

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 28 (1937)
Heft: 20

Artikel: Kommerzielle Verwendung der ultrakurzen Wellen und Dezimeterwellen
Autor: Sutter, B.W. / Ullrich, E.H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059871>

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: 03.04.2026

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

REDAKTION:

Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechn. Vereins und des Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke, Zürich8, Seefeldstr. 301

ADMINISTRATION:

Zürich, Stauffacherquai 36 ♦ Telephon 51.742
Postcheck-Konto VIII 8481

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXVIII. Jahrgang

N° 20

Mittwoch, 29. September 1937

Kommerzielle Verwendung der ultrakurzen Wellen und Dezimeterwellen.

Vortrag, gehalten an der Hochfrequenztagung des SEV vom 15. Mai 1937 in Zürich,
von B. W. Sutter, Zürich, und E. H. Ullrich, Paris.

621.396.24.029.6

Die Autoren, Ingenieure des International Standard-Electric-Konzerns, geben einen Ueberblick über Voraussetzungen Entwicklung und Stand der Ultrakurzwellentechnik. Einige kommerzielle Anlagen werden in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht beschrieben. Aus den mitgeteilten Versuchs- und Betriebsresultaten wird geschlossen, dass eine Verkürzung der Wellenlängen für den radiotelephonischen Verkehr wegen der damit erreichten Verringerung des Störpegels und der Erhöhung der Richtwirkung, die mit jeder Antennengrösse erreicht werden kann, wünschenswert ist. Es wird gezeigt, dass das nützlichste Wellenband zwischen 1 und 10 m (zwischen 300 und 30 MHz) liegt. Der Bereich zwischen 3 und 6 m ist für die Errichtung telephonischer Verbindungen besonders vorteilhaft. Das Wellenband zwischen 9 und 6 m eignet sich besonders zum Verkehr mit beweglichen Einheiten. Die Bandbreite, die im Ultrakurzwellenbereich verfügbar ist, ist so weit, dass darin naturgetreue Uebertragungen sowie Vielfachkanal-Sendungen bewerkstelligt werden können. Es ist deshalb vorzusehen, dass schon in nächster Zukunft die Anwendung dieser Wellen einen beträchtlichen Aufschwung nehmen wird.

Les auteurs, ingénieurs de l'International Standard Electric Corporation, donnent un aperçu des possibilités, du développement et de l'état actuel de la technique des ondes ultracourtes. Quelques installations commerciales sont décrites des points de vue technique et économique. Des essais et des résultats de l'exploitation il est conclu qu'une réduction de la longueur d'onde est à désirer pour le trafic radio-téléphonique à cause de la réduction du niveau des parasites et de l'augmentation de la directivité qu'on peut obtenir avec une antenne de dimensions données. Il est démontré que la bande la plus utile est située entre 1 et 10 mètres. La région entre 3 et 6 mètres est spécialement avantageuse pour l'établissement de liaisons téléphoniques. La bande entre 9 et 6 mètres est spécialement avantageuse pour les communications avec les unités mobiles. La largeur de bande, dont on dispose en ondes ultra-courtes, est si étendue que des transmissions à très haute qualité aussi bien qu'à voies multiples, peuvent être accomplies. On doit ainsi s'attendre à ce que l'emploi de ces ondes prenne une importance considérable dans un avenir prochain.

I. Einleitung.

Das Problem der Nachrichten-Uebermittlung hat von jeher in der Geschichte der Menschheit eine bedeutende Rolle gespielt.

Bis zur Entdeckung des elektrischen Telegraphen diente der Ausbau eines beschleunigten und zuverlässigen Botendienstes, welcher sich eigentlich erst nach der Erfindung der Buchdruckerkunst entfalten konnte, als einziger Ersatz für die schon vorgeschichtliche Zeichengebung, die auf Hör- oder Sichtweite begrenzt war. Die elektromagnetische Signalisierung ermöglichte unter Ausschaltung des Boten eine praktisch sofortige Zeichenübermittlung, womit Resultate erzielt wurden, welche mit den alten Methoden unerreichbar waren.

Optische Signalisierung mit Spiegelung von Sonnenstrahlen oder durch Anzünden von Höhenfeuern wurde schon zu homerischen Zeiten verwendet. Schon dazumal benützten die Griechen den Licht- und Trommeltelegraphen. Es stellt sich damit die Frage, warum wohl diese Mittel, die doch mit Hinsicht auf ihre Geschwindigkeit einen unbestreitbaren Vorteil aufwiesen, nicht weiter entwickelt worden sind, zumal, wie später noch gezeigt wird, auch die moderne Nachrichten-Uebermittlung mit Hilfe ganz kurzer Wellen auf beinahe

optische Sicht beschränkt ist. Bis zur Entwicklung moderner Reisemöglichkeiten, vor allem durch die Erfindung der Dampflokomotive, bestand kein Wunsch nach rascher Verständigung; und als dann diese neuen Transportmittel zur Verfügung standen, konnte die optische Signalisierung mit Ausnahme von ganz geringen Entfernungen den praktischen Anforderungen nicht mehr genügen.

Die Bedingung direkter Sicht stellt der Einrichtung eines weite Gebiete umfassenden optischen Nachrichtennetzes ernstliche Hindernisse entgegen. Trotzdem ging Claude Chappe, als er mit dem elektrischen Telegraphen über längere Distanzen infolge Isolierungsschwierigkeiten keine befriedigenden Resultate erzielte, im Jahre 1791 dazu über, den optischen Telegraphen in Frankreich neu in Anwendung zu bringen. Als dann im Jahre 1852 das Chappe-System durch den inzwischen verbesserten elektrischen Telegraphen ersetzt wurde, umfasste dieses System bereits ein Netz von 4000 km mit 556 Stationen. Optische Signalisierung wurde auch in England während der napoleonischen Kriege mit Erfolg benützt.

Während eines halben Jahrhunderts war die elektrische Nachrichten-Uebermittlung auf die Uebertragung elektrischer Wellen längs metalli-

scher Leitungen begrenzt. Ausgedehnte Telephonnetze entwickelten sich mit der Zeit solchen Ueberlandleitungen entlang. Einen gewaltigen Fortschritt bedeutete die Nutzbarmachung der drahtlosen Verbindung, bei der die Nachrichten führenden elektrischen Wellen von Leitungen befreit in den freien Raum gestrahlt werden. Auch das Problem des Verkehrs mit Fahrzeugen, wofür ehemals, mit Ausnahme von sehr kurzen Entfernungen, keine Verbindungsmöglichkeit bestand, war dann gelöst. Die drahtlose Signalgebung war lange Zeit auf die Telegraphie beschränkt, indem die elektrischen Schwingungen nur durch Funken, Lichtbogen oder Hochfrequenz-Generatoren erzeugt werden konnten. Erst die Herstellung brauchbarer Elektronenröhren um die Zeit des Ausbruchs des Weltkrieges führte zum Aufblühen der Radio-Telephonie.

Mit dieser letzten Errungenschaft stand der Weg zur weiteren Verkettung vorhandener Telephonnetze offen. So wurde die Angliederung des europäischen Telephonnetzes an das amerikanische mit Hilfe der drahtlosen Telephonie verwirklicht. Die überseeische Verbindung wurde im Jahre 1927 dem Publikum auf der heute gewiss als niedrig angesehenen Uebertragungsfrequenz von 57 kHz eröffnet. In den darauffolgenden Jahren wurden zahlreiche Kurzwellen-Telephonverbindungen zwischen den verschiedenen Kontinenten hergestellt.

Während sich im Gebiete der Telegraphie Unterseekabel und Radio den Rang streitig machten, war im Gebiete der Telephonie eine solche Konkurrenz kaum möglich; das Unterseekabel war für lange Entfernungen zu teuer und für kurze Distanzen erwies sich in den häufigsten Fällen eine Radioverbindung als unwirtschaftlich.

Radio hat in bezug auf die Verbindung fester Punkte seine Vor- und Nachteile. Zu den Vorteilen gehört die Möglichkeit der Uebertragung weiter Frequenzbänder auf kurzen und, besser noch, auf ultrakurzen Wellen und der geringere Leistungsverlust verglichen mit Kabeln. Die Weite des Frequenzbandes, das übermittelt werden kann, nimmt in dem Masse zu, wie die Wellenlänge verkürzt wird. Auf diese Weise können relativ naturgetreue Uebertragungen leicht über Kurzwellen-Verbindungen bewerkstelligt werden und die ultrakurzen Wellen allein ermöglichen das Fernsehen. Der verringerte Leistungsverlust bedeutet Ueberbrücken grösserer Spannweiten bevor Verstärkerstationen eingefügt werden müssen, und aus diesem Grunde ist bis jetzt Radio das einzige Mittel, das die überseeische Telephonie ermöglicht. Andererseits beschränken die Nachteile des Radios bis zu einem gewissen Grade seine Nützlichkeit. Seine Eigenschaften sind in gewissen Beziehungen nicht so gut wie die hochwertiger Ueberlandkabel. Der grösste Nachteil der Radioverbindung besteht wohl in der Veränderlichkeit der Signalstärke und dem sogenannten Selektiv-Schwundeffekt, welcher in Kurzwellenverbindungen die bekannten Verzerrungen nach sich zieht. Die Veränderlichkeit der Signalstärke ist oft so gross, dass die Signale vollständig verschwinden. Man hilft sich zur Ueberwindung

dieser Erscheinung in der Weise, dass zu gewissen Tageszeiten die im Verschwinden begriffene Wellenlänge durch eine andere ersetzt wird. Dieses Wechseln der Wellenlänge ist nicht immer zur gleichen Stunde erforderlich, weshalb ein geschultes Personal zur Bestimmung und Ausführung dieses Wellenwechsels an den Sende- und Empfangsstationen unerlässlich ist. Ausserdem müssen Beamte zur Verfügung stehen, deren Aufgabe ist, das Niveau der von den verschiedenen Abonnenten erzeugten Sprechströme so zu regulieren, dass trotz ihrer Verschiedenheit, die 3,5 Neper oder 30 Dezibel betragen kann, der Hochfrequenz-Sender dauernd maximal angesteuert wird.

Ohne Regulierung des Sprech-Niveaus würde ein Leisesprecher von seinem Korrespondenten mit so geringer Stärke empfangen, dass die Verständigung durch die Nebengeräusche im Empfänger benachteiligt, wenn nicht gerade verunmöglicht wäre. Die Nebengeräusche sind am Ende einer langen Radioverbindung oft stärker als am Ende einer Verstärker-Sektion eines Ueberlandkabels. Dieser Nachteil eines relativ hohen Geräuschpegels ist im allgemeinen durch wirtschaftliche Rücksichten bestimmt und bei kurzen Wellen ausserdem durch gewisse Eigenheiten der Uebertragung mittels solcher Wellen. Die Tatsache, dass der Uebertragungsverlust bei Kurzwellen-Verbindungen für lange Distanzen kleiner sein kann als für kurze Distanzen, erklärt, warum der Geräuschpegel auf der Empfängerseite nicht durch dieselben Mittel verringert werden kann, wie es bei mit Verstärkern ausgerüsteten Kabelverbindungen der Fall ist, wo dies durch Verringerung der Verstärker-Distanzen erzielt wird. Langwellen-Verbindungen sind durch den geringen Wirkungsgrad der Antennen beeinträchtigt, wozu noch der Mangel an Richtwirkung und ein hoher Störpegel kommt, der den niedrigen Frequenzen eigen ist. Ferner sind die Kosten der Sendereinrichtungen für diese Wellenlängen so hoch und das verfügbare Wellenband ist schon so besetzt, dass Langwellen-Radiotelephonie nur selten verwendet wird.

2. Der Ultra-Kurzwellenbereich und die Vorteile der Uebertragung weiter Frequenzbänder.

Der Wellenbereich, der bis heute in der Radio-Telegraphie oder -Telephonie kommerziell zur Verwendung gelangte, dehnt sich zwischen 20 000 Meter und 17 cm, d. h. zwischen 15 kHz und 1700 MHz aus. Das Kurzwellenband umfasst den Bereich von 100 m bis ungefähr 8 m, oder 3 MHz bis 37,5 MHz, das Ultrakurzwellenband den Bereich von 8 m bis 50 cm, oder 37,5 MHz bis 600 MHz und die Dezimeterwellen den Bereich von 50 cm bis 10 cm, das sind 600 MHz bis 3000 MHz. Die Grenzen des Kurzwellenbandes sind durch die Besonderheiten der Uebertragung direkt erkenntlich gemacht. Wellenlängen unter 100 m zeigen nämlich die interessante Erscheinung der Verringerung des Verlustes mit der Entfernung infolge der Zurückstrahlung durch die sogenannte Kennelly-Heaviside-Schicht. Die untere Grenze des Kurzwellenbandes

wurde mit 8 m angegeben. Wie theoretische Betrachtungen zeigten, kann es Wellenlängen, die kürzer als die angegebenen 8 m sind, gelingen, anstatt von der Heavyside-Schicht zurückgestrahlt zu werden, die ionisierte obere Atmosphäre zu durchstossen und die Erde zu verlassen. Man darf deshalb erwarten, dass um diese Wellenlänge herum die Uebertragung über lange Distanzen mit ihren bereits erwähnten Vor- und Nachteilen aufhören wird. Die genannten Grenzen der verschiedenen Frequenzbänder sind natürlich nicht kritisch. Die untere Grenze der ultrakurzen Wellen ist überhaupt nicht durch besondere Uebertragungseigenheiten gekennzeichnet, sondern allein durch die erforderliche Umstellung in der Technik der Erzeugung der elektrischen Schwingungen, auf welchen Punkt später noch zurückgekommen wird.

Je detaillierter die Wiedergabe der übermittelten Zeichen sein muss, desto breiter hat das Frequenzband zu sein. Für Schnell-Telegraphie ist eine Bandbreite von 125 Hz hinreichend, während für kommerzielle Telephonie 2750 Hz als genügend betrachtet wird und für eine 400-Linien Fernseh-Uebertragung gar 2,5 MHz nötig sind. Unter Berücksichtigung eines zu belassenden Abstandes zwischen benachbarten Kanälen kann die Gesamtbandbreite bei Uebertragung beider Seitenbänder mit 400 Hz für Telegraphie, 3000 Hz für Telephonie und 6 MHz für Fernsehen angegeben werden.

Auf Grund dieser Angaben ist im Wellenbereich von 100 m bis 20 000 m Platz für 7462 Telegraphenkanäle oder 373 Telephonverbindungen, jedoch nicht für eine einzige 400-Linien Fernseh-Verbindung. Zwischen 8 m und 100 m, d. h. im Kurzwellenbereich, ist Raum für 86 250 Telegraphenkanäle, oder 4312 Telephonverbindungen, oder 5 Fernseh-Verbindungen. Zwischen den Wellen von 50 cm bis 8 m ist es möglich, 1 406 250 Telegraphenkanäle oder 70 317 Telephonverbindungen oder 93 Fernseh-Uebertragungen unterzubringen und schliesslich zwischen 10 und 50 cm, also im Bereiche der Dezimeterwellen, können 6 Millionen Telegraphen-, 300 000 Telephon- oder 400 Fernseh-Verbindungen bewerkstelligt werden. Man sieht somit, dass die Anzahl der verfügbaren Kanäle rasch mit dem Abnehmen der Wellenlänge zunimmt. Die Zahl der Verbindungen, die auf ultrakurzen Wellen errichtet werden können, wird durch den Umstand der begrenzten Tragweite solcher Wellen noch vervielfacht, indem gut verschiedene Verbindungen auf ein und derselben Wellenlänge errichtet werden können, solange solche Verbindungen nur genügend weit voneinander entfernt liegen.

