Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 121/122 (1943)
Heft: 14: 60 Jahre: 1883-1943

Artikel: Die Fortschritte der Hochfrequenztechnik in den letzten 10 Jahren
Autor: Tank, F.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-53074

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: 13.07.2025

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

zu untersuchen, wie sich der Ablaufstollen verhalten würde, falls bei einem Rohr- oder Schieberbruch Wasser unter dem hohen Druck von 650 m in die Turbinenkammern eindränge. Bei einer Kavernenzentrale ist die sichere Ableitungsmöglichkeit einer solchen Katastrophenwassermenge von ganz besonderer Bedeutung, könnte sie doch, im Falle eines Rohrbruchs, kurzfristig gegen 100 m³/s betragen, während der Unterwasserstollen, der das Abwasser nach der Gadmeraare führt, normalerweise für 36 m³/s bemessen ist. In einem Modell wurden die fünf Turbinenkammern der Zentrale Innertkirchen samt Ablaufstollen dargestellt und durch eine Einrichtung ergänzt, die gestattete, neben dem Normalbetrieb eine Rohrbruchwassermenge einzuführen. Abb. 13 zeigt die Modellanordnung, im Vordergrund den Ablaufstollen, in der Mitte und links hinten die Turbinenkammern mit den Reguliervorrichtungen für Normalbetrieb und Rohrbruch, rechts hinten den Chronographen zur Aufzeichnung der in den Turbinenkammern und dem darüberliegenden Turbinenraum bei Rohrbruch entstehenden Wasserspiegelschwankungen. Der Vorgang ist durch die Chronographenaufzeichnung der Abb. 14 veranschaulicht, wobei eine plötzlich einfallende Wassermenge von 95,5 m³/s, während Vollbelastung der Turbinen, die durch Entleerung des Wasserschlosses allmählig auf die maximal mögliche Stollenwassermenge von 50 m³/s abfällt, vorausgesetzt ist. Man sieht, dass die Bedingung, der Generatorboden dürfe nicht überflutet werden, in einem solchen Falle eingehalten werden kann, dagegen wird der normalerweise als Freilaufstollen funktionierende Ablaufkanal vorübergehend unter Druck gesetzt.

(Schluss folgt)

Die Fortschritte der Hochfrequenztechnik in den letzten zehn Jahren

Von Prof. Dr. F. TANK, E. T. H., Zürich

Die Hochfrequenztechnik ist die Technik der schnellen Wechselströme. Mit der Starkstrom- und Schwachstromtechnik im engeren Sinne, aber auch mit der Akustik und insbesondere mit der Technik der Elektronenröhren ist sie eng und vielfach verflochten. Präzision, Zuverlässigkeit der Grundlagen, im allgemeinen geringer Materialaufwand bei hohen Ansprüchen an die geistige Leistung zeichnen sie aus. Vor etwa einem Dezennium suchte die «Schweiz. Bauzeitung» durch eine Sondernummer [1]) das Interesse ihres Leserkreises für die junge Hochfrequenztechnik zu gewinnen. Sich heute von den seither erfolgten Fortschritten Rechenschaft abzugeben, dürfte sicher lehrreich sein. Wir sind uns dabei der Schwierigkeit bewusst, einer nach Breite und Tiefe weit ausholenden Entwicklung im Rahmen einer knappen Uebersicht gerecht zu werden.

I.

Das Hauptanwendungsgebiet der Hochfrequenztechnik ist die *Nachrichtentechnik ohne Draht*. Schiffahrt, Flugwesen, Rundspruch, kommerzielle Telegraphie und Telephonie, die Armee, der Wetterdienst, die Anwendungen der drahtlosen Fernregistrierungen und Fernsteuerungen, Fernsehen und Bildübertragung: sie alle erheben in steigendem Umfang Ansprüche auf die Wellen des Aethers für ihre Zwecke. Die grundlegenden und schwierigen Fragen der Wellenzuteilung sind zum letzten Mal auf breiter Basis an der Wellenkonferenz von Kairo 1938 behandelt worden. Das ganze Wellenband von 10000 bis 1 m Wellenlänge, entsprechend Schwingungen von 30000 bis 300 Mio Hz (Per/sec) ist damals für die verschiedenen Dienste vollständig aufgeteilt worden. Eine Vermehrung des Verkehres ist nur noch durch beste Ausnutzung dieses gegebenen Wellenbandes auf der Grundlage eingehender Studien der Ausbreitungseigenschaften der Wellen möglich und durch Erschliessung neuer Wellengebiete im Bereich allerhöchster Frequenzen.

Die Fragen der *Wellenausbreitung* bleiben das grundlegende Problem der Hochfrequenztechnik. Es ist bekannt, dass lange und kurze Wellen sich sehr verschieden verhalten, und dass nicht nur die Eigenschaften des Erdbodens, sondern auch die Einflüsse der höchsten Atmosphärenschichten von grösster Bedeutung sind. Es ist daher viel Arbeit darauf verwendet worden, die Zusammenhänge der Erscheinungen der oberen Atmosphärenschichten, der *Ionosphäre*, und ihrer Beeinflussung durch Sonnenbestrahlung und Sonnentätigkeit mit den Uebertragungseigenschaften der elektrischen Wellen zu erforschen. Man unterscheidet eine E-Schicht in etwa 100 km Höhe und eine F-Schicht, die etwa 200 bis 400 km hoch liegt; diese ist meist aufgeteilt in eine tiefere F_1-Schicht und eine höhere F_2-Schicht. Ueber die Abhängigkeit der Intensität der Ionisierung (Elektronendichte) von der Höhe und der besonderen Zusammensetzung der Luft in diesen Schichten gibt Abb. 1 einen schematischen Ueberblick. Die elektrische Leitfähigkeit der Ionosphäre besitzt auf die Ausbreitung der Radiowellen einen solchen Einfluss, dass sie die Strahlrichtung der Wellen kontinuierlich krümmt, unter Umständen sogar spiegelt. Die Wirkung ist abhängig von der Wellenlänge, stark bei langen Wellen und kaum mehr vorhanden bei ultrakurzen Wellen. Kurze Wellen von 10 bis 100 m Wellenlänge, die unter nicht zu steilem Winkel abgestrahlt werden, können sehr grosse Reichweiten erlangen, indem sie erst nach Ueberschreitung einer langen toten Zone wieder zur Erde niedersteigen.

