

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 125/126 (1945)
Heft: 22

Artikel: Ueber Funkmesstechnik
Autor: Stoelzel, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-83759>

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: 21.02.2026

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

ten. Der früher sehr geringe Verkehr von meistens drei bis vier gemischten Personen-Güterzügen und einigen reinen Güterzügen in jeder Richtung pro Woche, wurde im Krieg durch die Transporte von Kriegsmaterial wesentlich verdichtet. Zu diesem Zweck mussten die Anlagen zur Versorgung der Lokomotiven mit Speisewasser ergänzt werden, was in diesem wasserarmen Land oft Schwierigkeiten verursachte. Um die Leistungsfähigkeit der Bahn zu heben, wurden, soweit durch das Längenprofil möglich und nützlich, Kreuzungsstellen eingebaut und Stationen erweitert. Von einem auch nur teilweise zweispurigen Ausbau ist aber keine Rede. Ein solcher wäre während des Krieges hauptsächlich auf den südlichen und nördlichen Gebirgsstrecken, die an Kühnheit und Wildheit unsere Alpenbahnen oft übertreffen und starke Steigungen und viele Tunnels aufweisen, sehr erwünscht, aber zeitlich überhaupt nicht durchführbar gewesen. Den Bedürfnissen des Landes dürften einspurige Linien noch lange genügen.

Die von M. Khatir angegebenen 4,5 Mio t nach Russland transportierten Materials sind nur zum Teil durch die Eisenbahn befördert worden; ein grosser Teil machte den Weg auf Lastwagen, die dann dort verblieben. Durch Zählungen wurde festgestellt, dass auf der Strasse Kaswin-Täbris während Monaten vielfach bis zu 1000 Lastwagen pro Tag in Convoys von 50 bis 100 Wagen nach Russland rollten, vielfach geführt von russischen Soldaten. Dabei wurde auch auf den Strassen Zahedan-Kerman-Yazd-Teheran-Kaswin-Rescht und Zahedan-Birjand-Machad viel Material auf Lastwagen transportiert. Schon gegen Ende 1941 beauftragte die englische Armee gewisse Unternehmungen mit dem Anpassen von Strassen und Pisten an diese Schwertransporte. Bis Anfang 1944 waren Tausende von Kilometern ausgebaut; für ihren Bau und Unterhalt war ein Arbeiterheer von mehreren zehntausend Mann dauernd eingesetzt. Außerdem liess vorsorglicherweise schon 1942 die englische Armee durch Privatunternehmer verschiedene grosse Flugplätze mit Startbahnen von 2 km Länge aus Beton in beschleunigter Bauweise erstellen.

Beim Bahnhneubau war das Verlegen des Oberbaues in grosszügiger Weise organisiert. Die Einheitsleistung betrug 450 m, was der Materialmenge an Schienen, Schwellen und Kleineisenzeug entspricht, die ein Zug von der Kopfstation an die Vorrückstelle anführen konnte. Meistens wurde das Material von zwei Zügen verlegt, d. h. 900 m pro Tag. Auf einfachen Strecken mit wenig Kurven wurden aber auch Tagesleistungen bis 1800 m erzielt.

Über den Wert der Iranischen Eisenbahnen gibt es im Lande verschiedene Meinungen. Bei der ungeheuren Ausdehnung des Landes (etwa 41 mal grösser als die Schweiz, oder ungefähr gleich wie Portugal, Spanien, Frankreich und Deutschland von 1938 zusammen¹⁾), werden die vorhandenen oder projektierten Linien nicht das ganze Land erschliessen können. Daher wird das Strassennetz weiter ausgebaut und unterhalten und ein reger Autoverkehr eingerichtet werden müssen. Es besteht auch die vielleicht nicht ganz abwegige Ansicht, dass der Ausbau der Strassen und der Ankauf von Camions bei gleichen Kosten dem Lande mehr genutzt hätte als der Bahnbau, hauptsächlich, da einheimischer Treibstoff reichlich vorhanden ist.

An den grossen staatlichen und privaten Bauten in Persien, sowie beim Betrieb und Unterhalt der Bahnen, arbeiten neben Angehörigen verschiedener Nationen wie Skandinavier, Österreicher usw. auch ein ganz bedeutender Prozentsatz Schweizer, vielfach in oben und obersten Stellen. Ihr Einsatz und ihre in der Heimat erworbenen Kenntnisse und Erfahrungen wurden von den massgebenden Stellen meistens auch anerkannt und zwar durch das Anvertrauen grosser Aufträge, deren Erledigung ihnen recht oft innere Genugtuung und angenehme Erinnerungen ver-

schaffte. Schweizer Geologen durchforschten das Land nach Rohstoffen. Leider erweisen sich die z. T. sehr reichen Lager wegen den grossen Transportdistanzen noch nicht als abbauwürdig. So liegen die grossen Eisenvorkommen Hunderte von Kilometern von den Kohlengruben entfernt und zudem fehlt dort das Wasser fast vollständig.

Bedingt durch den Krieg leidet auch Iran unter einer wirtschaftlichen und politischen Krise, die auf die Schweizerkolonie nicht ohne Einfluss blieb. Vielleicht zeigen sich aber früher oder später wieder Möglichkeiten für Landsleute, in dem mit viel Licht aber auch viel Schatten gesegneten Lande tätig zu sein.

