

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 52 (1961)  
**Heft:** 3

**Artikel:** Die Technik der Radio-Astronomie  
**Autor:** Tank, F.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916810>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 16.01.2026

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

# BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)  
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

## 18. Bericht über die 24. Hochfrequenztagung des SEV über Radio-Astronomie

vom 26. Oktober 1960 in Bern

Bei einer Beteiligung von rund 350 Personen wurden an der 24. Hochfrequenztagung des SEV folgende Vorträge gehalten:

1. Die Technik der Radio-Astronomie

Referent: Prof. Dr. F. Tank, Zürich.

2. Ergebnisse der Radio-Astronomie

Referent: Prof. Dr. M. Waldmeier, Zürich.

Als Tagespräsident amtete Prof. Dr. F. Tank, der die anwesenden Gäste und Mitglieder des SEV begrüsste. Ein besonderer Gruss galt dem zweiten Referenten, Prof. Dr. M. Waldmeier und den Vertretern der Presse.

Die Vorträge, die besonderes Interesse erweckten, werden hier veröffentlicht.

### Die Technik der Radio-Astronomie

Vortrag, gehalten an der 24. Hochfrequenztagung des SEV vom 26. Oktober 1960 in Bern,  
von F. Tank, Zürich

523.164

*Es wird ein Überblick über die Anwendungen der Radiotechnik in der modernen Astronomie gegeben, wobei insbesondere die Radio-Teleskope, die Radio-Interferometer und die Radio-Echogeräte (einschliesslich Satelliten) betrachtet werden.*

*L'auteur donne un exposé général des problèmes techniques de l'application de la radio en astronomie moderne; ce sont surtout les télescopes radio, les interféromètres radio et les appareils pour la mesure des échos radio (y compris les satellites) qui sont considérés.*

#### 1. Allgemeines

Die Technik der Radio-Astronomie ist herausgewachsen aus der Radar-Technik. Ihr wichtigstes Instrument ist das Radio-Teleskop. Ein Kriegsgerät ist hier friedlichen Zwecken dienstbar gemacht worden.

Die Technik der Radio-Astronomie ist ins Ausserordentliche gesteigerte elektrische Nachrichtentechnik. Ihr Feld ist der Kosmos. Sie verlangt höchste Präzision bei grossen Gewichten und grossen Dimensionen der Aparate, dazu die Verarbeitung kleinster Leistungen und die Beherrschung des Rüstzeuges moderner Forschung. Das berühmte Radioteleskop in Jodrell Bank bei Manchester, eine Stahlkonstruktion, wiegt 1800 t, davon die Reflektorschale allein 675 t. Ihr Durchmesser beträgt 75 m. Bei vollständig gekipptem Reflektor ergibt sich eine Maximalhöhe von 90 m. Dabei muss eine Einstellgenauigkeit gewährleistet sein, die nach Winkelminuten zählt; Empfangssignale, welche Bruchteile eines Milliardstels Watt an Leistung besitzen, müssen noch nachweisbar sein.

Die Technik der Radio-Astronomie ist im wahren Sinne des Wortes Optik; sie ist aber auch Elektrotechnik der sehr kurzen elektromagnetischen

Wellen. Die grundlegenden Wellenphänomene wie Interferenz, Beugung und Streuung spielen in ihr eine wichtige Rolle.

Das Weltall schickt uns seine Botschaften durch das Licht. Auch elektromagnetische Wellen dürfen wir als Licht bezeichnen. Die Tatsache aber, dass solche Wellen aus dem Kosmos zur Erdoberfläche dringen, ist durchaus nicht selbstverständlich; wir können dieselbe sogar einen eigenartigen Zufall nennen. Denn die Erde besitzt eine Atmosphäre, die im allgemeinen Licht und Radiowellen entweder absorbiert oder reflektiert. Nur zwei schmale Fenster stehen offen. Durch das eine dringt das sichtbare Licht zu uns, und zwar in einem Wellenlängenbereich von etwa 0,4 bis 0,8 Tausendstels Millimeter. Ohne diese Fenster wäre die Erde nach dem biblischen Wort wüst und leer, und es herrschte Finsternis in der Tiefe.

Das andere Fenster ist das Radiofenster. Es erstreckt sich von Wellenlängen von wenigen Millimetern bis zu solchen von etwa 20 m, nimmt also eine Breite von rund einem Dutzend Oktaven ein. Dieses Fenster blieb lange Zeit unbekannt. Die Nachrichten, die durch dieses Fenster zu uns gelangen, werden durch die Astronomen entziffert und

sind höchst wunderbarer Art. Sie haben in kurzer Zeit unser Wissen vom Weltall ausserordentlich bereichert. Durch die Radio-Astronomie hat sich das der Beobachtung zugängliche Gebiet des Weltraumes um das Zehnfache erweitert. Jodrell Bank empfängt noch Signale aus einer Entfernung von  $10^9$  Lichtjahren; ein Lichtjahr beträgt  $9,5 \cdot 10^{12}$  km. Solche Signale verliessen den Ort ihres Ursprungs zu Zeiten, die um geologische Epochen zurückliegen.

Nun einiges zur geschichtlichen Entwicklung. Im Zusammenhang mit den Problemen der drahtlosen Kurzwellen-Übertragungen über grosse Strecken ergab sich die Notwendigkeit, Natur und Eigenschaften der atmosphärischen Radiostörungen genauer zu studieren. Karl Jansky, ein junger Ingenieur der Bell-Laboratorien, unterzog sich einer solchen Aufgabe. Die Ergebnisse seiner Untersuchungen legte er im April 1933 der Internationalen Wissenschaftlichen Radio-Union in der Form von zwei Abhandlungen vor, die eine betitelt «Directional studies of atmospherics at high frequencies», die andere «Electrical disturbances apparently of extraterrestrial origin». Karl Jansky war damals 27 Jahre alt. Er stellte fest, dass elektromagnetische Wellen aus bestimmter Richtung des Raumes die Erde erreichen. Als Rektaszension gab er 18 h, als Deklination  $-10^\circ$  an. Er hatte einen dunklen Sternhaufen entdeckt und der Astronomie eine neue Welt erschlossen. Seine Entdeckung war die Frucht zuverlässigster Beobachtung und kritischen Denkens.

