

# Einführung in die Grundprinzipien der drahtlosen Nachrichtenübermittlung [Fortsetzung]

Autor(en): **Hamerak, Kurt**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **45 (1972)**

Heft 10

PDF erstellt am: **01.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-562380>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Einführung in die Grundprinzipien der drahtlosen Nachrichtenübermittlung

Von Dipl.-Ing. Kurt Hamerak

### Die Verschiebungsdichte

Veranschaulichen wir die Richtung der Feldstärke an jeder Stelle des Raumes durch gedachte Feldlinien, die von der positiven Elektrode zur negativen übergehen, so können wir die Menge der Ladungen dadurch darstellen, dass wir die Feldlinien an den Leiteroberflächen um so dichter zeichnen, je grösser die Ladungskonzentration an der betreffenden Stelle des Feldes ist. Die Anzahl der von einer Elektrode ausgehenden Linien stellt sodann ein Mass für die gesamte Ladung der Elektrode dar. Der Gesamtheit der Feldlinien hat man den Namen Verschiebungsfluss gegeben. Dieser Ausdruck mag wohl die Anschaulichkeit fördern, er darf jedoch keinesfalls allzu wörtlich genommen werden, denn in der Tat fliesst hier nichts, es ist damit vielmehr ein zeitlich unveränderlicher Zustand gemeint. Die Flächendichte der Feldlinien wird als Verschiebungsdichte  $D$  in  $\text{As}/\text{cm}^2$  bezeichnet und ist neben der Feldstärke  $E$  eine weitere Grösse zur Beschreibung eines elektrischen Feldes. Nähere Untersuchungen haben gezeigt, dass die Verschiebungs-

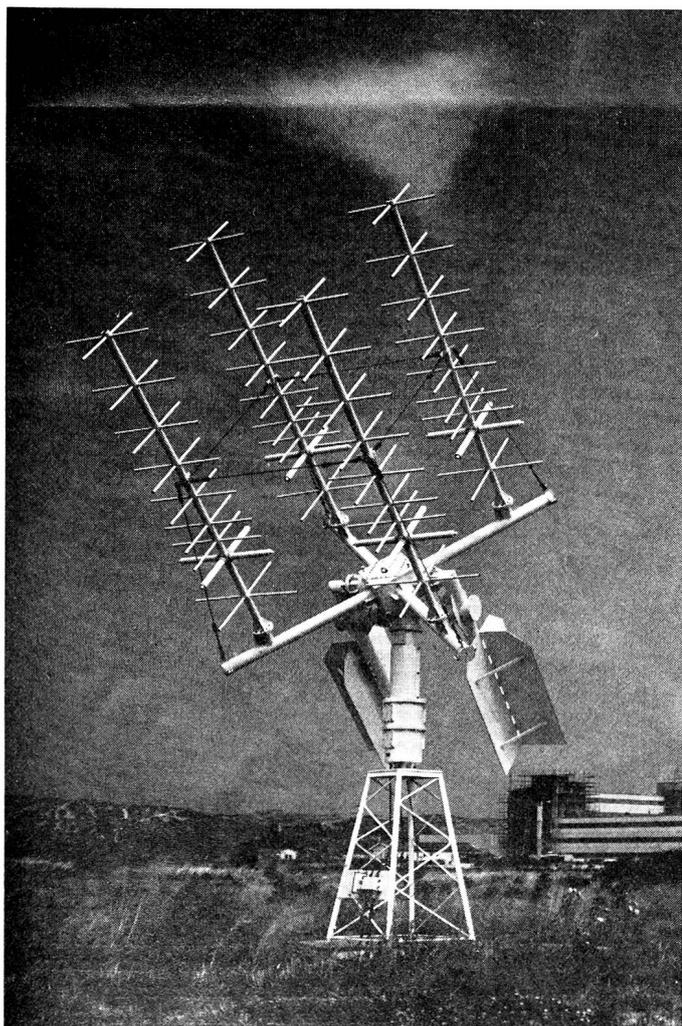


Fig. 5 Mit solchen Spezialantennen werden die Funksignale von Wettersatelliten aufgefangen.

