Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 50 (1959)
Heft: 1

Artikel: Technologische Probleme in der Fabrikation von Elektronenröhren
Autor: Meier, W.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1057776

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: 08.08.2025

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

diesem Gedanken vertraut zu machen und ferner zu beachten, dass der Entwurf und die Konstruktion

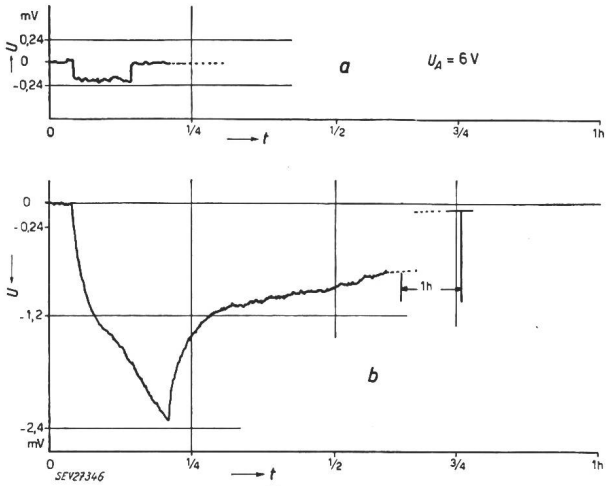

Fig. 17

Vergleich zwischen Netzgerät in Fig. 13 und 14 und einem Bleiakkumulator von 6 V und 80 Ah Ladevermögen

a Netzgerät, Belastung 1 A; *b* Akkumulator, Belastung 10 mA während 10 min

U Spannung; *t* Zeit

elektronischer Geräte ihren eigenen Gesetzen gehorcht, die oft wesentlich von denjenigen des Maschinenbaues abweichen.

Literatur

[1] *Nakamura, M.:* Forty-Megacycle Scaler. Rev. sci. Instrum. Bd. 28(1957), Nr. 12, S. 1015...1020.

[2] *Baldinger, E.* und *P. Santschi:* High Speed Transistorized Scale-of-Two. Nuclear Instrum. Bd. 2(1958), S. 128...129.

[3] *Baldinger, E., P. Santschi* und *P. Wehrli:* Ein dekadischer Transistoruntersetzer mit hohem Auflösungsvermögen. Helv. phys. Acta Bd. 31(1958), Nr. 6, S. 575...576.

[4] *Sugarman, R.:* Sampling Oscilloscope for Statistically Varying Pulses. Rev. sci. Instrum. Bd. 28(1957), Nr. 11, S. 933...938.

[5] *Vortrag,* gehalten von *P. R. Orman* am «Colloque International sur l'Electronique Nucléaire», September 1958 in Paris.

[6] *Mueller, C. W.* und *J. Hilibrand:* The «Thyristor»-A New High-Speed Switching Transistor. Trans. IRE on Electron Devices. Bd. ED-5(1958), Nr. 1, S. 2...5.

[7] *Baldinger, E.* und *W. Czaja:* Über stabilisierte Netzgeräte mit Transistoren. ZAMP Bd. 9(1958), Nr. 1, S. 1...25.
Middlebrook, R. D.: Design of Transistor Regulated Power Supplies. Proc. IRE Bd. 45(1957), Nr. 11, S. 1502...1509.

[8] *Baldinger, E.* und *W. Czaja:* Ein stabilisiertes Netzgerät hoher Güte mit Transistoren. ZAMP Bd. 9a(1958), Nr. 3, S. 291...292.

Adresse des Autors:

Prof. Dr. *E. Baldinger,* Physikalisches Institut der Universität Basel, Klingelbergstrasse 82, Basel.

Technologische Probleme in der Fabrikation von Elektronenröhren

Vortrag, gehalten an der 22. Hochfrequenztagung des SEV am 9. Oktober 1958 in Baden,

von *W. Meier,* Baden

621.385.1.002.2

Es werden die technologischen Probleme, die bei der Fabrikation von Elektronenröhren auftreten, besprochen. Insbesondere werden folgende Probleme diskutiert: vakuumdichte Verbindungen; Elektrodenkonstruktion; Reinigung der Röhreninnenteile; Kühlung. Anhand von Bildern werden verschiedene, charakteristische Werkstoffe gezeigt und Arbeitsverfahren erläutert. Es wird gezeigt, dass in der Vakuumtechnik die leichte Entgasbarkeit, eine geringe Kathodenzerstäubung und ein bestimmtes Wärmeausdehnungsverhalten von grösserer Bedeutung sind als die üblichen mechanischen und elektrischen Eigenschaften. Darüber hinaus spielt die höchste Reinheit bei allen Röhreninnenteilen eine ausschlaggebende Rolle.

Discussion des problèmes d'ordre technologiques que présente la fabrication de tubes électroniques, notamment pour les connexions étanches au vide, la construction des électrodes, le nettoyage des parties intérieures des tubes, ainsi que le refroidissement. A l'aide de figures, différents matériaux caractéristiques sont indiqués et des procédés de travail commentés. Dans la technique du vide, la facilité de dégazage, un empoussiérage réduit des cathodes et un certain comportement d'expansion thermique ont une plus grande importance que les propriétés mécaniques et électriques usuelles. En outre, le maximum de propreté de toutes les parties intérieures des tubes joue un rôle essentiel.

1. Einleitung

Bei der Fabrikation von Elektronenröhren treten technologische Probleme auf, die oft verschieden sind von jenen, welche man in der übrigen Technik normalerweise antrifft.

Eine Röhre ist — technologisch gesehen — ein vakuumdichtes Gefäss aus Glas, Metall oder Keramik, das Hochvakuum oder ein spezielles Füllgas bei niedrigem Druck einschliesst, in dem zwischen Elektroden mit isolierten metallischen Zuführungen ein Strom fliesst; dieser oft relativ hohe Strom soll gleichgerichtet werden und in den meisten Fällen durch Hilfselektroden (Gitter) steuerbar, das heisst in seiner Stärke veränderlich sein. Die folgenden technologischen Probleme sollen daher besprochen werden:

— Es müssen vakuumdichte Verbindungen hergestellt werden zwischen verschiedenen Metallteilen sowie zwischen Metall und Glas oder Metall und Keramik.

— Es sind Elektroden zu bauen, die besonders leicht Elektronen emittieren (für Kathoden) und umgekehrt auch besonders schlecht emittierende Elektroden (für Anoden und Gitter).

— Es müssen Massnahmen getroffen werden, damit die Emission der Kathoden nicht durch eine Verschlechterung des Hochvakuums bzw. eine Verunreinigung der Füllgase beeinträchtigt wird.

— Die beim Betrieb der Röhre entstehende Wärme muss so gut abgeführt werden, dass sie keine schädlichen Auswirkungen hat.

