

Entfernungsmeßgeräte

Von Fregattenkapitän (E) H. v. Keller, Berlin

Die optische Erfassung des Raumes mit unbewaffnetem Auge ist als die natürliche Grundlage der technischen Entwicklung der Entfernungsmeßgeräte anzusehen¹⁾. Hierauf und auf den mathematischen Grundlagen der Entfernungsbestimmung aufbauend werden die wichtigsten technischen Ausführungsformen von Entfernungsmeßgeräten und ihre praktische Verwendung behandelt.

Die natürlichen Grundlagen der Entfernungsbestimmung

Zum Verständnis der verschiedenen optischen Entfernungsmeßgeräte, und zwar sowohl ihres technischen Aufbaues als auch ihrer praktischen Verwendbarkeit, ist es zweckmäßig, zunächst die Vorgänge beim Sehen mit unbewaffnetem Auge zu betrachten. Es ist also zunächst zu untersuchen, wodurch wir mit unbewaffnetem Auge die Tiefenanordnung und die räumliche Gestalt der von uns betrachteten Gegenstände zu erfassen vermögen. Dabei ist zu unterscheiden zwischen der Tiefenerfassung durch das einzelne Auge und der eigentlichen Tiefenwahrnehmung, die auf dem gleichzeitigen Gebrauch beider Augen beruht²⁾.

Tiefenerfassung beim einäugigen Sehen

Betrachtet man die Umwelt nur mit einem Auge, so kommt man erst mittelbar zu einer Tiefenerfassung durch eine Reihe von Erscheinungen, die zumeist zu dem Begriff „Perspektive“ gehören; die wichtigsten sind: Änderung des Betrachtungswinkels, Überdeckung der Gegenstände, Änderung des Höhenwinkels.

Die bei zunehmender Entfernung eintretende Verkleinerung des Winkels, in dem die Gegenstände dem betrachtenden Auge erscheinen, wird in den Zielwinkel-Entfernungsmeßgeräten technisch ausgenutzt.

Bei gegenseitiger Überschneidung von zwei verschieden weit entfernten Gegenständen kann die Verdeckung des entfernteren ihrem Wesen nach nicht den Ausgangspunkt für die Entwicklung eines Gerätes zur Bestimmung der absoluten Entfernung bilden. Sie wird daher hier nicht weiter behandelt; zu erwähnen ist jedoch ihre Bedeutung für das Erkennen relativer Entfernungslagen. Als Beispiel aus dem militärischen Anwendungsgebiet sei die Beobachtung der Lage der Aufschläge zum Ziel beim Schießen auf See genannt.

Die Änderung des Höhenwinkels zum Ziel in Abhängigkeit von der Entfernung tritt dann ein, wenn sich das Ziel in einer Ebene bewegt, die um einen nennenswerten Betrag tiefer oder höher als der Standpunkt des Beobachters liegt. Diese Erscheinung wird nicht nur zu Relativmessungen ausgenutzt — z. B. zur Bestimmung der Entfernungslage der Geschoßaufschläge zum Ziel von einem hoch liegenden Punkt des feuernden Schiffes oder der Küste oder auch von einem Flugzeug aus —, sondern sie ist auch der Ausgangspunkt für besondere Absolut-Entfernungsmeßgeräte bei Seezielen, die Hochstand-Entfernungsmeßgeräte (Depressions-Telemeter). Sie ist ferner bei Flugzeug-Abwehrgeräten ausgenutzt worden, indem man die laufende Messung der Schrägentfernung zum Ziel durch eine laufende Messung des Höhenwinkels, ergänzt durch eine Messung der Zielhöhe (in m), ersetzt.

Tiefenwahrnehmung beim zweiäugigen Sehen

Die Tiefenwahrnehmung beim zweiäugigen Sehen unterscheidet sich von der Tiefenerfassung des einzelnen

Auges grundsätzlich dadurch, daß sie von jeder Kenntnis oder Annahme über die Größe des beobachteten Gegenstandes oder über die eigene Standhöhe unabhängig ist. Der Abstand der beiden Augen bewirkt, daß das eine Auge ein etwas anderes Bild der Umwelt erhält als das andere, da es von einem etwas anderen Standpunkt aus beobachtet. Auch der zweiäugigen Tiefenwahrnehmung liegen also die Gesetze der Perspektive zugrunde, aber in der Form, daß die Verschiedenheiten zweier perspektivischer Bilder festgestellt werden. Diese Feststellung führt unmittelbar, ohne im einzelnen bewußt zu werden, zu einer klaren Vorstellung von der räumlichen Gliederung der Umwelt. Betrachtet man die Vorgänge näher, so erkennt man, daß die Tiefenwahrnehmung beim zweiäugigen Sehen in der Feststellung der Verschiedenheit der Richtung besteht, in der die beiden Augen den jeweils betrachteten Punkt sehen, d. h. in der Feststellung des Winkels am Ziel in einer durch die beiden Augen und das Ziel gelegten Ebene. Allerdings haben wir beim frei-

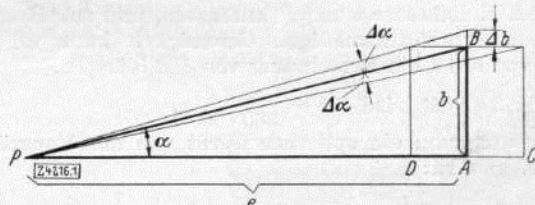


Bild 1. Bestimmung der Zielentfernung durch Messung des Zielwinkels.

