gesagt nur für den Fall konstanten Flugkurses und konstanter Zielgeschwindigkeit. Liegt ein Kurvenflug, Beschleunigung oder Abbremsung vor, so muß der Exponent erhöht werden. Ein Ziel welches z. B. 6 sec lang mit einer Beschleunigung von 2 g (zirka 20 m/sec²) im Kurvenflug fliegt, weicht von der ursprünglichen Flugachse 350 m ab! Macht der Pilot

freiwillige oder unfreiwillige Pendelungen um den geraden Kurs, so wird dieser Effekt andererseits wieder gemildert.

Daß die Vorhaltestreuung die Garbenstreuung der Waffe in solchen Fällen stark übersteigt, geht schon daraus hervor, daß wir heute im Mittel mit Flugzeuggeschwindigkeiten von 250 m/sec rechnen müssen, also bei einer Geschößflugzeit von 6 sec, die für Schußdistanzen von 3–5 km etwa in Betracht kommt, mit einer Vorhaltestrecke von 1500 m. Eine Fehlschätzung der Flugzeuggeschwindigkeit von 5 %, was für einfache Richtmittel sehr wenig ist, ergibt 75 m Abweichung auf die eine Seite, ebenso viel ein Fehler in der Schätzung der Flugrichtung von 50 ‰, der ebenfalls leicht eintreten kann.

Etwas anders als beim Vorbeiflug verhalten sich die Dinge beim Direktanflug. Hier wird der Fehler in der Schätzung der Flugrichtung sehr klein, da der Pilot bemüht ist, in der Zielachse zu bleiben. Fehler in der Schätzung der Flugzeuggeschwindigkeit sind praktisch ohne Belang, da mit einer sehr gestreckten Geschößflugbahn gerechnet werden kann. Die Geschößgarbenstreuung dürfte hier meistens die Vorhaltestreuung quer zur Flugachse beträchtlich übersteigen.

Die Garbenstreuung steigt wie bekannt nach allen Richtungen etwas progressiv mit der Distanz, nur wenig progressiv mit der Flugzeit. Man darf also hier die Abweichung e etwa mit

$$e = K \cdot t^{1,2} \text{ bis } K \cdot t^{1,4}$$

annehmen; die Fläche der Garbe wächst infolgedessen mit etwa $t^{2,4}$ bis $t^{2,8}$. Hier haben wir den Fall, daß das Ziel gewissermaßen diese Fläche durchstoßen muß, und die Treffwahrscheinlichkeit sinkt mit den reziproken Werten von $t^{2,4}$ bis $t^{2,8}$, genauere theoretische Untersuchung vorbehalten.

Es wäre nun sehr interessant, auch die Fälle zu betrachten, die zwischen dem reinen Vorbeiflug und dem reinen Direktanflug liegen. Es ist nicht anzunehmen, daß die Resultate stark abweichen. Wir würden es trotzdem sehr begrüßen, wenn ein junger Wissenschaftler sich dieses Problem näher betrachten würde.

Wir glauben heute sagen zu dürfen, daß die Treffwahrscheinlichkeit beim Momentanzünder-Flabschießen in allen Fällen mit steigender Flugzeit nach der Gleichung

$$w = \frac{C}{t^m}$$

fällt, wobei m zwischen etwa 2,5 und 3,5 liegt und zwar sowohl beim Vorbeiflug als beim Direktanflug. Diese Formel genügt für Vergleichsrechnungen zwischen verschiedenen Waffen und gleich leistungsfähigen Ziel- und Richtvorrichtungen.

In der Praxis erweist es sich am besten, wenn die Rechnung sowohl für $m = 2,5$ als für $m = 3,5$ durchgeführt wird. In eiligen Fällen rechnet man mit $m = 3,0$.

Wichtig ist ferner, daß die Frage, ob Sperreschießen oder Folgeschießen angewendet wird, hier keine Rolle spielt. In beiden Fällen steigt und fällt die Treffwahrscheinlichkeit mit derselben Potenz der Geschößflugzeit. Dagegen dürfen freilich Waffen, von denen die eine aus konstruktiven Gründen nur zum Sperreschießen geeignet ist, während die andere Ziel- und Richtvorrichtungen aufweist, welche ein Folgeschießen ermöglichen, nicht ohne weiteres miteinander verglichen werden. Dafür wird man nicht ohne statistisch festgestellte Vergleiche der Treffwahrscheinlichkeit beider Waffen auskommen.

Die Verwendung und Bedeutung der relativen Abschußwerte

Mit den vorstehenden Erklärungen betreffend die Abschußerwartung pro Treffer a und die Treffwahrscheinlichkeit w ist es möglich, für jede durch die Flugzeit t gekennzeichnete Entfernung vom Geschütz die beiden relativen Abschußwerte in einfacher Weise zu berechnen.

$$\Omega = \frac{a}{G \cdot t^m}$$

$$\Delta = \frac{a \cdot n}{L \cdot t^m}$$

Da nun beim aufsteigenden Ast der modernen Flabwaffen die Orte gleicher Flugzeiten beinahe genau auf Kugelflächen um das Geschütz liegen, können die Ω - und Δ -Werte auch mit Leichtigkeit für jede Entfernung vom Geschütz berechnet werden, also für jeden Punkt des Raumes. Es genügt, aus der Schußtafel den Zusammenhang zwischen Distanz x und Flugzeit t zu entnehmen.

Für *Vergleichsrechnungen*, bei welchen die gleichen Beschuß-Verhältnisse vorliegen, kann sogar gesagt werden, daß jedem Punkt im Raum ein bestimmter Ω -Wert und ein bestimmter Δ -Wert zugeordnet ist. Diese Festlegung erlaubt eine bedeutende Vereinfachung der weiteren Berechnungen.

Wir wiederholen hier nochmals kurz den Berechnungsvorgang und fügen einige praktische Hinweise bei.

