

**Zeitschrift:** Pionier : Zeitschrift für die Übermittlungstruppen  
**Band:** 45 (1972)  
**Heft:** 9

**Artikel:** Einführung in die Grundprinzipien der drahtlosen  
Nachrichtenübermittlung  
**Autor:** Hamerak, Kurt  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-562379>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 15.10.2024

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

# Einführung in die Grundprinzipien der drahtlosen Nachrichtenübermittlung

Von Dipl.-Ing. Kurt Hamerak

## Einleitung

Nur wenige technische Errungenschaften haben unser Leben so nachhaltig zu wandeln vermocht wie die drahtlose Nachrichtentechnik. Die Empfangsantenne auf dem Dach entspricht dem sehnlichen Wunsch, dabeizusein, mitzuerleben, wenn sich irgendwo in der grossen weiten Welt eine aussergewöhnliche Begebenheit ereignet. Mit den Mitteln der drahtlosen Nachrichtentechnik, dem Rundfunk und Fernsehen, ist es heute fast eine Selbstverständlichkeit, vom bequemen Polstersessel aus Ohren- und Augenzeuge des Weltgeschehens zu sein. Die Träger der übermittelten Information, die elektromagnetischen Wellen, eilen mit der unvorstellbar hohen Geschwindigkeit von nahezu 300 000 km/sec durch den Raum. Sie überbrücken dabei gewaltige Entfernungen und machen weder vor politischen Grenzen halt, noch scheuen sie irgendwelche natürlichen oder künstlichen Hindernisse. Dennoch muss ihre Aussendung heute sorgfältig überwacht werden, damit mit ihnen kein Missbrauch getrieben wird, denn unbelegte Frequenzkanäle sind inzwischen ebenso knapp geworden wie der Parkraum in unsern Großstädten. Vor einem Jahr feierte die Technik der drahtlosen Nachrichtenübermittlung einen ihrer glänzendsten Höhepunkte, als über 600 Mio Menschen vor den Bildschirmen ihrer Fernsehempfangsgeräte Zeugen der 1. Landung eines Menschen auf dem Erdtrabanten wurden.

## Das elektrische Feld

Als elektrisches Feld bezeichnen wir einen besonderen Spannungszustand des Raumes, der sich durch bestimmte Kraftwirkungen auf ruhende elektrische Ladungen einem Beobachter zu erkennen gibt. Diese elektrischen Kräfte weisen zumindest rein äusserlich eine gewisse Ähnlichkeit mit denen auf, die zum Beispiel

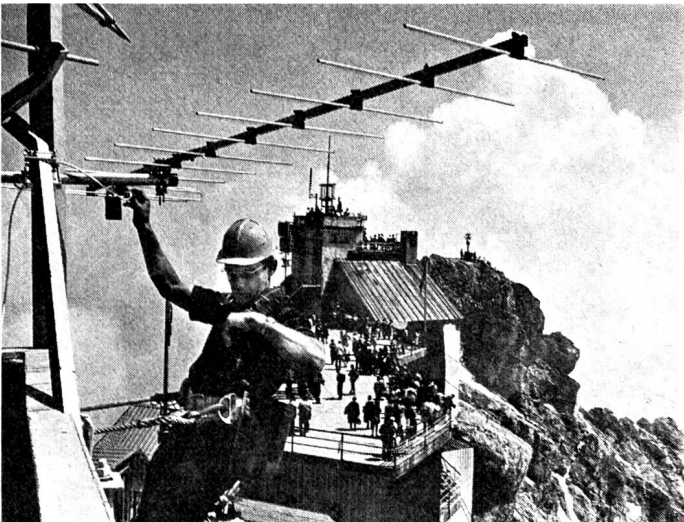


Fig. 1 Die Empfangsantenne auf dem Dach unseres Hauses ist ein Symbol für die modernen Verständigungsmöglichkeiten unserer Zeit, die ohne drahtlose Nachrichtentechnik undenkbar wäre. Um festzustellen, ob ihre neuentwickelten Antennen nicht nur elektrisch einwandfrei, sondern auch mechanisch sicher sind, installiert ein bekannter Antennen-Hersteller seine Erzeugnisse zu Prüfungszwecken auf der für ihre hohen Windgeschwindigkeiten bekannten Zugspitze. Hier sind sie Stürmen und extremen Temperaturschwankungen ausgesetzt.