- P Standort des Beobachters
- $\overline{AB} = b$ Zielhöhe (oder Zielbreite)
- $\overline{PA} = e$ tatsächliche Zielentfernung
- $\sphericalangle APB = a$ tatsächlicher Zielwinkel
- \overline{PC} bzw. \overline{PD} scheinbare Zielentfernung, wenn der Zielwinkel zu klein oder zu groß gemessen wird

zweiäugigen Sehen nicht die Möglichkeit, die absolute Größe dieses Winkels festzustellen; die Tiefenwahrnehmung beim Sehen mit unbewaffneten Augen beschränkt sich also auf die Feststellung von Entfernungsunterschieden.

Der Winkel am Ziel wird größer, wenn man den Abstand der Augen, die Basis, künstlich vergrößert. Auf diesem Grundsatz beruhen die Standwinkel-Entfernungsmeßgeräte. Sie haben also das natürliche Vorbild im zweiäugigen Sehen. Dies gilt auch dann, wenn im Meßvorgang selbst die stereoskopische Betrachtung nicht verwendet wird.

Die mathematischen Grundlagen der Entfernungsbestimmung

Zielwinkel-Entfernungsmeßgeräte

Bei dem Zielwinkel-Entfernungsmeßgerät wird der Winkel ermittelt, unter dem das Ziel dem Beobachter erscheint, Bild 1. Ist am Ziel eine Größe, z. B. die Zielhöhe b , bekannt, so erhält man daraus die Entfernung e aus der Gleichung:

$$\operatorname{tg} a = b/e \dots \dots \dots (1).$$

Da e im Vergleich zu b im allgemeinen sehr groß ist, kann man $\operatorname{tg} a$ durch den Winkel a selbst ersetzen:

$$a = b/e \dots \dots \dots (2).$$

¹⁾ Wegen der Grundbegriffe und -tatsachen aus dem Gebiete der physikalischen und physiologischen Optik vgl. O. Eppenstein Z. VDI Bd. 78 (1934) S. 993 u. 1111; ders. in Handwörterbuch der Naturwissenschaften, Jena 1912/15, „Entfernungsmesser“ und „Fernrohre“; ferner A. König, Physiologische Optik, Leipzig 1929 (Handbuch d. Experimentalphysik Bd. 20 T. 1).
²⁾ Vgl. A. König, Die Fernrohre und Entfernungsmesser, Berlin 1923, S. 85 (2. Auflage 1937, S. 45).

Der Winkel α ist also ein Kehrwert zur Entfernung e ; er kann somit als ein Maß für die „Nähe“ des Zieles aufgefaßt werden. Sie ist bei einem Ziel bestimmter Größe gekennzeichnet durch den Bildwinkel, unter dem es erscheint. Zugleich besagt sie — da das Auflösungsvermögen des Auges bei einem bestimmten Winkel, etwa einer Bogenminute, aufhört —, wieviel Einzelheiten man an dem Zielgegenstand zu erkennen in der Lage ist.

Eine weitere wichtige Bedeutung des Zielwinkels α ist die, daß seine Größe unmittelbar ein Urteil über die verhältnismäßige Genauigkeit der Entfernungsmessung erlaubt. Wenn man z. B. in einem Einzelfall den Winkel am Ziel mit 100 Bogenminuten und in einem anderen Falle mit 1000 Bogenminuten mißt, und wenn man gleichzeitig weiß, daß der wahrscheinliche Fehler der Winkelmessung eine Bogenminute beträgt, so ergibt sich daraus, daß die Bestimmung des Kehrwertes der Entfernung — und infolgedessen auch die der Entfernung selbst — in diesen Fällen auf 1% bzw. 1‰ genau erfolgt.

Diese Feststellung gibt zugleich die Unterlage zur allgemeinen Beantwortung der Frage nach dem wahrscheinlichen Meßfehler in Metern (in Abhängigkeit von der Zielentfernung). Man hat zunächst die verhältnismäßige Genauigkeit der Entfernungsmessung zu errechnen, indem man die Größe des Zielwinkels α unter Benutzung des wahrscheinlichen Winkelfehlers $\Delta\alpha$ als Einheit bestimmt. Der Kehrwert hiervon ($\Delta\alpha/\alpha$) gibt den verhältnismäßigen Fehler der Entfernungsmessung an, der durch Multiplikation mit der tatsächlichen Zielentfernung e den Fehler in Metern liefert.

Da $b \ll e$ ist, kann man b als Bogenstück eines Kreises mit dem Halbmesser e um P auffassen, und zur Bestimmung der verhältnismäßigen Genauigkeit kann an die Stelle von $\alpha/\Delta\alpha$ die Errechnung von $b/\Delta b$ treten.

$$\text{Mit } \Delta\alpha = 1' \text{ wird } \Delta b = \frac{2\pi}{360 \cdot 60} e.$$

Benutzt man ein optisches Gerät von der Vergrößerung v , so wird:

$$\Delta b = \frac{2\pi}{360 \cdot 60} \frac{e}{v} = 291 \cdot 10^{-6} \frac{e}{v} = \frac{1}{3438} \frac{e}{v} \quad (3).$$

Der Zielwinkel α , in Bogenminuten gemessen, beträgt also

$$\alpha = \frac{b}{\Delta b} = \frac{360 \cdot 60}{2\pi} \frac{bv}{e} = \frac{10^6}{291} \frac{bv}{e} = 3438 \frac{bv}{e} \quad (4).$$