3. Kommerzielle Ultrakurzwellen-Verbindungen.

a) Barcelona—Balearen.

Gegen Ende des Jahres 1933 stellte sich die Aufgabe, Spanien mit den Balearen mit ultrakurzen Wellen zu verbinden. Da die kürzeste Entfernung zwischen diesen Inseln und dem Festland ungefähr 150 km beträgt, so würden die Kosten für ein Untersee-Telephonkabel sehr erheblich gewesen

sein. Die einzige Verbindung, die zur Zeit bestand, war eine Kurzwellenverbindung zwischen Madrid und Palma de Mallorca. Im Hinblick auf die Unbeständigkeit der Kurzwellen-Uebertragung wurde die Verlässlichkeit dieser Verbindung als ungenügend erachtet.

Im Frühling 1934 wurden eine Reihe von Versuchen unternommen, um die günstigsten Standorte für die neuen Radiostationen zu bestimmen. Es war damals aus Zeitmangel nicht möglich, erschöpfende Versuche auszuführen. Man hatte sich darauf zu beschränken, die Messungen nur auf einer einzigen Wellenlänge, nämlich 6 m, auszuführen. Nachdem einmal die passendsten Standorte beidseitig ermittelt waren, wurden dann allerdings die günstigsten Wellenlängen für den aus diesen Orten resultierenden Weg ermittelt.

Die Güte einer radiotelephonischen Verbindung kann mit der Verhältniszahl Signal durch Geräusch angegeben werden. Um diese Verhältniszahl bestimmen zu können, genügt es, die ausgestrahlte Senderwelle gleichmässig mit einem passenden Ton zu modulieren und den Empfang so zu regulieren, dass auf einem Messinstrument ein bestimmter Ausschlag erhalten wird. Darauf wird die Sendermodulation unterbrochen und die Tonfrequenz-Verstärkung des Empfängers um so viel erhöht, bis der mittlere Ausschlag am genannten Messinstrument wieder derselbe ist wie bei modulierter Sendung. Die zugeschaltete Verstärkung, die gewöhnlich in Dezibel angegeben ist, ergibt direkt die gewünschte Verhältniszahl Signal durch Geräusch. 30 bis 40 solcher Messungen, über mehrere Tage verteilt, wurden an jedem Standort gemacht und der Durchschnitt aus allen diesen Messresultaten wurde als Güteziffer des betreffenden Standortes angesprochen.

Einer guten kommerziellen Verbindung entspricht eine Güteziffer von 45 Dezibel (5,2 Neper), bezogen auf volle Aussteuerung des Senders. In diesem Falle kann bei normalem Sprech-Niveau kaum ein Störgeräusch gehört werden.

In Anlehnung an die optischen Gesetze betrachtete man es als überflüssig, Uebertragungsmessungen in beiden Richtungen vorzunehmen, ausgenommen der Fall, wo künstlich erzeugte Störungen bei einer der Empfangsstationen die Güteziffer beeinflusst hätten. Die Antennenleistung des in Barcelona aufgestellten Senders betrug etwa 10 Watt. Für Sender und Empfänger wurden Richtstrahler bekannter Art verwendet.

Im Hinblick darauf, dass weitaus der grösste Verkehrsanteil auf Seiten des spanischen Festlandes auf Barcelona entfällt, war es gegeben, auf dieser Seite die Radiostation in der Nähe der genannten Stadt zu erstellen.

Fig. 1 ist die geographische Karte, auf der die Insel Mallorca und die gegenüberliegende Küste des spanischen Festlandes gezeigt sind.

An erster Stelle wurde der Sender auf dem im Rücken von Barcelona gelegenen 450 m hohen Tibidabo-Gipfel aufgestellt und brauchbare Verbindungen wurden nach verschiedenen Punkten

der Insel hergestellt. Es lag nahe, vor allem zu versuchen, direkt bis zum Telephonegebäude in der Hauptstadt Palma durchzudringen. Jedoch erwiesen die Versuche, dass eine einwandfreie direkte Verbindung nach dort schwer möglich ist, indem Palma direkt hinter einem über 1000 m hohen Ge-

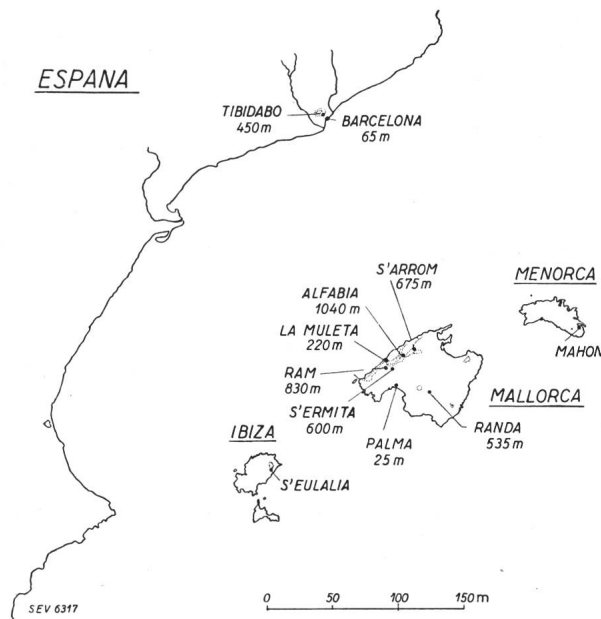


Fig. 1.
Spanische Ostküste und die Balearen.

birgszuge gelegen ist. Trotz dieses bedeutenden Hindernisses direkt im Uebertragungsweg bestand jedoch nicht die geringste Schwierigkeit, mit der Gegenstation in Kontakt zu treten. Die guten Resultate, die nach anderen, günstiger gelegenen Punkten der Insel erhalten wurden, waren so ermutigend, dass man sich entschloss, die Sendestation in Barcelona nach dem im unmittelbaren Zentrum der Stadt gelegenen Cataluña-Telephonegebäude zu verbringen, wo es selbstredend wegen Wegfall jeglicher Ueberlandleitungen und aus personaltechnischen Gründen besonders vorteilhaft war, die Apparate unterzubringen.

Auch von hier aus wurden Uebertragungsversuche nach verschiedenen Punkten der Insel durchgeführt. Der Gipfel des Alfabia Gebirges erwies sich weitaus als am besten geeignet, nicht nur, weil dort gute Resultate erhalten wurden, sondern auch deswegen, weil von dort aus eine ungehinderte Sicht nach den beiden übrigen wichtigsten Inseln der Balearen Ibiza und Menorca besteht, was für eine spätere Erweiterung des Verkehrs von ausschlaggebender Bedeutung war. Die dort erhaltenen Empfangsergebnisse zeigten, dass eine kommerzielle Ultrakurzwellen-Verbindung sehr wohl von dem Telephonegebäude in Barcelona nach diesem Punkte hergestellt werden kann.

Es soll hier nicht im einzelnen auf die Versuche eingegangen werden; die hauptsächlichsten Resultate sind in Fig. 2 zusammengestellt. Es muss daran erinnert werden, dass die zu überbrückende Entfernung in allen Fällen ungefähr dieselbe war, nämlich 200 km. Fig. 2 zeigt die Abhängigkeit der

Güteziffer von der Summe der Höhen der Sende- und Empfangsstationen. Wenn beispielsweise eine Höhensumme von 1000 m angenommen wird, dann muss der Empfänger bei Sendung vom Tibidabo eine Höhe von 550 m gehabt haben, oder bei Sendung von Barcelona eine Höhe von 935 m. Die Tatsache, dass die für den 450 m hohen Tibidabo erhaltenen Punkte und die für das 65 m hohe Cataluña-Gebäude in Barcelona erhaltenen Punkte annähernd auf ein und derselben Linie liegen, zeigt, dass praktisch zwischen den betrachteten Grenzen von 65 und 1000 m eine Verringerung in der Höhe des Empfängers durch eine gleiche Vergrößerung in der Höhe des Senders ausgeglichen wird. Dieses gilt selbstredend nur für den Fall, dass die Erdwölbung als einziges Hindernis im Uebertragungsweg liegt. Eine Veränderung von 100 m in der Höhe verursacht eine Veränderung der Güteziffer von ungefähr 2 Dezibel (0,23 Neper).

Eine allgemeine Folgerung aus diesen Versuchen ist, dass gut eine kommerzielle Verbindung hergestellt werden kann, auch wenn keine direkte Sicht zwischen den beiden Punkten besteht, und dass sogar im Falle, wo ein hohes Gebirge direkt den Uebertragungsweg versperrt, die Errichtung einer Verbindung nicht ausgeschlossen ist.

Es verblieb nun noch ausfindig zu machen, ob auch in der entgegengesetzten Richtung, Mallorca-Barcelona, die Uebertragung den kommerziellen Anforderungen genüge. Die Empfangsstation befand sich, wie gesagt, im Telephonegebäude im unmittelbaren Zentrum der Stadt, umgeben von bedeutenden Störquellen. Eine Richtantenne wurde auf der Terrasse des Telephonegebäudes aufgestellt. Glücklicherweise befanden sich die hauptsächlichsten Störer hinter dieser Antenne. Ein Neon-Röhren-Reklameschild, ungefähr 50 m entfernt, erwies sich als besonders nachteilig. Nachdem die nötigen Vorkehrungen zur Vermeidung der Störanfälligkeit der Antennen-Zuführungen getroffen waren, konnte eine Güteziffer von nur 20 Dezibel (2,3 Neper) gemessen werden.

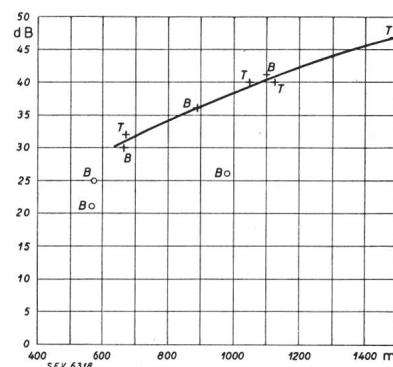


Fig. 2.
Güteziffer in Dezibel in Abhängigkeit von der Summe der Höhenlagen von Sender und Empfänger.

○ Messungen, bei denen zur Erdwölbung noch eine Bergkette in der Sehnlinie liegt.
T Sender auf dem Tibidabo-Gipfel, 450 m ü. M.
B Sender in Barcelona, 65 m ü. M.

Zweiter Punkt des Versuchsprogramms war die Bestimmung der optimalen Wellenlänge. Aus früheren Versuchen war bekannt, dass der Störpegel mit zunehmender Frequenz abnimmt. Es war daher gegeben, durch Verringerung der Wellenlänge zu versuchen, die Güteziffer zu verbessern. Mit einer Frequenz von 50 MHz war die Güteziffer, wie

schon gesagt, 20 Dezibel, mit 54,4 MHz 28 Dezibel, das heisst, eine Frequenzsteigerung von 9 % hat einen Gewinn von 8 Dezibel (fast 1 Neper) zur Folge. Weiter, bei 57 MHz, wurden 32 Dezibel gemessen, bei 60 MHz 36 Dezibel und schliesslich

krieges nie dazu, diese Verbindungen der Öffentlichkeit zu übergeben.

Fig. 3 zeigt das Schaltungsschema des verwendeten 10-W-Ultrakurzwellen-Senders. Man sieht zunächst einmal links den quartzgesteuerten Oszillator V 1. Nimmt man eine von der Antenne abzugebende Wellenlänge von 3,5 m an, dann schwingt der Steuer-Oszillator mit einer Wellenlänge von 14 m. Der Quartz-Kristall ist ausserordentlich temperaturunabhängig, indem sein Temperaturkoeffizient nicht mehr als 3 Millionstel pro Grad Celsius beträgt. Ein Thermostat ist deshalb nicht nötig; es ist einzig ein Heizelement *R* vorhanden, zur Verhinderung von Feuchtigkeitsansatz zu Zeiten, wo der Sender abgeschaltet ist. Der Ausgang des Steueroszillators ist auf einen Frequenzverdoppler V 2 geschaltet, der seinerseits eine Pentoden-Verstärkerstufe V 3 treibt. Diese Stufe V 3 wird durch die Tonfrequenz fanggittermoduliert. Der Ausgang dieses Verstärkers erfährt nochmals eine Frequenzverdopplung in der Ausgangsstufe V 4, wonach die modulierte Hochfrequenz über Speiseleitungen der Antenne zugeführt wird. Es darf speziell darauf hingewiesen werden, dass die Modulation vor der letzten Frequenzverdopplung erfolgt. Die Vorteile dieser Anordnung liegen darin, dass die Modulation mit geringer Tonfrequenz-Energie ausgeführt werden kann, und dass es leichter ist, eine niedrigere Frequenz zu verstärken, und schliesslich, dass ein Gewinn von *N* Dezibel vor Verdopplung einem Gewinn von zwischen *N* und *2N* Dezibel nach Verdopplung entspricht.

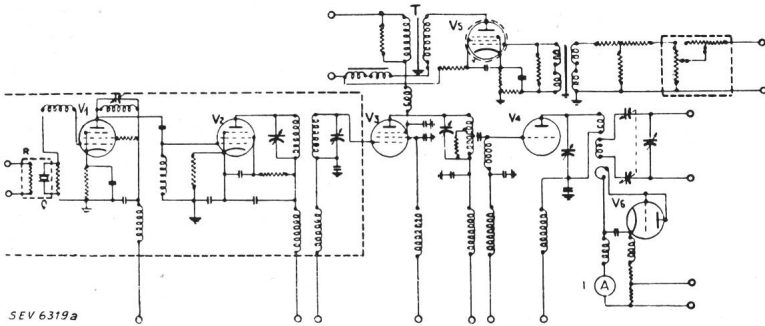


Fig. 3.
Schema des 10-W-Ultrakurzwellensenders.

bei 67 MHz 47 Dezibel. Eine Frequenzsteigerung von 50 bis 67 MHz entspricht einem Gewinn von 27 Dezibel.

Es wurde allerdings nicht weiter untersucht, ob dieser Gewinn einer besseren Wellenausbreitung zuzuschreiben ist, jedoch ist anzunehmen, dass die Verbesserung zum grössten Teil der Verringerung des Störpegels, wie er kürzeren Wellenlängen eigen ist, zukommt.

Als weitere allgemeine Folgerung kann deshalb gesagt werden, dass, wenn der Empfänger an einem Ort aufgestellt ist, wo elektrische Störungen vorhanden sind, die Verkürzung der Wellenlänge von 6 auf 4,5 m einer Senderenergie-Vervielfachung von rund 500 gleichkommen kann. Diese Tatsache ist für den Fachmann von grösster Wichtigkeit, möge man sich nur vergegenwärtigen, dass dieser 10-W-Sender auf 4,5 m einen gleich guten Empfang ergab wie ein 5-kW-Sender auf 6 m.

