

**Zeitschrift:** Technische Mitteilungen / Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung = Bulletin technique / Administration des télégraphes et des téléphones suisses = Bollettino tecnico / Amministrazione dei telegrafi e dei telefoni svizzeri

**Herausgeber:** Schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung

**Band:** 21 (1943)

**Heft:** 6

**Artikel:** Die Wellenausbreitung im drahtlosen Telephonverkehr über grosse Distanzen

**Autor:** Guldemann, A.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-873169>

### **Nutzungsbedingungen**

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

### **Conditions d'utilisation**

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

### **Terms of use**

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

**Download PDF:** 13.01.2026

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

kann die Umschaltung in Bellinzona und Disentis in Störungsfällen von Hand besorgt werden.

#### Schlussfolgerung.

Die Verstärkerstation Disentis, die als letzte des schweizerischen Fernkabelnetzes dem Betrieb übergeben wurde, ist als erste mit Zweidrahtverstärkern ausgerüstet worden, bei denen das Prinzip der Gegenkopplung zur Anwendung gelangt ist. Hiedurch werden nicht nur die Eigenschaften der Verstärker selbst verbessert, sondern es lassen sich auch eine bessere Abgleichung der Stromkreise und die einwandfreie Übertragung eines breiteren Frequenzbandes erzielen. Da es sich um eine Station ohne dauernde Wartung handelt, ist auch eine interessante Anwendung einer Fernsteuerung der Rundspruchverstärker in Gebrauch genommen worden.

Les clés de réception et d'émission intercalées dans les circuits de commutation permettent, en cas de dérangement, d'effectuer la commutation manuellement à Bellinzona et Disentis.

#### Conclusion.

La station de répéteurs de Disentis, la dernière mise en service dans le réseau interurbain suisse, est la première où furent équipés des répéteurs à 2 fils utilisant la contre-réaction qui, tout en améliorant les caractéristiques des répéteurs eux-mêmes, permet une meilleure égalisation des circuits et la retransmission parfaite d'une plus large bande de fréquences. Comme station sans surveillance permanente, une application intéressante de la commutation à distance des amplificateurs radiophoniques a été mise en service.

## Die Wellenausbreitung im drahtlosen Telefonverkehr über grosse Distanzen.

Von A. Guldemann, Bern.

621.396.11

### A. Einleitung.

Seit einigen Jahren betreibt die schweizerische Telegraphen- und Telefonverwaltung über den Kurzwellensender Schwarzenburg direkte drahtlose Telefonverbindungen mit den Vereinigten Staaten, Japan und Südamerika. Diese Kurzwellenverbindungen sind auf einem hohen technischen Stand angelangt und gut ausgenutzt, da die Erforschung der Ionosphäre in den letzten Jahren grosse Fortschritte gemacht hat. Die folgenden Ausführungen erläutern die Ausbreitung der kurzen Wellen, die heute fast ausschliesslich für drahtlose Verbindungen über grosse Distanzen verwendet werden. Gewisse Tatsachen müssen als bekannt vorausgesetzt werden; es ist im Rahmen dieses Artikels nicht möglich, sie zu erklären.

### B. Die Ionosphäre.

#### 1. Aufbau der Ionosphäre.

a) *Allgemeines.* Die Existenz von leitenden Schichten in der höchsten Atmosphäre, von denen Radiowellen reflektiert werden, wurde schon 1902 von A. E. Kennelly und O. Heaviside vermutet. Diese

Kennelly-Heaviside-Schichten sind heute allgemein unter dem Namen Ionosphäre bekannt. Um die Reflexionen zu erklären, wird angenommen, dass in der Ionosphäre freie Elektronen vorkommen. Ein sicherer Beweis für ihre Existenz ist nicht erbracht worden, doch kann auf Grund von Echo-Messungen mit Radiowellen nachgewiesen werden, dass in Höhen von zirka 90 bis über 500 km noch Gase vorhanden sind. Aus Nordlicht- und Meteorbeobachtungen ergeben sich maximale Höhen von 700 km und mehr.

Fig. 1 zeigt schematisch den Aufbau der Ionosphäre für einen normalen Sommertag 1943 mit den vorhandenen E-, F<sub>1</sub>- und F<sub>2</sub>-Schichten für die Verkehrslinie Schweiz—U. S. A. Die Zeichnung ist maßstäblich und die Reflexionswinkel der Radiowellen, sowie die Schichthöhen sind im richtigen Verhältnis aufgezeichnet. Die Figur ist eine grundsätzliche Darstellung der Kurzwellenausbreitung über die Erde. Die eingezeichneten drei Schichten sind nur als Linien wiedergegeben, obschon sie in Wirklichkeit eine gewisse Dicke haben. Rechts in der Zeichnung ist die ungefähre Verteilung der Elektronendichte in bezug auf die Höhe der reflektierenden

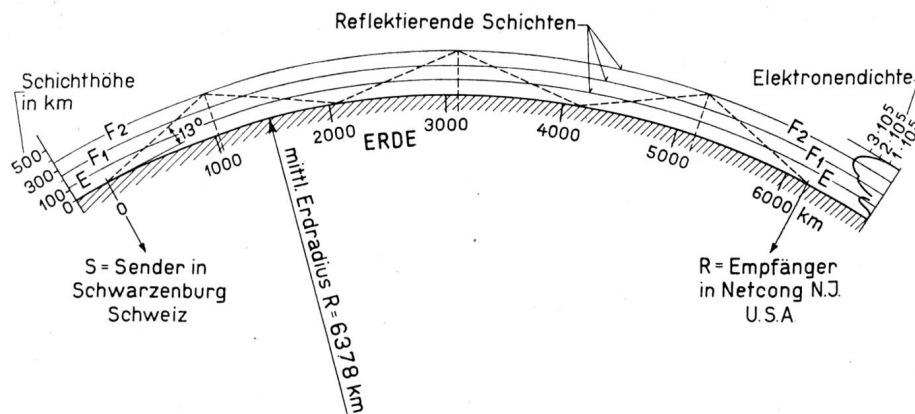


Fig. 1. Schematischer Aufbau der Ionosphäre für einen Sommertag.