Für seinen Kehrwert, den verhältnismäßigen Fehler der Entfernungsmessung, erhält man

$$\frac{\Delta e}{e} = \frac{\Delta b}{b} = 291 \cdot 10^{-6} \frac{e}{vb} = \frac{1}{3438} \frac{e}{vb} \quad (5),$$

$$\frac{\Delta e}{e} [\text{in } \text{‰}] = 291 \cdot 10^{-3} \frac{e}{vb} = \frac{10^3}{3438} \frac{e}{vb} \quad (6)$$

und somit für den Entfernungsfehler selbst:

$$\Delta e = 291 \cdot 10^{-6} \frac{e^2}{vb} = \frac{1}{3438} \frac{e^2}{vb} \quad (7).$$

Gl. (7) zeigt, daß der einem bestimmten Winkelfehler entsprechende Entfernungsfehler — und gleichzeitig die geringste erkennbare Entfernungsänderung — mit dem Quadrat der Entfernung wächst. Dagegen wächst der verhältnismäßige Entfernungsfehler $\Delta e/e$ nur im einfachen Verhältnis mit der Entfernung, Gl. (5).

Die praktische Bedeutung von Gl. (3) bis (7) sei an einigen Beispielen kurz erläutert:

Es ist die Tatsache erwähnt worden, daß der Winkel $\Delta\alpha = 1'$ gleichzeitig die Grenze des Auflösungsvermögens unseres Auges darstellt. Gl. (3) besagt also z. B., daß ein Gegenstand von 291 mm Größe dem unbewaffneten Auge von 1 km ab — bei Benutzung eines Fernglases von zehnfacher Vergrößerung von 10 km ab — nur noch als „Punkt“ erscheint; dasselbe gilt für einen 1 m großen Gegenstand von 3,4 km bzw. 34 km ab. Für jeden näheren Gegenstand gibt Gl. (4) an, in welchem Maße man auf ihm Einzelheiten erkennen kann. In bezug auf die Be-

nutzung von Ferngläsern besagt sie dabei z. B., daß die zehnfache Vergrößerung gegenüber der Betrachtung mit unbewaffnetem Auge sowohl in der Höherer Streckung als auch in der Breiterer Streckung des Gegenstandes die zehnfache Zahl von Einzelheiten erkennen läßt.

Wenn man mit einem Zielwinkel-Entfernungsmeßgerät von zehnfacher Vergrößerung ein Ziel von 10 m (20 m) Größe auf 3,4 km (6,9 km) Entfernung mißt, muß man mit 1% Entfernungsfehler rechnen; dasselbe gilt bei einem Ziel von 29,1 m Höhe bei 10 km Entfernung, Gl. (5) und (6).

Für das gleiche Gerät kann man für dieselbe Zielhöhe von 10 m (20 m) aus Gl. (7) den Entfernungsfehler für eine Entfernung von 10 km zu 291 m (146 m) berechnen.

Hochstand-Entfernungsmeßgeräte. Die Hochstand-Entfernungsmeßgeräte (Depressions-Telemeter) waren entwicklungsmäßig aus dem einäugigen Sehen abzuleiten. In mathematischer Beziehung stehen sie jedoch den Standwinkel-Entfernungsmeßgeräten nahe. Die ihnen zu Grunde liegenden geometrischen Verhältnisse ergeben sich aus Bild 2. P ist der Standpunkt des Meßgerätes, das den Neigungswinkel APD ($=PAQ$) zum Ziel A mißt. Solange der Winkel PAQ klein ist, gelten die oben angegebenen mathematischen Beziehungen; für die zahlenmäßige Bestimmung der Meßgenauigkeit wird man einen Meßfehler von 1' zu Grunde legen können.

Bei genaueren Untersuchungen ist die Krümmung der Erdoberfläche zu berücksichtigen²⁾.

Standwinkel-Entfernungsmeßgeräte

Zu den Standbild-Entfernungsmeßgeräten, mit denen man den Winkel am Ziel mißt, den die Strahlen vom Ziel zur Augen- bzw. Gerätbasis einschließen, zählt man folgende Gerätearten: Raumbild-Entfernungsmeßgeräte, Teilbildgeräte und Zweistandgeräte. Das grundsätzliche Verfahren dieser Gruppe von Entfernungsmeßgeräten geht aus Bild 2 hervor. Man erkennt, daß hier die mathematischen Verhältnisse im ganzen dieselben sind wie beim Zielwinkel-Entfernungsmeßgerät mit dem einen grundsätzlichen Unterschied, daß die Meßbasis bei diesem am

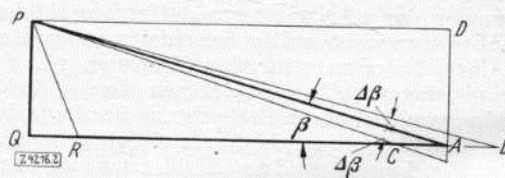


Bild 2. Bestimmung der Zielentfernung durch Messung des Standwinkels.

