

Die indirekte Distanzmessung mit Radar

Autor(en): **Bachmann, E.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie = Revue technique suisse des mensurations, du génie rural et de la photogrammétrie**

Band (Jahr): **46 (1948)**

Heft 4

PDF erstellt am: **06.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-205583>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

dätischer Punktbestimmungen sind als eine für praktische Zwecke anwendbare Vorstufe zu betrachten zur Beantwortung der allgemeinen Frage: „Welche mittleren Fehlerellipsen der Neupunkte sind zu erwarten, wenn die mittleren Fehlerellipsen der gegebenen Punkte bekannt sind?“

Die für den Fall fehlerfreier Winkelbeobachtungen bereits vorliegenden Entwicklungen werden, nach Einbeziehung des Einflusses der Beobachtungsfehler, als vollständige Zusammenfassung mitgeteilt werden.

Die indirekte Distanzmessung mit Radar

E. Bachmann, dipl. Ing.

Der Geometer hat zu allen Zeiten den Distanzmeßwerkzeugen seine besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Er war aktiv an der Normalisierung der Maßsysteme beteiligt, hat durch stetiges Verbessern die Meßlatte und das Meßband in ihre heutige Gebrauchsform gebracht und seit ca. 150 Jahren die indirekte Distanzmessung mit allen Mitteln gefördert.

Von der genialen Idee des einfachen Fadendistanzmessers von Reichenbach bis zu den modernen selbstreduzierenden Doppelbildentfernungsmessern war ein weiter Weg. Im Laufe der Entwicklung wurde die Meßbasis (Latte) von der senkrechten in die horizontale Lage verlegt, die Basis selbst aus Invar hergestellt und der feste distanzmessende Winkel anstatt durch Fäden, mit optischen Mitteln erzeugt. Das Grundprinzip der Distanzmessung ist aber im Laufe der Entwicklung immer das gleiche geblieben.

Die Meßgenauigkeit konnte durch diese Verbesserungen um das 10–20fache gesteigert werden und der mittlere Fehler der optischen Distanzmessung ist heute ca. 1/6000 der gemessenen Entfernung. Der Meßbereich der Feldmeßarbeiten ist mit ca. 150–200 m ungefähr gleich geblieben. Für militärische Zwecke, wo größere Entfernungen festgestellt werden müssen, wurden bis heute sogenannte Telemeter verwendet, die je nach ihrer Aufgabe eine Basislänge von 1–10 m aufwiesen und Entfernungen bis max. 30 km bestimmen konnten. Die Genauigkeit solcher Riesentelemeter gibt die englische Marine mit 1 % der Entfernung an. Der Telemeter zeigt somit auf 30 km einen mittleren Fehler von ± 300 m.

Während des Krieges wurde von den Engländern und Amerikanern ein neues Distanzmeßgerät entwickelt, welches anfänglich nur zur Frühwarnung vor feindlichen Flugzeugen und ungefähren Entfernungsbestimmung dienen sollte, dann aber bald als unentbehrliches und kriegsentscheidendes Distanzmeßgerät bei der Fliegerabwehr, der Marine, der Flugwaffe und der schweren Artillerie eingeführt wurde. Dieses Orientierungs- und Distanzmeßgerät erhielt den kurzen, schon heute zum Schlagwort ausgereiften Namen «RADAR». Radar ist die Abkürzung für das englische «Radio, Direction And Range», oder auf Deutsch «Radio, Richtung und Distanz». Das Radar mißt, wie es schon die Bezeichnung andeu-