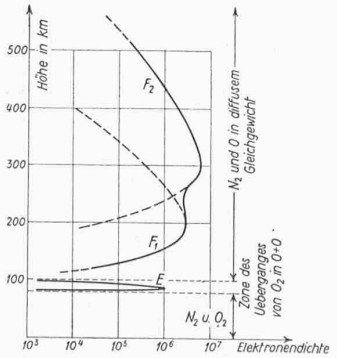

Abb. 1 Elektronendichte der Ionosphäre

Die Lage der Ionosphärenschichten lässt sich durch Messungen ermitteln und durch Registrierungen, die nach den Grundsätzen der Echolotung aufgebaut sind, fortlaufend verfolgen. Besondere Störungen entstehen bei Eruptionen von Gasmassen auf der Sonne, die mit Geschwindigkeiten von etwa 1000 m/sec ausgeschleudert werden und auf die Erde gelangen, wo sie Polarlichter und magnetische Stürme erzeugen. Auch der Sonnenphysiker bringt den Ionosphärenmessungen heute grosses Interesse entgegen.

II.

Rechnet man für die Uebertragung eines Gespräches eine erforderliche Frequenzbandbreite von 10000 Hz, so würden sich im Mittelwellengebiet zwischen 300 und 600 m Wellenlänge (500000 bis 1000000 Hz) 50 Gespräche unterbringen lassen, im Kurzwellengebiet zwischen 30 und 60 m deren 500, im Ultrakurzwellenbereich zwischen 3 und 6 m 5000, und wenn man in das Gebiet der Dezimeter- und Zentimeterwellen sich begeben könnte, liesse sich zwischen 3 und 6 cm Wellenlänge Raum für 50000 gleichzeitige Telephongespräche finden, was schon dem Bedürfnis einer mittleren Stadt entsprechen würde. Diese Ueberlegungen sind altbekannt, aber sie zeigen, welch enormer Frequenzreichtum im Gebiete der allerkürzesten Radiowellen herrscht. Vielleicht gelingt es einmal in Zukunft, diesen Bereich technisch zu erschliessen und dafür andere Wellenbereiche zugunsten bestimmter Dienste zu entlasten. Man muss sich aber darüber klar sein, dass die Reichweite dieser sehr kurzen Wellen nur gering ist, indem sie sich ähnlich wie das Licht ausbreiten und von Gegenständen merklicher Grösse, wie Häusern, Bergketten usw. abgeschattet werden. Guter Empfang ist also im allgemeinen nur innerhalb optischer Sichtweite möglich. Dies kann aber einen Vorteil bedeuten, wenn es sich um Probleme des Nahverkehrs handelt. Die sehr kurzen Wellen lassen sich scheinwerferartig bündeln und ermöglichen Uebertragungen breitester Frequenzbänder mit sehr geringem Energieverbrauch. Zur Ueberbrückung grösserer Entfernungen bedarf es der Einschaltung von Relais-Stationen. Das Interesse an sehr kurzen Radiowellen ist daher von Jahr zu Jahr gewachsen.

Die Schwierigkeiten sind aber erheblich und zahlreich. *Eine* Schwierigkeit darf heute als überwunden gelten, die darin bestand, dass mit kürzeren Wellenlängen die Abmessungen der aus Spule und Kondensator gebildeten Schwingungskreise immer kleiner und kleiner wurden und damit diese Kreise überhaupt nicht mehr einwandfrei definiert waren. Die Lösung brachten der *Hohlraumresonator* und der *Hohlleiter*. Der allseitig durch leitende Wände abgeschlossene Hohlraum besitzt elektrische Eigenschwingungen, die durch Resonanz erregt werden können, gerade so gut als er akustische Eigenschwingungen besitzt. Er kann daher den elektrischen Schwingungskreis ersetzen. In der Technik der höchsten Frequenzen hat er sich als ausgezeichnetes Bauelement bewährt. Nicht nur erhalten seine Abmessungen für die Konstruktion günstige Werte und ist das schwingende elektrische und magnetische Feld in seinem Innern vollständig abgeschirmt, sondern er besitzt auch eine ausserordentlich gute Resonanzschärfe. Eine besonders einfache Form eines Hohlraumresonators ist der kubusähnliche Körper mit leitenden Wänden. Besitzen seine Kanten die Längen a, b, c, so berechnet sich, nicht unähnlich wie in der Akustik, ein System von möglichen Eigenwellenlängen zu

[1]) SBZ Bd. 104, Nr. 14, S. 149* ff. (1934).

$$\lambda = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}}$$

wobei m und n ganze Zahlen 1, 2, 3 ..... bedeuten. Eine andere Form stellt der sehr verwendungsfähige Schwingtopf (Abb. 2) dar, den man sich entstanden denken kann durch Rotation einer leitenden Schleife um eine Achse, die einen Plattenkondensator enthält. Die Verhältnisse sind der Rechnung vollkommen zugänglich.