\overline{PQ} Standlinie (Basis)

A Ziel

\overline{PA} und \overline{QA} tatsächliche Zielentfernungen

\overline{PB} und \overline{QB} bzw. \overline{PC} und \overline{QC} scheinbare Zielentfernungen, wenn der Standwinkel zu klein oder zu groß gemessen wird

$\sphericalangle PAQ = \beta$ Stand- oder Parallaxwinkel

\overline{PR} Langbasis, die sich infolge seitlicher Lage des Zieles nur in der Größe \overline{PQ} auswirkt

Ziel lag, während sie beim Standwinkel-Entfernungsmeßgerät am Ort des Beobachters liegt. Das oben für den Zielwinkel α Gesagte gilt also jetzt für den Standwinkel oder Parallaxwinkel β , im besonderen auch in bezug auf die praktische Bedeutung dieses Winkels als unmittelbares Maß für die „Nähe“ des Zieles.

Raumbild- und Teilbild-Entfernungsmeßgeräte. Die Raumbild-Entfernungsmeßgeräte (Stereotelemeter) sind optische Geräte mit zwei Okularen (binokulare Geräte), deren Hauptstreckung senkrecht

²⁾ Vgl. A. König, Die Fernrohre und Entfernungsmesser, Berlin 1923, S. 192 (2. Auflage 1937 S. 211).

zur Zielrichtung liegt. Der Abstand der Ausblicköffnungen, die Basislänge, beträgt je nach Verwendungsart des Gerätes Bruchteile eines Meters bis zu mehreren Metern. Das Meßverfahren besteht in dem stereoskopischen Vergleich des Raumbildes des Zieles und einer räumlichen Marke im Gesichtsfeld.

Die Teilbildgeräte (Koinzidenztelemeter) haben dieselbe äußere Form wie die Raumbildgeräte. In ihrem optischen Aufbau unterscheiden sie sich aber insofern, als sie nur ein Okular besitzen. Das Bildfeld ist durch eine — im allgemeinen waagrecht verlaufende — Trennungslinie unterteilt. Unterhalb der Trennungslinie erscheint das mit dem einen, oberhalb der Trennungslinie das mit dem anderen Objektiv gewonnene Bild. Das Gerät muß der Höhe nach so gerichtet werden, daß das zu messende Ziel sowohl oberhalb als auch unterhalb der Trennungslinie zu sehen ist. Die Messung erfolgt dadurch, daß das obere Bild so lange seitlich verschoben wird, bis es in Linie mit dem unteren Bild steht.

Für die Raumbild- und die Teilbildgeräte ergeben sich für die in Gl. (3) bis (7) behandelten Größen Δb , α , $\Delta e/e$, Δe und Δe [in ‰] dadurch andere Werte, daß die Genauigkeit der Winkelbestimmung bei diesen Geräten erfahrungsgemäß nicht bei 1', sondern bei 10" (subjektiv) liegt. Für diese Geräte gilt also:

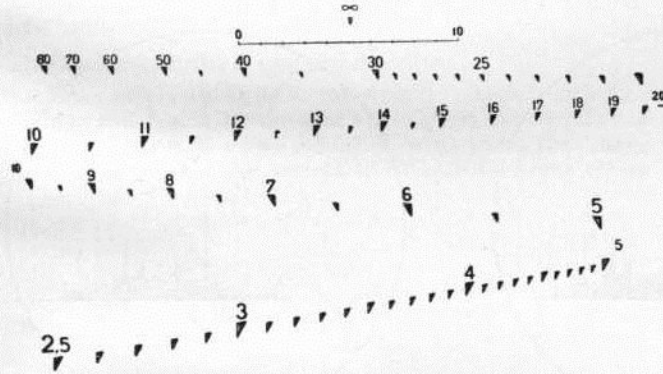


Bild 3. Meßteilung.

$$\Delta b = \frac{2\pi}{360 \cdot 60 \cdot 6} \frac{e}{v} = 48,48 \cdot 10^{-6} \frac{e}{v} = \frac{1}{20626} \frac{e}{v} \quad (3a)$$

$$\beta = \frac{b}{\Delta b} = \frac{360 \cdot 60 \cdot 6}{2\pi} \frac{v b}{e} = \frac{10^6}{48,48} \frac{v b}{e} = 20626 \frac{v b}{e} \quad (4a)$$

$$\frac{\Delta e}{e} = \frac{\Delta b}{b} = 48,48 \cdot 10^{-6} \frac{e}{v b} = \frac{1}{20626} \frac{e}{v b} \quad (5a)$$

$$\frac{\Delta e}{e} [\text{in } \text{‰}] = 48,48 \cdot 10^{-3} \frac{e}{v b} = \frac{10^3}{20626} \frac{e}{v b} \quad (6a)$$

$$\Delta e = 48,48 \cdot 10^{-6} \frac{e^2}{v b} = \frac{1}{20626} \frac{e^2}{v b} \quad (7a)$$

Gl. (3 a) gibt u. a. Aufschluß darüber, welche Rolle das Plattenkorn bei der stereoskopischen Auswertung von Lichtbildern — besonders bei dem auf Pulfrich zurückgehenden stereo-photogrammetrischen Vermessungsverfahren — spielt; arbeitet man dabei mit einem Beobachtungsabstand von 25 cm (Vergrößerung 1), so ergibt sich

$$\Delta b [\text{in mm}] = 48,48 \cdot 10^{-6} \cdot 250 = 12,12 \cdot 10^{-3}$$

Aus Gl. (4 a) geht hervor, daß bei Beobachtung mit unbewaffnetem Auge die Größe des Parallaxwinkels β für Ziele gleicher Entfernung von Mensch zu Mensch nach dem individuellen Augenabstand — der um einen Mittelwert von 65 mm zwischen 58 mm und 72 mm schwankt — verschieden ist. Das gilt auch für die dem Parallaxwinkel $\beta = 1$ (= 10" subjektiv) entsprechende Entfernung. Diese stellt für das unbewaffnete Auge die Grenze des räumlichen Sehens dar: entferntere Gegenstände heben

sich für das stereoskopische Tiefenempfinden nicht mehr voneinander ab. Sie liegt nach Gl. (4 a) für 58 mm Augenabstand bei 1 196 m, für 65 mm Augenabstand bei 1 341 m und für 72 mm Augenabstand bei 1 485 m.

