

Zeitschrift: ASMZ : Sicherheit Schweiz : Allgemeine schweizerische
Militärzeitschrift

Herausgeber: Schweizerische Offiziersgesellschaft

Band: 117 (1951)

Heft: 2

Anhang: Die Verwendung von Radar in unseren Verhältnissen

Autor: Wildi, Max

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.07.2025

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

Die Verwendung von Radar in unseren Verhältnissen

Von Oblt. Max Wildi

Beilage zur «Allgemeinen Schweizerischen Militärzeitschrift» / Februar 1951

Druck von Huber & Co. AG, Frauenfeld

Die nachstehende Arbeit wurde unter den Preisaufgaben der Schweizerischen Offiziersgesellschaft für das Jahr 1949 mit dem ersten Preis ausgezeichnet. Gegenüber dem Originaltext, der schon Ende 1948 dem Preisgericht eingereicht wurde, mußten aus Gründen der Geheimhaltung einige Punkte etwas gekürzt oder abgeändert werden.

Der Zentralvorstand der Schweizerischen Offiziersgesellschaft freut sich, diese wertvolle Arbeit der Öffentlichkeit zugänglich machen zu können. Er hofft, mit dieser Publikation auch einen Beitrag zu leisten zur Förderung des Radarproblems in unserem Lande.

I N H A L T

1. Einleitung.....	7
2. Kurzer Abriß der Radartechnik.....	10
3. Die Anwendungsmöglichkeiten von Radar....	21
4. Die Luftraum-Überwachung.....	22
5. Die Luftraum-Verteidigung.....	40
6. Die Anwendung von Radar für andere Zwecke	57
7. Radargegenmaßnahmen.....	60
8. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen.....	65
Literatur-Verzeichnis.....	69
Anhang I, II, III.....	70

Einleitung

Das Wort «Radar» ist heute bald jedermann geläufig. Die mit diesem Ausdruck verbundenen Vorstellungen sind jedoch im allgemeinen noch sehr unklar. Das Wort «Radar» sagt aber selbst schon aus, um was es sich hierbei handelt; es ist nämlich die Abkürzung für *RADIO DEDECTION AND RANGING*, was mit andern Worten besagen will, daß Radiowellen zum Aufspüren und Einmessen von «Gegenständen» verwendet werden.

Zur Wahrnehmung von Gegenständen stehen dem Menschen heute verschiedene Mittel zur Verfügung, so zum Beispiel die Sinnesorgane. Warum greift nun aber dieser Mensch gerade zu den Radiowellen, das heißt zu elektromagnetischen Übertragungsmitteln, deren Empfang ja seinen Sinnesorganen versagt ist? Der Grund liegt in erster Linie im allgemeinen Streben der Kriegstechnik nach Waffen, welche zunehmende Fernwirkung besitzen. Diese Tendenz wird am besten durch die Entwicklungskette «Hellebarden-Gewehr-Geschütz-Flugzeug-Fernrakete» illustriert. Parallel zu dieser Waffenentwicklung mußten auch zwangsläufig die Mittel zur Feststellung dieser Waffen ausgebaut werden. Diese zweite Entwicklungsreihe lautet etwa: «Augen-Feldstecher-Schallmeßgeräte-Radar».

Typisch für alle diese Feststellungsmittel ist, daß sie als verbindendes Glied zwischen feindlicher Waffe und Beobachter sogenannte Wellen als Übertragungsmittel benützen. Wir tun deshalb gut daran, uns zunächst einmal nach allen heute bekannten Wellen umzusehen. Wir benützen dazu die Figur 1.

Bei dieser Betrachtung wollen wir versuchen, diejenigen Wellen herauszusuchen, welche als *Übertragungsmittel für möglichst große Distanzen* geeignet sind, um mit denselben zum Beispiel Fernwaffen oder schnellbewegliche Ziele auffinden und lokalisieren zu können. Grundsätzlich können wir uns alle in Figur 1 aufgetragenen Wellen für die Wahrnehmung von Gegenständen nutzbar machen. Gewisse physikalische Eigenschaften engen jedoch die Anwendungsgebiete derselben stark ein. So ist zum Beispiel heute be-

kannt, daß alle Wellen, die eine kleinere Wellenlänge als zirka 1 bis 2 Zentimeter haben, in der normalen Atmosphäre, die ja in fast allen Fällen durchdrungen werden muß, sehr stark gedämpft werden. Die Intensität der uns bekannten Strahlungsquellen für Höhen-Gamma- und Röntgenstrahlen (inklusive Atombomben) reicht kaum aus, um einige Kilometer zu überbrücken. Wenn das sichtbare Licht bei der Kriegführung (und auch im Leben

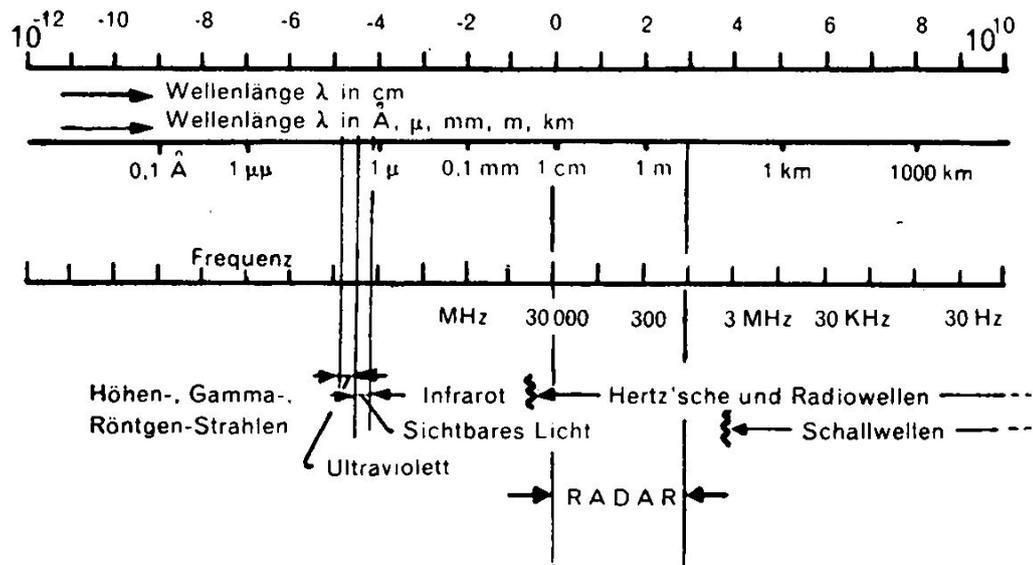


Fig. 1. Wellenspektrum

allgemein) bis heute eine so überragende Rolle gespielt hat, so liegt dies daran, daß das menschliche Auge als Empfänger für diese Wellenlängen geradezu ideal ist und somit keine oder nur einfache Hilfsgeräte zur Auswertung benötigt. Es ist aber unverkennbar, daß heute die prädominierende Stellung des sichtbaren Lichtes mehr und mehr eingeengt wird. Auch das Infrarot, das ja leichte Nebel noch zu durchdringen vermag, weist eine sehr beschränkte Reichweite von bestenfalls einigen Kilometern auf.

Von den langwelligeren Strahlen fällt der Schall für die Wahrnehmung sehr schneller Ziele ebenfalls weg, da er nur eine relativ kleine Fortpflanzungsgeschwindigkeit hat (300 m/sec). Aber auch abgesehen davon hat die Schallmessung den Nachteil, daß

1. das zu lokalisierende Objekt selbst eine Schallquelle mitführen muß (eine Echolotung scheint heute aus energetischen Gründen undurchführbar),
2. auch der Schall in der Luft stark absorbiert wird und
3. daß die Fortpflanzung durch Wind, Reflexionen an Berghängen, Temperatur usw. stark beeinflusst wird.

Wesentlich günstiger verhalten sich die noch verbleibenden langwelligen elektromagnetischen Strahlen, welche kurz Radiowellen genannt werden. Diese können die normale Atmosphäre fast ungehindert passieren und werden auch durch Nebel, Wolken sowie leichten Regen- und Schneefall nur wenig gedämpft (siehe Anhang I).

Diese günstigen Eigenschaften waren es, welche ab ungefähr 1935 die Wissenschaftler und Militärs der ganzen Welt veranlaßten, Geräte auf der Basis der *Radiowellentechnik* zur Wahrnehmung von relativ weitentfernten Zielen, im besonderen Flugzeuge, zu suchen und zu entwickeln. Als im Jahre 1940/41 den Engländern die Erfindung des Hochleistungsmagnetrons – einer Energiequelle für kurzwellige Radiowellen und für sehr große Leistungen – gelang, konnte die Reichweite dieser neuen Geräte fast sprunghaft auf 200 bis 300 Kilometer erhöht werden. Diese neuentstandene Technik wurde RADAR genannt.

Unsere Untersuchungen des gesamten Frequenzspektrums (Figur 1) haben uns auf die Radartechnik geführt. Die Zielsetzung war, ein Übertragungsmittel für sehr große Distanzen zu finden. Dies ist mittels Radar möglich, doch sind diese Apparaturen (wir werden sie in Abschnitt 2 noch näher kennenlernen) ziemlich kompliziert. Es empfiehlt sich deshalb, Radargeräte nur dort einzusetzen, wo sie bei der heutigen Kriegführung unerlässlich sind, also dort, wo keine auch nur angenähert gleichwertigen Mittel zur Verfügung stehen. Aus dem oben Erwähnten geht hervor, daß Radargeräte in allererster Linie zur *Wahrnehmung von Flugzeugen* geeignet sind. Einige andere Anwendungsgebiete spielen, abgesehen von der Verwendung von Radar bei der Schifffahrt, eine untergeordnete Rolle.

Die vorliegende Arbeit hat zum Hauptzweck, die Vor- und Nachteile von Radar bei der Luftraum-Überwachung und -Verteidigung – unter besonderer *Berücksichtigung der schweizerischen Verhältnisse* – gegenseitig abzuwägen.

Bevor aber über den Wert neuer Geräte diskutiert werden kann, muß zuerst die Existenzberechtigung der betreffenden Waffen abgeklärt werden.

Die grundlegende Frage, ob sich die Schweiz überhaupt verteidigen solle, wird zweifellos vom Schweizervolk eindeutig bejaht.

Fraglicher ist schon, ob sie sich auch in der Luft zu verteidigen habe. Während die erste Frage vom Volke zu entscheiden ist, obliegt die Beantwortung der zweiten Frage unserer militärischen Führung. Glücklicherweise haben nun gerade in neuerer Zeit sowohl der Bundesrat als auch der Generalstabschef hiezu ein deutliches Ja ausgesprochen (vergleiche [1] und [2] *). Die Gründe hiefür können kurz wie folgt zusammengefaßt werden:

* Zahlen in eckigen Klammern verweisen auf das Literatur-Verzeichnis, Seite 69.

1. Die Luftraum-Überwachung bildet die Grundlage für eine rechtzeitige Alarmierung der Armee, der Bevölkerung und der Industrie.
2. Eine Landarmee ohne Luftraum-Verteidigung kann mit Bomben und mit Bordwaffen ungestört angegriffen und zum Teil vernichtet werden.
3. Im Zeitalter der Flugzeuge ist damit zu rechnen, daß große feindliche Truppenverbände aus der Luft abgesetzt werden (vergleiche Literatur-Verzeichnis [3]). Diese Truppen sind aber, solange sie noch in der Luft sind, ganz besonders verwundbar.
4. Im Neutralitätsfall übernimmt die Luftraum-Verteidigung luftpolizeiliche Funktionen.

Mit der Bejahung der allgemeinen Verteidigung und der Luftraum-Überwachung und -Verteidigung im speziellen sind die Grundlagen für die Weiterbehandlung der Radarfrage geschaffen. Unsere Aufgabe besteht darin, festzustellen, für welche Waffen Radar ausschlaggebende Vorteile aufweist. Es wird sich dabei in erster Linie um unseren Fliegerbeobachtungs- und -meldedienst (Fl.B.M.D.) und um unsere Flieger- und Flab-Truppen handeln.

2. Abschnitt

Kurzer Abriß der Radartechnik

Dieser Abschnitt soll dazu dienen, dem Nicht-Radartechniker in möglichst knapper Form das Wesentliche der Radartechnik, besonders im Hinblick auf unsere Verhältnisse, zu vermitteln. Im übrigen muß auf die Fachliteratur verwiesen werden.

Ein *Radargerät* besteht im wesentlichen aus: a. einem Sender als Energieerzeuger für elektromagnetische Wellen, b. einer Antenne, welche diese Energie in den Raum abstrahlt, c. einem Empfänger, zur Verstärkung eines allfällig durch dieselbe Antenne aufgefangenen «Echos», und d. einem Anzeigegerät, wo dieses Echo dem menschlichen Auge sichtbar gemacht wird. (siehe Figur 2).

Der *Sender* besteht aus einer geeigneten Spannungsquelle (meistens Modulator genannt) und der Senderöhre. Der Modulator liefert bei der sogenannten Impulstastung periodisch einen sehr kurzen, jedoch kräftigen Spannungsimpuls, welcher in der Senderöhre in ein ebenso kurzes «Wellenpaket» umgewandelt wird. Bei sogenannter «Dauerstrich-Tastung» sind

Modulator und Senderöhre dauernd im Betrieb. Der Sender gibt dann eine ungedämpfte Hochfrequenz-Schwingung ab.

Die «Dauerstrich»-Apparaturen haben den Vorteil, daß für eine gegebene Reichweite die Spitzenleistung und, was wesentlich für die Konstruktion und Größe der Apparatur ist, die Höchstspannung verhältnismäßig klein sind. Leider ist aber die Entfernungsmesseinrichtung bei diesen Geräten viel komplizierter als bei impuls-gesteuerten Radargeräten (vergleiche Literatur: [5a, Bd. I. S. 156] und [7]. Außerdem haftet ihnen grundsätzlich eine gewisse Trägheit an. Diese ist in der schmalen Empfangs-Bandbreite mit den naturgebundenen großen Einschwingzeiten begründet.

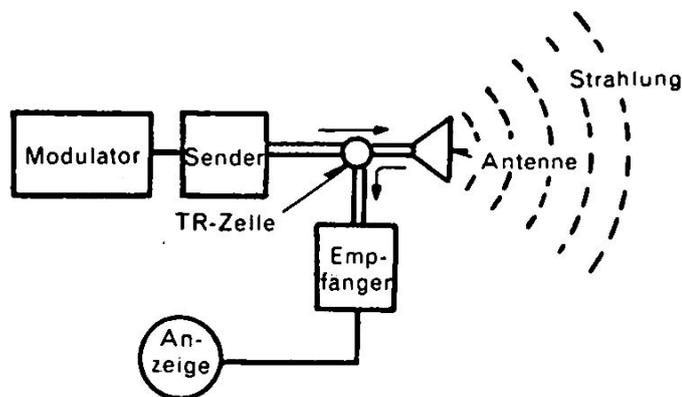


Fig. 2. Blockschema eines Radargerätes

Dauerstrich-Geräte haben sich deshalb bis heute nur für spezielle Anwendungsgebiete (zum Beispiel Höhenmesser für Flugzeuge) bewährt.

Der weitaus überwiegende Teil der Radargeräte wird impuls-moduliert. Als Senderöhre kommt heute fast ausschließlich das im Jahre 1940 in England erfundene Magnetron zur Anwendung. Mit ihm ist es möglich, Wellenlängen in der Größenordnung von cm zu erzeugen. Die Impulsdauer beträgt heute etwa $0,2 \div 3,0 \mu\text{sec}$. ($1 \mu\text{sec} = 10^{-6} \text{ sec}$). Die Impulsfolge variiert zwischen 500 und 3000 pro Sekunde. Im Intervall zwischen den Impulsen wird der Empfänger eingeschaltet, um eventuell zurückkommende «Echosignale» zu empfangen.

Die Spitzenleistung, das heißt die Leistung während des Impulses, kann beim Magnetron sehr hoch getrieben werden:

Wellenlänge	25	10	3	1,25 Zentimeter
Spitzenleistung	1000	800	250	50 Kilowatt
(mittlere in Geräten realisierte Werte)				

Aus physikalischen Gründen muß die erzeugbare Leistung mit der Wellenlänge stark abnehmen.

Die Antenne eines Radargerätes weicht von der Form einer Radioantenne sehr stark ab, weil die elektromagnetischen Wellen — nicht wie beim Radio möglichst nach allen Seiten — ganz im Gegenteil möglichst stark gebündelt abgestrahlt werden sollen. Eine Ziellokalisierung bezüglich der

Richtung ist nur mit einem gebündelten Strahl möglich. Je stärker die Bündelung ist, desto genauer kann die Richtung bestimmt werden und desto näher können zwei Objekte beieinander liegen, ohne daß sie im Anzeigerät des Radar ineinander verschmelzen. Diese letztere Eigenschaft wird das Auflösungsvermögen für die «Seite» («Seite» = Winkel in der Horizontalebene, meistens nach Norden orientiert) respektive für den Lagewinkel (= Winkel in der Vertikalebene) genannt.

Eine starke Bündelung hat außerdem noch den Vorteil, daß die Energie in eine bestimmte Richtung konzentriert und damit die Reichweite ganz erheblich gesteigert wird, ohne daß der Sender mehr Leistung abzugeben braucht (Formelmäßiger Zusammenhang siehe Anhang Ia).

Ein dritter Vorzug der Bündelung ist die kleinere Anfälligkeit gegen äußere Störsender (siehe 7. Abschnitt).

Die Art und Weise, wie die Bündelung oder Richtstrahlung zustande kommt, kann hier nicht im Detail behandelt werden. Tatsächlich existieren verschiedene Methoden. Die häufigste ist diejenige der einmaligen Reflexion an einem parabelförmigen Metallspiegel. In dieser Form läßt sie sich mit der Licht- und Scheinwerfer-Technik vergleichen. Es gilt hier wie dort der fundamentale Satz, daß die Bündelung um so intensiver ist, je größer der Reflektor und je kleiner die Wellenlänge gemacht werden können. Für militärische Zwecke ist diese Feststellung besonders wichtig, denn je kleiner die Wellenlänge gewählt wird, desto kleiner wird für eine bestimmte Bündelung die Antenne und damit das Volumen und Gewicht der ganzen Apparatur. (Vergleiche Fig. 3 und Anhang Ib).

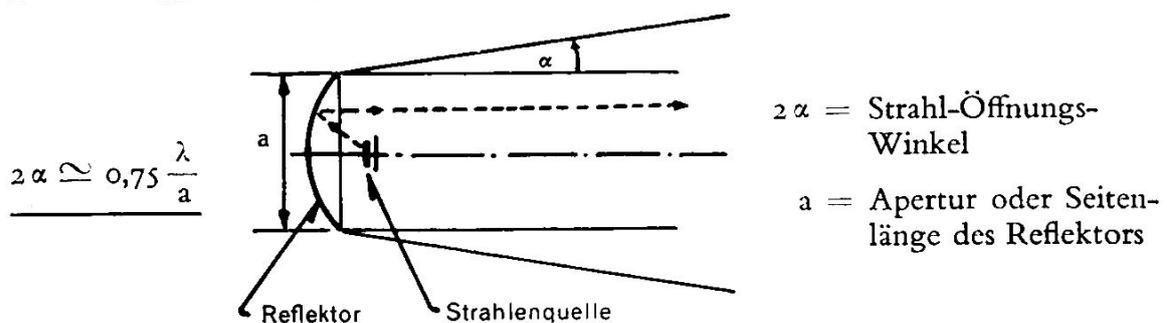


Fig. 3. Die Bündelung elektromagnetischer Wellen

Die *Ausbreitung* der elektromagnetischen Wellen beginnt, sobald die Welle die Antenne verlassen hat. Ungleich den längeren Radiowellen ($\lambda > 50$ cm), ähnelt die Fortpflanzung der cm-Wellen, wie sie heute fast durchwegs für Radargeräte verwendet werden, sehr stark derjenigen des Lichtes. Die wichtigsten Gesetze können demnach wie folgt zusammengefaßt werden:

1. Die Fortpflanzung der cm-Wellen erfolgt im wesentlichen geradlinig und mit Lichtgeschwindigkeit.
2. In der Atmosphäre wird auf dem Fortpflanzungsweg ein kleiner Teil der Energie in Wärme umgewandelt. Der Fachausdruck hierfür heißt: Absorption oder Dämpfung. Im allgemeinen steigt die Absorption mit kleiner werdender Wellenlänge stark an, ganz besonders unterhalb 2 Zentimeter. (Vergleiche Anhang I, c).
3. Trifft die elektromagnetische Welle auf ihrem Weg auf einen Körper mit wesentlich anderer Dielektrizitätskonstante (= physikalische Stoffeigenschaft) als derjenigen der Atmosphäre, dann entsteht an der Diskontinuitätsstelle eine partielle Reflexion, Absorption und Beugung.

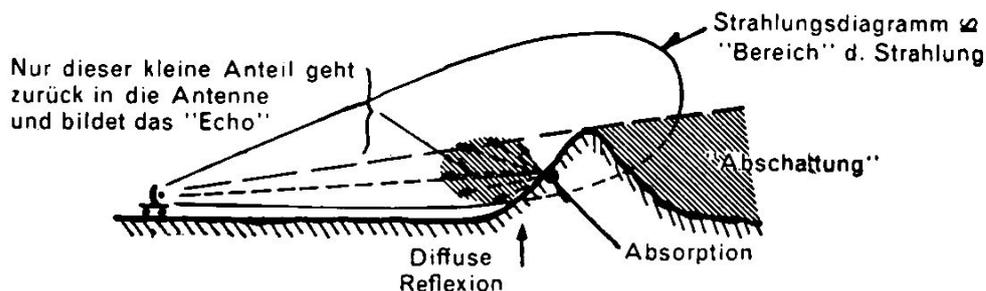


Fig. 4. Reflexion an einem Berghang

Diese eben genannten Eigenschaften sollen durch einige Beispiele illustriert werden, da sie für den Einsatz von Radar in unserem Gelände von ausschlaggebender Bedeutung sind.

In der Figur 4 wird ein elektromagnetischer Strahl gegen einen Berg gerichtet. Die Strahlung wird an den Berghängen zum größten Teil diffus, das heißt nach allen Richtungen reflektiert. Ein kleiner Prozentsatz wird an der Oberfläche des Berges absorbiert. Auf alle Fälle durchdringt sie den Berg nicht, auch wenn er nur eine Dicke von wenigen Metern aufweisen würde. Hinter dem Berg entsteht ein «abgeschatteter» Raum, der genau wie beim Licht durch eine Gerade abgegrenzt ist. Diese Gerade ist durch den Standort des Radargerätes und den sogenannten «Horizont» (Deckungswinkel) gegeben.

Ersetzen wir in Gedanken den Berg durch ein Stück Blech, dessen Fläche senkrecht zur Strahlrichtung steht, dann wird der weitaus größte Teil der auftreffenden Energie wieder zurück zum Radar reflektiert. Metallische Gegenstände absorbieren fast keine Energie. Steht die Blechwand zur Strahlrichtung schief, dann wird der größte Teil der Energie symmetrisch zum Einfallslot reflektiert. Einzig die Ränder der Blechfläche (oder irgendeines angestrahlten Gegenstandes) verursachen eine Beugung.

Es gibt nun auch Materialien, welche sich dadurch auszeichnen, daß sie die elektromagnetische Strahlung fast ganz absorbieren. Es handelt sich hierbei meistens um Mischungen von Kunststoffen und Grafit. Die Schichtdicke des Materials muß, um voll zur Wirkung zu kommen, in der Größenordnung der halben Wellenlänge sein. Objekte, die mit einer solchen Schicht umgeben sind, können als für Radar gut «getarnt» angesprochen werden.

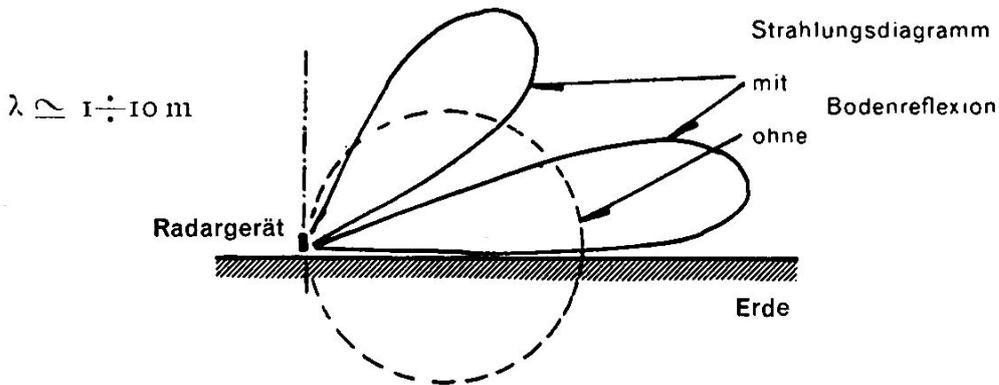


Fig. 5. Interferenz-Effekt auf das Strahlungsdiagramm bei langen Wellen

Die Reflexion an einem Flugzeug ist wegen seiner komplizierten Form sehr unübersichtlich und mathematisch kaum erfaßbar. Man behilft sich in der Praxis so, daß man experimentell von einem Flugzeug den Reflexionsanteil bestimmt und mit einer wirkungsgleichen (senkrecht zum Strahl stehenden) Blechfläche vergleicht. Für Flugzeuge variiert die daraus erchenbare Fläche zwischen zirka 1 und 80 Quadratmeter. Es kann sich natürlich bei solchen Angaben nur um grobe Mittelwerte handeln, weil es bei einem Flugzeug sehr stark darauf ankommt, welche Silhouette es dem Strahl gerade entgegenstellt. Die Unterschiede können bis zu 1:100 oder mehr variieren.

Eine Erscheinung wurde bis jetzt noch nicht erwähnt, nämlich die sogenannten *Interferenzen*. Sie spielen bei der Wellenausbreitung eine bedeutungsvolle Rolle. Interferenzen sind auch in der Optik und Akustik bekannt. Es ist die Erscheinung, daß zwei Wellen mit gleicher Frequenz (oder was gleichbedeutend ist mit gleicher Wellenlänge), jedoch mit einer Phasenverschiebung von 180 Grad, sich gegenseitig aufheben (vergleiche Anhang I, d). In der Radartechnik wurde diese Erscheinung früher (mit großen Wellenlängen) dazu benützt, eine intensivere Bündelung zu erzielen. Wenn nämlich die Erde als Reflektor benützt wird, entsteht durch Interferenz ein Strahlungsdiagramm, wie es Figur 5 zeigt.

Bei der moderneren Zentimeter-Technik kann diese Eigenschaft nicht

mehr genutzt werden. Gleichwohl treten natürlich Interferenzen auf. Sie bewirken nurmehr Einbuchtungen des Strahlungsdiagrammes, weil dank der besseren Bündelung nur ein kleiner Energieanteil auf die Erdoberfläche auftrifft. In extremen Fällen können immerhin Schwankungen von ± 30 Prozent in der Reichweite auftreten. (Vergleiche Figur 6.)

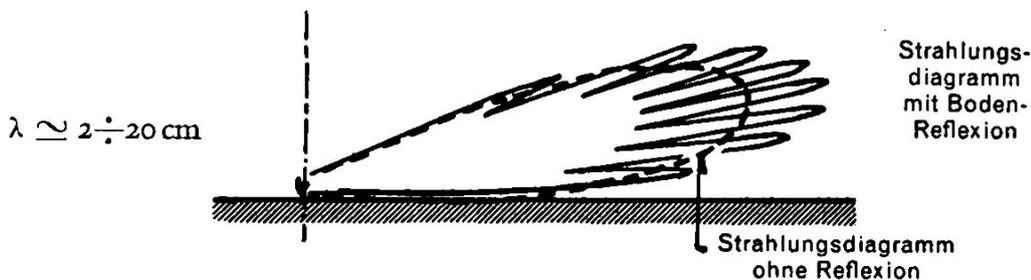


Fig. 6. Interferenz-Effekt auf das Strahlungsdiagramm bei kurzen Wellen

Die gegen das Radar hin zurückgeworfene Strahlungsenergie, auch «Echo» oder «Signal» genannt, wird heute fast immer mit der gleichen Antenne empfangen, welche auch die Sendeenergie ausstrahlt. Um dies möglich zu machen, muß eine Weiche in die Zuleitung von der Antenne zum Sender, respektive zum Empfänger gebaut werden. Diese Weiche wird in der Radartechnik mit TR-Zelle bezeichnet (vergleiche Figur 2).