Die Liste der sich stellenden Probleme könnte natürlich erweitert werden, doch ist es auch bei den erwähnten nicht möglich, mehr als ein paar ausgewählte Teilprobleme zu behandeln.

2. Vakuumdichte Verbindungen

a) Lötverbindungen

Wie weiter unten dargelegt wird, müssen die zusammengebauten Röhren beim Auspumpen auf eine Temperatur von einigen Hundert °C erhitzt werden, damit eine gute Entgasung der Gefässwände möglich ist. Daher kommen fast ausschliesslich Hartlötungen zur Anwendung, das heisst man verwendet Lote mit relativ hohem Schmelzpunkt. Zudem kommen keine Lotmetalle oder -legierungen in Frage, deren Dampfdruck nicht sehr niedrig ist. So sind alle Lote ausgeschlossen, die leichtflüchtige Elemente wie Cadmium, Blei, Zink enthalten. Von

den höherschmelzenden Metallen bleiben daher praktisch nur Silber, Kupfer, Gold, Nickel, Palladium und ihre Legierungen übrig. Für die Verbindung von thermisch sehr hoch belastetem Molybdän- oder Wolframteilen werden auch Platin und Zirkonium als Lot verwendet. In Fällen, wo die Röhren mit Quecksilberdampf betrieben werden, kommt als weitere Einschränkung in der Auswahl des Lotes hinzu, dass es quecksilberfest sein muss.

Eine Besonderheit der Lötung von Röhrenteilen besteht auch darin, dass die Anwendung von Flussmitteln in den meisten Fällen nicht in Frage kommt, da die Flussmittelreste selten völlig beseitigt werden können und Anlass zu Störungen geben. Daher wird fast ausschliesslich im Vakuum oder unter Schutzgas gelötet. Die Erhitzung erfolgt meist im Ofen oder mit Hochfrequenz.

Als Schutzgas verwendet man hauptsächlich Wasserstoff oder eine Mischung von Wasserstoff und Stickstoff. Die reduzierende Wirkung des Wasserstoffes hat den gleichen Einfluss wie ein Flussmittel. Allerdings sind mit der Lötung in Wasserstoff auch gewisse Gefahren verbunden, wenn nämlich die zu verbindenden Metalle (vor allem Kupfer) sauerstoffhaltig sind. Der in das Metall eindiffundierende Wasserstoff verbindet sich mit dem Sauerstoff zu Wasserdampf, welcher das Metallgefüge

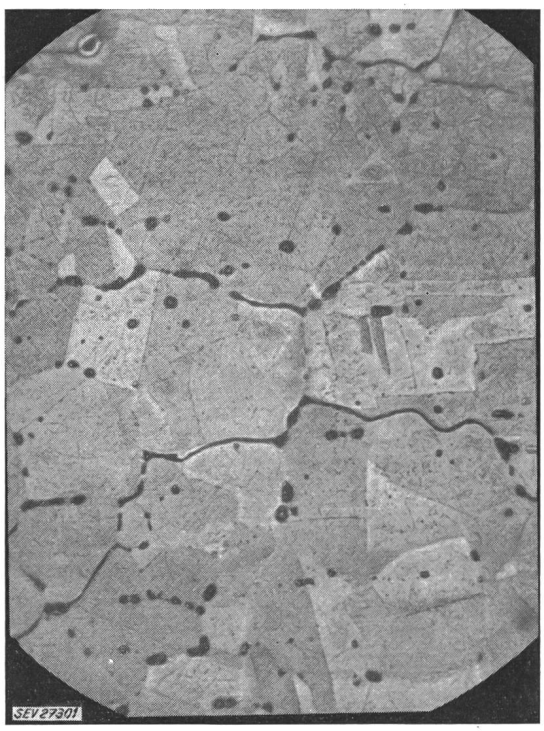

Fig. 1
Wasserstoffkrankes Kupfer, das sich beim Löten mit Silberlot vollgesogen hat
Vergrösserung 200fach

sprengt («Wasserstoffkrankheit»). Damit geht die Vakuumdichtigkeit verloren; zudem saugt das schwammig gewordene Metall das flüssige Lot auf, so dass die Lötfuge nicht ausgefüllt wird (Fig. 1). Der Sauerstoffgehalt muss daher, besonders beim Kupfer, durch die Eingangsprüfung sorgfältig überwacht werden.

Ein weiteres Problem ist die Lotsprödigkeit. Als solche bezeichnet man das Eindringen des flüssigen Lotes in ein Metallgefüge, das unter Zugspannung steht (Fig. 2). Bei dieser Erscheinung wird wiederum die Vakuumdichtigkeit in Frage gestellt. Durch Auswahl geeigneter Verbindungspartner und Lote, günstige Formgebung, Beseitigung allfälliger Spannungen durch Glühbehandlung vor dem Löten und Vermeidung von Zugspannungen infolge ungleichmässiger Temperatur des Lötgutes während der Lötung kann die Lotsprödigkeit vermieden werden.

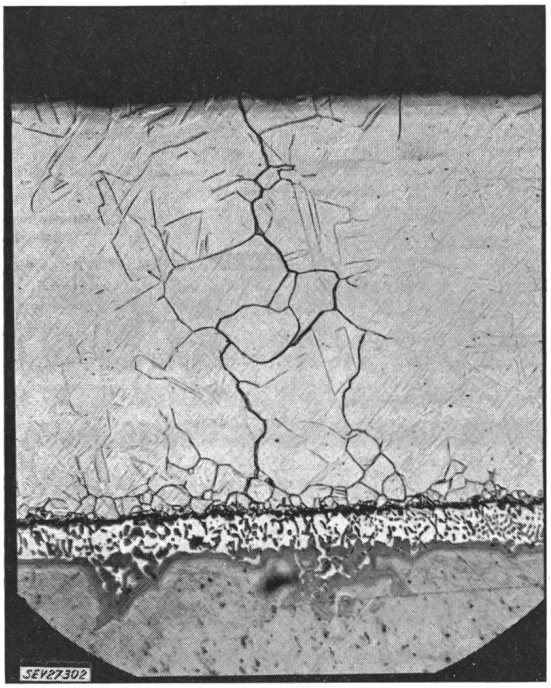

Fig. 2
Lotsprödigkeit bei «Kovar»-Blech
Das Lot ist entlang den Korngrenzen ins Gefüge eingedrungen
Vergrösserung 150fach

b) Schweissverbindungen

Neben den Lötverbindungen spielen im Röhrenbau auch die Schweissverbindungen eine sehr wichtige Rolle. Punkt- und Nahtschweissungen sowie Lichtbogenschweissungen, wie sie für viele Verbindungen bei Röhreninnenteilen verwendet werden,, bieten wenig Besonderheiten, wenn man davon absieht, dass sich nicht alle Metallkombinationen miteinander verbinden lassen. Verschiedene Probleme treten dagegen auf, wenn die Verbindungen vakuumdicht sein müssen. Es darf dann natürlich keine einzige auch noch so feine durchgehende Pore vorhanden sein, auch darf die Naht in keiner Weise zu Rissbildung neigen.