Bekannt sein müssen:

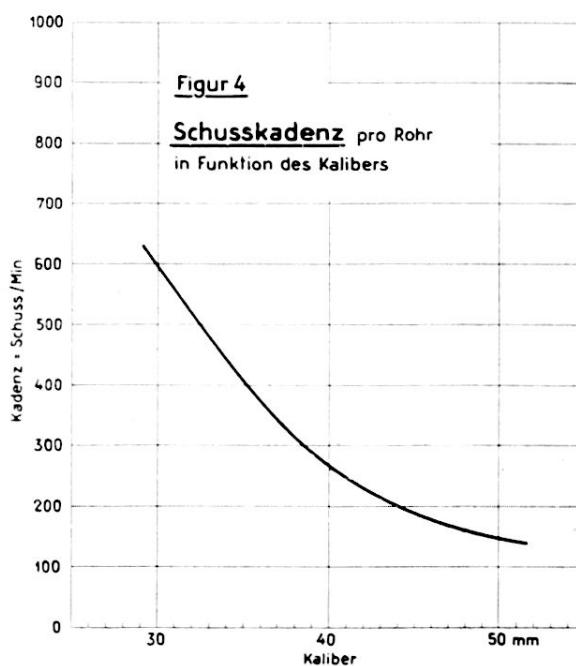
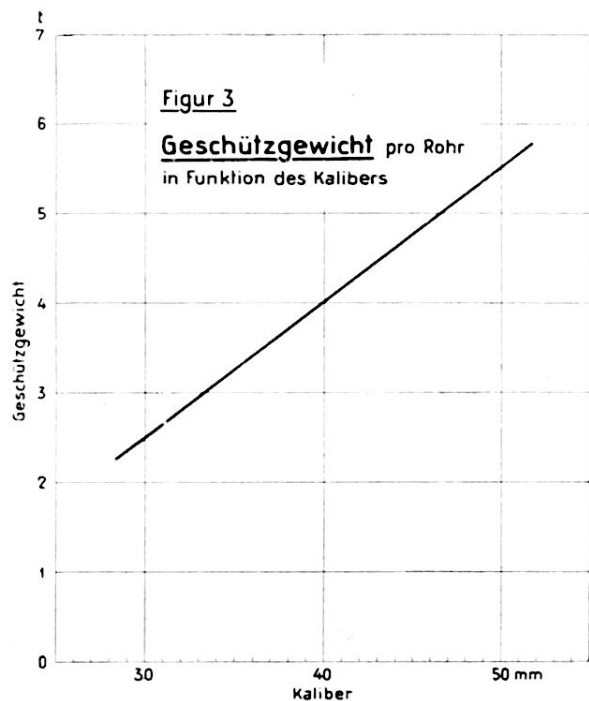
1. Die Flugzeiten in Funktion der Distanz;
2. Der Koeffizient m . Am besten wird die Rechnung separat sowohl für $m = 2,5$ als auch für $m = 3,5$ durchgeführt;
3. Die a -Kurve als Funktion des Geschößgewichtes. Ist die a -Kurve noch

nicht bekannt, so ist ihr Verlauf zu schätzen. Dabei ist auszugehen vom Wert G_1 , dem Geschößgewicht, bei welchem praktisch jeder Treffer einen Abschuß zur Folge hat. Zwischen 0 und G_1 ist gestützt auf Versuchsergebnisse ein leicht konvexer Verlauf der Kurve anzunehmen mit horizontaler Tangente auf der Höhe 1,0 bei G_1 . Oberhalb des Geschößgewichts G_1 ist α konstant = 1,0.

4. Die Schußfolge oder Kadenz n (Schuß pro s)
5. Das Geschützgewicht pro Lauf (bei Zwillingsgeschütz das halbe Gewicht des Totalgewichts). Zu berücksichtigen sind nicht nur die eigentliche Waffe mit Lafette und Zielvorrichtung, sondern der gesamte Aufwand einschließlich der Anteil an Stromaggregat, Transporteinrichtungen, Hilfsgeräten usw.

Von diesen Ausgangswerten ausgehend, werden Ω -Wert und Δ -Wert in Funktion der Distanz berechnet. Die Darstellung erfolgt am besten auf einfach logarithmisch geteiltem Papier.

In nachfolgendem Beispiel sind die Ω -Kurven für drei verschiedene Waffen von gleichem v_0 , Munition von gleicher Querdichte und gleicher ballistischer Form gegeben. Die Geschützgewichte pro Lauf sind der Figur 3 entnommen, welche die heute als angemessen zu betrachtenden mittleren



Gewichte, einschließlich Lafetten und Richtmittel enthält. Die Figur 4 enthält diejenigen Kadenzen (Schußfolgen), die bei solcher Konstruktion heute etwa als normal gelten können. Die n -Werte sind aus dieser Kurve entnommen. Endlich wurden als α -Werte diejenigen gewählt, welchen

$\alpha = 1$ für $G_1 = 1$ kg entspricht und bei uns üblicherweise verwendet wird, und mindestens gegen Flugzeuge der 10-t-Klasse als ausreichend betrachtet werden darf.