Der *Empfänger* ist grundsätzlich wie ein Radioempfänger aufgebaut. Er arbeitet nach dem Super-Heterodyn-Prinzip. Die Kleinheit der im «Echo» enthaltenen Energie (zirka 10^{-12} Watt) erfordert eine extrem hohe Verstärkung. Durch das sogenannte Eigenrauschen der Elemente des Verstärkers, so insbesondere der Kristall-Mischstufe und der Elektronenröhren, ist jedoch dem Grad der Verstärkung eine natürliche Grenze gesetzt. Physikalisch läßt sich dieses Rauschen als Mischung von unendlich vielen Frequenzen deuten. Ist nun ein ankommendes «Echo» nicht stärker als das genannte Rauschen, so kann das ankommende Signal nicht mehr angezeigt werden; es geht im Rauschen «unter». Den gleichen Effekt können wir im Radio feststellen. Wird beispielsweise die Musik eines ganz schwachen Senders eingestellt, so wird sie durch das akustische Rauschen übertönt.

Die sogenannte Radarformel (vergleiche Anhang I, a), welche ein ausgezeichnetes Bild über die Vorgänge und Zusammenhänge in einem Radargerät vermittelt, ist aus der Bedingung entstanden, daß das eintreffende Echo und das vorstehend genannte Rauschen gleich groß seien.

Das *Anzeige-Gerät* bringt die im Empfänger verstärkten Signale zur Darstellung, indem es mit Hilfe der Kathodenstrahlröhre die elektrischen Signale in optisch sichtbare Größen umwandelt.

Im Laufe der bisherigen Entwicklung haben sich zwei Hauptdarstellungsarten herauskristallisiert. Die einfachere (Typus «A» genannt) (vergleiche Figur 7) erhält man, indem die Signalspannung an die Ablenkplatten für senkrechte Ablenkung angelegt wird.

Das andere Plattenpaar wird zur sogenannten Zeitablenkung benutzt, das heißt es erhält eine mit der Zeit linear anwachsende Spannung, wodurch

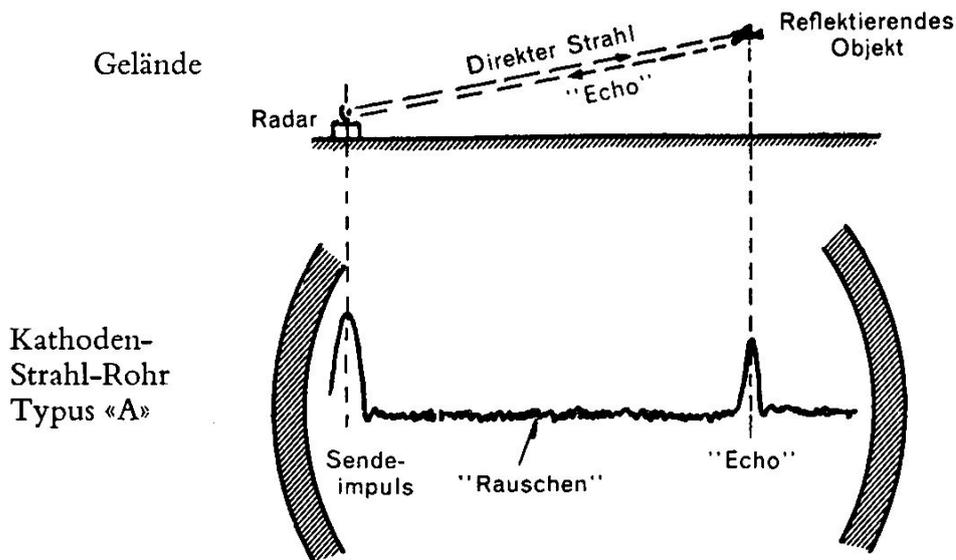


Fig. 7. Anzeige-Gerät Typus «A»

der auf dem Schirm der Kathodenstrahlröhre aufleuchtende Elektronenstrahl von links nach rechts verschoben wird. Diese Bewegung wird mit dem Sender derart synchronisiert, daß sie stets dann am linken Schirmrand beginnt, wenn der Sender seinen Impuls ausstrahlt. Das zeitlich später eintreffende Echo wird dann als senkrechter Zacken um so mehr nach rechts verschoben erscheinen, je größer die Entfernung zum reflektierenden Objekt ist. Die Figur 7 möge das Gesagte noch etwas besser erläutern.

Bei der zweiten Darstellungsart, genannt PPI (= *Plan Position Indicator*) wird die sonst dunkel getastete Kathodenstrahlröhre durch das Signal kurzzeitig aufgehellt. Der Elektronenstrahl wandert bei dieser Röhre vom Schirmzentrum radial nach außen und zwar immer in einer zur Antenne parallelen Richtung. Die Auswanderungsgeschwindigkeit entspricht der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Impulspaketes im Raum. Der Start im Schirm-Mittelpunkt fällt zeitlich zusammen mit der Impulsabstrahlung.

Die PPI-Darstellung hat wegen der großen Übersichtlichkeit bei der Überwachung eines Luftraumes große Bedeutung erlangt. Figur 8 illustriert die PPI-Anzeige.

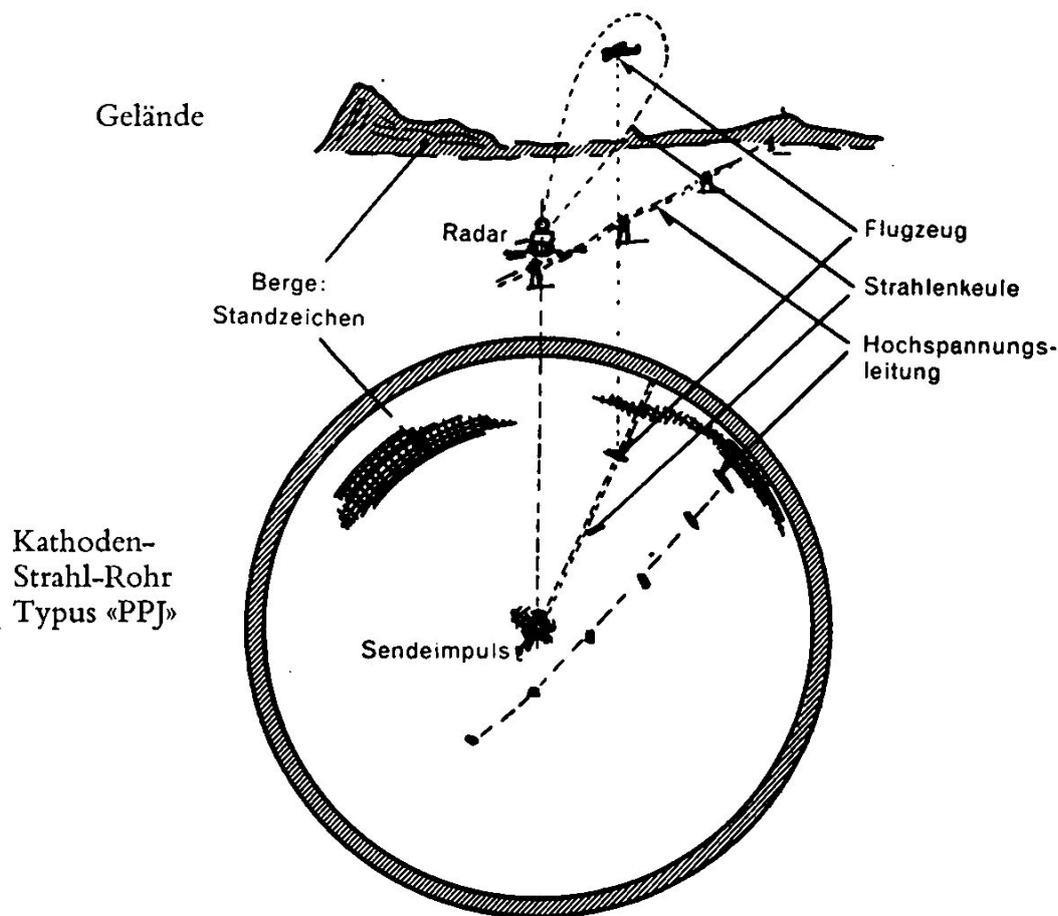


Fig. 8. Anzeige-Gerät Typus «PPI»

Die uns interessierenden *Radargeräte* lassen sich in drei große Gruppen unterteilen: in Frühwarngeräte, Feuerleitgeräte und in Bordgeräte.

Frühwarn-Radargeräte dienen zum Aufsuchen von Luft- oder Seezielen auf größere Distanzen. Ihnen allen ist gemeinsam ein fächerförmiger Strahl, der um eine senkrechte Achse kontinuierlich rotiert, und ein Anzeigegerät, das aus einem oder mehreren PPI-Rohren besteht. Im Lagewinkel ist die Antenne (und damit der Strahl) entweder gar nicht oder nur in wenigen Stufen verstellbar. Die Sendeleistung beträgt gewöhnlich etwa 500 bis 800 Kilowatt und die Reichweite für mittlere Flugzeuge etwa 70 bis 100 Kilometer (sogenannte Mittelwarngeräte) oder 150 bis 250 Kilometer (eigentliche Frühwarngeräte). Der Gewinn an Reichweite wird fast ausschließlich durch stärkere Bündelung und damit Verlust an der Fächerhöhe erkauft. Die Figur 9 veranschaulicht die Strahlungsdiagramme zweier typischer Vertreter dieser beiden Gerätekategorien.

Man beachte

1. den Einfluß der Erdkrümmung und
2. die starke Bündelung beim Frühwarngerät.

Die *Feuerleit-Radargeräte* gestatten das genaue Verfolgen und Vermessen eines Luft- oder Seezieles. Die Anforderungen an diese Geräte in bezug auf Genauigkeit sind sehr hoch. Die Winkelgenauigkeit kann gesteigert werden, indem ein rotationssymmetrischer Strahl um das Ziel herum bewegt wird (Details siehe Anhang I, e). Die Präzision der Entfernungsbestimmung wird durch komplizierte elektrische Schaltungen erzielt.

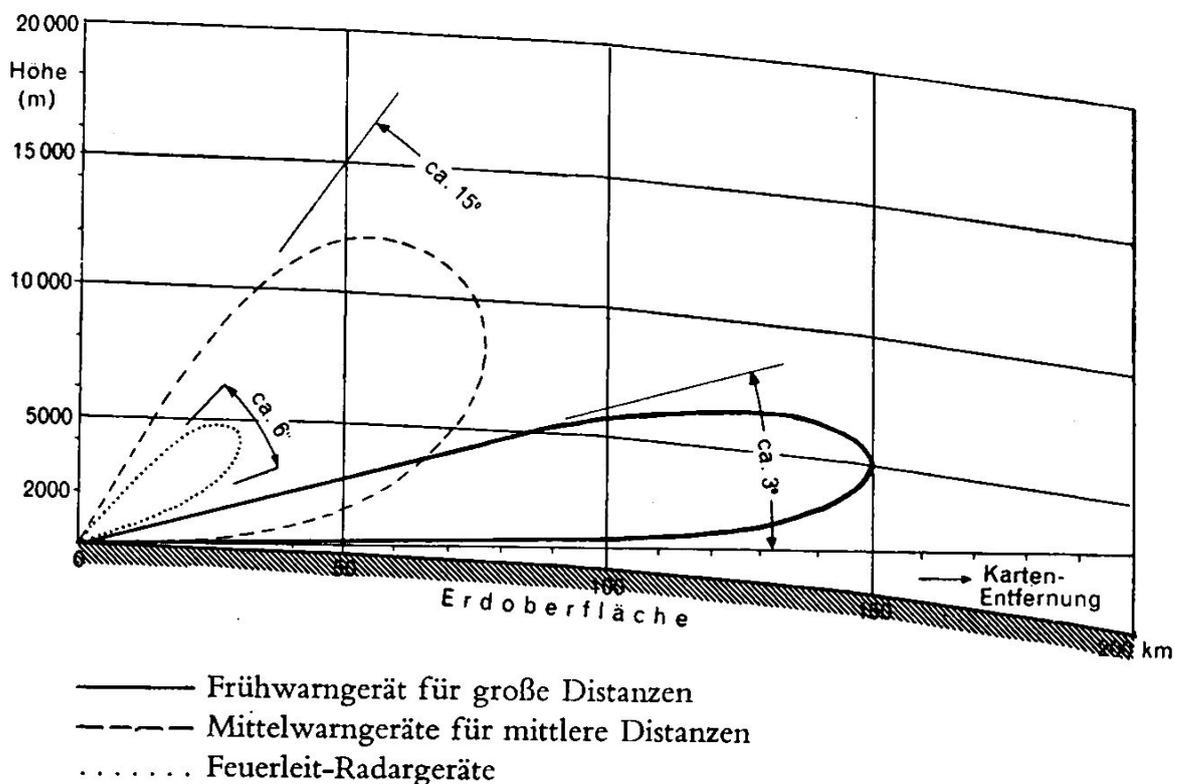


Fig. 9. Strahlungsdiagramme

Die Anforderungen an die Reichweite sind bedeutend geringer, weil das Feuerleit-Radargerät entweder ein Kommandogerät einer Flak-Batterie oder den Leitstrahl einer ferngesteuerten Rakete steuern muß. Diese Waffen haben aber meistens nur eine Reichweite von 10 bis 20 Kilometer. Aus diesem Grunde begnügt man sich mit einer Radarreichweite von zirka 30 bis 40 Kilometer bezogen auf mittlere Bomber und auf eine Sende-Impulsleistung von zirka 200 Kilowatt.

Die Anzeige besteht aus einem PPI-Rohr zum Suchen und einem «A»-Rohr für die genaue Einstellung auf ein Ziel. Moderne Geräte besitzen einen automatischen Nachlauf, so daß dem Bedienungsmann nur die erstmalige Einstellung zufällt. Sobald das Ziel «erfaßt» ist, wird ein Schalter umgestellt, worauf die Antenne und der Entfernungsnachlauf selbsttätig dem Ziele folgen. (Nähere Angaben siehe Abschnitt 5 und Literatur [9].)

Unter *Bordgeräten* versteht man Radargeräte, welche an Bord eines Flugzeuges oder einer Rakete sind. Sie können entweder zur Warnung oder zur Navigation bestimmt sein oder aber die genauen Schießelemente für Bordwaffen liefern. Das gemeinsame Merkmal der Bordgeräte ist ihre geringe Reichweite. Dies gestattet die Anwendung sehr kurzer Wellen (heute meistens 3 Zentimeter) und kleiner Impulsleistungen (bis zirka 60 Kilowatt). Dadurch werden die Bordgeräte verhältnismäßig sehr klein und leicht.

Abschließend sei noch kurz auf die mögliche *Weiterentwicklung* und die *Grenzen*, denen die Radartechnik unterliegt, hingewiesen.

Die Wellenlänge darf heute als fixiert angesehen werden. Für große Distanzen liegt sie zwischen 10 und höchstens 50 Zentimeter, während für kleinere Distanzen 3 Zentimeter bevorzugt werden, besonders dort, wo kleines Gewicht und Volumen eine Rolle spielen. Auch bei der Impulsleistung sind in nächster Zeit keine wesentlichen Erhöhungen zu erwarten, denn wie aus der Radarformel hervorgeht, wäre dies der unwirtschaftlichste Weg, um zu größerer Reichweite zu kommen. Außerdem kann eine gewisse Höchstgrenze wegen der Spannungsfestigkeit der Isolationsmaterialien nicht überschritten werden (bei 10 Zentimeter liegt diese Grenze für ein Magnetron bei zirka 5000 Kilowatt, bei 3 Zentimeter bei zirka 600 Kilowatt).

Im Antennen- und Empfängerbau dürfen in nächster Zukunft ebenfalls keine umwälzenden Neuerungen erwartet werden. Beim Empfängerbau reicht die heutige Technik schon sehr nahe an das theoretische Optimum heran. Bei der Konstruktion der Antenne hingegen wird man weiterhin auf Kompromißlösungen angewiesen sein. Fordert man beispielsweise eine intensive Bündelung, so folgt daraus zwangsläufig eine riesige Antenne und ein entsprechend kleines Abtastvolumen (siehe Anhang I, f).

In der Praxis ergeben sich bei 10 Zentimeter Wellenlänge etwa die Konstruktionsdaten der Tabelle Seite 20.

Soweit heute beurteilt werden kann, sind auf dem Gebiet der *Anzeige-Geräte* die wichtigsten Neuerungen zu erwarten. Das Problem der Unterscheidung zwischen Signalen von ruhenden Objekten und solchen von beweglichen Zielen beschäftigt die Fachwelt in besonderem Maße. In der englischen Literatur werden die Methoden für diese Unterscheidung mit

	Impuls- Leistung	Impuls- Frequenz	Bündelung für		Dreh- geschw. der Antenne	Reichweite
	kW	Hz	Seite /o	Lage- winkel /o	U/min.	km
Frühwarngerät für große Ent- fernungen	600	500	1	3	4-6	150-200
Mittelwarngerät	600	500	3	15	10	70-80
Feuerleit- Radargerät . . .	200	1500	6	6	15	30-40

Moving Target Indication (MTI) bezeichnet. Von den wenigen Vorschlägen für die Lösung dieses Problems scheint die sogenannte Dopplermethode am aussichtsreichsten zu sein. Mit nach diesem System arbeitenden Versuchsgeräten war es bereits möglich, Signale von beweglichen Zielen innerhalb solcher von feststehenden Objekten mit tausendmal größerer Intensität zu unterscheiden (vergleiche [5a, Bd. 1, S. 626]). Wesentlich erscheint uns dabei der Umstand, daß durch diese Zusatzapparaturen das Grundprinzip des Radars in keiner Weise angetastet wird.

Schlußendlich ist noch zu erwähnen, daß im Ausland Bestrebungen im Gange sind, die PPI-Bilder von Frühwarnstationen auf große Distanzen zu übertragen im Bestreben, die zeitraubende mündliche Übertragung vom PPI an die Auswertezentralen abzukürzen. Dies sind nun aber bereits Fragen, welche die Organisation eines Frühwarnsystems betreffen. Nach Ansicht eines amerikanischen Fachmannes ([5a, Bd. 1, S. 214]) wird in der nächsten Zukunft das Hauptaugenmerk auf diese Probleme (Organisation der Radarinformationen) zu richten sein, da die technischen Möglichkeiten der Radargeräte nahezu erschöpft sind.

Diese beiden Feststellungen sind bei der Überlegung, ob Radar bei uns eingeführt werden soll, von großer Wichtigkeit. Sie bedeuten, daß einerseits die heute käuflichen Geräte nicht so bald veraltet sein werden, und andererseits, daß für den Aufbau einer Radarorganisation viel Zeit und Erfahrung notwendig sind.

Die Anwendungsmöglichkeiten von Radar

Um die Frage beantworten zu können, wo Radar eingesetzt werden kann und wo nicht, müssen wir uns nochmals die typischen Eigenschaften dieser Geräte vergegenwärtigen:

1. In der vorliegenden Arbeit verstehen wir unter Radar eine Apparatur zur Lokalisierung eines Zieles mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen nach dem Echo-Lotungs-Prinzip. Damit wird gesagt, daß das zu beobachtende Ziel am Meßvorgang nur passiv beteiligt ist. (Der weitere Begriff «Radar» schließt auch Navigationsverfahren ein.)
2. Die zur Anwendung gelangenden elektromagnetischen Wellen durchdringen die Atmosphäre fast ohne Verluste mit Lichtgeschwindigkeit. – Dies bedeutet in praxi, daß Objekte auf sehr große Distanz selbst bei Nacht und Nebel wahrgenommen werden können.
3. Zufolge der Bündelungsfähigkeit dieser Wellen kann die Richtung zum reflektierenden Gegenstand bestimmt werden. Gleichzeitig ist aber dank dem Echoprinzip auch eine Entfernungsbestimmung möglich. Der reflektierende Gegenstand kann somit im Raume genau lokalisiert werden.
4. Das Auflösungsvermögen, verglichen zum Beispiel mit demjenigen der Optik ist gering. Es ist gegeben durch die Bündelungsschärfe und die Impulsdauer und beträgt heute etwa $1 \div 5$ Grad, respektive 150 bis 300 Meter bezüglich der Distanz.
5. Die reflektierten Signale können im allgemeinen nicht in dem Sinne analysiert werden, daß auf die Art des Objektes geschlossen werden könnte. Erst in neuester Zeit ist die Technik so weit fortgeschritten, daß zwischen bewegten und stillstehenden Zielen unterschieden werden kann.
6. Die heute praktisch erreichten Leistungsgrenzen sind:
bezüglich Reichweite: zirka 200 Kilometer;
bezüglich Genauigkeit: der Winkelvermessung zirka 2 bis 3 Promille
(1 Grad = 17,8 Promille),
der Entfernungsvermessung zirka 30 Meter.
7. Ein Radargerät ist, wenigstens noch heute, kompliziert und daher teuer. Die Anwendung muß sich deshalb auf wichtige Fälle beschränken.

Auf Grund dieser Eigenschaften kommt heute Radar in unserer Armee für folgende Anwendungsgebiete in Frage:

<i>Anwendungsgebiet</i>	<i>Anforderungen, die Radar als geeignet erscheinen lassen</i>
A. Luftraum-Überwachung ... (Fl.B.M.D.)	Große Reichweiten, auch bei Nacht und Nebel.
B. Luftraum-Verteidigung (Flieger- und Flab-Truppen)	Wie A, dazu große Genauigkeit der Zielvermessung.
C. See-Überwachung	Wie A, eventuell bei Beschuß der Ziele wie B.
D. Wetterdienst	Verfolgung von Wettersonden bei jeder Witterung. Registrierung von Gewitterwolken.
E. Artillerie	Perspektivisches «Sehen» sehr schnell bewegter Körper (Geschosse).
F. Überwachung von Engpässen	Wie A, eventuell bei Beschuß der Ziele wie B.

Diese verschiedenen Möglichkeiten der Verwendung von Radar sollen in den folgenden Abschnitten unter besonderer Berücksichtigung der schweizerischen Verhältnisse näher untersucht werden.

Die obige Zusammenstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Doch glauben wir damit wenigstens für die nächste Zukunft die wichtigsten Gebiete erwähnt zu haben.

4. Abschnitt

Die Luftraum-Überwachung

Die Luftraum-Überwachung hat in der Luft die gleiche Aufgabe zu erfüllen, wie zum Beispiel unser Nachrichtendienst und der Grenzschutz auf dem Boden: Sie soll imstande sein, jederzeit zu kontrollieren, ob sich unserem Territorium gegnerische Flugzeuge nähern und in unseren Luftraum eindringen. Außerdem muß sie in der Lage sein, das Land bei drohenden Gefahren rechtzeitig zu alarmieren. Da der Gegner sehr schnell ist (Flugzeug-Geschwindigkeiten bis zu 1000 km pro Stunde liegen heute im Bereich der Möglichkeit), muß die Luftraum-Überwachung weit über unsere Landesgrenzen hinaus beobachten können.

a. Unsere heutige Luftraum-Überwachung

Unsere heutige Luftraum-Überwachung – genannt Fliegerbeobachtungs- und -Meldedienst (Fl.B.M.D.) – besteht aus Beobachtungsposten, welche über das Land verteilt sind, und einigen Auswertezentralen (AWZ). Den Spähern auf den Beobachtungsposten stehen an Hilfsmitteln ihre Ohren und Augen und ein Beobachtungsfernrohr zur Verfügung. Das Gehör dürfte wohl in den meisten Fällen das eigentliche Warnungsorgan sein. Mit ihm können Flugzeuge ab etwa 10 bis 20 Kilometer wahrgenommen werden. (Eine exakte Reichweite läßt sich nicht angeben, weil diese vom Individuum, vom Störpegel (Wind, Verkehrslärm usw.), von der räumlichen Umgebung und der Geräuschstärke des Zieles abhängt.) Leider können aber mit den Ohren die Entfernung zur Schallquelle und der Richtungswinkel nur sehr ungenau bestimmt werden. Die Erfassung eines Zieles mit den Augen ist wohl winkelmäßig viel genauer, hinkt jedoch zeitlich in den meisten Fällen dem Gehör nach, da der Beobachtungssektor der Augen viel kleiner ist als derjenige der Ohren (letzterer ist praktisch 360 Grad) und sich das Auge außerdem zuerst auf die Entfernung des zu beobachtenden Objektes einstellen muß (sogenannte Akkommodation).

Da nun die Beobachtungsposten meistens einige Kilometer hinter der Grenze aufgestellt sind, kann eine Meldung eines Beobachtungspostens in den meisten Fällen erst erfolgen, wenn die Flugzeuge die Grenze überfliegen.

In der AWZ wird der verantwortliche Leiter nicht auf Grund einer einzigen Beobachtermeldung ganze Landesgegenden alarmieren. Er wird mindestens deren drei abwarten. Die Zeit, die von der ersten Meldung bis zur Alarmierung verstreicht, setzt sich dann etwa wie folgt zusammen:

Telephonische Übermittlung und Auswertung der ersten Meldung	20 Sekunden
Ebensoviel für die beiden nächsten Meldungen	40 Sekunden
Das Intervall zwischen den Meldungen betrage 2×10 Sek.	20 Sekunden
Die Entschlußfassung auf der AWZ sowie die Alarmierung der durch diesen Flugzeugverband gefährdeten Landesteile betrage weitere	30 Sekunden
Bis die Bevölkerung in Sicherheit ist und die Luftschutzdetachemente einsatzbereit sind, verstreichen wiederum zirka	60 Sekunden
Total 170 Sekunden	

Während diesen 170 Sekunden fliegt aber der Verband bei einer angenommenen Geschwindigkeit von 720 bis 1000 km pro Stunde = 200 bis

300 m pro Sekunde: $170 \times (200 \text{ bis } 300) = 34\,000 \text{ bis } 51\,000$ Meter weit. Somit werden bei einem Direktangriff diejenigen Landesteile, welche zwischen 0 und etwa 35 Kilometer hinter der Grenze, respektive der Kampf-front liegen, *zu spät alarmiert!*

Die Schweiz hat eine Oberfläche von rund 42 000 Quadratkilometer. Der nicht rechtzeitig alarmierte Gürtel längs der Grenze beträgt ungefähr 35×750 (Tiefe mal abgerundeter Umfang) = 26 000 Quadratkilometer. Dies macht aber 62 Prozent des ganzen Landes aus!

Der Personalbestand dieser für moderne Verhältnisse so unzulänglichen Organisation betrug Ende der letzten Aktivdienstzeit zirka 235 Posten zu 6 bis 8 Mann oder total rund 1400 Mann (vergleiche auch die Angaben bezüglich Reorganisation des Fl.B.M.D. [10], Seite 16). Die Zahl von 235 Posten hat sich zweifellos aus der Praxis ergeben. Es ist interessant, daraus rückwärts die «praktische Reichweite» eines Beobachters zu errechnen. Es entfallen nämlich auf einen Beobachtungsposten $42\,000 : 235 = 180$ Quadratkilometer Beobachtungsfläche. Daraus folgt die «praktische Reichweite» zu $(180 : \pi)^{\frac{1}{2}} = 7,6$ Kilometer. Diese Betrachtungsweise ist natürlich sehr schematisch. Sie zeigt aber doch, daß die früher erwähnte «menschliche» Reichweite von 10 bis 20 Kilometer gar nicht etwa zu gering gewählt war.

Es sei hier noch beigefügt, daß bei einem Massenangriff auf die Schweiz sehr wahrscheinlich höchst unerfreuliche Störungen entstehen würden, deren Ursachen in der ungenauen Ziellokalisierung, in der Vielzahl von Beobachtungsposten und AWZ und in der Langsamkeit der Meldungsübermittlung zu suchen sind.

Ausschlaggebend für unsere weiteren Betrachtungen ist jedoch die Tatsache, daß 62 Prozent unseres Landes mit dem heutigen Fl.B.M.D. nicht frühzeitig genug alarmiert werden können. Wir haben somit allen Grund, unsere Luftraum-Überwachung so schnell wie möglich zu verbessern. Unseres Erachtens sollte jede Möglichkeit dazu heute schon ausgenützt werden, selbst auf die Gefahr hin, daß die Zukunft bessere technische Mittel hervorbringen wird. Allein schon Radargeräte mit einer Reichweite von nur 100 Kilometer würden eine sprunghafte Verbesserung unseres Frühwarnsystems bedeuten.

b. Anforderungen an Radargeräte für unseren Fl.B.M.D.

Der Titel dieses Unterabschnittes ist unlogisch. Denn solange wir in der Schweiz keine eigene Radar-Entwicklung und -Fabrikation besitzen, müssen wir Geräte importieren. Wir sind deshalb auf das angewiesen, was uns das Ausland anbietet.

Wir tun deshalb besser daran, von einem Gerätetypus, der heute erhältlich ist, auszugehen und rückwärts zu berechnen, welche Möglichkeiten sich uns mit diesen Geräten eröffnen.