Später wurde dann gefunden, dass sich in den Sommermonaten ein Schwundeffekt zeigt. Beobachtungen wurden auf den Wellenlängen 3,5, 4, 4,5 und 5,5 m gemacht. Die zur Zeit des Schwundes gemessene Gütezahl (minimales Signal durch Geräuschzahl) war am besten bei 4,5 Meter. Sie betrug 20 Dezibel und war mehr als 10 Dezibel (ungefähr 1 Neper) grösser als bei 3,5 oder 4 m. Obwohl die Dauer der Beobachtungen nicht genügend lang war, um ganz sichere Schlüsse ziehen zu können, war es immerhin klar, dass durch Erhöhung der Uebertragungsfrequenz über 67 MHz hinaus kein Gewinn erwartet werden dürfe.

Im September 1935 wurde die Verbindung zwischen Mallorca und Barcelona dem Publikum eröffnet. Die benutzten Wellenlängen waren 4,6 und 5 m. Bald darauf wurden auch versuchsweise die Verbindungen mit den Inseln Menorca und Ibiza über eine Entfernung von 140 km aufgenommen. Leider kam es infolge des spanischen Bürger-

Wie ersichtlich, ist nur eine Tonfrequenzstufe V 5 vorhanden, obschon ein Sprechniveau von 25 Dezibel (das sind 2,9 Neper) unter einem Milli-watt genügt, um den Sender voll auszusteuern.

Die Frage stellt sich, ob nicht Frequenzverdopplung nach erfolgter Modulation Verzerrung zur Folge hat. Ist es nicht so, dass, wenn zum Beispiel 500 Hz dem modulierten Verstärker aufgedrückt werden, im Antennenkreis des Senders eine Modulation von 2·500, d. h. 1000 Hz vorhanden ist?

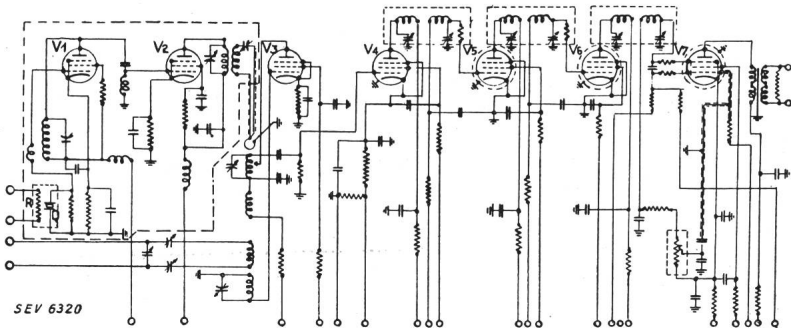


Fig. 4.
Schema des Empfängers.

Wären nicht besondere Massnahmen getroffen, so wäre dies allerdings der Fall. Durch sorgfältige Wahl der Elektrodenspannungen ist es möglich,

eine geradlinige Antennenstromabhängigkeit von der Fanggitter-Spannung der modulierten Verstärker-Pentode zu erhalten. Es ist somit möglich, trotz der Zwischenschaltung eines Frequenzverdopplers, eine durchaus lineare Modulation zu erreichen. Der Klirrfaktor übersteigt bei 70 %iger Modulation 3 % nicht. Der Sender ist zur Erzeugung einer nützlichen Antennen-Träger-Leistung von 10 W für alle Wellenlängen zwischen 3 und 7 m geeignet. Die Diode V 5 dient zur Abhörung.

Fig. 4 zeigt das Schaltungsschema des Empfängers. Dieser ist nach dem Superheterodynprinzip gebaut: Links der Ueberlagerungs-Oszillator V 1, der in der Hauptsache dem im Sender verwendeten Steuer-Oszillator identisch ist. Die Röhre V₂ vervierfacht die Oszillatorfrequenz. Die Antennen-zuführung ist auf den Eingangskreis der Röhre V₃

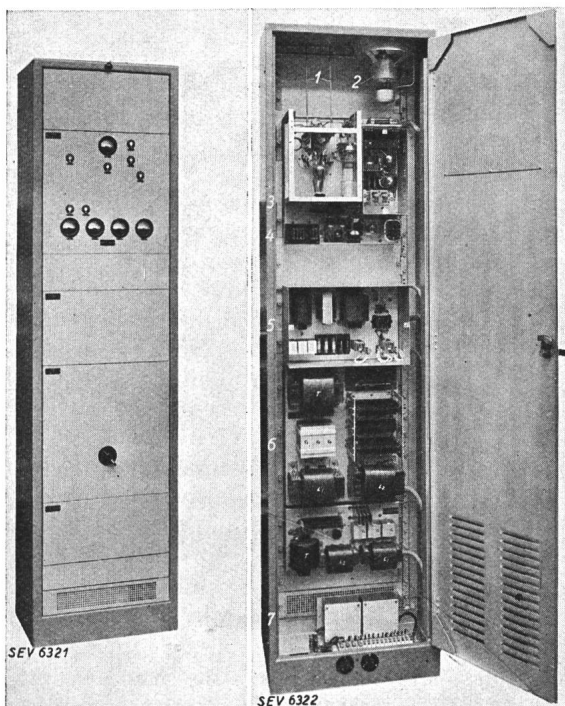


Fig. 5.
Vorderansicht des
Senders.

Fig. 6.
Rückansicht des
Senders.

1 Antennenanschlüsse. 2 Ventilator. 3 Sendereinheit. 4 Tonfrequenzverstärker. 5 Fernsteuereinrichtung. 6 Netzanschluss. 7 Filter.

geschaltet, die die eingehende Hochfrequenz verstärkt. V₄ ist der Ueberlagerungs-Gleichrichter, V₅ und V₆ sind zwei Zwischenfrequenz-Verstärkerstufen und V₇ ist das Audion. Die Zwischenfrequenz beträgt 1 MHz. Selbsttätige Verstärkungsregulierung ist vorhanden.

Fig. 5 zeigt die Vorderansicht des gesamten Senders. Die verschiedenen Teile kommen in Fig. 6, die die Rückansicht des Senders veranschaulicht, klarer zum Ausdruck. Oben sind die Antennenzuleitungen und der Kühlventilator ersichtlich. Gleich darunter befindet sich der Steueroszillator mit dem Quarzkristall, daneben die modulierte Verstärkerpentode und schliesslich der Ausgangsverdoppler. Unter der Sendereinheit befindet sich die Tonfre-

quenz-Verstärkungsstufe. Die Einheit darunter enthält die Fernsteuereinrichtung, auf die noch näher eingegangen wird. Darunter befindet sich der Hochspannungsgleichrichter und andere Energieversorgungs-elemente.

Fig. 7 zeigt die Vorderansicht des Empfängers. Die Rückansicht, Fig. 8, gibt auch hier mehr Einblick in dessen inneren Aufbau. Oben angefangen sieht man zunächst den eigentlichen Superheterodyn-Empfänger mit Ausnahme des Ueberlagerungs-Oszillators, der gleich darunter montiert ist. Die dritte Einheit ist der Volumenanzeiger. Darunter befinden sich die Instrumententafel und die Messklippen und weiter unten sind die Vierdraht-Uebersetzungselemente mit der Leitungs-Nachbildung eingebaut, denn die Radioanlage ist für den Anschluss an einen Zweidraht-Telephonstromkreis

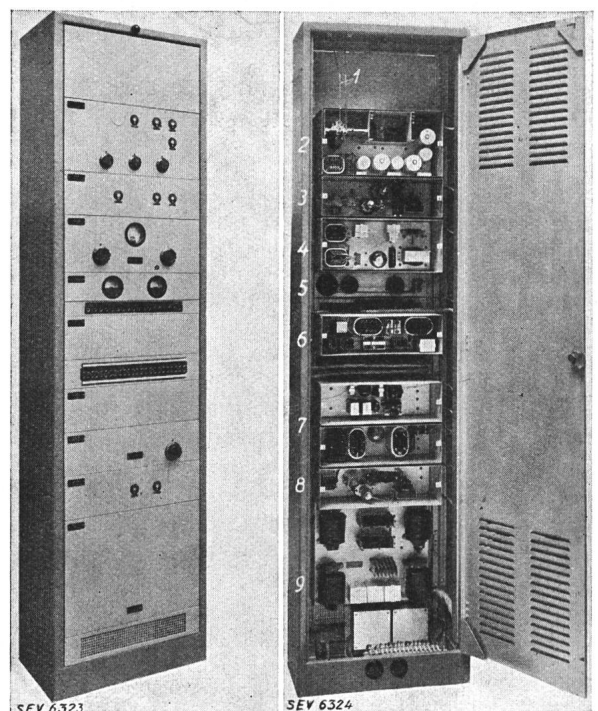


Fig. 7.
Vorderansicht des
Empfängers.

Fig. 8.
Rückansicht des
Empfängers.

1 Antennenanschlüsse. 2 Superheterodynempfänger. 3 Ueberlagerungsoszillator. 4 Volumenanzeiger. 5 Messinstrumente und Messklippen. 6 Vierdraht-Uebersetzungselemente und Leitungs-nachbildung. 7 Rufeinrichtung. 8 Prüfsender. 9 Netzanschluss.

konstruiert. Dann folgen die Rufeinrichtungen, ein kleiner Prüfsender und schliesslich die Energieversorgung.

Der Empfänger ist selbstredend ebenfalls für den Empfang des gesamten Wellenbandes von 3 bis 7 m konstruiert. Er ermöglicht eine maximale, unverzerrte Tonfrequenz-Abgabe von plus 12 Dezibel, d. h. annähernd 1,4 Neper bezüglich eines Milliwatts.

Sender und Empfänger können von der entfernten Telephonzentrale aus ferngesteuert werden. Mit dieser Fernsteuerung ist es möglich, die ganze Radiostation auszuschalten oder Sender und Empfänger einzuschalten, oder den Empfänger allein unter Strom zu halten. Die letzte Schaltungsweise

wird gewöhnlich zu Zeiten geringen Verkehrs benützt, weil dann der Empfänger für jeden Anruf empfangsbereit ist. Wünscht die Telephonbeamtin eine Verbindung herzustellen, so genügt das einfache Stöpseln in die entsprechende Klinke, um den entfernten Sender in Betrieb zu setzen, so dass nur wenige Sekunden später der Kontakt mit der Gegenstation hergestellt ist. Der Zeitverlust ist so gering, dass er sogar der Beamtin unbemerkt bleibt. Zur Fernsteuerung der ganzen Radiostation ist ein einziger Draht nötig, wobei die Erde als Rückleitung benützt wird. Um ein gänzlich Ausschalten und somit Unbrauchbarwerden der Radioverbindung bei Defekt in der Fernsteuerung zu verhindern, wurde die Anlage so ausgedacht, dass bei Unterbrechung des Fernsteuerleiters Sender und Empfänger eingeschaltet werden.

Es ist wünschenswert, die Radioverbindung so zu gestalten, dass diese sich vom Betriebsstandpunkt aus genau wie eine Drahtverbindung verhält; dann kann irgendeine Telephonbeamtin zur Bedienung eingesetzt werden, ohne dass besondere Kenntnisse nötig wären. Es muss also möglich sein, in normaler Weise über die Verbindung zu rufen. Wenn eine 500- oder 1000-Hz-Rufeinrichtung vorhanden ist, dann ist die Aufgabe von selbst gelöst. Wenn aber nur 16- oder 25-periodiger Rufstrom zur Verfügung steht, sind besondere Vorkehrungen zu treffen. Die direkte Uebertragung solch niedriger Frequenzen ist nicht leicht; die Transformatoren müssten dazu von besonderer Konstruktion sein. Auch ist es vorteilhaft, eine Siebkette verwenden zu können, die das Netzbrummen unterdrückt. Obschon es möglich ist, einen Filter zu bauen, der 25 Hz durchlässt, aber nicht 50 Hz, ist es einfacher, die 25 Hz auf eine höhere, leichter zu übertragende Frequenz zu übersetzen. Wenn diese höhere Frequenz im Bereiche der Sprechfrequenzen gelegen wäre, dann müssten besondere Vorkehrungen getroffen werden, damit die Rufeinrichtung sprachempfindlich wird, wie es im 500- oder 1000-Hz-Rufsystem durch eine zweite Modulation erreicht ist. Man kann das im Radio vorhandene weitere Frequenzband benützen, indem man diese neue Ruffrequenz ausserhalb des Sprechfrequenzbereiches legt und durch einfache Siebketten abtrennt. Diese Frequenzübersetzung wird folgendermassen erreicht: Die eingehenden 16 oder 25 Hz betätigen ein Relais, welches seinerseits einen 4000-Hz-Oszillator einschaltet. Auf der Empfangsseite sind die 4000 Hz ausgesiebt, gleichgerichtet und dazu benützt, ein Relais zu erregen, das den 25periodigen Rufstrom auf die Leitung schaltet.

Wie bei der Besprechung der Fig. 8 erwähnt wurde, ist eine Prüfvorrichtung vorgesehen, die dem Beamten in der Telephonzentrale jederzeit ermöglicht, sich vom richtigen Funktionieren des Empfängers zu vergewissern. Zu diesem Zwecke schaltet der Beamte den kleinen, ferngesteuerten Prüfsender in der Radiostation ein, welcher genau auf der Frequenz der Gegenstation arbeitet. Funktioniert der Empfänger richtig, so empfängt der Beamte etwa 15 Sekunden später einen Anruf, wel-

cher ihm beweist, dass der Prüfsender durch die eigene Station richtig empfangen wurde.

In Mallorca wurden Richtstrahler mit besonders ausgeprägter Bündelung zum Senden und Empfangen benützt. Die Antennenverstärkung betrug in beiden Fällen über den einfachen Halbwellen-Dipol ungefähr 18 Dezibel (oder 2 Neper). Der verwendete Antennentyp ist von E. Bruce in den «Proceedings of the Institute of Radio Engineers» vom August 1931 beschrieben. Die Sende-Antenne besteht aus 3 horizontalen, übereinandergelagerten Rhombi. Die Empfangsantenne besteht aus 6 Vertikaleinheiten in Form eines umgekehrten V. Auf dem Catafuña-Gebäude in Barcelona war leider zur Errichtung wirksamer Richtstrahler nicht genügend Platz vorhanden. Die erhaltene Antennenverstärkung ist für Sender und Empfänger etwa 12 Dezibel oder 1,4 Neper.

Die Zeitdauer, während der diese Verbindung aus den verschiedensten Gründen verkehrsuntauglich war, betrug im Durchschnitt weniger als 2 Minuten täglich. Es darf hervorgehoben werden, dass jedoch kein einziger Anruf verloren ging, weil die Radioverbindung selbst unbrauchbar gewesen wäre. Statistische Erhebungen während der ersten 6 Betriebsmonaten zeigten eine Erhöhung der Einnahmen um 40 %, verglichen mit der früheren Kurzwellenverbindung zwischen Madrid und Palma. Diese Zunahme resultierte gänzlich aus der Einführung der zuverlässigeren Ultrakurzwellen-Verbindung.

b) Schottland—Irland.