das Schwerefeld der Erde auf massebehaftete Körper ausübt. Die technischen Anordnungen, mit denen wir den Raum in einen elektrischen Spannungszustand versetzen, bezeichnet man zusammenfassend als elektrische Kondensatoren. Die einfachste derartige Anordnung, an der sich die elektrischen Feldwirkungen noch am ehesten überblicken lassen, ist der sogenannte Plattenkondensator. Er besteht aus 2 gleichartigen Metallplatten, die in nur geringem Abstand voneinander isoliert angeordnet sind. Verbinden wir diese Elektroden elektrisch leitend mit den beiden Anschlüssen einer Gleichspannungsquelle, zum Beispiel mit denen eines Bleisammlers, so entzieht diese der einen Platte, der Anode A, einen Teil der in ihr enthaltenen freien Elektronen und «pumpt» diese durch die Zuleitungen auf die andere Platte, die Kathode K. Während des Ladevorganges fliesst in den Zuleitungen ein messbarer elektrischer Strom.

Die Kondensatorplatten sind voneinander durch einen elektrischen Nichtleiter, das sogenannte Dielektrikum – im einfachsten Fall ist dieses die atmosphärische Luft – getrennt. Wer sich mit den Grundlagen der Elektrotechnik noch nicht hinreichend befasst hat, könnte hier einwenden, dass in den Zuleitungen zum Kondensator eigentlich gar kein Strom fließen dürfte, denn dazu ist doch wohl nach der Erfahrung ein an allen Stellen elektrisch leitender, vollständig geschlossener Stromkreis erforderlich. Wenn nun aber dennoch ein Strom fliesst, so erhebt sich damit sogleich die Frage, wie dieser wohl durch das isolierende Dielektrikum hindurch gelangt. Würden wir die Verhältnisse unter verschiedenen Bedingungen näher untersuchen, so könnten wir alsbald feststellen, dass in den Zuleitungen auch nur so lange ein elektrischer Strom fliesst, wie sich die zwischen den Kondensatorbelägen anliegende elektrische Spannung zeitlich verändert, das heisst nur während der Auf- und Entladung des Kondensators. Und zwar ist die Stromstärke in beiden Fällen um so höher, je rascher sich die Spannung zeitlich verändert. Wir müssen uns eben ganz einfach mit der Tatsache abfinden, dass unter bestimmten Umständen eben auch durch einen Isolator ein elektrischer Strom zu fließen vermag, allerdings nur dann, wenn sich das elektrische Feld in ihm zeitlich verändert. Äusseres Kennzeichen einer solchen Feldänderung ist aber die Veränderung der Spannung an den Kondensatorbelägen.

## Die elektrische Polarisation

Die Elektrizität ist eine sehr abstrakte Naturerscheinung; ihre Wirkungen sind daher alles andere als leicht verständlich. Auf wohl keinem Gebiet der Physik kann man sich daher so wenig auf sein Gefühl verlassen wie auf dem der Elektrizitätslehre, sondern ist vielmehr auf exakte Messungen angewiesen. Wir, die wir uns vorgenommen haben, die Geheimnisse der elektromagnetischen Felder und Wellen zu ergründen, erhoffen uns daher von einigen geschickt angestellten Gedankenversuchen die gewünschten Erkenntnisse. Dazu laden wir zunächst unsern mit atmosphärischer Luft isolierten Plattenkondensator durch Anschluss an eine Spannungsquelle auf eine bestimmte Spannung  $U$  in Volt auf und trennen sodann die Zuleitungen. Im elektrischen Feld, das sich zwischen seinen Platten ausbildet, ist nunmehr eine bestimmte elektrische Ladung  $Q$  in Ampere-Sekunden gespeichert, die wegen der guten Isolation nicht abfliessen kann. Beziehen wir die Ladung  $Q$  auf die Kondensatorspannung  $U$ , so erhalten wir in der sogenannten Kapazität  $C$  in  $As/V = F$  (Farad) ein Mass für das Ladungsspeichervermögen unseres elektrischen Feldes. Es ist