Die Strahlungscharakteristik solcher Geräte wurde in Figur 9 schon gezeigt. Die Reichweite betrug zirka 150 Kilometer. Wir werden jedoch unsere teuren Radar nicht unmittelbar an die Grenze stellen, sondern vielleicht etwa 30 bis 50 Kilometer zurücknehmen. Es ist uns so immer noch möglich, zirka 100 bis 120 Kilometer über die Grenzen hinaus zu «schauen». Modernste Flugzeuge können wir dann 330 bis 400 Sekunden vor ihrem Einflug auf Schweizergbiet wahrnehmen. Aus unserer früheren Berechnung für den Zeitverzug einer Alarmierung (es waren 170 Sekunden), ist unschwer zu ersehen, daß eine Reichweite von 150 Kilometer für die Alarmierung des ganzen Landes bei weitem ausreicht.

Dies ist jedoch nur *eine* Aufgabe des Fl.B.M.D. Eine zweite, weit schwierigere besteht darin, die Flieger- und Flab-Truppen mit möglichst genauen Standortsangaben über feindliche Luftverbände zu versehen. Mit optischen Hilfsmitteln ist dies ganz ausgeschlossen, weil erfahrungsgemäß die Meldungen per Telefon viel zu spät kommen. Es stellt sich jetzt die Frage, ob mit einer Radar-Reichweite von 150 Kilometer diese zweite Aufgabe des Fl.B.M.D. gelöst werden kann.

Zunächst sollen die für den Einsatz unserer Flieger erforderlichen Zeiten berechnet werden. Dieses Problem stellt sich allerdings nur für den Fall des Neutralitätsschutzes, da ja unsere Flieger im Kriegsfall «in erster Linie zur Unterstützung unserer Erdtruppen» verwendet werden sollen (s. [2] S. 34).

Wir nehmen an, daß es zur Alarmierung mindestens dreier Standortbestimmungen bedarf. Auf dem PPI-Schirm unserer Frühwarngeräte kann nach jeder Umdrehung der Antenne ein solcher Standort bestimmt werden. Die Zeit, die hierfür verstreicht, beträgt höchstens 45 Sekunden (siehe Tabelle S. 20).

Im Bestreben, die Möglichkeiten der Radartechnik voll auszunützen und jeden Zeitverlust zu vermeiden, treffen wir die Fliegeralarm-Organisation so, daß der verantwortliche Kommandant einer Fliegerinheit vom PPI weg die Alarmierung und später die Lenkung seiner Flugzeuge vornehmen kann. Eine derartige Alarmierung inklusive Zeit für die Entschlußfassung erfordert nicht mehr als 30 Sekunden.

Bis zum Start der Flugzeuge (es ist zu betonen, daß die Orientierung der Piloten über die Luftlage vom PPI weg während dem Steigflug geschehen kann) verstreichen, bei höchster Alarmbereitschaft, weitere 15 Sekunden.

Der totale Zeitverlust vom Moment der ersten Feststellung eines Luftgegners bis zum Start der eigenen Flugzeuge beträgt somit 90 Sekunden.

Für die Erreichung der erforderlichen Flughöhe stehen noch 330 bis 400 abzüglich 90 Sekunden = 240 bis 310 Sekunden zur Verfügung. Ein Vampire steigt in dieser Zeit auf eine Höhe von 5000 Meter respektive 6200 Meter.

Wir folgern somit, daß für den Einsatz der Flieger eine größere Reichweite als 150 Kilometer wünschbar wäre, denn in einem zukünftigen Kriege wird man mit Flughöhen bis zu 10 000 Meter rechnen müssen. Die Steigzeit eines Vampire auf diese Höhe beträgt zirka 12 Minuten, woraus sich als Forderung an die Radarreichweite 250 bis 300 Kilometer errechnen lassen.

Wenn wir die Wahrscheinlichkeit des Angriffs für alle Flughöhen zwischen 500 (mittlere Bodenhöhe) und 10 000 Meter über Meer als gleich groß voraussetzen, können unsere Flieger in etwa 60 bis 70 Prozent aller Luftraumverletzungen ihre Neutralitätsschutz-Aufgabe noch über der Landesgrenze erfüllen. Dieses Resultat — verglichen mit dem kostspieligen Patrouillieren während des Aktivdienstes — bedeutet schon einen enormen Fortschritt. Da es sich dabei nur um den Sonderfall des Neutralitätsschutzes handelt, glauben wir, auf die oben erwähnte Forderung einer Radarreichweite von 250 km vorläufig verzichten zu können.

Es ist nun noch abzuklären, welche Alarmierungszeiten für die Flab notwendig sind. Wir nehmen an, die Flab-Truppe sei gleichzeitig mit der Zivilbevölkerung alarmiert worden, das heißt 110 Sekunden nach der erstmaligen Feststellung von feindlichen Flugzeugen auf einem PPI. Die Batterien befinden sich im sogenannten Feuerbereitschaftsgrad 2 (siehe [12]) und sind somit spätestens innert 60 Sekunden schußbereit. Da uns aber total 330 bis 400 Sekunden zur Verfügung stehen, ist ein rechtzeitiger Einsatz in allen Fällen garantiert.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß eine *Reichweite von 150 Kilometer* für unsere Frühwarn-Radargeräte für die Alarmierung der Bevölkerung, Industrie und der Truppe *genügt*. Nur im Spezialfall des Neutralitätsschutzes wird der Einsatz unserer Flieger (wenn auf das Patrouillieren verzichtet wird) um rund 30 bis 40 Prozent eingeschränkt.

c. Weitere Vorteile des Radars für den Fl.B.M.D.

Jedes moderne Frühwarn-Radargerät benützt zur Anzeige das PPI-Kathodenstrahlrohr. Diese PPI-Röhre ist — neben der großen Reichweite des Frühwarn-Radargerätes — das entscheidendste Merkmal, welches für

die Anwendung von Radar spricht. Wie wir wissen, ist der PPI-Schirm das Abbild (oder auch die «Projektion») des vom Radargerät überstrichenen Raumes. Gerade aber diese Umwandlung nicht nur des Maßstabes sondern auch der Dimension (von «Raum» in «Fläche») macht die Beobachtung besonders leicht. Kleine Gegenstände, wie zum Beispiel Flugzeuge, werden jedoch nicht im gleichen Maßstabe verkleinert wie der Raum, sonst müßten derartige relativ kleine Objekte ja unauffindbar sein. Während die Umwandlung der vom Radar erfaßten Grundrißfläche in die PPI-Schirmfläche etwa im Maßstab $150\,000^2 : 0,15^2$ ($= \text{Reichweite}^2 : \text{PPI-Radius}^2$) $= 10^{12} : 1$ erfolgt, wird derjenige eines Flugzeuges im wesentlichen durch das Auflösungsvermögen des Radarstrahles und durch die Feinheit des Elektronenstrahles der PPI-Röhre bestimmt. Die dem Radar zugewendete Fläche eines Flugzeuges möge zum Beispiel rund 10 Quadratmeter betragen. Der Lichtpunkt auf dem PPI, der das Abbild dieses Zieles ist, kann in seiner Fläche wie folgt abgeschätzt werden: Wenn die Strahlbreite der Antenne zirka 1° beträgt, wird auch das PPI-Bild dieselbe Winkelausdehnung aufweisen. Bei einem mittleren Beobachtungsradius von 0,1 Meter auf dem PPI ergibt dies eine Breite von $0,1 \cdot 2\pi \cdot (1 : 360) = 1,7 \text{ mm}$. Die radiale Ausdehnung ist durch die Impulslänge gegeben. Diese sei zum Beispiel $2 \mu\text{sec}$ (ein guter Mittelwert). Während dieser Zeit wandert der Elektronenstrahl auf dem PPI um 0,3 mm nach außen. (Die radiale Geschwindigkeit errechnet sich aus dem maximalen Radius (150 Millimeter) dividiert durch die Laufzeit der elektromagnetischen Welle für 150 Kilometer hin und zurück, also $150 \text{ mm} : 1000 \mu\text{sec}$). Zu diesen beiden Dimensionen ist noch die «statische» Elektronenstrahlbreite hinzuzuzählen. Sie beträgt ungefähr 0,5 mm. Der Lichtfleck hat demnach die Abmessungen $2,2 \cdot 0,8 \text{ mm}$. Der Umwandlungsmaßstab für ein Flugzeug ist daher: $10 \text{ m}^2 : 1,8 \text{ mm}^2 = 5,5 \cdot 10^6 : 1$, also zirka 200 000 mal kleiner als der Maßstab der Raumumwandlung. Deshalb können Flugzeuge auf dem PPI leicht gefunden werden. Als weiterer Vorzug kommt hinzu, daß das menschliche Auge bei der PPI-Beobachtung nicht akkomodiert werden muß, respektive immer dieselbe Akkomodation eingestellt hat, nämlich diejenige auf den PPI-Schirm.

Das Resultat dieser Feststellungen ist nun aber, daß es einem oder zwei Personen möglich ist, mit Hilfe von Radar ein Volumen von $263\,000 \text{ km}^3$ (Berechnung gemäß Figur 10) zu überwachen. Wir werden im folgenden allerdings noch sehen, daß dieses Volumen durch sogenannte Standzeichen und Abdeckungen durch das Gelände noch etwas reduziert wird. Demgegenüber vermag ein Beobachter mit seinen Ohren und Augen (die Reichweite sei 10 km) (siehe Unterabschnitt 4a) nur eine Halbkugel von 2100 km^3 Inhalt zu überwachen.

Neben der wichtigen Einsparung an Beobachtern ist die Konsequenz dieser Tatsache, daß für die Luftraum-Überwachung viel weniger Beobachtungsstellen und Auswertezentralen erforderlich sind. Dadurch wird wiederum die ganze Organisation einfacher, übersichtlicher und leistungsfähiger.

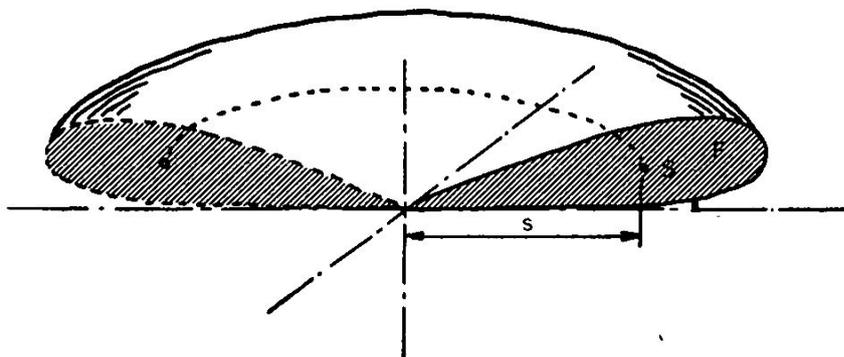


Fig. 10. Berechnung des theoretischen Wirkungsraumes

$$\left. \begin{array}{l} \text{Volumen } V = 2\pi sF \\ F = 440 \text{ km}^2 \\ s = 95 \text{ km} \\ \underline{V = 263\,000 \text{ km}^3} \end{array} \right\} \text{ Zahlenwerte aus Fig. 9}$$

d. Der Geländeeinfluß auf die Frühwarn-Radargeräte

Wir haben früher gesehen, daß die elektromagnetischen Strahlen nicht nur an Flugzeugen, sondern auch an Berghängen reflektiert werden. Die entstehenden «Echos» werden Standzeichen genannt (weil sie von stehenden Objekten herrühren). Es ist deshalb bei unserem stark coupierten Gelände unschwer vorzusehen, daß diese Standzeichen zu namhaften Störungen Anlaß geben werden. Die nachstehenden Überlegungen sollen zeigen, inwieweit dieser Nachteil die Vorteile von Radar wieder aufhebt. Gleichzeitig kann aber auch gezeigt werden, daß durch geschickte Stellungswahl die Behinderung reduziert werden kann.

Ein Frühwarngerät muß im Gelände möglichst hoch situiert sein und zwar aus zwei Gründen:

1. um den Horizont so tief als möglich zu haben (siehe Figur 11) und
2. um die Erdkrümmung teilweise zu kompensieren (siehe Figur 12).

Der Zweck ist in beiden Fällen derselbe: Reduktion der toten Zonen, welche hinter dem Horizont, respektive hinter der Erdkugel entstehen. Die nachstehende Tabelle zeigt, welche Bedeutung der Erdkrümmung zukommt, wenn auf große Distanzen beobachtet werden soll:

Es bedeuten: h_{\min} = diejenige Mindesthöhe, welche ein Flugzeug fliegen muß, damit es von einer Radarstation noch gesehen werden kann, wenn diese auf der Höhe $h = 0$ steht.

H_{\min} = dieselbe Mindesthöhe, jedoch für den Fall, daß die Radarstation auf einem Berg steht, welcher 1000 Meter hoch ist.

Beobachtungs-Entfernung

in km	50	100	150	200	250	300
h_{\min} in m	196	785	1760	3140	4900	7060
H_{\min} in m	—	—	120	640	1540	2830

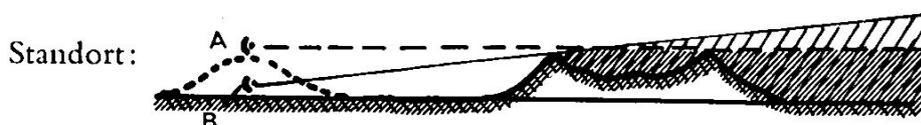


Fig. 11

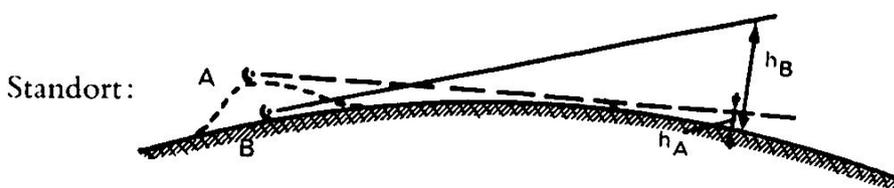


Fig. 12

Der überhöhte Standort hat leider auch seine Nachteile: Ein wenn auch kleiner Teil der Energie wird stets nach unten abgestrahlt, wodurch die Standzeichen entstehen (siehe Figur 13). Innerhalb dieser Standzeichen, auch wenn sie nicht zusammenhängend sind, kann praktisch nicht beobachtet werden. (Beim sogenannten Moving Target Indicator wäre dies allerdings möglich.) Wenn nun aber der Standort des Gerätes so gewählt wird, daß in etwa 1 bis 50 Kilometer ein natürliches Hindernis die nach unten gerichtete Strahlung abfängt, dann ist das dahinterliegende Gebiet frei von Standzeichen (siehe Figur 14). Die näherliegenden Standzeichen bedeuten für die Frühwarnung keine ins Gewicht fallende Störung, weil sie nur das Zentrum der PPI-Röhre verdecken.

Um dem Leser ein anschauliches Bild über diese Verhältnisse zu vermitteln, sei je ein typisches Beispiel für eine schlechte und eine gute Radarstellung näher besprochen.

Als schlechte Stellung (Figur 13) ist jeder hohe, alleinstehende Berggipfel anzusprechen. Als extremes Beispiel für eine derartige Stellung möge das Matterhorn genannt sein, von welchem aus gesehen die gesamte Alpenwelt nahezu den ganzen PPI-Schirm voller Standzeichen erscheinen lassen würde.

Die günstigen Verhältnisse der Figur 14 findet man südlich des Jurazuges für den Ausblick in Richtung Norden, wobei der Jura als Abschirmung dient. Seine lang gezogenen Ketten sind für diesen Zweck geradezu ideal.

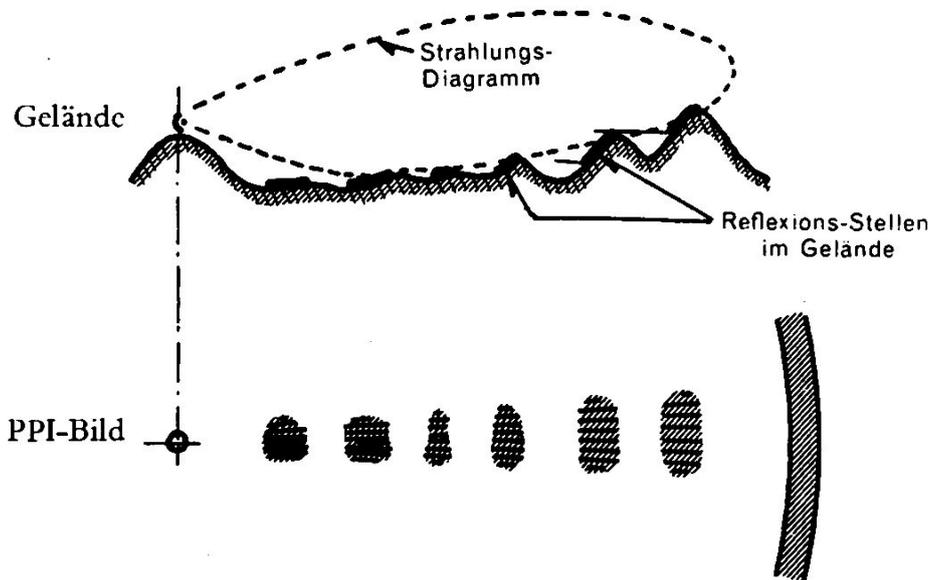


Fig. 13

Damit der Leser eine Vorstellung davon erhält, wie stark unser Gelände den Wirkungsraum eines Frühwarn-Radargerätes beeinträchtigt, sei im nachstehenden eine Berechnung der gesamthaft auftretenden Totzonen für

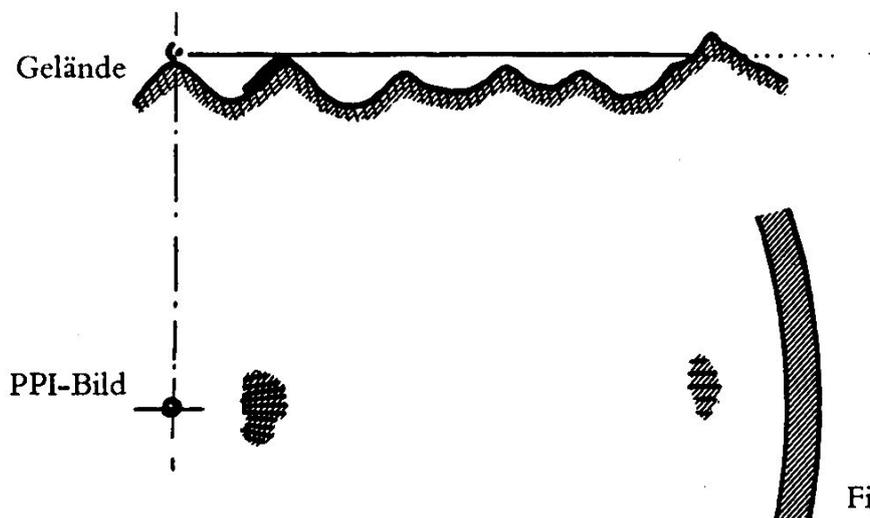


Fig. 14

ein typisches Beispiel aus unserem Mittelland wiedergegeben. In Figur 15 wird das PPI-Bild gezeigt, wie es sich auf einem solchen Standort bieten wird. Die ganze innere Fläche wird als Totzone in die Berechnung eingesetzt, obwohl vielleicht einzelne Gebiete standzeichenfrei sein mögen. Im unteren Bild ist ein Geländeschnitt N-S dargestellt. Die Totzonen, welche

einerseits durch die Standzeichen und andererseits durch «Abschattungen» entstehen, sind in dieser unteren Figur 15 schraffiert angedeutet. Bestimmt man für sehr viele Geländeschnitte in anderen Richtungen als N-S die toten

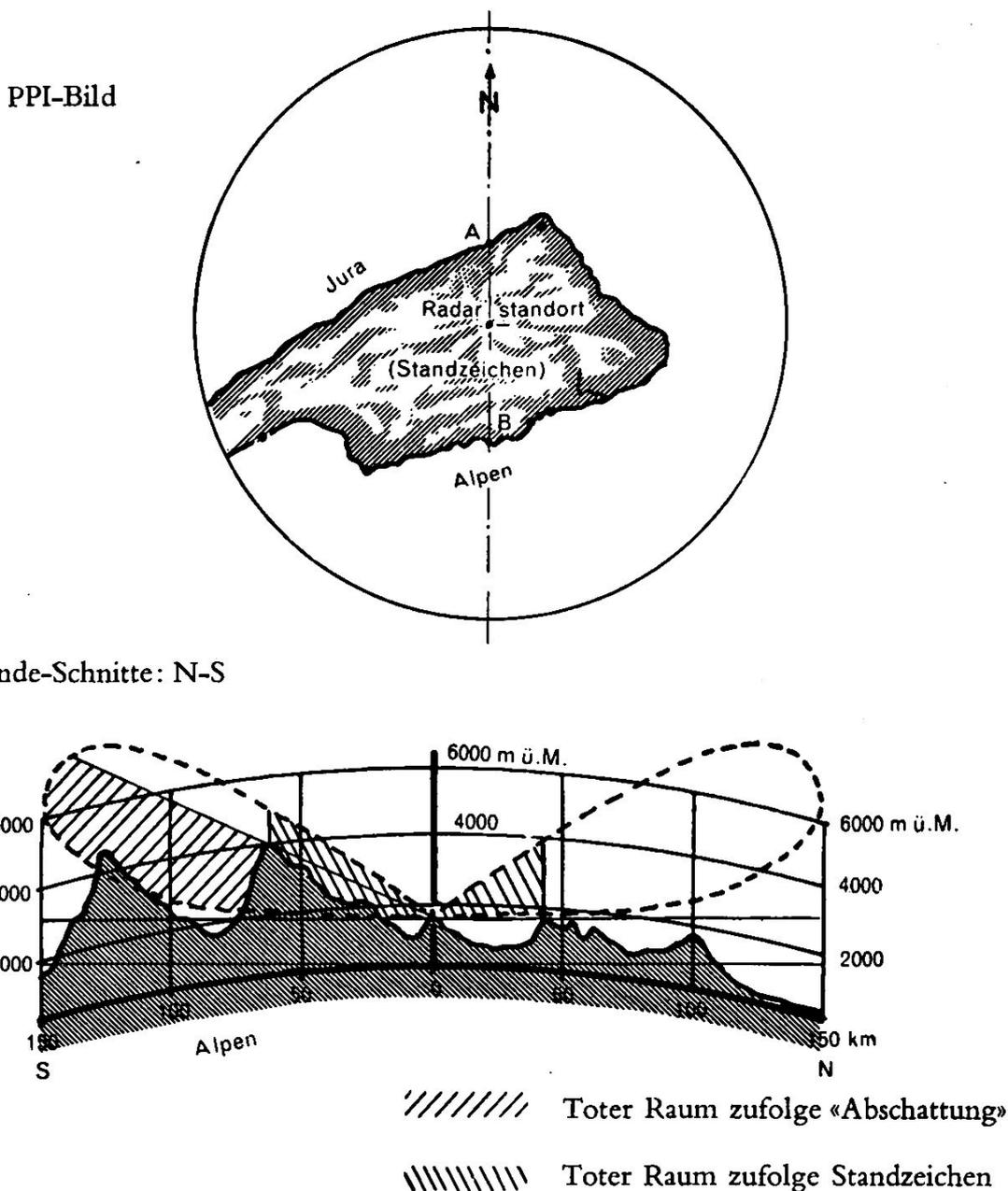


Fig. 15. Berechnung der «toten» Räume für einen Standort südlich des Jura

Zonen, so läßt sich approximativ der Totraum berechnen. Diese Arbeit erfordert sehr viel Zeit. Da aber keine prinzipiellen Schwierigkeiten dabei auftreten, so sei hier auf die Wiedergabe der Detailberechnungen verzichtet und nur das Resultat mitgeteilt:

	Nördliche Viertelskugel	Südliche Viertelskugel
Prozentualer Anteil des Totraumes zufolge Standzeichen %	18	25
Prozentualer Anteil des Totraumes zufolge Abschattung %	6	35
Total	24	60

Figur 15 und auch die obenstehende Tabelle zeigen, daß für eine Beobachtung in Richtung Süden die Radarstationen unbedingt südlich der Alpen aufgestellt werden müßten.

Für unsere Radarstation gehen durch Toträume und Abschattung etwa 42 Prozent des theoretisch überwachbaren Raumes verloren. Gemäß der Rechnung auf Seite 28 erhält man als *effektiven* Wirkungsraum: 263 000 mal 0,58 = 150 000 Kubikkilometer. Diesen Wert dürfen wir nun mit dem Beobachterraum eines mit Auge und Ohr arbeitenden Beobachters vergleichen (2100 Kubikkilometer). Das Ergebnis lautet: der mit einem Frühwarn-Radargerät überwachbare Raum ist rund 70 mal größer als derjenige eines gewöhnlichen Fl.B.M.D.-Beobachters.

Es mag hier noch erwähnt werden, daß der Totraum zufolge Standzeichen in gewissen Fällen auch durch sogenannte künstliche Abschirmungen reduziert werden kann. Solche künstliche Abschirmungen bestehen entweder aus Erdwällen oder aus Drahtnetzen.

Endlich muß an dieser Stelle nochmals auf die Erscheinung der Interferenzen aufmerksam gemacht werden. Die durch dieselben entstehenden Deformationen des idealen Strahlungsdiagrammes sind so stark von den örtlichen Verhältnissen abhängig, daß eine Berechnung fast ausgeschlossen ist. Der überwachbare Raum wird allerdings durch die Interferenzerscheinungen kaum verändert, weil die Verkleinerung der Reichweite in gewissen Zonen durch ebensolche Vergrößerungen in anderen Zonen ungefähr aufgehoben wird. In der Praxis müssen wir aber damit rechnen, daß ein Flugzeug in maximaler Entfernung nicht kontinuierlich verfolgt werden kann. Es wird in den Einbuchtungen des Strahlungsdiagrammes (Figur 5) plötzlich für einige Zeit verschwinden, um später ebenso plötzlich wieder zu erscheinen. Mit solchen «Unannehmlichkeiten» müssen wir bei jedem Radargerät rechnen, weil sie prinzipieller Natur sind.

Wir fassen die Erkenntnisse dieses Unterabschnittes kurz zusammen: Ein Frühwarn-Radargerät, von welchem wir verlangen, daß es auf 150 Kilometer Distanz auch verhältnismäßig tief fliegende Flugzeuge erfassen kann, muß auf einem erhöhten Standort aufgestellt werden (Vermeidung von Abschattungen). Dieser erhöhte Standort verursacht vermehrte Standzeichen. Um diese wiederum möglichst unschädlich zu machen, muß der Standort so

gewählt werden, daß in der Hauptbeobachtungsrichtung ein Hügelzug in einer Entfernung von einigen Kilometern vom Radargerät entfernt eine natürliche Abschirmung bildet. Nötigenfalls kann dieser Effekt durch künstliche Abschirmungen noch erhöht werden. Die nähere Umgebung des Radargerätes verursacht Interferenzerscheinungen. Diesen kann wiederum durch geeignete Stellungswahl und durch künstliche Abschirmungen entgegengewirkt werden.

Aus diesen Überlegungen heraus kommen wir zu folgenden *Schlußfolgerungen*: Die Stellungswahl ist für ein Frühwarngerät von größter Bedeutung und erfordert viel Zeit und Arbeit. Trotzdem wird der Wirkungsraum in unseren Verhältnissen immer mehr oder weniger vom theoretisch Möglichen abweichen. Bei der Planung einer Frühwarnorganisation muß deshalb darnach getrachtet werden, daß sich die Wirkungsräume der einzelnen Geräte überlappen. Wir müssen vielleicht mit doppelt so vielen Radargeräten rechnen, als in einem flachen Lande notwendig wären.

e. Die Beurteilung der Strahlungsdiagramme

Unsere bisherigen Untersuchungen waren mehrheitlich auf die Geländeeinflüsse gerichtet. Es dürfte aber dem Leser bei der Betrachtung der Strahlungsdiagramme der Figur 9 aufgefallen sein, daß Flugzeuge, die höher als 7000 Meter fliegen, von unserem Strahl überhaupt nicht erfaßt werden. Dies rührt daher, daß die Bündelung bei einem Frühwarngerät in der Vertikalebene sehr stark sein muß, wenn die Reichweitenerfordernisse erfüllt werden soll. (Andere Maßnahmen sind unwirtschaftlich, siehe Anhang I, a.) Damit nun auch die oberen Regionen unseres Luftraumes überwacht werden können, müssen wir einen weiteren Gerätetyp einführen, dessen Strahlungscharakteristik steiler gestellt ist (vergleiche Figur 16). Die untere Keule darf wegen der Erdkrümmung nicht mehr als etwa ein Grad gegenüber der Horizontalen geneigt sein (Figur 16, Kurve A). Die obere Keule soll einen Anstellwinkel von ungefähr 3,5 bis 4 Grad aufweisen. Es ist klar, daß diese Veränderung kein neues Gerät bedingt, sondern nur eine leichte Neigung der Antenne nach oben erfordert. Bei einer Planung der Luftraumüberwachung werden wir deshalb ein Frühwarngerät mit «tiefem» Strahl (Figur 16, Kurve A) und ein Frühwarngerät mit «hohem» Strahl (Figur 16, Kurve B) einsetzen müssen.