Dagegen ist bei der Beobachtung durch ein stereoskopisches Entfernungsmeßgerät der zu einem Gegenstand bestimmter Entfernung gehörige Parallaxwinkel unabhängig vom Augenabstand des Beobachters immer derselbe: so gehört z. B. bei einem Raumbildgerät von 0,65 m Basis und zehnfacher Vergrößerung — solange die Meßeinrichtung (siehe weiter unten) auf „Unendlich“ steht — zu einem 1 341 m entfernten Ziel für jeden Beobachter der Parallaxwinkel 100. Für jeden Beobachter erscheint dieses Ziel im Gerät also ebenso nahe wie einem mit 65 mm Augenabstand frei beobachtenden Menschen ein Ziel von 13,4 m Entfernung. Ebenso erscheint bei dem genannten Gerät jeder andere im Bildfeld sichtbare Gegenstand 100mal näher als in Wirklichkeit. Im vollen Umfange bewußt wird uns diese scheinbare starke Annäherung der Ziele im allgemeinen allerdings nicht, wohl aber eine andere damit im Zusammenhang stehende Erscheinung, die nicht nur beim eigentlichen Raumbildgerät, sondern auch bei jedem anderen mit Vergrößerung arbeitenden binokularen optischen Gerät auftritt, also auch beim gewöhnlichen Doppelglas; es ist das die unter dem kennzeichnenden Namen „Kulissenwirkung“ bekannte Verzerrung des räumlichen Bildes, die auf folgendem beruht.

Bild 3 bis 5
Raumbild-Entfernungsmeßgerät
mit fester Marke.

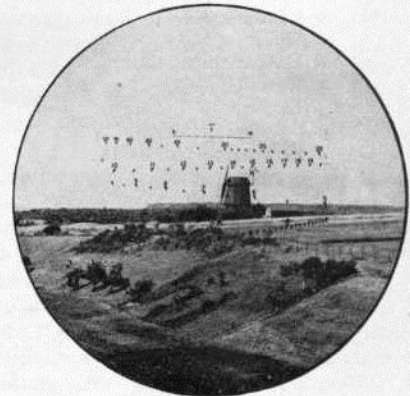


Bild 4
Gesichtsfeld mit einer
Mühle als Ziel.

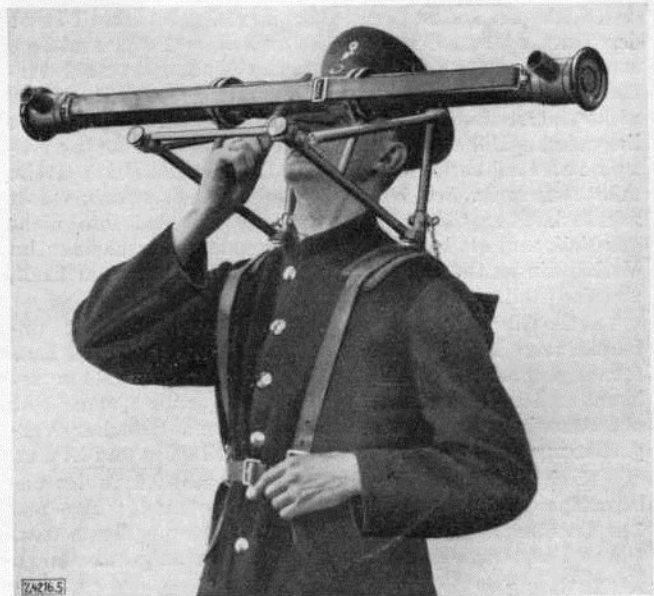


Bild 5. Gerät mit Schultergestell
zum Beobachten von Luftzielen.
Basis 1 m.

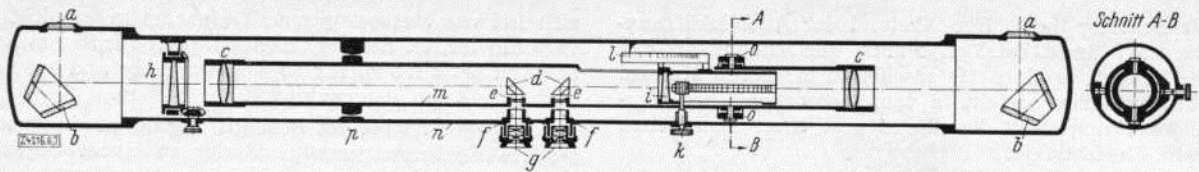


Bild 6 und 7. Optischer Aufbau.

