

**Zeitschrift:** Pionier : Zeitschrift für die Übermittlungstruppen

**Herausgeber:** Eidg. Verband der Übermittlungstruppen; Vereinigung Schweiz. Feld-Telegraphen-Offiziere und -Unteroffiziere

**Band:** 34 (1961)

**Heft:** 9

**Artikel:** Radiowellen im Gebiete sehr niedriger Frequenzen

**Autor:** [s.n.]

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-563250>

### 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:** 22.02.2026

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

trockenes Brett oder eine Gummiwalze – stellt, wenn man in einem Stromkreis zu arbeiten hat, wendet man die Isolierung als Schutzmassnahme an.

Wo die Gefahr besteht, mit gut leitenden Gegenständen in Berührung zu kommen (bei Arbeiten mit Elektro-

handwerkzeugen in und an Kesseln, Behältern, Rohrleitungen usw.), sollten Geräte für Kleinspannung verwendet werden. Meist wird die genormte Kleinspannung von 36 V gewählt.

*Edwin Homberger*  
Eidg. Starkstrominspektorat

## Radiowellen im Gebiete sehr niedriger Frequenzen

In jüngster Zeit haben elektromagnetische Wellen mit Frequenzen unterhalb 30 kHz zunehmende Bedeutung für Nachrichten- und Navigationszwecke erlangt. Sie zeichnen sich durch sehr konstante Ausbreitungsverhältnisse aus. Im Gegensatz zu Lang-, Mittel und Kurzwellen ist die in der Ionosphäre reflektierte Raumwelle weitaus weniger von der Tageszeit, der Jahreszeit und von Störungen abhängig.

Die Vorgänge der Längstwellenausbreitung lassen sich am besten in Analogie zur Fortpflanzung von Wellenmoden in einem Hohlleiter, wie er aus der Mikrowellentechnik bekannt ist, erklären. Dieser Vorstellung entsprechend stellt man sich das System Erdkugel und Ionosphäre als einen Wellenleiter für elektromagnetische Wellen sehr niedriger Frequenz vor. Die Ionosphäre ist für diese sehr niedrigen Frequenzen durch die untere Schicht, die sogenannte D-Schicht begrenzt. Sowohl die D-Schicht als auch die Erdoberfläche wirken niedrigen Frequenzen gegenüber wie ein Reflektor. Infolge dieser Eigenschaft können sich die Radiowellen mit sehr niedriger Frequenz zwischen Erde und Ionosphäre wie in einem Wellenleiter ausbreiten, der aus zwei kugelförmig leitenden Schichten besteht. Die Mode-Theorie der Längstwellenausbreitung beschreibt die möglichen Wellenmoden in diesem Hohlleiter, in dem das elektromagnetische Feld in nächster Nähe des Senders nach Wellenmoden entwickelt wird. Man erhält dann eine unendliche Summe von Moden, die das elektromagnetische Feld an jedem Ort des Wellenleiters Erdoberfläche – Ionosphäre darstellt.

Die möglichen Wellenmoden hängen von den elektromagnetischen Eigenschaften der Erde und der Ionosphäre ab. Unter der oben genannten Annahme, dass Erdoberfläche und Ionosphäre einen guten Leiter (und damit einen guten Reflektor) bilden, sollte

der Mode nullter Ordnung (TEM-Modus) zustande kommen, der eine horizontal fortschreitende ebene Welle repräsentiert. Die Ausbreitung elektromagnetischer Längstwellen mit diesem Wellenmodus ist weitgehend unempfindlich gegenüber Unebenheiten und Unregelmässigkeiten der Erdoberfläche, da diese größenmässig in der Regel klein sind im Verhältnis zur Wellenlänge.