Schichten angedeutet. Die punktierte Linie zeigt einen der vielen möglichen Wege, welche die Radiowellen von der Sendestelle S bis zum Empfänger R zurücklegen können.

#### b) Die Ionosphärenschichten.

Die E-Schicht bildet sich am Tage in einer Höhe von 110 bis 130 km; ausnahmsweise bleibt sie auch nachts bestehen.

Die Bezeichnung F-Schicht gilt für eine weitere Schicht, die in der Nacht vorhanden ist und sich in einer Höhe von ungefähr 220 bis 310 km befindet. Am Tage spaltet sie sich in die untere  $F_1$ -Schicht in einer Höhe von zirka 200 bis 270 km und in die obere  $F_2$ -Schicht, die sich im Sommer in zirka 250 bis 450 oder mehr km und im Winter in zirka 220 bis 270 km Höhe bildet.

Eine weitere Schicht, die D-Schicht, ist gelegentlich am Tage in ungefähr 50 bis 90 km Höhe vorhanden.

Die Kenntnis der Ionosphäre erstreckt sich hauptsächlich auf die E-, F-,  $F_1$ - und  $F_2$ -Schichten.

#### 2. Eigenschaften der Ionosphäre.

Die Hauptmerkmale, die jede Ionosphärenschicht charakterisieren, sind: Ionisierung, scheinbare Höhe und Absorptionsfähigkeit.

Die Eigenschaft der Ionosphäre, Radiowellen auf die Erde zurückzuwerfen und Radioverbindungen über grosse Distanzen zu ermöglichen, hängt von der Ionisierung der einzelnen Schichten ab. Allgemein wird angenommen, dass die Ionisierung durch die Wellen- und Korpuskularstrahlungen, die von der Sonne herkommend in die Erdatmosphäre eindringen, verursacht wird. In dieser Betrachtung wird angenommen, dass in den F-,  $F_1$ - und  $F_2$ -Schichten nur Elektronen wirksam sind, und es bedeutet  $N$  die Elektronendichte (Zahl der freien Elektronen in  $1 \text{ cm}^3$ ). Neben den Elektronen sind auch Ionen vorhanden, und zwar hauptsächlich in der E-Schicht. Beim Ionisierungsprozess entstehen positive Ionen und freie Elektronen. Die Bildung von negativen Ionen in der E-Schicht erfolgt durch Anlagerung von freien Elektronen an neutrale Gasmoleküle. Fig. 2 zeigt den ungefähren täglichen

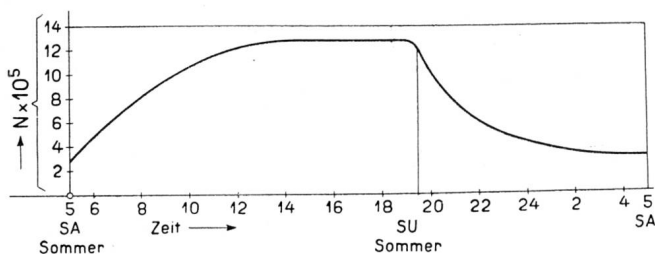


Fig. 2. Elektronendichte  $N$  in bezug auf die Tageszeit.

Verlauf der Elektronendichte während eines Sonnenfleckensmaximums, wobei die maximale Elektronendichte in der  $F_2$ -Schicht mit  $N^{\max} = 12,5 \cdot 10^5$  Elektronen/ $\text{cm}^3$  angenommen ist.

In Fig. 3 ist ein Abschnitt der Ionosphäre dargestellt, bestehend aus einer E- und F-Schicht, wobei angenommen wird, dass die Trägerdichte in der

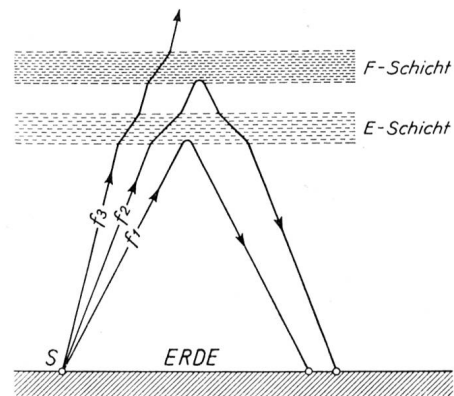


Fig. 3. Reflexion von kurzen Wellen.

$F_1$ -Schicht stärker sei als in der E-Schicht. Im Punkt S werden Radiowellen verschiedener Frequenzen ausgestrahlt, wobei  $f_1$  eine niedrige,  $f_2$  eine mittlere und  $f_3$  eine hohe Frequenz sei.  $f_1$  wird von der E-Schicht reflektiert,  $f_2$  von der F-Schicht, und  $f_3$  durchdringt beide Schichten. Es zeigt sich also, dass eine bestimmte Trägerdichte vorhanden sein muss, um eine gegebene Frequenz zu reflektieren, und zwar muss die Ionisierung um so stärker sein, je höher eine Frequenz ist.