Die Ausgangswerte sind also:

| | | | | |
|---------------------------------------|---------|-------|-------|-------|
| Fall | | 1 | 2 | 3 |
| Kaliber | mm | 30 | 40 | 50 |
| v_0 | m/sec | 1050 | 1050 | 1050 |
| Geschößgewicht G | kg | 0,420 | 1,000 | 1,920 |
| Geschützgewicht L | | | | |
| pro Lauf | kg | 2900 | 4100 | 5500 |
| Schußfolge n | Sch/min | 600 | 270 | 150 |
| Koeffizient m | | 3 | 3 | 3 |
| Flugzeit für | | | | |
| x = 4000 m | sec | 6,8 | 5,7 | 5,2 |
| α | | 0,59 | 1,00 | 1,00 |
| $10^3 \Omega_{4000}$ | | 4,38 | 5,39 | 3,67 |
| $10^3 \Delta_{4000} \cdot 10^3$ | | 0,385 | 0,355 | 0,183 |

Das vorstehende Beispiel sagt uns, daß bei Flab-Geschützen der vorausgesetzten Bauart, bei Verwendung identischer Visier- und Richtmittel auf Distanzen von 4000 m der Gewinn an Flugzeit, infolge des kleineren Geschwindigkeitsverlustes beim größeren Geschößkaliber den Nachteil der schlechten Ausnützung des Geschößgewichts beim Treffen nicht auszugleichen vermag, und daß relativ zum aufgewendeten Geschößgewicht hier das Kaliber 40 mm, relativ zum aufgewendeten Geschützgewicht das Kaliber 30 mm, die besten Resultate ergibt. Mehr will diese Rechnung bis hier nicht sagen.

An dieser Stelle möchten wir auf einen Einwand hinweisen, welcher gegenüber dieser Rechnungsmethode gemacht wurde. Es wurde gesagt, daß die Mehrzerstörung durch die Geschosse, die schwerer als G_1 sind, also beim gerechneten Beispiel oberhalb 1 kg, obgleich sie gar nicht etwa wertlos sind und in denjenigen Fällen, wo kein Totalverlust entsteht, zum mindesten die Reparaturzeit stark verlängern, in dieser Rechnung gar nicht zur Auswirkung kommen. Dazu ist zu bemerken, daß auf der andern Seite bei Geschößgewichten unter G_1 diejenige Wirkung, die durch Treffer auf Ziele ausgeübt wird, die schlußendlich doch nicht zum «Abschuß» gelangen, auch nicht ihrer Bedeutung entsprechend gewürdigt wird und daß diese beiden Unterlassungen sich bei Vergleichsrechnungen etwa die Waage halten dürften.

Was aber im gezeigten Beispiel auch nicht zum Ausdruck kommt, jedoch auf keinen Fall vernachlässigt werden darf, ist die Frage der Reichweite und des Wirkungsraumes, auf welche im nächsten Kapitel eingetreten wird.

Die Integration der relativen Abschußwerte

Die Ω - und Δ -Werte als Funktion der Entfernung des Treffpunktes vom Geschütz erlauben für sich allein noch keine Beantwortung aller in der Praxis vorkommenden Fragen. Es kommt vielmehr auf den Verlauf dieser Werte während der Dauer der Kampfhandlung an.

Zu diesem Zwecke müssen die Ω - und Δ -Werte über die ganze im Wirkungsraum liegende Strecke des Kurses des Zielflugzeuges integriert werden.¹ Dabei muß die Integration natürlich nicht über den Weg, sondern über die Zeit erfolgen. Praktisch kommt auch streckenweise Summierung in Frage, wobei per Strecke ein Mittelwert bestimmt und mit der Zeit multipliziert wird, während welcher das Ziel auf dieser Strecke verweilt.

In einer ersten Annäherung kann dabei vernachlässigt werden, daß die Treffwahrscheinlichkeit nicht nur von der Geschosßflugzeit sondern auch von der Größe der Flugzeugprojektion auf die Ebene senkrecht zur Schußrichtung abhängig ist, welche nur im Falle eines kugelförmigen Luftziels konstant bleibt.

Eine genauere Untersuchung muß der effektiven Veränderung dieser Größe auf angemessene Weise Rechnung tragen.

Der Flab-Artillerist kennt die nicht immer ganz einfachen Fragen, wo die ersten Treffer möglich sind, welches die Gründe für zeitweiliges Ausfallen einer Waffe sein können und bis zu welchem Punkt beim Wegflug das Treffen möglich ist. Hier sei nur darauf hingewiesen, daß der Zeitpunkt der Feuereröffnung nicht primär vom Kaliber und den ballistischen Eigenschaften der Munition abhängig ist, sondern meist ausschließlich von den topographischen und meteorologischen Verhältnissen sowie von der Qualität der optischen oder elektronischen Zielvorrichtungen und den Richtgetrieben. Im übrigen möchten wir auf dieses Gebiet nicht näher eintreten.

Nur ein Hinweis sei noch angeführt, nämlich bezüglich der Reichweite. Ganz abgesehen von der Frage der Zielauffassung, welche meist die größte Schußdistanz bestimmt, spielt doch auch das ballistische Verhalten der Geschosse eine Rolle, namentlich beim Wegflug. Es ist jedoch nicht etwa die

¹ Verlangt man von der Waffe, daß sie ihre Wirkung vor der Erreichung eines bestimmten Punktes ausübt, z. B. bei Direktangriff vor dem Abschußpunkt, so ist selbstverständlich nur die Strecke vom ersten Treffer bis an diesen Punkt zu erfassen und für Vergleiche mit anderen Waffen heranzuziehen.

Envelope sämtlicher Flugbahnen, welche die Reichweite bestimmt, auch nicht die Grenzlinie der Selbstzerstörung. Die wirkliche Reichweite ist kürzer und liegt ganz einfach dort, wo sich der Aufwand nicht mehr lohnt, d. h. wo der Ω -Wert und der Δ -Wert unter einen bestimmten Wert absinkt, z. B. auf einen Zehntel des für bekannte Waffen auf mittlere Distanz vorhandenen Wertes. Die Betrachtung des Verlaufes dieser Werte zeigt eindrucklich, wie stark diese mit der Distanz fallen und läßt es begreiflich erscheinen, wenn heute die Möglichkeit der Verwendung solcher Waffen auf Distanzen von über 4000 m als höchst problematisch betrachtet wird.

Es gibt Fälle, wo schon die Betrachtung der über die Entfernung aufgetragenen Ω - und Δ -Werte eine genügende Antwort auf eine Frage gibt, dann nämlich, wenn für den Vergleich zweier Waffen die relativen Abschußwerte eindeutig auf der ganzen Distanz zugunsten der einen Waffe sprechen.