$$Q = C \cdot U. \quad (1)$$

Bringen wir jetzt zwischen die Kondensatorplatten und damit in den Feldraum einen Körper aus einem elektrisch gut isolierenden Stoff, eben ein Dielektrikum, so stellen wir fest, dass die Spannung zwischen den Kondensatorplatten abnimmt. Sie kehrt jedoch in voller Höhe auf ihren ursprünglichen Wert zurück, sobald wir das Dielektrikum entfernen. Wie sollen wir uns diese Erscheinung erklären? Dazu brauchen wir uns lediglich an unsere Definition des elektrischen Feldes als einen räumlichen Spannungszustand, durch welchen Kräfte auf ruhende elektrische Ladungen ausgeübt werden, zu erinnern.

Die elektrische Kraft  $F_{el}$  in  $Ws/cm$ , die auf eine ruhende Ladung  $Q$  einwirkt, errechnet sich zu

$$F_{el} = E \cdot Q. \quad (2)$$

Darin ist  $E$  in  $V/cm$  eine wichtige Kenngrösse des elektrischen Feldes. Sie wird elektrische Feldstärke genannt und ist ein Mass für die elektrische Kraft, die an einer bestimmten Stelle des Feldraumes auf eine dort befindliche Ladung einwirkt. Sie ist aber gleichzeitig auch ein Mass für die elektrische Beanspruchung eines Stoffes auf Durchschlag. Als Vergleichswert mag uns die elektrische Durchschlagsfestigkeit der Luft von atmosphärischem Druck bei Zimmertemperatur dienen, die ca.  $30 \text{ kV/cm}$  beträgt. Überschreitet die Feldstärke an irgendeiner Stelle des elektrischen Feldes diesen zulässigen Wert, so wird die Luft ionisiert, sie büsst auf diese Weise ihre Isolierfähigkeit ein und wird zu einem elektrischen Leiter.

So wie der Luft ergoht es mehr oder weniger allen andern Stoffen auch; sie unterscheiden sich lediglich durch die Höhe der zulässigen elektrischen Feldstärke. Dieser plötzliche Übergang vom isolierenden Zustand in den leitenden wird als Durchschlag bezeichnet. Er kennzeichnet gewöhnlich bei festen Dielektrika das Ende ihrer Brauchbarkeit in elektrischer Hinsicht.

Jetzt wollen wir wieder zu unserem Gedankenversuch zurückkehren und verstehen nun bereits ohne weiteres, dass die Elektronen innerhalb des Dielektrikums sich unter der Einwirkung der elektrischen Feldkraft zwar nicht fortlaufend bewegen können wie etwa die in einem guten elektrischen Leiter, dass sie sich aber immerhin im Atomgitter elastisch verlagern und zumindest der positiven Kondensatorplatte zu nähern versuchen. Diesen Vorgang stellen wir uns am besten modellmässig so vor, dass sich die normalerweise kreisrunden Elektronenbahnen der Isolierstoffatome vorübergehend zu Ellipsen abflachen, solange sie der Einwirkung des elektrischen Feldes ausgesetzt sind. Das wiederum hat zur Folge, dass sich die Moleküle des Dielektrikums regelrecht verformen, wobei sie der positiven Kondensatorplatte ihre negativ geladene Seite und der negativen Platte ihre positive Seite zukehren. Solcherart durch ein elektrisches Feld verformte Isolierstoffmoleküle bezeichnet man als elektrische Dipole und den gesamten Verlagerungsprozess als dielektrische Polarisation.

Die Dipole ordnen sich nun in der in Bild 4 veranschaulichten Weise zu kettenförmigen Gebilden an, wobei sich ihre elektrischen Ladungen im Innern des Dielektrikums gegenseitig aufheben. An den seitlichen Begrenzungsflächen bilden sich jedoch wirksame elektrische Ladungen aus, die ein dem erregenden Kondensatorfeld entgegengerichtetes Polarisationsfeld erzeugen.

Dieses Gegenfeld mit seiner Gegenfeldstärke hebt das ursprüngliche Kondensatorfeld teilweise auf, so dass dessen resultierende Feldstärke  $E$  und damit die Kondensatorspannung  $U$  abnehmen. Da im Falle unseres Gedankenversuchs die Gesamtladung des elektrischen Feldes wegen der aufgetrennten Verbindungsleitungen zur Spannungsquelle unveränderlich ist, hat sich nach Gl. (1) in dem Masse, wie die Spannung abgenommen hat, auch die Kapazität vergrössert.