Wie schon einmal erwähnt, eignen sich ultrakurze Wellen zur Uebertragung eines weiten Frequenzbandes. Diese Wellen sind daher auch zur simultanen Uebertragung verschiedener Kanäle geeignet, wobei eine Anzahl Telephon-Verbindungen gleichzeitig einer einzigen Trägerwelle aufgedrückt sind.

Fig. 9 zeigt das Prinzipschema einer 9-Kanal-Radiotelephon-Ausrüstung, welche im vergangenen

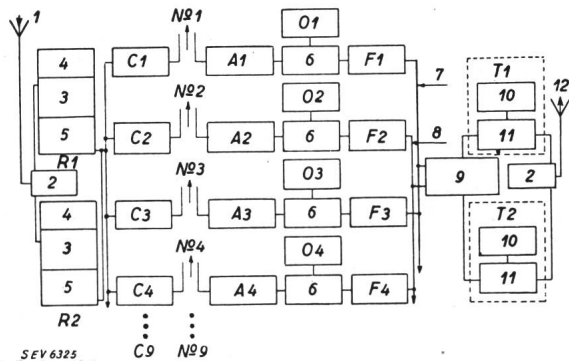


Fig. 9.

Prinzipschema einer 9-Kanal-Radiotelephonausrüstung.

1 Empfangsantenne. 2 Antennenschalter. 3 Hochfrequenz-Verstärker und Mischstufe. 4 Ueberlagerungsozillator. 5 Zwischenfrequenzverstärker. C₁...C₉ Kanal Nr. 1...9; Kanal-selektoren. No 1...No 9 Linie Nr. 1...9. Vieradrige Leitung. A₁...A₉ Niederfrequenzverstärker Nr. 1...9. O₁...O₉ Trägerwellengenerator für Kanal Nr. 1...9. F₁...F₉ Band-Pass-Filter für Kanal Nr. 1...9. 7 Ungeradzahlige Kanäle. 8 Geradzahlige Kanäle. 9 Modulations-Transformator. T₁, T₂ Ultrakurzwellen-Sender Nr. 1 und 2. 10 Quarzgesteuerter UKW-Generator. 11 Modulationsstufe mit Verstärker. 12 Sendeantenne.

Jahre zur Verbindung von Schottland mit Irland über eine Entfernung von 65 km errichtet wurde. Mit Nr. 1, 2 ... Nr. 9 sind die 9 Telephon-Stromkreise bezeichnet. Die Tatsache, dass es Vierdrahtkreise sind, ist zufällig und hat mit der Vielkanaleinrichtung an und für sich nichts zu tun. Der eingehende Sprechstrom wird verstärkt, und moduliert eine Trägerfrequenz von der Grössenordnung von 200 kHz. Die so modulierte Hilfsfrequenz ist über eine Siebkette auf den Modulationstransformator geleitet. In gleicher Weise sind alle 9 Kanäle behandelt, so dass in diesem Transformator die 9 verschiedenen Hilfsfrequenzen gemischt sind und zusammen einen Ultrakurzwellen-Sender modulieren. Diese Sendereinheit ist im grossen und ganzen dem besprochenen 10-W-Sender identisch, mit der Ausnahme, dass in diesem Falle eine Gegentakt-Ausgangsstufe hinzugeschaltet ist, um die Antennenleistung auf 50 W zu erhöhen.

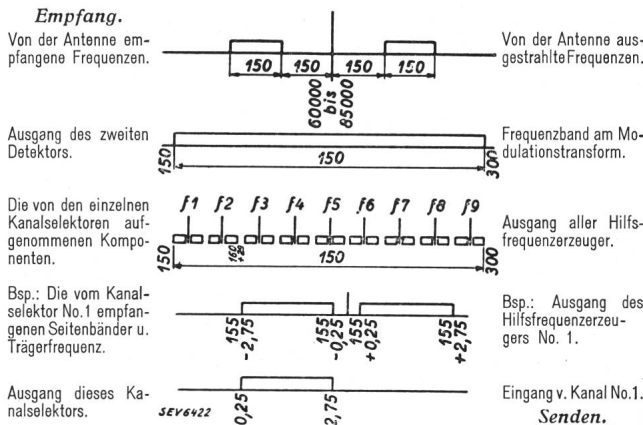


Fig. 9a.

Ultrakurzwellen-Frequenzspektrum für 9-Kanal-Uebertragung. Alle Frequenzen in kHz.

Es ist ganz offensichtlich, dass ein Defekt im Ultrakurzwellen-Sender sich katastrophal auswirken würde, indem dann mit einem Schlage 9 Kanäle lahmgelegt würden. Der gemeinsam benützte Sender ist darum doppelt vorgesehen. Der Reserve-Sender ist normalerweise nicht unter Spannung. Erst wenn ein Fehler im Sender, der im Betrieb ist, auftritt, z. B. Versagen einer Röhre, werden vollständig selbsttätig die Energieversorgung und die Antenne auf den Reservesender umgeschaltet. Das Fehlen des Betriebssenders wird gleichzeitig ebenfalls selbsttätig nach der entfernten Zentrale zurückgemeldet.

Auf der Empfangsseite empfängt die Antenne die mit den 9 Kanälen modulierte Hochfrequenz. Ueber einen Antennenumschalter wird diese Hochfrequenz auf den Eingangskreis des Empfängers geschaltet. Aus denselben Gründen wie beim Sender ist der von den 9 Kanälen gemeinsam benützte Teil des Empfängers doppelt vorhanden. Automatische Umschaltung, wie sie im Sender besteht, ist beim Empfänger nicht vorgesehen, weil bei den kleinen Strömen, die in einem Empfänger auftreten, die automatische Umschalt-Apparatur so empfindlich sein müsste, dass leicht Fehlschaltun-

gen daraus resultieren könnten. Das Aussetzen der 9 Kanäle kann übrigens nicht für längere Zeit unbemerkt bleiben. Da die Telephonbeamtin weiss, dass sie sich auf alle Fälle auf den entfernten Sender verlassen darf, kann sie das Aussetzen der 9 Kanäle nur auf ihren eigenen Empfänger zurückführen. Im gegebenen Falle wird sie daher durch einfaches Umlegen eines Schlüssels mit Fernsteuerung den Reserve-Empfänger einschalten.

Der gemeinsam benützte Empfängerteil ist eine Superheterodynschaltung. Im Ausgang des zweiten Detektors finden sich die 9 modulierten Hilfsfrequenzen des entfernten Senders. Jede Hilfsfrequenz ist durch Siebketten separiert und wird dann einzeln in den Kanal-Selektoren verstärkt und gleichgerichtet, wonach wieder die jedem Kanal entsprechende Sprechfrequenz entsteht. Nach Verstärkung wird diese Frequenz mit richtigem Niveau auf die abgehende Telephonleitung gegeben.

Es ist leicht, 9 Kanäle zu mischen, sie aber wieder ohne vernehmbares Uebersprechen zu separieren, ist eine Aufgabe für sich. Wie schon erwähnt, ist eine Güteziffer (Signal durch Geräusch) von 45 Dezibel (5,2 Neper) zu erzielen. Damit also Uebersprechen nicht vernehmbar ist, muss das Verhältnis von Signal zu reinem Uebersprechen mindestens 55 Dezibel (annähernd 6,5 Neper) betragen. Die Intermodulation zwischen den verschiedenen Kanälen muss deshalb mindestens der angegebenen Ziffer genügen. Diese Forderung würde ohne weiteres erreicht, wenn alle gemeinschaftlichen Stromkreisteile eine strikt lineare Abhängigkeit von Ein- und Ausgangsenergie aufweisen würden. Da jedoch Modulatoren und Gleichrichter im durchlaufenen Stromkreis vorhanden sind, ist diese Bedingung prinzipiell unmöglich zu erfüllen.

Die Aufgabe wurde so gelöst, dass die Modulatoren und Gleichrichter für einen möglichst quadratischen Verlauf der Kennlinie gebildet sind. Die übrigen gemeinsam durchlaufenen Stromkreisteile sind mit möglichst geradliniger Charakteristik gebaut. Die sekundären Frequenzen, die in den Modulatoren und Gleichrichtern erzeugt werden, entsprechen dann den Summen und Differenzen jedes Paares der durch diese Elemente gehenden Frequenzen. Wenn nun alle Hilfsfrequenzen innerhalb einer Oktave liegen, dann fallen alle erzeugten Sekundärfrequenzen ausserhalb des Hilfsfrequenzbandes. Im gegebenen Falle liegen alle Hilfsfrequenzen zwischen 150 und 300 kHz; somit liegen alle den Summen entsprechenden Sekundärfrequenzen zwischen 300 und 600 kHz und alle den Differenzen entsprechenden Sekundärfrequenzen zwischen 0 und 150 kHz. Die Sekundärfrequenzen können daher durch Siebketten einfach eliminiert werden.

Die besprochene Radioanlage ist seit August 1936 in Betrieb und hat immer befriedigende Resultate gezeitigt. Die Verhältnisziiffern (Signal durch Geräusch), die an den 9 Telephonkanälen gemessen wurden, übersteigen mit wenigen Ausnahmen bei maximaler Modulation 45 Dezibel. Die Veränderlichkeit der Uebertragungskonstanten vom Eingang des Senders bis zum Ausgang des entfernten

ten Empfängers übersteigt normalerweise nicht 2 Dezibel (0,23 Neper), eine Grösse, die vergleichbar mit der an Freileitungen gemessenen ist. Es kann nicht genug hervorgehoben werden, dass die Konstanz der Stromkreis-Dämpfung für einen Telefonbetrieb von fundamentaler Wichtigkeit ist. Wenn die Dämpfung zunimmt, leidet die Güte der Verbindung; wenn jedoch die Dämpfung abnimmt, dann können entfernte Verstärker des Netzes in Schwingung versetzt werden, womit die Uebertragung gänzlich unterbrochen wird.

zwischen Escalles, in der Nähe von Calais und St. Margaret's, in der Nähe von Dover, festgestellt, wo versuchsweise eine Verbindung auf den Wellenlängen 3,4 und 6 m unterhalten wurde. Ein Schwundeffekt konnte auf beiden Wellenlängen zu keiner Zeit festgestellt werden. Es wird später noch darauf hingewiesen, dass Messungen auf 17 cm gleichzeitig über dieselbe Verbindung gemacht wurden, und dass der auf dieser Welle beobachtete Schwundeffekt sehr ausgeprägt war. Weitere Erfahrungen haben ebenfalls bestätigt, dass bei vorhandener optischer

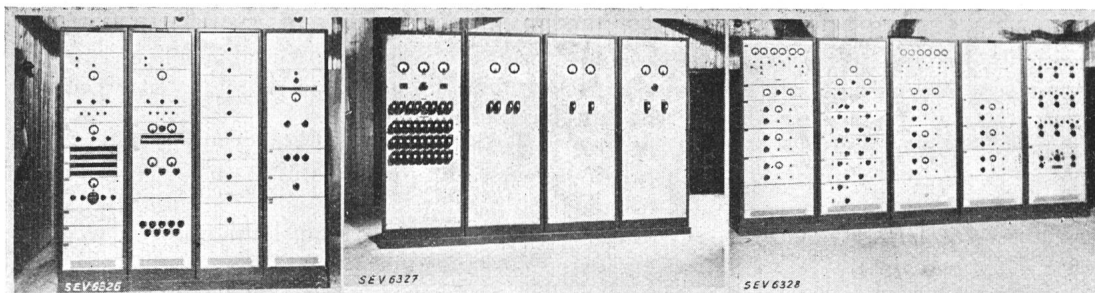


Fig. 10.
Empfänger

Fig. 11.
Energieversorgungsanlage des
Senders und ein Teil der Fern-
steuereinrichtung.

Fig. 12.
Sender

einer kompletten 9-Kanal-Ultrakurzwellenübertragung.

Während der 9 Betriebsmonate wurde keinerlei Schwundeffekt beobachtet. Dies schliesst die Möglichkeit einer Feldstärke-Aenderung von wenigen Dezibel nicht aus, weil eine automatische Verstärkungsregulierung eine solche Signaländerung sowie so ausgleicht. Eine beträchtliche Feldstärke-Vermindeung würde jedoch eine entsprechende Verschlechterung der Güteziffer (Signal durch Geräusch) zur Folge haben und, wie die Erfahrung gelehrt hat, sind noch nie Signaländerungen aufgetreten, die die Güte der telephonischen Uebertragung beeinträchtigt hätten.

Fig. 10, 11 und 12 zeigen die komplette 9-Kanal-Einrichtung. Fig. 10 veranschaulicht den Empfänger, Fig. 11 die Energieversorgungsanlage des Senders und einen Teil der Fern-Steuereinrichtung und Fig. 12 den kompletten Sender. Am Empfänger sind in der linken Hälfte oben die von den Kanälen gemeinschaftlich beanspruchten und doppelt vorgesehenen Hochfrequenzteile zu sehen, dann die 9-Kanal-Selektoren und im weiteren Energieversorgungsteile, Filter, Volumenanzeiger, Schalter zum Abschalten eines jeden einzelnen Kanals usw. Beim Sender sind oben in den Buchten 1 und 3 die zwei Ultrakurzwellen-Einheiten montiert, dann darunter die Hilfsfrequenz-Erzeuger und zwischen-drin die Hilfsfrequenz-Puffer-Einheiten, ganz rechts Sicherungs-Vorrichtungen und Schalter zum Abschalten jedes einzelnen Kanals.

Die ganze Anlage ist in einer Hütte untergebracht (Fig. 12a). In einem kleinen Steingebäude nebenan befindet sich eine Diesel-Generator-Anlage, die beim Ausfallen des Netzes automatisch anläuft und bei wieder vorhandener Netzspannung sich selbst-tätig abschaltet.

Eine ähnliche Beständigkeit der Uebertragung wurde auch bei der 35 km langen Verbindung

Sicht Schwund-Erscheinungen bei Wellenlängen über 3 m gewöhnlich vernachlässigbar gering sind.

Zurückblickend auf das Gesagte darf noch besonders zum Ausdruck gebracht werden, dass zum Unterschied von Kurzwellen-Verbindungen, solche mit ultrakurzen Wellen oft ohne jegliches Stations-

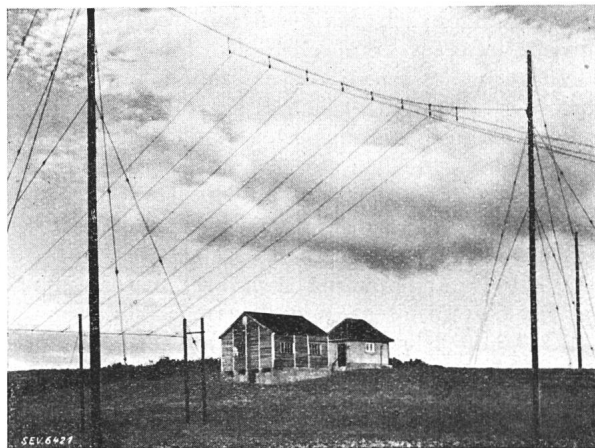


Fig. 12a.

Antennenanlage für Sender und Empfänger in Port Patrick der 9-Kanal-Ultrakurzwellen-Uebertragung zwischen Schottland und Irland.