In der Praxis dient der Vergleich der Ω - und der Δ -Werte, bzw. ihrer Integrale zur Beantwortung von Fragen der folgenden Art:

1. *Gegeben* mehrere Waffen von bekannter Konstruktion, die sich gegenseitig unterscheiden:
 - a nach Kaliber
 - b nach Anfangsgeschwindigkeit
 - c nach Geschossgewicht oder Patronengewicht
 - d nach ballistischen Eigenschaften der Munition
 - e nach Schußfolge (Kadenz)
 - f nach Geschützgewicht.

Gesucht: Wie verhalten sich die Aufwände der verschiedenen Waffen in bezug auf Munition und auf Geschützgewicht beim Vorliegen bestimmter Flugfiguren?

Es können auch Waffen verglichen werden, bei denen mehrere der Eigenschaften a bis f gleichzeitig voneinander abweichen.

2. Der im Vorbeiflug auf eine bestimmte Wechsellpunktdistanz mit der bekannten Waffe A pro Abschuß erforderliche Munitionsaufwand wird als tragbar betrachtet.

Wie groß ist die Wechsellpunktdistanz einer ebenfalls bekannten Waffe B für Vorbeiflüge, bei denen pro Abschuß derselbe Munitionsaufwand erforderlich, bzw. die gleiche Abschußwahrscheinlichkeit vorhanden ist.

3. Wenn es gelingt, eine Waffe durch Verbesserung der Zieleinrichtung so zu verbessern, daß die Feuereröffnung um ein bestimmtes Maß früher erfolgen kann, um wieviel erhöht sich dann die Abschußwahrscheinlich-

keit: Lohnen sich die damit verbundenen Kosten und der Gewichtsauflwand?

Es sei hier nochmals darauf hingewiesen, daß nur Waffen verglichen werden können, die sich in nichts anderem unterscheiden, als in denjenigen Werten, die direkt oder indirekt in die Berechnungsformeln für Ω und Δ eingehen.

Die Beziehungen zwischen dem Ω -Wert und dem Δ -Wert

Wir sind uns bewußt, daß es für den Gebraucher einfacher wäre, wenn an Stelle der beiden Werte Ω und Δ ein einziger Wert gesetzt werden könnte, der ganz allgemein einen Wertmaßstab für die im Vergleich stehenden Waffen bilden würde, doch scheitern alle diesbezüglichen Versuche daran, daß zu willkürliche Annahmen gemacht oder sonst den Verhältnissen Zwang angetan werden müßte.

Vor allem wäre eine Annahme über die Dauer und den Verlauf des Feldzuges, in welchem die Waffen eingesetzt werden sollten, unerläßlich. Man müßte wissen, wie viele Einsätze im Mittel möglich sind, bis die Waffe aus einem der vielen, im Kriege möglichen Gründe verloren geht. Man müßte eine Annahme über den im Mittel pro Einsatz entstehenden Munitionsaufwand machen. Man müßte sich auch zu einer Annahme über die Möglichkeit, ausgeschossene Läufe zu ersetzen, entschließen – kurz, Hypothesen aufstellen, die über das Reich der Technik hinausgehen.

Nimmt man die Möglichkeit sehr vieler Einsätze, großer Schußzahlen pro Waffe an, so lohnt es sich eher, schwere Geschütze zu bauen, die Wichtigkeit des Ω -Wertes übersteigt dann beträchtlich diejenige des Δ -Wertes. Ist dagegen mit dem raschen Verlust einer Waffe zu rechnen, muß man eher die Waffe mit hohem Δ -Werte wählen.

Beispiel: Es liegen zwei Waffen A und B vor, die das gleiche Geschöß mit verschiedenem v_0 verfeuern. Wir wählen zum Vergleich die Verhältnisse beim Beschuß auf ein um das Geschütz in konstanter Entfernung kreisendes Ziel, wobei die Flugzeit in einem Falle 5,87 sec, im andern 4,65 sec beträgt. a betrage 1,0; m wird mit 3 geschätzt. Die übrigen Werte seien folgende:

| Waffe | | A | B |
|----------------|----------------|------|-------|
| t | s | 5,87 | 4,65 |
| t ³ | s ³ | 200 | 100 |
| G | kg | 1,0 | 1,0 |
| n | Sch/sec | 20 | 10 |
| L | kg | 2000 | 3000 |
| Dann wird | $10^3 \Omega$ | 5,0 | 10,0 |
| | $10^3 \Delta$ | 0,05 | 0,033 |

d. h. Waffe A braucht pro Abschluß die doppelte Munitionsmenge als Waffe B. Um *in der gleichen Zeit* einen Abschluß zu erreichen, muß 50 % mehr Waffengewicht Typ B als Typ A eingesetzt werden.

Nehmen wir an, daß sich bei Waffe A auf 2000 Schuß, bei Waffe B auf 1000 Schuß ein Abschluß ergibt, ferner daß je 20 Geschütze eingesetzt sind, womit sich das ausgerechnete Verhältnis an Geschützgewicht ergibt (40000:60000). Nehmen wir ferner der Einfachheit halber an, der Kilopreis von Waffe und Munition sei derselbe. Welche Waffe ist nun die wirtschaftlichere? Dies hängt von der Zahl der Einsätze ab.

| Anzahl Abschüsse | Waffe A | | | | Waffe B | | | |
|---------------------|------------------|-------------------|----------------------|---------|------------------|-------------------|----------------------|--------|
| | Mun.- gewicht | Geschütz- zahl | Geschütz- gewicht | Total | Mun.- gewicht | Geschütz- zahl | Geschütz- gewicht | Total |
| | kg | | kg | kg | kg | | kg | kg |
| 1 | 2 000 | 20 | 40 000 | 42 000 | 1 000 | 20 | 60 000 | 61 000 |
| 10 | 20 000 | 20 | 40 000 | 60 000 | 10 000 | 20 | 60 000 | 70 000 |
| 20 | 40 000 | 20 | 40 000 | 80 000 | 20 000 | 20 | 60 000 | 80 000 |
| 30 | 60 000 | 20 | 40 000 | 100 000 | 30 000 | 20 | 60 000 | 90 000 |