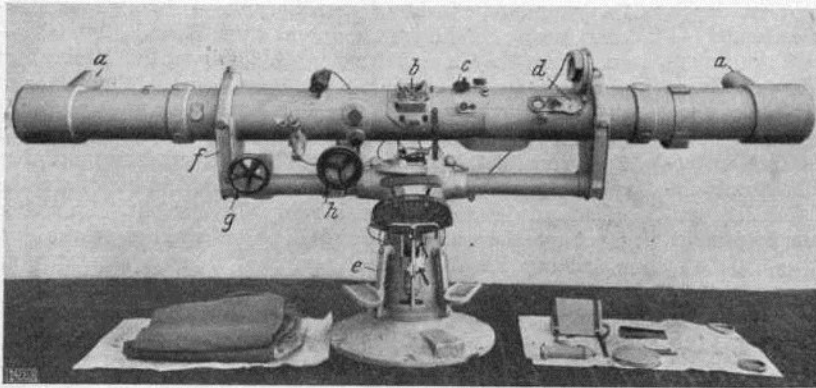


Bild 8. Ansicht. Basis 5 m.

- a Wetzerschutzhöhre für die Abschlußgläser
- b Okulare
- c Meßknopf
- d Entfernungsteilung
- e Gestell
- f Lagergabel
- g Seitenrichthandrad
- h Höhenrichthandrad

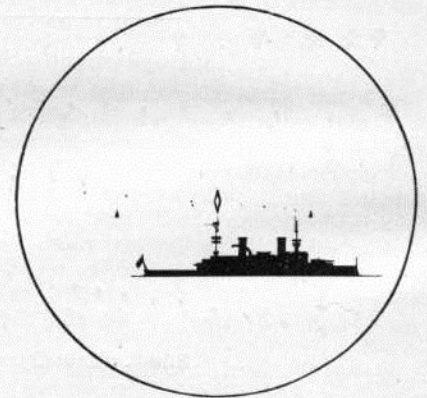
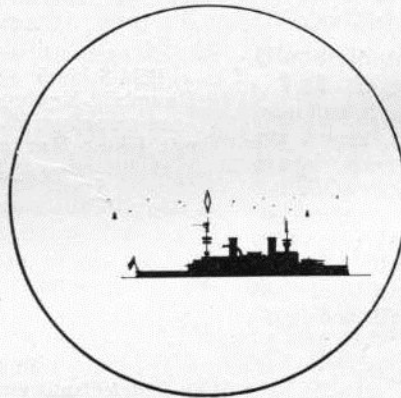
Bild 6 bis 9
Raumbild-Entfernungsmeßgerät
mit Wandermarke.

Bild 9. Gesichtsfeld mit einem Schiff als Ziel.

Nach dem Gesagten gibt das Gerät die Tiefe der betrachteten Gegenstände und ihre Tiefenlage zueinander und zum Beobachter im Maßstab 1:100 verkleinert wieder. Wenn eine Verzerrung des Raumbildes nicht eintreten soll, müßten auch die senkrecht zur Tiefe liegenden Höhen- und Seitenwerte linear entsprechend verkleinert sein, d. h. ihre scheinbare Größe müßte unverändert bleiben. Dadurch, daß das Gerät zehnfache Vergrößerung besitzt, ist dies bei ihm nicht der Fall, und die betrachteten Gegenstände erscheinen im Verhältnis zu ihrer Tiefe zehnfach zu hoch und zu breit, sie sind kulissenartig verzerrt.

Aus Gl. (5 a) und (6 a) geht hervor, daß das unbewaffnete Auge (65 mm Augenabstand) 1% Entfernungsunterschied bei Entfernungen unter 13,4 m erkennt und 1‰ Entfernungsunterschied unter 1,34 m. Für ein Raumbildgerät von 3,25 m Basis und 20facher Vergrößerung liegen dieselben Grenzen bei 13 400 m und 1 340 m.

Nach Gl. (7) ergibt sich die Tiefensehschärfe des unbewaffneten Auges zu $0,75 \cdot 10^{-6} e^2$; sie beträgt also auf 1 m Entfernung 0,75 mm, auf 2 m Entfernung 3 mm usw. (diese Formel gilt genau bei 64,64 mm Augenabstand).

In bezug auf die Teilbildgeräte ist nur auf Gl. (3 a) besonders hinzuweisen. Aus ihr geht hervor, welche Einstellgenauigkeit [in m] am Ziel zu fordern ist, wenn der Meßfehler nur 10" betragen soll. Bei einem Ziel in 20,6 km Entfernung ist bei Verwendung eines Meßgerätes

von 20 facher Vergrößerung die Koinzidenzeinstellung auf 5 cm genau durchzuführen.

Zweistandgeräte. Die Zweistandgeräte unterscheiden sich von den bisher behandelten Geräten, den Einstandgeräten, in ihrem ganzen Aufbau und in der Bedienung erheblich dadurch, daß die Meßbasis von zwei in einem großen Abstand — im allgemeinen mehrere Kilometer — voneinander aufgestellten Peilgeräten gebildet wird. Hierdurch ergibt sich gleichzeitig, daß die Basis eine feste geographische Richtung erhält.