W. Wampfler

Über Funkmesstechnik

Von H. STOELZEL, Zürich

1. Einleitung

Im Aufsatz über die «Fernsteuerungen von Flüssigkeitstrakten»¹⁾ wurden verschiedene Probleme der Hochfrequenztechnik erwähnt und ihre Kenntnis vorausgesetzt. Da aber gerade dieses neue, interessante und ungemein entwicklungsfähige Gebiet verhältnismässig wenig bekannt ist, zumal die kriegführenden Staaten kaum etwas darüber veröffentlicht haben, müssen zum Aufsatz über die Raketenfernsteuerung einige Erklärungen nachgeholt werden.

2. Entwicklung der Funkmesstechnik

Vor Beginn des zweiten Weltkrieges war viel über die Möglichkeiten eines kommenden Luftkrieges gesprochen worden; aber klare Vorstellungen über die zu erwartende Form hatte man nicht. Besonders über den Einsatz der Flieger bei Nacht und ihre Abwehr war man sich im Unklaren. Die kriegführenden Staaten beschränkten sich bei Kriegsbeginn auf die Bereitstellung rein optischer Hilfsmittel, z. B. von Scheinwerfern mit Horchgeräten; obgleich bereits einige Jahre vorher technische Entwicklungen eingeleitet worden waren, um mit Hilfe anderer, wetterunabhängiger Verfahren «die Nacht zum Tage» machen zu können. Wie auf vielen anderen Gebieten, so musste auch hier erst der Krieg eine ungewöhnliche Beschleunigung der Weiterentwicklung hervorrufen.

Eine erste Aufgabe bestand darin, ohne optische Hilfsmittel ein gegnerisches Ziel auf dem Wasser oder in der Luft auch bei schlechter Wetterlage zu finden. Für die fliegenden Verbände war es von Bedeutung, unabhängig von Bodensicht und laufenden Ortsbestimmungen das Zielpunkt zu erreichen. Gleichzeitig wurde seit 1939 durch die Entwicklung der Fernrakete V2 die fest umrissene Forderung nach genauer Fernsteuerung gestellt, und von dort aus sind auch sehr wesentliche Fortschritte in der Hochfrequenztechnik erzielt worden, weil dieser Verwendungs-Zweck die grösste Genauigkeit verlangte. Die Vereinigten Staaten von Amerika und England haben nach den bisher vorliegenden Berichten ebenfalls recht bedeutende Erfolge in der Hochfrequenztechnik erzielt. Erwähnt seien nur die Rotterdam-Geräte, die eine genaue Zielorientierung bei Nacht und schlechter Sicht ermöglichen, ferner die Geräte zum sicheren Feststellen des Ortes untergetauchter U-Boote, eine Errungenschaft, die 1943 im See-Krieg eine vollständige Wendung brachte. Da die im Krieg gebauten Geräte auch zu einem grossen Teil für den Zivilverkehr verwendet werden können, wird die Hochfrequenzwissenschaft in Zukunft ein grosses Anwendungsbereich in der Technik finden, sodass die Kenntnis ihrer Grundbegriffe für jeden Ingenieur von Vorteil ist.

3. Die elektrischen und elektromagnetischen Schwingungen

Wechselstrom mit 50 bzw. $16\frac{2}{3}$ Hz, wie er von unseren Kraftwerken geliefert wird, ist eine Form von elektrischen Schwingungen, und zwar gehören diese Schwingungen in den niedrigfrequenten Bereich. Das gleiche gilt von den in der Schwachstromtechnik verwendeten Stromarten. Ueber etwa 15 000 Hz kommt man in das hochfrequente Gebiet, dessen obere Grenze über $3 \cdot 10^{10}$ Hz hinausgeht. Die sekundliche Schwingungszahl v und die Wellenlänge λ sind durch das Gesetz $v\lambda = c$ mit einander verbunden, wobei $c = 3 \cdot 10^{10}$ cm/s die Lichtgeschwindigkeit bedeutet. Demnach ergibt eine hohe Frequenz eine kleine Wellenlänge und umgekehrt. Für die Rückstrahltechnik sind nur kurze Wellen geeignet; daher muss der Sender des Funkmessgerätes hochfrequente elektrische Schwingungen (über etwa 300 MHz) erzeugen. Diese Schwingungen werden von der Antenne als elektromagnetische

¹⁾ Vgl. S. 169* des lfd. Eds.

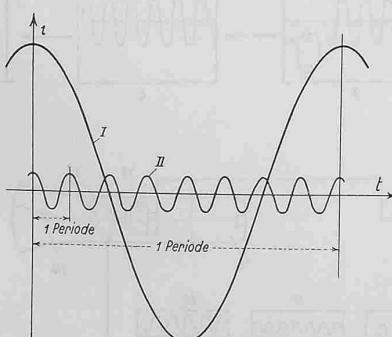


Abb. 1. Lange Wellen I mit grossen Amplituden haben niedrige Schwingungszahlen; kurze Wellen II mit kleinen Amplituden haben hohe Schwingungszahlen

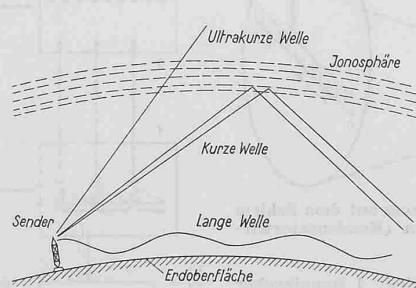


Abb. 2. Ausbreitung der drei Wellenarten

¹⁾ SBZ, Bd. 126, S. 95* (1945).