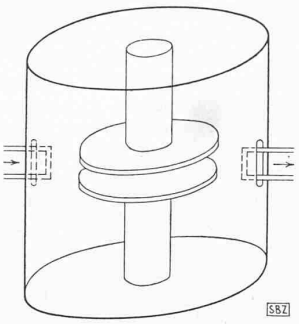

Abb. 2 Elektr. Schwingtopf mit Kondensator im Innern, An- u. Auskopplung

Wie man Schall in Röhren fortpflanzen kann, so gelingt dies auch mit elektrischen Wellen. Damit aber diese in merklichem Masse durchgelassen werden, gilt die Bedingung, dass der Durchmesser der Rohre grösser als ungefähr eine Wellenlänge sein soll. Daher eignet sich der «Hohlleiter» nur für sehr kurze Wellen. Im Grunde bildet sich in ihm durch Reflexion an den Wänden ein elektrisches und magnetisches Interferenzfeld aus, das sich im Rohre vorwärts schiebt. Je nachdem eine elektrische oder magnetische Komponente der Wellen in die Rohraxe fällt, spricht man von E- oder von H-Wellen. Das elektrische und magnetische Kraftlinienbild im Hohlleiter-Querschnitt kann sehr verschiedenartige Gestalt annehmen und erinnert stark an die Chladni'schen Klangfiguren bei schwingenden Platten. Wird der Hohlleiter trichterförmig geöffnet, so strahlt er elektromagnetische Wellenenergie mit bevorzugter Richtwirkung ab.

III.

Sehr erheblich waren die Anstrengungen im vergangenen Jahrzehnt, geeignete *Elektronenröhren für kürzeste Wellen* zu bauen. Wenn dieses Problem im Bereich der Dezimeterwellen erst zum Teil gelöst ist, so beweist dies dessen Schwierigkeit. Im Gebiete der Ultrakurzwellen von wenigen Metern Wellenlänge sind wesentliche Fortschritte zu verzeichnen. Man hat gelernt, die besonders schädlichen Längs-Induktivitäten und Quer-Kapazitäten der Röhren-Sockel zu vermindern und durch Verbesserungen der Anordnung der Zuleitungen und des inneren Röhrenaufbaues Ultrakurzwellen-Röhren zu schaffen, die für Sende- und Empfangszwecke bis herunter zu etwa $1 \div 2$ m Wellenlänge (150 bis 300 Mio Hz) verwendbar sind. Unterhalb eines Meters Wellenlänge beginnt aber im Grossen und Ganzen eine neue Welt. Hier müssen ganz neue Gesichtspunkte des Röhrenbaues zur Anwendung gelangen. Die Schwingkreise, als Hohlraumresonatoren ausgebildet, müssen in das Röhreninnere eingebaut werden und in organischer Weise die Funktionen des Steuergitters, der Anode usw. in sich aufnehmen. Statt der üblichen einfachen Intensitäts-Steuerung des emittierten Elektronenstromes gelangt vorzugsweise dessen Geschwindigkeitssteuerung zur Anwendung. Der Leitungsdraht als Zuführungs- und Verbindungselement verschwindet. Auf diese Weise gelangt man zu Röhrentypen, die vor wenigen Jahren zuerst in Amerika bekannt wurden, und von denen ein Beispiel, das *Klystron*, kurz besprochen werden möge.

Von einer Kathode K (Abb. 3) aus fliesst ein Elektronenstrom J_0 zur gitterförmigen Anode A, erreicht und durchsetzt diese mit der durch die Spannung U_0 bestimmten Elektronengeschwindigkeit v_0 und tritt hierauf durch zwei weitere Gitter G_1 und G_1' hindurch. Diese sind mit einem Schwingungskreise, in der Regel von der Form eines Hohlraum-Resonators, verbunden. Eine in diesem Kreise auftretende und den Gittern G_1 und G_1' sich mitteilende Spannung $u_1 = U_1 \sin \omega t_1$, beschleunigt und verzögert die Elektronen periodisch, sodass diese innerhalb der Strecke l, des «Laufraumes», sich teils überholen teils gegeneinander zurückbleiben. Dadurch entstehen Verdichtungen und Verdünnungen, sogenannte Paketierungen der Elektronen und der ursprünglich konstante Elektronenstrom erhält eine Wechselstrom-Komponente. Diese kann ihre Energie nun an den zweiten Kreis, der an die Gitter G_2 und G_2' angeschlossen ist, abgeben. Die ganze Anordnung wirkt als Verstärker, wobei die Frequenz der Wechselströme ausserordentlich hoch sein kann. Für die auftretende Wechselstromkomponente berechnet man $i = p\, J_0 \cos \omega t_1$ mit dem sogen. Kompressionsfaktor $p = \frac{1}{2} \frac{U_1}{U_0} \cdot \frac{\omega l}{V_0}$. Beim Wert $p = 1$ ist ein Maximum der Elektronen-Paketierung erreicht Man spricht dann von Phasen-Fokussierung der Elektronen und nennt den zugehörigen Wert von l die Phasenbrennweite. Es ist bemerkenswert, dass auch bei kleinem Werte von U_1 / U_0, also schwacher Aussteuerung des Strahles, bei geeignetem Betrage von l eine solche Phasenfokussierung und maximale Paketierung eintritt. Nach bekannten Grundsätzen lässt sich aus einem Verstärker ein Generator herstellen, indem von der verstärkten Seite durch ein Rückkopplungsglied Energie auf den Steuerkreis zurück übertragen wird und einer einmal vorhandenen Eigenschwingung die Möglichkeit erteilt wird, sich aufzuschaukeln. Mit selbsterregten Generatoren nach dem Klystron-Prinzip können Schwingungen von wenigen Dezimetern oder Zentimetern Wellenlänge erzeugt werden. Ein interessanter Dezimeterwellen-Generator ist auch der «Turbator» von Brown Boveri, der nach dem Prinzip des Magnetrons mit geschlitzter Anode gebaut ist.