tet, Richtungen, Höhenwinkel und Distanzen mittels drahtloser, elektrischer Wellen. Diese Wellen werden durch die Antenne eines Senders ausgestrahlt, prallen an dem einzumessenden Zielpunkt (Stange, Flugzeugteil, Schiffskörper, usw.) auf und werden von demselben zum Empfänger, der unmittelbar neben dem Sender steht, reflektiert. Siehe hierzu die Zeichnung 1. Gesendet wird eine kurze Folge von starken drahtlosen Wellen, Impulse genannt, welche plötzlich beginnen und ebenso schnell wieder abbrechen. Die Impulsfolge läßt sich automatisch so regeln, daß in einer Zeitsekunde hundert, tausend oder noch mehr Impulse auftreten können. Beim Radar verwendet man für die Übertragung der Impulse sehr kurze Wellen von 0.01 m bis 5.00 m Länge. Diese Wellen pflanzen sich, wie alle elektromagnetischen Wellen, mit der unheimlichen Geschwindigkeit von 300 000 km pro Sekunde fort und reagieren in verschiedener Hinsicht ähnlich denjenigen des Lichtes, bleiben jedoch für das Auge unsichtbar. Sie sind von der Helligkeit und der Witterung vollständig unabhängig, so daß mit dieser Distanzmeßmethode jederzeit, bei Tag und Nacht, Sonnenschein, Regen, Schneefall und Nebel gearbeitet werden kann.

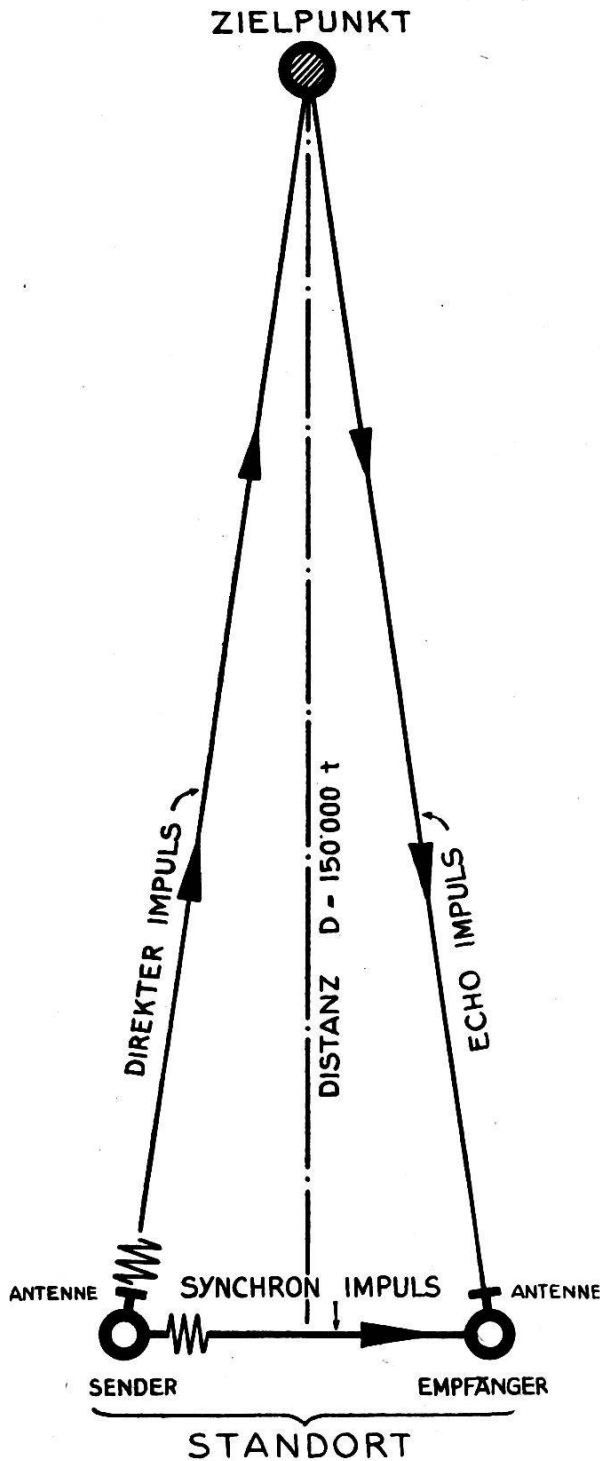


Bild 1

Der Zeitunterschied, den die drahtlosen Wellen zum Durchlaufen der Entfernung Sender-Zielpunkt-Empfänger benötigen, steht in direkter Beziehung zur gesuchten Distanz Standort-Zielpunkt. Die Entfernung D ist:

$$D = \frac{1}{2} v t$$

$$D = 150\,000\ t$$

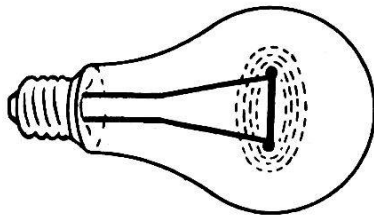
D = Entfernung Standort-Zielpunkt in km.

t = Zeitintervall in Sekunden

v = Fortpflanzungsgeschwindigkeit der drahtlosen Wellen
= 300 000 km pro Sek.

Man erkennt aus der obigen einfachen Formel, daß die Genauigkeit der Distanzmessung mit Radar ausschließlich von der Feinheit der Zeitmessung abhängig ist. Je genauer das Zeitintervall bestimmt werden kann, umso genauer erhält man die zu messende Entfernung. Eine Stoppuhr, sogar eine solche aus dem Jura, reicht zur Messung dieser kleinsten Zeiteinheiten selbstverständlich nicht aus. Selbst wenn man mit irgendeiner mechanischen Präzisionsapparatur die Tausendstel-Sekunde messen

NORMALE ELEKTR GLÜHLAMPE



KATHODENSTRAHLRÖHRE

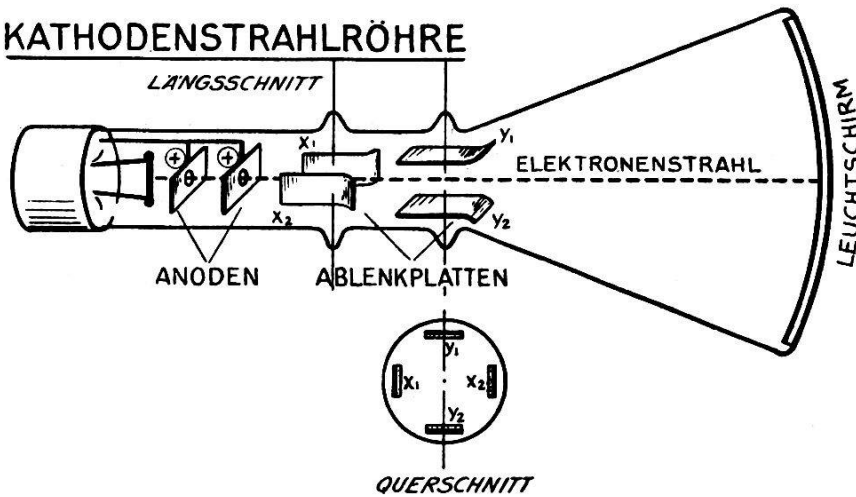


Bild 2

könnte, so wäre damit nichts gewonnen. Die elektrische Welle legt in dieser relativ kurzen Zeit die Strecke von 300 km (Zürich-Genf) zurück. Die Wissenschaft hat nach neuen feineren Zeitmessern geforscht und diese in der Kathodenstrahlröhre gefunden.

Die Kathodenstrahlröhre, man könnte sie auch Radarstoppuhr nennen, gehört zu den interessantesten Erfindungen unseres Zeitalters. Ihre Anwendungsmöglichkeiten im Radiowesen und der Fernsehtechnik sind heute sehr groß, das Funktionieren leicht verständlich. Wir wollen uns rasch das Grundprinzip einer Kathodenstrahlröhre ansehen. Wer weiß, vielleicht werden in 20 bis 30 Jahren die Geometer mit solchen Dingen das Land unsicher machen und vor größeren Vermessungsarbeiten die Kathodenstrahlröhren justieren, wie sie dies heute mit den Doppelbildentfernungsmessern tun sollten.