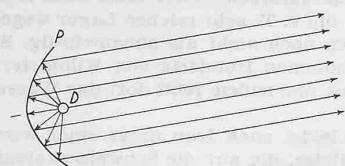


Abb. 3. Sehr kurze elektromagnetische Schwingungen werden wie Lichtwellen reflektiert. D Dipol, P Paraboloidspiegel

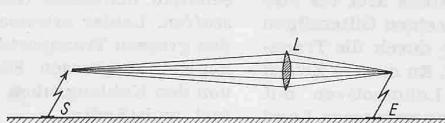


Abb. 4. Brechung ultrakurzer Wellen
S Sender, E Empfänger, L Linse aus Isolationsmasse, z. B. Paraffin

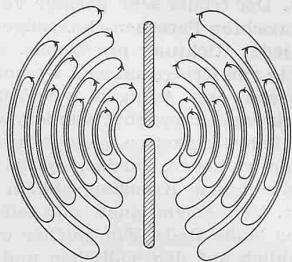


Abb. 5. Wirkungsweise des schwingenden Dipols. Oben Aufriss; Schnitt durch das elektrische Feld; unten Grundriss: Schnitt durch das magnetische Feld. Von beiden Feldern sind nur die dem Dipol unmittelbar benachbarten Wellen eingezeichnet

Schwingungen ausgestrahlt, und zwar als «Raumwellen». Die in der Radiotechnik auch verwendeten langen Wellen von 300 m bis 30 000 m, auch als «Bodenwellen» bezeichnet (weil sie sich der Erdoberfläche entlang ausbreiten) sind zum Messen von Entfernungen nach dem Rückstrahl-Verfahren nicht geeignet. Da sie eine verhältnismässig kleine Schwingungszahl haben, unterliegen sie der Anziehungskraft der Erde. Sie passen sich der Erdkrümmung an und können unter günstigen Verhältnissen nach dem Umlaufen des Erdballes zu ihrem Ausgangspunkt zurückkehren.

Je kürzer die Wellenlänge wird, um so geradliniger breiten sich die elektromagnetischen Felder aus. Kurze Wellen (etwa 200 m bis 12 m) werden an der Heavisideschicht (Ionosphäre) reflektiert; noch kürzere Wellen durchstoßen diese und sind aus diesem Grunde für den Funkverkehr ohne Sichtverbindung nicht geeignet. Die sehr kurzen Schwingungen zeigen bereits ausgesprochen optisches Verhalten; gerade dieses wird in der Funkmesstechnik benötigt. Nach den Voraussagen Maxwells konnte Heinrich Hertz 1886 endgültig beweisen, dass sich sowohl die elektromagnetischen Schwingungen, wie auch die Lichtwellen geradlinig mit Lichtgeschwindigkeit ($3 \cdot 10^{10}$ cm/s) ausbreiten und an Metallsiegeln reflektiert werden. Diese beiden Eigenschaften ermöglichen das Herstellen freier stehender elektrischer Wellen und bilden so die wesentlichste Voraussetzung für die Ortsbestimmung eines die Wellen reflektierenden Körpers, Abb. 3. Mit den heutigen Mitteln ist die Reflexion auswertbar, wenn der Gegenstand etwa zehnmal grösser ist als die Wellenlänge. Wie das Licht durch ein Glasprisma gebrochen wird, ebenso brechen «elektrisch durchsichtige Substanzen», d. h. alle Isolatoren, die elektromagnetischen Schwingungen. Diese dritte Eigenschaft ermöglicht die Schwingungen durch eine entsprechende Linse (z. B. aus Paraffin) zu sammeln, Abb. 4, und so die Wirkung am Empfänger beträchtlich zu erhöhen. Hierbei ist der Brechungsexponent n der verschiedenen Isolationssubstanzen gleich der Wurzel aus der Dielektrizitätskonstanten ϵ , also $n = \sqrt{\epsilon}$.

Eine vierte Eigenschaft der elektromagnetischen Wellen ist die Polarisation; man erreicht sie mit zwei strahlenden Polen, einem sog. «Dipol», der die elektromagnetischen Wellen so aussendet, dass ihr Feld stets in der Ebene liegt, die durch die Längsaxe des Dipols geht. Der Dipol²⁾ selbst besteht aus zwei spiegelgleichen kleinen Antennen, die entweder horizontal oder vertikal angeordnet sind. Zum Beweis der Polarisation hat Hertz parallel gespannte Drähte senkrecht zur Senderichtung gelegt und keine Absorption festgestellt, solange die Drähte parallel zur Polarisationsebene lagen, Abb. 6; sobald er aber die Drähte um 90° gedreht hatte, also senkrecht zur Polarisationsebene stellte, wurden die Schwingungen absorbiert. Wichtigster Grundsatz für die Rückstrahltechnik ist nach dem oben Gesagten eine möglichst kurze Wellenlänge (λ). Dadurch können die Ortungswerte genauer ermittelt und die ganze Anlage kleiner gebaut werden.