Der nächste grosse Schritt bestand im Nachweis einer Radiostrahlung, die von der Sonne ausging. Hey in England und Southworth in New Jersey fanden sie gleichzeitig im Jahre 1942. Sie lag im Wellenlängenbereich von etwa vier bis sechs Metern.

Der dritte wichtige Grundstein wurde durch die Entdeckung der kosmischen Wasserstoffstrahlung gelegt. Diese Strahlung ist dem Grundzustand des neutralen Wasserstoffatoms zugeordnet und mit optischen Methoden nicht nachweisbar; sie entsteht durch einen sog. Hyperfeinstruktur-Übergang. Ihre Wellenlänge beträgt 21,1049 cm, was einer Frequenz von 1420,4056 MHz entspricht. Im Jahre 1944 durch den holländischen Astronomen Van de Hulst vorausgesagt, wurde sie 1951 durch Ewen und Purcell an der Harvard Universität gefunden. Sie ist so wichtig und dabei so merkwürdig, dass sie durch einige kurze Angaben gekennzeichnet sein möge.

Ein Wasserstoffatom, das eine energetische Änderung seiner Hyperfeinstruktur erfuhr, verharrt im Mittel etwa 11 Millionen Jahre im neuen Zustand, bis dieser unter Emission von Strahlung wieder rückgebildet wird. Die ausgesandte Strahlung zeichnet sich durch äusserste Linienschärfe, d.h. durch eine Frequenzkonstanz ohnegleichen aus. Ihre Halbwertsbreite beträgt etwa  $5 \cdot 10^{-16}$  Hz. Uhren solcher Genauigkeit würden sich nach vielen Millionen Jahren in ihrer Zeitangabe erst um Bruchteile einer Sekunde unterscheiden. Diese Konstanz entzieht sich aber der Beobachtung, da sie stets von störenden Einflüssen, namentlich infolge von Dopplereffekten, überdeckt wird. Der Wasserstoff ist im ganzen Weltraum verbreitet, aber nur im

Zustand höchster Verdünnung. Es trifft im Mittel etwa ein Atom auf den Kubikzentimeter. Da jedoch die Strahlung auf Wegen zu uns gelangt, deren Länge nach vielen Tausenden von Lichtjahren zählt, kann ihre Wirkung sich in einem solchen Masse summieren, dass sie schliesslich auf der Erde nachweisbar wird.

Als vierte grosse und neue Leistung seien die Radar-Echos an Gestirnen erwähnt. Versuche in dieser Richtung gelangen zum ersten Mal im Jahre 1946, als sowohl das United States Signal Corps, als auch Bay in Ungarn Mondechos erhielten. Spätere Versuche hatten auch am Planeten Venus Erfolg.

Die Geräte der Radio-Astronomie lassen sich in drei Klassen teilen:

- a) Radio-Teleskope,
- b) Radio-Interferometer,
- c) Radio-Echogeräte.

## 2. Radio-Teleskope

Das Radio-Teleskop (Fig. 1...3) ist ein Richtempfänger, ausgerüstet mit einem um eine vertikale und eine horizontale Achse drehbaren Parabolspiegel. Schon äusserlich springt die Verwandtschaft mit den Radargeräten in die Augen.

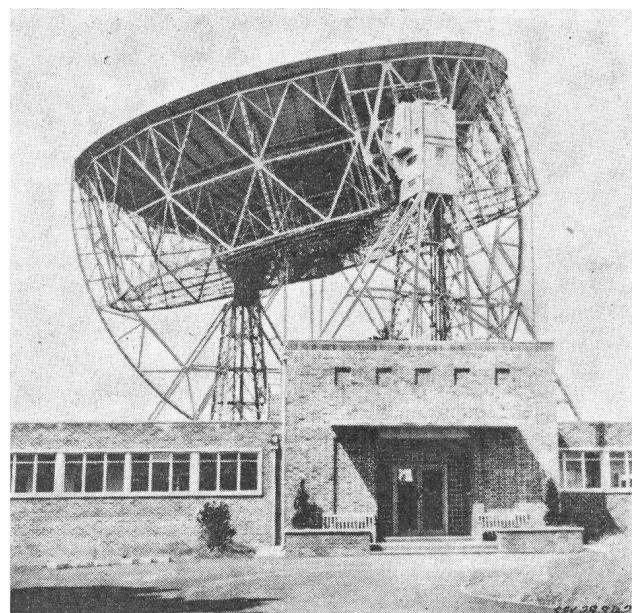


Fig. 1  
Radio-Teleskop der Universität Manchester in Jodrell Bank  
Totalgewicht 1800 t, Spiegeldurchmesser 75 m, Gewicht der Spiegelschale 675 t, totale Höhe bei vollständig gekipptem Spiegel 90 m

Von einem Teleskop verlangt man Lichtstärke und Auflösungsvermögen oder – in der Sprache der Radiotechnik ausgedrückt – Empfindlichkeit und Trennschärfe. Beide Eigenschaften erfordern ein grosses Objektiv, ja die Objektivgrösse muss an die Grenze des technisch Realisierbaren getrieben werden. Letzten Endes ist aber eine Grenze durch die Anforderungen der Genauigkeit gesetzt. Dabei kommt es auf das Verhältnis der Fehler des Gerätes in seinen verschiedenen Längenmessungen zur Wellenlänge der zu empfangenden Strahlung an. Bei den Radio-Teleskopen gelangt man infolgedessen

zu Durchmessern der Parabolspiegel, welche die Objektivdurchmesser optischer Teleskope um ein Vielfaches übertreffen. Hinsichtlich Gewicht und Festigkeit der Geräte, Beanspruchung durch äussere Kräfte wie Winddruck und Schneelast, Erhaltung der Präzision trotz Temperaturschwankungen bieten sich dann technisch ausserordentlich schwierige Probleme.