Wie ersichtlich, ist im gewählten Beispiel die Lösung A günstiger, wenn nicht mit sehr großen Schußzahlen pro Geschütz gerechnet wird. Wenn gefragt wird, warum 20 Geschütze angenommen wurden und nicht nur 10 oder 6, so muß darauf geantwortet werden, daß es eine gewisse Feuersdichte braucht. Theoretisch könnte auch ein einziges Geschütz, das zudem im Einzelfeuer schießt, auf 2000 oder 1000 Schuß einen Abschluß erzielen. Das Geschütz könnte dann äußerst leicht gebaut werden und wäre damit in bezug auf den Δ -Wert weit im Vorteil. Es würde aber eine unvorstellbar lange Zeit benötigt, bis ein Abschluß erfolgen würde, ein militärischer Unsinn.

Nun haben die Ω - und Δ -Werte über die Darstellung der erforderlichen Gewichte hinaus eine weitergehende Bedeutung. Der Ω -Wert ist nicht nur repräsentativ für das Geschößgewicht, sondern für das Munitionsgewicht überhaupt, einschließlich Hülsen, Ladungen, Verpackungen usw. Darüber hinaus bildet er einen Maßstab für das auf dem ganzen Nachschubweg zu transportierende und zu manipulierende Gewicht und die dafür erforderliche Mannschaft.¹ Der Δ -Wert andererseits bildet eine Darstellung nicht

¹ Wir haben schon weiter oben ausgeführt, daß man deshalb unter Umständen den Ω -Wert auch durch einen Wert ersetzen kann, bei dem man statt dem Geschößgewicht das Patronengewicht einsetzt. Wir haben diesen Ersatz- Ω -Wert auch schon Φ -Wert genannt.

nur des Geschützgewichtes allein, sondern auch des erforderlichen festen Aufwandes an Geschützbedienung, allgemeinem Korpsmaterial, Transportmittel usw. Es wäre natürlich möglich, diese Zusammenhänge noch weiter auszufeuern, doch fehlt es uns auch hier an der erforderlichen Zeit.

Die militärische Behörde, welche den Entschluß für die Einführung der einen oder andern Fliegerabwehrwaffe zu fassen hat, ist übrigens stets gezwungen, sich mit dem Problem der gegenseitigen Wichtigkeit des Aufwandes an Geschützmaterial und Munition auseinanderzusetzen. Sie tut es indirekt, indem sie die benötigte Schußzahl pro Waffe festsetzt und damit zum Ausdruck bringt, welche Lebensdauer sie im kommenden Feldzug für dieses Material voraussetzt.

Schlußbemerkungen

Die beschriebene Methode der Ω - und Δ -Werte kann dazu dienen, die Leistungsfähigkeit der Mittelkaliber-Fliegerabwehrwaffen besser zu bestimmen, als es mit den üblichen Faustformeln, welche sich nur auf Kaliber und Geschößflugzeit stützen, oder gar von gefühlsmäßigen Überlegungen ausgehen, möglich ist.

Sie ist nur insofern einwandfrei, als sie diesen bisherigen Methoden gegenüber einen sehr wesentlichen Fortschritt bedeutet, doch kann sie freilich noch ausgeschliffen und verfeinert werden. Dabei darf der Theoretiker jedoch nicht vergessen, daß in der heutigen Zeit, die rasche Entschlüsse verlangt, der rechnerische Aufwand einer Methode in vernünftigem Rahmen bleiben muß und der Praktiker durch zu komplizierte theoretische Ableitungen eher abgeschreckt wird. Die Methode muß klar und übersichtlich bleiben.

Wir verkennen keineswegs, daß neben den rein technisch-ballistischen Fragen andere Probleme vorliegen können, die für die zu fassenden Entschlüsse vielleicht noch wichtiger sind und den Ausschlag geben können. Insbesondere können Fragen der Ausbildung, der Preise, der Lieferfristen, der Arbeitsbeschaffung für das eine oder andere Werk, sowie innen- und außenpolitische Überlegungen zu Argumenten werden, neben denen die rein technischen Gesichtspunkte zurückzutreten haben. Erfahrungsgemäß spielt auch die Frage des bereits vorhandenen Materials, die Abneigung auf neue Konstruktionsprinzipien überzugehen, eine gewisse Rolle. Es ist durchaus richtig, auch solche Fragen zu berücksichtigen.

Es ist nur unstatthaft, einen Entschluß, den man in Wirklichkeit aus gefühlsmäßigen oder aus anderen nicht technischen Erwägungen gefaßt hat, mit nachweisbar falschen technischen Argumenten begründen zu wol-

len. Wir hoffen, daß die mitgeteilte Berechnungsmethode dazu beitragen kann, die guten und die falschen technischen Erklärungen voneinander zu unterscheiden.

★

Am Zustandekommen dieser Arbeit haben viele meiner Mitarbeiter direkt und indirekt mitgewirkt, in besonders intensiver Weise Oberstlt. P. Oberholzer.

Anhang: Berechnungsbeispiel.