Oft werden Metalle mit stark verschiedenen Wärmeausdehnungsverhalten miteinander verschweisst, z. B. Kovar mit Eisen, das einen fast dreimal höheren Ausdehnungskoeffizienten besitzt. In solchen Schweissnähten sind starke Spannungen unvermeidlich. Daher muss man dafür sorgen, dass keinerlei Versprödung auftritt, da sich sonst Risschen bilden können. Es hat sich nun bewährt, derartige Schweissverbindungen mit Hilfe des Argonarc-Verfahrens herzustellen, wobei eine spezielle Metallegierung zwischen die Verbindungspartner

eingelegt wird, welche einen etwas tieferen Schmelzpunkt als die zu verbindenden Metalle besitzt. Dieser Zusatz wird teilweise in die Schweissnaht einlegiert und macht sie duktiler; zudem bewirkt das niedriger schmelzende Zusatzmaterial in der kälteren Nachbarzone der Schweissnaht eine Hinterlötung, welche die ganze Verbindung verstärkt und eventuell vorhandene Poren schliesst.

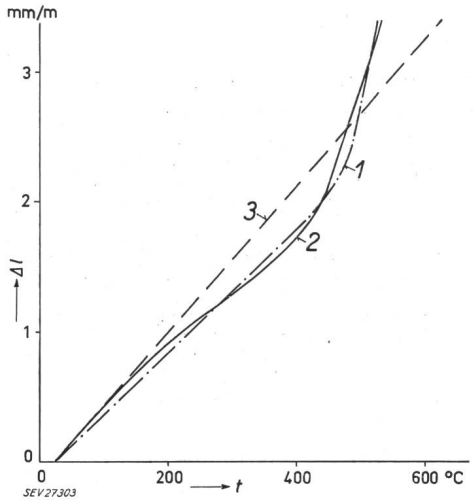

Fig. 3
Ausdehnung von Kovarglas (1), Kovar (2) und Molybdän (3)
Δl Ausdehnung; t Temperatur

c) Glas-Metall-Verbindungen

Glas kann vakuumdicht mit bestimmten Metallen verschmolzen werden. Die geringe Zugfestigkeit und die kleine Verformbarkeit des Glases in kaltem Zustand bedingen jedoch spezielle Massnahmen, um Glas-Metall-Verbindungen brauchbar zu machen. Vor allem müssen innere Spannungen infolge ungleicher Wärmeausdehnung von Glas und Metall auf ein Minimum herabgesetzt werden. Das gelingt am besten durch Auswahl von Verbindungspartnern, die möglichst gut übereinstimmende Ausdehnungskurven aufweisen (Fig. 3). Aus diesem Grund wurden spezielle Legierungen wie z. B. das «Kovar» (eine Eisen-Nickel-Kobalt-Legierung) entwickelt, deren Ausdehnungsverhalten dem des Glases so ähnlich sind, dass sich selbst sehr grosse Verbindungen mühelos herstellen lassen. Voraussetzung ist allerdings eine genaue Überwachung der Ausdehnungseigenschaften bei Glas und Einschmelzmetall, was am besten durch spannungsoptische Kontrolle von Probeverglasungen im polarisierten Licht geschieht (Fig. 4). Das Verschmelzen von Glas und Metall erfolgt normalerweise in der Gasflamme bei 800...1000 °C (Fig. 5) oder durch Hochfrequenzerhitzung (Fig. 6).

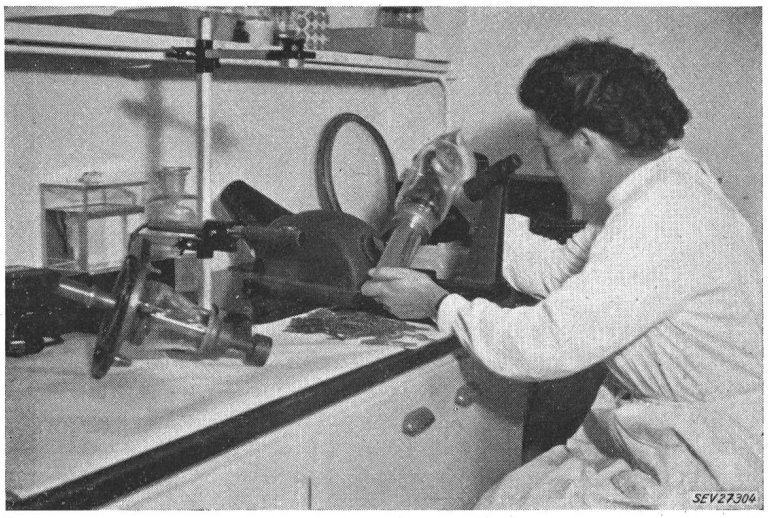

Fig. 4
Spannungsoptische Kontrolle von Glas—Metallverschmelzungen im Polariskop

3. Kathoden

Bei der Besprechung des empfindlichsten und in gewissem Sinne wichtigsten Teils einer Röhre, der Kathode, wollen wir uns beschränken auf die thorierte Wolframkathode, welche in vielen Senderöhren verwendet wird, sowie die Oxydkathode, die vor allem in Gasentladungsröhren und Hochvakuumgleichrichterröhren zur Anwendung kommt.

a) Thorierte Wolframkathoden

Die Elektronenemission kalter Metalle ist klein; sie wächst aber sehr stark mit der Temperatur an. Daher verwendet man oft hocherhitzbare Metalle für Kathoden, vor allem Wolfram.

Setzt man dem Wolfram Thoriumoxyd zu, so wird dieses bei hoher Temperatur durch das umgebende Wolfram zu metallischem Thorium reduziert.