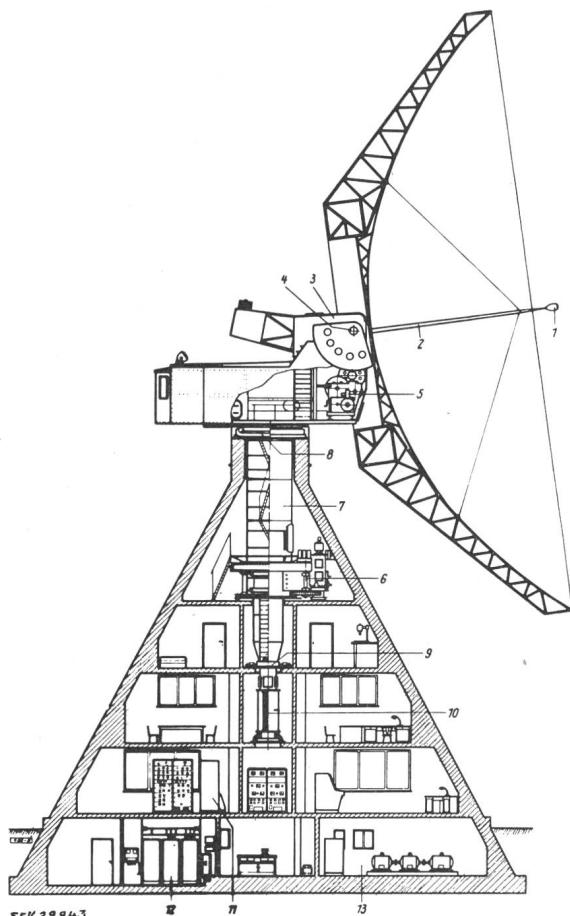


Fig. 2

Schnitt durch das 25-m-Radio-Teleskop der Universitätssternwarte Bonn auf dem Stockert

- 1 Dipol; 2 Koaxialleitung und Standrohr; 3 Messkabine;
- 4 Kippachse; 5 Kippwinkelgetriebe; 6 Drehwinkelgetriebe;
- 7 Drehsäule; 8 Kugellager; 9 Nivellierlager; 10 Schleifringpaket; 11 Empfängerraum; 12 Hochspannungsraum;
- 13 Amplidyne

Der auffallendste Bestandteil eines Radio-Teleskopes ist der parabolische Hohlspiegel. Er hat die einfallende Strahlung um den Brennpunkt herum zu sammeln. Dort wird sie von einem Empfangsdipol, einem kleinen Horn oder einer Schlitzantenne aufgenommen und dann dem Verstärker- und Detektorteil der Anlage zugeführt. Es liegt also ein Zweiantennen-System vor, in gewissem Sinne vergleichbar der Trennung von Objektiv und Okular beim optischen Teleskop.

Die Richteigenschaften sind daher nicht durch den Hohlspiegel allein gegeben. Die zusätzliche Wirkung des im Brennpunkt befindlichen Empfangsdipoles kommt noch wesentlich in Frage. Die Theorie der Radio-Richtantennensysteme ist während des 2. Weltkrieges in allen Einzelheiten ausgebaut worden. Die anschaulichkeit der zu führenden Überlegungen wird in vielen Fällen durch den

Satz erleichtert, dass ein Antennensystem sowohl in Emission wie in Absorption, d. h. sowohl beim Senden wie beim Empfang dasselbe Richtdiagramm besitzt. Wir werden daher im folgenden – wie dies üblich ist – häufig mit Vorteil die Antennensysteme der Radio-Astronomie als Sendesysteme betrachten, obwohl wir Richtfragen des Empfangs im Auge haben. Als ein weiteres, äußerst nützliches Hilfsmittel dient das Huygensche Prinzip. Dieses wichtige Wellenprinzip hat *Christian Huygens* bereits 1678 aufgestellt, wenn auch noch nicht in endgültiger Form. Es besagt, dass jeder Punkt einer Wellenfläche als Ausgangspunkt einer neuen Elementarwelle, einer sog. Huygensschen Sekundärwelle, betrachtet werden kann, und dass sich das resultierende Wellenfeld aus der Überlagerung aller Sekundärwellen ergibt. So gesehen ist jedes Wellenfeld seiner Natur nach das Ergebnis einer Interferenz von Sekundärwellen.

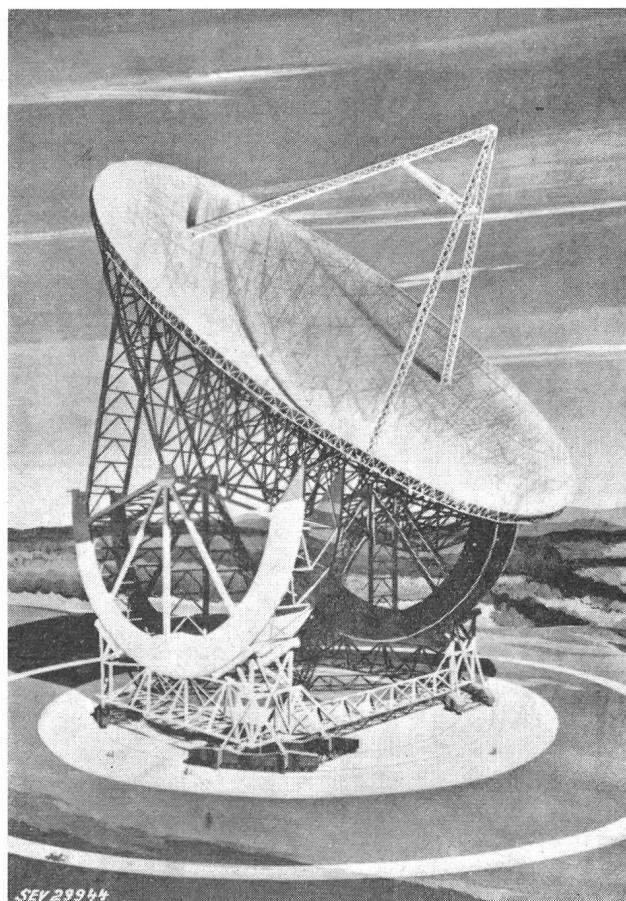


Fig. 3  
Radio-Teleskop der USA Naval Radio Research Station in Sugar Grove, West Virginia  
Spiegeldurchmesser 180 m