3 Waffen verschiedenen Kalibers, aber von gleichem v_0

Ballistik gemäß Fig. 5

Kadenzen gemäß Fig. 4

Geschützgewichte gemäß Fig. 3

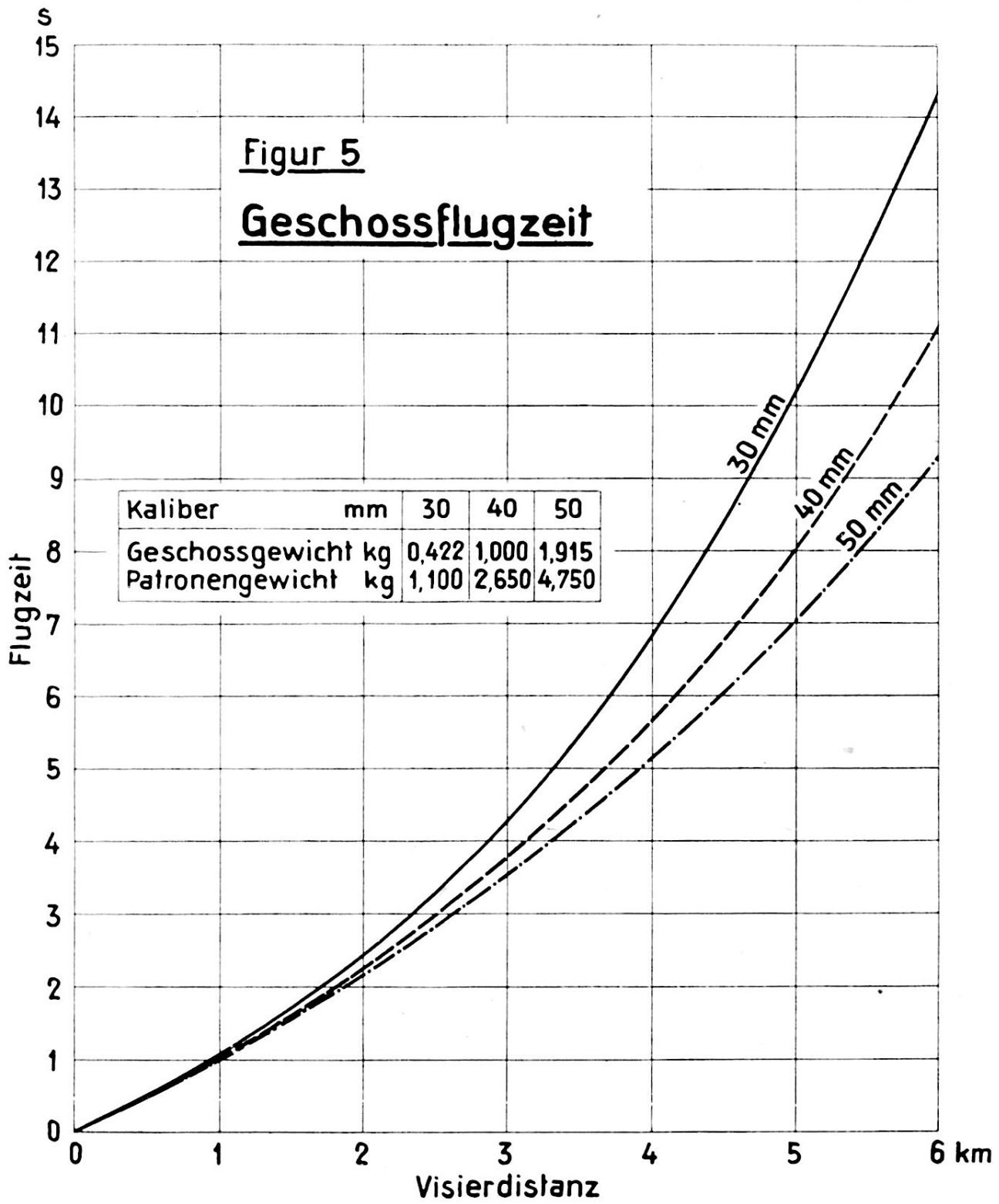
Omega- und Deltawerte, berechnet für

$\alpha = 1$ bei $G = 1$ kg und $G = 2$ kg

$m = 2,5$ und $m = 3,5$

(Fig. 6, 7, 8 und 9)

Man beachte den großen Einfluß des α -Wertes und den relativ kleinen Einfluß des Exponenten m .