Wie aus Figur 9 und 16 ersichtlich ist, genügt diese Maßnahme aber immer noch nicht, um eine vollständige Luftraumüberwachung durchführen zu können, da hochfliegende Flugzeuge mit Frühwarngeräten

innerhalb eines Radius von zirka 50 Kilometer nicht mehr festgestellt werden können. Eine vollständige Überwachung erfordert deshalb auch noch sogenannte Mittelwarngeräte; ihre Strahlungscharakteristik wird durch die Kurve C in Figur 16 dargestellt.

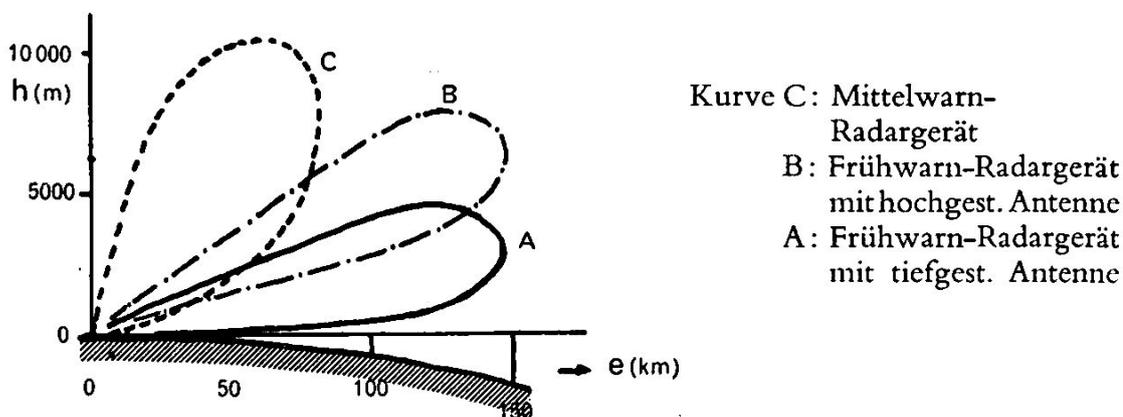


Fig. 16. Strahlungsdiagramme

Die Stellungswahl für den Gerätetypus mit dem Strahlungsdiagramm nach Figur 16, Kurve B, bietet keine Schwierigkeiten, weil die Streustrahlung, welche die Standzeichen verursacht, dank dem Anstellwinkel und der scharfen Bündelung sehr gering ist.

Aus denselben Gründen sind auch Interferenzerscheinungen nicht zu befürchten. Endlich muß der Standort nicht unbedingt erhöht sein, besonders dann nicht, wenn der Deckungswinkel in der Hauptbeobachtungsrichtung nicht größer als 40 Promille ist. Derartige Standorte sind aber selbst in der Schweiz nicht schwer zu finden.

Im allgemeinen sind die Anforderungen, die an einen Standort für ein Mittelwarngerät gestellt werden, nicht sehr hoch, weil diese Gerätetypen meistens Vorrichtungen besitzen, mit denen der Anstellwinkel der Antenne stufenweise verstellt werden kann. Standzeichen und Interferenzen können dadurch stark reduziert werden.

f. Vorschlag für eine schweizerische Luftraumüberwachung

In den bisherigen Untersuchungen wurden die hauptsächlichsten Gesichtspunkte, welche bei der Planung einer Luftraum-Überwachung berücksichtigt werden müssen, herausgeschält. Es würde den Rahmen dieser Arbeit bei weitem überschreiten, hier einen detaillierten Vorschlag auszu-

arbeiten. Dagegen sollen die Grundzüge eines derartigen Projektes festgelegt werden, soweit diese auf dem bisher Behandelten basieren.

Der Leitgedanke dieses Vorschlages ist der, daß die Frühwarngeräte, in deren nächster Nähe auch die AWZ liegen, ihre Standortmeldungen an die Mittelwarngeräte geben, damit diese ihrerseits die Flugzeuge selbst wieder weiter verfolgen können. Von hier aus werden die nunmehr wieder «frischen» Standortbestimmungen an die Armee, vorab an die Flab, weitergegeben. Ein die Schweiz anfliegender Verband wird also von den Frühwarngeräten erfaßt und bei zirka 50 bis 100 Kilometer Distanz einem Mittelwarngerät «übergeben». Dieses übergibt den Verband seinerseits entweder direkt einem Feuerleit-Radargerät oder einem Mittelwarngerät der Flab.

Die Alarmierung der Bevölkerung und der Armee erfolgt wo immer möglich direkt vom PPI der Frühwarnstation aus.

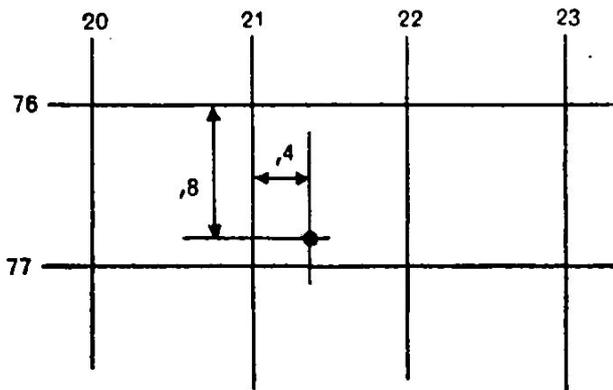
Ebenso werden im Neutralitätsdienst die Flieger direkt vom PPI eines Frühwarngerätes oder (was wahrscheinlicher ist) eines Mittelwarngerätes aus per Funk gelenkt.

Eine derartige Organisation vermeidet langatmige Standortübermittlungen und Auswertungen.

Ein Wort muß noch gesagt werden über die Art und Weise, wie eine Standortmeldung zu erfolgen hat. Die ideale Lösung wäre die, sämtliche PPI-Bilder durch Bildfunk an eine einzige Zentrale zu übermitteln. Dort würden alle diese Bilder im richtigen Maßstab und jedes einzelne PPI-Bild geographisch am richtigen Ort auf eine große Leinwand projiziert. Das Resultat wäre, daß auf einem einzigen «Plan» der ganze riesige Luftraum über und um die Schweiz (total zirka 1 200 000 Kubikkilometer) abgebildet wäre. Vorläufig ist dies für uns allerdings aus verschiedenen Gründen eine Utopie. Es schadet aber nichts, wenn man sich dieses Ideal einer Lösung einmal vor Augen hält; außerdem ist bekannt, daß im Ausland an derartigen Projekten gearbeitet wird.

Gemäß unserem vorliegenden, mehr für die nahe Zukunft gedachten Projekt sind wir noch darauf angewiesen, Standortmeldungen telephonisch durchzugeben. Beim Fl.B.M.D. wird dies heute noch vermittels Angabe von nummerierten Quadraten gemacht, welche über die ganze Schweiz und deren Grenzgebieten verteilt sind. Dieses System ist wohl sehr einfach und in der Übermittlung sehr kurz. Es geht dabei jedoch die große Genauigkeit, mit der die Radargeräte Ziele vermessen können, verloren. Die Beschriftung der Quadrate auf dem PPI-Schirm würde außerdem die Beobachtung erschweren. Die zweckmäßigste Art der Zielbezeichnung scheint uns, besonders im Hinblick auf mobile Stationen, das herkömmliche karthésische Koordinatensystem zu sein. Bei den Frühwarngeräten sollte der Koordinaten-

abstand etwa 20 Kilometer gemacht werden. Die PPI-Röhre kann in diesem Fall mit einer durchsichtigen Kreisscheibe überdeckt werden, in welcher dieses Koordinatennetz eingraviert ist. Der Abstand der Koordinaten würde dann bei einem PPI-Durchmesser von 30 Zentimeter und einer Reichweite des Radargerätes von 150 Kilometer 2 Zentimeter betragen. Bei der Ziel-



Beispiel einer Ziel-Bezeichnung
Flzg: 21 4/76 8

bezeichnung kann außer den gezeichneten Koordinaten eine Dezimale abgeschätzt werden (siehe nebenstehende Figur). Die Ablesung auf dem PPI kann so auf zirka ± 1 Millimeter genau erfolgen, was in Wirklichkeit einer Genauigkeit von ± 1 Kilometer entspricht. Dies ist sowohl für die Alarmierung, als auch für die Weitergabe an die Mittelwarngeräte vollständig genügend.

Die Standortmeldungen der Mittelwarngeräte können, da ihr PPI einen kleineren Maßstab besitzt, auf zirka $\pm 0,5$ Kilometer genau an die Flab weitergeleitet werden. Wenn nun diese Meldung zirka 20 Sekunden Zeit beansprucht, was einem Flugweg von 4 bis 6 Kilometer entspricht, dann muß das Feuerleit-Radargerät das Ziel in einem schmalen Sektor suchen. Dieser Sektor ist bei einer Flugzeugentfernung von 20 Kilometern im ungünstigsten Fall 10 bis 15 Grad breit und damit größer als der Öffnungswinkel des Feuerleit-Radargerätes (zirka 7 Grad). Es ist deshalb vorteilhaft, wenn das Mittelwarngerät auch noch die Flugrichtung übermittelt, damit der Operateur im Feuerleit-Radargerät den Flugweg von 4 bis 6 Kilometern berücksichtigen kann.

Das Prinzip-Schema einer Frühwarnorganisation und deren Übermittlungskanäle geht aus der Figur 17 hervor.

Ein Punkt wurde bis jetzt außer acht gelassen, nämlich die Bestimmung der Flughöhe. Die Flab ist allerdings nicht stark an dieser Angabe interessiert, weil die Mittelwarngeräte der Flab diese Höhe auf einfache Weise und mit genügender Genauigkeit selbst bestimmen können. Auch ist das Feuerleit-Radargerät nicht auf die Kenntnis der genauen Flughöhe angewiesen, weil sein Suchstrahl in 20 Kilometer Entfernung schon eine Höhenausdehnung von 3000 Meter hat.

Für die Flieger ist die Bestimmung der Flughöhe von feindlichen Flugzeugen dann notwendig und wichtig, wenn die eigenen Flugzeuge für die Luftjagd eingesetzt werden. Die Bodenstation lenkt in diesem Fall ihre

Flieger in eine für den Jagdangriff günstige Höhe bezogen auf die Feindhöhe. Radargeräte, mit denen die Flughöhe auf einige zehn Meter genau vermessen werden kann, werden Höhenfinder genannt. Im Aufbau unterscheiden sie sich in nichts von einem Frühwarn-Radargerät. Nur ihre Antenne ist so konstruiert, daß der elektromagnetische Strahl die Form eines

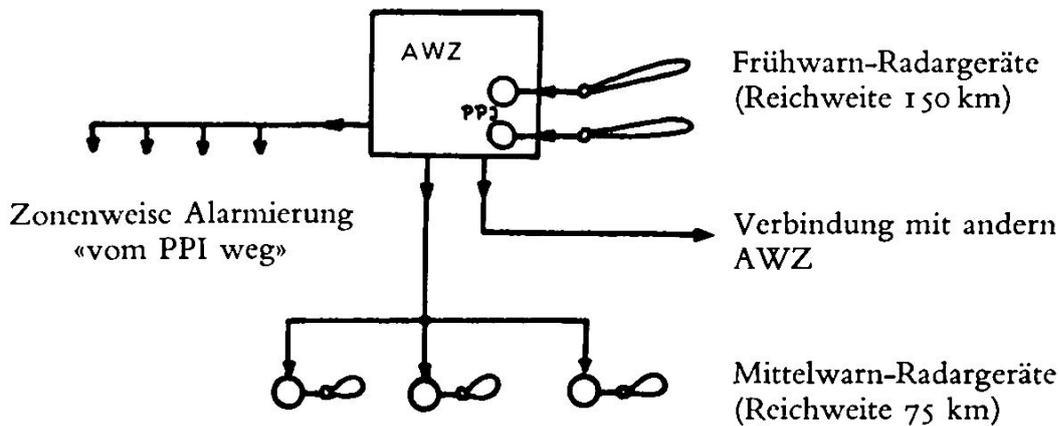


Fig. 17. Prinzip-Schema einer Frühwarn-Organisation

liegenden Fächers annimmt und dieser Fächer auf und ab bewegt werden kann. Für die Projektierung unserer Radarorganisation nehmen wir an, daß zwei solche Höhenfinder notwendig und ausreichend sind. Ihr Standort befindet sich zweckmäßigerweise in nächster Nähe einer Frühwarnstation.

Als allgemeine Richtlinien für die Projektierung einer schweizerischen Luftraum-Überwachung sollen folgende Punkte Berücksichtigung finden:

1. Es stehen Frühwarngeräte mit einer Reichweite von 150 Kilometer und einer Strahlungscharakteristik nach Figur 16, Kurve A und B, sowie Mittelwarngeräte mit einer Reichweite von 75 Kilometer zur Verfügung.
2. Aus finanziellen und personellen Erwägungen heraus soll die Anzahl der Geräte möglichst eingeschränkt werden, jedoch nur soweit, daß nirgends größere Toträume entstehen.
3. Die Organisation soll so einfach wie nur möglich sein, namentlich um den Faktor «Zeit» auf ein Minimum zu reduzieren.
4. Die Aufgabe der Luftraum-Überwachung sei
 - die Alarmierung der Zivilbevölkerung und Industrie,
 - die Übermittlung von Luftlagemeldungen an die interessierten Armeeinstellen, vorab den Flieger- und Flab-Truppen.

5. Die Wahl der Standorte hat im allgemeinen nach radartechnischen Gesichtspunkten zu erfolgen, doch soll ein möglichst großer Teil der Geräte im Reduit stehen.
6. Die Geräte sollen, soweit dies vom taktischen Gesichtspunkt aus verantwortet werden kann, möglichst um die AWZ herum konzentriert werden, um Sprechverbindungen (Funk oder Telephon) nach Möglichkeit zu vermeiden.
7. Die Gerätestandorte sollen einerseits möglichst gut zugänglich, andererseits aber der feindlichen Beobachtung auch wieder nicht allzu sehr exponiert sein.

Um diesen Aufgaben und Bedingungen gerecht zu werden, sind voraussichtlich

4 Frühwarn-Radargeräte mit «tiefem» Strahl, 2 Frühwarn-Radargeräte mit «hohem» Strahl, 2 Höhenfinder und 8 Mittelwarn-Radargeräte notwendig.

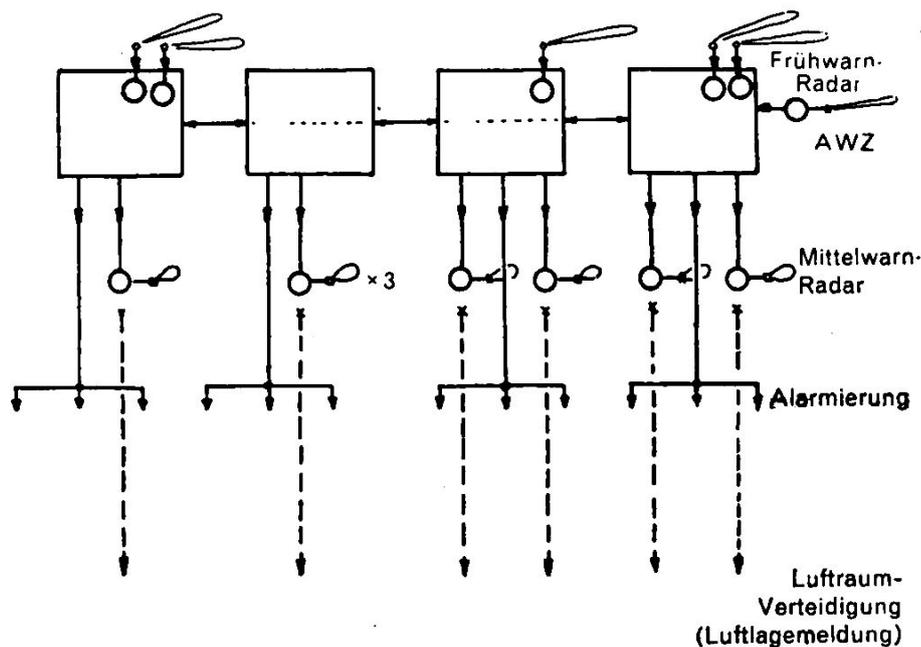


Fig. 18. Prinzip-Schema einer schweizerischen Frühwarn-Radar-Organisation

Über deren Verteilung im schweizerischen Territorium kann sich der Leser an Hand einer Karte leicht selbst ein Bild machen, indem die Wirkungskreise der einzelnen Stationen in dieser Karte aufgezeichnet werden. Der genaue Standort muß von Fall zu Fall festgelegt werden. Die Grund-

lagen hierzu müssen Feldversuche und praktische Vermessungsarbeiten liefern. Geographisch lassen sich die 16 Geräte in 4 Gruppen zusammenfassen, deren «geistiges Zentrum» jeweils eine AWZ ist. Diese sind unter sich durch Telephon oder Funk verbunden, damit die Flugziele von einer AWZ an eine andere «übergeben» werden können. Das Gesamtschema für die hauptsächlichsten Verbindungen dieser Organisation zeigt die Figur 18.

Die Anschaffungskosten dieser 16 Radargeräte inkl. Stromversorgung und Ersatzteile belaufen sich auf rund 8 Millionen Franken. Zu diesem Betrag sind dann noch die baulichen Ausgaben zu rechnen. Es werden namhafte Summen sein, weil einige Stationen (in unwirtlichen Gegenden) fest eingebaut werden müssen. Mit Rücksicht auf Luftangriffe wäre es natürlich überhaupt wünschbar, alle Apparate (mit Ausnahme der Antenne) und die AWZ-Räume unterirdisch anzulegen.

Es mag vielleicht hier noch bemerkt werden, daß das Projekt nicht in einem Jahr verwirklicht werden muß und in diesem Zeitraum wahrscheinlich auch gar nicht realisiert werden kann. Vielmehr wäre aus finanziellen und organisatorischen Gründen eine etappenweise Einführung vorzusehen. Die erste Etappe könnte beispielsweise die Aufstellung von 4 Frühwarngeräten (je 2 mit «tiefem», respektive «hohem» Strahl) und 4 Mittelwarngeräten umfassen. Die Kosten würden sich dann auf ungefähr die Hälfte reduzieren. Dieses Vorgehen hätte zudem noch den Vorteil, daß der spätere Ausbau des Überwachungs-Systems die Erfahrungen der ersten Etappe verwerten könnte.

Der Personalbestand der vorgeschlagenen Organisation kann wie folgt abgeschätzt werden: pro AWZ sind ungefähr 30 Personen notwendig, eine Zahl, welche sich logisch aus den verschiedenen Aufgaben dieser Zentrale ergibt. Es sind dabei 3 Ablösungen vorgesehen, um den Betrieb Tag und Nacht aufrecht erhalten zu können. Für die Radargeräte sind je ein Gerätechef und 6 Mann vorgesehen. Daraus folgt ein Bestand von

$$\begin{array}{rcl}
 4 \times 30 \text{ Mann für die AWZ} & = & 120 \text{ Mann} \\
 16 \times 7 \text{ Mann für die Geräte} & = & 112 \text{ Mann} \\
 \hline
 \text{Total} & & \underline{232 \text{ Mann}}
 \end{array}$$

Die Bezeichnung «Mann» soll nicht etwa heißen, daß nur Männer die Arbeit im neuen Fl.B.M.D. leisten können. Es ist heute im Gegenteil erwiesen, daß Frauen (FHD) in vielen Fällen dem starken Geschlecht überlegen sind. In England werden z. B. Frauen als PPI-Beobachter sehr geschätzt.

Mit Rücksicht auf die Möglichkeit des Angriffes durch tief fliegende

Flugzeuge, deren Erfassung durch Radar nicht möglich ist, (wegen der Erdkrümmung und Standzeichen) wird man auf die heutigen Fl.B.M.D.-Beobachter nicht ganz verzichten. Um wieviel jedoch deren Bestände reduziert werden dürfen, wird erst die Praxis zeigen können. Aus diesem Grunde ist es nicht möglich, ein abschließendes Urteil über den totalen Bestand des neuen Fl.B.M.D. abzugeben. Wir glauben aber mit Bestimmtheit sagen zu können, daß der gesamte Personalbestand nicht höher sein wird als heute.

In einer Beziehung wird allerdings die Zusammensetzung der Fl.B.M.D.-Mannschaften eine wesentliche Änderung erfahren müssen: Das Personal für die Wartung und den Unterhalt der Radargeräte muß sich mit Rücksicht auf die Wichtigkeit der Aufgabe und auf die komplizierten Geräte aus festangestellten Spezialisten rekrutieren, ähnlich wie dies beispielsweise auch für die Wartung der Flugzeuge (DMP) oder der Motorfahrzeuge (AMP) usw. notwendig geworden ist. Diese Spezialisten bilden den Grundstock der Bedienungsmannschaft. Der Rest wird durch aktivdiensttuende Truppen des Fl.B.M.D. und der Flieger- und Flab.-Truppen im Turnus ergänzt.

5. Abschnitt

Die Luftraum-Verteidigung

Im Gegensatz zum Luftschutz, welcher mit sogenannten passiven Mitteln die Auswirkungen von Luftangriffen lindert, verfügt die Luftraum-Verteidigung über aktive Abwehrwaffen. Die gebräuchlichsten davon sind die Jagdflieger und die Fliegerabwehr (Flab.). Die letztere ist heute bei uns durchwegs mit Kanonen ausgerüstet. Versuche in Amerika und auch bei uns tendieren aber dahin, die Kanonen durch Raketen zu ergänzen, wenn nicht gar zu ersetzen. Die Abwehr mittels Sperrballonen zählt zu der passiven Abwehr und wurde bis jetzt in der Schweiz nicht eingeführt.

Charakteristisch an jeder aktiven Abwehr ist, daß das zu bekämpfende Ziel vorerst lokalisiert werden muß. Das sogenannte Sperreschießen hat sich im letzten Krieg als vollständig unzulänglich erwiesen, trotzdem es den Vorteil hat, daß der Standort des Gegners nicht genau bekannt zu sein braucht.

Eine der wirksamsten Waffen für die Luftraum-Verteidigung ist heute die Luftwaffe selbst. Die Luftschlacht um England im Jahre 1940/41 hat

den letzten Beweis hierfür erbracht. Für unsere Verhältnisse kommt leider diese Abwehr nur in geringem Maße in Frage, weil der Einsatz unserer Flieger zur Hauptsache auf Erdziele konzentriert werden muß. (Vergleiche [2]).

Somit bleibt für die schweizerische Luftraumverteidigung einzig und allein die Flab übrig. Die Verantwortung dieser Waffengattung dem Lande gegenüber ist deshalb derart groß, daß wir allen Grund haben, alles zu versuchen, um diese Waffe so wirkungsvoll wie nur möglich zu machen.

Für die Flab ist das primäre Problem die Vermessung der zu bekämpfenden Flugzeuge. Die Mittel, welche ihr heute zur Verfügung stehen sind:

- a. Fernrohre, welche direkt auf dem Kommandogerät (Kgt) montiert sind, für die Lokalisierung des Zieles bezüglich der Winkelkoordinaten (Seite und Lagewinkel).
- b. Telemeter für die Messung der Schrägentfernung als dritter und letzter Koordinate.

Diese optischen Hilfsmittel versagen aber leider, wenn das Ziel im Nebel oder in Wolken, bei Regen, Schneefall oder auch nachts fliegt. Wohl hat man versucht, wenigstens die sich bei Nacht bietenden Schwierigkeiten zu überwinden. Doch die Mittel hierzu (Scheinwerfer und Horchgeräte) sind bei den modernen Fluggeschwindigkeiten untauglich geworden. (Der Beweis hierfür wird im Anhang II geleistet).

Nachdem die Radartechnik aber auch in Flugzeugen Eingang gefunden hat, werden wir in einem zukünftigen Krieg damit rechnen müssen, daß auch bei schlechter Witterung, vor allem durch Wolken hindurch, Luftangriffe durchgeführt werden. Nun sind die Witterungsverhältnisse in der Schweiz im Mittel etwa so, daß während 50 Prozent der Zeit eines Jahres der Himmel mit einer Wolkenschicht von zirka 2000 Meter über Meer bedeckt ist (vergleiche [II]).

Die Einsatzdauer unserer schweren Flab läßt sich somit im Mittel über ein ganzes Jahr wie folgt berechnen:

Die ganze Dauer eines Jahres sei	100 Prozent
Hievon fallen für den Einsatz zunächst die Nächte, inklusive Dämmerung, weg	50 Prozent
Durch Bodennebel, Regen, Schnee usw. (nur am Tag) ist die schwere Flab weiter behindert während zirka	7 Prozent des Jahres.

In der restlichen Zeit (43 Prozent) ist der Himmel zu 50 Prozent bedeckt (also 21,5 Prozent des Jahres). Flugzeuge, die über 2000 Meter über Meer fliegen, können dann mit den optisch gesteuerten Batterien nicht beschossen werden. Sofern die Wahrscheinlichkeit des Einfluges für alle Höhen gleich angenommen werden darf, berechnet sich die Zeitdauer, während welcher wegen bedeckten Himmels kein Einsatz möglich ist, zu 17 Prozent

Für die Einsatzdauer der schweren Flab bleiben somit 26 Prozent eines ganzen Jahres.

Es muß hier ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht werden, daß diese Feststellung nicht etwa nur für die heutige schwere Flab gilt, sondern für jede Art von Bodenabwehr mit großer Reichweite, also auch für eine zukünftige, optisch ferngesteuerte Rakete! Die von dieser neuen Waffe erwartete große Reichweite ist überhaupt nur ausnutzbar, wenn neue Geräte zur Ziellokalisierung vorhanden sind, welche auf die Distanzen von 10 bis 30 Kilometer bei Tag und Nacht, Wolken und Nebel, arbeiten.

Nach dem in den vorstehenden Abschnitten Gesagten bedarf es wohl keiner weiteren Erläuterungen, um zu zeigen, daß *allein die Radartechnik* das soeben aufgerollte Problem lösen kann. Die Frage ist nur die, ob der Zielvermessung durch Radar andere schwerwiegende Nachteile anhaften. Dies soll nun im nachstehenden unter spezieller Berücksichtigung unserer heutigen 7,5-Zentimeter-Flab untersucht werden. Diese Beurteilung von Radar erfolgt nach folgenden Gesichtspunkten:

- a. Beeinflussung durch die Witterung;
- b. Reichweite und deren Einfluß auf die Schießtaktik der Flab;
- c. Beeinflussung durch das Gelände;
- d. Genauigkeit der Zielvermessung und als deren Folge die Treffererwartung;
- e. finanzieller und personeller Aufwand.

Im Gegensatz zu den zahlreichen Frühwarn-Radargeräten sind bei den Feuerleit-Radargeräten für die Fliegerabwehr bis heute nur zwei Vertreter bekannt geworden. Beide Geräte sind sich sehr ähnlich, besonders in bezug auf ihre Leistungsfähigkeit. Die uns hier interessierenden technischen Daten dieser Radartypen sind in der Tabelle I zusammengefaßt.

Tabelle 1

Technische Daten von Feuerleit-Radargeräten

Wellenlänge	10 Zentimeter
Impulsleistung	200 Kilowatt
Eingangsleistung	7 Kilowatt
Parabolspiegel-Durchmesser	zirka 1,5 Meter
Strahlform:	
Exzentrischer Kegel mit einem Öffnungswinkel (Halbwertsbreite) von	5 Grad
Exzentrizität	zirka 2 Grad

Genauigkeiten (bei automatischer Verfolgung des Zieles):

bezüglich Seitenwinkel	2-5 Promille
bezüglich Lagewinkel	2-3 Promille
bezüglich Entfernung	20-30 Meter

Die erste Zahl gibt den Mittelwert an, während die zweite die maximalen Fehler bezeichnet, welche bei einem als normal zu bezeichnenden Flug noch auftreten können.