Personal betrieben werden können. Das bei Kurzwellen nötige Personal zur Ausführung des Wellenwechsels fällt natürlich weg und in den meisten Fällen erübrigt sich eine Regulierung der Modulation für dauernd maximale Aussteuerung des Senders.

4. Die Notwendigkeit einer Umstellung in der Technik der Erzeugung von Dezimeterwellen.

Eine der bedeutendsten Entwicklungen in der Geschichte der Nachrichten-Uebermittlung war die

Erfindung der kommerziell brauchbaren 3-Elektroden-Röhre, welche für viele Jahre als unübertroffener Verstärker auf allen Gebieten verwendet wurde. Mit der Erhöhung der Uebertragungsfrequenz erwuchs jedoch ihrer Nützlichkeit eine Grenze. Die an Gitter und Platte angeschlossenen Stromkreise werden schliesslich so klein, dass die Schwingungskreise zur Hauptsache aus dem im Röhreninneren liegenden Teil gebildet werden, womit der Ankopplung an andere Stromkreise Schwierigkeiten erwachsen. Ferner wird selbst die durch kleine Kapazitäten gebildete Reaktanz so klein, dass die Lade-Ströme und, damit verbunden, die Energieverluste bedeutend werden. Die Inter-Elektroden-Kapazitäten wirken sich als so geringe Impedanzen aus, dass es trotz sorgfältiger Abschirmung und Neutralisierung schwierig wird, Schwingen eines Verstärkers zu verhüten. Die Neutralisierung ist durch die Induktanz der Anschlussleitungen und durch die im Inter-Elektroden-Zwischenraume bei endlicher Durchlaufzeit der Elektronen erzeugte Phasen-Verschiebung schwierig anzuwenden. In der vereinfachten Theorie der Vakuumröhre, die für annähernd eine Generation in Anwendung war, wurde die Bedeutung der Durchlaufzeit der Elektronen stillschweigend als vernachlässigbar betrachtet. Wenn diese Voraussetzung nun nicht mehr als erfüllt angesehen werden darf, dann benötigt die vom Gitter auf den Elektronen-Strom ausgeübte Steuerwirkung einen bedeutenden Leistungs-Aufwand, was sich dahin auswirkt, dass der zu überwindende Gitter-Widerstand erheblich unter 1000 Ohm fallen kann.

Es ist angebracht, mit einigen Worten auf die ursprüngliche, vereinfachte Röhren-Theorie zurückzugreifen. Gemäss dieser steuert eine Ladung auf dem Röhren-Gitter den Elektronenstrom durch direkte Wirkung auf das Elektron. Wenn das Gitter genügend negativ vorgespannt ist, kann kein Gitterstrom entstehen, weil die Elektronen negative Ladung haben, und deshalb muss die Gitter-Kathoden-Konduktanz gleich Null sein. Diese Erklärung ist jedoch nicht vollständig. Obschon es zutrifft, dass das Gitter bei genügender negativer Vorspannung keinen Elektronenstrom aufnehmen kann, ist es nicht richtig, dass das Gitter auch keinen Verschiebungsstrom aufnimmt. Des ferneren stellt sich die Frage, wie sich bei dem Vorgang das dritte Bewegungsgesetz auswirkt, wonach nämlich Aktion und Reaktion gleich und entgegengesetzt sind. Wenn die Ladung auf dem Gitter eine direkte Wirkung auf das Elektron ausübt, hat dann nicht auch das Elektron eine Rückwirkung auf die Ladung auf dem Gitter?

Diese Aktion und Reaktion bestehen in der Tat. Während des Durchganges des Elektrons von der Kathode zum Gitter bremsst die Gitterladung das Elektron, wodurch sie Energie vom Elektron empfängt; und während des Durchganges vom Gitter zur Platte beschleunigt die Gitterladung das Elektron, wodurch dieses vom Gitter Energie nimmt. Wenn das Gitterpotential während des Elektronen-Durchganges von der Kathode zur Platte konstant

bleibt, dann ist die dem Elektron zurückerstattete Energie gleich der ursprünglich von diesem abgegebenen. Dies wird klar, wenn man sich vergegenwärtigt, dass das Gitterpotential mit einer widerstandlosen Batterie konstant gehalten ist. Nach volendetem Elektronendurchlauf wurde keine Energie von der Gitterbatterie genommen, weil kein Gleichstrom entstand. Es besteht also kein Energieverlust und die Gitter-Kathoden-Konduktanz ist gleich Null.

Wenn jedoch das Gitterpotential während des Elektronendurchlaufes von der Kathode zur Platte ändert, dann besteht diese Gleichheit nicht mehr, weil die vom Elektron abgegebene und die von ihm aufgenommene Energie vom Gitterpotential abhängig sind.

Die mathematische Behandlung des Problems wird kompliziert durch die gegenseitige Beeinflussung der Elektronen, die die Raumladung ausmachen. Man kann zum mindesten qualitativ den Vorgang verfolgen, indem man diese Gegenwirkung vernachlässigt. Des weiteren soll nur der einfache Fall untersucht werden, wo keine Hochfrequenz-Impedanz im Plattenkreis besteht, das heisst, wo die Plattenspannung konstant ist.

Das Gitter habe eine konstante negative Vorspannung und eine kleine Wechselfspannung sei ihm aufgedrückt. Betrachtet man ein Elektron, welches die

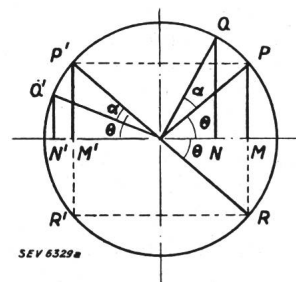


Fig. 13.
Ablaufzyklus der Bewegung eines Elektrons in einer Triode.

Kathode zu einer Zeit verlässt, wo das Gitterpotential positiv und zunehmend ist, wie es mit Punkt P in der den Ablaufzyklus veranschaulichenden Fig. 13 dargestellt sein möge.

Obschon der Energieübertrag kontinuierlich während des ganzen Elektronendurchlaufes stattfindet, soll ferner das Problem durch die Annahme vereinfacht werden, dass jegliche Energie-Verschiebung in bestimmten Momenten in der Durchlaufperiode des Elektrons stattfindet. Die Gitterspannung wird deshalb im Momente, wo das Elektron, welches die Kathode im Punkte P verlässt, seine Energie an das Gitter abgibt, eine Phase

$$\theta + \varepsilon$$

haben. ε ist eine Phasenverschiebung, die einer geringeren Zeit als derjenigen, die das Elektron braucht, um von der Kathode zum Gitter zu wandern, entspricht. In Wirklichkeit ist ε eine Funktion von θ und der Gitter-Wechselfspannung. Jedoch kann der Fehler, den man durch die Annahme von « ε sei konstant», einführt, wünschbar klein gemacht werden, vorausgesetzt, dass auch die Amplitude der Gitterwechselfspannung entsprechend klein gewählt wird. Man ist deshalb berechtigt, die genannte Grösse als konstant anzunehmen. Indem der Energieübertrag linear proportional zur Gitterspannung ist, dürfen die Wirkungen der konstanten

Vorspannung und der Wechselkomponente separat behandelt werden.

Es wurde bereits gezeigt, dass die Wirkung der konstanten Vorspannung gleich Null ist, so dass allein die Wirkung der Wechselspannung zu betrachten ist. Für einen Punkt P in der Figur ist diese Wechselkomponente positiv, so dass sie durch Anziehen des Elektrons diesem Energie proportional zu

$$\sin(\theta + \varepsilon)$$

gibt. Während des Durchlaufs vom Gitter zur Anode erstattet das Elektron Energie zurück und zwar proportional zu

$$\sin(\theta + \alpha)$$

wo α einen Phasenwinkel der Gitterspannung bezeichnet, entsprechend einer gewissen Elektronenlage zwischen Gitter und Anode. α ist deshalb notwendigerweise grösser als ε . Die totale Energie, die das Gitter jedem Elektron abgibt, ist deshalb

$$\begin{aligned} \sin(\theta + \varepsilon) - \sin(\theta + \alpha) = \\ -2 \cos\left(\theta + \frac{\alpha + \varepsilon}{2}\right) \sin(\alpha - \varepsilon) \end{aligned}$$

welcher Ausdruck, wie zu sehen ist, beinahe durch die ganze Halbperiode, während der die Gitterspannung zunimmt, negativ ist und positiv wird, wenn die Gitterspannung abnimmt. Die Zahl Elektronen, die in einer kleinen Zeiteinheit die Kathode verlässt, hängt von der Gitterspannung ab. Man betrachte nun Punkt P' , wo das Gitter dieselbe Spannung aufweist wie bei P , nur mit dem Unterschied, dass hier die Spannung abnimmt. Weil die Gitterspannungen P und P' die gleichen sind, so ist die Zahl der von der Kathode abgegebenen Elektronen während der Zeiteinheit in beiden Fällen gleich. Jedes Elektron empfängt vom Gitter eine Energie proportional zu

$$\sin(\pi - \theta + \varepsilon) = \sin(\theta - \varepsilon)$$

und gibt dem Gitter eine Energie proportional zu

$$\sin(\pi - \theta + \alpha) = \sin(\theta - \alpha).$$

Die totale, vom Gitter abgegebene Energie ist deshalb während einer kleinen Zeiteinheit für ein den Punkten P und P' entsprechendes Elektronenpaar proportional zu

$$\sin(\theta + \varepsilon) + \sin(\theta - \varepsilon) - [\sin(\theta + \alpha) + \sin(\theta - \alpha)] = 2 \sin \theta (\cos \theta - \cos \alpha) = \sin \theta (\alpha^2 - \varepsilon^2),$$

weil beide, α und ε , klein sind.

Man betrachtet nun die Punkte R und R' in Fig. 13: Hier empfängt die Gitterladung Energie von jedem Elektronenpaar, weil θ nun negativ ist. Der Energieübertrag ist wiederum für jedes Elektronenpaar proportional zu

$$\sin \theta (\alpha^2 - \varepsilon^2)$$

Da jedoch mehr Elektronen die Kathode in den Punkten P und P' verlassen als in R und R' , weil das Gitter in P und P' weniger negativ ist, so folgt dar-

aus, dass mehr Elektronenpaare bestehen, welche Energie von der Gitterladung nehmen, als solche, welche Energie der Gitterladung abgeben. Ferner sind α und ε proportional zu fT , wo f die Frequenz der an das Gitter angelegten Wechselspannung ist, und T die Elektronen-Durchlaufzeit von der Kathode zur Anode bedeutet.

Daraus folgt, dass

1. die positive Gitterkathoden-Konduktanz durch die Tatsache bedingt ist, dass mehr Elektronen die Kathode verlassen, wenn das Gitter weniger negativ ist, als wenn es mehr negativ ist;

und 2. der Energieverlust und deshalb die Gitter-Kathoden-Konduktanz proportional dem Quadrat des Produktes aus Frequenz- und Elektronen-Durchlaufzeit sind. Wenn die auf diese Weise absorbierte Energie diejenige, welche aus der Anode gezogen werden kann, überschreitet, dann ist keine Verstärkung mehr möglich, und Schwingungen können nicht mehr in der üblichen Art erzeugt werden.

Eine Umstellung in der Technik der Schwingungs-Erzeugung wird damit nötig. Eine der wichtigsten Aufgaben in der Konstruktion von Ultrakurzwellenröhren ist deshalb die Verringerung der Elektronen-Durchlaufzeit. Dies kann erreicht werden entweder durch Erhöhung der Anoden-Spannung oder durch Reduktion der Röhren-Abmessungen. Weil es des weiteren, aus bereits angetönten Gründen, nötig ist, die Induktivität und Kapazität der Röhren-Zuführungen so niedrig als möglich zu halten, ist es gewöhnlich am zweckmässigsten, die Ab-

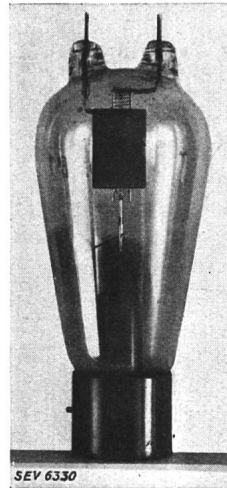


Fig. 14.
Senderröhre für ultrakurze Wellen.

messung der Röhre zu verringern. Fig. 14 zeigt eine von der Western Electric Company für ultrakurze Wellen entwickelte Senderröhre. Wie ersichtlich, sind die Röhren-Zuführungen so kurz als möglich gehalten und direkt durch das Glas geführt, um die dielektrischen Verluste zu verringern.

5. Dezimeterwellen-Verbindungen.

Wenn einmal die Erzeugung von Schwingungen mit der klassischen Methode der Rückkopplung versagt, wird es nötig, zu andern Mitteln zu greifen. Der Name Dezimeterwellen wurde zur Bezeichnung von Wellen unter 50 cm angenommen, weil um diese Wellenlänge herum die Umstellung in der Technik erfolgt. Geschichtlich gesprochen wurde das Problem gelöst, bevor überhaupt die Frage gestellt war.

Es ist interessant, an Hand des Gesagten abzuleiten, auf welche Weise die Lösung zu Stande kam.

Wie gezeigt, rührt die positive Konduktanz des Gitter-Kathodenraumes daher, dass mehr Elektronen die Kathode verlassen, wenn das Gitter we-

niger negativ wird als wenn es mehr negativ wird. Wäre es möglich, zu veranlassen, dass mehr Elektronen die Kathode verlassen, wenn das Gitter negativer wird, dann würde der Gitter-Kathodenraum eine negative Konduktanz darstellen, womit es möglich wäre, Schwingungen im Gitterkreis aufrecht zu erhalten. Glücklicherweise ist es nicht nötig, dass diese zusätzlichen Elektronen aus der Kathode selbst zu kommen brauchen; es ist nur nötig, dass solche im richtigen Moment an der Kathode erscheinen. Sie können sehr wohl von einer anderen Elektrode herkommen, von welcher sie erzeugt oder reflektiert werden.

Die positive Gitter-Kathoden-Konduktanz, deren Ursache soeben erklärt wurde, wirkt jeglicher negativen Gitter-Kathoden-Konduktanz, die durch andere Mittel erzeugt werden mag, entgegen. Der erste Gedanke, der einem zur Verringerung der positiven Konduktanz einfallen wird, ist der, die Kathode in Spannungssättigung zu betreiben, womit die positive Konduktanz auf Null vermindert wird. Auf diese Weise wird in der Tat die Eigenschaft, auf der die Verstärkerwirkung der negativen Gitter-Triode beruht, vernichtet. Die Röhrenanode wird jedoch dadurch frei, um als reflektierende Elektrode benützt zu werden, wozu ihr eine Spannung gleich oder wenig geringer als diejenige der Kathode zu geben ist. Es wird nun natürlich nötig, dem Gitter eine positive Spannung zu geben, damit die Elektronen von der Kathode angezogen werden. Das Elektron, welches die Kathode in einem Momente verlässt, wo das Gitterpotential abnimmt, empfängt Energie aus dem Gitterkreis, und wenn die Spannung der reflektierenden Elektrode zweckmässig gewählt ist, kann erreicht werden, dass das Energie absorbierende Elektron genügend Energie gewinnt, um die Anode zu erreichen und dort den Röhrenraum zu verlassen, während das Energie gebende Elektron nicht genügend Energie hat, um bis zur Anode durchzudringen und deshalb reflektiert wird. Dieses zweite Elektron kann verschiedene Male hin- und herpendeln, bevor es schliesslich auf dem Gitter zur Ruhe kommt. Indem die Elektronen, die die Kathode im Moment verlassen, wo das Gitter-Potential abnimmt, rasch aus dem Aktionsbereich entfernt werden, wird die Gitter-Kathoden-Konduktanz negativ.