IV.

Die Fortschritte im Bau von Elektronenröhren sind aber nicht nur in der Richtung nach den Röhren für kürzeste Wellen erfolgt, sondern sie sind im Gegenteil sehr vielseitig. So sind von grossem Interesse die *Hochleistungsröhren*, bemessen für 100 und mehr Kilowatt Schwingleistung für die Zwecke der Rundspruch-Sende-Stationen, die komplizierten und sehr verwendungsfähigen *Verbund-Röhren* für Empfangs-Apparate, in denen die Funktionen mehrerer Röhren konstruktiv vereinigt sind, und manches andere mehr. Eine wichtige Grundlage im Röhrenbau, welcher Art er auch sei, bildet heute die *Elektronen-Optik*. Sie ist die Lehre von den Elektronenbahnen in elektrischen und magnetischen Feldern. Elektronenoptik ist namentlich wichtig, wenn es sich um die Herstellung von Elektronenstrahl-Bündeln handelt, die an bestimmten Stellen konvergieren sollen, wie z. B. im Leuchtfleck auf dem Fluoreszenzschirm einer Kathodenstrahlröhre. Die grosse Wichtigkeit der Kathodenstrahlröhre in der Hochfrequenztechnik, sei es als Oszillograph schnellster Vorgänge, sei es bei den mannigfachen Anwendungen des Fernsehens, rechtfertigt es, einen Augenblick bei ihr zu verweilen.

Wenn die von der Kathode ausgehenden Elektronenbahnen wieder zusammengeführt werden, spricht man von einer Fokussierung der Elektronenstrahlen. Die hierbei geltenden Gesetze besitzen formale Aehnlichkeit mit den Gesetzen der geometrischen Optik; daher stammt der Ausdruck Elektronenoptik. Felder in begrenzten Gebieten, die sammelnde oder zerstreuende Wirkung auf die Strahlen ausüben, wirken als elektrische bezw. magnetische Elektronenlinsen. Charakteristische Verzerrungen des Leuchtflecks entsprechen Abbildungsfehlern, die im Sinne der geometrischen Optik als Astigmatismus, Oeffnungsfehler, Koma, Einstellfehler, chromatischer Fehler usw. bezeichnet werden. Es lassen sich auch ganze Flächen elektronenoptisch abbilden. Der konsequente Ausbau dieser Technik führte zum Elektronen-Mikroskop[2]), das bis gegen 100 000 fache Vergrösserung erlaubt und in der Biologie, Physik und Chemie noch zu grossen Leistungen berufen erscheint. Die Nützlichkeit der kleinen tragbaren Kathodenstrahl-Oszillographen mit eingebautem Zeitablenk-Kipp-Gerät und Verstärker kann nicht leicht überschätzt werden. Die grossen und sehr entwickelten Kathodenstrahl-Oszillographen der Hochspannungstechnik, die mit Schreibgeschwindigkeiten für Vorgänge arbeiten, die nach Hundertsteln von Mikrosekunden zählen, gehören ihrem Wesen nach der Hochfrequenztechnik an.

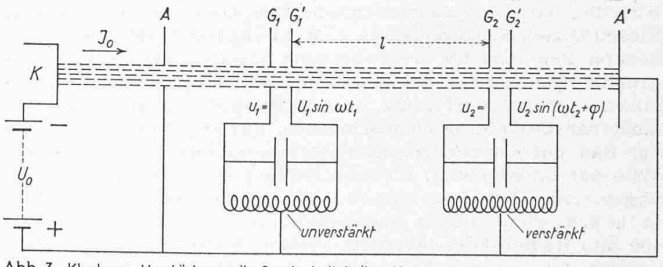

Abb. 3 Klystron-Verstärker mit Geschwindigkeits-Steuerung des Elektronenstrahles

V.

Für die Hochfrequenztechnik sind *Isolierstoffe* wichtig, die nicht nur vollkommen isolieren und hohe Durchschlagsfestigkeit besitzen, sondern vor allem bei Beanspruchung durch Wechselfelder geringe dielektrische Verluste aufweisen. Diese Verluste werden gemessen durch den Verlustwinkel δ bezw. durch $\operatorname{tg} \delta$ und erzeugen bei sehr hohen Frequenzen unter Umständen unzulässig hohe Erwärmungen. Ein kurzes Beispiel möge dies erläutern.

[2]) Beschrieben in Bd. 112, S. 164* (1938).

Wählt man z. B. die Kapazität $C = 10^{-10}$ Farad, die Spannung $U = 10000$ V, die Frequenz $f = 10^7$ Hz ($\lambda = 30$ m), $\operatorname{tg} \delta = 10^{-3}$, so berechnet sich ein Verschiebungsstrom im Kondensator von $J = 2\pi f\, CU = 62{,}8$ A und ein Verlust von $W = 2\pi f\, CU^2 \cdot \operatorname{tg} \delta = 628$ W; die diesem entsprechende Wärmeentwicklung, zusammengedrängt in den Raum eines Kondensators von 10^{-10} Farad Kapazität, wirkt gefährlich.