Das Bild 2 oben zeigt die gewöhnliche elektrische Glühlampe, wie sie überall zur Beleuchtung eingesetzt wird. Erhitzt man den Draht der

Glühlampe bis zur Weißglut, so beginnen unsichtbare Elektronen aus dem Draht herauszuschießen, kreisen kurze Zeit um den Draht herum und fallen dann auf denselben zurück. Diese Elektronen haben eine negative elektrische Ladung. Ordnet man nun einige, zentrisch durchlöchernte, positiv geladene Platten (Anoden) über dem Draht an, so können die aus dem weißglühenden Draht austretenden Elektronen nicht mehr auf denselben zurückfallen, sondern werden von den positiven Anoden angezogen, zusammengebündelt und als dünner Elektronenstrahl gegen das Röhrende, Schirm genannt, geworfen. Der Schirm wird innen mit einer fluoreszierenden (leuchtenden) Masse bestrichen, so daß der darauf aufprallende Elektronenstrahl als leuchtender Punkt erscheint. Bild 2 unten zeigt etwas schematisiert den Längs- und Querschnitt durch eine Kathodenstrahlröhre. Zwischen den Anodenplatten und dem Leuchtschirm befinden sich die für die eigentliche Zeitmessung notwendigen Ablenkplatten. Es sind dies je 2 einander gegenüberliegende Plattenpaare, die beliebig positiv oder negativ aufgeladen werden können und dadurch den negativen Elektronenstrahl in der Horizontalen (X -Platten) oder in der Vertikalen (Y -Platten) abzulenken vermögen.

Besitzt keine der 4 Ablenkplatten eine elektrische Ladung, so findet keine Ablenkung des Elektronenstrahles statt. Der Leuchtpunkt bleibt bei eingeschalteter Apparatur in der Mitte des Leuchtschirmes stehen. Gibt man nun der Platte X_2 eine positive Ladung, so zieht diese den Elektronenstrahl an und der Leuchtpunkt wandert nach rechts gegen X_2 . Auf die gleiche Weise kann der Leuchtpunkt nach links (X_1), nach oben (Y_1) oder nach unten (Y_2) bewegt werden. Durch Verwendung geeigneter Ladungen auf den Ablenkplatten läßt sich der Leuchtpunkt beliebig hin und her bewegen oder in irgendeiner Lage festhalten. Dieser Leuchtpunkt, der sich mit unvorstellbarer Geschwindigkeit bewegen läßt, «zeichnet» beispielsweise die Bilder der Fernsehempfänger.

Das Messen des Zeitunterschiedes, den die kurzen Wellen zum Durchlaufen der Strecke Standort-Zielpunkt und wieder zurück benötigen, geschieht folgendermaßen: (Bild 3) Der Sender strahlt gleichzeitig 2 elektrische Impulse aus. Der eine, der synchronisierte Impuls, durchläuft die kurze Strecke zwischen dem Sender und dem Empfänger (Entfernung 2–50 m) und schaltet im Empfänger das Zeitbasisgerät ein, das sofort über einen Kondensator auf der Anodenplatte X_2 ein positives Potential (elektrische Ladung) aufbaut. Die positiv geladene Platte X_2 beginnt den Elektronenstrahl anzuziehen und der Leuchtpunkt wandert von der Ruhestellung nach X_2 . Die kurze Zeitspanne, die der synchronisierte Impuls zum Durchlaufen der kurzen Strecke Sender-Empfänger benötigt, wird durch eine kleine Nullpunktverschiebung auf der Schirmmitte korrigiert. Der Leuchtpunkt beginnt somit seine Wanderung von der Nullstellung nach X_2 in dem Moment, in welchem der direkte Impuls den Sender verläßt. Als Spur hinterläßt der Leuchtpunkt auf dem Schirm einen horizontalen Leuchtstrich, der von der Röhrenmitte bis zur Platte X_2 verläuft. Damit die ganze Schirmbreite zur Zeitmessung ausgenützt werden kann, verschiebt man den Teilungsnulldpunkt der Meßskala nach