Es gibt zwei Arten von Schwingungserzeugung, die beide auf der Ausnützung der Elektronenträgheit beruhen, nämlich einerseits Dioden und Trioden mit positiv vorgespanntem Gitter und andererseits die Magnetronröhren. Beide Arten sind bereits zu einer gewissen praktischen Bedeutung gelangt. Trioden mit positivem Gitter wurden kommerziell zur Errichtung der Dezimeterwellen-Telephon- und Fernschreibverbindung über den Aermelkanal zwischen Lypne und St. Inglevert verwendet. Die dabei zu überbrückende Entfernung ist 56 km. Die Senderleistung beträgt ungefähr ein halbes Watt im Wellenlängenbereich von 15 cm (2000 MHz) bis 30 cm (1000 MHz). Schwingungen konnten bis hinunter auf 6 cm (5000 MHz) aufrecht erhalten werden. Obschon die Magnetronsaltung be-

trächtlich höhere Ausgangsleistungen erzeugt, wurde diese bis anhin nicht für kommerzielle Zwecke verwendet, wegen der damit verbundenen Modulationsschwierigkeit. Fig. 15 zeigt Trioden mit positivem Gitter, wie sie in genannter Verbindung verwendet werden. Die Anode¹⁾ dieser Röhre ist zylindrisch; konzentrisch dazu ist das spiralförmige Gitter angeordnet, welches ungefähr eine Wellenlänge lang ist, so dass man es nicht mehr mit einer einfachen Elektrode zu tun hat. Das Gitter besitzt zwei Anschlüsse, die so angeordnet sind, dass die Speise-

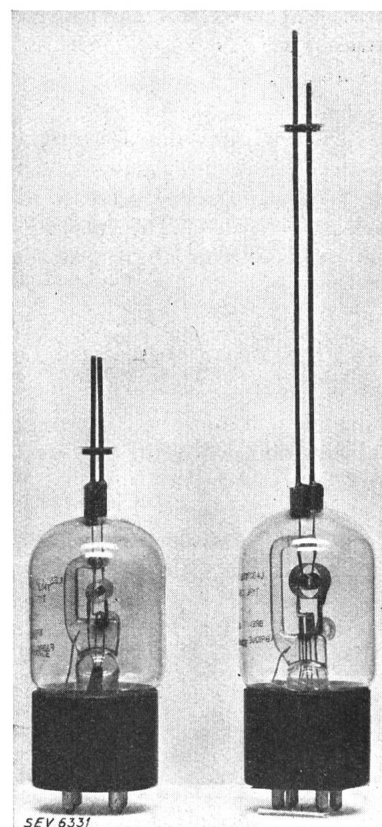


Fig. 15.

Trioden mit positivem Gitter zur Erzeugung von Dezimeterwellen.

leitung, die daran angeschlossen ist, vom Röhreninnern bis zur Antenne ein homogenes Gebilde darstellt, welches durch die negative Ableitung, die längs des aus dem Röhrengitter bestehenden Teils existiert, in Schwingung erhalten wird.

Es soll hier nicht weiter versucht werden, den hier mitspielenden, äusserst komplexen Vorgang zu erläutern, der bereits Gegenstand zahlreicher Veröffentlichungen wurde. A. G. Clavier hat in «Electrical Communication» vom Juli 1933 dieses Problem theoretisch behandelt. Die Wellenlänge der Schwingung ist weitgehend durch die inneren Abmessungen der Röhre bestimmt; innert gewisser Grenzen kann sie jedoch durch die an Gitter und Anode angelegte Spannung geändert werden. Es wurde experimentell gefunden, dass für jede gegebene Antennen-Speiseleitung und Last mittels

¹⁾ «Anode» ist in der Literatur auch in Fällen gebräuchlich, wo, wie hier, es sich um eine Elektrode mit negativer Vorspannung handelt.

verschiedener Paare von Gitter- und Anodenspannungen dieselbe Wellenlänge erzeugt werden kann, wobei die abgegebene Hochfrequenzleistung für jedes Spannungspaar verschieden ist. Auf diese Weise ist es möglich, praktisch eine geradlinige, frequenzmodulationsfreie Amplituden-Modulation zu erreichen.

Um die Dezimeterwellen zu bündeln, kann jedes in der Optik dazu benützte Mittel verwendet werden, nämlich Linsen, Beugungsgitter, parabolische Reflektoren usw. Eine doppelkonvexe Linse von 70 cm Durchmesser mit 1 m Krümmungsradius vermochte die Ausstrahlung eines 5,9 m vor der Linse aufgestellten Strahlers im 40 cm hinter der Linse gelegenen Brennpunkt zu konzentrieren. Die Feldstärke im Brennpunkt erfuhr durch die Sammelwirkung der Linse eine Verstärkung von 10 Dezibel (1,15 Neper).

Das Prinzip des Beugungsgitters ist schematisch in Fig. 16 dargestellt. Angenommen, T sei ein punktförmiger Strahler einer Wellenlänge λ . In der Praxis besteht dieser aus einem ungefähr 1 cm langen Strahler. Zur Bestimmung der Wirkung der Ausstrahlung von T in irgendeinem Punkte wendet man das Huyghenssche Prinzip an, gemäss dem man den Punkt T selbst beiseite lassen darf, indem man jeden Punkt in der Ebene EAE' als Ausgangspunkt eines neuen Wellensystems annimmt. Jedem neuen Ausgangspunkte

muss man die Phase und Intensität beimessen, die denjenigen der vom Punkte T herkommenden Strahlen entsprechen. Die resultierende Intensität im Punkte R ist die vektorielle Summe aller durch die sekundären Strahlungsquellen in der Ebene EAE' erzeugten Komponenten.

Wählt man Punkte B, C, D und E so, dass TBR eine halbe Wellenlänge länger ist als TAR , TCR wieder eine halbe Wellenlänge länger als TBR usw., dann ergibt sich, dass die Intensität in R , erzeugt durch die sekundäre Strahlungsquelle in B , entgegengesetzter Wirkung ist wie die von Quelle A erzeugte Intensität. Jedem zwischen A und B befindlichen Punkte entspricht ein Punkt zwischen B und C , für welchen die Intensität in R entgegengesetzte Wirkung hat. Die durch C in R erzeugte Intensität ist der von B erzeugten entgegenwirkend, jedoch für die von A erzeugte mitwirkend. Wenn die vektorielle Summe der Intensitäten in R , erzeugt durch die Punkte zwischen A und B , als positiv angesprochen wird, dann muss die vektorielle Summe, resultierend aus den Punkten zwischen B und C , als negativ angesehen werden. Gleicherweise ergibt CD positive Intensität und DE negative.

Stellt man sich diese Figur in drei Dimensionen vor, indem man das Gebilde um die Achse TR rotiert, dann stellt das Element AB eine Scheibe dar, das Element BC einen Ring und gleicherweise CD ,

DE usw. Ringe. Eine Scheibe und Ringe, entsprechend dieser Figur, wurden aus Aluminium hergestellt. Die in R empfangene Energie wurde durch Thermokreuz- und Galvanometer gemessen. Der Instrumenten-Ausschlag ist ungefähr proportional der empfangenen Energie. Ohne jegliches Hindernis zwischen T und R wurde ein Instrumenten-Ausschlag von 19 Skalenteilen erhalten. Dann wurde eine Holzwand an Stelle der Ebene $E'E$ gesetzt und ein Ausschlag von 16 wurde gemessen. Diese Abnahme ist auf Absorbition oder Diffraktion zurückzuführen. Weiter wurden die Scheibe Null und Metallringe 1, 2 und 3 auf die Holzwand gesetzt und der Ausschlag war 4, also nicht ganz Null, weil das Hindernis sich nicht unendlich ausbreitete. Scheibe Null wurde dann entfernt und 41 wurde gemessen. Dann wurde auch Ring 1 weggenommen. Weil die Intensität, erzeugt durch BC , derjenigen von AB entgegenwirkt, durfte eine Energie-Abnahme erwartet werden. In der Tat wurde 9 gemessen. Dann wurde Null und 2 entfernt und 1 und 3 belassen. Eine weitere Zunahme durfte erwartet werden. Die Messung ergab 118. Weiter wurde die Holzwand weggenommen und der Ausschlag stieg auf 139. Mit Ring 1 und 3 entfernt und Null und 2 mitsamt der Holzwand belassen, ergab sich 34.

Aus den genannten Messungen folgt, dass das Beugungsgitter von 1 m Durchmesser einen Energiegewinn von 139 : 19 erzeugte, das sind 8,6 Dezibel oder fast 1 Neper.

Fig. 17 zeigt das aus den Ringen 1 und 3 konstruierte Beugungsgitter.

Eine bedeutend bessere Bündelung der Strahlen kann jedoch mit einem paraboloidförmigen Spiegel erzeugt werden, mit dem Strahlungselement im Brennpunkt angeordnet. Theorie und Praxis zeigen, dass für einen gegebenen Durchmesser eines solchen Spiegels die stärkste Strahlenbündelung auf lange Entfernung dann erhalten wird, wenn der

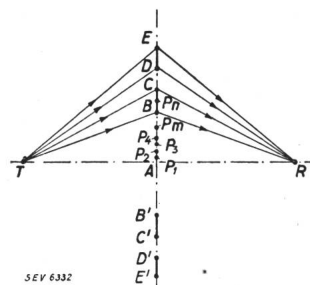


Fig. 16.
Prinzip des Beugungsgitters (im Schnitt).

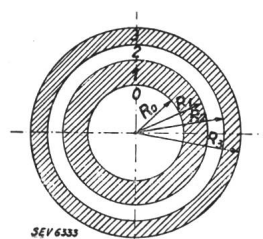


Fig. 17 (oben).
Beugungsgitter (von vorn).
 $R_0 = 23,5$ cm; $R_1 = 34$ cm;
 $R_2 = 42$ cm; $R_3 = 50$ cm.

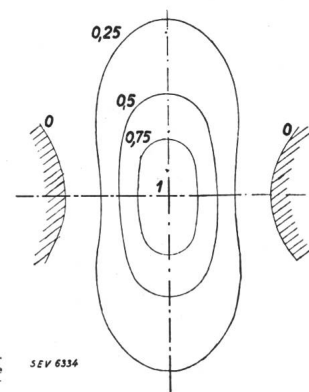


Fig. 18 (rechts).
Projektion der Aequipotentiallinien eines Paraboloides auf die Directrixebene.

Spiegelrand in der Brennpunktebene liegt. Fig. 18 zeigt die Projektion der Aequipotentiallinien des Paraboloides auf die Directrix-Ebene. Diese Figur und deren Auslegung wurden zum ersten Mal von Darbord in der «Onde Electrique», Bd. 11 (1933), S. 53, veröffentlicht. Dieser Auslegung zufolge trägt jedes Element auf dem Paraboloid, welches auf einer mit 0,5 bezeichneten Projektionslinie gelegen

ist, in einer gewissen, in der Verlängerung der Reflektorachse gelegenen Entfernung 0,5 der Feldstärke bei, die von einem direkt hinter der Antenne gelegenen Element erzeugt wird, vorausgesetzt, dass die projizierten Flächen dieser zwei Elemente gleich gross sind. Das schraffierte Gebiet bezeichnet Oberflächen, deren Strahlungsanteil sich auf Entfernung in einer Verringerung der resultierenden Feldstärke auswirkt. Daraus folgt, dass das Strahlenbündel weiter ist in der durch den Strahler gelegenen Symmetrieebene als in der rechtwinklig dazustehenden. Die Bündelbreite beträgt, bezogen auf eine Verringerung von 10 Dezibel des hörbaren Signals $\pm 3,7^\circ$ in der Strahlerebene und $\pm 2,2^\circ$ im rechten Winkel dazu. Der Feldstärkegewinn, gemessen direkt in der Reflektorenhöhe beträgt zwischen 22 und 23 Dezibel (2,6 Neper).

Fig. 19 sei ein Symmetrie-Schnitt durch den Spiegel in der Antennen-Ebene. Die Polarisation der Antenne sei mit dem Pfeil $A'A$ angegeben, das heisst, man betrachtet einen Moment, wo das imaginäre elektrische Teilchen sich nach aufwärts bewegt. Ferner beziehe man sich auf zwei nebeneinanderliegende Punkte P und P_1 auf dem Spiegel, wovon P_1 vor und P hinter der Brennpunktebene liegt. Die

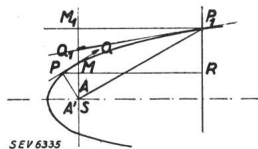


Fig. 19.

Symmetrieschnitt durch einen Parabolspiegel in der Antennen-ebene.

Polarisation eines Strahles, der den Spiegel im Punkte P trifft, muss immer im rechten Winkel zur Strahlrichtung stehen. Der im Spiegel induzierte Strom hat deshalb die Richtung PQ . Im Falle eines Strahles, der den Spiegel in P_1 trifft, muss der durch diesen Strahl erzeugte Strom die Richtung P_1Q_1 haben. Wenn P und P_1 nahe beisammen liegen, dann haben die Pfeile in P und P_1 entgegengesetzte Richtung, so dass auch deren Wirkungen entgegengesetzt sind.

Diese Tatsache ist für die Konstruktion des Spiegels von fundamentaler Wichtigkeit, da daraus folgt, dass, wenn die Antenne gänzlich innerhalb der Spiegelöffnung liegt, schädliche Zonen auftreten müssen, ausgenommen, wenn der Spiegel-Oberfläche eine nicht homogene Form gegeben wird. Bei paraboloidförmigem Spiegel verschwinden diese schädlichen Zonen, wenn die genannte Bedingung für grösste Feldstärke erfüllt ist.

Die Frage stellt sich, warum denn im Falle eines Scheinwerfers, der die Lichtquelle umfasst, keine toten Zonen gesehen werden können. Dies erklärt sich daraus, dass das Licht eine rotierende Polarisation hat, womit das, was im Moment eine schädliche Zone bildet, im nächsten Augenblick wieder eine nützliche Wirkung hat. Die durchschnittliche Wirkung in jedem Punkte ist positiv.

Zwei Duplex-Verbindungen mit Dezimeterwellen wurden über den Aermel-Kanal erstellt; die eine, zu Versuchszwecken benützte Verbindung befindet sich zwischen Escalles in der Nähe von Calais und St. Margaret's in der Nähe von Dover, während die

zweite kommerzielle Verbindung zur Verständigung zwischen den Flughäfen *Lympne* und *St. Inglevert* erstellt wurde. Diese Verbindung zeichnet sich nicht nur dadurch aus, dass die kleinste kommerzielle Wellenlänge der Welt dazu benützt wird, sondern auch dadurch, dass sie bis heute die längste Dezimeterwellen-Verbindung ist. Die ausführliche Beschreibung der Anlagen ist bereits publiziert²⁾ und soll hier nicht wiederholt werden.