Verlustfreies Material ist auch für den Bau von Hochfrequenzkabeln von Bedeutung, haben doch schon kleine Verlustwinkel bei den hohen Frequenzen starke Dämpfungen für die Uebertragungen auf langen Strecken zur Folge. Die chemische Technik hat es verstanden, innerhalb kurzer Zeit die wichtige Aufgabe der Schaffung neuer verlustfreier Isolierstoffe weitgehend zu lösen. Sie hat dadurch der Hochfrequenztechnik, sowie der Elektrotechnik überhaupt, neue Entwicklungsmöglichkeiten eröffnet. Unter den keramischen Isolierstoffen sind z. B. vor allem Calit und Frequenta bekannt geworden; sie sind aus den Steatiten hervorgegangen, den Stoffen der Talk-Speckstein-gruppe. Neben günstigen elektrischen Eigenschaften besitzen sie den Vorteil grosser mechanischer Festigkeit und Hitzebeständigkeit. Durch Zusatz von Titandioxyd in der Kristallform des Rutils lässt sich die Dielektrizitätskonstante bis zum Betrage von 40 und 80 vergrössern. Solche Materialien eignen sich als Kondensatorbaustoffe und sind mit Namen wie Condensa und Kerafar bezeichnet worden. Das Ergan ist ein poröser keramischer Werkstoff, der vor allem zur gegenseitigen Isolierung von Elektroden im Vakuum dient; es lässt sich mit gewöhnlichem Werkzeugstahl bearbeiten. Auch Gläser sind vielfach verbessert worden und haben ihre Bedeutung für die Zwecke der Abdichtung von Einführungen in evakuierten Gefässen behalten. Ganz anderer Natur sind die organischen hochwertigen Isoliermaterialien. Man stellt sie entweder als Kunstharze durch Kondensation (Polykondensation) her, oder durch Polymerisation von Kohlenwasserstoffen. Diese Stoffe lassen sic durchh Spritzen oder. Pressen verarbeiten. Hier ist u. a. zu nennen das Cibanit der Gesellschaft für Chemische Industrie in Basel, ferner das elektrisch ausgezeichnete Trolitul (Polystyrol), das einzig den Nachteil geringer mechanischer Widerstandsfähigkeit besitzt, und das aus ihm hervorgegangene Styroflex; dieses ist ein besonders guter Kondensatorbaustoff und findet u. a. Anwendung in Hochfrequenzkabeln.

VI.

Die allgemeine *Sende- und Empfangstechnik* verbesserte sich im Laufe der letzten zehn Jahre in folgerichtiger Weiterentwicklung schon vorgezeichneter Wege. Die Messtechnik, die Schaltungstechnik und die Röhrentechnik sind in gleicher Weise am Fortschritt beteiligt. Dank der Zusammenarbeit dieser drei Teilgebiete haben die Rundspruchsender und -Empfänger Formen angenommen, die man bereits als klassisch bezeichnen darf. Der Sender mit seiner Generatorstufe höchster Frequenzkonstanz — nur Schwankungen von etwa $^1/_{100}$ Promille Abweichung von der Sollfrequenz werden zugelassen — seinen Verstärkerstufen mit bester Energieausnutzung, seinen Modulationsstufen höchster Qualität und schliesslich seinen imposanten Endröhren; der Empfänger mit übersichtlicher Konstruktion und einfachster Bedienung, mit seinen modernen Mehrgitterröhren hoher Empfindlichkeit, sinnreicher Funktionsweise und bester Qualität der Klangwiedergabe: sie stellen bereits eher Schlussteine einer Entwicklung dar. Die transozeanische Telephonie, bei der das sog. Einseitenband-Sendeverfahren sich durchgesetzt hat, und die in neuerer Zeit zwei bis drei Gespräche und dazu ein bis drei Telegramme gleichzeitig mit einer einzigen Trägerwelle zu übermitteln vermag, darf heute als ein Beispiel höchstentwickelter moderner Technik bezeichnet werden. Für die Schweiz bedeutete der Bau des Kurzwellensenders Schwarzenburg[3]) einen Markstein der Entwicklung. Welchen Umfang das Rundspruchwesen angenommen hat, mag daraus hervorgehen, dass im Jahre 1939 in U.S.A. rund 9 Mio Radioempfänger hergestellt und rund 100 Mio Radioröhren fabriziert wurden. Es soll nicht vergessen werden die grossen Fortschritte zu erwähnen, die die Störbekämpfung und die Entstörung zufolge langjähriger systematischer Arbeit zu verzeichnen hat.

Die meisten Rundspruchsender arbeiten mit Amplitudenmodulation, d. h. die Amplituden der ausgestrahlten Wellen werden nach Rythmus und Stärke der Sprache oder Musik verändert. Im Jahre 1935 griff der Amerikaner Armstrong das Problem der *Frequenzmodulation*, das lange wenig beachtet geblieben war, mit besonderem Erfolg wieder auf. Bei der Frequenzmodulation bleibt die Amplitude der Hochfrequenzschwingungen konstant, aber ihre Frequenz ändert sich nach Massgabe der niederfrequenten Beeinflussung. Es zeigte sich, dass die Frequenzmodulation eine Reihe erheblicher Vorteile besitzt, die aber erst im Gebiete der kurzen und ultrakurzen Wellen voll zur Auswirkung gelangen. Nicht nur lassen sich die Sender-Endstufen energetisch gut ausnutzen, sondern der Empfang wird vor allem erheblich unempfindlicher gegen Störgeräusche. Ob der Rundspruch sich einmal durch ein System von frequenzmodulierten Kurzwellen- oder Ultrakurzwellen-Sendern ergänzen wird, ist eine Frage, die die Zukunft wird entscheiden müssen.