#### 3. Scheinbare Höhe der Ionosphären-Schichten.

Der Begriff *scheinbare Höhe*  $h'$  geht aus Fig. 4 hervor. Von A werden Radiowellen unter dem Winkel  $\alpha$  ausgestrahlt und treffen bei B auf die reflektierende Schicht. Beim Eindringen in die reflektierende Schicht verlangsamen sie ihre Geschwindigkeit und werden gebrochen. Dabei durchlaufen sie einen kurvenförmigen Weg in der Schicht und verlassen dieselbe bei D, um unter dem Winkel  $\alpha$

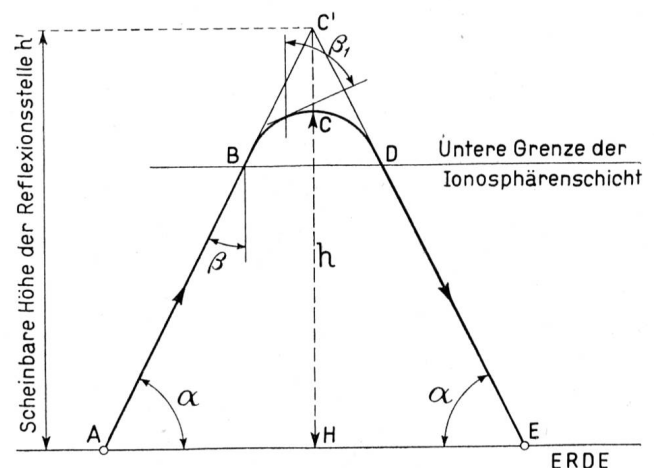


Fig. 4. Scheinbare Reflexionshöhe  $h'$ .

spiegelbildlich zur Erde zurückzukehren. Für den Weg BCD in der Ionosphärenschicht oder  $BC'D$ , wenn keine reflektierende Schicht vorhanden wäre, wird dieselbe Zeit benötigt. Die Höhe  $h'$  von H bis  $C'$  nennt man die *scheinbare Höhe* der Schicht. Sie ist ein wichtiger Faktor bei den Echo-Messungen der Ionosphäre. Die Höhe  $h$  von H bis C heisst die

wirkliche Höhe und ist stets kleiner als die scheinbare Höhe  $h'$ .

Zur direkten Messung der scheinbaren Höhe von reflektierenden Schichten dient die Echo-Messung, die von Breit und Tuve am Carnegie-Institut in Washington entwickelt wurde. Bei dieser Impuls-Laufzeitmethode wird ein sehr kurzer Impuls von ungefähr  $2 \times 10^{-4}$  Sek. Dauer in einem niederfrequenten Rhythmus senkrecht zur Ionosphärenschicht ausgesendet und der Abstand der Ionosphären-Echos untereinander und vom Bodenimpuls mittels eines Oszillographen ausgemessen. Fig. 5 zeigt schema-

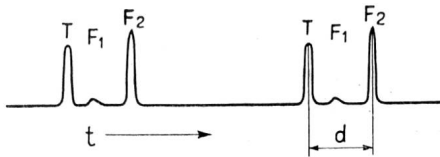


Fig. 5. Bodensignal und Echozeichen.

tisch solche Ionosphären-Echos. T ist das Signal, das sich an der Erdoberfläche ausbreitet. Sind Sender und Empfänger der Messeinrichtung nahe beieinander, so wird der Impuls T im Moment der Ausstrahlung empfangen. Der gleiche Impuls, der in der Ionosphäre reflektiert wird, trifft erst nach  $d$  Sek. ein. Die Zeitdifferenz  $d$  des Echos  $F_2$  gegenüber T multipliziert mit der halben Lichtgeschwindigkeit  $\frac{c}{2}$  gibt die scheinbare Höhe  $h'$  der Schicht für die ausgestrahlte Frequenz. Wenn z. B. die Zeitdifferenz  $d$  in Fig. 5 zwischen dem Erdsignal T und dem aus der  $F_2$ -Schicht reflektierten Signal  $F_2$   $2 \cdot 10^{-3}$  Sek. beträgt, so ist die scheinbare Schichthöhe

$$h' = \frac{c}{2} \cdot d \text{ km} \quad (1)$$

$$h' = \frac{300\,000}{2} \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 300 \text{ km}$$

#### 4. Grenzfrequenzen.

Aus Figur 3 geht hervor, dass bei zunehmender Frequenz die Reflexion bei einem bestimmten Werte der Frequenz von einer Schicht auf die nächst höhere überspringt. Bei senkrechtem Einfall in eine Ionosphärenschicht und langsam veränderten Frequenzen findet ebenfalls von einer bestimmten Frequenz an keine Reflexion mehr statt. Diejenige Frequenz, die nicht mehr reflektiert wird, sondern diese Schicht eben durchdringt, heisst die „kritische Frequenz“ oder die „untere Grenzfrequenz“. Alle Radiowellen von höherer Frequenz als die kritische Frequenz, werden nicht mehr auf die Erde zurückgeworfen. Treffen die Radiowellen statt senkrecht, in einem kleineren Winkel als  $90^\circ$  auf die Ionosphäre, so tritt schon bei höheren Frequenzen als der kritischen Frequenz Totalreflexion ein. Die maximale Frequenz, die von einer bestimmten Schicht reflektiert wird, nimmt demnach mit abnehmendem Abstrahlungswinkel vom Sender gegen die Erde hin zu, so dass bei wachsender Entfernung immer höhere Frequenzen für die Uebertragung brauchbar werden.

Die höchste Frequenz, die unter dem kleinsten möglichen Horizontalwinkel ausgestrahlt werden kann und gerade noch auf die Erde zurückkehrt, heisst die „maximale brauchbare Frequenz“ oder die „obere Grenzfrequenz“.

#### 5. Dämpfung in der Ionosphäre.

Die niedrigste brauchbare Frequenz für Kurzwellen-Uebertragungen wird durch die Absorption der Radiowellen in der Ionosphäre bestimmt. Die untere Frequenzgrenze ist etwas von der Stärke des Senders und der Empfindlichkeit des Empfängers abhängig.

Auf dem Wege zur F-Schicht müssen die Radiowellen die unteren D- und E-Schichten passieren, in denen die Energie teilweise absorbiert wird, hauptsächlich in der E-Schicht. Die Dämpfung ist am Mittag und im Sommer am grössten und verschwindet mit der Abnahme der Ionisierung der unteren Schichten während der Nacht. Das Einsetzen der Absorption am Morgen macht sich im Aufhören der mehrfachen Reflexionen bemerkbar und später im Verschwinden der Reflexion überhaupt. Die höheren Frequenzen werden beim Passieren einer Schicht von der Absorption weniger betroffen als die niedrigen Frequenzen, da die Dämpfung umgekehrt proportional dem Quadrat der Frequenz ist. Die Erfahrung zeigt, dass eine höhere Frequenz mit steiler Abstrahlung vom Sender in bezug auf die Absorption die gleichen Eigenschaften hat wie eine niedrige Frequenz mit flacher Abstrahlung. Deshalb soll für minimale Absorption die höchstmögliche Frequenz verwendet werden, welche bei flacher Abstrahlung gerade noch reflektiert wird. Die Absorption wächst während der Sonnenfleckenmaxima, jedoch nicht so stark wie die brechende Kraft der Ionosphärenschichten.