²⁾ Siehe SBZ Bd. 104, S. 149* (1934).

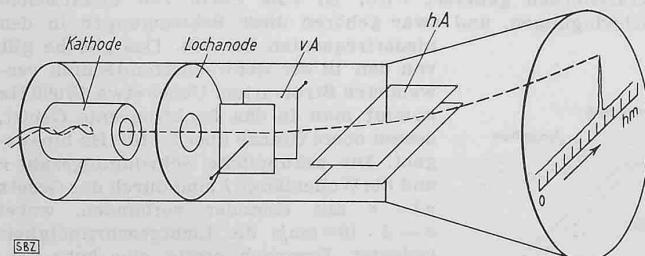


Abb. 11. Entfernungsanzeige durch den Elektronenstrom auf dem Schirm des Braunschen Rohres. vA vertikale Ablenkplatten (Kondensatorwirkung), hA horizontale Ablenkplatten.

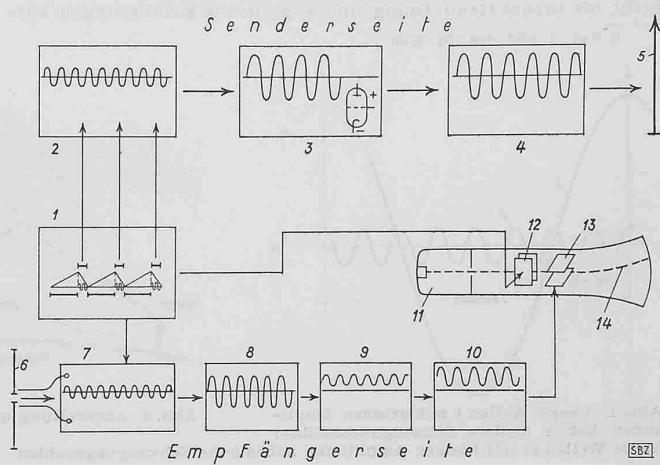
Abb. 12 (rechts). Grundschema eines Funkmessgerätes: 1 Impulsgeber (Steuerung), 2 Oszillator (Schwingungszeuger), 3 Verstärker mit Sendestufe und Senderöhre (rechts), 4 Antennenanpassungsgerät, 5 Sendeantenne, 6 Empfangsantenne, 7 Impulssperre, 8 Hochfrequenzverstärker, 9 Hochfrequenzgleichrichter, 10 Niederfrequenzverstärker, 11 Braunsches Rohr, 12 vertikale Ablenkplatten, 13 horizontale Ablenkplatten, 14 Elektronenstrahl

4. Das Funkmessgerät

Das Gerät besteht aus einem Oszillator, der die notwendige hochfrequente Schwingung erzeugt, einem Antennen-Anpassungsgerät, das diese Schwingung an den Dipol überträgt, und dem Dipol selbst, der sie aussendet. Der Dipol befindet sich im Brennpunkt eines Paraboloidspiegels, durch den alle Wellen in eine Richtung ausgestrahlt werden. An Stelle des Spiegels, der bei den üblichen Geräten Durchmesser von 2,5 bis 7 m, Abb. 7, aufwies, wird oft auch eine Drahtmatratze von bis zu 50 m^2 Fläche verwendet, auf der sich viele Dipole befinden. Durch entsprechende Phasensteuerung der einzelnen Dipole werden die Wellenbündel am Außenrand ausgelöscht nach innen aber konzentriert, sodass ein scharf abgegrenztes Strahlenbündel, eine sogenannte «Keule» entsteht, Abb. 8. Trifft nun die Schwingung auf einen Körper im Raum, so wird sie reflektiert und kann von einem Empfänger registriert werden. Die Entfernung beträgt dabei $E = \frac{1}{2}(s_1 + s_2)$ und die Zeit für den Hin- und Rückweg $t = \frac{1}{c}(s_1 + s_2)$, ($c =$ Lichtgeschwindigkeit, Abb. 9).

Sender und Empfänger werden zu einer Baugruppe zusammengestellt, woraus sich einige technische Vorteile ergeben. Besondere Vereinfachungen bietet der sogenannte «Simultanbetrieb», bei dem der gleiche Dipol sowohl zum Senden als auch zum Empfangen benutzt wird. Der Arbeitsvorgang spielt sich dabei folgendermassen ab, Abb. 10. Innerhalb eines geringen Bruchteiles einer Sekunde wird ein starker Sendeimpuls mit hoher Frequenz ausgestrahlt und anschliessend automatisch das Gerät auf Empfang geschaltet. Während der erheblich längeren Empfangszeit (etwa 1500 mal länger als die Sendezeit) wird genügend Energie für einen neuen Sendeimpuls aufgespeichert. Die Vorgänge spielen sich abwechselnd in so kurzen Intervallen ab, dass sowohl das Senden, als auch das Empfangen als Dauerbetrieb angesehen werden kann.