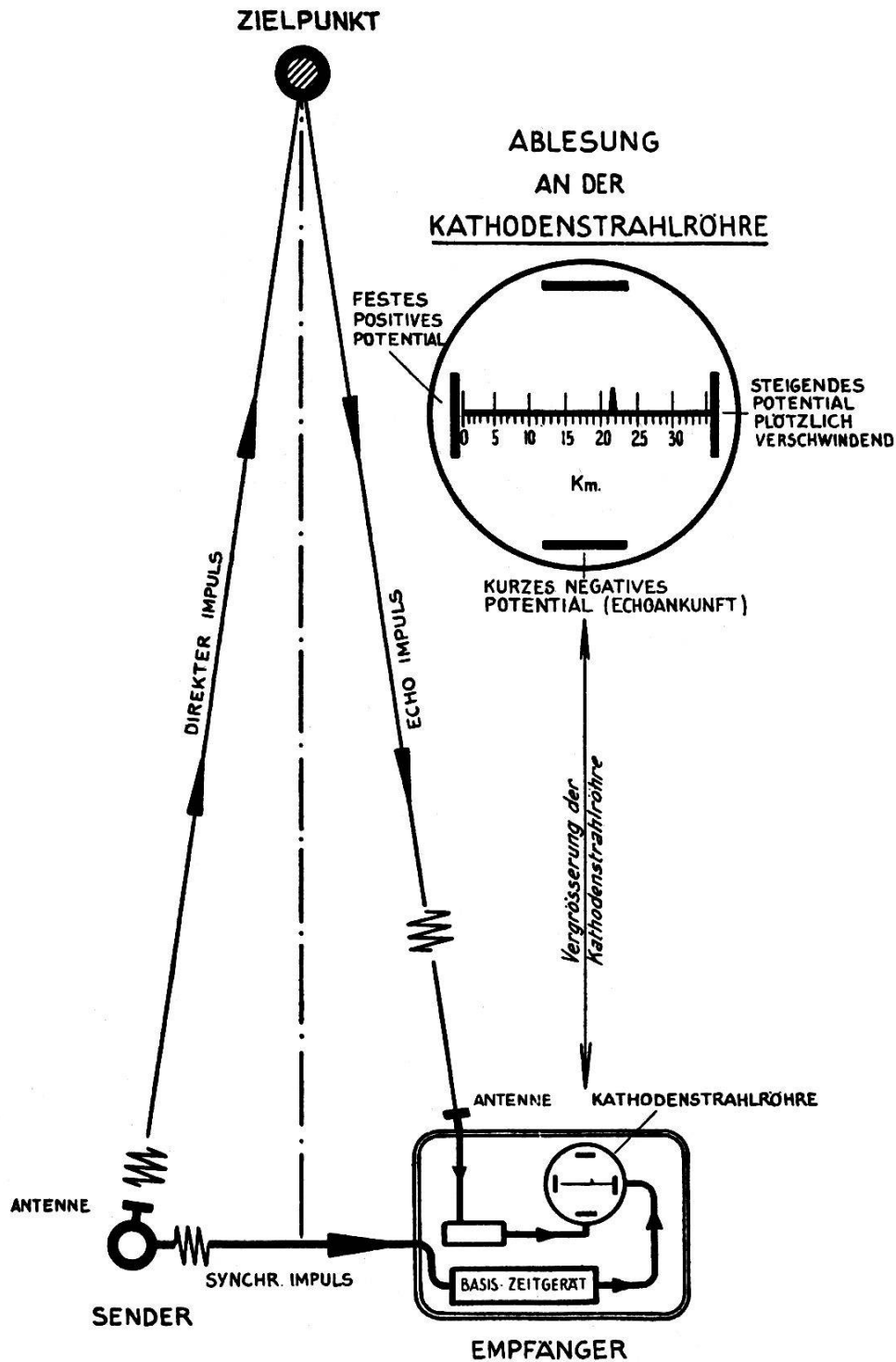


Bild 3

der Platte X_1 , indem man auf dieser ein kleines, jedoch konstantes Potential anbringt. Während der Leuchtpunkt über die Meßskala von X_1 bis X_2 läuft, fliegt der direkte Impuls durch die Luft, bis er den Zielpunkt trifft. Von diesem wird er als Echoimpuls zum Empfänger reflektiert. Eine Empfangsantenne nimmt den Echoimpuls auf und leitet ihn nach einem Zwischenfrequenzempfänger. Dieser löst auf der senkrecht wirkenden Ablenkplatte Y_2 ein negatives Potential aus. Der horizontale

Elektronenstrahl wird dadurch für sehr kurze Zeit unterbrochen und nach oben (Y_1) gestoßen. Auf der Meßskala erscheint eine Spitze. Der Zeitunterschied zwischen dem Teilungspunkt auf dem Schirm (Zeit der Auslösung des direkten Impulses) und der Spitze (Ankunftszeit des Echoimpulses) ist der zur Entfernungsbestimmung gesuchte Zeitunterschied t .

Die Anzahl der pro Zeitsekunde ausgeschickten Impulse ist, je nachdem es sich um Fernmeßgeräte oder um Nahmeßgeräte handelt, verschieden. Die Fernmeßgeräte haben eine max. Reichweite von 250–300 km und senden pro Sekunde meist 100–200 Impulse aus, während die Nahmeßgeräte max. 30 km weit messen und 1000 und mehr Impulse pro Sekunde ausstrahlen. Die Genauigkeit der Fernmeßgeräte wird mit einer Vierhunderttausendstel-Zeitsekunde oder linear ∓ 375 m angegeben, diejenige der Nahgeräte mit einer Zehnmillionstel-Sekunde oder linear ± 15 m.

Ist der vom Radar angeschnittene Zielpunkt unbeweglich, so bleibt die Zeit für die Hin- und Rückreise der Wellen stets dieselbe. Die Spitze (Echoankunft) erscheint immer an der gleichen Stelle des Leuchtschirmes. Schneidet man ein bewegliches Ziel an, beispielsweise ein Flugzeug, das sich dem Beobachter nähert, so ist der Zeitunterschied für jede neue Messung etwas kleiner als der vorhergehende, d. h., die Leuchtspurspitze verschiebt sich, der Geschwindigkeit des Flugzeuges entsprechend, nach links.