Figur 6

Relative Abschusswahrscheinlichkeit Ω

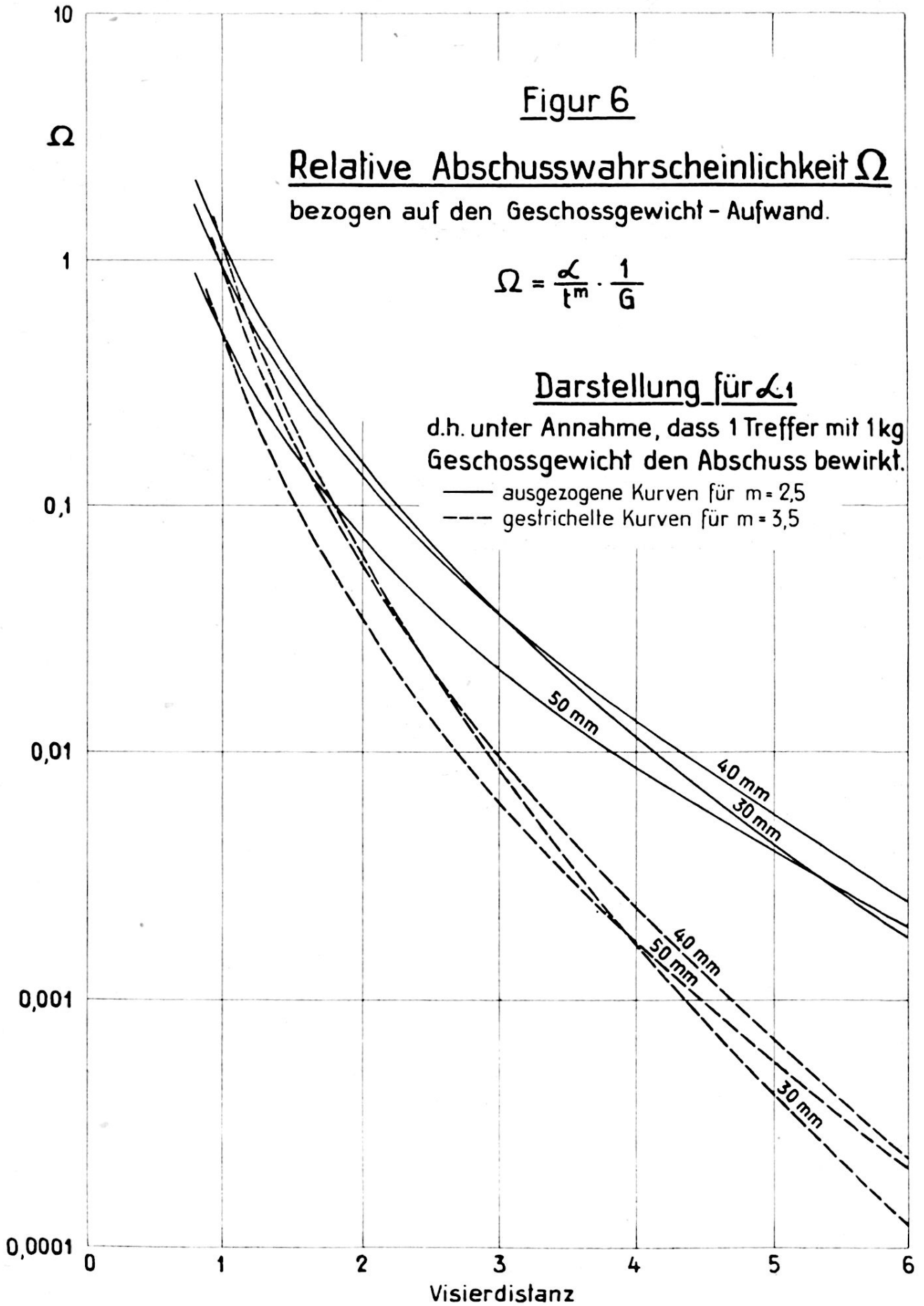
bezogen auf den Geschossgewicht - Aufwand.

$$\Omega = \frac{\mathcal{L}}{t^m} \cdot \frac{1}{G}$$

Darstellung für \mathcal{L}_1

d.h. unter Annahme, dass 1 Treffer mit 1 kg Geschossgewicht den Abschuss bewirkt.

- ausgezogene Kurven für $m = 2,5$
- - - gestrichelte Kurven für $m = 3,5$



Figur 7

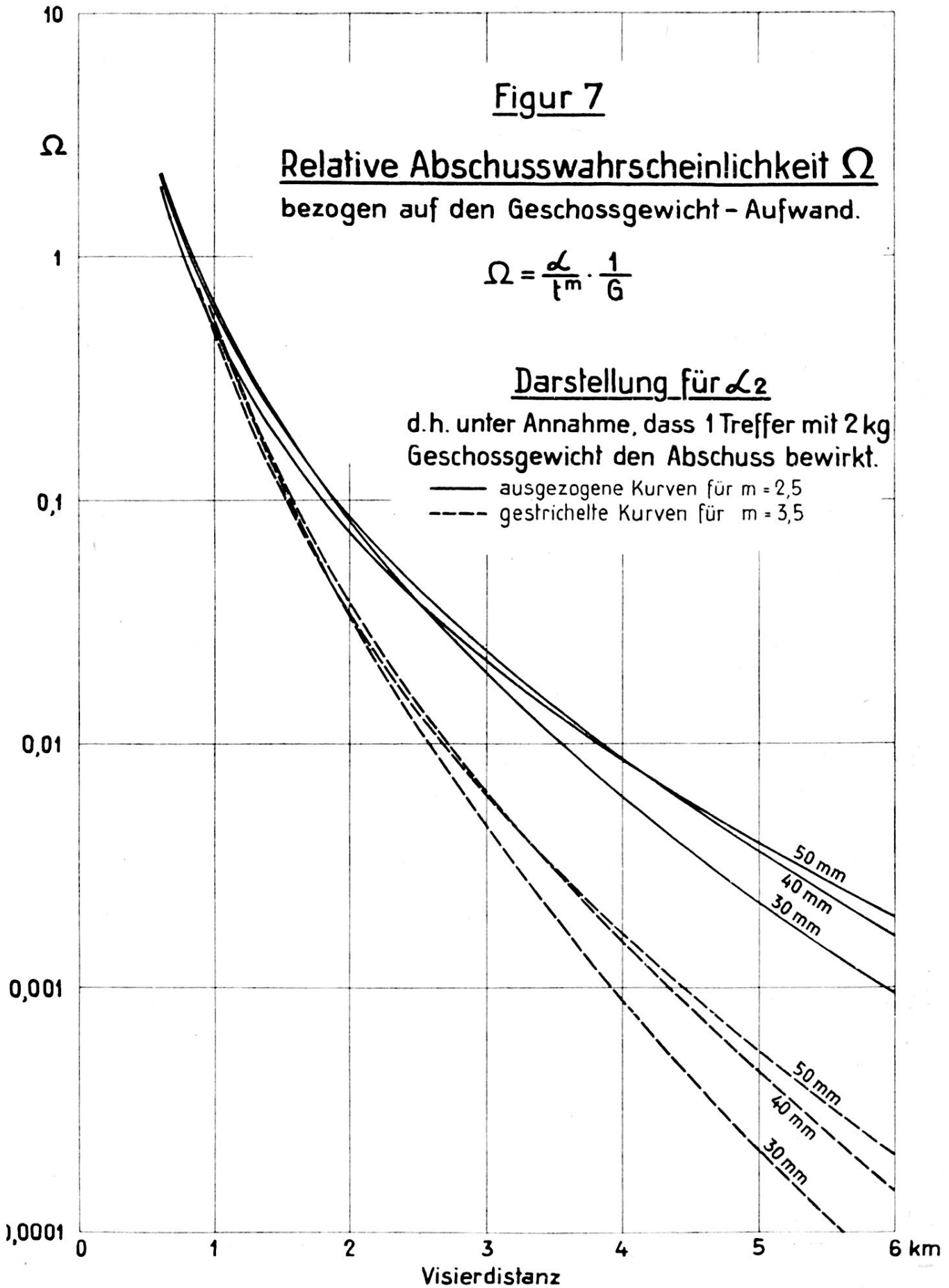
Relative Abschusswahrscheinlichkeit Ω
bezogen auf den Geschossgewicht - Aufwand.

$$\Omega = \frac{\alpha}{t^m} \cdot \frac{1}{6}$$

Darstellung für α_2

d.h. unter Annahme, dass 1 Treffer mit 2 kg
Geschossgewicht den Abschuss bewirkt.