Das Huygenssche Prinzip erlaubt in erster Näherung eine einfache Theorie des Parabolspiegels, wenn dessen Öffnungsebene gleichförmig belegt mit synchron schwingenden sekundären Strahlungsquellen angenommen wird. Er strahlt dann wie eine gleichmäßig leuchtende Scheibe oder – in der Sprache der Akustik ausgedrückt – wie eine Kolbenmembran. Die normierte, d. h. auf einen Einheitswert bezogene Amplitude der Welle in einer

durch den Winkel  $\varphi$  gekennzeichneten Richtung berechnet sich nach der Beziehung (Fig. 4):

$$E(\varphi) = \frac{2\lambda}{D} \cdot \frac{J_1\left(\frac{\pi D}{\lambda} \sin \varphi\right)}{\sin \varphi}$$

$\lambda$  Wellenlänge;  $D$  Durchmesser der Spiegelöffnung;  
 $J_1(x)$  Besselsche Funktion 1. Ordnung vom Argument  $x$

Es ergibt sich also nicht nur ein einzelner Richtstrahl, sondern es sind deren mehrere. Neben der «Hauptkeule» treten noch «Nebenkeulen» auf. Diese Tatsache ist durch die Wellennatur der Erscheinung bedingt und von grundsätzlicher Art. Für die Richtschärfe entscheidend ist das Verhältnis

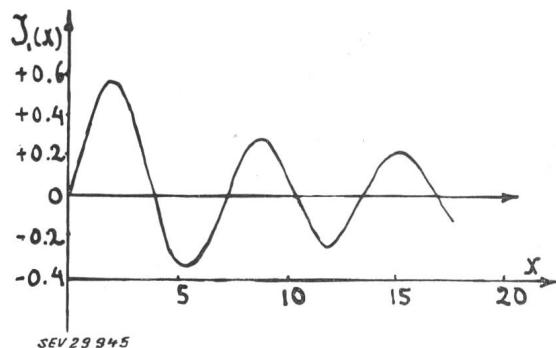
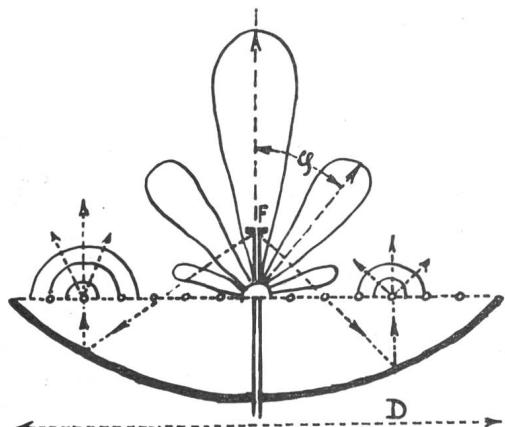


Fig. 4  
 Parabolspiegel (Richtwirkung)  
 Bezeichnungen siehe im Text

nis  $D/\lambda$ . Ist dieses gross, der Spiegeldurchmesser also ein erhebliches Vielfache der Wellenlänge, so ist die Hauptkeule schmal und die Richtwirkung gut. Dafür treten aber schon in geringem Winkelabstand Nebenmaxima auf. Diese sucht man dadurch klein zu halten, dass der Spiegel nicht gleichmässig ausgeleuchtet wird, d. h. dass die Belichtung von der Mitte gegen den Rand hin abfällt.

Auch ist die Winkelöffnung des Hohlspiegels, gemessen vom Fokus aus, von Bedeutung, mit andern Worten, das Verhältnis von Brennweite zu Öffnungs durchmesser. Man hat als Mass für die Spiegeltiefe die Zahl:

$$q = \frac{16 F^2}{D^2}$$

eingeführt ( $F$  Brennweite,  $D$  Spiegeldurchmesser). Flache Spiegelformen ( $q > 1$ ) ergeben im allge-

meinen gute Richtwirkungen bei merklichen Nebenmaxima, während tiefe Spiegelformen ( $q < 1$ ) die Richtwirkung vermindern, zugleich aber die Nebenmaxima dämpfen. Günstige Verhältnisse ergeben sich in der Regel für  $q$  gleich zwei bis drei.

### 3. Radio-Interferometer

Die Richtschärfe, mit andern Worten das Auflösungsvermögen eines Radio-Teleskops lässt sich nur durch Vergrösserung des Spiegeldurchmessers wesentlich verbessern. Dies ist eine grundsätzliche Erkenntnis. Letzten Endes wird man daher zu Gebilden geführt, die nicht mehr beweglich sind. Trotzdem gelingen hervorragende Lösungen, und zwar mit Hilfe der Radio-Interferometer.