Das Feld  $E$  in der Entfernung  $d$  von der Strahlungsquelle wird in der Mode-Theorie auf das effektive Feld  $E_0$  in der Entfernung von 1 Meile (1,609 km) von der Quelle bezogen. Das Verhältnis der Feldstärken  $E_0$  in der Entfernung von 1 Meile zur Feldstärke  $E$  lässt sich darstellen durch die Näherungsformel

$$20 \log_{10} \frac{E_0}{E} = 8 + A \cdot d \cdot 10^{-3} + 10 \log_{10} f \cdot d$$

wobei  $d$  die Entfernung von der Strahlungsquelle in km,  $f$  die Frequenz in kHz und  $A$  ein Schwächungsfaktor ist, der in dB/1000 km angegeben wird.

Diese Formel für die elektrische Feldstärke bezieht sich auf die vertikal polarisierte elektrische Feldkomponente in grosser Entfernung von der Quelle (1000 bis 8000 km). Der Faktor  $A$  hat einen Kleinstwert von etwa 1 dB/1000 km bei einer Frequenz von der Grössenordnung 20 kHz und einen Maximalwert von etwa 20 dB/1000 km bei einer Frequenz von etwa 4 kHz.

Im Gebiete der sehr niedrigen Frequenzen begegnet man einer Reihe höchst bemerkenswerter Phänomene. Von besonderem Interesse sind die «Whistler». Es handelt sich hierbei um niederfrequente Störgeräusche, die in einem Verstärker als Pfeifstöne hörbar sind. Sie wurden erstmals von Barkhausen im ersten Weltkrieg beobachtet. Die Whistler entstehen aus impulsförmigen Störungen (Sferics), z. B. bei Blitzentladungen, die sich in grosser Höhe längs der erdmagnetischen Kraftlinien fortpflanzen. Die Störsignale treten hierbei also zunächst in die Iono-

sphäre ein, folgen dann dem Verlauf des Erdmagnetfeldes von Pol zu Pol, treten auf der anderen Erdhalbkugel wieder aus der Ionosphäre aus und erreichen die Erdoberfläche. Die Störsignale können infolge von Reflexion auch mehrere Male den Ausbreitungsweg zurücklegen. Auf den langen Ausbreitungswegen unterliegen die Störsignale beim Durchlaufen der Ionosphäre einer Dispersion, da bei niedrigen Frequenzen ihre Gruppengeschwindigkeit stark frequenzabhängig ist. Ein elektromagnetischer Impuls wird dadurch in den sinkenden Pfeifton eines Whistlers auseinandergezogen. Ihr Zustandekommen ist an eine ausreichende Elektronendichte entlang des gesamten Übertragungsweges geknüpft. Ausser von Blitzen können Whistler auch von Atomexplosionen und artverwandten Vorgängen ausgelöst werden.

Neben Whistlern werden bei Längstwellen noch andere niederfrequente Störungen beobachtet, die zum Teil mit Whistlern zusammenhängen, zum Teil jedoch auch selbständige Phänomene sind. So werden «Dawn-Chorus» beobachtet, die als Gemisch von Trillerlauten und kurzdauernden Pfiffen steigender Tonhöhe hörbar sind. Diese Störgeräusche zeigen eine bemerkenswerte Korrelation mit der erdmagnetischen Aktivität. Man vermutet, dass sie durch korpuskulare Ströme verursacht werden, die von der Sonne kommend, in die Erdionosphäre eindringen und entlang den erdmagnetischen Kraftlinien wandern. Die geladenen Teilchen emittieren bei ihrem Lauf die beobachteten elektromagnetischen Störgeräusche. Die Theorie ist allerdings nicht gesichert, und es gibt verschiedene Einwände gegen diese Erklärung.

Magneto-ionische Vorgänge ermöglichen den Längstwellen das Eindringen in die Ionosphäre. Das ist besonders bei Frequenzen um 3 kHz der Fall, wo die Ionosphäre gegenüber Frequenzen dieser Grösse ein «Fenster» hat. Ein wichtiger Gesichtspunkt, der die Anwendung von Längstwellen für Aufgaben der Weltraumtechnik befürwortet, ist, dass infolge der sehr grossen Wellenlängen diese Radiowellen an Planeten gebrochen werden und somit einen Funkempfang auch auf jenen Gebieten von Planeten ermöglichen, die auf der rückseitigen Halbkugel des betreffenden Planeten liegen.