Da beim Radar Zeitmaß und Entfernung in einer direkten Beziehung zueinander stehen (siehe Formel), kann die Zeitskala auf dem Leuchtschirm durch eine Distanzskala ersetzt werden. Die Entfernung Standort–Zielpunkt läßt sich somit auf dem Kathodenstrahlschirm, je nach Gerät, auf 375 m oder 15 m genau ablesen. Die Röhrenanordnung ist meist so, daß eine Kathodenstrahlröhre die Grobablesung mit Kilometer angibt, eine zweite die Feinablesung auf Dekameter gestattet. Um die Ablesegenauigkeit weiter zu erhöhen, wird die Kathodenstrahlröhre nicht mehr rund, sondern als langgestrecktes Rechteck ausgebildet, auf dessen Längsentwicklung die Meßskala angeordnet ist.

Für militärische Zwecke genügen diese Meßgenauigkeiten vollauf, für geodätische Bedürfnisse sind sie leider noch unbrauchbar. Die Entwicklung ist bei den zuvor erwähnten Konstruktionen nicht stehen geblieben. Sie geht unaufhörlich weiter. Schon heute ist die Radarapparatur soweit gediehen, daß die Zeitdifferenz nach unbeweglichen Zielpunkten auf eine Hundertmillionstel-Zeitsekunde erfaßt werden kann. Diese Meßschärfe entspricht im Metermaß einer Länge von $\pm 1,5$ m. Eine weitere Vervollkommnung der Zeitmeßapparatur scheint wahrscheinlich, so daß vielleicht in absehbarer Zeit der mittlere Fehler der Radarmessung mit demjenigen der Geodäsie wetteifern kann. Versuche in dieser Richtung wurden in Amerika und England angestellt und eine große Zahl von Dreiecksseiten 1. und 2. Ordnung mit Hilfe der Radargeräte nachgemessen.