#### 6. Regelmässige Aenderungen der Ionosphäre.

Die Ionosphäre weist drei hauptsächliche Veränderungen auf, die die Ausbreitung von kurzen Wellen beeinflussen und sich zeitlich ziemlich regelmässig wiederholen. Es sind dies die Aenderungen von Tag und Nacht, die jahreszeitlichen Aenderungen von Sommer und Winter, sowie die Schwankungen von Jahr zu Jahr mit der elfjährigen Sonnenfleckenperiode. Alle diese Schwankungen beeinflussen wiederum die zu benützenden Frequenzen.

a) Die E-Schicht. Die scheinbare Höhe  $h'$  der E-Schicht ändert sich nur wenig mit der Tageszeit, der Jahreszeit und den Sonnenfleckenperioden; sie liegt etwa zwischen 110 und 130 km.

Die kritische Frequenz der E-Schicht (senkrechter Einfall) ändert mit dem Sonnenstand und ist am grössten, wenn die Sonne im Meridian steht, und zwar im Sommer wie im Winter. Somit fällt das tägliche Maximum der kritischen Frequenz der E-Schicht für jeden Ort auf die Mittagszeit und das jährliche Maximum auf die Sommerszeit. Die kritischen Frequenzen sind mittags im Juni zirka 1,2 mal grösser als im Dezember. Nachts ist die E-Schicht für Radioverbindungen auf grosse Distanzen unbrauchbar. Die elfjährigen Sonnenfleckenperioden beeinflussen die Höhe der E-Schicht nicht stark. Die kritischen Frequenzen der E-Schicht sind wäh-



rend eines Sonnenfleckensmaximums im Sommer zirka 1,25 und im Winter zirka 1,1 mal grösser als im Sonnenfleckensminimum.

b) *Die F<sub>1</sub>-Schicht.* Mehrere Stunden nach Sonnenaufgang spaltet sich von der in der Nacht vorhandenen F-Schicht eine niedrige, die F<sub>1</sub>-Schicht ab. Die F<sub>1</sub>-Schicht verhält sich ähnlich wie die E-Schicht. Die scheinbare Höhe h' beträgt zirka 200 bis 270 km im Sommer und zirka 210 bis 235 km im Winter. Die F<sub>1</sub>-Schicht ist im Sommer stärker ausgeprägt als im Winter.

Die kritische Frequenz der F<sub>1</sub>-Schicht steigt im Sommer langsam an bis zu einem Maximum am Mittag, um am Nachmittag wieder abzunehmen und mehrere Stunden vor Sonnenuntergang zu verschwinden. Im Winter, während eines Sonnenfleckensmaximums, ist tagsüber keine kritische Frequenz der F<sub>1</sub>-Schicht festzustellen. Die kritischen Frequenzen der F<sub>1</sub>-Schicht sind im Sommer während eines Sonnenfleckensmaximums zirka 1,3 mal höher als im Sonnenfleckensminimum.

c) *Die F- und F<sub>2</sub>-Schichten.* Die täglichen und jahreszeitlichen Aenderungen der F- und F<sub>2</sub>-Schichten verhalten sich völlig anders als diejenigen der E- und F<sub>1</sub>-Schichten. Die in der Nacht bestehende F-Schicht geht am Tage in die F<sub>2</sub>-Schicht über, die oberhalb der F<sub>1</sub>-Schicht liegt. Die scheinbare Höhe h' der F- und F<sub>2</sub>-Schichten verändert sich in weiten Grenzen. Die F-Schicht besteht im Sommer in zirka 255 bis 305 km und im Winter in zirka 225 bis 305 km Höhe. Die F<sub>2</sub>-Schicht ist im Sommer in zirka 265 bis 430 km und im Winter in zirka 225 bis 265 km Höhe.

Die kritischen Frequenzen der F<sub>2</sub>-Schicht sind im Winter höher als im Sommer. Sie haben ein ziemlich breites Maximum am Mittag im Winter und gegen Sonnenuntergang im Sommer. Nachts sind die kritischen Frequenzen der F-Schicht im Winter kleiner als im Sommer; die niedrigsten Werte liegen zirka 1 Stunde vor Sonnenaufgang. Somit fällt die höchste kritische Frequenz der F<sub>2</sub>-Schicht auf einen Wintertag und die niedrigste kritische Frequenz der F-Schicht in eine Winternacht. Von einem Sonnenfleckensmaximum (1937) zu einem Sonnenfleckensminimum (1944) reduzieren sich die kritischen Frequenzen der F<sub>2</sub>- und F-Schichten ungefähr auf die Hälfte. Winter-Uebertragungsverhältnisse der F<sub>2</sub>-Schicht herrschen vom November bis Februar und Sommerverhältnisse vom Mai bis August.

Im Frühling und Herbst, ungefähr einen Monat vor und nach der Tag- und Nachtgleiche, sind oft sehr unregelmässige Uebertragungsverhältnisse anzutreffen, da in diesen Zeiten abwechselungsweise in kurzen Abständen Sommer- oder Winterbedingungen auftreten.

Die kritischen Frequenzen der F<sub>2</sub>-Schicht sind, wie Echomessungen ergeben haben, in den Sommermonaten ein Minimum, während sie in den Wintermonaten stark ansteigen. Dies ergibt einen dem Sonnenstand entgegengesetzten Verlauf. Als Erklärung dafür wird der Temperatureinfluss ins Feld geführt; im Sommer werde die F<sub>2</sub>-Schicht durch hohe Temperaturen aufgelockert, während im Winter infolge des Tiefstandes der Sonne in der Höhe der

F<sub>2</sub>-Schicht nur geringe Erwärmung eintrete und die Dichte entsprechend grösser sei.