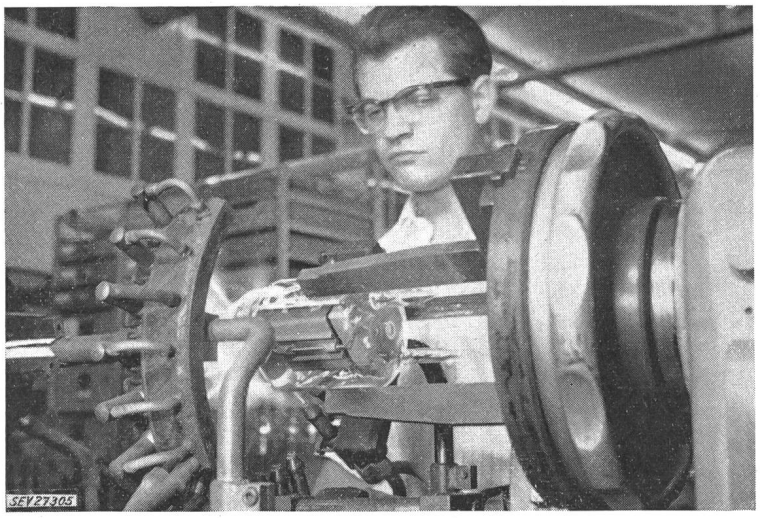

Fig. 5
Flammenverglasung: Verschmelzen von Glas und «Kovar» im Brennerkranz einer Glasdrehbank

Dieses diffundiert anschliessend langsam an die Oberfläche. Eine derartige Kathode ergibt bereits bei 1400 °C eine höhere Elektronenausbeute als reines Wolfram bei 2100 °C.

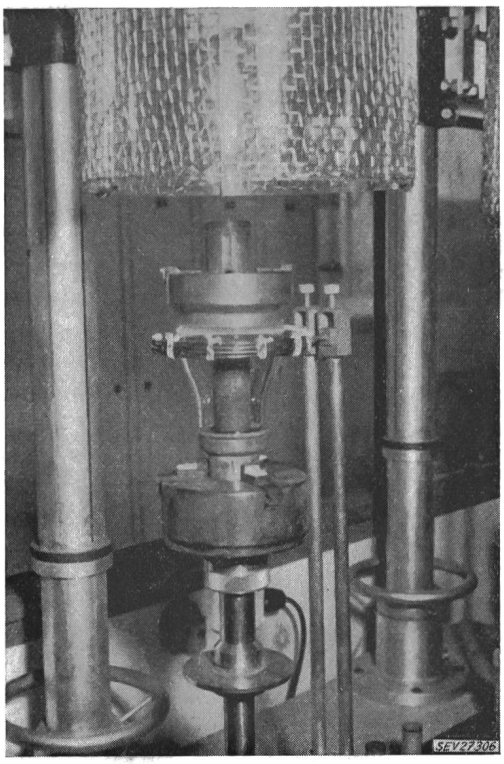

Fig. 6
HF-Induktionsspule
Die (im Bild hochgezogene) Glasglocke erlaubt Spülung mit Schutzgas

Die Emission erreicht ein Maximum, wenn die Wolframoberfläche vollständig mit einer einatomaren Thoriumschicht bedeckt ist. Dickere Schichten müssen vermieden werden, weil sonst zu viel Thorium abdampft. Die Verdampfung der einatomaren Schicht kann vermindert werden, wenn man die Kathode oberflächlich karburiert, d. h. durch Glühen in organischen Dämpfen wie Naphthalin- oder Benzoldampf in Karbid überführt. Der Karbidkohlenstoff erleichtert zudem die Reduktion des Thoriumoxydes, die daher in karburierten Drähten schon bei wesentlich niedrigeren Temperaturen vorsich gehen kann. Die Thoriumverluste der Oberflächenschicht werden durch Nachdiffusion von Thorium aus dem Drahtinnern wieder ausgeglichen.

Das von der Kathode abgedampfte Thorium schlägt sich auf den kälteren Röhrenteilen nieder. Daher müssen die Gitter in Röhren mit thorierter Wolframkathode mit speziellen Überzügen versehen werden, die eine zu grosse Gitteremission infolge von aufgedampftem Thorium verhindern. Man kann die Gitter beispielsweise aus Molybdän- oder Wolframdrähten mit Platinmantel herstellen (Fig. 7). Oft bedeckt man auch die Gitter mit einer Zirkoniumschicht. Das geschieht vorteilhaft durch kataphoretischen Auftrag von Zirkoniumpulver, das anschliessend im Hochvakuum bei hoher Temperatur aufgesintert wird.

Bei der Kataphorese wird das Gitter in einer Suspension von Zirkoniumpulver als Kathode geschaltet. Die in einer Flüssigkeit, z. B. Isobutylalkohol aufgeschlämmten Zirkoniumteilchen werden durch Absorption von Ionen positiv aufgeladen. Analog den Verhältnissen bei der Elektrolyse wandern sie darauf unter der Wirkung des elektrischen Feldes an das negativ geladene Gitter, wo sie sich unter Abgabe ihrer Ladung abscheiden. Der Hauptvorteil der thorierten Wolframkathode gegenüber der reinen Wolframkathode ist ihre kleinere Heizleistung. Zudem ergibt sie bei gleicher Lebensdauer eine wesentlich grössere Emissionsdichte. Als Nachteil muss die bedeutend grössere Vergiftungsanfälligkeit gegenüber Gasresten erwähnt werden. Besonders schädlich sind bereits kleinste Spuren Sauerstoff.

Es ist einleuchtend, dass das für Kathoden benützte Drahtmaterial vor Verwendung sorgfältig geprüft werden muss, wobei nicht nur die Analyse, sondern auch die mechanischen Eigenschaften in kaltem und heissem Zustand, die Oberflächenbeschaffenheit usw. von Bedeutung sind. Da die Drähte zu Rissbildung längs der Faserachse neigen und derartige Risse später zu unerwünschten Deformationen Anlass geben können, ist auch eine Kontrolle auf innere Risse notwendig. Das geschieht beispielsweise mit Hilfe von Wirbelstromverfahren,

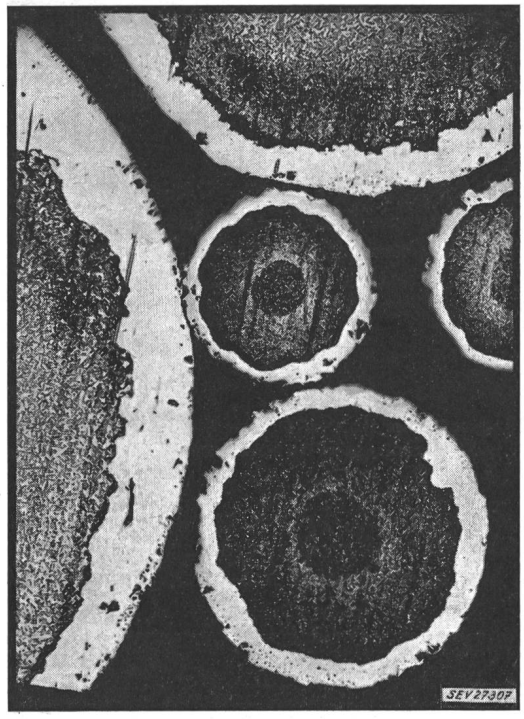

Fig. 7
Querschliff durch Wolfram-Platinmanteldrähte
Durch Erhitzen auf hohe Temperatur ist Platin aus dem Mantel in den Wolframkern diffundiert (hellere Diffusionszone) Vergrösserung 120fach

bei denen der Draht durch eine von Wechselstrom durchflossene Testspule gezogen wird (Fig. 8). Risse werden auf dem Schirm eines Kathodenstrahlrohres angezeigt, indem ein Liniensignal sich zu einer Ellipse öffnet. Das gleiche Gerät gestattet gleichzeitig die Überwachung des Drahtdurchmessers, indem bei Abweichung dieses Durchmessers von der Norm eine Neigung des normalerweise waagrechten Liniensignals eintritt.