Mancher Kollege wird nach diesen Feststellungen beruhigt aufatmen und mit noch mehr Liebe als bisher seinen Präzisionsdistanzmesser hüten

und pflegen. Radartheodolite sind noch nicht käuflich und eine Studienverlängerung an der E. T. H. wegen Einführung der neuen Kathodenstrahltheodolite wird vorerst noch nicht diskutiert. Für die nächsten Jahre bleibt dem Doppelbildentfernungsmesser die Weltmeisterschaft im Kurzdistanzenmessen gesichert, aber wer weiß, vielleicht kann das junge Radargerät seine heute schon erstaunlichen Leistungen verbessern und ein gefährlicher Konkurrent werden. Bei Gleichheit der Meßleistungen wird das Radar wegen seiner Unabhängigkeit von Wetter und Helligkeit eine gewisse Bevorzugung erwarten dürfen.

Neben der Entfernung mißt das Radar, wie bereits einleitend bemerkt, Richtungen und Höhenwinkel. Zur Winkelmessung dienen 2, symmetrisch zum Empfänger angeordnete Antennenpaare. Das erste Paar ist um eine vertikale Achse drehbar und mißt die Richtungen, das zweite Antennenpaar dreht sich um eine Horizontalachse und mißt Höhenwinkel. Die ganze Empfängerapparatur ist fest mit den beiden Antennenpaaren verbunden, so daß sie alle Bewegungen der Apparatur mitmacht. Die genaue Einstellung in Richtung und Höhe geschieht ebenfalls mit Hilfe einer Kathodenstrahlröhre und die Winkelablesung erfolgt ähnlich wie bei den modernen Theodoliten, an einem Skalenmikroskop oder bei Feinmeßinstrumenten an Mikrometern. Die erhaltenen Angaben über die mittleren Winkelfehler variieren sehr stark. Man hörte von Winkel Fehlern von 10 Sekunden n. T. bis 100 Sekunden n. T.

Der Siegeszug des Radars und dessen entscheidender Einfluß auf die Kriegsabwicklung soll jetzt noch kurz skizziert werden. Die ersten Radargeräte wurden in den Jahren 1938–1939 für die Fliegerabwehr erstellt und längs der ganzen englischen Ostküste fest eingebaut. Die anfänglich noch mit verschiedenen Mängeln arbeitenden Apparate wurden ständig verbessert und in der Folge in Fern- und Nahmeßgeräte aufgelöst. Bereits im Herbst 1941 waren die Fernmeßgeräte in der Lage, Flugzeuge auf 200 km Entfernung einzumessen, automatisch zu verfolgen und bei 30 km Distanz den Nahmeßgeräten zur Weiterverfolgung zu übergeben. Dieses Nahmeßgerät ist unmittelbar mit den Abwehrbatterien verbunden und führt selbsttätig die Kanonenrohre, mit entsprechender Vorhalte, den Flugzeugen nach. Das Gerät stellt aber nicht nur die in einem gewissen Luftraum herumschwirrenden Flugzeuge fest, sondern zeigt dem Beobachter am Meßschirm an, welche Flugzeuge dem Freund und welche Flugzeuge dem Feind gehören. Zu diesem Zwecke sind alle eigenen Flugzeuge mit einem besonderen kleinen Instrument ausgerüstet, welches den Radarimpuls auffängt und mit einem besonderen Impuls zurückschickt. Auf dem Leuchtschirm der Kathodenröhre haben die eigenen Flugzeuge eine leicht erkennbare abgehackte Leuchtspitze. Diese Vorrichtung arbeitet so präzise, daß die englische Abwehr im Winter 1941–42 es wagte, nahe feindliche Flugzeuge aus dem Durcheinander bei Luftkämpfen herauszuschießen.