Ionosphärenmessungen, die an verschiedenen Orten der Erde seit mehreren Jahren durchgeführt werden, bestätigen für die E- und F<sub>1</sub>-Schicht ein Maximum der kritischen Frequenzen im Sommer, also im Mai bis August auf der Nordhalbkugel und im November bis Februar auf der Südhalbkugel. Für die F<sub>2</sub>-Schicht besteht auf der ganzen Erde nur ein einmaliges Maximum der kritischen Frequenz vom Dezember bis Januar.

Tabelle I gibt eine Zusammenstellung der scheinbaren Höhen h'.

Tabelle I.

Ionosphären-Schicht		Scheinbare Schichthöhe h' in km bei verschiedener Sonnenfleckentätigkeit			
		Sonnenfleckensminimum		Sonnenfleckensmaximum	
		Sommer	Winter	Sommer	Winter
F (Nacht)	Min.	255	225	255	225
	Max.	305	305	305	305
F <sub>2</sub>	Min.	265	225	265	225
	Max.	430	265	400	265
F <sub>1</sub>	Min.	200	200	200	200
	Max.	270	240	270	240
E	Min.	110	110	110	110
	Max.	130	130	130	130

## C. Die Ausbreitung der kurzen Wellen.

### 1. Allgemeines.

Aus dem Abschnitt B—6 geht hervor, dass die normale Ausbreitung der kurzen Wellen in einem bestimmten Zeitpunkt von verschiedenen Faktoren abhängt. Die Tages- und Jahreszeit und die Sonnenfleckensperiode beeinflussen die Ionosphäre. Das brauchbare Frequenzband einer bestimmten Ionosphärenschicht in jeder der angeführten Zeiten wird deshalb bei den hohen Frequenzen durch die vorhandene Trägerdichte und bei den niedrigen Frequenzen durch die Absorption in der Ionosphäre begrenzt. Bei einer bestimmten Trägerdichte ist das brauchbare Frequenzband auch von der Schichthöhe und dem Abstrahlwinkel des Senders abhängig. Wegen der Erdkrümmung und der Ionosphären-Schichthöhe ist die grösstmögliche Distanz bei gegebenem Abstrahlwinkel vom Sender bestimmt. Die höchste Frequenz überhaupt wird bei horizontaler Abstrahlung reflektiert. Der kleinste brauchbare Abstrahlwinkel ist bei zirka 31½°, was für die E-Schicht eine maximale Distanz von 1750 km und für die F<sub>2</sub>-Schicht eine solche von 3500 bis 4000 km ergibt, bei einmaliger Reflexion an der Ionosphäre.

### 2. Reflexion der kurzen Wellen.

Mit Hilfe von Messungen der kritischen Frequenz f<sub>0</sub> einer Ionosphärenschicht und der scheinbaren Höhe h' dieser Schicht ist es möglich, gewisse Voraussagen über die Uebertragungsverhältnisse auf grosse Distanzen zu machen. Die wichtigste Aufgabe ist, aus den Beobachtungen bei senkrechtem Einfall in die Ionosphäre, Angaben über die herrschenden

Uebertragungsbedingungen für den schiefen Einfall zu gewinnen. Die Erde wird dabei als gekrümmt und die Ionosphäre als flach angenommen, was eine gute Annäherung ergibt, da der Weg der Radiowellen in der Ionosphäre verhältnismässig kurz ist.

Der Vorgang der Reflexion von Radiowellen an der Ionosphäre setzt die Gültigkeit des Brechungsgesetzes voraus. Die Ionosphäre stellt ein inhomogenes Medium dar mit einer parallel zur Erdoberfläche verlaufenden Schichtung. Der Weg eines Strahles ist in Fig. 4 schematisch dargestellt. Dem Brechungsgesetz entsprechend wird beim Eindringen in die Ionosphäre der Strahl A—B vom Einfallslot weggebrochen, verläuft im höchsten Punkt C streifend zur Schicht und kehrt auf einem spiegelbildlich symmetrischen Weg D—E zur Erde zurück.

Die Anwendung des Brechungsgesetzes gibt folgende Beziehungen:

$$\begin{aligned} n \cdot \sin \beta &= n_1 \cdot \sin \beta_1 = \text{konstant} & (2) \\ &= n_c \cdot \sin \beta_c = \text{Kulminationsstelle} \\ n &= \text{Brechungsindex in der Luft} = 1 \\ n_1 &= \text{Veränderlicher Brechungsindex in der} \\ &\quad \text{Ionosphäre zwischen den Punkten B u. C} \\ n_c &= \text{Brechungsindex im Punkte C} \\ \beta &= \text{Einfallswinkel zur Normalen mit der} \\ &\quad \text{Ionosphäre} \\ \beta_1 &= \text{Veränderlicher Winkel in der Ionosphäre} \\ &\quad \text{zwischen den Punkten B und C} \\ \beta_c &= \text{Winkel an der Kulminationsstelle} = 90^\circ \\ &\quad \text{zur Normalen.} \end{aligned}$$

Die Bezeichnungen beziehen sich auf Fig. 4.

Bei der Totalreflexion im Punkte C wird:

$$\begin{aligned} n \cdot \sin \beta &= n_c \cdot \sin \beta_c \\ 1 \cdot \sin \beta &= n_c \cdot \sin 90^\circ \quad (\sin 90^\circ = 1) \\ \sin \beta &= n_c & (3) \end{aligned}$$

Der Brechungsindex  $n_c$  ist mit der Frequenz  $f$  und der Elektronendichte  $N$  unter Vernachlässigung der Absorption und des Erdmagnetfeldes nach Eccles und Larmor durch folgende Gleichung verknüpft:

$$n_c^2 = 1 - \frac{N \cdot e^2}{\pi \cdot m \cdot f^2} \quad (4)$$

worin bedeuten:

- N Elektronendichte pro  $\text{cm}^3$
- e elektrisches Elementarquantum  $4,8 \cdot 10^{-10}$  elektr. stat. Einheiten
- m Masse des Ladungsträgers  $9 \cdot 10^{-28}$  g
- f Verwendete Frequenz bei schiefem Einfall.