dichte  $D$  der elektrischen Feldstärke  $E$  verhältnismässig ist. Für beide gilt der Zusammenhang

$$D = \varepsilon \cdot E. \quad (3)$$

Der Faktor  $\varepsilon$  in  $\text{As}/\text{Vcm}$ , die sogenannte Dielektrizitätskonstante, hängt vom Material des Dielektrikums ab. Es liegt nahe, die Dielektrizitätskonstante mit der elektrischen Leitfähigkeit zu vergleichen, doch sollte man sich davor doch besser hüten, denn zwischen beiden besteht ein ganz wesentlicher physikalischer Unterschied. Während nämlich die elektrische Leitfähigkeit für den idealen leeren Raum, das Vakuum, vollständig verschwindet, hat dafür die Dielektrizitätskonstante einen ganz bestimmten endlichen Wert. Dieser heisst Influenzkonstante  $\varepsilon_0$  und beträgt

$$\varepsilon_0 = 1/36 \pi \cdot 10^{-11} \text{ As}/\text{Vcm}. \quad (4)$$

Die Dielektrizitätskonstante aller andern Nichtleiter ist grösser als dieser Wert. Man schreibt deshalb zweckmässig

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \quad (5)$$

und nennt die Verhältniszahl  $\varepsilon_r$  die relative Dielektrizitätszahl. Diese hat für Luft sowie für die meisten Gase fast genau den Wert 1,0. Für einige wenige Stoffe ist  $\varepsilon_r$  aber bedeutend grösser; zum Beispiel für Barium-Titanat, einen in der Ultraschall-Technik bevorzugt verwendeten künstlichen Stoff, beträgt sie ca. 4000.

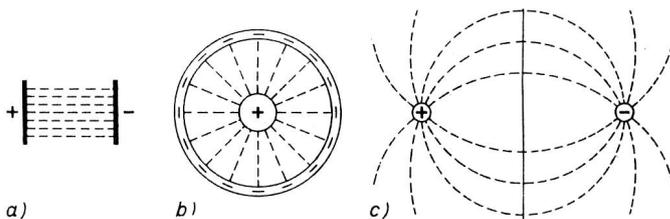


Fig. 6 Einige praktisch bedeutungsvolle elektrische Feldformen: a das homogene Feld des Plattenkondensators; b das radialsymmetrische Feld des Zylinderkondensators (Koxialkabels); c das vollkommen inhomogene Feld zweier paralleler dünner Drähte (Freileitung).

**pionier**

Zeitschrift  
für Verbindung und Uebermittlung

45. Jahrgang Nr. 10 1972

Offizielles Organ  
des Eidg. Verbandes der Uebermittlungstruppen (EVU)  
und der Schweiz. Vereinigung Feldtelegraphen-  
Offiziere und -Unteroffiziere

Organe officiel  
de l'Association fédérale des Troupes de Transmission  
et de l'Association des  
Officiers et Sous-officiers du Télégraphe de campagne

Redaktion: Erwin Schöni, Hauptstrasse 50, 4528 Zuchwil  
Telefon 065 / 5 23 14, Postcheck 80 - 15666

Druck und Administration:  
Fabag + Druckerei Winterthur AG, 8021 Zürich

Erscheint am Anfang des Monats  
Abonnementsbestellungen richtet man an die Redaktion

Ausser dem elektrischen Feld des Plattenkondensators, bei welchem die Feldstärke an jeder Stelle den gleichen Wert hat, weswegen diese Feldform auch als homogen bezeichnet wird, kann ein elektrisches Feld grundsätzlich jede beliebige Gestalt annehmen. Bild 6 zeigt einige in der Technik häufig vorkommende Feldformen.

### Das magnetische Feld

Bewegt man in der Umgebung eines stromdurchflossenen Leiters eine elektrische Ladung, so wird auf diese von dem Leiterstrom eine unter anderem von dem Bewegungszustand der Ladung abhängige Kraft ausgeübt, die nicht elektrischer Natur sein kann, denn sie verschwindet, wenn die Ladung zur Ruhe kommt. Wir schreiben diese Kraftwirkung einem magnetischen Feld zu, das von dem Leiterstrom hervorgerufen wird. Wie wir bereits wissen, können wir einen elektrischen Strom als Bewegung elektrischer Ladungen auffassen. Somit können wir also ganz allgemein sagen, dass ein magnetisches Feld immer dann im Raum vorhanden ist, wenn sich darin elektrische Ladungen bewegen.