Reichweite:

für einmotorige Flugzeuge	zirka 18-20 Kilometer
für zweimotorige Flugzeuge	zirka 25-30 Kilometer

Kurzbeschreibung des Gerätes

Die Apparaturen sind in einem Anhänger untergebracht, der zirka 5 bis 7 Tonnen wiegt. Auf dem Dach befindet sich eine nach Seite und Lage-winkel drehbare Parabol-Antenne. Die Verstellung dieser Antenne erfolgt mittels Elektromotoren, und zwar entweder mit Handsteuerung oder (wenn auf ein Flugzeug eingestellt) automatisch. Die genaue Stellung der Antenne kann an Skalen abgelesen werden oder für die Feuerleitung mittels Folge-zeiger-Systemen elektrisch an das Kommandogerät übertragen werden. Dasselbe gilt auch für die Entfernung.

Als Anzeigergeräte dienen ein «PPI»-Rohr (speziell zum Aufsuchen von Zielen) und ein Kathodenstrahlrohr vom Typus «A». Zur Bedienung ist nur ein Mann notwendig.

a. Beeinflussung durch die Witterung

Die Einschränkungen, welche die Einsatzzeit einer optisch gesteuerten Sch.Flak.Bttr. zufolge der Nächte und der Witterung erfährt, wurden bereits berechnet. Das Resultat war, daß diese Flak während zirka drei Viertel der Zeit eines Jahres zur Untätigkeit verurteilt ist.

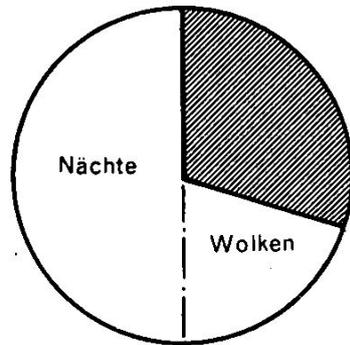


Fig. 20.

Optisch gesteuerte Flak.Bttr.

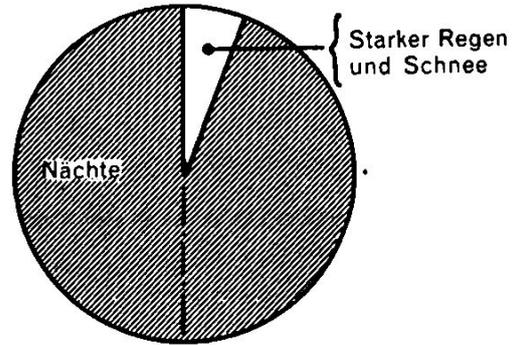


Fig. 21.

Radar-gesteuerte Flak.Bttr.

■ Wirkungszeiten

Für die Radiowellen bis hinunter auf eine Wellenlänge von zirka 8 Zentimeter bilden jedoch Dunkelheit, Nebel, leichter Regen und Schneefall praktisch kein Hindernis. Die Radar-Vermessung wird nur durch starke Niederschläge gestört. Diese können pro Jahr auf zirka 5 Prozent geschätzt werden.

Da unsere Betrachtungen darauf abzielen, ein Werturteil über Radar für unsere schwere Flak abzugeben, setzen wir diese radarmäßigen Prozentzahlen ins Verhältnis zu den optischen Werten.

Die Wirkungszeit bei optischer Steuerung beträgt 26 Prozent
als Mittelwert über ein Jahr genommen.

Diejenige bei Radarsteuerung dagegen 95 Prozent

Das Wirkungszeiten-Verhältnis beträgt daher $26 : 95 = 1 : 3,65$.

In Worten: Eine radargesteuerte Batterie kann 3,65 mal mehr (oder länger) wirken als eine heutige Batterie (vergleiche Figur 20/21).

b. Reichweite und deren Einfluß auf die Flak-Schießtaktik

Die Reichweite des menschlichen Auges ist nicht leicht exakt anzugeben. Ausgehend von der Tatsache, daß unser Auge ein minimales Auflösungsvermögen von 3 Winkelsekunden besitzt, erhält man bei Flugzeugen

mit einer Rumpfhöhe von 1 Meter eine Reichweite von 60 Kilometer. Dieser Wert stimmt jedoch mit der praktischen Erfahrung nicht überein, weil für die Erkennbarkeit eines Gegenstandes der Helligkeitskontrast mit seiner Umgebung eine ungemein große Rolle spielt. Dieser Kontrast hängt nun aber seinerseits wieder von so vielen Faktoren ab, daß keine allgemeine Norm angegeben werden kann. Sicher ist nur, daß mit zunehmender Beobachtungsdistanz (stärkere Dämpfung des sichtbaren Lichtes in der Atmosphäre) der Kontrast stark abgeschwächt wird. Die allgemeine Unsicherheit in der Angabe einer zuverlässigen Reichweite veranlaßt uns eher günstige Werte zu wählen (in dubio pro reo).

In der Figur 22 wurden zum Beispiel 10 Kilometer angenommen. Ein Beobachter in der Batterie kann somit Flugzeuge feststellen, sobald sie in eine Halbkugel vom Radius 10 Kilometer einfliegen. Diese Halbkugel ist in Figur 22 im Grundriß mit einem Kreis angedeutet. Ebenso wird der Wirkungsraum einer schweren Flab.Btr. durch den sogenannten Wirkungskreis dargestellt [12].

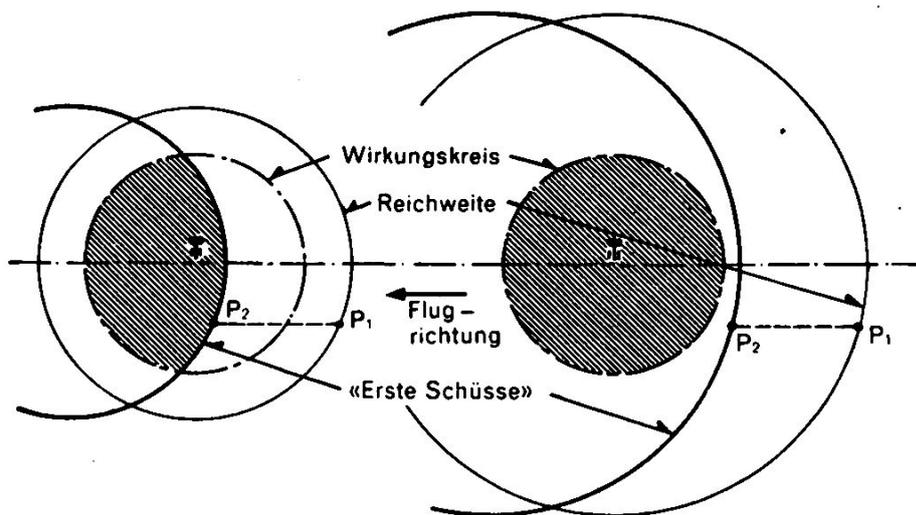
Es interessiert uns nun, zu wissen, wo der geometrische Ort aller ersten Schüsse liegt.

Zunächst setzen wir voraus, daß der Fliegeralarm die Btr. rechtzeitig alarmiert hat und diese somit in höchster Bereitschaft steht. Der batterie-eigene Luftbeobachter stehe beim Kommandogerät und richtet das Kommandogerät auf das Ziel, sobald er es sieht, also wenn es in 10 Kilometer Entfernung ist.

Die Zeit, die verstreicht, bis auch der Telemeter das Ziel erfaßt hat und brauchbare Meßwerte abgibt, bis die Rechenelemente des Kommandogerätes sich beruhigt haben und endlich bis das Geschloß das Ziel erreicht hat, sei zu total 40 Sekunden angenommen. Selbstverständlich streuen diese sogenannten Verzugszeiten je nach der Bedienung der Geräte sehr stark. Der angegebene Wert scheint uns jedoch einen guten Mittelwert darzustellen.

Vom Moment der Zielfeststellung bis zur Detonation des ersten Schusses verstreichen somit total 40 Sekunden. Während dieser Zeit legt ein modernes Flugzeug eine Wegstrecke von 8 Kilometer zurück (Horizontalschwindigkeit 720 Kilometer pro Stunde = 200 m pro Sekunde). Der geometrische Ort aller ersten Schüsse ist somit wiederum eine Halbkugel mit dem Radius 10 Kilometer, welche aber in Flugrichtung um 8 Kilometer verschoben ist. Der Kreis «Erste Schüsse» in Figur 22 deutet diese Halbkugel an. Deren Durchdringung mit der Wirkungshalbkugel stellt den effektiven Wirkungsraum bei optischer Beobachtung dar. Volumenmäßig beträgt er 54 Prozent der gesamten Wirkungshalbkugel. Wir sehen, daß trotz ver-

hältnismäßig günstigen Voraussetzungen (große Beobachterreichweite, mittlere Fluggeschwindigkeiten und ziemlich kurze Zeiten für die Schußbereitschaft) unsere Flab.Bttr. die Hälfte ihres Wirkungsraumes einbüßt. Es blieb dabei erst noch unberücksichtigt eine Totraumzone, welche zufolge Überschreitens der maximalen Winkelgeschwindigkeit am Geschütz entsteht. Da dieser tote Raum auch bei Radarsteuerung auftritt, soll er nicht in unsere Überlegungen einbezogen werden.



Zur Berechnung der Wirkungsräume

Fig. 22.
Optisch gesteuerte Sch.Flak.Bttr.

Fig. 23.
Radar-gesteuerte Sch.Flak.Bttr.

Die eben gemachte Feststellung, daß unsere Flak-Kanone nur zur Hälfte ausgenützt werden kann, wird noch verschlimmert, wenn man berücksichtigt, daß das Flugzeug größtenteils erst im Wegflug beschossen werden kann, also in vielen Fällen erst, nachdem es seinen Auftrag erfüllt hat!

Für die radargesteuerte Batterie sind die Verhältnisse in Figur 23 aufgezeichnet. Abgesehen davon, daß die «Sicht»-Reichweite jetzt 16 Kilometer beträgt, bleibt sich alles gleich wie in Figur 22. (Gemäß Tabelle 1 darf mit einer Mindestreichweite von 18 bis 20 Kilometer gerechnet werden. Doch wurde hier die Tatsache in Rechnung gestellt, daß die Feststellung eines Flugzeuges mit Radar etwas mehr Zeit beansprucht als diejenige mit unbewaffnetem Auge.)

Aus der Figur 23 ist sofort ersichtlich, daß der Wirkungsraum der Batterie bei Radarsteuerung in keiner Weise beschnitten wird, also zu 100 Prozent ausgenutzt werden kann.

Ein kritischer Leser mag vielleicht den Einwand erheben, die optische Reichweite könne mit Feldstecher oder durch Vorverlegen der Beobach-

tungsposten erhöht werden. Leider ist dies im Moment, wo das Kommando-
 gerät (Kgt) auf das Ziel gerichtet werden soll, nicht möglich. Die Erfahrung
 lehrt, daß die Zielanweisung am Kgt. nur mit unbewaffnetem Auge ge-
 macht werden kann. Ohne komplizierte Koordinaten-Übermittlung vom
 Beobachtungsposten zum Kgt. ist an eine Verbesserung der Reichweite mit
 derartigen Methoden nicht zu denken.

Wir kommen daher zum Schluß, daß bei radargesteuerter 7,5-Zenti-
 meter-Flab.Bttr. der Wirkungsraum derselben voll ausgenützt werden kann
 und damit etwa zweimal größer ist als derjenige einer optisch gesteuerten
 Batterie.

c. Beeinflussung durch das Gelände

Die Beurteilung des Geländeeinflusses ist in allgemeiner Form fast un-
 möglich, weil das Resultat allzusehr von der Wahl der Stellung abhängt.
 Um trotzdem ein ungefähres Bild über diese Frage zu erhalten, soll an Hand
 eines bestimmten, jedoch schematisierten Beispiels diese Beeinflussung der
 Radarmessung durch das Gelände untersucht werden.

Die Aufgabe, die wir uns stellen, lautet:

Wie groß ist der volumenmäßige Anteil des Raumes, in welchem eine
 Beobachtung möglich ist im Verhältnis zu einem idealen Beobachtungs-
 raume. Wir verstehen dabei unter idealem Beobachtungsraum:

a. Im Falle der optischen Beobachtung die Halbkugel mit dem Radius 10 Kilometer: $\frac{2}{3} \pi \times R^3$	2 100 km ³
abzüglich des Raumes der über 7 Kilometer Höhe liegt, weil dieser für den Beschuß nicht mehr in Frage kommt. Das Volumen dieses Kugelabschnittes beträgt	
$\frac{\pi}{3} h^2 (3 R - h)$	- 250 km ³
	1 850 km ³
b. Im Falle der Beobachtung mit Radar die Halbkugel mit dem Radius 20 km	16 750 km ³
abzüglich des Raumes über 7 Kilometer Höhe	- 8 350 km ³
	8 400 km ³

Unser schematisiertes Gelände habe die in den Figuren 24 und 25 ge-
 zeigten Querschnitte, und zwar jeweils einheitlich über einen Sektor von
 90 Grad Seitenwinkel. Diese Annahme vereinfacht nicht nur die Rechnung,
 sondern es zeigt dem Nichtfachmann besonders deutlich die Beeinflussung

durch vier typische Geländekonfigurationen, wie wir sie in der Schweiz antreffen können.

Figur 24 links gibt ein Gelände wieder, wie es zum Beispiel in unserem Mittelland überall anzutreffen ist. Die Stellungswahl wurde so getroffen, daß ein Hügelzug in 1 Kilometer Entfernung das Hinterland abschirmt. Für das Radargerät ergibt sich daraus der Vorteil, daß dieses Hinterland keine Standzeichen verursachen kann. Der tote Raum zufolge Abschattung beträgt in diesem Fall für die optische Beobachtung 6 Prozent und für die Beobachtung mit Radar 10 Prozent.

Im Beispiel der Figur 24 rechts ergibt sich für die optische Beobachtung ein mittlerer Deckungswinkel von 160 Promille und ein toter Raum von 18 Prozent. Es ist dies ein Beispiel für irgendeines unserer Alpentäler. Für das Radargerät ist dieses Gelände recht ungünstig, weil die nebeneinander gestaffelten Berge eine große Anzahl von Standzeichen erzeugen. Die zusätzliche Elevation der Radarantenne über die jeweiligen Bergspitzen hinaus muß etwa 120 Promille betragen, damit praktisch keine Standzeichen mehr entstehen. Der tote Raum beträgt hier für Radar 46 Prozent.

Die Figur 25 zeigt ein Gelände, das für Radar außerordentlich schlecht gewählt ist. Die linke Seite (Sektor III) weist einen Horizont von zirka 0 Promille auf, so daß optisch kein toter Raum entsteht. Dagegen erzeugt das langsam ansteigende Gelände auf der Anzeigeröhre des Radargerätes (solange der Lagewinkel kleiner als zirka 120 Promille ist) auf der ganzen Länge eine Menge kleiner Standzeichen. In einem solchen Gebiet ist es schwer, Flugzeuge aufzufinden. Der tote Raum beträgt daher 25 Prozent. Etwas günstiger würden die Verhältnisse, wenn das Feuerleit-Radargerät von der Frühwarnung genaue Standortangaben erhielte. In diesem Fall würde es möglich sein, innerhalb von schwachen Standzeichen ein Flugzeug aufzufinden. Der tote Raum würde dann auf etwa 13 Prozent sinken. Würde es sich um eine permanente Flab-Stellung handeln, dann könnte durch künstliche Abschirmung der tote Raum praktisch auf Null herabgesetzt werden.

Das Beispiel rechts (Figur 25) entspricht etwa einer Stellung in den Vor-alpen mit Blick gegen Süden. Der tote Raum für den optischen Beobachter entsteht zur Hauptsache durch das Gelände selbst und beträgt 6 Prozent. Für das Radargerät ist der stetig ansteigende Berghang wiederum ungünstig. Bis zur Entfernung des Horizontes (13,6 Kilometer) entstehen Standzeichen wiederum so lange, bis der Lagewinkel der Antenne 120 Promille über dem Horizont steht. Das dahinterliegende Gelände verursacht keine Störungen mehr, weshalb der dortige tote Raum durch den Deckungswinkel gegeben ist. Auch hier könnte durch zweckmäßige künstliche Abschirmung eine

Beeinflussung der Beobachtung durch das Gelände
(Schematisierte Gelände-Querschnitte)

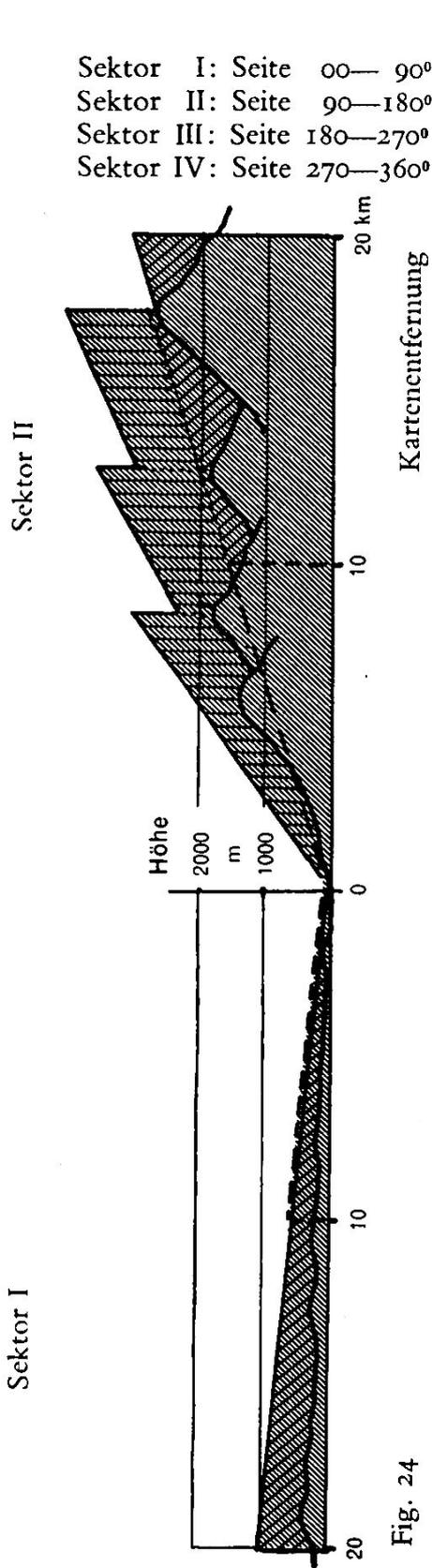


Fig. 24

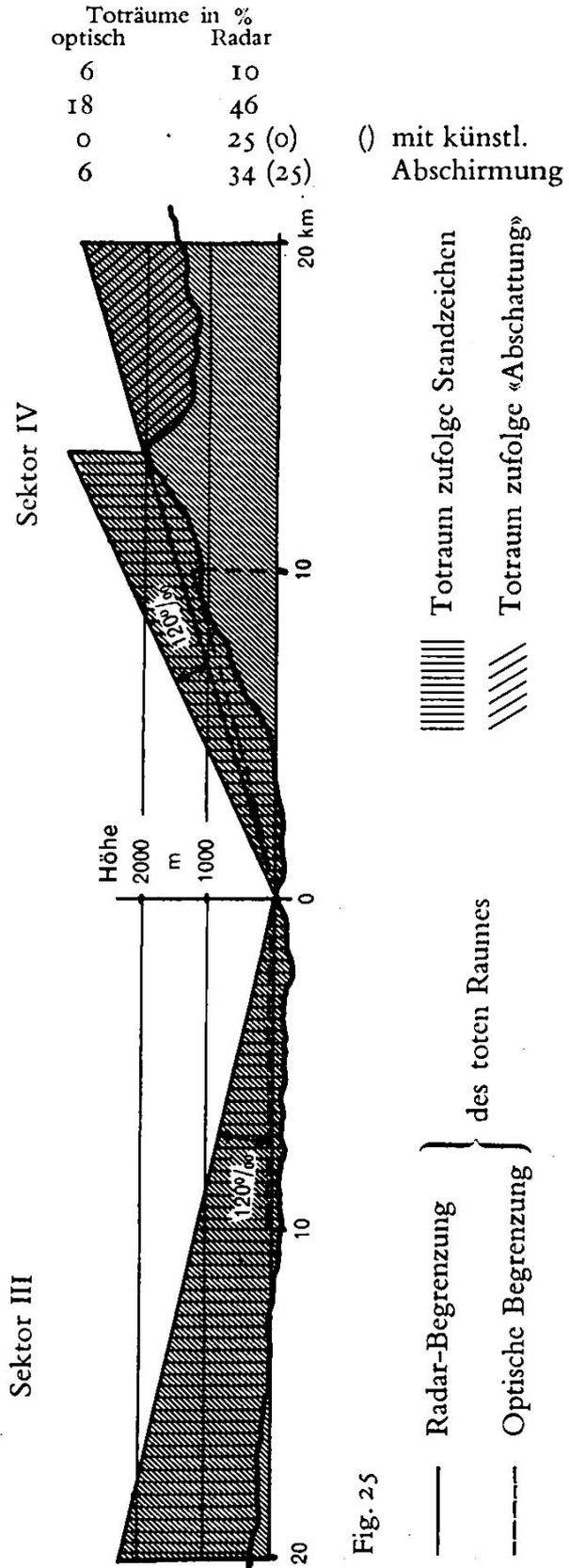


Fig. 25

Verbesserung erzielt werden. Die toten Räume betragen 34 Prozent ohne und 25 Prozent mit künstlichen Abschirmungen.

Fassen wir die vier Einzelresultate zusammen, dann ergibt sich für die optische Beobachtung im Mittel ein toter Raum von 7,5 Prozent und für die Beobachtung mit einem Feuerleit-Radargerät ein solcher von 31 Prozent. Das Verhältnis fällt hier 1 : 4,1 zuungunsten des Radargerätes aus. Mit einer künstlichen Abschirmung im Sektor III und IV würde es 1 : 3,0 betragen.

*d. Die Genauigkeit der Zielvermessung und als deren Folge:
Die Treffwahrscheinlichkeit*

Die Genauigkeiten, mit denen ein Feuerleit-Radargerät ein Ziel vermißt, sind in Tabelle 1 aufgezeichnet. Besonders typisch für ein Radargerät ist die Tatsache, daß der Entfernungsfehler praktisch unabhängig von der Meßdistanz ist. Er hängt fast nur von der Gerätekonstruktion ab, weil die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen in der Atmosphäre nahezu konstant ist (detaillierte Angaben hierüber findet man in [6], Seite 242).

Die analogen Meßgenauigkeiten für optische Instrumente können wie folgt angegeben werden (leider fehlen unseres Wissens bis heute statistische Angaben darüber):

Für den Seitenwinkel	3 Promille
Für den Lagewinkel	2 Promille

Für die Entfernung gilt ein quadratisches Gesetz: Der Instrumentenfehler des Telemeter (TM) Δe_i kann näherungsweise mit e^2 angegeben werden, wobei e , die Schrägentfernung, in Kilometer und Δe_i in Meter einzusetzen sind. Für eine Meßdistanz von beispielsweise 5 Kilometer beträgt der Instrumentenfehler somit $\Delta e_i = \pm 25$ Meter. Mit Einschluß des Meßfehlers des Meßmannes muß man mit Fehlern von zirka achtfacher Größe rechnen. Bei dem obenerwähnten Beispiel (Meßdistanz 5 Kilometer) erhält man dann als wahrscheinliche maximale Fehler ± 200 Meter.

Wir stellen uns zunächst die Aufgabe, den sogenannten Streukubus der Zielvermessung auszurechnen (vergleiche Anhang III, Figur 2). Da die bisher genannten Meßgenauigkeiten sich so verstehen, daß sie Maximalwerte darstellen, wobei allerdings extreme Spitzen (zirka 5 Prozent aller Meßwerte) nicht berücksichtigt sind, so stellt der berechnete Streukubus ungefähr die $(0,95^3 \times 100 =)$ 86prozentige Streuung dar.

Die Berechnung der Streuung für alle vorkommenden Meßdistanzen würde wegen der Distanzabhängigkeit des Meßfehlers zu langwierig. Wir wollen daher unsere Betrachtungen auf einen für das Flab-Schießen mit 7,5-cm-Kanonen typischen Fall beschränken.

Es handle sich um einen Vorbeiflug gemäß der in Anhang III, Figur 1 gezeigten Skizze. Die Schrägentfernung zum momentanen Meßpunkt betrage 5 Kilometer.

Die Streukuben dieses Meßpunktes werden damit:

$$\text{bei optischer Vermessung: } 15 \times 200 \times 10 \times 2^3 = 2,4 \cdot 10^5 \text{ m}^3$$

$$\text{bei Radar-Vermessung } 25 \times 30 \times 15 \times 2^3 = 0,9 \cdot 10^5 \text{ m}^3$$

Das Verhältnis dieser Streukuben wird 2,66 : 1.

Auf Grund des fehlerbehafteten Meßpunktes muß nun das Kgt den Vorhaltepunkt oder auch Treffpunkt genannt – berechnen. Während dieses Rechenvorganges kann sich aber der Meßpunkt sozusagen beliebig innerhalb des Streukubus bewegen. Wenn wir nun als 2. Aufgabe die Berechnung des Streukubus für den Vorhaltepunkt vornehmen – denn dieser gibt uns die 86prozentige Schußfehler-Streuung (Schußfehler = Distanz des detonierenden Geschosses vom Ziel) ohne Berücksichtigung der Kgt-Rechenfehler und der ballistischen Streuung – dann sind wir gezwungen, irgend eine Annahme für diese Bewegung des Meßpunktes innerhalb seines Streukubus zu treffen. Der einfachste Fall liegt vor, wenn diese Bewegung (vom Mittelpunkt nach einer Ecke des Kubus) linear angenommen wird. Erfahrungsgemäß spielt sich diese Auswanderung bei menschlicher Richtigkeit durchschnittlich in einer Zeit von zirka 6 Sekunden ab. Beim Radargerät ist sie dank der größeren Reaktionsfähigkeit der Automatik viel kürzer und kann auf etwa 2 Sekunden geschätzt werden.

Mit Hilfe dieser Annahmen ist nun die Berechnung des Streukubus für den Vorhaltepunkt durchführbar. (Der Gang dieser Berechnung wird im Anhang III ausführlich beschrieben). Es möge hier genügen, das Resultat (ein Mittelwert aus drei Rechenbeispielen) bekannt zu geben:

Der Streukubus des Vorhaltepunktes wird

$$\text{bei optisch gesteuertem Kgt: } 110 \times 238 \times 61 \times 2^3 = 12,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{bei radargesteuertem Kgt: } 57 \times 67 \times 40 \times 2^3 = 1,22 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

Das Verhältnis der Streukuben des Vorhaltepunktes ist, wie dies zu erwarten war, gestiegen: 10,5 : 1.

Schlußendlich sind nun noch die statischen Rechenfehler des Kgt., die Einstellfehler der Geschützmannschaft und die ballistische Streuung zu berücksichtigen:

Es werden folgende Zahlenwerte angenommen:

Für die statischen Richtfehler des Kgt.:

Seite	$4 \text{ ‰} = 20 \text{ m}$ (für $e_M = 5 \text{ km}$)
Lagewinkel	$4 \text{ ‰} = 20 \text{ m}$
Tempierung	$0,06 \text{ sec} \approx 30 \text{ m}$

Für die Einstellfehler am Geschütz:

Seite	$2 \text{ ‰} = 10 \text{ m}$
Elevation	$2 \text{ ‰} = 10 \text{ m}$
Tempierung	$0,02 \text{ sec} \approx 10 \text{ m}$

Für die ballistische Streuung wurde nur die Streuung der Tempierung berücksichtigt, weil die Fehler in Seite und Elevation vernachlässigbar klein sind.

95prozentige ballistische Tempierungs-Streuung: 150 Meter.

Diese neuen Fehlerkomponenten sind nunmehr zu den auf Seite 51 erhaltenen Werten für die Streukuben des Vorhaltepunktes hinzuzuzählen und ergeben als Schlußresultat die Streukuben für den Schußfehler:

bei optisch gesteuerter Batterie	$140 \times 428 \times 91 = 43,6 \text{ } 10^6 \text{ m}^3$
bei radargesteuerter Batterie	$87 \times 257 \times 70 = 12,5 \text{ } 10^6 \text{ m}^3$

Beachtenswert ist, daß nunmehr die Verhältniszahl $\frac{\text{optischer Kubus}}{\text{Radar-Kubus}}$

für die Schußfehler kleiner geworden ist; nämlich

$$3,5 : 1.$$

Grund hiefür sind die verhältnismäßig großen, jedoch beiden Kuben gemeinsamen Fehler der Kgt-Rechenarbeit und ganz besonders des ballistischen Fehlers in der Tempierung. Die Reduktion dieses letzteren Fehlers – der sogenannten Zünderstreuung – gelang bekanntlich durch die Verwendung des Annäherungszünders (Proximity Fuse). Nach statistischen Angaben der Alliierten stieg die Abschußwahrscheinlichkeit beim Flab-Beschuß der fliegenden Bomben (V 1) zufolge der Einführung von Radar und des Annäherungszünders auf das Fünffache. Unsere Rechnung wird damit sehr schön bestätigt. Denn wenn die ballistische Streuung gleich null gesetzt wird, so ergibt unsere Rechnung ein Verhältnis der Schußfehler-

Kuben von 5,4 : 1 zu Gunsten von Radar und Annäherungszünder. Die Kuben selbst sind aber indirekt proportional zu der Treffwahrscheinlichkeit.