Die Sichtbarmachung der reflektierten Energie erfolgt über ein Braunsches Rohr (Kathodenstrahlröhre). Nach der Aussendung eines Sendeimpulses steht das Gerät auf Empfang. Nun wird der Kondensator vA, Abb. 11, langsam aufgeladen, wodurch der Elektronenstrahl im Braunschen Rohr während der Empfangsperiode in horizontaler Richtung stets stärker abgelenkt wird, sodass er auf dem Schirm mit gleichbleibender Geschwindigkeit aus seiner Nullage nach dem einen Schirmrand auswan-



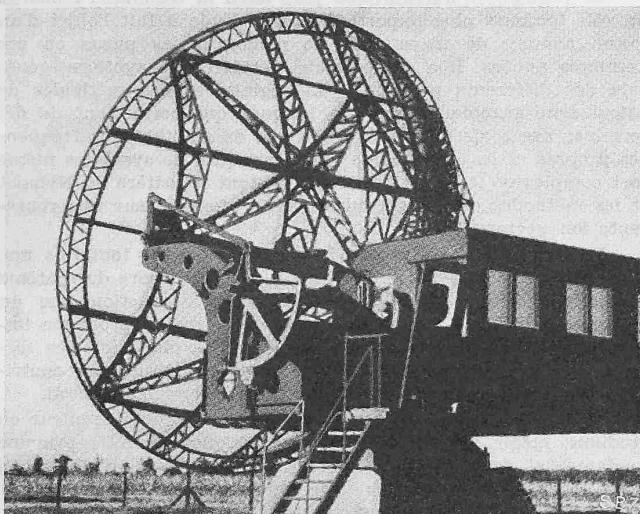


Abb. 7. Gesamtansicht eines deutschen Funkmessgerätes (genannt «Mannheim»), Spiegeldurchmesser etwa 7 m

dert, bis eine Endlage erreicht ist, die der maximalen Ladung entspricht. Während des sehr kurzen Sendeimpulses (vgl. Abb. 10) schnellt der Elektronenstrahl in die Nullstellung zurück. Dem Auge erscheint dieser rasch wechselnde Vorgang als leuchtende stehende Horizontalstrecke. Wird durch einen Körper im Raum der Strahl reflektiert, so wird über den Empfänger auf die horizontal liegenden Ablenkplatten $\frac{h}{A}$ der verstärkte Empfangsimpuls gegeben, wodurch der Elektronenstrahl verzögerungsfrei, also ruckartig nach oben ausgelenkt wird. Die Strecke, gemessen von der Nullstellung bis zur Stelle, an der diese Auslenkung stattfindet, gibt nach der schon genannten Formel $E = tc$ die wahre Entfernung an. Die Entfernungsskala ist auf dem Braunschen Rohr aufgetragen. Sie kann mit grosser Genauigkeit abgelesen werden.

Für die Bestimmung des Seiten- und Höhenwinkels wird das Minimumverfahren angewendet. Infolge einer Verschiebung des Dipoles um 90° wird in der Stellung, in der das Gerät unmittelbar zum Ziel gerichtet ist, kein Wert angezeigt. Dieses System ist zuverlässiger als das Maximumprinzip, weil elektrische Geräte über eine Brückenschaltung das Minimum zuverlässiger ermitteln als das Maximum. Die gleiche Erscheinung findet man beim menschlichen Auge und Ohr: Optische und akustische Minima sind leichter wahrnehmbar als Maxima von Helligkeit und Lautstärke. Abbildung 11 zeigt das Grundschema eines Funkmessgerätes. Die Pfeile geben den Ablauf der einzelnen Vorgänge an.

Bei der Entwicklung der verhältnismässig komplizierten Anlagen war die Herstellung der Senderöhren ein schwieriges Problem. Diese sind einerseits in ihren äusseren Abmessungen möglichst klein zu halten, weil der Weg von der Kathode zur Anode infolge der sehr kurzen Wellen auch für den Elektronenstrom klein sein muss; auf der anderen Seite aber erfordert das Rückstrahlverfahren eine ausserordentlich hohe Sendeleistung,

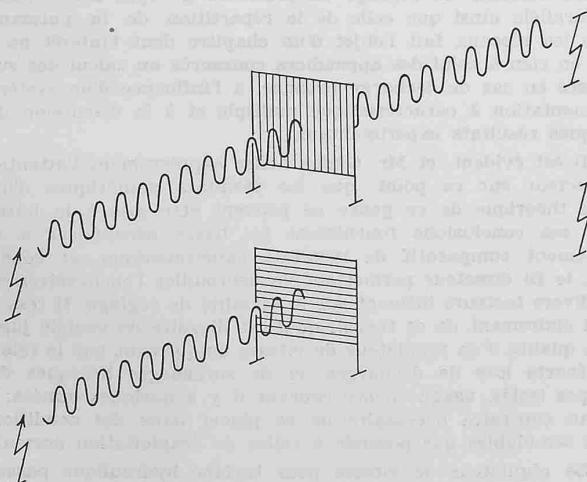


Abb. 6. Nachweis der Polarität nach Hertz. Oben: Drähte parallel zur Polarisationsrichtung lassen die elektromagnetischen Wellen ungehindert durchtreten; unten: Drähte senkrecht dazu absorbieren die Wellen