- ausgezogene Kurven für $m = 2,5$
- - - gestrichelte Kurven für $m = 3,5$



Figur 8

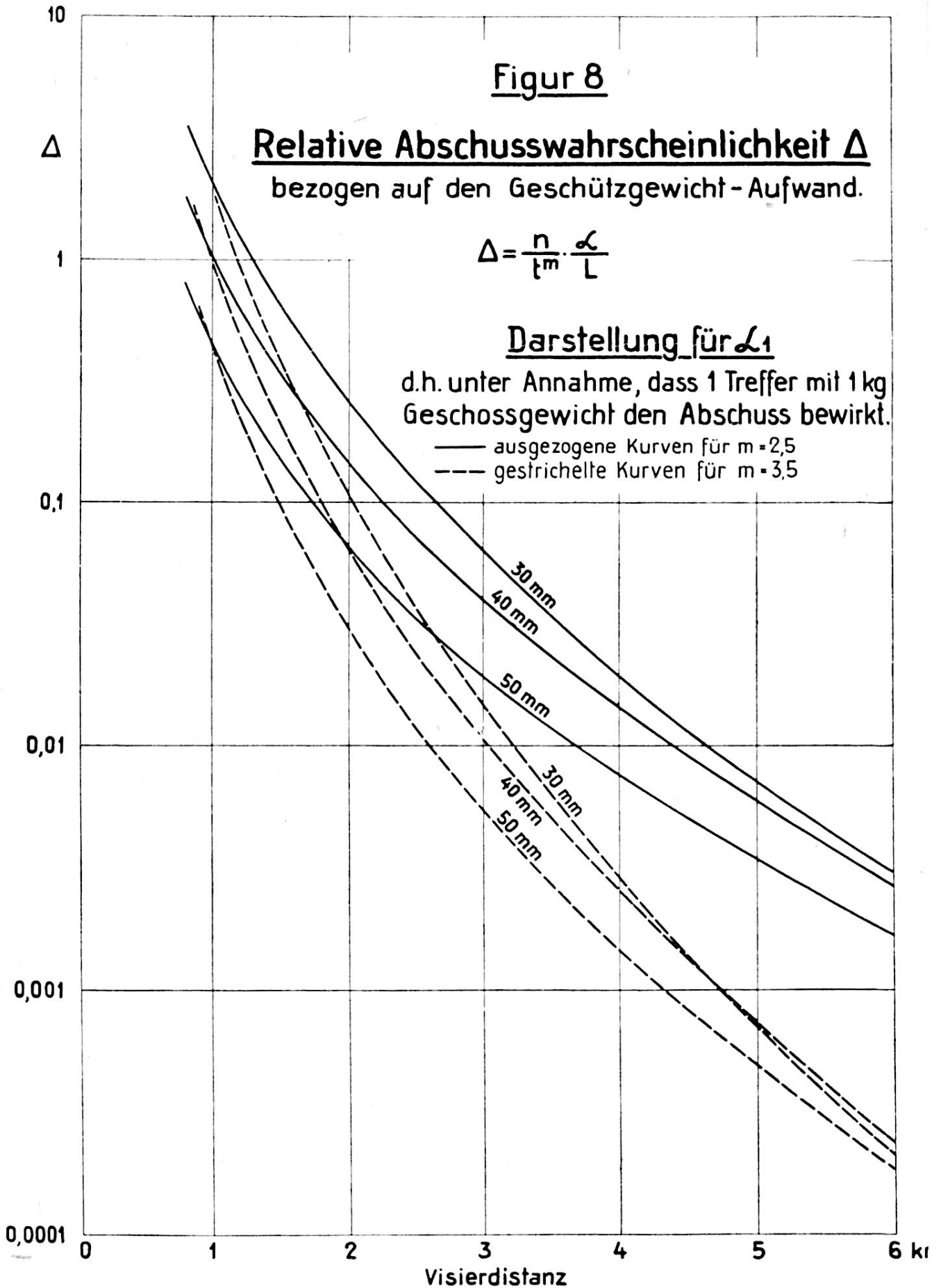
Relative Abschusswahrscheinlichkeit Δ
bezogen auf den Geschützgewicht-Aufwand.

$$\Delta = \frac{n}{t^m} \cdot \frac{\alpha}{L}$$

Darstellung für α_1

d.h. unter Annahme, dass 1 Treffer mit 1 kg
Geschossgewicht den Abschuss bewirkt.

- ausgezogene Kurven für $m = 2,5$
- - - gestrichelte Kurven für $m = 3,5$



Figur 9

Relative Abschusswahrscheinlichkeit Δ

bezogen auf den Geschützgewicht - Aufwand.

$$\Delta = \frac{n}{t^m} \cdot \frac{\mathcal{L}}{L}$$

Darstellung für \mathcal{L}_2

d.h. unter Annahme, dass 1 Treffer mit 2 kg
Geschossgewicht den Abschuss bewirkt.

- ausgezogene Kurven für $m = 2,5$
- - - gestrichelte Kurven für $m = 3,5$