b) Oxydkathoden

Zur Herstellung der Oxydkathoden wird auf ein Trägermetall — fast immer auf Nickel — ein Überzug aus Mischkarbonaten des Bariums, Strontiums und meistens auch Kalziums aufgetragen. Das geschieht hauptsächlich durch Spritzen oder durch Kataphorese. Die Schichtdicke muss genau überwacht werden, was durch Wägen vor und nach der Bedeckung geschehen kann.

Nach dem Einbau der Kathode in die Röhre wird die Karbonatschicht unter gleichzeitigem Abpumpen des sich bildenden Kohlendioxydes durch Erhitzen in die Erdalkalioxyde übergeführt. Dann wird durch Anlegen von Anodenspannung ein Strom quer durch die Schicht getrieben, in der durch Elektrolyse freies Barium entsteht. Dieses diffundiert langsam an die Oberfläche, wobei sich ein Zustand ausbildet, der besonders leicht Elektronen abgibt.

Fig. 8
Drahtrissprüfgerät zur Kontrolle von Wolframdrähten

Häufig erleichtert man die Bildung des freien Bariums dadurch, dass man dem Trägermetall kleine reduzierende Zusätze wie Silizium, Magnesium oder Aluminium beigibt. Diese setzen sich an der Metalloberfläche mit dem Bariumoxyd der Oxydschicht um. Dabei entsteht freies Barium, das durch Diffusion an die Schichtoberfläche wandert, während die übrigen Reaktionsprodukte zwischen Metall und Oxyd eine Zwischenschicht bilden. Diese kann schädliche Wirkung haben, wenn sie schlechte Leitfähigkeit besitzt, wie beispielsweise die auf siliziumhaltigem Nickel sich bildende Zwischenschicht aus Bariumsilikat. Weiter können reduzierende Zusätze zum Trägermetall zu starke Bariumbildung bewirken, was übermässige Bariumverdampfung ergibt und dadurch zu unerwünschten Erscheinungen führen kann.

Da bei den Oxydkathoden die Elektronenemission wie bei den thorierten Wolframkathoden an das Vorhandensein einer äusserst dünnen, chemisch hoch aktiven Oberflächenschicht gebunden ist, sind sie ebenfalls sehr empfindlich gegen Gasreste, besonders gegen Sauerstoff und Schwefelverbindungen. Nur Wasserstoff, Edelgase und Quecksilberdampf haben keinen die Emission schädigenden Einfluss.

4. Reinigungsprobleme

Die grosse Vergiftungsanfälligkeit der Oxydkathoden bzw. thorierten Wolframkathoden ist ein Hauptgrund für die Notwendigkeit, bei der Röhrenfabrikation peinlichste Sauberkeit einzuhalten. Aber auch sonst gibt es noch Gründe genug, um höchste Reinheit bei allen Röhreninnenteilen zu verlangen.

Als Beispiel sei dargelegt, was geschieht, wenn in einer Röhre mit gewöhnlicher, also nicht vergiftungsanfälliger Wolframkathode Spuren von Wasserdampf zurückbleiben: Dieser Wasserdampf reagiert an der heissen Kathode unter Bildung von Wasserstoff und Wolframoxyd, das sofort verdampft und an einer kälteren Stelle wieder kondensiert. Dort wird das Wolframoxyd durch den vorher gebildeten Wasserstoff wieder reduziert, wobei sich Wasserdampf zurückbildet. Dieser wird an der heissen Kathode wiederum umgesetzt. So entsteht ein Transportkreislauf, bei dem die Kathode bis zur Zerstörung abgebaut wird. Zudem bilden sich an unerwünschten Stellen Schichten von Wolframmetall, die Isolationsstrecken leitend machen können oder sich bei genügender Schichtdicke von der Unterlage ablösen und dann zu Kurzschlüssen z. B. zwischen Gitter und Kathode führen können.

In ähnlicher Weise sind auch Materialtransporte möglich, wenn von Beizoperationen oder galvanischen Prozessen her auch nur kleinste Reste von Chloriden oder Zyaniden übrig bleiben, wenn an bestimmten Stellen Handschweißspuren vorhanden sind, usw. Dabei sind derartige Transporte nicht etwa nur auf einen Abbau der Kathode beschränkt, sondern es können auch Gitter, Anoden usw. in Mitleidenschaft gezogen werden.

Die allgemeine Forderung nach Reinheit beginnt bereits beim Einkauf der Röhrenwerkstoffe. Dieser muss auf Grund von eingehenden und präzisen Spezifikationen erfolgen. Die Materialeingänge müssen streng in bezug auf ihre Qualität geprüft werden.

Die Methoden der Formgebung unterscheiden sich nicht wesentlich von den in der normalen Technik üblichen. Für die Metallverarbeitung ist jedoch kennzeichnend die weitgehende Vermeidung von Fetten und Ölen, oder — soweit auf Schmierung nicht verzichtet werden kann, z. B. beim Tiefziehen — die Verwendung ganz bestimmter Schmiermittel. Bei diesen ist wichtiger als ihre Schmierfähigkeit die Erfüllung der Forderung, dass sie die Metalloberfläche in keiner Weise verändern und sich nach ihrer Anwendung wieder vollständig rückstandsfrei entfernen lassen.

Die Oberflächen der geformten Metallteile müssen peinlich von äusseren Verunreinigungen, Oxydschichten usw. gesäubert werden. Das geschieht im

allgemeinen so, dass zunächst grobe Verunreinigungen mechanisch entfernt werden. Fettschichten werden durch Waschen in organischen Lösungsmitteln wie Perchloräthylen, Alkohol-Äther-Mischungen

Fig. 9
Ultraschallbad zur Reinigung von Kathodenteilen

usw. beseitigt, Oberflächenverunreinigungen durch Beizen oder Elektropolieren. Besonders gute Reinigung von äusserlich anhaftendem Schmutz auch in schwer zugänglichen Löchern und Fugen erreicht man mit Hilfe von Ultraschall-Reinigungsbädern (Fig. 9). Glasteile müssen mit Waschmittellösungen, zum Teil auch mit Flußsäure gereinigt werden.