Die mathematischen Verhältnisse bei der „Langbasismessung“ mit Hilfe eines Zweistand-Entfernungsmeßgerätes ergeben sich ebenfalls aus Bild 2. \overline{PR} ist die Meßbasis und A ist das Ziel. Im Unterschied zu den bisher untersuchten Meßverfahren ist aber hier die Meßbasis im Verhältnis zur Zielentfernung durchaus nicht immer klein; hierin liegt der Vorteil dieses Meßverfahrens. Daneben hat es den bereits oben erwähnten ihm eigentümlichen Nachteil, daß die Basis eine feste geographische Richtung hat und infolgedessen zur Schußrichtung sehr schräg liegen kann. Gerade hierdurch können Fälle eintreten, in denen die wirksame Basis — die sich durch Multiplikation der vollen Länge der Basis mit dem Kosinus ihrer Schräglage errechnet — im Verhältnis zur Zielentfernung doch klein werden kann. In diesem Falle gelten für die Bestimmung der zu erwartenden Meßgenauigkeit grundsätzlich die oben gegebenen

Gleichungen; die wesentliche Unterlage der Entfernungsbestimmung ist auch hier der Winkel am Ziel. Die Frage nach der Genauigkeit seiner Bestimmung ist jedoch nicht ohne weiteres allgemeingültig zu beantworten, da hierzu nicht nur die Zielgenauigkeit der Peilgeräte, sondern auch die Genauigkeit der Übermittlung der Peilwerte an das Langbasis-Rechenggerät, die je nach der technischen Ausstattung der einzelnen Anlagen verschieden ist, bekannt sein muß.

Die wichtigsten technischen Ausführungsformen von Entfernungsmeßgeräten und ihre praktische Verwendung

Zielwinkel-Entfernungsmeßgeräte

Die für genaue Messungen günstigste Form des Zielwinkel-Entfernungsmeßgerätes läßt im Gesichtsfeld zwei senkrecht übereinander stehende aufrechte Bilder des Zieles erscheinen. Bei der Messung muß die Oberkante des einen Bildes mit der Unterkante des anderen Bildes mit möglichster Genauigkeit zur Berührung gebracht werden. Der Vorteil des Gerätes liegt in seinen geringen Abmessungen, der Nachteil in der Unsicherheit der Einstellung bei ungünstiger Beleuchtung und sich wenig abhebenden Zielen, besonders auf größere Entfernungen, und ferner in der Tatsache, daß zur Bestimmung der absoluten Entfernung die Zielhöhe sehr genau bekannt sein muß.

Standwinkel-Entfernungsmeßgeräte

Raumbildgeräte. Man unterscheidet zwischen Geräten mit fester Marke und solchen mit Wandermarke. Die feste Marke, Bild 3, wird gern für kleine Geräte verwendet. Sie besteht in Wirklichkeit aus einem

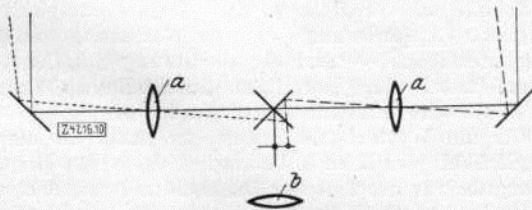


Bild 10. Strahlengang.

a Objektiv
 b Okular

Sowohl die ausgezogenen als auch die gestrichelten Linien geben die von einem unendlich entfernten Ziel ausgehenden Lichtstrahlen an. Sie zeigen, daß die Messung unabhängig von der Seitenrichtung des Zieles ist.

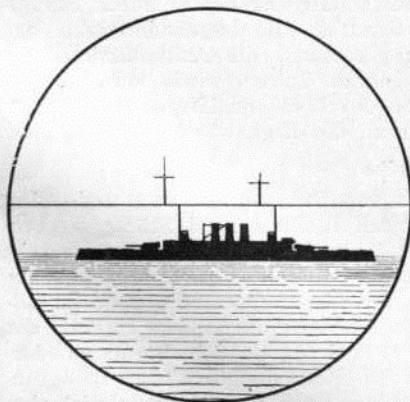


Bild 11
 Gesichtsfeld eines Schnittbildgerätes.

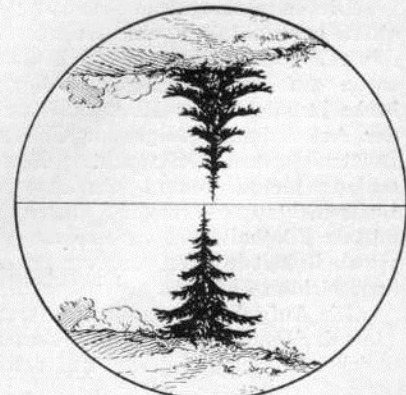
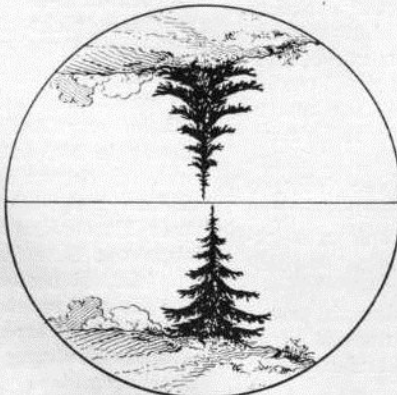


Bild 10 bis 12
 Teilbild-Entfernungsmeßgerät.

Bild 12. Gesichtsfeld eines Kehr Bildgerätes.

räumlich wirkenden Stereoskopbild, das sich dem Raumbild der Landschaft unmittelbar überlagert. Die Entfernung wird an der Meßmarke abgelesen, die sich dem Ziele der Tiefe nach am nächsten befindet, Bild 4.

Die praktische Verwendung des Gerätes erfolgt zweckmäßig unter Benutzung eines Schultergestelles, das auch die Messung von Luftzielen erlaubt, Bild 5.