Aus Gleichung 3:  $n_c^2 = \sin^2 \beta$

und Gleichung 4:  $n_c^2 = 1 - \frac{N \cdot e^2}{\pi \cdot m \cdot f^2}$

wird  $\sin^2 \beta = 1 - \frac{N \cdot e^2}{\pi \cdot m \cdot f^2}$

$1 - \sin^2 \beta = \frac{N \cdot e^2}{\pi \cdot m \cdot f^2}$  und da

$1 - \sin^2 \beta = \cos^2 \beta$  ist, so folgt

$$N = \frac{\pi \cdot m \cdot f^2}{e^2} \cdot \cos^2 \beta \quad (5)$$

Bei senkrechtem Einfall in die Ionosphäre ist  $\beta = 0^\circ$  und  $\cos^2 \beta = 1$ .

Daraus folgt die Beziehung zwischen der Elektronendichte ( $N$ ) einer bestimmten Schicht und der kritischen Frequenz ( $f_0$ ) dieser Schicht bei senkrechtem Einfall. Es ist:

$$N = \frac{\pi \cdot m \cdot f_0^2}{e^2} \quad (6)$$

oder ausgerechnet:

$$N = 0,0124 f_0^2 \text{ cm}^{-3} \quad (7)$$

$f_0$  = Ordentliche Komponente der gemessenen kritischen Frequenz in kHz/s einer Schicht.

Durch Gleichsetzen von (5) und (6) ergibt sich:

$$f_0 = f \cdot \cos \beta \quad \text{oder} \quad (8)$$

$$f = \frac{f_0}{\cos \beta} \quad (9)$$

Wird der Winkel  $\beta$  durch die nach Gleichung (1) bestimmte scheinbare Höhe  $h'$ , sowie die zu überbrückende Distanz  $D$  ausgedrückt, so kann mit der gemessenen kritischen Frequenz  $f_0$  bei senkrechtem Einfall in die Ionosphäre die für die vorliegenden Verhältnisse maximale Frequenz  $f$  berechnet werden. Fig. 6 stellt die geometrischen Beziehungen des Ein-

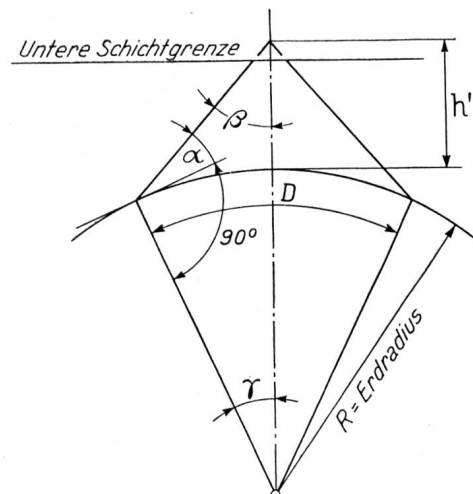


Fig. 6. Geometrische Beziehungen des Abstrahlwinkels  $\alpha$  und Einfallswinkels  $\beta$ .

fallswinkels  $\beta$  in die Ionosphäre zu der scheinbaren Höhe  $h'$  und der Distanz  $D$  dar. Zur Verdeutlichung ist die Höhe  $h'$  der Ionosphärenschicht stark übertrieben gezeichnet. Es wird nach dem Tangentensatz:

$$\text{tg } \beta = \frac{R \cdot \sin \gamma}{h' + R - R \cdot \cos \gamma} \quad \text{oder}$$

$$\text{tg } \beta = \frac{\sin \gamma}{\frac{h'}{R} + 1 - \cos \gamma} \quad (10)$$

wobei der Winkel  $\gamma$  aus

$$\text{arc } \gamma = \frac{D}{2R} \text{ zu bestimmen ist.}$$

$R$  ist der Erdradius; er misst 6378 km. Alle diese Beziehungen gelten nur für gekrümmte Erdoberfläche und flache Ionosphäre, geben jedoch gute Annäherungswerte.

Aus den beiden Winkeln  $\beta$  und  $\gamma$  lässt sich der Abstrahlwinkel vom Sender  $a$  berechnen. Nach Fig. 6 wird:

$$a = 90^\circ - (\beta + \gamma) \quad (11).$$

### 3. Anwendung auf Kurzwellen-Uebertragungen.

Figur 7 stellt die im Abschnitt C—2 gefundenen Beziehungen graphisch dar. Ihr kann bei gegebener scheinbarer Höhe  $h'$  der Cosinus des Einfallswinkels  $\beta$  der Radiowellen in die Ionosphäre sowie die Sprungdistanz  $D$  innerhalb der Grenzen des Abstrahlwinkels

Lokale Zeit an der Kulminationsstelle 0200.  
Winternacht November 1942 bis Februar 1943.  
Gemessene kritische Frequenz um 0200 2,73 kHz/s.  
Gemessene scheinbare Höhe  $h'$  um 0200 300 km.  
Zu der scheinbaren Höhe  $h'$  von 300 km gehört, wie aus Fig. 7 ersichtlich ist, im Bereich der Abstrahlwinkel  $a = 28^\circ$  bis  $a = 12^\circ$ , eine Sprungdistanz  $D$  von 1000 bis 1975 km und ein  $\cos \beta$  von 0,538 bis 0,356.