Die Bedürfnisse der Armee förderten stark die Entwicklung kleiner *tragbarer Geräte* zum drahtlosen Sprechen und Telegraphieren auf kürzere Distanzen. In mannigfach abgeänderter Form lassen sich solche auch vielen andern Zwecken dienstbar machen. So verfügt die Polizeifunkanlage der Stadt Zürich über drahtlosen Gegensprechverkehr mit einzelnen Automobilen und mit ihrem Motorboot auf dem Zürichsee; ja selbst der einzelne Mann auf Patrouille kann von einer Meldung erreicht werden. Neben der Schiffahrt ist es vor allem die Luftfahrt, für die die Radiotechnik eine unentbehrliche Stütze geworden ist und in noch ausgedehnterem Masse weiter sein wird. Wir wissen nicht, was die letzten Kriegsjahre an Neuem gebracht haben. Es ist aber zu vermuten, dass das Problem des Landens von Flugzeugen bei Nacht und Nebel mit Hülfe von Radio-Leitstrahlen erheblich gefördert wurde und dass die automatische Höhenmessung des Flugzeuges über Boden Fortschritte gemacht hat. Seit 1938 sind Radio-Altimeter bekannt, die nach dem Prinzip der Echolotung arbeiten und die Zeit messen, die ein vom Flugzeug aus mit Frequenzmodulation gesendetes Ultrahochfrequenz-Signal braucht, um zur Erde und auf dem Wege der Reflexion wieder zurück zum Flugzeug zu gelangen. Sollte es gelingen, diese Methode zu verfeinern, so könnten auch Entfernungen nach bestimmten Objekten in Bezug auf Grösse und Richtung ermittelt werden. Damit wäre ein Beitrag zum «Sehen bei Nacht» geliefert.

Es ist wahrscheinlich, dass in Zukunft die Nachrichtenübermittlungen auf Kabeln und auf drahtlosem Wege nicht mehr streng getrennt nebeneinander geführt werden, sondern dass eine engere Zusammenarbeit und gegenseitige Durchdringung sich einstellen wird. Grössere Netze würden dann teilweise sowohl aus Kabelanlagen, wie aus drahtlosen Strecken bestehen; diese könnten durch Ultrakurzwellen-Richtstrahlen gebildet werden, die bei geringem Aufwand an Sendeenergie und bemerkenswerter Konstanz insbesondere den Zwecken der Vielfachtelephonie, d. h. der gleichzeitigen Uebermittlung mehrerer Telephongespräche auf einem Uebertragungswege, unter vollständiger Heranziehung der Automatik, anzupassen wären. Es wäre durchaus denkbar, dass das alte Schweizerische Signalnetz der Hochwachten in neuer Form wieder auferstehen könnte, indem auf Entfernungen von 50 bis 100 km und mehr von Berg zu Berg auf einem einzigen Ultrakurzwellen-Richtstrahl eine Reihe von Telephongesprächen sich gleichzeitig übertragen liesse. Die sich ergebenden Möglichkeiten der Kabelersparnis rechtfertigen ernsthafte Ueberlegungen. Durch das Institut für Hochfrequenztechnik der E. T. H. wurden 1941 als Vorstudien auf dem Jungfraujoch Sendeversuche unternommen mit einer Wellenlänge von 1 m (300 Mio H_z) bei 5 W Sendeleistung in der nur 50 cm langen Dipolantenne, wobei ein Gespräch und ein Telegramm gleichzeitig gesendet und in der Stadt Bern gut und in erhöhter Lage bei Basel befriedigend empfangen wurden. Weitere Versuche ergaben, dass eine Sendeleistung von 10 bis 20 W bei guten Richtantennen als hinreichend betrachtet werden darf, um mit mehreren gleichzeitigen Gesprächen einen zuverlässigen telephonischen Verkehr zwischen Uetliberg und Chasseral herzustellen. Die erste Anlage für Vielfachtelephonie auf Ultrakurzwellen in Europa wurde 1936 von der Standardgesellschaft zwischen Schottland und Irland auf 65 km Entfernung mit neun Kanälen für Gegensprechen erstellt. Bemerkenswert sind die 1939 in Amerika zwischen New York (Empire State Building) und River Head über zwei Zwischenstationen durchgeführten Uebertragungen von zwei gleichzeitigen Fernsehsendungen, die die aussergewöhnliche Frequenzbandbreite von 8 Mio H_z beanspruchten, auf 60 cm Wellenlänge mit starker Bündelung durch Hohlspiegel bei nur wenigen Watt Sendeleistung.

VII.