Die oberflächlich gereinigten Teile werden nun noch einer «inneren Reinigung» unterworfen. Praktisch alle Materialien, Metalle, Gläser, Graphit usw. enthalten gelöste oder sonstwie eingeschlossene Gase, die bei höherer Temperatur und niederem Druck langsam abgegeben werden. Um zu verhindern, dass diese Gasabgabe während des Betriebes der Röhre stattfindet und deren Funktion beeinträchtigt oder verunmöglicht, müssen die meisten Teile vor dem Einbau vorentgast werden durch Erhitzen in Vakuum oder in Wasserstoff.

Bei der Vakuumentgasung werden die Teile z. B. in einem Molybdänzylinder in eine Quarzglocke gebracht, die mit einer Hochvakuumpumpe in Verbindung steht (Fig. 10). Nach Auspumpen der Glocke wird der Molybdänbehälter unter ständigem Pumpen mit Hilfe von Hochfrequenz auf die gewünschte Temperatur gebracht, die mit einem optischen Pyrometer kontrolliert wird.

Bei der Wasserstoffvorentgasung werden gleichzeitig im Metall vorhandene Oxyde reduziert. Der an Stelle der andern Gase aufgenommene Wasserstoff diffundiert leicht wieder aus dem Metall heraus, wenn dieses beim Pumpen der Röhre erhitzt wird.

Da die vorentgasten Teile an der Luft sehr rasch wieder Gase aufnehmen, darf die Vorentgasung erst unmittelbar vor der Montage erfolgen, oder die Teile müssen in der Zwischenzeit im Vakuum aufbewahrt werden. Zudem muss man der Tatsache Rechnung tragen, dass Luftverunreinigungen, wie sie in Industriegebieten leicht möglich sind, bei Einwirkung auf vorentgaste Teile besonders schädliche Auswirkungen haben können.

Eine letzte Reinigung der Teile erfolgt in der fertig zusammengebauten Röhre beim Pumpen. Dabei wird zuerst die ganze Röhre und damit auch die Glas- und Keramikteile durch Erhitzen im Ofen entgast und darauf die Metall- und Graphitelektroden noch einmal bei erhöhter Temperatur durch Erhitzen mittels Hochfrequenz oder Strombelastung (Fig. 11).

Der Dampfdruck des Glases selbst ist zwar sehr gering. Während des Lagerns und Verarbeitens bildet sich jedoch an seiner Oberfläche eine wasserhaltige, oft auch karbonatreiche Schicht. Zudem sind auch im Glasinneren Gase gelöst. Diese werden beim Erhitzen im Vakuum langsam abgegeben; gleichzeitig zersetzt sich auch die Oberflächenschicht unter Gasabgabe. Damit beim Betrieb der Röhre keine Gasabgabe vom Glas her stattfindet, muss die Entgasung beim Pumpen im Ofen bei

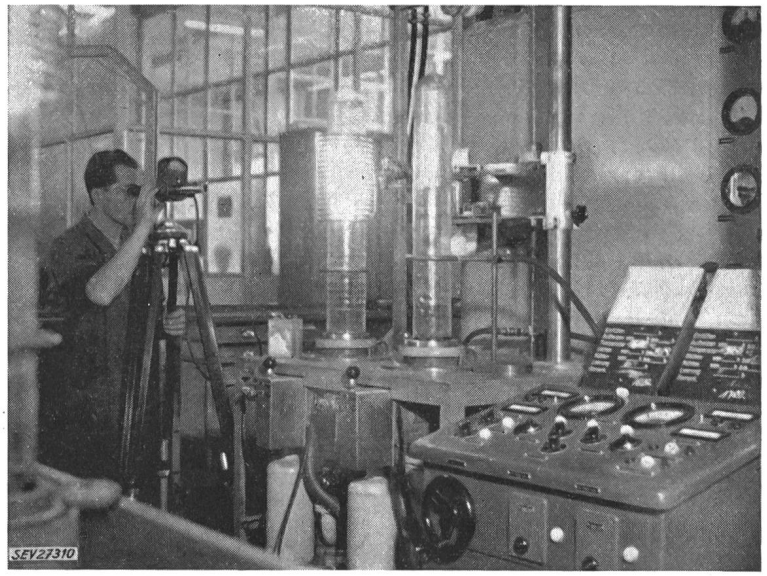

Fig. 10
Hochvakuumglühstand

rechts: 40-kW-HF-Generator mit Kontrolltisch
Mitte: Hochvakuumpumpen mit aufgesetzten Quarzglocken; in der einen wird ein Molybdängefäss mit Hilfe einer HF-Induktionsspule erhitzt
links: Temperaturkontrolle mit optischem Pyrometer

350...500 °C vorgenommen werden, je nach Glasqualität.

Bei den Queckilberdampfröhren ergeben sich neue Probleme, da in die Röhre eingefülltes Quecksilber bei der Ofenheizung auf der Pumpe vollständig verdampfen würde. Man darf daher das Quecksilber erst nach dieser Heizoperation einbringen oder muss auf das Ausheizen verzichten, was gefährlich ist. Man kann aber auch das Quecksilber in Form einer Verbindung einführen, welche die Entgasungstemperatur ohne Zersetzung erträgt und das Quecksilber erst nach der Entgasung durch Hochfrequenzerhitzung aus dieser Verbindung freisetzen.

Da es auch bei sorgfältigster Arbeit kaum vermeidbar ist, dass im Verlauf des Röhrenlebens noch kleine Gasmengen aus den Röhren austreten, baut man in die Röhre sehr oft ein Getter ein. Das ist ein Stoff, welcher die Fähigkeit hat, Gasreste unter Bildung von chemischen Verbindungen oder durch Adsorption zu binden.

Getterwirkung haben die meisten Metalle in dampfförmigem bzw. feinverteiltem Zustand (vor allem Alkali- und Erdalkalimetalle), ferner einige massive Metalle wie Tantal und Zirkonium. Als Verdampfungsgetter verwendet man hauptsächlich Barium.