Das Ergebnis der vorstehenden Berechnung kann auch noch auf andere Weise auf seine Richtigkeit überprüft werden. Es ist bekannt, daß auf unseren Flab-Schießplätzen mit mittleren Schußfehlern von ungefähr 200 Meter gerechnet werden muß. Wenn wir also die halbe Diagonale unserer Kuben berechnen, so ergibt dies den maximalen Schußfehler bei 86prozentiger Streuung.

Wir erhalten bei optischer Steuerung	459 m
bei Radar-Steuerung	280 m.

Nach dem Gaußschen Fehlergesetz läßt sich daraus der mittlere, arithmetische Schußfehler ableiten. Für unser Beispiel erhalten wir:

Mittlerer arithmetischer Schußfehler	
bei optisch gesteuerter Batterie	264 m
bei radargesteuerter Batterie	160 m

Die Übereinstimmung des rechnerischen Resultates für den optischen Schußfehler mit den Erfahrungswerten von Schießplätzen (leider fehlen uns auch hier statistische Angaben) darf als befriedigend angesprochen werden. Aus diesem Grunde kann mit einiger Gewißheit behauptet werden, daß der Quotient

$$\frac{\text{Kubus der Schußfehler bei optischer Steuerung}}{\text{Kubus der Schußfehler bei Radarsteuerung}} = 3,5 : 1$$

der Wirklichkeit sehr nahe kommen wird.

Die Treffwahrscheinlichkeit ist somit bei radargesteuerter Sch.Flav.Bttr. 3,5mal größer als bei der optisch gesteuerten (heutigen!) Bttr. – oder anders ausgedrückt: Um die gleiche Treffwahrscheinlichkeit zu erreichen, benötigt die radargesteuerte Flab nur rund ein Drittel an Bttr., respektive bei gleicher Rohrzahl nur rund ein Drittel an Munition.

Die bisher behandelten Fragen (Unterabschnitt a bis d) sind alle taktischer Natur. Es mag deshalb erlaubt sein, nach einer vereinfachenden Kennziffer zu suchen, welche alle diese taktischen Eigenschaften zusammenfaßt. Am einfachsten geschieht dies so, daß die in den einzelnen Unterabschnitten erhaltenen Verhältniszahlen miteinander multipliziert werden.

Wir erhielten:

Für die zeitliche Wirkungsdauer	optisch gesteuert	1
	radargesteuert	3,65
Für den räumlichen Wirkungsbereich		1
		1,86
Für die Einschränkung des Wirkungsbereiches zu-		
folge des Gelände-Einflusses		4,10
		1
Für die Treffwahrscheinlichkeit		1
		3,50

Das Gesamtprodukt ergibt das Verhältnis 1 : 5,7 und besagt, daß eine mit Radar ausgerüstete Sch.Flav.Bttr. in taktischen Belangen 5,7mal mehr leisten kann als eine optisch gesteuerte Bttr.

e. Finanzieller und personeller Aufwand

Wenn im Nachstehenden noch kurz auf die finanzielle und personelle Auswirkung einer Einführung von Radar bei der Schw.Flav. eingegangen wird, so hat dies zwei Gründe:

1. soll dadurch das Gesamtbild der Konsequenzen einer solchen Einführung abgerundet werden und
2. führt diese Betrachtungsweise zwangsläufig auf die Diskussion der Dotation mit diesen Radargeräten.

Nach dem Ergebnis der bisherigen Untersuchungen (Flav mit Radar 5,7mal besser) müßte der Idealfall zweifelsohne der sein, daß jede Bttr. ein Feuerleitgerät erhielte und außerdem jedes Rgt. oder jede Abteilung entweder ein mittleres Frühwarngerät oder ebenfalls ein Feuerleitgerät, jedoch als Zielweiser (englisch: Putter-on) einsetzt. Die Flugzeug-Standort-Meldungen würden gemäß dem in Abschnitt 4 gemachten Vorschlag von den weitreichenden Frühwarnstationen an die Mittelwarngeräte des Fl.B.M.D. geleitet. Die hier gefundenen Ziele werden nun weiter an die «Zielweiser»-Radar der Flav gemeldet, mit welchen sie von neuem lokalisiert werden. Der Rgt.- beziehungsweise Abt.Kdt. oder der feuerleitende Of. verfolgt die Luftlage auf seinem eigenen PPI-Schirm und kann durch entsprechende Standortmeldung an seine Feuerleit-Radargeräte das Feuer der Bttr. leiten. Die Feuerleitgeräte werden ihrerseits keine großen Schwierigkeiten haben, das Ziel zu finden, wenn die Standortmeldungen (im Ge-

gensatz zu der bisherigen Praxis im Fl.B.M.D.) sozusagen «frisch», das heißt ohne großen Zeitverzug und mit Angabe der Flugrichtung zum Bedienungsmann des Feuerleit-Radargerätes gelangen. Die Standortmeldungen werden auch innerhalb der Flab zweckmäßigerweise in rechtwinkligen Koordinaten durchgegeben, wodurch jede zeitraubende Umrechnung vermieden wird. Bedingung ist nur, daß sämtliche PPI-Schirme mit dem richtigen Koordinatennetz versehen sind.

Diese Organisation ist sehr einfach und dürfte wohl gerade deshalb am ehesten im Ernstfall Aussicht auf Erfolg haben.

Die Finanzierung dieses Idealfalles erfordert folgende Geldmittel:

Pro Radargerät inklusive Generator, Traktionsmittel und reichlich dotiertem Ersatzmaterial muß mit einem Kostenaufwand von etwa 500 000 Franken gerechnet werden. Der Materialwert einer Btr. steigt dadurch um zirka 35 Prozent, derjenige einer ganzen Abteilung um zirka 45 Prozent, wenn die Abteilung auch mit einem «Zielweiser»-Radar ausgerüstet wird. Selbstverständlich werden in diesem Falle unsere Scheinwerfer-Kompagnien bei der schweren Flab überflüssig. Sofern für sie ein neues Wirkungsfeld (zum Beispiel bei der leichten Flab oder in Festungen) gefunden wird, so darf wohl mit Recht der diesen Kompagnien zugeteilte Materialwert von den Beschaffungskosten der Radargeräte abgezogen werden. Auf diese Weise berechnet, erhöht sich der Materialwert einer Sch.Flav.Abt. durch die Einführung von Radar (inklusive «Zielweiser»-Radar) nur um maximal 30 Prozent.

Zur Berechnung des personellen Aufwandes benötigen wir die Mannschaftsaufstellung für ein Radargerät:

1 Gruppenführer	1 Mann
3 Ablösungen à 2 Mann	6 Mann
1 Lw.-Fahrer	1 Mann
1 Radarmechniker	1 Mann
	<hr/>
Total	<u>9 Mann</u>

Bei dem heutigen Stand der Radartechnik muß angenommen werden, daß der Radarmechniker ein Spezialist in festem Anstellungsverhältnis sein muß. Zweckmäßig würden diese Leute gleichzeitig als Zeughauswarte eingesetzt werden.

Der Zuwachs an Mannschaft bei Einführung von vier Radargeräten in der Abt. beläuft sich auf 36 Mann.

Dafür fällt die Schw.Kp. mit einem Bestand von 154 Mann weg (siehe OST. 47), so daß bei Einführung der Radargeräte pro Abteilung eine Ein-

sparung von zirka 120 Mann entsteht. Freilich muß hervorgehoben werden, daß diese Leute unbedingt ein höheres technisches Niveau aufweisen müssen, als dies bei den heutigen Flab.Schw.Kp. der Fall ist. Jeder Radaroperator sollte sein Gerät so kennen, daß er imstande ist, zum Beispiel Röhrendefekte zu beheben. Deshalb müßten *jetzt schon* bei der Rekrutierung etwa 5 Prozent der Flab-Mannschaften aus der Hochfrequenz-Industrie und verwandten Gebieten ausgezogen werden. Die stets zunehmende Technisierung der Flab verlangt dringend eine geeignete Auswahl der Leute, und zwar schon bei der Rekrutierung.

Es würde den Rahmen dieser Arbeit übersteigen, näher auf die finanziellen und personellen Fragen des Radarproblems einzutreten. Wie die Details gemacht oder organisiert werden, ist im gegenwärtigen Zeitpunkt weniger wichtig als die richtige Beurteilung der technischen und taktischen Eigenschaften, welche durch die Einführung der Feuerleit-Radargeräte bei der Sch.Flav in Erscheinung treten.

Für leichtere als die 7,5-Zentimeter-Flav wird wohl Radar auf lange Zeit bei uns keine wichtige Rolle spielen können. Bei dem nächst kleineren Kaliber (34 Millimeter) wird ja mit Aufschlagzünder und Seriefener geschossen. Deshalb benötigt diese Waffe keine sehr präzise Distanzmessung. Der große Aufwand würde sich daher kaum lohnen. Auch der Umstand, daß die heutigen Feuerleit-Radargeräte nur bis hinunter auf 1000 Meter messen können und ihre starke Beeinflussung durch das Gelände bei tiefen Lagewinkeln machen sie für mittlere und leichte Flav-Waffen vorderhand noch ungeeignet.

Dagegen glauben wir klar bewiesen zu haben, daß die Feuerleit-Radargeräte für unsere Sch.Flav (und vor allem in einem spätern Zeitpunkt für ferngesteuerte Raketen) geradezu notwendig sind. Wir dürfen unsere Augen vor der Tatsache nicht verschließen, daß die heutige 7,5-Zentimeter-Flav gegen moderne Flugzeuge fast nicht mehr zum Einsatz gelangen kann. Glücklicherweise können wir aber auch feststellen, daß unser teures Material nicht nutzlos weiterverwendet wird, wenn die Einführung von Radar zur Wirklichkeit wird.

Die in diesem Abschnitt gewonnenen Erkenntnisse fassen wir nochmals kurz zusammen:

Eine mit einem Feuerleit-Radar gesteuerte Sch.Flav.Btr. wird verbessert

bezüglich:	um den Faktor
Witterungseinfluß (Nacht, Wolken, Nebel usw.) .	3,65
Reichweite und Wirkungsraum	1,86
Treffwahrscheinlichkeit	3,5

Demgegenüber steht eine Benachteiligung durch das Gelände im Verhältnis 1 : 4,1.

Die Gesamtverbesserung durch die Radarsteuerung in taktischer Hinsicht beträgt deshalb

$$\frac{3,65 \cdot 1,85 \cdot 3,5}{4,1} = 5,7$$

Der 5,7fachen *taktischen Überlegenheit* der radargesteuerten Bttr. steht ein Mehrpreis von nur 45 Prozent gegenüber. Personell wird der Bestand einer Flab-Abt. um rund 30 Prozent vermindert, weil die Schw.Kp. verschwinden kann. (Die TM-Mannschaften sollen vorläufig noch beibehalten werden.)

Nun noch ein kurzes Wort zu der Dotation an Radargeräten. Es kann kein Zweifel darüber bestehen, daß grundsätzlich jede Bttr. ihr Radargerät erhalten muß. Auch der Abteilung oder mindestens dem Rgt. gehört ein Radargerät; denn nur so kann das Feuer geleitet und eine wünschbare Feuerkonzentration erzielt werden.

Dies hat jedoch nicht die Meinung, daß diese Beschaffung schlagartig vollzogen werden solle. Allein der Umstand, daß die Ausbildung (besonders der Spezialisten) zwei bis drei Jahre braucht, spricht für eine stufenweise Einführung, allerdings aber auch dafür, daß der Anfang sobald als möglich gemacht werden sollte. Die etappenweise Ausrüstung der Sch.Flav mit Radargeräten hat außerdem noch den Vorteil, daß vielleicht in einem spätern Zeitpunkt modernere Typen angeschafft werden können.

6. Abschnitt

Anwendung von Radar für andere Zwecke

Von anderen Möglichkeiten der Verwendung von Radar war schon eingangs dieser Ausführungen die Rede. Wir glauben, diese hier kurz behandeln zu dürfen, da sie gegenüber der überragenden Bedeutung bei der Luftraumüberwachung und -abwehr stark in den Hintergrund treten.

a. Radar für unsere Seeüberwachung

Mit Radar wird natürlich die Seeüberwachung bei Nacht und bei Nebel möglich sein.

Geräte für diesen Zweck sind im Handel heute erhältlich, da sie genau das leisten müssen, was von jedem Nahnavigationsgerät auf einem Schiff

verlangt wird. Es ist dies die Anzeige der Seite und der Entfernung, wobei die Genauigkeit keine große Rolle spielt.

Anders gestalten sich jedoch die Verhältnisse, wenn nicht nur eine Überwachung, sondern auch ein Beschuß der gefundenen Ziele verlangt wird. In diesem Fall kommen entweder die im Abschnitt «Luftraum-Verteidigung» beschriebenen Feuerleit-Radargeräte in Frage oder aber sogenannte Küstenartillerie-Radargeräte. Den letzteren ist natürlich der Vorzug zu geben, sofern sie beschafft werden können, weil der Einsatz von Flak-Feuierleitgeräten insofern ein Luxus ist, als hier auch die Elevation genau ermittelt wird, was für Seeziele nicht notwendig ist.

b. Bord-Radargeräte

Unter Bord-Radargeräten versteht man kleine Radarapparaturen, welche in einem Flugzeug einmontiert werden. Man unterscheidet vier Kategorien: die *Suchradar* welche ähnliche Funktionen übernehmen wie die Frühwarn-Radargeräte und somit auch ähnliche Vorteile bieten. Ihre Reichweite wird aus Gründen der Gewichtseinsparung meistens auf etwa 50 Kilometer beschränkt. Die zweite Kategorie umfaßt die *Geschützradar*. Sie ermitteln die genaue Distanz zum Feindflugzeug. Hie und da werden beide Arten in einem Gerät kombiniert. Die dritte Kategorie dient zur *Bombardierung* durch Wolken hindurch. Da aber ihre Anzeige vorderhand noch recht unscharf ist, das heißt das Gelände nur an seinen Konturen erkannt werden kann, kommen diese Geräte nur für Flächen-Bombardement in Frage.

Von großer Bedeutung für unsere Luftwaffe ist zweifellos die vierte Kategorie: die *Rückenwarn-Radargeräte*. Sie sind sehr klein (etwa wie ein kleiner Heimradio). Ihre Anzeige besteht lediglich aus einer Warnlampe, welche aufleuchtet, wenn ein Gegenstand (feindliches Flugzeug) hinter dem Piloten in ein bis zwei Kilometer Entfernung auftaucht.

Die oben erwähnten Suchradargeräte wurden während des letzten Weltkrieges auch als Navigationshilfe verwendet, indem Funkbaken am Boden auf die Bestrahlung dieser Bordgeräte reagierten und mit einem für den Baken-Standort charakteristischen Impulscodé antworteten. Dieser wurde im Suchgerät wiederum empfangen und konnte damit dem Piloten bei der Navigation Hilfe leisten. Diesem System wird vorläufig von unseren Fliegern keine große Wichtigkeit zugemessen, weil bei der Kleinheit unseres Landes eine rein optisch-geographische Orientierung wohl noch möglich ist.

c. Radar für den Wetterdienst

In erster Linie dürfte Radar beim Wetterdienst für die Verfolgung von Wettersonden verwendet werden. Dem Sondenballon muß zu diesem Zweck ein zirka 500 bis 700 Gramm schwerer Reflektor angehängt werden, damit ein gutes Echo für die elektromagnetischen Wellen entsteht. Die Verfolgung solcher Ballone mit einem Feuerleit-Radargerät bis auf 20 Kilometer ist durchaus möglich. Es liegt deshalb nahe, daß der Wetterdienst mit den Flab-Bttr. für die Lokalisierung seiner Versuchsballone zusammenarbeitet. Besondere Geräte sind dann nicht erforderlich.

Eine andere Unterstützung des Wetterdienstes kann durch weitreichende Frühwarnstationen erfolgen. Bei 10 Zentimeter Wellenlänge tritt nämlich an schweren Regen- oder Gewitterwolken bereits eine im Radargerät feststellbare Reflexion ein. Das auf dem PPI-Bild erscheinende «Echo» ist an seiner unscharfen Kontur und an seiner schwachen Helligkeit sofort erkenntlich. Die Radarstation ist daher in der Lage, auf Distanzen innerhalb ihrer Reichweite (also zirka 150 Kilometer) schwere Regenwolken oder Gewitterfronten anzumelden. Im Kriegsfall, wo wir auf unsere meteorologischen Beobachtungsposten im Landesinnern angewiesen sind, dürfte daher die Zusammenarbeit des Wetterdienstes mit den Frühwarn-Radarstationen sehr nutzbringend sein.

d. Radargeräte für die Artillerie und die Minenwerfer

Die Möglichkeit der Verfolgung oder der Beobachtung von größeren Geschossen mit Radar ist wohl heute noch einzigartig. Tatsächlich ist es mit einem normalen Feuerleit-Radargerät möglich, schon Geschosse mit einem Kaliber von 7,5 Zentimeter bis zu 5 bis 6 Kilometer Entfernung zu beobachten. Daraus ergibt sich sofort die bis jetzt noch gar nicht erwähnte Möglichkeit, bei der Flab bezüglich der Entfernungskoordinate

1. das Einschießen feldmäßig durchzuführen und
2. eine Schußbeobachtung während des Einsatzes zu machen.

Es ist dies ein nicht zu unterschätzender Vorteil, der bis heute im Felde überhaupt nicht vorhanden war (es sei denn, die Batterie hätte ein zweites Telemeter zur Verfügung gehabt).

Dieselbe Schußbeobachtung kann natürlich auch bei der Artillerie gemacht werden, sofern sie solche Geräte zugeteilt erhält. Immerhin besteht bei der Artillerie, die ja ausschließlich Erdziele bekämpft, die Gefahr, daß

zufolge starker Standzeichen das Geschöß nicht mehr gesehen werden kann. Es ist jedoch bekannt, daß z. B. in England spezielle Geräte hergestellt werden, welche zur Schußbeobachtung der Artillerie (und zwar nicht etwa nur der Küstenartillerie) dienen.

Eine andere Anwendungsart wurde von den Amerikanern erstmals gemacht, indem sie Radargeräte schufen, welche Minenwerferstellungen auf Grund einer Rückwärts-Extrapolation aus den vermessenen Geschöß-Flugbahnen ermitteln konnten. In diesem Falle übernimmt also das Radargerät die Funktion unserer Schallmeßgeräte.

e. Radargeräte für die Beobachtung von Engpässen

Wie bei der Seeüberwachung sind solche Geräte sehr einfach, sofern es sich nur um eine Überwachung handelt. Die Unterscheidung von beweglichen Zielen von der Umgebung dürfte allerdings ein Problem sein, das nur durch das auf Seite 19 erwähnte Dopplerprinzip lösbar ist. Einem sehr aufmerksamen Beobachter der Kathodenstrahlröhre eines normalen Radargerätes, welches zweckmäßig aufgestellt ist, sollte es immerhin auch noch möglich sein, ein bewegliches Ziel innerhalb nicht allzu starker Standzeichen festzustellen.

Spezielle Apparaturen für derartige Zwecke sind u. W. im Auslande noch nicht hergestellt worden.

7. Abschnitt

Radargegenmaßnahmen

Die vielen Vorzüge, die Radar auf sich vereinigt, lassen es als wahrscheinlich erscheinen, daß jede moderne Wehrmacht mit Radar ausgerüstet sein wird. Jeder Angreifer wird deshalb nach Mitteln suchen, die Radargeräte zu stören. Schon im letzten Weltkrieg wurde von beiden Parteien zu solchen Maßnahmen gegriffen. Es sind bis heute folgende drei Radar-Gegenmaßnahmen bekannt:

- a. Abwurf von Folien, die im Radargerät ein falsches Echo erzeugen,
- b. Tarnung der Objekte, welche der Radar-Vermessung entzogen werden sollen, mittels eines Überzuges aus Material, das die elektromagnetischen Wellen nahezu hundertprozentig absorbiert,

c. Störung der Radar-Anzeigeräte mit falschen Signalen, welche von sogenannten Störsendern ausgestrahlt werden.

Zunächst muß festgestellt werden, daß alle drei Methoden nicht universell sind und dem Angreifer stets Unannehmlichkeiten irgend welcher Art verursachen, also sich für ihn nachteilig auswirken.

a. Der *Abwurf von Folien* erreicht nur dann seine optimale Wirkung, wenn die Folien auf die Wellenlänge des zu störenden Radargerätes zugeschnitten sind. Die Wirkung ist aber auch dann bei modernen Radargeräten mit ihren verhältnismäßig hohen Auflösungsvermögen räumlich sehr beschränkt. (Je enger die Bündelung der Radarstrahlung, desto kleiner wird der auf der Anzeige, z. B. PPI, gestörte Raum). Es ist bei Versuchen in England erwiesen worden, daß ein aufmerksamer Beobachter in einem Feuerleit-Radargerät durch Flugzeuge, welche Folien auswerfen, nur sehr kurzzeitig in der genauen Zielvermessung behindert wird. (Die Tatsache, daß die deutschen Funkmeßgeräte während des letzten Weltkrieges durch Folienabwürfe bis zu 50 Prozent außer Gefecht gesetzt wurden, läßt sich dadurch erklären, daß diese Geräte gerade hinsichtlich Auflösungsvermögen sehr zu wünschen übrig ließen).

Die zeitliche Wirkung von Folien ist sehr beschränkt. Sie ist nicht nur durch die Sinkgeschwindigkeit gegeben (zirka 80 m/min.), sondern auch dadurch, daß sich die Folienwolke ziemlich schnell auflöst und dann sofort als solche erkannt wird oder zum mindesten nicht mit einem Flug-Verband verwechselt wird.

b. Die *Tarnung* eines Objektes gegen die Wahrnehmung durch Radar erfordert dessen Überzug mit einem absorbierenden Stoff. Soweit solche heute bekanntgegeben wurden, handelt es sich um Graphit-Mischungen oder ähnliche Halbleiter. Da sie in Dicken aufgetragen werden müssen, die in der Größenordnung der halben Wellenlänge des Radargerätes liegen, ist deren Verwendung bei Flugzeugen wegen dem Gewicht ausgeschlossen. (Die deutschen U-Boote tarnten z. B. ihre Periskope mit Radartarnmaterial von 5 bis 6 Zentimeter Dicke. Die Absorption betrug bei 4 bis 12 Zentimeter Wellenlänge zirka 80 Prozent).

Anders verhält es sich vermutlich bei Raketen, weil hier die Oberfläche im Verhältnis zum Gewicht sehr klein ist. Es wäre aber verfrüht, hier schon Spekulationen anzustellen, umso mehr, als die Abwehrwaffe gegen Raketen noch nicht erfunden ist.

c. Bei der Störung durch *Störsender* ist vor allem zu unterscheiden zwischen Boden- und Bord-Störsender. Der Bodenstörsender versucht mit

seiner Strahlung in die Antenne des zu störenden Radargerätes zu dringen. Als erste Voraussetzung gilt deshalb für ihn, daß er dieselbe Wellenlänge ausstrahlt wie das Radargerät. Bei den heute üblichen Wellenlängen (3 bis 30 Zentimeter) hat dies zur Voraussetzung, daß er mit dem Radargerät in Sichtverbindung stehen muß, ein Fall, der in unserem Gelände selten zu treffen wird. Eine zweite Bedingung ist die, daß der Störsender stark genug ist, um durch die normalerweise nicht auf ihn gerichtete Antenne durchzudringen. Bei der heutigen Bündelungsschärfe dieser Antennen erfordert dies schon auf kurze Distanzen einen ganz erheblichen Leistungsaufwand.

Allein diese beiden Erfordernisse (es kommen noch eine Reihe weiterer hinzu) machen den Einsatz besonders in der Schweiz unrentabel, so daß wir glauben, nicht weiter auf die Störbarkeit durch Boden-Störsender eintreten zu müssen.

Bei Bord-Störsendern ist die Forderung nach Sichtverbindung mit dem Radargerät selbstverständlich erfüllt. (Unsere Überlegungen haben stets Radargeräte zur Luftraum-Überwachung und -Abwehr zur Voraussetzung, da diese für uns besonders akut sind. Sinngemäß können sie aber auch auf andere Radartypen angewendet werden.) Der Leistungsbedarf für den Bord-Störsender kann wenige Watt betragen, weil ja die Antenne des Radargerätes, wenn es messen will, auf den Störsender gerichtet ist. Somit sind die Voraussetzungen zur Störung geradezu ideal erfüllt.

Wir müssen nunmehr nach den weiteren Bedingungen für die Störbarkeit fragen.

Es wurde schon angedeutet, daß die Frequenz des Störsenders gleich der des Radargerätes sein muß. Des weiteren muß die Störung mindestens in dem Moment erfolgen, in dem das Radargerät das Echosignal empfängt. Und schließendlich muß der Störsender derart moduliert sein, daß er tatsächlich die Anzeige im Radargerät unleserlich macht.

Vorerst wenden wir uns der Modulation des Störsenders zu. Aus technischen Gründen, die hier nicht weiter erörtert werden können, verursacht zum Beispiel ein Störsender, der eine unmodulierte Strahlung aussendet, im Radargerät gar keine Störung. Auch der Modulation mit irgendwelchen niederfrequenten Amplituden oder Frequenzen kann mit einfachen Mitteln (Filter) begegnet werden. Gefährlich ist eigentlich nur die sogenannte Geräusch-Modulation, weil sie alle möglichen Frequenzen enthält und somit eine Aus-Filterung im Radargerät nicht mehr möglich ist. Es übersteigt den Rahmen dieser Arbeit, noch näher auf diese Modulationsart einzugehen. Wir wollen nur festhalten, daß die Geräuschmodulation einem Radargerät, sofern die beiden andern oben erwähnten Bedingungen erfüllt sind, (Gleich-

heit der Frequenz und Koinzidenz von Echo mit Störsignal) tatsächlich sehr gefährlich werden kann.

Die Bedingung, daß der Zeitpunkt für die Störung richtig gewählt werden muß (nämlich dann, wenn das Radargerät messen will), ist natürlich leicht zu erfüllen, wenn der Störsender dauernd sendet. Dies bedeutet aber, daß zum Beispiel die leistungssparende Impulsmodulation beim Störsender kaum wirksam angewendet werden kann, weil der Stör-Impuls zeitlich selten mit dem Meßimpuls (Echo) zusammenfallen wird.

Als letzte Voraussetzung für die Störbarkeit bleibt nun noch die Frequenz des Störsenders. Wie genau muß diese mit der Radarfrequenz übereinstimmen? Die Frequenz-Differenz darf nicht größer als die Bandbreite des Radarempfängers sein, bei heutigen Geräten also zirka 2 bis 5 MHz. Wollte sich nun ein Störsender darauf beschränken, die Radarfrequenz zu bestimmen und mit dieser selben Frequenz (bei einer Toleranz von zirka 5 MHz) auszustrahlen, dann hätte dies natürlich den Nachteil für den Störer, daß nur ein einziges Radargerät gestört würde. (Es muß hier noch nachgeholt werden, daß ein Radargerät im 10-Zentimeter-Wellenband in den Grenzen 3000 bis 3150 MHz wahlweise arbeiten kann.) Grundsätzlich können deshalb von 30 Radargeräten

$\left(\frac{\text{Frequenzbereich } 150 \text{ MHz}}{\text{Bandbreite } 5 \text{ MHz}} = 30 \right)$ bei Anwesenheit nur eines Störsenders deren 29 praktisch kaum gestört werden. Im günstigsten Fall für den Störer stimmt seine Frequenz auch noch mit der sogenannten Spiegelfrequenz eines weiteren Radargerätes überein (die Spiegelfrequenz ist um die doppelte Zwischenfrequenz von der Sendefrequenz verschieden). Daher kann im allerschlimmsten Fall für die Radargeräte jedes fünfzehnte außer Gefecht gesetzt werden, oder aber der Angreifer muß mindestens 15 Störgeräte einsetzen, um alle Geräte innerhalb des Frequenzbereiches von 3000 bis 3150 MHz zu stören. Dies ist aber nur dann der Fall, wenn jeder Störsender mit einer andern Frequenz schwingt.

Es ist nun naheliegend, an Stelle von fest eingestellten Störsendern solche mit variabler Sendefrequenz zu bauen. Ein solcher Störsender müßte also zum Beispiel innert 10 Sekunden die Frequenz von 3000 bis 3150 MHz ändern. Sobald er dies tut, ist jedoch die Voraussetzung, daß das Störsignal dauernd auf das Radargerät einwirkt, nicht mehr erfüllt.