Jetzt wollen wir den Gedankenversuch noch einmal wiederholen, dabei jedoch die Verbindungen zur Spannungsquelle aufrechterhalten. In diesem Falle bleibt die Spannung unter allen Umständen erhalten, dafür beobachten wir jedoch, dass beim Einbringen des Dielektrikums in den Feldraum ein Strom in den Zuleitungen fliesst. Dieser transportiert auf die Kondensatorplatten zusätzliche Ladungen, die von den Dipolketten gebunden werden. Wir können uns nun vorstellen, dass sich der Elektronenstrom in den metallischen Zuleitungen innerhalb des Dielektrikums in Form der elastischen Ladungsverlagerungen fortsetzt, denn er kommt mit der vollständigen Polarisation des Dielektrikums sofort zum Erliegen. Es hat sich, wie wir noch sehen werden, als zweckmässig erwiesen, die elastische Ladungsverschiebung im Dielektrikum als eine Art Strom aufzufassen. Zum Unterschied vom gewöhnlichen Leitungsstrom bezeichnen wir diesen in einem Nichtleiter auftretenden Strom aber als Verschiebungsstrom.

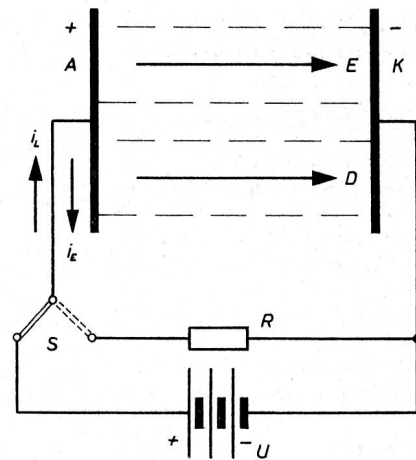


Fig. 2 Die einfachste Form des elektrischen Feldes, ein sogenanntes homogenes Feld, wird durch den Plattenkondensator verwirklicht. Wird der Schalter  $S$  in die linke Stellung gebracht, so fliesst in den Verbindungsleitungen zwischen der Spannungsquelle und den Kondensatorplatten der Ladestrom  $i_L$  und baut zwischen den Platten ein elektrisches Feld mit der elektrischen Feldstärke  $E$  und der Verschiebungsdichte  $D$  auf. Wird der Schalter  $S$  dagegen in die rechte Stellung umgelegt, so fliesst in den Verbindungsleitungen zwischen dem Kondensator und dem Lastwiderstand  $R$  der Entladestrom  $i_E$ , welcher das Feld wieder abbaut.

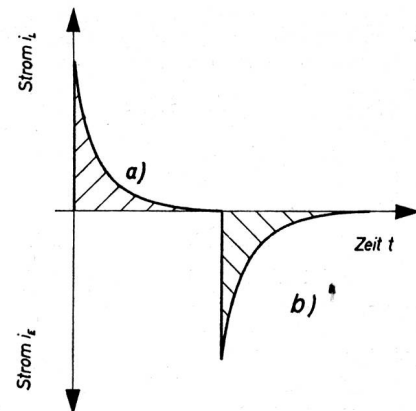


Fig. 3 Nur während des Lade- und Entladevorganges fliesst kurzzeitig ein Strom in den Kondensatorleitungen, der rasch auf Null abklingt: a) Ladestromimpuls; b) Entladestromimpuls.

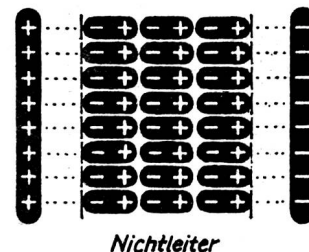


Fig. 4 Unter der Einwirkung eines elektrischen Feldes werden die Atome beziehungsweise die Moleküle des Dielektrikums in elektrische Dipole umgewandelt. Diese Ausrichtung der kleinsten Bausteine eines Nichtleiters im Feldraum wird als elektrische Polarisation bezeichnet.

(Fortsetzung folgt)