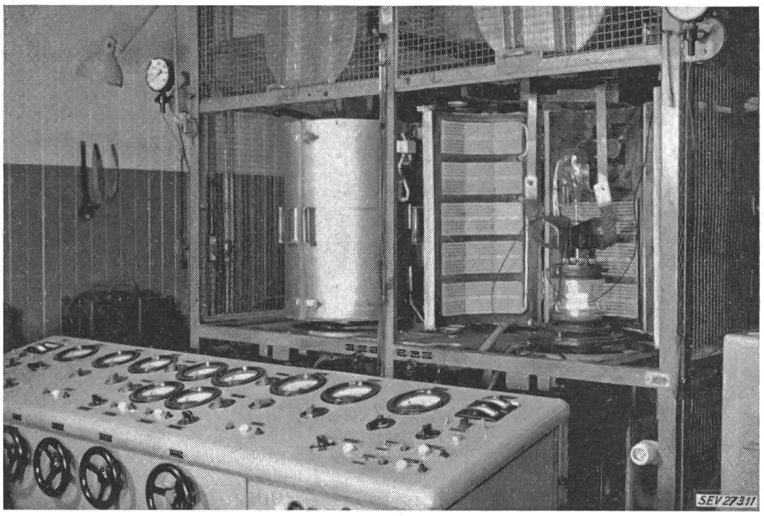

Fig. 11
Pumpstand
links: Röhre wird im geschlossenen Ofen erhitzt und gepumpt
rechts: Ofen geöffnet, Entgasung der Metallteile durch Erhitzen mittels Stromdurchgang
vorn: Kontrolltisch

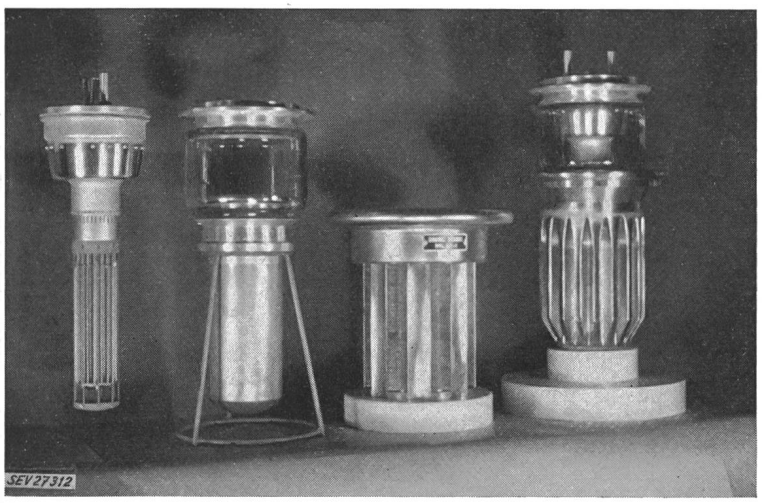

Fig. 12
Röhrensysteme
von links nach rechts: Röhrenfuss mit Innensystem (Kathode und Gitter); Anode mit Kolben und Gitterring; horizontal geblechter Luftkühler; vertikalgerippter Siedekühler

Besonders energisch geht die Gasbindung vor sich, wenn Restgase durch eine elektrische Entladung ionisiert sind. Daher bringt man oft hitzebeständige Getter (Tantal und Zirkonium) in der Nähe der Kathode, auf Gittern und Anoden an.

5. Kühlung

Beim Betrieb vieler Röhren werden so grosse Wärmemengen entwickelt, dass besondere Vorkehrungen für die Wärmeabfuhr getroffen werden müssen.

Am einfachsten ist die Kühlung durch Abstrahlung, weil in diesem Fall keine besonderen Kühler benötigt werden. Die Strahlungskühlung verlangt jedoch, dass die heissen Elektroden gute Wärmeabstrahlfähigkeit besitzen. Man verwendet daher häufig Graphit als Anodenmaterial, da Kohlenstoff besonders gut abstrahlt.

Wenn die Wärmeabstrahlung von Metallteilen verbessert werden soll, so rauht man ihre Oberfläche auf, z. B. durch Sandstrahlen oder durch Aufsintern einer Metallpulverschicht. Noch besser ist es, die Teile mit einem Kohlenstoffüberzug zu versehen. Dazu kann man sie mit einer Kohlenstoffsuspension bespritzen, oder, soweit es sich um Teile aus Nickel handelt, durch Erhitzen im Kohlenwasserstoffstrom karbonisieren. Bei diesem Verfahren leitet man den gasförmigen Kohlenwasserstoff (z. B. Methan) über die glühenden Teile, an deren Oberfläche eine Spaltung in Kohlenstoff und Wasserstoff stattfindet.

Wenn die Strahlungskühlung zur Abfuhr der entwickelten Wärme nicht mehr ausreicht, rüstet man die Röhren mit Luft- oder Wasserkühlern aus.

Für die Luftkühlung wird die Röhre in eine Büchse mit Kühllamellen eingelötet (Fig. 12). Damit bei einem Röhrenausfall der Kühler weiterbenützt werden kann, verwendet man ein Weichlot. Die Kühlung erfolgt durch Luft, die mit Hilfe eines Gebläses zwischen den Kühllamellen durchgepresst wird. Bei dieser Kühlmethode muss man dafür Sorge tragen, dass die Wärmeübertragung zwischen Röhre und Kühler nicht infolge von Lunkern oder Oxydeinschlüssen im Lot beeinträchtigt wird. Sonst treten örtliche Überhitzungen

auf, durch welche die Röhre geschädigt werden kann.

Bei der Wasserkühlung umgibt man die Anode der Röhre mit einem Wassermantel mit fliessendem Wasser. Eine besondere Art der Wasserkühlung ist die Siedekühlung, bei der die Anode in siedendes Wasser taucht. Die von der Röhre abgegebene Wärme wird vom Wasser als Verdampfungswärme aufgenommen. Der gebildete Wasserdampf kondensiert in einem besonderen Kühler, und das Kondensat wird wieder zur Anode zurückgeführt. Damit die Siedekühlung ihre grosse Wirksamkeit entwickeln kann, muss die Anode eine bestimmte Oberflächenausbildung aufweisen. Üblicherweise stattet man sie mit pyramidenstumpfförmigen oder rippenförmigen Vorsprüngen aus.

6. Zusammenfassung

Die zur Röhrenfertigung verwendeten Werkstoffe und Arbeitsverfahren müssen unter ganz anderen Gesichtspunkten ausgewählt werden, als in anderen Teilen der Technik üblich ist. Während normalerweise die mechanischen und elektrischen Eigenschaften, das Korrosionsverhalten, die leichte Bearbeitbarkeit und der Preis für die Auswahl eines Werkstoffes ausschlaggebend sind, wird man in der Vakuumtechnik viel mehr auf leichte Entgasbarkeit, geringe Kathodenzerstäubung, bestimmtes Wärmeausdehnungsverhalten schauen. Dazu spielt die Reinheit der verwendeten Materialien und die Vermeidung jeglicher Verunreinigung im Laufe der Fabrikation eine ausschlaggebende Rolle.