Den optischen Aufbau eines Gerätes mit Wandermarke zeigen Bild 6 und 7. Das durch die Abschlußgläser *a* eintretende Licht geht über die Winkelspiegel *b*, die Objektive *c*, die Dachprismen *d*, die Meßmarken *e* und die für die Einstellung des Augenabstandes erforderlichen rhombischen Prismen *f* zu den Okularen *g*. Der linke Lichtstrahl geht auf diesem Wege noch durch einen schwachen drehbaren Berichtigungskeil *h* und der rechte Lichtstrahl durch den wichtigsten Teil des Gerätes, die Meßeinrichtung *i* (Meßkeil). Der Meßkeil wird durch Drehen des Meßknopfes *k* so lange verschoben, bis das Ziel mit der Meßmarke räumlich in Deckung erscheint. Nach erfolgter Einstellung gibt die Stellung des Meßkeiles die Größe des Parallaxwinkels und somit auch die Zielentfernung an; sie wird an der Entfernungsteilung *l* abgelesen.

Die besonders empfindlichen Teile des Gerätes befinden sich in einem Innenrohr *m*, das mit dem Außenrohr *n* durch die Kardanaufhängung *o* und die Wulst *p* so verbunden ist, daß sich etwaige Verbiegungen des Außenrohres nicht schädlich übertragen können. Die Notwendigkeit solcher Vorsichtsmaßregeln ist leicht einzusehen, wenn man bedenkt, daß einerseits der technische Aufbau des Meßgerätes einer Einstellgenauigkeit entsprechen soll, die subjektiv bei 10", objektiv also unter 0,5" liegt, daß aber andererseits das Gerät auch allen praktischen Beanspruchungen der militärischen Verwendung gewachsen sein muß.

Bild 8 zeigt das Äußere eines Raumbildgerätes, und zwar das 5 m-Entfernungsmeßgerät von C. Zeiss, Jena. In Bild 9 ist die auf ein Schiffsziel eingestellte Wandermarke (Stereobild) dargestellt.

Eine große praktische Bedeutung für die Verwendung des Gerätes hat seine Justierung, die entweder nach einer getrennt aufgestellten Meßplatte bzw. nach Zielen bekannter Entfernung erfolgen muß oder mit Hilfe einer in das Gerät eingebauten Innenjustierung durchgeführt werden kann. Bei neueren Geräten wird als solche die „absolute Justierung“ nach Eppenstein⁴⁾ verwendet.

Teilbildgeräte. Der Strahlengang des Teilbildgerätes ergibt sich aus Bild 10. Bild 11 zeigt das Gesichtsfeld eines Schnittbildgerätes. Bei Bild 12 zeigt jedes Einzelbild für sich das Gesichtsfeld eines Kehr Bildgerätes.

Auf die im Auslande viel erörterte Frage des Vergleiches zwischen dem Schnittbild- und dem Raumbild-

⁴⁾ Vgl. O. Eppenstein, in Handbuch der Physik, herausgegeben von Geiger und Scheel, Bd. 18, Berlin 1927, S. 551, insbesondere S. 620.

gerät⁵⁾ soll hier nicht eingegangen werden. Es ist aber festzustellen, daß in einzelnen Staaten des Auslandes das Raumbildgerät, das in seiner neueren Ausführungsform mit Wandermarke dort erst nach dem Weltkrieg näher bekannt geworden ist, immer mehr an Anhängern gewinnt. Für Messungen gegen Luftziele wird es sogar fast ausschließlich verwendet⁶⁾.

Raumbild-Teilbild-Geräte. Aus Bild 12 ergibt sich durch stereoskopische Vereinigung der beiden Einzelbilder das Gesichtsfeld eines Raumbild-Kehrbild-Gerätes. Man kann sich dieses durch die Vereinigung von zwei Teilbildgeräten in einem Rohr entstanden denken. Es ist also möglich, an dem Gerät entweder einäugig, im linken oder rechten Okular, eine Teilbildeinstellung zu machen oder zweiäugig eine Raumbildeinstellung.

⁵⁾ Vgl. *Jachino*, Rivista Marittima Bd. 62 (1929) S. 15; *F. Montauti*, ebendort Bd. 63 (1930) S. 33 und Bd. 66 (1933) S. 21. Ferner *Bernini*, Rivista Artiglieria Genio Bd. 70 (1931) S. 747 und 975.

⁶⁾ Ausführliche ausländische Behandlungen des Gebiets der Entfernungsmessung vgl. *P. Maznir*, Traité de télémétrie, Paris 1931 u. *F. Montauti*, Il Telemetro Monostatico, Bologna 1932.

Das Raumbild, das sich dabei dem Auge bietet, erscheint im unteren Teile des Gesichtsfeldes seitenrichtig, im oberen Teile jedoch seitenverkehrt. Das Gerät kann im unteren und im oberen Teile des Gesichtsfeldes Meßmarken haben; man erhält dadurch sowohl unten als auch oben ein Raumbildgerät von normaler Einstellgenauigkeit. Läßt man die Meßmarken fort und vergleicht bei der räumlichen Einstellung unmittelbar Ziel mit Ziel, so muß man im Vergleich zum normalen Raumbildgerät die doppelte Einstellgenauigkeit erhalten.

*

Abschließend ist noch darauf hinzuweisen, daß in vielen Fällen die in den oben aufgestellten Gleichungen angegebene Meßgenauigkeit praktisch dadurch nicht erreicht werden kann, daß atmosphärische Störungen — Refraktionserscheinungen bei Zielwinkel- und Hochstand-Entfernungsmeßgeräten, flimmernde Luft bei Raumbild- und Teilbild-Entfernungsmeßgeräten — erhebliche Störungen bringen.

B 4216