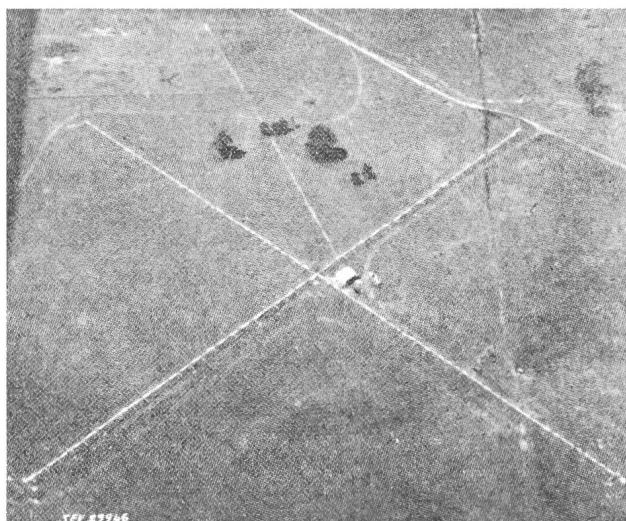


Fig. 5  
 Kreuzgitter nach Mills (Mills Cross) in Fleurs bei Sidney  
 Jeder der beiden Arme des Kreuzes ist 450 m lang

Die Grunderscheinung der Interferenz besteht in der Überlagerung der Wellenfelder, die von zwei synchron schwingenden Quellen herrühren. Das resultierende Feld ist dann durchzogen von Bereichen grösserer oder kleinerer Schwingungsamplituden, optisch gesprochen von hellen und dunklen Flächen. Der Abstand der beiden Quellen ist nun massgebend dafür, in welchen Richtungen sich Intensitätsmaxima bzw. -minima ausbilden. Bei sehr grossem Abstand werden die Maxima äusserst scharf, aber auch sehr zahlreich. Eine Interferenzanordnung in dieser Form ist für Messzwecke noch nicht brauchbar. Eine wesentliche Verbesserung wird erzielt, wenn man zwischen diese Quellen weitere Quellen in gleichmässigen Abständen  $a$  verteilt. Es stellt sich dann ein Interferenzbild ein, das in der Grobstruktur demjenigen zweier Quellen im kleinen Abstand  $a$  gleicht, jedoch sehr scharfe Maxima besitzt. Daneben tritt eine Feinstruktur von ganz kleinen Maxima und Minima auf. Genauer werden die Verhältnisse durch den in der Theorie der optischen Gitter wohlbekannten Ausdruck

$$E(\varphi) = E_0 \frac{\sin\left(m \frac{\pi a}{\lambda} \sin \varphi\right)}{\sin\left(\frac{\pi a}{\lambda} \sin \varphi\right)}$$

beschrieben.

Anordnungen von Empfangsantennen nach dem Gitter-Prinzip nennt man Radio-Interferometer. Kreuzgitter mit langen Armen ergeben ausgezeichnete Richtwirkungen (Fig. 5, 6).

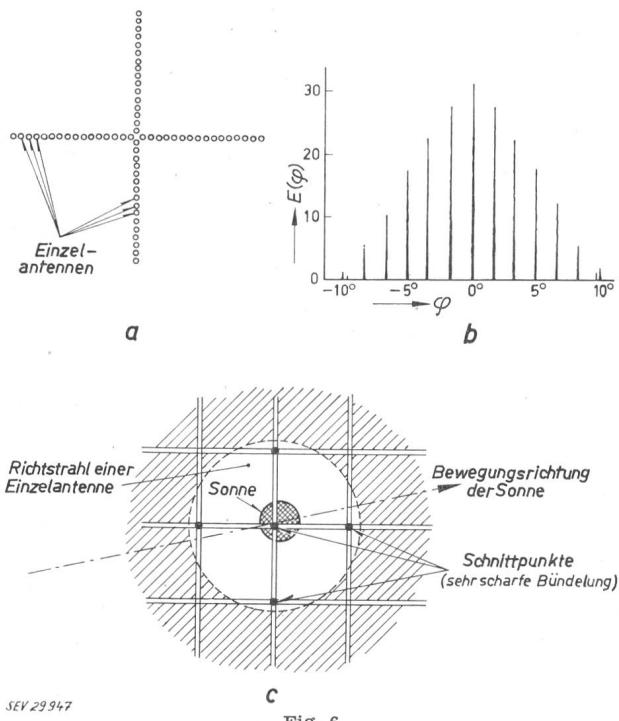


Fig. 6  
Kreuzgitter

- a Schema der Kreuzgitteranordnung
- b Interferenzmaxima eines einzelnen Gitter-Armes (in der Vertikalebene durch den Gitter-Arm)
- c Wanderung der Sonne durch ein feststehendes Empfangs-Richtbündel eines Kreuzgitters. Die kleinen schwarzen Kreise sind Querschnitte der verschiedenen Empfangs-Richtbündel. Der weiße Kreis entspricht dem Bündelungsquerschnitt einer Einzelantenne

#### 4. Verstärker und Grenzen der Verstärkung

Die Signale, die sowohl durch die Radio-Teleskope als durch die Radio-Interferometer empfangen werden, sind Frequenzgemische. Sie besitzen den Charakter des statistischen Rauschens. Man könnte daher bei gegebener Bandbreite ein identisches Signal erzielen durch einen angepassten Widerstand am Empfängereingang, der eine bestimmte Temperatur besitzt. Diese Temperatur kennzeichnet also in sehr einfacher Weise die Signalleistung und kann als Mass für dieselbe dienen. Man nennt sie allgemein die «Antennentemperatur». Sie ist aber weder mit der eigentlichen Temperatur des Antennensystems noch mit derjenigen der weit entfernten Strahlungsquellen zu verwechseln.