Diese Werte ergeben ein verwendbares Frequenzband von:

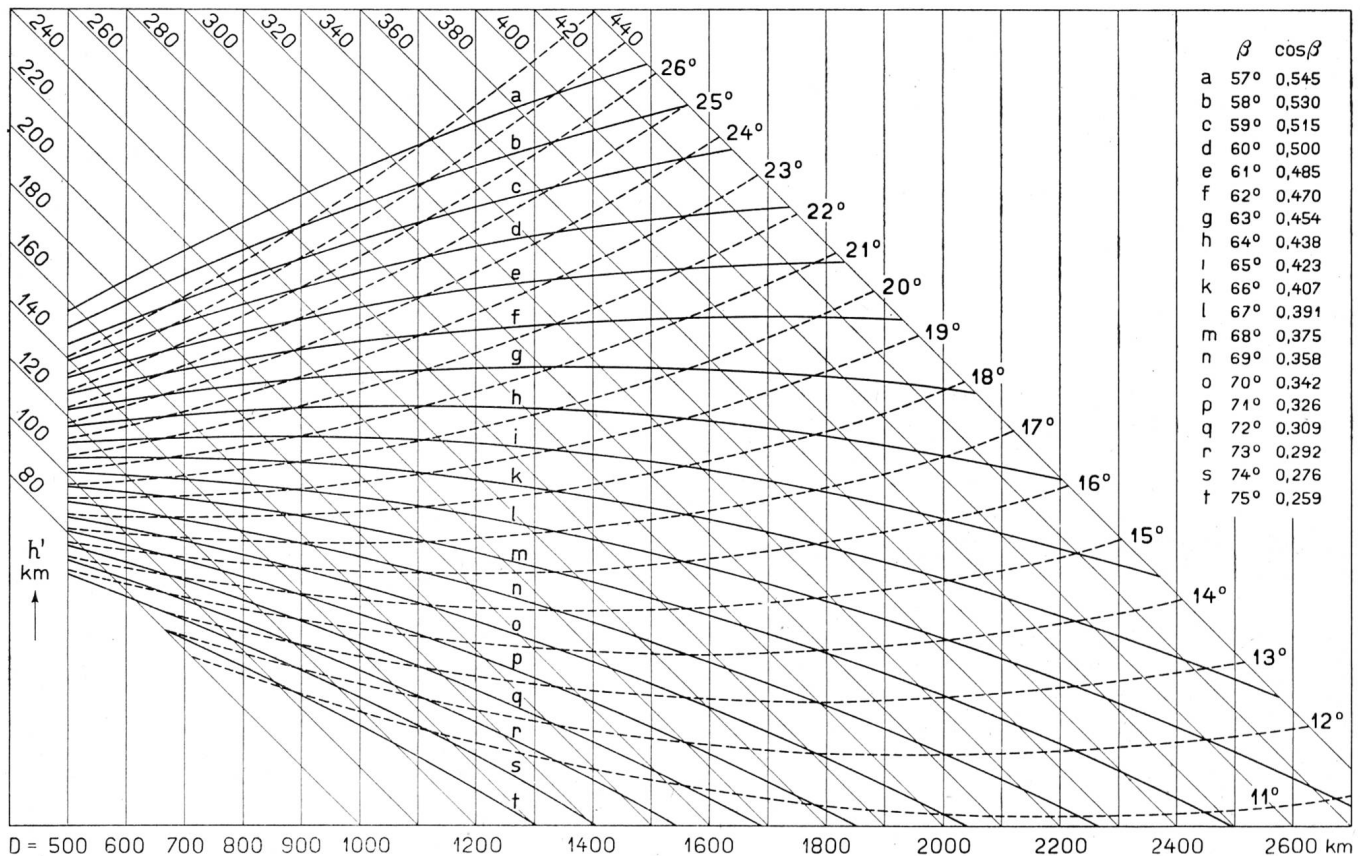


Fig. 7. Graphische Darstellung zur Bestimmung von  $\cos \beta$ .

vom Sender von  $a = 12^\circ$  bis  $a = 28^\circ$  entnommen werden. Aus Gleichung (9) ergeben sich dann angenähert die maximal brauchbaren Frequenzen  $f$ . Mit Rücksicht auf die täglichen Variationen werden die verwendbaren Frequenzen ungefähr bei 90% der gefundenen Frequenzen  $f$  liegen. Die graphische Darstellung Fig. 7 gilt für folgende Werte:

- D Distanzen von 500 km bis 2700 km für einfache Reflexion,
- $h'$  scheinbare Schichthöhen von 80 km bis 440 km,
- $a$  Abstrahlwinkel von  $12^\circ$  bis  $28^\circ$  vom Sender gegen Erde. (In Fig. 7 durch die punktierten Linien dargestellt.)

Folgendes Beispiel zeigt die Anwendung der Kurven der Fig. 7:

- Distanz  $D$  vom Sender zum Empfänger 2100 km.
- Lokale Zeit am Standort des Senders 0100.
- Lokale Zeit am Standort des Empfängers 0300.

$$f = 90\% \text{ von } \frac{f_0}{\cos \beta} = 0,9 \left\{ \frac{2,73}{0,538} \div \frac{2,73}{0,356} \right\} = 4,57 \text{ bis } 6,9 \text{ MHz/s.}$$

Da die ganze Distanz 2100 km beträgt, wird bei zweifacher Reflexion die beste Distanz  $D = 1050$  km für einen Sprung, wobei  $h' = 300$  km ist. Die optimale Frequenz für diese Distanz ist:

$$f = \frac{f_0}{\cos \beta} = \frac{2,73}{0,522} = 5,23 \text{ MHz/s.}$$

Der Abstrahlwinkel vom Sender gegen Erde beträgt  $a = 26,5^\circ$ .

Die Uebertragung findet über die F-Schicht statt.

### D. Zusammenfassung.

Aus Echomessungen der Ionosphäre geht hervor, dass im Verlaufe von 24 Stunden verschiedene Fre-

quenzen benötigt werden. Ihrer Verwendung entsprechend bezeichnet man sie als Tagesfrequenzen, wenn die überbrückte Strecke ganz im Tageslicht liegt, als Uebergangsfrequenzen, wenn die Strecke je zur Hälfte im Tageslicht und in der Nacht liegt, und als Nachtfrequenzen, wenn die ganze Strecke in der Nacht liegt.