Schon seit längerer Zeit kennt man Methoden der Uebertragung ruhender Bilder auf elektrischem Wege. Das Bild wird auf der Sendeseite Zeile für Zeile abgetastet und auf der Empfangsseite durch eine synchron laufende Apparatur Zeile für Zeile wiedergegeben, wobei die Niederschrift auf elektrolytischem Wege oder auf Kohlepapier erfolgen kann. In einer Minute werden etwa 200 Zeilen mit einer Länge bis zu 25 cm und einer Breite von etwa 5 cm geschrieben. Diese Form der Bild-

[3]) Beschrieben in SBZ Bd. 113, S. 32 (1939).

telegraphie liess sich leicht auf den drahtlosen Weg übertragen, hat sich aber trotz ihrer Nützlichkeit nicht recht durchzusetzen vermocht, weil weder die Qualität des Bildes noch die gesamte Uebermittlungsgeschwindigkeit im Vergleich zu anderen Möglichkeiten einen überlegenen Fortschritt verkörperten. Auf sehr weite Entfernungen von mehreren tausend Kilometern waren gewisse Bildfehler durch die Störanfälligkeit der Uebertragung nicht zu vermeiden, während auf kurze Distanzen die rasche Postsendung einer guten photographischen Aufnahme den Bedürfnissen meist entsprach. Trotzdem hat die Technik an der *drahtlosen Bildübertragung* weiter gearbeitet und ihre Qualität stetig verbessert, sodass sie heute für militärische und zivile Zwecke gute Dienste zu leisten im Stande ist. Es liegt nun im Wesen der auf die trägheitsfreie Technik der Elektronenröhren, Kathodenstrahlröhren und photoelektrischen Zellen sich stützenden Methoden der Hochfrequenztechnik, dass sie die zeitliche Folge der übertragenen Bilder zu steigern und damit den Uebergang zum Fernsehen zu bewerkstelligen vermochte.

Die Studien des *Fernsehens* haben die Hochfrequenztechnik nach sehr vielen Richtungen hin ausserordentlich befruchtet. Doch ist heute noch nicht zu sagen, in welcher Form die ganze Entwicklung sich einmal stabilisieren wird und wo der endgültige Gewinn schliesslich liegen wird. Das Fernsehen wurde 1937 in England, 1938 in Deutschland und 1939 in Amerika mit regelmässigem Programmdienst öffentlich eingeführt; auch Frankreich und Italien standen vor der Einführung. Wir erinnern auch an die Fernsehvorführungen an der Schweiz. Landesausstellung 1939 und an die Arbeiten der Abteilung für industrielle Forschung des Institutes für Technische Physik an der E.T.H. Gegenüber dem Rundspruch unterliegt das Fernsehen einer Reihe von technischen Einschränkungen. Es sind nämlich eingehende Standardisierungsvorschriften für Sender und Empfänger notwendig; infolgedessen kann die Emission eines bestimmten Senders nur mit einem Empfänger der geeigneten Art aufgenommen werden. Die Reichweite der drahtlosen Fernseh-Sendungen ist heute noch auf Entfernungen von etwa 30 km beschränkt, weil ultrakurze Wellen benützt werden müssen, die den Sichthorizont nicht wesentlich überschreiten. Auch das öffentliche Fernsehen war immer noch als ein Versuch in grossem Stile zu betrachten. Diese bemerkenswerten und höchst interessanten Entwicklungen sind durch die Kriegsereignisse grösstenteils stillgelegt oder in andere Richtungen umgelenkt worden. Man blickt mit Spannung ihrem weiteren Schicksal in der Zukunft entgegen.

Fortschritte der Material-Forschung und -Prüfung im letzten Jahrzehnt

Von Prof. Dr. M. ROŠ, Direktionspräsident der EMPA, Zürich

Für die Weiterentwicklung der Material-Forschung und -Prüfung der letztverflossenen etwa 10 Jahre war die möglichst allseitige Kenntnis der materialtechnischen Charakteristik *als Einheit*, d. h. die Kenntnis des Gefügeaufbaues, der physikalisch-chemischen Eigenschaften, der Festigkeit und Verformung der Bau- und Werkstoffe wegleitend. Die Auswirkung dieser Erkenntnis gelangt in den nachfolgenden Grundsätzen zum Ausdruck, die für den weiteren Ausbau der wissenschaftlich-forschenden als auch praktisch-prüfenden Stoffkunde grundlegend sind. Nur auf Grundlage der *wissenschaftlichen Erkenntnis* (materialtechnische Charakteristik) und der *praktischen Erfahrung* ist es möglich, die Eignung eines Materials für einen ganz bestimmten Zweck richtig einzuschätzen und dessen rationelle Verwendung ohne Einbusse an Sicherheit zu bestimmen. *Forschung und Erfahrung* sind gleichberechtigt und bilden eine untrennbare *Einheit*.

Die Erforschung der molekularen Konstitution (Feinstruktur), die Kenntnis der Festigkeits- und Verformungseigenschaften des Konstruktionsmaterials (Materialprüfung im Laboratorium), die ständige Kontrolle in der Werkstätte bezw. Baustelle (laufende Prüfung), das Verhalten und die Arbeitsweise der Konstruktion (Versuchspraxis und Erfahrung am fertigen Bauwerk) bilden eine in sich geschlossene Einheit. Die Ergebnisse der einzelnen, mit Recht selbständig und sorgsam gepflegten Disziplinen der Materialprüfung haben sich als einzelne ursächlich zusammenhängende Teile in den Schlussbefund als Einheit folgerichtig einzufügen.