Adresse des Autors:
Dr. chem. *W. Meier*, AG Brown, Boveri & Cie., Baden (AG).

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Einführung in die Radioastronomie

523.164

[Nach *F. T. Haddock:* Introduction to Radio Astronomy. Proc. IRE Bd. 46(1958), Nr. 1, S. 3...10]

Allgemeines

Unsere Kenntnisse über das Weltall haben sich in den letzten Jahren dank den systematischen Beobachtungen der aus dem Weltraum empfangenen Radiosignale bedeutend erweitert. Man hat festgestellt, dass praktisch von allen Himmelskörpern Radiowellen ausgesendet werden, vom Mond, von den Planeten, von der Gashülle der Sonne, von Bruchstücken zerfallener Sterne, von den nächsten Nebulosen, von den Schwärmen der entferntesten Nebulosen, von den Gaswolken unserer eigenen Milchstrasse usw. Die Auswertungen haben z. B. gezeigt, dass die Milchstrasse eine eher eng gewundene Nebelspirale ist. Das Sonnensystem verschiebt sich entlang der Innenkante eines Spiralarmes im Abstand von 30 000 Lichtjahren vom Drehpunkt dieser aus Sternen und Gasen bestehenden Scheibe. Die schwächeren Quellen von Radiosignalen müssen in Entfernungen liegen, welche den Bereich der heutigen optischen Geräte weit übertreffen.

Die Radioastronomie stellt also eine wertvolle Ergänzung zum Studium der kosmischen Strahlung und der Meteoriten dar. Während die optische Astronomie die Lichtwellen ausnützt, die in einem Frequenzbereich von nur 5 Oktaven liegen, öffnet sich durch die Radioastronomie ein zweites Beobachtungsfenster von etwa 12 Oktaven Breite durch die Erdatmosphäre. Radiowellen von wenigen Millimetern Länge, welche den Anschluss an die Infrarotstrahlung bilden, werden durch den Sauerstoff und den Wasserdampf der Atmosphäre absorbiert. Anderseits werden Wellen von mehr als etwa 50 m Länge von der Ionosphäre reflektiert. Die Radioastronomie muss also den zwischen diesen beiden Grenzen liegenden Bereich der Kurz-, Ultrakurz- und Mikrowellen ausnützen.

Vergleich zwischen Radio- und Lichtwellen

Der grosse Frequenzunterschied zwischen Radio- und Lichtwellen ist aus zwei Gründen entscheidend: einerseits vermögen die Radiowellen den interstellaren Staub gut zu durchdringen, der für die Lichtwellen undurchsichtig ist. Anderseits gehen die Lichtwellen unverändert durch die Hüllen von verdünnten, ionisierten Gasen, welche die Sonnenkorona bilden und auch die Riesensterne und die Spiralnebulosen umgeben, während die Radiowellen von diesen selben Gashüllen reflektiert, absorbiert oder gar ausgesendet werden.

Diesen Vorteilen steht als grosser Nachteil das sehr schwache Auflösungsvermögen der Radiowellen gegenüber: die Unschärfe ist, wie aus der Optik bekannt, der Wellenlänge proportional, so dass die Radiowellen wesentlich schwieriger zu bündeln sind als die Lichtwellen. Das genaueste, heute realisierte Radioteleskop gibt noch keine so gute Auflösung wie das unbewaffnete menschliche Auge mit dem Licht. Für die gleiche Auflösung wie ein optisches Fernrohr müsste eine Radioantenne eine Ausdehnung von Hunderten von Kilometern aufweisen. Allerdings ist diese Unschärfe nicht der einzige entscheidende Faktor: wenn die Radiostrahlung der Quelle wesentlich stärker ist als die des umgebenden Raumes und die Gestalt derselben Quelle angenähert bekannt ist, so lässt sich ihre Lage mit einer wesentlich grösseren Winkelgenauigkeit bestimmen.

Selbst mit den grössten optischen Fernrohren ist es übrigens unmöglich, die maximale, durch das Brechungsgesetz bestimmte Auflösung auszunützen, weil der Brechungsindex der Erdatmosphäre sehr inhomogen ist. Der Astronom spricht von guter oder schlechter Sicht, je nachdem die Sterne unbeweglich und scharf erscheinen oder funkeln und «tanzen». Dasselbe Problem besteht in der Radioastronomie mit der zusätzlichen Komplikation der durch die Ionosphäre bedingten Drehung der Polarisationsebene und Absorption, welche Effekte im Kurzwellenbereich besonders stark ausgeprägt sind.

Empfang der kosmischen Strahlung

Durch die Tatsache, dass die Sterne selbst nur eine sehr schwache Radioemission aufweisen und dass der kosmische Staub die Radiowellen vollkommen durchlässt, erscheint uns das Weltall durch das Radioteleskop als ein sternen- und staubfreier Raum, der nur mit turbulenten Gaswolken gefüllt ist.

Die ersten bescheidenen Versuche, eine Radiostrahlung von der Sonne nachzuweisen, stammen schon aus dem Jahre 1894, nur 6 Jahre nach der Entdeckung der Radiowellen durch H. Hertz. Wegen der Unzulänglichkeit der damaligen Mittel ergaben jene Versuche offenbar keine positiven Resultate. Erst 1942 wurde gleichzeitig in England und USA ein Empfang auf Zentimeterwellen von der Sonne festgestellt. Wegen des Krieges wurden die Versuchsresultate erst viel später publiziert. 1943 wurde erstmalig eine Sonnenemission auf 160 MHz identifiziert.

Die allererste Entdeckung von Radiowellen ausserirdischen Ursprungs erfolgte 1932 anlässlich von Messungen über die atmosphärischen Störungen auf 20 MHz, die von den Bell Telephone Laboratories unternommen wurden. Die erste Feststellung bestand in einem zischenden Störsignal, dessen Empfangsrichtung regelmässig innerhalb 24 Stunden rund um den Kompass drehte. Weitere Untersuchungen zeigten, dass die Periodizität eher von den Sternen als von der Sonne bestimmt war: die maximale Intensität wurde erreicht, wenn das Zentrum der Milchstrasse in die Hauptrichtung der Antenne fiel. Ein weiteres Maximum trat auf, wenn die Antennenrichtung durch die Ebene der Milchstrasse in grösserem Abstand vom Zentrum unserer Galaktis ging. Die Tatsache, dass die Sonne scheinbar keinen Beitrag an diese Strahlung leistete, deutete darauf hin, dass andere schwere Himmelskörper in der Milchstrasse eine wesentlich grössere Energiestrahlung auf Radiofrequenz im Verhältnis zu ihrer Licht- resp. Wärmestrahlung aufweisen als die Sonne. Auffallend war die Ähnlichkeit des empfangenen Störgeräusches