Fig. 20 zeigt die Türme in *St. Inglevert* und Fig. 21 veranschaulicht die Schaltung einer Dezimeterwellen-Verbindung. Die in der kontinuierlichen Verbindungsleitung von der Röhre bis zur Antenne be-

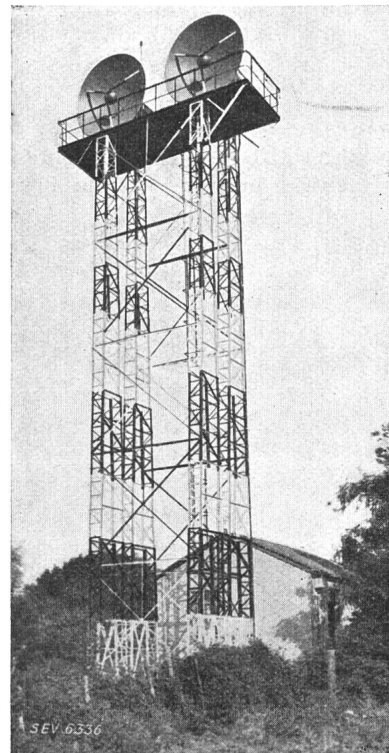


Fig. 20.

Sende- und Empfangtürme der Dezimeterwellenverbindung Lympne-St. Inglevert.

findlichen Kondensatoren dienen nur zur Fernhaltung der Hochspannung vom Antennengebilde. Die Modulations-Frequenz ist auf Gitter und Platte der Senderröhre gleichzeitig gegeben, um Frequenz-Modulation zu verhindern.

Im Anodenkreis der Empfangsröhre befindet sich ein Zwischenfrequenzkreis, der parallel zum Anoden-Kathoden-Raum geschaltet ist. Die Reaktanz dieses Raumes hängt aber von der empfangenen Dezimeterwellen-Signalstärke ab, so dass die durch die Röhre aufrecht erhaltene Zwischenfrequenzschwingung durch die Dezimeterwellensignalstärke, d. h. durch die Dezimeterwellen-Amplitudenmodulation, frequenzmoduliert ist. Diese Zwischenfrequenz wird verstärkt und die Frequenzmodulation wieder in eine Amplitudenmodulation umgewandelt, welche dann nach Gleichrichtung wieder die ursprünglichen Sprechströme erzeugt.

²⁾ Electr. Comm. Vol. 12 (1933/34), Jan., S. 222.

Man kann sehen, dass die gesamte von der Antenne vorwärts gestrahlte Energie nie ihr Ziel erreichen würde, wenn nicht ein halbkugelförmiger Spiegel verwendet würde, der direkt vor die Antenne gestellt wird und so alle vorwärts gestrahlte Energie auf den parabolischen Reflektor zurückstrahlt. Um zu erreichen, dass die vorwärts-gesandten Strahlen schliesslich den Reflektor wieder im richtigen Phasenverhältnis treffen, müssen diese Strahlen einer Phasenverschiebung von 360° oder einem vielfachen davon unterworfen werden. Indem die Zurückstrahlung im halbkugelförmigen Spiegel einer Phasen-Verschiebung von

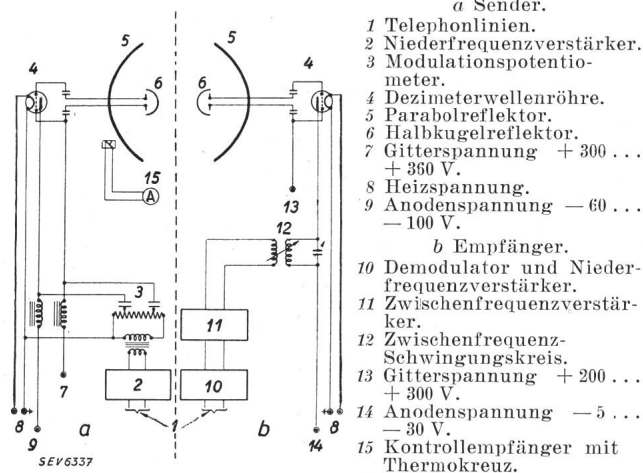


Fig. 21. Schema einer Dezimeterwellenverbindung.

180° gleichkommt, könnte angenommen werden, dass der Radius des Spiegels gleich einer ungeraden Zahl Viertelwellenlängen sein sollte. Wenn der Spiegel-Radius gleich einer Viertelwellenlänge ist, dann findet auf dem Durchgang von der Antenne bis zum Spiegel eine Phasenverschiebung von 90° statt, bei Zurückstrahlung wieder 180° und bei Rückkehr nochmals 90°, so dass eine gesamte Phasenverschiebung von 360° stattfindet. Eine interessante und in der Optik bekannte Erscheinung tritt jedoch hier zutage, die nach ihrem Entdecker mit Gouy-Effekt bezeichnet ist. Die durch den Halbkugel-Spiegel reflektierten Strahlen erfahren eine Phasenbeschleunigung derart, dass nach dem Durchgang durch den Brennpunkt die Phase um ganze 180° mehr verschoben ist, als es dem normalen Durchlaufsweg entsprechen würde. Aus diesem Grunde muss der Radius der Halbkugel ein Vielfaches der halben Wellenlänge betragen. Die durchschnittliche, durch den Halbkugel-Spiegel erreichte Verstärkung wurde zu 3 Dezibel gemessen.

Fig. 22 zeigt die gesamte Dezimeterwellen-Anlage im Stationsgebäude mit Ausnahme der Batterien.

Uebertragungs-Messungen wurden von Anfang 1931 bis Ende 1935 an den genannten Dezimeterwellen-Verbindungen durchgeführt, mit Ausnahme von 1932 und einigen Wintermonaten, wenn das Arbeiten infolge der exponierten Lage der Stationen zu beschwerlich war. Schwunderscheinungen wurden im Sommer bei beiden Verbindungen festgestellt.

Zwischen dem 23. April 1931 und dem 6. Juli desselben Jahres wurden an der Verbindung zwischen Escalles und St. Margaret's mehr als 20 Fälle von Schwund grösser als 10 Dezibel beobachtet; in 5 Fällen erreichte der Schwund 40 Dezibel (4,6 Neper). Es sei daran erinnert, dass die bereits er-

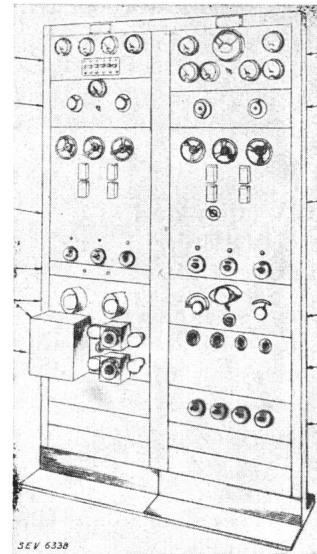


Fig. 22. Dezimeterwellenanlage im Stationsgebäude in Lympne.

- 1 Verstärker-Messinstrumente.
- 2 Modulationsregulierung.
- 3 Regulierung des Dezimeterwellensenders.
- 4 Kontrollanschlüsse.
- 5 Niederfrequenzverstärker (Sender).
- 6 Niederfrequenzverstärker (Empfänger).
- 7 Messinstrumente zur Ueberwachung der Dezimeterwelle.
- 8 Demodulator.
- 9 Regulierung des Dezimeterwellenempfängers.
- 10 500-kHz-Oszillator.
- 11 Verstärker-Netzanschluss.
- 12 Netzschalter.

wähnten Messungen, die im Jahre 1933 zwischen diesen beiden Stationen auf 3,4 und 6 m gemacht wurden, gleichzeitig mit denjenigen auf 17 cm durchgeführt wurden. Obschon ein Schwund von 40 Dezibel auf 17 cm Wellenlänge beobachtet wurde, konnte auf den längeren Wellen keine Signaländerung konstatiert werden.

Für Lympne-St. Inglevert wurden Beobachtungen auf den folgenden Wellenlängen angestellt: 14, 18, 20 und 29 cm. Alle diese Wellenlängen wiesen denselben Unbeständigkeitsgrad auf, obschon der Schwund jedoch nicht gleichzeitig auf den verschiedenen Wellenlängen auftrat. Es wurde versucht, während Zeiten geringer Feldstärke den Empfang durch Drehung des Strahlenbündels um wenige Grade um die vertikale, bzw. horizontale Achse zu verbessern; alle diese Bemühungen zeigten jedoch keinen nennenswerten Erfolg.

Fig. 23 zeigt das Verhalten der Signalstärke am 20. Juli 1935. Man sieht, dass an diesem Tage das Signal ziemlich stabil blieb. Vier Tage später (Fig. 24) war das Signal jedoch sehr veränderlich. Die

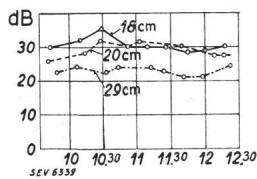


Fig. 23.

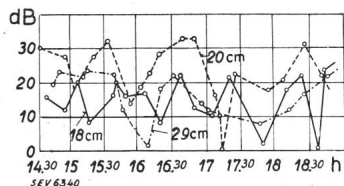


Fig. 24. Aenderung der Signalstärke am 20. 7. 35, am 24. 7. 35, am 25. 7. 35, am 30. 7. 35.

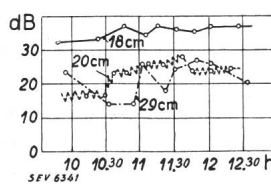


Fig. 25.

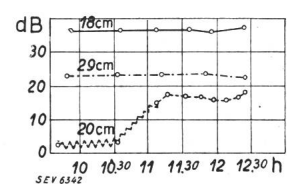


Fig. 26.

20-cm-Welle fiel 30 Dezibel (3,5 Neper) und die 29- und 18-cm-Wellen zeigten ebenfalls Variationen von 20 Dezibel (2,3 Neper); immerhin schwinden die verschiedenen Wellen nicht zusammen. Am 25. Juli (Fig. 25) war 18 cm ziemlich unveränderlich; 29 cm zeigte einen gewissen Schwund und 20 cm verhielt sich ausserordentlich beweglich. Am 30. Juli (Fig. 26) waren 18 cm und 29 cm sehr ruhig, während 20 cm einen unregelmässigen Verlauf aufwies.

Diese Schwunderscheinung ist nicht vollständig geklärt. Es ist wahrscheinlich, dass sie der Inhomogenität des Uebertragungs-Mediums zuzuschreiben ist, indem die Strahlen wie an Wolken reflektiert oder abgelenkt oder sogar zerstreut werden. Die Schwäche einer einzelnen Wellenlänge zu gewissen Zeiten kann auf Interferenz zwischen einem direkten und einem indirekten Strahl zurückgeführt werden, welche von der Zusammensetzung der Atmosphäre abhängt.

6. Das optimale Wellenband und seine Wirtschaftlichkeit verglichen mit Drahtverbindungen.

Aus den besprochenen Uebertragung-Ergebnissen darf geschlossen werden, dass ultrakurze Wellen zwischen 3,5 und 6 m sich sehr gut zur Errichtung hochgradiger Telephonverbindungen eignen. Bei grossen Entfernungen, welche über den optischen Bereich hinausgehen, ist es für einen zuverlässigen Betrieb wünschenswert, in den Radiostationen über Betriebspersonal zu verfügen. Trotzdem kann dann die Verlässlichkeit der Verbindung zeitweilig einer hochgradigen Drahtverbindung nicht ebenbürtig sein. Immerhin ist auch in diesem speziellen Falle ein befriedigender kommerzieller Betrieb möglich. Im Wellenband zwischen 14 und 30 cm treten jedoch auch bei optischer Sicht beträchtliche Schwunderscheinungen auf. Bei welcher Wellenlänge zwischen 3 m und 30 cm diese Schwunderscheinung ihren Anfang nimmt, wurde bis jetzt noch nicht festgestellt. Ultrakurze Wellen länger als 6,5 m wurden schon auf lange Distanzen übertragen. Die 7,2-m-Sendungen des Alexandra-Palastes in London wurden sogar in Südafrika empfangen. Zuverlässige Meldungen über Empfang von Wellenlängen unter 6 m über sehr lange Distanzen bestehen nicht. Da die Erzeugung sehr frequenzstabiler ultrakurzer Wellen mit verringerter Wellenlänge schwieriger wird, scheint das zweckmässigste Wellenband mit 3 bis 6 m angegeben werden zu können. In diesem Wellenband scheint die Uebertragung über lange Distanzen und die damit verbundene Gefahr des Abhorens und des Interferierens an unerwarteten Orten nicht zu bestehen. Die grosse Frequenz-Stabilität, die mit relativ einfachen Mitteln erreicht werden kann, ermöglicht, sehr selektive Empfänger zu verwenden, sogar an Orten, wo kein Bedienungspersonal vorhanden ist. Eine Verringerung der Gütezahl (Signal durch Geräusch) infolge der Verwendung von Empfängern, die bei nicht stabiler Senderfrequenz für den Empfang eines weiten Frequenzbandes eingerichtet sein müssen, kann damit vermieden werden. Obschon infolge der grö-

seren Richtwirkung und der weniger bekannten Erzeugungstechnik der Mikrowellen eine weitgehende Verheimlichung der Verbindung erreicht werden kann, ist die Verwendbarkeit solcher Wellenlängen zur Errichtung kommerzieller Telephonverbindungen wegen der Unbeständigkeit der Uebertragung uninteressant. Die Frage, wann ein Ultrakurzwellen-System sich gegenüber einer andern Verbindungsart als wirtschaftlich erweist, kann nur von Fall zu Fall entschieden werden, weil viele individuelle Faktoren mitsprechen. Im allgemeinen darf gesagt werden, dass, wo immer eine Drahtverbindung ohne übermässige Installations-Schwierigkeiten und Unterhaltungskosten erstellt werden kann, die Ultrakurzwellen-Variante sich nicht als ökonomisch erweist. Wo Tiefseekabel verwendet werden müssen, besteht jedoch kein Zweifel, dass die Wahl der drahtlosen Verbindung sich vom Erstellungs- und Unterhaltungs-Standpunkt aus als billiger erweisen kann. Auch in Fällen, wo die Gefahr besteht, dass unterseisch verlegte Kabel durch Schiffsanker beschädigt werden könnten, werden Ultrakurzwellen-Verbindungen mehr und mehr zur Ueberbrückung von Flüssen und seichten Wasserwegen herangezogen. Ebenfalls in Fällen, wo infolge von natürlichen Hindernissen eine Radioverbindung einen viel kürzeren Verbindungsweg darstellt, als mit Drahtleitungen möglich wäre, ist diese Variante in Betracht zu ziehen.