Die Tagesfrequenz setzt im allgemeinen kurz vor oder nach dem Sonnenaufgang am zweiten Ort ein, wenn beide Sender und Empfänger im Tageslicht liegen. Die Feldstärke steigt oft innerhalb weniger Minuten stark an und unterdrückt den Störpegel am Empfänger. Die volle Feldstärke wird in ungefähr ein bis zwei Stunden nach Sonnenaufgang erreicht, wenn die Reflexionen an den Ionosphärenschichten regelmässig werden. Die Tagesfrequenz ist brauchbar, bis mehr als die Hälfte der Strecke in der Dunkelheit liegt. Das Abklingen des Empfanges geht viel langsamer vor sich als das Anschwellen, da die Ionisation nach dem Aufhören der Sonnenstrahlung nur allmählich abnimmt.

Die Nachtfrequenzen werden gewöhnlich bei Sonnenuntergang am zweiten Ort hörbar, wenn beide Sender und Empfänger im Dunkeln liegen. Die volle Feldstärke wird bei gemeinsamer Nachtzeit erreicht.

Die Uebergangsfrequenzen finden Verwendung, wenn die Tagesfrequenzen abklingen, die Nachtfrequenzen jedoch noch nicht brauchbar sind; sie liegen zwischen letzteren.

Bei starker Sonneneinstrahlung im Sommer sind die  $F_1$ - und E-Schichten genügend ionisiert, um die  $F_2$ -Schicht zu „überschatten“, in welchem Falle Verbindungen nur über die  $F_1$ - oder die E-Schicht zustande kommen. Die  $F_2$ -Schicht ist unbrauchbar, da jede Frequenz, die hoch genug ist, die  $F_1$ - und E-Schichten zu durchdringen, die  $F_2$ -Schicht ebenfalls durchdringt.

Infolge des tiefen Sonnenstandes im Winter sind die E- und  $F_1$ -Schichten nur je einige Stunden vor- und nachmittags vorhanden. Fernverbindungen finden deshalb am Tage im Winter fast ausschliesslich über die  $F_2$ -Schicht statt.

Bei Verbindungen über grosse Distanzen mit Mehrfach-Reflexionen an der Ionosphäre muss die ver-

wendete Frequenz so niedrig sein, dass sie am Orte der geringsten kritischen Frequenz, also an der Stelle der schwächsten Ionisation, noch reflektiert wird.

Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass alle Angaben keine Rücksicht nehmen auf das erdmagnetische Feld. Für den praktischen Bedarf ergibt diese Vernachlässigung jedoch eine genügende Genauigkeit.

Die elfjährigen Sonnenfleckperioden haben auf die Kurzwellenausbreitung einen grossen Einfluss. Bei zunehmender Sonnenfleckenzahl müssen höhere Frequenzen verwendet werden, während bei abnehmender Sonnenfleckenzahl niedrigere Frequenzen grössere Verkehrssicherheit bieten.

Im Sonnenfleckminimum werden mehr Frequenzen benötigt, um für eine bestimmte Verbindung einen 24stündigen sichern Betrieb aufrechtzuerhalten, da die günstigsten Ausbreitungsverhältnisse für die niedrigen Frequenzen infolge stärkerer Absorption enger begrenzt sind.

Im Sommer 1940 war es möglich, auf der Verbindung Bern—New York mit zwei Frequenzen einen sichern 24stündigen Betrieb durchzuführen. Im Sommer 1943 wurden auf der genannten Verbindung bis zu vier verschiedene Frequenzen benötigt. Voraussichtlich tritt das nächste Sonnenfleckminimum im Jahre 1944 auf.

Auf Grund dieser Zusammenhänge kann angenommen werden, dass die Zahl der jeweils vorhandenen Sonnenflecken ein ungefähres Mass für die Sonnenaktivität und die vorhandene Ionisierung der Ionosphäre darstellt. Zwischen den Mittelwerten der reflektierten kritischen Frequenzen  $f_0$  der Ionosphärenschichten und der Sonnenfleckenzahl besteht ein deutlicher Zusammenhang. Dabei scheint die Beziehung für das E-Gebiet enger zu sein als für das F-Gebiet.

Die Kenntnis der Sonnenfleckentätigkeit der letzten Jahre gibt die Möglichkeit, die allgemeinen Eigenschaften der Ionosphäre für die nächste Sonnenfleckperiode, in der die Fleckenzahl zunehmen wird, vorauszusagen.

## Heizung der Räume des Landessenders Sottens durch Ausnützung der Verlustwärme in den Senderöhren.

Von R. Pièce, Sottens.

621.396.615—71:697

Der Verfasser beschreibt die Heizung des Landessenders Sottens unter Ausnützung der Verlustwärme, die in den Senderöhren entsteht. Das durch die Senderöhren zirkulierende Kühlwasser gibt seine Wärme in einem Wärmeaustauscher an das System der besonderen Warmwasser-Zentralheizung ab. Die im Winter 1942/43 mit der neuen Heizanlage gemachten Erfahrungen werden angegeben. Die früher benutzte elektrische Heizung musste nie in Betrieb genommen werden, so dass 60 000 kWh eingespart werden konnten.

Es ist den Radiotechnikern bekannt, dass sich ein verhältnismässig grosser Teil der an die Anode einer Radoröhre abgegebenen Energie in Wärme umsetzt

## Chauffage des locaux de l'émetteur de Sottens par récupération de la chaleur perdue dans les lampes d'émission.

Par R. Pièce, Sottens.

621.396.615—71:697

Description du chauffage de l'émetteur national de Sottens par récupération de la chaleur perdue dans les lampes d'émission. L'eau de refroidissement de ces lampes cède sa chaleur, dans un échangeur, à un système de chauffage central spécialement installé. Expériences faites en hiver 1942/43 avec ce nouveau système de chauffage. Il n'a pas été nécessaire d'avoir recours au chauffage électrique, d'où une économie de 60 000 kWh.

Les radio-techniciens connaissent le fait qu'une notable partie de l'énergie appliquée à l'anode d'une lampe de TSF est transformée en chaleur, donc per-