Nach bekannten Beziehungen gilt für die dem Empfänger zugeführte Nutzleistung:

$$P_N = S A_0 = 2 k T \cdot \Delta f$$

$S$  Dichte des Leistungsflusses der Strahlung am Empfangsort,  
 $A_0$  Nutzfläche (Absorptionsfläche) der Antenne,  
 $k$  Boltzmann-Konstante ( $1,380 \cdot 10^{-23}$  J/Grad),  
 $T$  absolute Temperatur (in °K),  
 $\Delta f$  Bandbreite des Empfängers (in Hz)

Für die Antennentemperatur ist:

$$T_A = \frac{P_N}{2 k \cdot \Delta f}$$

Die Leistungen der Eingangssignale, die hier in Frage kommen, sind häufig kleiner als der natürliche Störpegel des Empfängers oder übertreffen ihn nur wenig. Es ist daher notwendig, vom gesamten

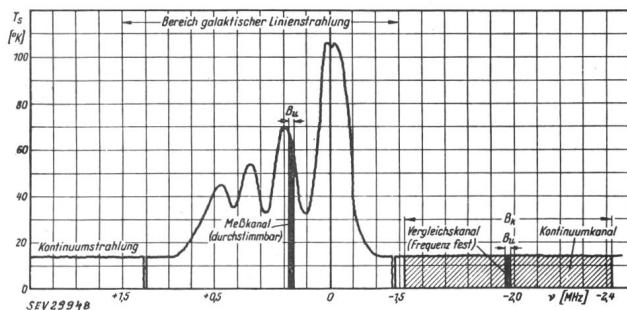


Fig. 7

Qualitatives Bild eines Linienprofils der Wasserstoffstrahlung. Die Linienstrahlung überlagert sich einer Kontinuumsstrahlung annähernd konstanter Strahlungstemperatur. Das gesamte Frequenzspektrum wird nach Art der Suchempfänger (variable Überlagerungszillatoren) durch ein sehr schmales Frequenzband abgetastet.

$B_k$  Bandbreite eines Kontinuumverstärkers  
 $B_u$  Bandbreite eines Linienverstärkers

senen Totalrauschen der Störpegel ohne Signal zu subtrahieren. Man gelangt so zu Vergleichs- oder Differenzmessungen. Die Messungen müssen in raschem Wechsel tausende von Malen wiederholt und ihre Ergebnisse gemittelt werden. Man hat für diese Zwecke besondere, sehr interessante Empfängerkonstruktionen entwickelt, die diese Operationen selbsttätig ausführen (Fig. 7, 8).

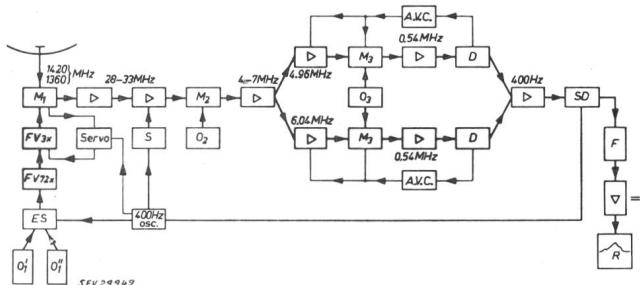


Fig. 8

Blockschema eines Empfängers (nach C. A. Müller)  
 $O_1'$  und  $O_1''$  Kristalloszillatoren der ersten Mischstufe;  $O_2$  bzw.  $O_3$  der zweiten bzw. dritten Mischstufe  $M_2$  bzw.  $M_3$ ;  $FV$  Frequenzvervielfacher;  $ES$  elektronischer Schalter;  $S$  Unterdrücker;  $D$  Detektoren;  $A.V.C.$  automatische Verstärkungsregelung;  $SD$  Synchrondetektor;  $F$  Tiefpassfilter;  $R$  Schreiber

Von grösster Bedeutung sind rauscharme Verstärker. Als solche sind in den letzten Jahren die parametrischen Verstärker (mit variabler Kapazitäts-Diode, Junction-Diode-Amplifier, Varactor) und die Molekularverstärker (MASER) entwickelt worden<sup>1)</sup> (Fig. 9).

#### 5. Radar-Echos und Satelliten

Seit den ersten Feststellungen von Radar-Echos am Mond im Jahre 1946 sind diese Versuche vielfach wiederholt worden. Ungleich schwieriger ist es, Radar-Echos von Planeten zu erhalten. Die Radar-Reichweite wächst nämlich nur mit der vierten Wurzel aus der Sendeleistung. Eine Verdoppelung

<sup>1)</sup> vgl. H. Heffner: Solid-State Microwave Amplifiers. IRE-Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1959, S. 83...91.

der Reichweite erfordert daher eine 16fache Steigerung der Sendeleistung oder eine entsprechende Erhöhung der Empfänger-Empfindlichkeit. Zur Zeit grösster Erdnähe ist aber der nächste Planet, Venus, 110mal und Mars 145mal weiter von uns entfernt als der Mond. Trotz der ausserordentlichen Schwierigkeiten sind aber Echo-Versuche an Planeten von hohem Interesse, und zwar vor allem wegen der Möglichkeit der direkten Distanzmessung im Weltraum.

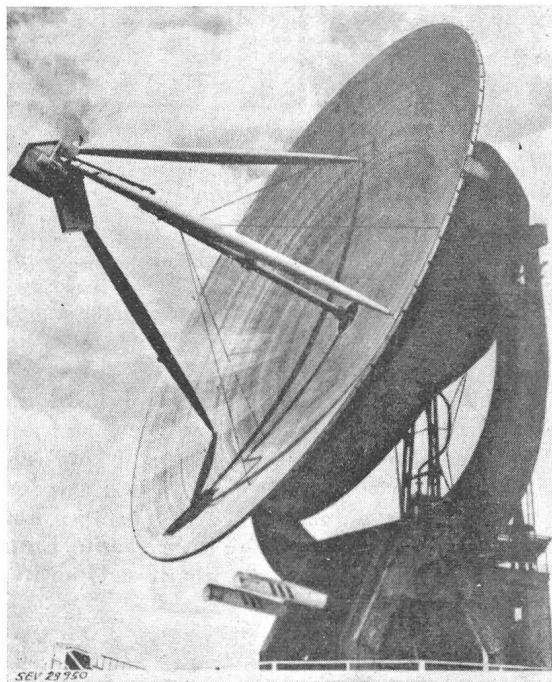


Fig. 9  
Radio-Teleskop des US-Naval-Research Laboratory  
in Washington

mit 3-cm-MASER-Verstärker der Columbia Universität, montiert im Fokus des Parabolspiegels. Nachweis der thermischen Radiostrahlung von Venus, Mars und Jupiter