7. Verbindungen mit beweglichen Einheiten.

Ausser ihrer Nützlichkeit zur Erstellung fester kommerzieller Telephonverbindungen sind ultrakurze Wellen ganz besonders zur Nachrichten-Uebermittlung nach beweglichen Einheiten geeignet. Eine der wichtigsten Anwendungen ist die Verbindung von Polizeipatrouillen-Wagen unter sich und mit der Hauptwache. Da der Uebertragungsbereich begrenzt bleibt, ist es möglich, in verschiedenen Städten auf ein und derselben Wellenlänge zu arbeiten. Ferner bewirkt die rasche Abnahme des Störpegels, die mit der Verkürzung der Wellenlänge in Erscheinung tritt, eine relative störfreie Verkehrsmöglichkeit. Mit Rücksicht auf Schattenwirkungen darf die Wellenlänge für diese Zwecke jedoch nicht zu kurz sein. Die in den Patrouillenwagen sowie in den Hauptwachen verwendeten Empfänger sind hochempfindliche Superheterodyn-Geräte, ausgerüstet mit sehr guter automatischer Verstärkungs-Kontrolle, damit ein praktisch konstanter Empfang trotz bedeutender Signaländerungen möglich ist. Die Wagensender besitzen eine Trägerwellenleistung von ungefähr

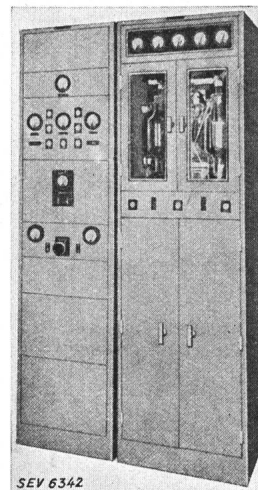


Fig. 27.
Polizei-Hauptwache-Sender von 500 W Leistung.

5 W. Der Sender der Hauptwache kann je nach den Umständen 5, 50 oder 500 W Trägerleistung aufweisen. Beidseitig sind die Sender quartzesteuert.

Fig. 27 zeigt einen 500-W-Hauptwache-Sender der Western Electric Co. und Fig. 28 stellt die Wagenausrüstung dar. Die Anlagen sind so konstruiert, dass zur Einsparung von Primärenergie

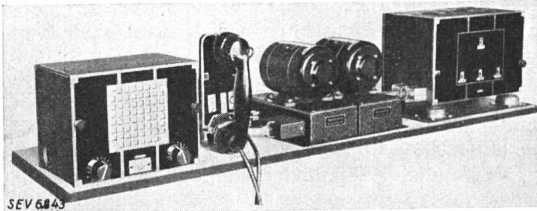


Fig. 28.

Sender (rechts) und Empfänger (links) für Polizeiautomobil.

und zur Verringerung der Interferenzmöglichkeit mit anderen Stationen desselben Netzes, die auf der gleichen Wellenlänge arbeiten, sich die Trägerwelle automatisch abschaltet, wenn nicht gesprochen wird. Der normale Wellenlängen-Bereich dieser Ausrüstung beträgt 7 bis 10 m, das heisst 42 bis 30 MHz.

8. Weitere Anwendung der ultrakurzen Wellen.

Ultrakurzwellensender werden mit Spitzenleistungen der Trägerwelle von 40 kW hergestellt. Ein solcher Sender ist der in Fig. 29 gezeigte *Fernseh-Sender*, der kürzlich auf dem Eiffelturm aufgestellt wurde. Der Wellenlängenbereich beträgt 6 bis 7 m (50 bis 40 MHz). Die Fernseh-Schwingungen, die das weite Band von 20 Schwingungen in der Sekunde bis $2\frac{1}{2}$ Millionen Schwingungen in der Sekunde einnehmen, sind zur Modulation der Hochfrequenz auf das Gitter der letzten Hochfrequenz-Verstärkerstufe geschaltet, während die Schwingungen unter 5 Hz, die zur Regulierung der Bildhelligkeit nötig sind, zur Modulierung dem Gitter der vorletzten Ver-

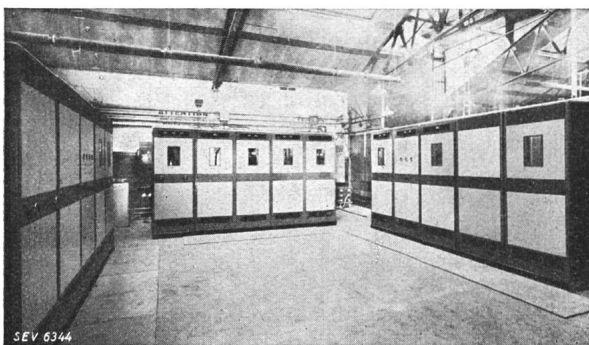


Fig. 29.

Fernsehsender auf dem Eiffelturm.

stärkerstufe aufgedrückt werden. Die Apparatenbuchten links enthalten die letzten zwei Stufen des Verstärkers für extra niedrige Frequenzen und die ersten drei Stufen des Hochfrequenz-Verstärkers; die Apparatenbuchten der Mitte enthalten die letz-

ten zwei Hochfrequenz-Verstärkungsstufen und die letzten zwei Verstärkungsstufen des Fernsehmodulators. Die Gruppe rechts enthält die ersten zwei Verstärkerbuchten zur Verstärkung der Fernsehfrequenzen über 20 Hz, ferner die erste Verstärkerbuchte für Frequenzen unter 5 Hz und zwei Kontrollbuchten.

Die Verwendung ultrakurzer Wellen zur *Steuerung von Flugzeugen* ist bereits in der Literatur eingehend beschrieben worden und es soll hier nicht weiter darauf eingegangen werden. Es mag in diesem Zusammenhang nur noch erwähnt sein, dass sich die ultrakurzen Wellen infolge ihrer Richtbarkeit und ihres begrenzten Uebertragungsbereiches für diese Zwecke besonders gut eignen. Eine beträchtliche Anzahl wichtiger Flughäfen in Europa wurden denn auch mit Ultrakurzwellen-Ziel- und Blindlandanlagen der C. Lorenz A. G. Berlin ausgerüstet. In der Schweiz besitzt der Flugplatz Dübendorf solche Anlagen.

In den letzten Jahren ist die Hochfrequenz-Technik auch im Gebiete der *Medizin* zu erheblicher

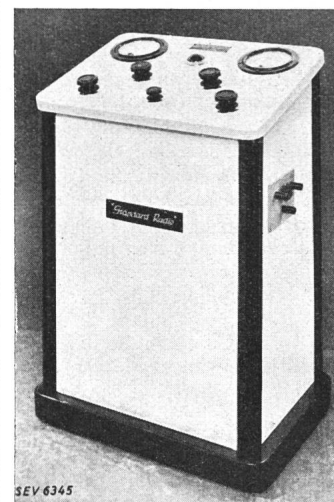


Fig. 30.

Röhren-Diathermie-Sender.

Bedeutung gelangt. Diathermie - Apparate zur Erwärmung innerer Körpergewebe haben sich zur Heilung gewisser Krankheiten als aussergewöhnlich wertvoll erwiesen und die Rolle der ultrakurzen Wellen ist in diesem Heilverfahren besonders wichtig. Infolge der geringen Reaktanz, die kleine Kapazitäten den sehr hohen Frequenzen entgegenstellen, ist es möglich, die Elektroden zu isolieren und die Behandlung ohne Entfernen der Kleider

durchzuführen und ferner, Hochfrequenz-Verbrennungen auszuschliessen.

Animalische Gewebe besitzen Widerstand und Kapazität. Obwohl elektrisch ein Gewebe einem sehr komplexen Stromkreis entspricht, kann es mit genügender Annäherung durch einen Widerstand mit parallelem Kondensator dargestellt werden. Indem verschiedene Gewebe zu ihrer Darstellung unterschiedliche elektrische Konstanten benötigen, ist es klar, dass durch einfache Frequenz-Aenderung das Erwärmen einer gewissen Gewebegruppe gegenüber einer andern reguliert werden kann. Wahlweises Erwärmen mit isolierten Elektroden wird erst bei Wellenlängen unter 10 m möglich. Funkenerregte Sender von 150 W Leistung zwischen 6 und 15 m, sowie Röhrensender zur Erzeugung von 300 W zwischen 6 und 30 m werden für diese Zwecke fabriziert. Fig. 30 zeigt einen solchen Röhren-Diathermie-Sender.

Diskussion.

Herr Prof. Dr. F. Tank, Vorsitzender: Das Institut für Hochfrequenztechnik an der ETH beschäftigt sich schon seit längerer Zeit mit der Physik und Technik der Ultrakurzwellen und der Dezimeterwellen. Dank der Unterstützung durch die TT-Verwaltung und die Radiogenossenschaft Zürich war die Konstruktion und Aufstellung eines turmalin-gesteuerten Ultrakurzwellensenders von 7,5 m Wellenlänge und ca. 200 Watt Strahlungsleistung in der Antenne möglich, welcher Versuchszwecken dient. Die Messung der Wellenausbreitung dieses Senders wird von der TT-Verwaltung (Dr. Gerber und Werthmüller) durchgeführt mit Hilfe eines Messwagens mit besonderem, eingebautem Feldstärkemessgerät (Sport A.-G., Biel). Bemerkenswert an den Ergebnissen sind u. a. die starken Interferenzen in und in der Nähe von grösseren Ortschaften, vergleichbar den Interferenzsystemen stehender Wellen in der Raumakustik sowie die Beugungs- und Streueffekte an Unebenheiten des Geländes. Die Streustrahlung an Bergkämmen bewirkt eine Versorgung der jenseitigen Talschaften mit «Streulicht» und damit eine Verbesserung

der Empfangsverhältnisse derjenigen Gebiete, welche vom Kamm aus in optischer Sicht liegen («Kulissenfaktor»). Der Polarisationszustand der Wellen ist hierbei nicht von besonderem Einfluss. Bei 200 Watt Strahlungsleistung eines Linear-Dipols auf dem Dache des Eidg. Physikgebäudes in Zürich beträgt z. B. die Feldstärke in Attinghausen (Kt. Uri, Entfernung ca. 60 km) noch etwa 50 Mikrovolt pro Meter und ist damit nicht wesentlich geringer als in der Nähe von Dübendorf bei Zürich (Entfernung 5 km).

Anschliessend demonstriert der Diskussionsredner eine Dezimeterwellen-Sende- und Empfangsanlage mit Hohlspiegeln, bei welcher das Prinzip der Doppelmodulation verwendet wird (Frequenzmodulation der Trägerwelle durch eine amplitudenmodulierte Hochfrequenzwelle), und bei welcher auf derselben Trägerwelle von 18 cm Wellenlänge gleichzeitig zwei Telephonieübertragungen möglich sind. Die Anlage wurde von G. Nobile ausgearbeitet; ihre Reichweite beträgt ca. 10 km.

Die elektrischen und magnetischen Feldvektoren im Lichte der Elektronentheorie.

Von W. Amrein, Zürich.

537.12:538.51

Es wird eine kurze Uebersicht über die von der Elektronentheorie am Felddbild von Faraday und Maxwell vorgenommenen Aenderungen und Verbesserungen gegeben. Die Elektronentheorie benötigt zur Darstellung des elektrischen und magnetischen Feldes nur je einen Feldvektor. Durch Vergleich mit den vier Maxwellschen Feldvektoren gelangt man zum Ergebnis, dass die elektrische Feldstärke \mathcal{E} und die magnetische Induktion \mathcal{B} am besten den elektronentheoretischen Feldgrössen und damit dem physikalisch gegebenen Feld entsprechen, während die elektrische Verschiebung \mathcal{D} und die magnetische Feldstärke \mathcal{H} als reine Rechengrössen zu betrachten sind.

L'auteur donne un aperçu des modifications et améliorations apportées par la théorie des électrons à l'image du champs donnée par Faraday et Maxwell. Pour représenter les champs électriques et magnétiques, la théorie électronique n'utilise qu'un vecteur pour chacun des champs. Par comparaison avec les quatre vecteurs de champ de Maxwell, on trouve que l'intensité de champ électrique \mathcal{E} et l'induction magnétique \mathcal{B} correspondent le mieux aux grandeurs de champ de la théorie des électrons et par conséquent au champ physiquement défini, tandis que le déplacement électrique \mathcal{D} et l'intensité de champ magnétique \mathcal{H} sont à considérer comme de simples grandeurs numériques.

Der Elektroingenieur schöpft den grössten Teil seiner naturwissenschaftlichen Kenntnisse aus der Physik. Er ist gezwungen, mit der stürmischen Entwicklung, die diese Wissenschaft in den letzten Jahren erfahren hat, Schritt zu halten, sonst läuft er Gefahr, bei der Lösung von technischen Problemen durch die besser geschulte Konkurrenz überflügelt zu werden.

Die Physik ist bestrebt, für alle Naturerscheinungen eine eindeutige und exakte Erklärung zu finden. Theorien, die bestimmten Erscheinungen nur teilweise gerecht werden, sind nur so lange geduldet, als keine bessere Erklärungsgrundlage gefunden wird.

Die Begriffe, mit denen die Physik operiert, müssen äusserst exakt definiert sein. Jeder physikalische Begriff stützt sich aber auf bestimmte Naturerscheinungen. Wenn nun im Laufe der Zeit eine solche Naturerscheinung eine andere Erklärungsgrundlage erhält, so erfahren die damit verbundenen Begriffe automatisch eine neue physikalische Deutung. Das Weltbild des Physikers ändert sich und damit auch dasjenige des Ingenieurs.

Für den Ingenieur sind die elektrischen und magnetischen Feldvektoren physikalische Begriffe von grosser Wichtigkeit. Von Maxwell wurden vier Feldvektoren definiert:

Die elektrische Feldstärke \mathcal{E} .
Die elektrische Verschiebung \mathcal{D} .
Die magnetische Feldstärke \mathcal{H} .
Die magnetische Induktion \mathcal{B} .

Zwischen diesen Vektoren bestehen folgende Beziehungen: ¹⁾

$$\mathcal{D} = \varepsilon_0 \mathcal{E} + \mathcal{P} \quad \mathcal{B} = \mu_0 \mathcal{H} + \mathcal{M}$$

\mathcal{P} ist der elektrische Polarisationsvektor. Er stellt das elektrische Moment der Volumeneinheit eines elektrisch polarisierten Mediums dar. \mathcal{M} ist der Magnetisierungsvektor und entspricht dem magnetischen Moment der Volumeneinheit eines magnetisierten Mediums.

Diese Formeln werden meistens in abgekürzter Form geschrieben:

$$\mathcal{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \mathcal{E} \quad \mathcal{B} = \mu_0 \mu \mathcal{H}$$

Man gelangt zu diesen Formen, wenn \mathcal{P} proportional \mathcal{E} und \mathcal{M} proportional \mathcal{H} gesetzt werden.

$$\mathcal{P} = \varepsilon_0 K_{el} \cdot \mathcal{E} \quad \mathcal{M} = \mu_0 K_{mag} \cdot \mathcal{H}$$

¹⁾ Man bedient sich in diesem Aufsatz der technischen Schreibweise der Feldgleichungen. Es bedeuten dann:

$$\varepsilon_0 = \frac{10^9}{4\pi c^2}; \quad c = \text{Lichtgeschwindigkeit.}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-9}; \quad \varepsilon = \text{Dielektrizitätskonstante; } \mu = \text{Permeabilität.}$$

\mathcal{E} in Volt/cm, \mathcal{D} in Coulomb/cm², \mathcal{H} in A/cm, \mathcal{B} in Vs/cm².