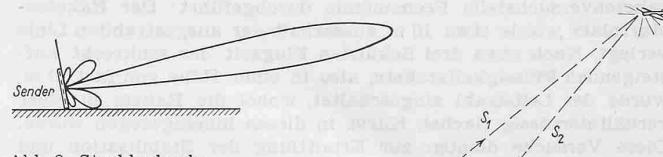


Abb. 8. Strahlenkeule

Abb. 9 (rechts). Prinzip der Entfernungsmessung nach der Rückstrahltechnik

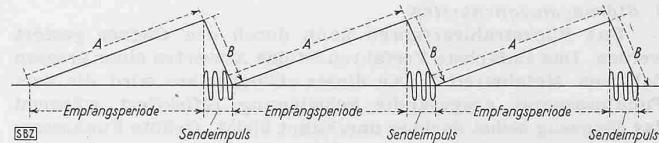


Abb. 9 (rechts). Prinzip der Entfernungsmessung nach der Rückstrahltechnik

Abb. 10. Zeitlicher Verlauf des Sendens und Empfangens
A: Aufladen des vertikalen Ablenksystems im Braunschen Rohr zur zeitlichen Verschiebung des Elektronenstrahls in horizontaler Richtung
B: Entladen des vertikalen Ablenksystems während der Sendeperiode. Dabei schnellt der Elektronenstrahl in seine Ausgangsstellung zurück

da von der ausgesandten Energie nur ein ganz kleiner Teil nach der Reflexion am Zielkörper auf den Paraboloidspiegel trifft. Dieser Bruchteil wird dort gebündelt und muss dann nach mehrfacher Verstärkung zur Auswertung ausreichen. Um eine genügend hohe Sendeleistung zu erhalten, wird während der Empfangsperiode an das Gitter der Senderöhre, Abb. 13, eine hohe negative Vorspannung gelegt, sodass sich zwischen ihm und der Kathode eine Elektronenwolke ansammelt. Der Sendeimpuls wird durch die Löschung der negativen Vorspannung des Gitters ausgelöst; in diesem Augenblick wird die Anode wirksam, wodurch die gesamte Elektronenwolke mit grosser Kraft zur Anode fliegt. Dank dem intermittierenden Betrieb der Röhre bleibt ihre Erwärmung in tragbaren Grenzen, ein Verbrennen der Anode wird verhindert.

Das Gebiet der Röhrentechnik ist noch sehr entwicklungs-fähig. Die Leistungssteigerung der Geräte und die immer kürzer werdenden Wellen (sie liegen heutzutage im Dezimeter- und Zentimeterbereich), stellen an die Röhren ständig höhere Anforderungen, sodass sich Konstruktionen von Schwingungszeugern nach völlig neuen Gesichtspunkten ergeben. So erfolgt bei den in neuester Zeit entwickelten Verfahren, z. B. beim Magnetron und Klystron, die Steuerung nicht nach der Zeit, sondern nach der Elektronengeschwindigkeit.

Die Nachsteuerung der Funkmessgeräte während der Zielverfolgung geschah ursprünglich von Hand unter gleichzeitiger Beobachtung der Elektronenstrahlauslösungen auf den Braunschen Röhren. Neuerdings verwendet man auch vollautomatische Nachlaufsteuerungen, die natürlich den Vorteil grösserer Genauigkeit haben.

Die elektromagnetische Schwingung kann auch im Raum durch einen auf die gleiche Frequenz angepassten Dipol als Empfangsantenne aufgenommen werden, wodurch die Möglichkeit besteht, Flugzeuge automatisch in der ausgestrahlten Linie zu fesseln. Lenkt das Flugzeug durch äussere Einflüsse aus der Leitlinie ab, so empfängt der Dipol einen Fehlerwert, da er ja nicht mehr die bisherige Stellung zur Leitlinie hat, und die Steuerungsanlage im Flugzeug arbeitet dann so lange, bis durch das Einfliegen in die ursprüngliche Flugrichtung der Fehler wieder korrigiert ist.

Ein besonders sinnfälliger Versuch zur Sichtbarmachung der Leitstrahlwirkung wurde wiederholt auf der deutschen Fern-

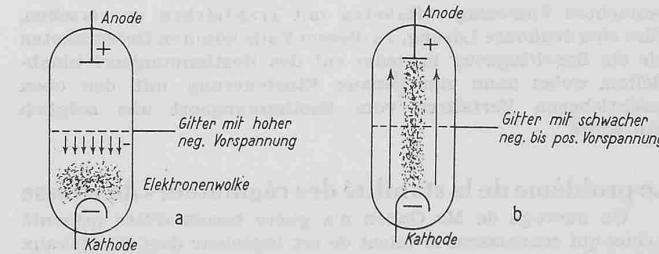


Abb. 13. Wirkungsweise der Elektronenröhre

a Da gleichnamige elektrische Ladungen sich abstoßen, drängen die Elektronen des negativ geladenen Gitters die aus der Kathode austretenden Elektronen auf diese zurück, sodass sich um die Kathode eine Elektronenwolke ansammelt