Der am 7. Dezember 1941 von den Japanern eingeleitete und erfolgreich durchgeführte Überfall auf Pearl Harbour, bei welchem der größte Teil der amerikanischen Pazifikflotte vernichtet wurde, wurde von den

Radargeräten angezeigt. Diese alarmierten schon $\frac{3}{4}$ Stunden vor dem Angriff und meldeten das Herannahen großer fremder Luftgeschwader. Unverständlicherweise glaubte dort niemand an einen japanischen Angriff, weil damals zwischen den USA. und Japan noch kein Kriegszustand bestand.

In der Weiterentwicklung wurden schon im Jahre 1942 Flugzeuge mit Radargeräten ausgerüstet. Diese Flugzeuge konnten durch senkrechte Strahlung gegen die Erdoberfläche die Flughöhe über Boden ermitteln. Dieser Radarhöhenmesser war der Ausgangspunkt für eine ganze Kette von kriegsentscheidenden Erfindungen. Als eine der wichtigsten kann das Panoramagerät, auch «magischer Kasten» genannt, angesehen werden. Dieses Panoramagerät, das dem Flugzeug jederzeit, also auch bei Nacht, Nebel oder Wolken eine gewisse Bodensicht ermöglicht, ist nichts anderes, als ein etwas umgewandelter Echoimpulsempfänger.

Ein im Flugzeug eingebauter Radarsender strahlt 1000–5000 Impulse von nur wenigen Zentimeter Wellenlänge aus. Diese Wellen werden am Boden reflektiert und über die Empfangsantenne des Flugzeuges der Kathodenstrahlröhre zugeführt. Der Leuchtpunkt auf dem Kathodenrohr wird beim Panoramagerät von der Mitte nach dem Rand bewegt und gleichzeitig 20–30 mal pro Sek. kreisförmig gedreht. Die Empfangsantenne rotiert ebenfalls im gleichen Rhythmus. Die Helligkeit des Leuchtpunktes hängt von der Stärke der Rückstrahlung, also der Stärke der Echowellen ab. Die gewöhnliche Erdoberfläche sendet Echo von mäßiger Stärke zurück und der Leuchtschirm ist überall schwach beleuchtet. Vorstehende Formen, besonders Gebäude, Schiffe und Festungen (ob getarnt oder nicht) geben starke Echos und erzeugen helle Lichtflecken, während Wasser überhaupt kein Echo gibt und auf dem Schirm schwarz erscheint. Die Umrisse von Ortschaften werden mit überraschender Klarheit wiedergegeben.

Die mit großer Präzision durchgeführten Nacht- und Schlechtwetterbombardemente, die erfolgreiche Bekämpfung der Unterseeboote bei Nacht oder Wolken wäre ohne dieses wichtigste aller Radargeräte nicht möglich gewesen.

Im Herbst 1944, als die Deutschen ihre Raketengeschosse (Fliegende Bomben V_1 und V_2) gegen London abfeuerten, waren die Abwehrgeräte schon so weit entwickelt, daß die Raketen bald nach ihrem Abschluß durch das unfehlbare Auge des Radars entdeckt, verfolgt und zum größten Teil in der Luft, vor dem Erreichen der englischen Küste, durch mit Radar gesteuerte Abwehrbatterien vernichtet wurden. Nach einigen Wochen Einspielzeit konnten, nach englischen Angaben, ca. 85 % aller Raketengeschosse in der Luft zur Explosion gebracht werden.

Die Kriegsgeschichte des Radars ist für Techniker interessant und lehrreich, hoffen wir nur, daß auch die Friedensgeschichte daraus einen dauernden Nutzen ziehen kann.