Am 10. und 12. Februar 1958 gelang es einer unter der Leitung von *R. Price* und *P. E. Green jr.* stehenden Forschungsgruppe des Lincoln Laboratoriums des Massachusetts Institute of Technology, mit dem Planeten Venus Echo-Verbindung zu gewinnen. Die Entfernung betrug in jenem Zeitpunkt etwa 45 Millionen Kilometer. In regelmässigen Zeitabständen wurden je während fünf Minuten 4100 Impulse bei einer Frequenz von 4400 MHz (6,8 cm Wellenlänge) und einer Spitzenleistung von 265 kW gesendet. Von dieser Leistung erreichte nur etwa ein halbes Watt die Oberfläche der Venus, und nur rund  $10^{-21}$  W wurden als Echo schliesslich dem Empfänger zugeführt. Der Nachweis dieser unvorstellbar kleinen Leistung war nur möglich durch Verwendung eines Festkörper-MASER-Verstärkers, der bei der Temperatur des flüssigen Heliums arbeitete. Die Empfangsergebnisse wurden auf Magnetband registriert und mit Hilfe statistischer Vergleichsmethoden, wie z. B. der automatischen Kreuz-Korrelations-Analyse, auf das reelle Vorhandensein der Signale untersucht.

Die Laufzeit der Signale für Hin- und Rückweg wurde am 10. Februar 1958 zu 295,5065 s und am 12. Februar 1958 zu 302,9842 s gefunden. Der Mess-

fehler wird mit  $\pm 0,0005$  s angegeben. Daraus errechnet sich eine Distanz von Erde zur Venus von 44,326 bzw. 45,448 Millionen Kilometern. Der Unterschied röhrt von der Änderung des Abstandes her, die sich infolge der Bewegung von Erde und Venus innerhalb zweier Tage ergab.

Zu den Himmelskörpern müssen wir heute auch die künstlichen Satelliten zählen. Die Berechnung ihrer Bahn erfolgt nach astronomischen Methoden und die Kontrolle ihrer Bahn mit Hilfe der Radar-Technik. Die Satelliten sind Sonden zur Erforschung der höchsten Atmosphärenschichten und des Welt- raumes. Ihre elektronischen Einrichtungen wie Registriergeräte, Radio-, evtl. auch Fernsehsender usw. stellen ganz besondere Anforderungen an den Konstrukteur, handelt es sich doch um grösste Raumsparnis bei minimalem Gewicht. Hier ist der Transistor unentbehrlich. In enger Zusammenarbeit mit dem Internationalen Komitee für Weltraumforschung, dem COSPAR, hat sich nunmehr ein eigenes internationales Komitee für «Space-Electronics» gebildet.

Der erste erfolgreiche Abschuss eines Satelliten fand am 4. Oktober 1957 in Russland statt, sieben weitere folgten im Jahre 1958, 14 im Jahre 1959, und im Jahre 1960 sind es bereits erheblich mehr als ein Dutzend. Explorer VI mit Starttag am 7. August 1959 war erstmalig mit Sonnenbatterien zum Betrieb der elektronischen Geräte ausgerüstet; Lunik II mit Starttag am 12. September 1959 erreichte den Mond; Lunik III mit Starttag am 4. Oktober 1959 umkreiste als erster den Mond und übermittelte erstmalig Fernsehbilder von der Rückseite des Mondes.

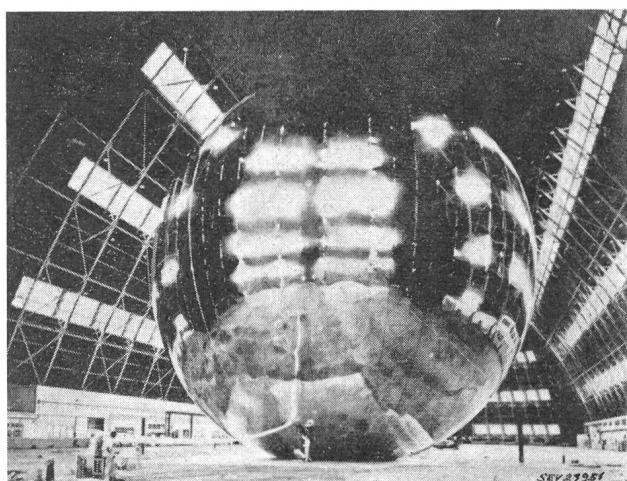


Fig. 10  
Kunststoff-Satellit für Echozwecke im Prüfstand  
Durchmesser 30 m, Außenfläche metallisiert

Die elektrische Nachrichtentechnik setzt grosse Erwartungen in die Verwendung von Satelliten. Sie hofft, durch Streuung sehr kurzer Radiowellen an Satelliten grosse Teile der Erdoberfläche mit Informationen versorgen zu können. Im Rahmen des grossangelegten Projektes «Operation Echo» in den USA ist zunächst das Lancieren von 24 Kunststoff-Balloons (Fig. 10) vorgesehen, die als reine Reflektoren die Erde umkreisen sollen. In einer zweiten Phase sollen 16 weitere Satelliten, ausgerüstet mit

Empfangs- und Sendeanlagen als eine Art aktive Relaisstationen in Bahnen von etwa 1600 km mittlerer Höhe in Umlauf gesetzt werden. Man nimmt an, Fernsehbilder oder mindestens 1000 simultane Telephongespräche oder mehrere hundert gleichzeitiger Fernschreibsendungen auf Distanzen von über 5000 km übertragen zu können.