b Durch Aufheben der negativen Gittervorspannung verschwindet seine abstoßende Wirkung, während die Anode auf die Elektronenwolke wirkt, sodass diese mit grosser Geschwindigkeit zur Anode fliegt

raketenversuchsstelle Peenemünde durchgeführt: Der Raketenstartplatz wurde etwa 10 m ausserhalb der ausgestrahlten Linie verlegt. Nach etwa drei Sekunden Flugzeit der senkrechtfahrenden Flüssigkeitsrakete, also in einer Höhe von fast 30 m, wurde der Leitstrahl eingeschaltet, wobei die Rakete in einer verhältnismässig flachen Kurve in diesen hineingezogen wurde. Diese Versuche dienten zur Ermittlung der Stabilisation und Belastbarkeit der Steuergeräte, denn bei einem späteren Beobachtungssatz war man vom Gelände abhängig und deshalb oft gezwungen, die Startstelle etwas ausserhalb des fest eingerichteten Leitstrahls anzulegen.

5. Störungsmöglichkeiten

Das Rückstrahlverfahren kann durch den Gegner gestört werden. Das einfachste Verfahren ist das Abwerfen einer grossen Zahl von Metallstreifen. An dieser «Dipolwolke» wird die vom Funkmessgerät ausgesandte Schwingung reflektiert, während das Flugzeug selbst darüber unerkannt bleibt. Geübte Funkmessgerätedienstungen erkennen allerdings ein solches Täuschungsmanöver an der plötzlichen, wenn auch nur sehr kleinen Veränderung von Entfernung und Richtung und suchen das eigentliche Ziel erneut.

Eine wirksamere Störungsmöglichkeit ist das Ueberdecken der Schwingung, d. h. das sog. «Zuschmieren» des Empfängers mit einem erheblich stärkeren Sender; das Braunsche Rohr zeigt dann keinen ablesbaren Wert mehr an. Hierzu muss man aber die gegnerische Sendefrequenz kennen, damit dessen Empfangsanlage beeinflusst werden kann. Der Erfolg ist dann grösser als beim Abwerfen der Dipolwolke, gegen die bereits gute Abwehrmittel eingesetzt wurden.

6. Verwendung im zukünftigen Luftverkehr

Die für Kriegszwecke entwickelte Technik des Zielortens ohne optische Hilfsmittel wird für die Flugsicherung des kommenden Zivilflugverkehrs von grosser Bedeutung sein. Während man vor dem Krieg in der Nähe der Flugplätze nur die Landebaken kannte, die übrigens als die Vorgänger der modernen Geräte bezeichnet werden können, ist es jetzt möglich, jedem Flugzeug ständig die genaue Ortsbestimmung bekanntzugeben, da man diese ja mit Hilfe der Funkmessgeräte vom Boden aus mühelos ermitteln kann. Ebenfalls kann bei schlechten Sichtverhältnissen die Annäherung anderer Flugzeuge oder die Kollisionswarnung bei Gebirgsflügen übermittelt werden. Schliesslich erlauben die neuen Einrichtungen eine automatische Höhenangabe durch Echolot, die die Höhe auf einen Meter genau angibt und infolgedessen gerade beim Landen unter ungünstigen Witterungsbedingungen völlige Sicherheit bietet.

Inwieweit die Schiffahrt derartige Geräte verwenden wird, bleibt abzuwarten. Ohne Frage könnte mit ihnen die Kollisionsgefahr bei dichtem Nebel ausgeschaltet werden. Bekannt ist, dass in den Seeschlachten des vergangenen Krieges die Funk-Messgeräte auf den Kommandotürmen der Schlachtschiffe und Kreuzer wetterunabhängig die genauesten Schiessunterlagen lieferten.

Ueber die Fernsteuerung weittragender Grossraketen enthält der oben zitierte Artikel einige ausführlichere Angaben. Mit Leitlinie oder Leitstrahl ist ein Zivilfernverkehr denkbar, wodurch z. B. interkontinentale Postverbindungen in wenigen Stunden möglich würden. Solche weiten Strecken mit sehr hohen Geschwindigkeiten steuerungsmässig sicher beherrschen zu können, stellt für die Hochfrequenztechnik überaus interessante Zukunftsprobleme. Dabei durfte die Frage der Landung neuartige Massnahmen nötig machen, denn die bisherige Form von Fern-Raketen, wie wir sie bei V2 kennen, hat eine zu hohe Auf treff-Geschwindigkeit, als dass man z. B. Postladungen befördern könnte. Außerdem ist eine erneute Steuerung beim Wiedereintauchen in die Erdatmosphäre nicht möglich. Die schon früher gemachten Vorschläge, Raketen mit Tragflächen zu versehen, wäre eine denkbare Lösung. In diesem Falle könnten Grossraketen wie ein Segelflugzeug langsam auf den Bestimmungsort hinabgleiten, wobei dann eine genaue Einstreuierung mit den oben beschriebenen Verfahren vom Bestimmungsort aus möglich sein sollte.