Wir müssen uns noch Rechenschaft geben, wie der Störsender auf unsere Radargeräte wirkt. Bei den Frühwarngeräten wird im Moment, wo die Antenne gegen den Störer gerichtet ist, auf dem PPI ein heller radialer Strich entstehen. Auf diesem Strich kann die Entfernung zum Ziel nicht mehr festgestellt werden. Was wir aber immer von einem Störsender kennen, ist sein Azimut, respektive die Seite. Sein Standort kann deshalb

relativ leicht von zwei gestörten Frühwarnstationen durch Vorwärts-Einschnitt bestimmt werden. Bei gut eingespielter Frühwarn-Organisation ist deshalb eine hundertprozentige Störung fast nicht möglich.

Bei den Feuerleit-Radargeräten geht das Echo im Störrauschen «unter». Dem Radargerät fehlen dann – solange die Störung andauert – jegliche Anhaltspunkte vom Ziel. Es setzt deshalb ganz einfach – sofern ein automatischer Nachlauf vorhanden ist – seine vor der Störung innegehabte Bewegung während zirka 5 bis 10 Sekunden fort. Liegt nun ein Dauerstörer vor, so wird das Ziel verloren gehen, es sei denn, der Operateur des Radargerätes bemerke rechtzeitig den Störeinfluß, um einen für diesen Fall vorgesehenen Schalter zu betätigen, der bewirkt, daß das Gerät automatisch dem Störsender folgt. Die Entfernung kann in diesem Falle nicht mehr bestimmt werden, dagegen geht das Ziel nicht verloren, weil es weiterhin im Seiten- und Lagewinkel folgt. Im zweiten Fall, wo der Störsender zeitlich seine Frequenz langsam verstellt, um den ganzen Bereich (zum Beispiel 3000 bis 3150 MHz) zu stören, wird in den meisten Fällen das Radargerät automatisch das Ziel wieder einfangen, weil es ja mit den ursprünglichen Bewegungsgrößen während zirka 5 bis 10 Sekunden weiterläuft. Es wird dann während der Störperiode nur die Meßgenauigkeit (allerdings empfindlich) gestört. Diese Dauer beträgt aber mit den früher angenommenen Zahlen (Frequenzbereich 3000 bis 3150 MHz, 5 MHz Bandbreite) immer nur ein Fünfzehntel der Frequenzverstellzeit.

Es wäre äußerst nützlich, wenn wir wie in den bisherigen Kapiteln in der Lage wären, die Wirkung der Störmöglichkeiten in ein Zahlenverhältnis zu den Tarneffekten, wie sie optisch erzeugt werden können, zu setzen. Leider gelingt dies im vorliegenden Fall nicht. Es müßten nämlich hierzu allzu viele Annahmen und subjektive Werturteile gemacht werden. In allererster Linie wäre der technische Stand eines allfälligen Gegners einzuschätzen. Denn es dürfte aus dem oben Gesagten klar sein, daß an die Störgeräte sehr hohe technische Anforderungen gestellt werden müssen, wenn sie wirksam sein sollen. Auch die Zahl und Mannigfaltigkeit der Störgeräte muß groß sein, um einen Erfolg zu versprechen. Wir haben auch angedeutet, daß es in vielen Fällen von der Aufmerksamkeit und Geschicklichkeit des Radar-Operateurs abhängt, ob die Störung ihren Zweck erreicht oder nur vorübergehend Unsicherheit verursacht.

Der Sinn dieser Betrachtungen soll nicht nur der sein, daß auf die Störmöglichkeiten aufmerksam gemacht wurde, sondern daß im Hinblick auf eine Einführung von Radar in unsere Armee schon in dieser Richtung Gegenmaßnahmen getroffen werden. So dürfte nach dem Gesagten jedermann klar sein, daß die Störbarkeit unserer Geräte stark reduziert wird,

wenn sie einen möglichst großen Frequenzbereich aufweisen. Der sonst allgemein gültige Grundsatz, daß möglichst wenig Gerätetypen zur Anwendung kommen sollten (aus Gründen der Ausbildung, Unterhalt und Reparatur) darf bei der Beschaffung von Radargeräten nicht ausschlaggebend sein, weil bei *einem* Typus die Frequenzvariationen relativ nur gering sind (wir verweisen auf das genannte Beispiel: 3000 bis 3150 MHz).

Mit Rücksicht auf die Störbarkeit darf die Anzahl der einzusetzenden Radargeräte nicht allein auf Grund ihrer Reichweite erfolgen. Es wäre zum Beispiel verfehlt, unserer Flabtruppe aus finanziellen Gründen nur ein Feuerleitgerät pro Abteilung zuzuteilen. Die Ausrüstung nur weniger Abteilungen mit Radar, dafür aber in jede dieser Batterien je ein Feuerleitgerät, ist vom Standpunkt der Störgegnmaßnahmen unbedingt vorzuziehen.

8. Abschnitt

Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

In den ersten zwei Abschnitten werden die grundlegenden Voraussetzungen für die Behandlung des Themas: «Die Verwendung des Radars in unsern Verhältnissen» behandelt:

1. Die physikalischen Eigenschaften der elektromagnetischen Wellen eignen sich – wie kein anderes Übertragungsmittel – für die Beobachtung und Lokalisierung von Zielen auf große Distanz, unabhängig von Nacht, Nebel und Wolken. Die Technik dieser Wellen heißt – im vorliegenden Fall – Radar.
2. Diese Eigenschaften machen Radargeräte ganz besonders geeignet für die Verwendung bei den Flieger- und Flab-Truppen, und zwar einerseits für eine räumlich weitreichende Luftraumüberwachung und andererseits als wertvolles Hilfsmittel für die Luftraumverteidigung.
3. Die Gesamtkonzeption unserer Landesverteidigung erfordert sowohl eine Luftraumüberwachung als auch eine Luftraumverteidigung.

Neben diesen hauptsächlichsten Anwendungsgebieten von Radar werden in einem dritten Abschnitt auch Möglichkeiten des Einsatzes bei andern Waffengattungen diskutiert.

Im Abschnitt «Luftraumüberwachung» wird festgestellt, daß unsere heutige Überwachungsorganisation, der sogenannte Fl.B.M.D., in einem modernen Krieg ihrer Aufgabe nicht mehr voll gewachsen sein kann. Dagegen können mit Hilfe von Frühwarn-Radargeräten mit einer Reichweite

von 150 Kilometer praktisch alle Anforderungen erfüllt werden, welche an eine moderne Luftraum-Überwachungsorganisation gestellt werden müssen. Voraussetzung hierfür ist allerdings einerseits eine gut eingespielte Organisation und andererseits auch die Kenntnis der technischen und taktischen Vorzüge und Schwächen von Radargeräten. Auf Grund der Ergebnisse diesbezüglicher Untersuchungen wird ein Vorschlag vorgelegt für einen mit Radar ausgerüsteten Fl.B.M.D. Aus diesem Projekt ergibt sich, daß für eine wirkungsvolle Luftraumüberwachung im Minimum

- 8 Frühwarngeräte und
- 8 Mittelwarngeräte, welche insgesamt an
- 4 AWZ angeschlossen werden,

erforderlich sind.

Die Arbeitsweise der vorgeschlagenen Organisation ist kurz wie folgt:

- a. Die Alarmierung des Landes wird (zonenweise) direkt von den PPI-Beobachtungsröhren der Frühwarngeräte aus ausgelöst.
- b. Die Luftlagemeldungen (meistens Standortmeldungen von gegnerischen Flugverbänden) gehen von den Frühwarngeräten ohne zeitverzögernde Auswertungen direkt zu den Mittelwarn-Radar und von dort zu den Radargeräten der Flab-Truppen.

Gegenüber den großen taktischen Vorteilen, welche die Einführung von Radar im Fl.B.M.D. bringt, scheinen die finanziellen Aufwendungen (8 Millionen Franken, ohne die baulichen Ausgaben) nicht von ausschlaggebender Bedeutung zu sein.

In personeller Hinsicht sind keine großen Änderungen zu erwarten. Voraussetzung ist jedoch, daß ein Teil der für die Bedienung der Radargeräte notwendigen Mannschaften (zirka 20 Mann) zu Spezialisten geschult wird und in festem Anstellungsverhältnis steht, wie dies bei andern technischen Waffen (Flieger, Motorfahrzeuge usw.) heute ebenfalls schon der Fall ist.

Die Heranbildung dieser Spezialisten und der Ausbau der Organisation werden zweifellos viel Zeit erfordern. Es ist deshalb notwendig, daß die Einführung von Radar im Fl.B.M.D. so rasch als möglich an die Hand genommen wird, selbst wenn zur Zeit nur mittelmäßige Geräte beschafft werden könnten. Welche Bedeutung der Organisation eines Frühwarndienstes mit Radargeräten zukommt, geht aus einer Äußerung eines amerikanischen Fachmannes (vergleiche [5a], Bd. 1, S. 13) hervor: «Es ist besser, eine gut eingespielte Organisation mit nur mittelmäßigen Radargeräten zu haben, als beste Geräte mit einer nur mittelmäßigen Organisation.»

Im 5. Abschnitt werden die Fragen der Luftraumverteidigung erörtert. Es wird festgestellt, daß in unserer Armee die Sch.Flav heute die einzige

Waffe ist, welche auf mittlere und große Distanzen gegen Luftziele eingesetzt werden kann und daß somit nichts unterlassen werden darf, um die Leistungsfähigkeit dieser Waffe zu steigern. Mehr als beim Fl.B.M.D. scheint bei den heutigen Feuerleit-Radargeräten die Gefahr zu bestehen, daß ihre Nachteile die Vorteile überwiegen könnten, besonders wenn man an unser gebirgiges Gelände und die deswegen in der Radaranzeige entstehenden Standzeichen denkt. Es wird daher in einer eingehenden Untersuchung der Vergleich zwischen einer optisch gesteuerten und einer radargesteuerten Sch.Flav.Bttr. angestellt. Dessen Ergebnis kann wie folgt zusammengefaßt werden:

- a. Die zeitliche Wirkungsdauer (Witterungseinflüsse) ist bei Radarsteuerung 3,65mal größer als bei optischer Steuerung.
- b. Der räumliche Wirkungsbereich (Einfluß der Beobachtungsreichweite) übertrifft bei Radarsteuerung denjenigen der optisch gesteuerten Batterie um das 1,86fache.
- c. Zufolge Standzeichen erleidet der räumliche Wirkungsbereich bei der Radarvermessung allerdings eine schwere Einbuße. Das gewählte Beispiel eines Standortes (siehe Figur 24/25: Schematisierte Geländeschnitte) zeitigt ein Wirkungsbereichverhältnis von 4,1 zuungunsten von Radar.
- d. Die Treffwahrscheinlichkeit ist dank der viel größeren Meßgenauigkeit des Feuerleit-Radargerätes bei mittleren Schußdistanzen 3,5mal größer als bei einer optisch gesteuerten Batterie.

Diese Verhältniszahlen können mit einander multipliziert werden. Ihr Produkt stellt eine Güteziffer dar, welche angibt, um wieviel die Leistungsfähigkeit einer bisherigen optisch gesteuerten Sch.Flav.Bttr. durch die Einführung von Radar gesteigert werden könnte.

Unsere Berechnungen ergeben eine Güteziffer von 5,7!

Eine derartige Leistungssteigerung spricht nach unserem Dafürhalten unbedingt für die Einführung von Radar bei der Sch.Flav. Einige nicht in Zahlen faßbare Nachteile (komplizierte Apparaturen, erhöhte technische Anforderungen an das Bedienungspersonal, Störung durch feindliche Bordsender und Steigerung des Materialwertes einer Flav.Abt. um zirka 45 Prozent) werden wohl wieder wettgemacht durch die bei der Flav erstmalige Möglichkeit der Feuerleitung und Feuerkonzentration, sowie der Schußbeobachtung mit Radar und durch eine für uns sehr wichtige Einsparung an Personal (zirka 30 Prozent, wegen des Wegfalles der Schw.Kp.).

Über das Vorgehen bei der Einführung von Radar bei der Sch.Flav gelten die gleichen Grundsätze wie beim Fl.B.M.D.: Sofortige, jedoch

etappenweise Inangriffnahme. Als erster Schritt könnte beispielsweise ein schweres Flab.Rgt. vollständig mit Radar ausgerüstet werden.

Die Berechnungen im Abschnitt «Luftraumverteidigung» (Unterabschnitt d: Meßgenauigkeit) weisen uns den Weg für eine zukünftige Weiterentwicklung der Flab: Nach der Einführung von Radar mit seiner hohen Meßgenauigkeit muß der Kgt-Technik sowie der ballistischen Streuung (Annäherungszünder) besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

In einem 6. Abschnitt kommen die Anwendungsmöglichkeiten von Radar bei andern Waffengattungen zur Sprache. Es zeigt sich dabei, daß bei keinem der angeführten Beispiele die Einführung derart bedeutungsvoll ist wie beim Fl.B.M.D. und der Sch.Flav.

Im 7. Abschnitt werden endlich noch die Radar-Gegenmaßnahmen einer kritischen Betrachtung unterzogen. Es ergibt sich hier, daß die Radar-Frühwarnung praktisch kaum ernsthaft gestört werden kann. Bei den Feuerleitgeräten ist dies nur mit raffiniertesten Bord-Störsendern möglich. Die Störwirkung ist vielfach überwiegend moralischer Natur und kann durch entsprechende Vorbereitung der Radarmannschaften stark herabgemindert werden. Für eine mit Radar ferngesteuerten Flab-Rakete ist eine feindliche Störung überhaupt fast ausgeschlossen, weil erstens bei Auftreten eines Störsenders dieser mit dem Radargerät direkt angepeilt wird und zweitens die durch den Störsender verunmöglichte Entfernungsmessung für die ferngesteuerte Rakete nicht benötigt wird. Diese wichtige Feststellung sollte nach unserer Ansicht den Ansporn für eine intensive, landeseigene Entwicklung in dieser Richtung geben.

Abschließend müssen wir noch einmal kurz auf die starke Beeinflussung jeder Art von Radargeräten durch unser stark coupiertes Gelände zurückkommen. Es wurde schon darauf hingewiesen, welche Mittel zur Einschränkung dieses Einflusses möglich sind, nämlich:

1. Zweckmäßige Stellungswahl.
2. Verwendung von künstlichen Abschirmungen.
3. Entwicklung von Radar-Anzeigegeräten, welche Echos, herrührend von beweglichen Zielen, von den sogenannten Standzeichen unterscheiden können.
4. Zweckmäßige Bündelung des Radarstrahles.

Neuentwicklungen in ausländischen Staaten, welche in dieser Richtung liegen, werden leider streng geheim gehalten. Wohl kein Land ist aber in diesen speziellen Fragen so stark interessiert wie gerade die Schweiz. Aus diesen Gründen kommen wir zum Schluß, daß auf diesen Gebieten eine schweizerische Entwicklung ins Auge gefaßt werden sollte.

Literatur-Verzeichnis

- [1] Bericht des Bundesrates an die Bundesversammlung zum Bericht des Generals über den Aktivdienst 1939–1945.
- [2] «Unsere Landesverteidigung», Grundlagen, gegenwärtige Situation, Aussicht in die Zukunft. Eidgenössische Drucksachen- und Material-Zentrale, Bern. Der Generalstabschef.
- [3] «Army of the Future», General J. L. Devers. The Military Engineer. April 1948. Vol. XL. Nr. 270.
- [4] a. «Radar» – Die Ortsbestimmung mittels Radiowellen. R. W. Hallows. Verlag A. Francke, Bern.
b. Bulletin SEV, Bd. 39 (1948), Nr. 6 u. f.
c. Flugwehr und -Technik. November/Dezember 1947.
- [5] a. 28 Bände der «Radiation Laboratory Series». Mass. Inst. of Techn. Im Speziellen: Bd. 1, Radar, System Engineering v. Ridenour.
b. 10 Bände des «Journal of Inst. El. Eng. Part. III. A. Savoy Place-Victoria Embarkment, London W. C. 2.
c. «Principles of Radar» by the Staff of the M. I. T. Radar-School. Massachusetts Institute of Technology Cambridge, Mass. USA.
- [6] «Electronics and their application in Industry and Research. B. Lovell, London. The Pilot Press Ltd. 1947.
- [7] «Interavia», Nr. 8/9, 1946: Systemfragen der Radartechnik von Guanella, Zürich.
- [8] Kathodenstrahl-Röhren zur Anzeige bei Radargeräten: Electronic Engineering, May 1946. Electronics, Sept. 1947.
- [9] Feuerleit-Radargerät. Amerikanisches SCR-584. Electronics, Nov. 1945, Febr. 1946.
- [10] Bericht des Kommandanten der Flieger- und Fliegerabwehrtruppen über den Aktivdienst 1939–1945.
- [11] Klimakarten der Schweiz. Herausgegeben von der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt, Buchdruckerei zur alten Universität Zürich, 1932.
- [12] Weisungen für den Einsatz der Flab-Truppen 1947.

Anhang I

a. Die «Radar-Formel»

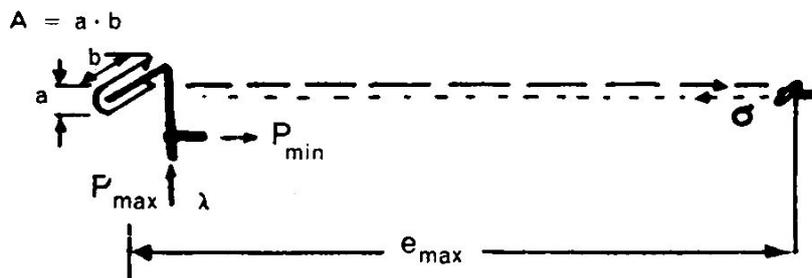
Die Radarformel gibt die Reichweite in Funktion der Konstruktionsdaten eines Radargerätes. Eine sehr einfache und klare Ableitung der Formel kann in der RCA-Review, Vol. VII, Nr. 1 (März 1946) nachgeschlagen werden.

Die Formel lautet:

$$e_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_{\max} \cdot A^2 \cdot \rho}{4\pi \cdot P_{\min} \cdot \lambda^2}}$$

Es bedeuten:

- e_{\max} = Reichweite in m
- P_{\max} = Impuls-Leistung in W
- P_{\min} = kleinstmögliche Empfangsleistung (durch das Eigen-Rauschen gegeben) in W
- A = Reflektorfläche in m^2
- λ = Wellenlänge in m
- ρ = Querschnittsfläche des Zieles in m^2



P_{\min} hängt von der Güte der HF-Teile, speziell des Kristalles, ab. Bei modernen Geräten werden etwa 10^{-11} bis 10^{-12} Watt erreicht.

Die durch die Formel gegebenen Zusammenhänge sind für die drei Größen P_{\max} , A und λ in den nachstehenden beiden Diagrammen graphisch dargestellt.

Aus Figur A₁ ist ersichtlich, daß zum Beispiel die Verdoppelung der Impulsleistung nur eine Zunahme der Reichweite um 19 Prozent ergibt. Die Steigerung der Reichweite auf diese Art ist daher sehr unwirtschaftlich.

Figur A₂ zeigt, wie dies (nämlich die Erhöhung der Reichweite) weit besser gemacht werden kann, nämlich durch Verkleinern der Wellenlänge oder Vergrößern der Antennenfläche.

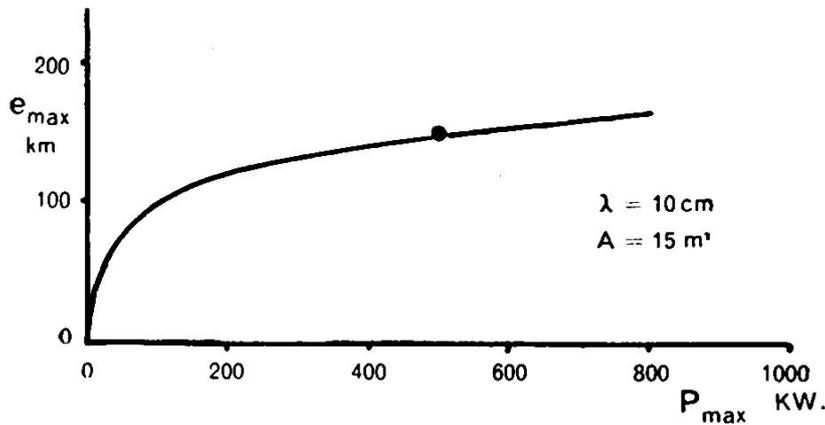


Fig. A₁. Abhängigkeit der Reichweite von der Impulsleistung

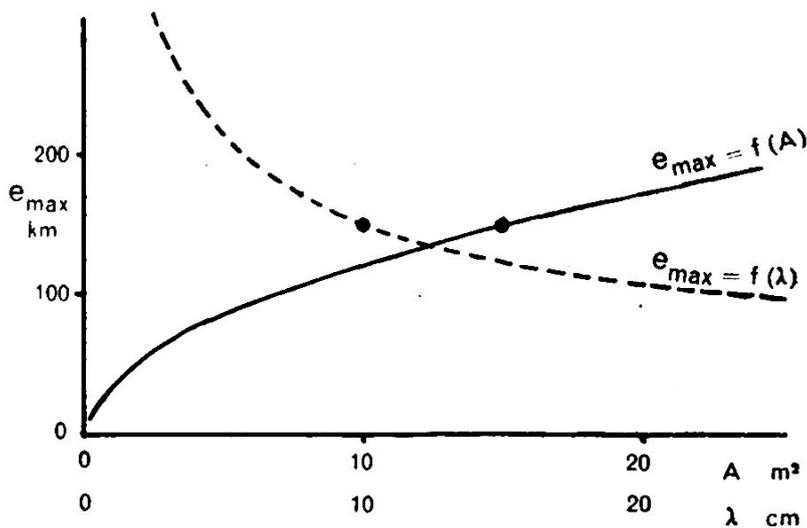


Fig. A₂. Abhängigkeit der Reichweite von der Wellenlänge und der Reflektorfläche

b. Die Strahlenbündelung mit einem Reflektor

Der Öffnungswinkel eines gebündelten Strahles kann nach der folgenden Erfahrungsformel berechnet werden:

$$2\alpha = 0,75 \frac{\lambda}{a}$$

Bedingung ist, daß der Öffnungswinkel in der gleichen Ebene gemessen wird wie die Dimension des Reflektors (Vergl. Fig. 3, Seite 12).

c. Die Absorption der elektromagnetischen Wellen

Wie Figur B zeigt, werden die elektromagnetischen Wellen, solange die Wellenlänge größer als 2 Zentimeter ist, in der Atmosphäre sehr wenig absorbiert. Dies ist auch dann noch zutreffend, wenn die Luft soviel Nebel enthält, daß die optische Sicht nurmehr zirka 100 Meter beträgt.

Für Wellen, welche eine kleinere Wellenlänge als 2 Zentimeter haben, steigt die Dämpfung sehr stark an, so daß diese für Radarzwecke im herkömmlichen Sinne ungeeignet sind.

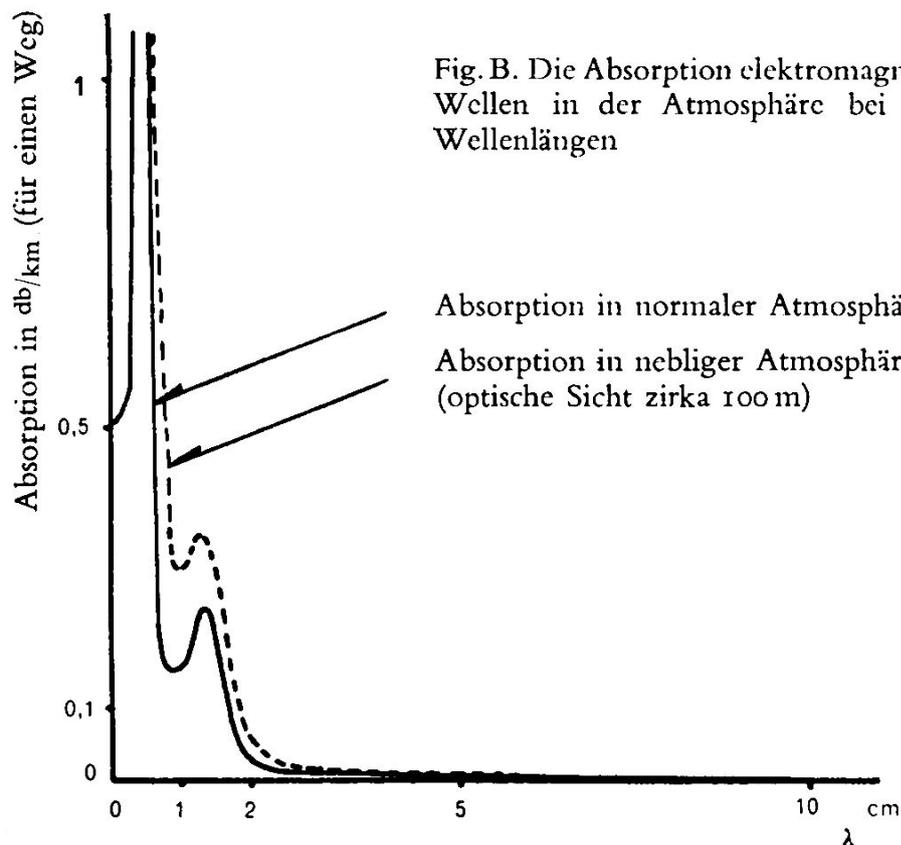


Fig. B. Die Absorption elektromagnetischer Wellen in der Atmosphäre bei kleinen Wellenlängen

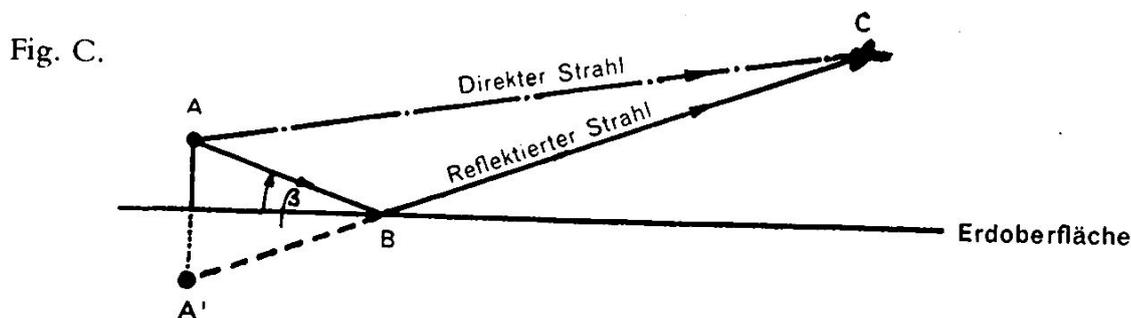
Absorption in normaler Atmosphäre
Absorption in nebliger Atmosphäre
(optische Sicht zirka 100 m)

d. Interferenzen

Elektromagnetische Wellen addieren oder subtrahieren sich im Raume je nach ihrer gegenseitigen Phasenlage. Eine Strahlung ergibt, wenn sie auf zwei verschiedenen und verschieden langen Wegen in einem Punkt des Raumes zusammenkommt, Interferenz-Maxima und Interferenz-Minima, wenn die Wegdifferenz eine oder mehrere Wellenlängen, respektive eine halbe oder mehrere ungerade Vielfache einer halben Wellenlänge beträgt.

Die relative Intensität dieser Maxima und Minima (verglichen mit der Strahlungsintensität ohne Bodenwelle) hängt von der Stärke des reflektierten Strahles und vom Reflexionsfaktor der Erdoberfläche ab (vergleiche Figur C).

Für sehr flache Auftreffwinkel β nimmt dieser Reflexionsfaktor nahezu den Wert 1 an.



$$\text{Interferenz-Maxima, wenn } \overline{AC} + n\lambda = \overline{A'BC}$$

$$\text{Interferenz-Minima, wenn } \overline{AC} + (1+2n) \frac{\lambda}{2} = \overline{A'BC}$$

$n = \text{beliebige ganze Zahl}$

e. Feuerleit-Radargerät. Die Winkelmessung mit rotierender «Keule»

Wenn es sich darum handelt, die Winkelkoordinaten auf ein Ziel möglichst genau zu vermessen, so genügen Maximum- oder Minimum-Peilungen nicht mehr.