Die festigkeitstechnischen Probleme der Materialprüfung werden in drei Gruppen eingereiht und scharf auseinander gehalten, nämlich: Anstrengung, Ermüdung, Stabilität. Die Abnützung und Bearbeitung der Metalle bilden verwickelte Sonderprobleme. — Infolge der Verschiedenheit des Gefügeaufbaues und des Verformungsmechanismus der verschiedenen Stoffe ist eine allgemeine Theorie der Bruchgefahr nicht möglich. Jede Stoffgruppe besitzt ihre eigene Bruchgefahr-Theorie. — Zufolge der durch die Natur der Entstehung bezw. Erzeugung bedingten und unvermeidlichen Heterogenität und Anisotropie eines Bau- bezw. Werkstoffes müssen die Ergebnisse der Materialprüfung Streuungen aufweisen. Diesen Streuungen wird in technisch richtiger und wirtschaftlich gebührender Weise durch die Zugrundelegung von Mittelwerten für Gütezahlen, Festigkeits- und Verformungswerte durch Toleranzen Rechnung getragen. Das Prinzip der Mittelwerte, mit durch die Erfahrung als zulässig erkannten Toleranzen, gibt ein richtigeres Bild von der mittleren Güte eines Werkstoffes und ermöglicht ein sicheres Urteil über die Zufallsergebnisse. Es führt auch zur richtigeren Einschätzung der Disziplin und Leistungsfähigkeit einer Industrie, liefert zutreffendere Grundlagen für Normen und bietet auch für wirtschaftliche Fragen der Erzeugung nicht zu unterschätzende Vorteile.

Die Normung, als Niederschlag der Erkenntnisse und Erfahrung, ist für die Praxis nützlich. Eine vorwiegend auf Normung (Rezepte) abzielende Materialprüfung würde sich aber der wissenschaftlichen Forschung und dem Fortschritt hindernd in den Weg stellen. — Nur die konsequente und logische Nutzbarmachung der materialtechnischen Erkenntnisse, durch Forschung (Laboratorium) und Erfahrung (fertige Konstruktion) erlangt, steigert die Qualität, erlaubt äusserste Ausnützung des Materials, verbessert die Arbeitsmethoden, erhöht die Disziplin und Leistung eines industriellen Betriebes, verbürgt Spitzenleistung, ermöglicht die Schaffung von Grundlagen für Erzeugungs-, Güte-, Abnahme-, Kontroll- und Bauvorschriften, bewahrt vor Rückschlägen und Schäden und gewährleistet die Sicherheit.

*

Die Verwirklichung dieser Grundsätze des neuzeitlichen Materialprüfungswesens verlangt vermehrte Heranziehung und vertiefte Zusammenarbeit mit der Physik und Chemie. Die Erkenntnisse und die Nutzbarmachung der Optik, Akustik, Elektrizität, des Magnetismus, der Röntgenographie, Kristallchemie, Kristallographie, Spektralanalyse, Mikro- sowie Topochemie und Spannungsoptik sind unentbehrlich. Materialprüfung ohne Physik und Chemie ist heute undenkbar. Die Lösung neuer Probleme und die Vertiefung bereits gewonnener Erkenntnisse in Zusammenarbeit zwischen dem Materialprüfer, Physiker und Chemiker haben die Entwicklung *neuer Mess- und Prüfverfahren* und damit auch neuer Messinstrumente und Prüfmaschinen, deren Genauigkeitsanzeige teils sehr gesteigert werden musste, gefördert: mechanische und optische, statische und dynamische Dehnungsmesser registrieren örtliche Verformungen von $^1/_2\,\mu$ bis $^1/_{10}\,\mu$; kleinste Messlänge $\sim$ 1 mm. Die Messgenauigkeit der elektrischen Feinmessung mit Photozelle liegt zwischen $\pm$ 0,1 und $\pm$ 1 %. Lichtmikroskope gestatten bis 3000fache Vergrösserungen; die Auflösungsleistung des Elektronen-Uebermikroskopes liegt über $^1/_5\,\mu$ ($^1/_{5000}$ mm). Die Feinstrukturuntersuchung mittels Röntgen- oder Elektronen-Interferenzen ermöglicht Wahrnehmungen von der Grössenordnung 1 Angströmeinheit $= 10^{-8}$ cm ($^1/_{10000}\,\mu$). Die Zuverlässigkeit der Temperaturanzeige bei Dauerstandprüfmaschinen ist von der Grösse $\pm$ 2° C bei Versuchstemperaturen bis + 700° C.

Der räumliche statische und dynamische Spannungs- und Verformungszustand (Anstrengung, Vergleich-Spannung und -Dehnung) sowohl an Einkristallen als auch polykristallinen Körpern werden im Vergleich zur einaxigen Beanspruchung eingehend erforscht und bautechnisch verwertet. Die Theorie der statischen Bruchgefahr erfährt durch die Verallgemeinerung der Bruchtheorie von Mohr auf Grund von Versuchen eine Abklärung und Vereinfachung. Die Vergleichspannung wird auch als Massstab für die Beurteilung der Ermüdungsbruchgefahr herangezogen. Die Euler'sche Knicktheorie erfährt für die wichtigsten Baustoffe durch die Einführung des Knickmoduls, sowohl für zentrisches als auch exzentrisches Knicken, eine gleichfalls durch Versuche ausgewiesene Vereinheitlichung. Der Auswirkung einer lang, bis auf 1000 Stunden andauernden, unveränderlichen Kraftwirkung bei normaler und hoher Temperatur auf die Festigkeits- und Verformungseigenschaften von Metallen, aber auch von Beton, Holz, Stein und Mauerwerk (Kriechfestigkeit) wird besondere Beachtung zu teil. Das Verhalten von warmfesten und auch korrosionsbeständigen Sonderstählen bei sehr hohen, bis + 700° C reichenden, als auch sehr tiefen Frosttemperaturen