Le problème de la stabilité des régulateurs de vitesse

Un ouvrage de Mr. Gaden n'a guère besoin d'être présenté à ceux qui connaissent le talent de cet ingénieur dont les travaux réalisent tous la gageure d'unir un texte d'une lecture facile et attrayante à une rigueur absolue des développements mathématiques. Le dernier livre de cet auteur¹⁾ ne le cède en rien à ses publications antérieures.

¹⁾ Considérations sur le problème de la stabilité, Contribution à l'étude des régulateurs de vitesse. Par D. Gaden, ing. 1 vol., 253 p. Lausanne 1945, Editions La Concorde. Prix frs. 21.—

Le régulateur automatique joue dans la technique moderne un rôle toujours plus important et son étude a fait l'objet d'un grand nombre de travaux et de monographies parus en ces dernières années. Il a été possible d'établir une synthèse générale des différents problèmes du réglage et des méthodes de calcul semi-graphiques semi-analytiques qui permettent de déterminer assez aisément les conditions de stabilité, les fréquences propres et les décréments logarithmiques de systèmes même fort complexes. Il faut citer ici avant tout le critère de Nyquist et les méthodes qui en découlent, toutes fondées sur une représentation vectorielle.

Le réglage de la turbine hydraulique occupe toutefois une place bien à part, à cause de la réaction particulière du système hydraulique sur le régulateur automatique, réaction due au phénomène du coup de bâlier. Un ouvrage sur ce problème important, qui intéresse au plus haut degré l'exploitation des forces hydroélectriques s'imposait donc, et constitue une contribution des plus actuelles à l'étude des régulateurs en général.

Le volume de Mr. Gaden est accessible à tout ingénieur ou étudiant, même peu au courant de ces questions. Le principe fondamental des divers phénomènes y est exposé d'une façon claire, indépendamment des développements mathématiques, et les calculs sont toujours poussés jusqu'aux résultats numériques, présentés sous forme de graphiques d'une lecture rapide et aisée, de sorte que l'ouvrage est également utile au praticien qui ne peut étudier les détails d'une théorie malgré tout assez abstraite, et à l'ingénieur curieux d'approfondir les relations entre les divers facteurs déterminant le phénomène.

L'auteur fait avec raison un usage étendu des «valeurs relatives». Cette notion, qui se répand d'ailleurs de plus en plus, est ici particulièrement féconde; il est en effet possible de caractériser le comportement d'un régulateur quelconque pilotant une installation également quelconque, par quatre, au plus cinq paramètres seulement, malgré la diversité infinie des éléments constituants.

La première partie de l'ouvrage est vouée à l'étude du régulateur, sans l'effet du coup de bâlier, et à la comparaison des divers systèmes. Si du point de vue de la stabilité du nombre de tours à puissance constante, le réglage tachymétrique avec asservissement est sensiblement équivalent au régulateur accéléro-tachymétrique, les avantages de ce dernier en face d'une variation de la puissance absorbée par le générateur sont nets, et auraient mérité d'être non seulement mis en évidence par des considérations générales, mais encore d'être estimés quantitativement.

C'est surtout dans l'étude de l'effet du coup de bâlier sur les oscillations de vitesse et sur les conditions d'amortissement que se révèle la maîtrise de l'auteur. Son exposé est d'une clarté et d'une rigueur parfaites, malgré la complexité du phénomène envisagé. Mr. Gaden établit une condition à laquelle doivent satisfaire le PD² des masses tournantes, la vitesse de réglage du servomoteur, l'asservissement ou le dosage accélérométrique pour éviter toute instabilité due au coup de bâlier dans le système hydraulique. Cette relation est l'équivalent de la condition de Thoma définissant la stabilité des chambres d'équilibre. Un court chapitre sur la représentation vectorielle montre comment on pourrait intégrer ce problème particulier aux synthèses générales signalées plus haut.

La stabilité de réglage de plusieurs groupes fonctionnant en parallèle ainsi que celle de la répartition de la puissance entre les réseaux fait l'objet d'un chapitre dont l'intérêt ne le cède en rien à celui des appendices consacrés au calcul des survitesses en cas de décharge brusque, à l'influence d'un système d'alimentation à caractéristique multiple et à la discussion des quelques résultats expérimentaux.

Il est évident, et Mr. Gaden attire expressément l'attention du lecteur sur ce point, que les résultats numériques d'une étude théorique de ce genre ne peuvent être pris à la lettre; mais ses conclusions fournissent les bases nécessaires à un classement comparatif de résultats expérimentaux, et constituent le fil directeur permettant de débrouiller l'enchevêtrement des divers facteurs influant sur la stabilité de réglage. Il ressort aussi clairement de ce travail qu'il est illusoire de vouloir juger de la qualité d'un régulateur de vitesse uniquement par le relevé des écarts lors de décharges ou de surcharges brusques des groupes isolés, usage encore courant il y a quelques années; il est au contraire nécessaire de se placer dans des conditions aussi semblables que possible à celles de l'exploitation normale.

Le régulateur de vitesse pour turbine hydraulique passait il n'y a pas longtemps pour un organe délicat que seuls quelques spécialistes au bénéfice d'une grande expérience pouvaient mettre au point, et dont le comportement ne pouvait que fort