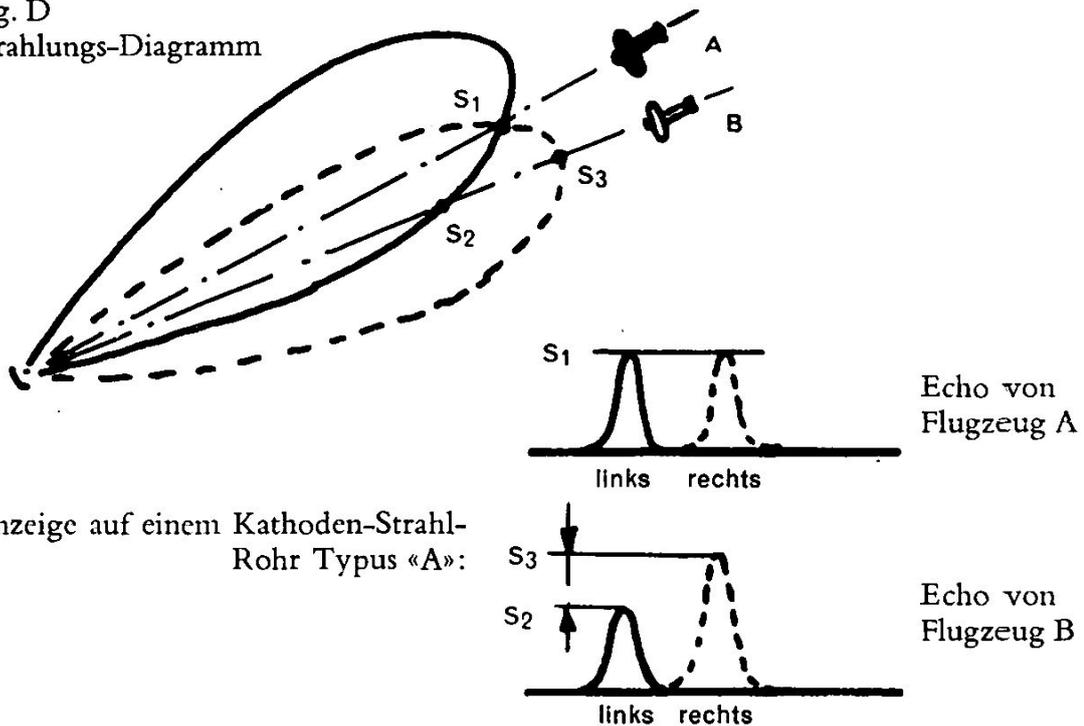
In diesem Fall wird das Strahlenbündel («Keule») um das Ziel herumrotiert und jeweils die Echo-Stärke in der «Links-Stellung» mit der Echo-Stärke in der «Rechts-Stellung», respektive obere und untere Stellung der Keule relativ zum Ziel, verglichen.

Die Figur D veranschaulicht diese Meßmethode. Das Flugzeug A liegt in der Achse des Reflektors. Demzufolge sind bei rotationssymmetrischer Keule alle Echos (herrührend von der linken, rechten, oberen und unteren Keulenstellung) einander gleich.

Das Flugzeug B liegt neben der Reflektorachse. Demnach besteht ein Winkelfehler in der Vermessung. Der Fehler wird dadurch angezeigt, daß die Echos nicht mehr gleich stark sind.

Bei automatisch nachlaufenden Antennen wird diese Differenz-Spannung verstärkt und auf entsprechende Antriebsmotoren geführt.

Fig. D
Strahlungs-Diagramm



Anzeige auf einem Kathoden-Strahl-
Rohr Typus «A»:

f. Berechnung der maximalen Drehgeschwindigkeit einer Radar-Antenne

Damit ein Flugzeug von einem Radargerät klar und deutlich angezeigt werden kann, muß es von mindestens 15 bis 20 Impulsen getroffen worden sein. Dies und die nachstehenden geometrischen Bedingungen begrenzen die Umlaufgeschwindigkeit der Antenne.

Die Zeitdauer, während der das Flugzeug angestrahlt wird, ist gegeben durch:

$$(1) \quad t = \frac{2\alpha}{\omega} = \frac{2\alpha}{360 n_{\max}} \text{ in Minuten}$$

2α = Öffnungswinkel des Strahles in Grad

n_{\max} = Maximale Umlaufgeschwindigkeit der Antenne in Umdrehungen pro Minute

Während dieser Zeit t werden $(60 \cdot f_i \cdot t)$ Impulse abgestrahlt, wobei f_i = Impulsfrequenz ist. Nach dem oben Erwähnten muß diese Impulszahl mindestens 15 bis 20 betragen. Daraus folgt:

$$(2) \quad 15 \div 20 = 60 \cdot f_i \cdot t$$

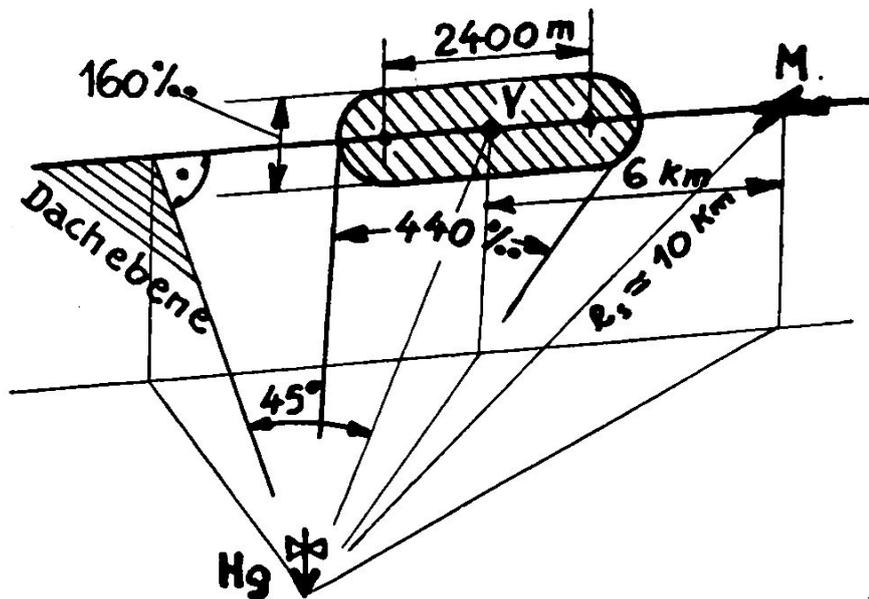
Aus Gleichungen (1) und (2) erhält man:

$$n_{\max} = \frac{\alpha f_i}{(45 \div 60)}$$

Anhang II

Der Einsatz von Horchgeräten und Scheinwerfern bei der schweren Flab

Der Scheinwerfer allein ist wegen seines schmalen Leuchtkegels zum Aufsuchen von Flugzeugen ganz ungeeignet, weshalb man für die Grob-Lokalisierung Horchgeräte (Hg) verwendet. Das Übertragungsmittel ist hier der Schall. Da nun aber moderne Flugzeuge nahezu mit Schallgeschwindigkeit fliegen, so ist der Auswanderungsweg des Zieles während der Zeit, die verstreicht, bis der Schall wahrgenommen wird, fast ebenso groß wie der Abstand vom Ziel zum Hg. Das Hg versucht einen Vorhalt zu berechnen,



der dieses Auswandern kompensiert. Es macht dies in der sogenannten Dachebene. Nur fehlt ihm leider die Kenntnis der Zielgeschwindigkeit. Hier ist man somit auf eine Schätzung angewiesen. Sie sei beispielsweise auf ± 20 Prozent genau. Die Auswanderungsstrecke betrage bei 10 Kilometer Schrägentfernung 6 Kilometer; dann ist also die Unsicherheit in Flug-Richtung ± 1200 Meter (siehe obenstehende Figur).

Die von einem mittleren Horcher zu erwartende Winkelgenauigkeit beträgt ± 80 Promille. Wenn wir alle andern Fehlerquellen (Wind, Störpegel, Bestimmung der Flugrichtung, usw.) vernachlässigen und ferner annehmen, das Ziel fliege horizontal, dann entsteht ein Unsicherheitskegel mit den Winkeldimensionen von $160 \times (280 + 160)$ Promille (vergleiche Beispiel der obenstehenden Figur). In diesem Raumwinkel muß der Scheinwerfer das Ziel suchen. Sein Leuchtkegel ist aber nur etwa 20 Promille im

Durchmesser (Halbwertsbreite). Die Wahrscheinlichkeit, daß er das Ziel bei Hg-Steuerung beleuchtet, ist somit nur etwa $\frac{\pi/4 \times 20^2}{160 \times 440} = 1/200$ oder 0,5 Prozent. Wenn vier Scheinwerfer an der Arbeit sind, so steigt diese Wahrscheinlichkeit bestenfalls auf 2 Prozent!

Selbst wenn wir annehmen, der Zufall sei uns günstig gewesen – das heißt, das Ziel werde schon bei 6 Kilometer beleuchtet –, so ist das Problem noch nicht gelöst. Denn erst von diesem Moment weg kann die Flab-Batterie das Richten beginnen. Wenn es sich um leichte Flab handeln würde, so könnte mit Bestimmtheit angenommen werden, daß sie noch zum Schuß käme. Da aber die Scheinwerferkompagnien der schweren Flab zugeteilt sind, muß mit dieser gerechnet werden.

Das Auffassen eines Zieles mit den Instrumenten der 7,5-Zentimeter-Flab (Telemeter und Kgt) benötigt zirka .. 10 Sekunden
 Das Vermessen der Distanz etwa weitere 10 Sekunden
 Die Beruhigung aller Rechenelemente im Kgt 10 Sekunden
 Fügen wir noch weitere 10 Sekunden
 für die Flugzeit des Geschosses hinzu,

dann hat das Flugzeug vom Moment der Beleuchtung durch die Scheinwerfer ab gemessen bis zur Detonation des ersten Schusses einen Flugweg von 8 Kilometer hinter sich gebracht ($V_{\text{Flzg}} = 200 \text{ m pro Sekunde}$).

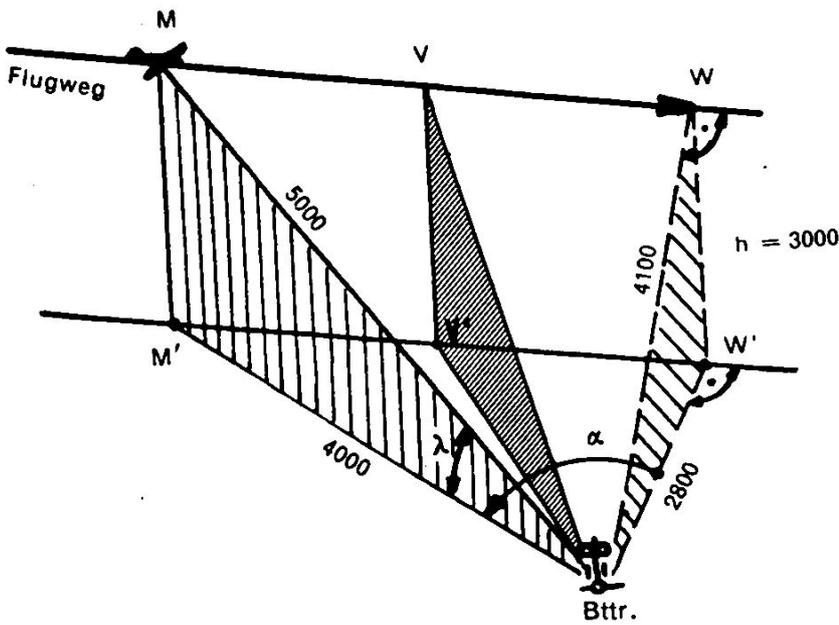
Wir folgern mithin, daß ein Beschuß auf moderne Flugzeuge bei Nacht mit Hilfe von Scheinwerfern und Hg höchst unwahrscheinlich und, wenn überhaupt möglich, dann erst im Wegflug erfolgen kann.

Anhang III

Berechnung des Streukubus für den Vorhaltepunkt

Der Streukubus des Meßpunktes ist uns gegeben aus den einzelnen Meßfehlern, bezogen auf die drei Koordinaten Seite (α), Lagewinkel (λ) und der Entfernung (e). Die der Rechnung zugrunde gelegten Daten sind: Das Ziel befinde sich auf einem Vorbeiflug in 3000 Meter Höhe. Der Meßpunkt liege in 5000 Meter Schrägentfernung. Die Zielgeschwindigkeit betrage 250 Meter/Sekunden. Bei einer Wechsellpunktdistanz von 4100 Meter ergibt sich das in Figur 1 gezeigte Bild.

Fig. 1



Grundlagen: M = Meßpunkt ($e_M = 5000$ m)
 V = Vorhaltepunkt ($e_V = 4250$ m)
 W = Wechsellpunkt ($e_W = 4100$ m)
 Vorhaltestrecke $\overline{MV} = 1700$ m
 Geschößflugzeit = zirka 7 s
 Flzg.-Geschwindigkeit = 250 m/s

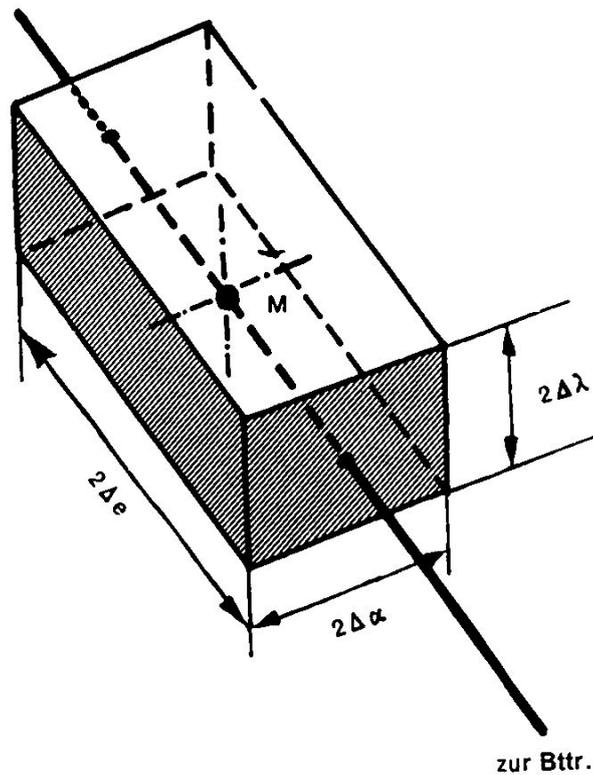
Fig. 2

Berechnung der Streukuben

	Optisch	vermessen	Mit Radar
$\Delta \alpha$	3 (15)	‰ (m)	5 (25)
$\Delta \lambda$	2 (10)		3 (15)
Δe	200	m	30

Streukubus

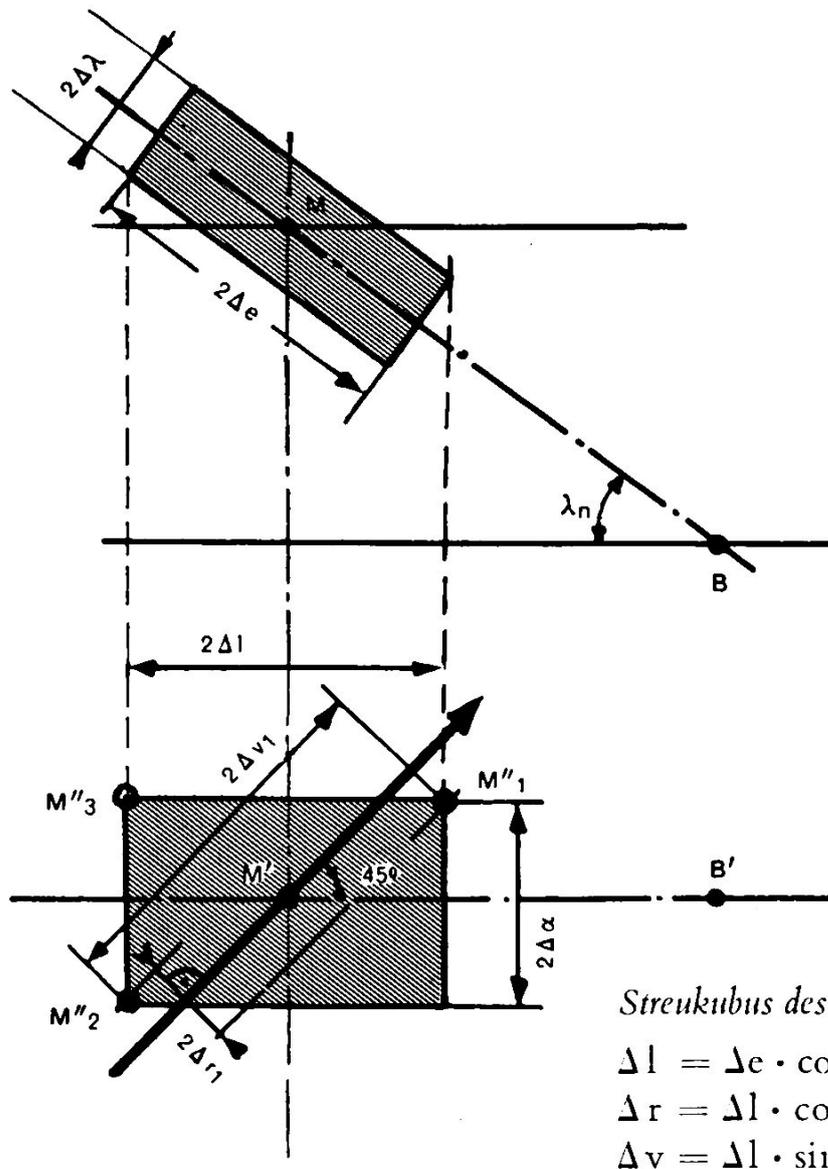
$2,4 \cdot 10^5$ m³ $0,9 \cdot 10^5$
 (bei einer Meßdistanz von 5000m)



Die Meßfehler sind in der vorstehenden Figur 2 in Form eines Streukubus dargestellt und außerdem in Promille und Metern (Klammerwerte) daneben aufgeschrieben. Die Zahlenwerte in Metern beziehen sich auf den Meßpunkt in 5000 Meter Entfernung.

In Figur 3 wird derselbe Kubus im Seitenriß (siehe Figur 1: Ebene: M-M'-Bttr.) und im Grundriß dargestellt.

Der Meßpunkt kann sich im Grundriß in der dunklen Fläche [Fläche: $2\Delta l \times 2\Delta\alpha$, worin $\Delta l = (\Delta e + \Delta\lambda) \cos \lambda$] beliebig bewegen. Diese Bewegung verursacht im Kgt einen Fehler in der Vorhalte-Richtung und einen Fehler in der Ermittlung der Horizontal-Geschwindigkeit. Diese Fehlergrößen sind jedoch von der Art, wie sich der fehlerbehaftete Meßpunkt bewegt, abhängig. Wir machen nun die vereinfachende Annahme, der Punkt M'



wandere räumlich und zeitlich linear nach dem Punkt M_I'' . Für die optische Vermessung möge dies in 6 Sekunden und für die Radarvermessung in 2 Sekunden erfolgen. (Die bei Radarsteuerung vorausgesetzte Automatik ist natur- und erfahrungsgemäß bedeutend schneller). Die Abweichung von der Flugrichtung beträgt Δr . Dieses Δr läßt sich ohne Schwierigkeiten aus der Figur 3 (Grundriß) ablesen.

Man erhält mit unseren Fehlerwerten:

$$\begin{array}{ll} \text{Optisch: } \Delta l = 168 & \Delta r = 153 \\ \text{Radar: } & = 36 & = 11 \end{array}$$

Während der fehlerbehaftete Meßpunkt auswandert, bewegt sich auch der tatsächliche Punkt M und zwar mit der Geschwindigkeit von 250 m/sec. Die vektorielle Summe beider Bewegungen ergibt die fehlerbehaftete Zielgeschwindigkeit in Vektorform. Diese graphische Summation wird in Figur 4 gezeigt und gestattet, sofort die Formeln für die Fehler in der Flugrichtung und in der Geschwindigkeit anzugeben:

$$\Delta V_{\text{ziel}} = \frac{\Delta v}{\Delta t} ; \quad \text{tg } \rho = \frac{\Delta r / \Delta t}{(V_{\text{ziel}} + \Delta v / \Delta t)}$$

wobei Δt die Auswanderungszeit des Meßpunktes von M' nach M_I'' bedeutet.

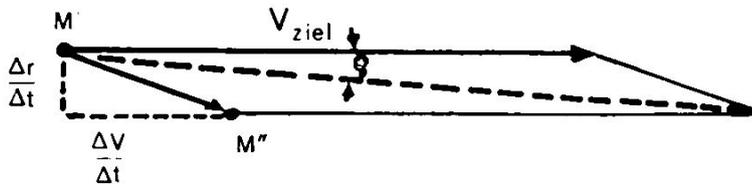


Fig. 4. Vektorielle Addition der Vorhaltestrecke und der Vorhaltefehler

In unserem Beispiel erhält man

$$\begin{array}{ll} \text{für die optischen Daten: } \Delta V_{\text{ziel}} = 21 & \text{tg } \rho = 94^{\circ}/00 \\ \text{für die Radar-Daten: } & = 21 & = 20^{\circ}/00 \end{array}$$

Nunmehr können wir die Fehler berechnen, welche zufolge der falschen Flugrichtung und Fluggeschwindigkeit im Vorhaltepunkt V entstehen. Die Zerlegung derselben in die Koordinaten-Richtungen α_v , λ_v und e_v ist anhand der Figur 5 leicht durchzuführen.

Die Summe aller Fehler pro Komponente ergibt für das erste Beispiel die folgenden Zahlenwerte:

	<i>Optisch</i>		<i>Radar</i>	
ΔR	114		07	
$\Delta \alpha'$		- 42		- 03
$\Delta e'$				- 07
$\Delta \lambda'$				+ 05
ΔS	145		118	
$\Delta \alpha''$		67		55
$\Delta e''$		- 26		- 21
$\Delta \lambda''$			18	15
Dazu die Meßpunkt- fehler:				
$\Delta \alpha_M$		15		25
Δe_M		-200		- 30
$\Delta \lambda_M$			10	15
<i>Total:</i>		40		77
		-332		- 58
			103	35

Zufolge der Distanzfehler des Vorhaltepunktes berechnet nun das Kgt eine falsche Geschößflugzeit. Deshalb wird auch die Vorhaltestrecke mit einem Fehler: $\Delta V_t = v_{\text{ziel}} \cdot \Delta t$ (Vergleiche Figur 5 unten) behaftet.

Dieser Fehler läßt sich wiederum mit einfachen geometrischen Gesetzen in die Komponenten $\Delta \alpha'''$, $\Delta e'''$ und $\Delta \lambda'''$ zerlegen:

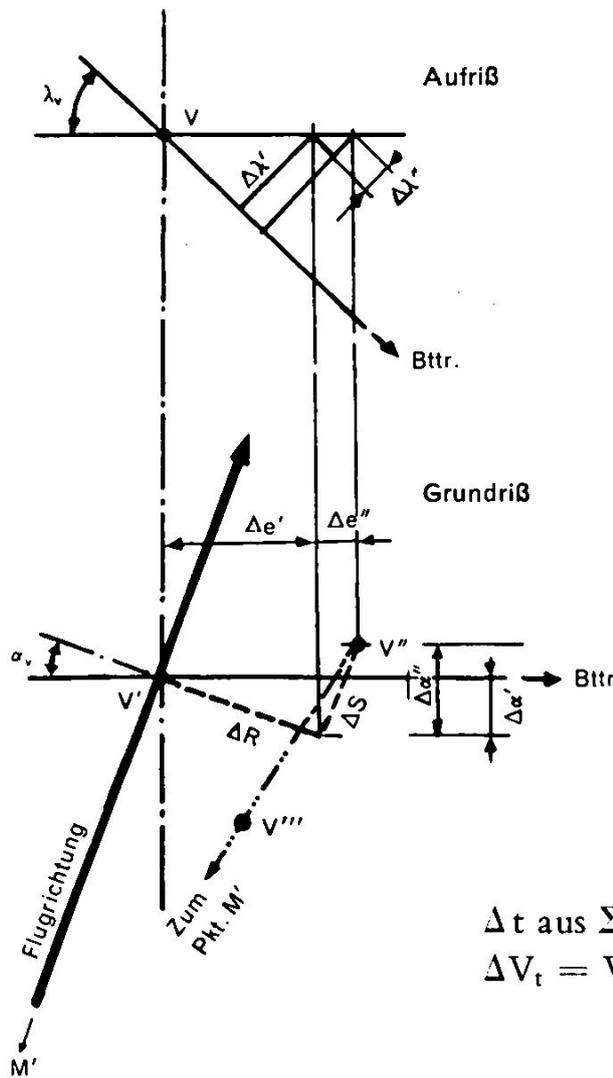
ΔV_t	-170		- 30	
$\Delta \alpha'''$		-158		- 26
$\Delta e'''$		+ 62		- 11
$\Delta \lambda'''$			- 44	- 08
<i>Total:</i>		-108		51
		-270		- 69
			59	27

Die aus diesen Fehlerkomponenten errechneten Streukuben stellen die 86prozentige Streuung dar. Wir erhalten für

das optisch gesteuerte Kgt: $108 \times 270 \times 59 \times 2^3 = 13,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

das radargesteuerte Kgt: $51 \times 69 \times 27 \times 2^3 = 0,77 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

Fig. 5



*Berechnung der Fehler
des Vorhaltepunktes*

$$\Delta R = V_{\text{ziel}} \cdot t_g \cdot \text{tg } \rho$$

tg = Geschöß-
flugzeit

V_{ziel} = Geschw.
des Ziels

$$\Delta S = \text{tg} \cdot \Delta V_{\text{ziel}}$$

$$\Delta \alpha' = \Delta R \sin \alpha_v$$

$$\Delta e' = \Delta R \cos \alpha_v$$

$$\Delta \lambda' = \Delta e' \sin \lambda_v$$

$$\Delta \alpha'' = \Delta S \cos \alpha_v$$

$$\Delta e'' = \Delta S \sin \alpha_v$$

$$\Delta \lambda'' = \Delta e'' \sin \lambda_v$$

$$\Delta t \text{ aus } \Sigma \Delta e$$

$$\Delta V_t = V_{\text{ziel}} \cdot \Delta t$$

$$\Delta \alpha''' \simeq \Delta V_t \cdot \cos \alpha_v$$

$$\Delta e''' \simeq \Delta V_t \cdot \sin \alpha_v$$

$$\Delta \lambda''' \simeq \Delta e''' \cdot \sin \lambda_v$$

Dieselbe Rechnung wurde auch für einen 2. Auswanderungspunkt, welcher in Figur 3 (Grundriß) mit M₂'' bezeichnet ist, durchgeführt. Das Ergebnis dieser Rechnung lautet:

für das optisch gesteuerte Kgt: $129 \times 286 \times 70 \times 2^3 = 20,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

für das radargesteuerte Kgt: $49 \times 47 \times 24 \times 2^3 = 0,44 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

Schlußendlich wurde auch noch ein drittes Beispiel berechnet, bei dem etwas andere, für Radar ungünstigere Annahmen getroffen wurden. Der Meßpunkt befindet sich auf derselben Flugstrecke, wie bei den vorherigen Beispielen, jedoch in einer Schrägentfernung von 4400 Meter. Die Flugzeuggeschwindigkeit wurde zu 200 m/sec angenommen, so daß die Schrägentfernung des Vorhaltepunktes nur noch 3760 Meter beträgt.

Auch für die Auswanderung des Meßpunktes wurde eine andere Strecke gewählt, nämlich vom Mittelpunkt des Meß-Streu-Kubus in die entfernte Ecke desselben (vergleiche Figur 3, Grundriß Punkt M_3'').

Mit diesen veränderten Annahmen erhalten wir:

$$\text{für das optisch gesteuerte Kgt: } 92 \times 161 \times 55 \times 2^3 = 6,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{für das radargesteuerte Kgt: } 70 \times 83 \times 69 \times 2^3 = 3,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

Das Mittel aus allen drei Rechenbeispielen ergibt:

$$\text{für das optisch gesteuerte Kgt: } 110 \times 238 \times 61 \times 2^3 = 12,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$\text{für das radargesteuerte Kgt: } 57 \times 67 \times 40 \times 2^3 = 1,22 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

Die vorstehende Berechnung der Streukuben basiert auf der numerischen Auswertung dreier willkürlich gewählter Beispiele. Die darauffolgende Verallgemeinerung des Resultates ist wohl nur zulässig, weil es sich in unserem speziellen Fall um das Verhältnis von unter gleichen Anfangsbedingungen entstandenen Streukuben handelt.

Eine Berechnung auf rein mathematischer Basis und mit allgemeinerem Charakter wäre eine dankbare Aufgabe für Mathematiker. Sie könnte zweifellos interessante Aufschlüsse bezüglich der schwachen Glieder der heutigen Flab-Schießmethoden liefern.