Nie ist die technische Entwicklung mit so gewaltigen Anstrengungen vorwärts getrieben worden wie in unseren Tagen. Sie hat unserem Zeitalter den

Stempel aufgeprägt. Grundlegende Änderungen der Lebensformen von Menschen und Völkern werden die Folge sein. Dies ist unser Geschick, es nach bestem Können zu meistern unsere Aufgabe. Wir müssen dabei die Masstäbe anwenden, die sich für diese Erde eignen. Aber es ist gut, wenn wir wissen, dass es auch kosmische Masstäbe gibt.

Adresse des Autors:  
Prof. Dr. F. Tank, Frohburgstrasse 174, Zürich 6/57.

## Ergebnisse der Radio-Astronomie

Vortrag, gehalten an der 24. Hochfrequenztagung des SEV vom 26. Oktober 1960 in Bern,  
von M. Waldmeier, Zürich

523.164

*Die thermische Radioemission ist proportional der Temperatur und deshalb besonders stark bei der Sonne T = 6000 °K) und der Sonnenkorona (T = 2 · 10<sup>6</sup> °K), (Fig. 5). Von noch grösserer Intensität ist eine nicht thermische Komponente, die von Plasmashwingungen der Korona stammt. Auch die von den «Radionebeln» ausgehende kosmische Strahlung ist nicht thermischer Natur; diese Radioquellen sind Gasnebel mit grossen turbulenten Geschwindigkeiten oder auch anomale Sternsysteme. Der interstellare Wasserstoff emittiert eine Linie bei 21 cm Wellenlänge. Ihre Dopplerverschiebungen haben zur Erforschung des Aufbaues und der Kinematik des Milchstrassensystems viel beigetragen. Die Radarmethode ist in der Astronomie zur Zeit auf den Mond, die Venus und die Sonne beschränkt. Laufzeitmessungen und Frequenzverschiebungen haben eine Kartographie der Mondoberfläche ermöglicht und die Laufzeit der Venusechos hat die astronomische Einheit viel genauer zu bestimmen gestattet, als astrometrische Beobachtungen.*

*L'émission radioélectrique thermique étant proportionnelle à la température, le rayonnement du soleil et surtout de la couronne solaire, dont les températures montent à 6000 °K respectivement à 2 · 10<sup>6</sup> °K, est particulièrement haut. Mais la composante non thermique, qui est due à des oscillations de plasma de la couronne a une intensité même plus élevée. Le rayonnement cosmique émis par les «radionébuleuses» est non plus d'origine thermique; ces sources d'émissions radioélectriques sont où des nébuleuses de gaz animées de grandes vitesses turbulentes où des systèmes stellaires anomalies. L'hydrogène interstellaire émet à une longueur d'onde de 21 cm une raie, qui présente un moyen important pour l'exploitation de la voie lactée. Les effets Doppler de cette raie ont donné des dates concernant la structure et le mouvement de notre système stellaire. Jusqu'à présent la méthode «radar» est limitée à la lune, à la Venus et au soleil, en ce qui concerne l'astronomie. On a déjà réussi d'obtenir par les mesures de la durée des échos ainsi que des variations de fréquence une cartographie de la surface lunaire, et également de la durée de propagation des échos de la Venus de déterminer l'unité astronomique beaucoup plus précis que par des observations astrométriques.*

### Physikalische Grundlagen

Nach dem Planckschen Strahlungsgesetz emittiert ein heißer Körper elektromagnetische Strahlung jeder Wellenlänge, wenn auch mit sehr verschiedener Intensität. Diese ist bei einer vorgegebenen Wellenlänge  $\lambda$  nur eine Funktion der Temperatur  $T$  und hängt insbesondere nicht von der chemischen Konstitution des Strahlers ab:

$$I_\lambda = \frac{2 h c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h c}{k \lambda T}} - 1}$$

wobei  $h$  die Plancksche,  $k$  die Boltzmannsche Konstante und  $c$  die Lichtgeschwindigkeit bedeuten. Für das Gebiet der langen Wellen, wie sie im Radiogebiet vorliegen, vereinfacht sich die Strahlungsformel zu:

$$I_\lambda = \frac{2 k c}{\lambda^4} T$$

bzw. in der Frequenzskala:

$$I_\nu = \frac{2 k \nu^2}{c^2} T$$

Da die Intensität bei fester Frequenz der Temperatur proportional ist, kann man statt jener in

anschaulicher Weise die Äquivalenttemperatur angeben.

Die Radio-Astronomie ist durch unsere Atmosphäre auf die Wellenlängen von einigen Millimetern bis zu etwa 10 m beschränkt. Die kurzwellige Grenze ist durch den H<sub>2</sub>O-Gehalt bedingt, die langwellige durch die Ionosphäre, welche die kosmische Strahlung grösserer Wellenlänge ins Universum zurückschickt, wie sie terrestrische Wellen zur Erde reflektiert. Satelliten und Raumstationen werden gestatten, das Radiospektrum nach beiden Seiten zu erweitern.

Da die Radiowellen millionenmal länger sind als die Lichtwellen, ist das Auflösungsvermögen eines Radio-Teleskopes auch millionenmal kleiner als dasjenige eines gleich grossen optischen Teleskops. Ein solches von 100 cm Durchmesser besitzt im optischen Gebiet ein Trennungsvermögen von 0,1'', bei  $\lambda = 10$  cm dagegen müssen zwei punktförmige Strahlungsquellen schon 7° auseinander stehen um getrennt «gesehen» werden zu können. Grosse Radio-Teleskope sind nicht nur notwendig, weil die kosmischen Radioemissionen schwach sind, sondern auch um genaue Positionen der Radioquellen zu bestimmen. In vielen Fällen ist das angestrebte Ziel nur mit Interferometeranlagen bis zu mehreren Kilometern Ausdehnung erreichbar und