Den Nachweis für die Richtigkeit dieser Behauptung hat der dänische Physiker H. Chr. Ørstedt (1777–1851) bereits im Jahre 1820 auf experimentellem Wege erbracht, indem er feststellte, dass eine Kompassnadel bestrebt ist, sich stets senkrecht zu einem langgestreckten stromdurchflossenen Leiter auszurichten. Es ist naheliegend, die Richtung der Kompassnadel der Richtung des magnetischen Feldes gleichzusetzen und diese ganz ähnlich wie im Falle des elektrischen Feldes durch Feldlinien zu veranschaulichen. Eine weitergehende Untersuchung hat ergeben, dass der stromdurchflossene Leiter beziehungsweise die geradlinig bewegten elektrischen Ladungen von kreisförmigen konzentrischen magnetischen Feldlinien umgeben sind. Bei dieser Gelegenheit fand man auch heraus, dass die auf die Kompassnadel, die selbst ein kleiner Magnet ist, einwirkende magnetische Kraft nicht an allen Stellen des den stromdurchflossenen Leiter umgebenden Raumes gleich gross ist, sondern mit wachsender Entfernung von diesem abnimmt.

Als Mass für die Stärke eines magnetischen Feldes hat man die magnetische Erregung  $H$  in A/cm eingeführt. Für das magnetische Feld hat somit die Erregung  $H$  eine ganz ähnliche Bedeutung wie die elektrische Feldstärke  $E$  für das elektrische Feld. Sie gibt an jeder Stelle des magnetischen Feldes an, wie gross dort die Kraft auf die Pole einer Magnetnadel ist. Ebenso wenig jedoch wie die elektrische Feldstärke zur vollständigen Beschreibung eines elektrischen Feldes ausreicht, genügt die magnetische Erregung zur Beschreibung eines magnetischen Feldes. Man hat daher noch eine weitere Kenngrösse, die sogenannte magnetische Felddichte  $B$  in Vs/cm<sup>2</sup> eingeführt. Diese gibt an, wie gross die Felddichtendichte an jeder Stelle des magnetischen Feldes ist. Es hat sich gezeigt, dass die Felddichtendichte  $B$  der magnetischen Erregung verhältnismässig ist, so dass man folgenden Zusammenhang angeben kann:

$$B = \mu \cdot H. \quad (6)$$

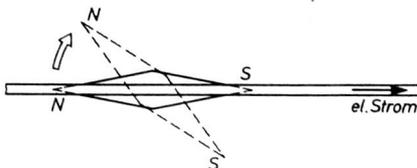


Fig. 7 Ordnet man einen langgestreckten stromlosen elektrischen Leiter so oberhalb einer Kompassnadel an, dass beide in die gleiche Richtung weisen, und lässt man sodann einen Gleichstrom durch den Leiter fliessen, so versucht die Kompassnadel sich in der angegebenen Weise senkrecht zur Richtung des Leiters zu drehen. Mit einer so einfachen Versuchsanordnung soll seinerzeit der dänische Physiker H. Chr. Ørstedt zum erstenmal das Vorhandensein eines magnetischen Feldes in der Umgebung eines stromdurchflossenen Leiters entdeckt und nachgewiesen haben.

Darin ist der Faktor  $\mu$  in Vs/Acm die sogenannte Permeabilität. Sie hängt vom Stoff ab, welcher den magnetischen Feldraum ausfüllt. Ebenso wenig jedoch wie die Dielektrizitätskonstante des leeren Raumes Null ist, verschwindet die Permeabilität im idealen Vakuum. Sie hat vielmehr im leeren Raum einen ganz bestimmten endlichen Wert, und zwar

$$\mu_0 = 0,4 \pi \cdot 10^{-8} \text{ Vs/Acm}. \quad (7)$$

Er hat den Namen Induktionskonstante erhalten. Da die Permeabilität in allen Medien grösser als dieser Wert ist, schreibt man zweckmässig

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r \quad (8)$$

und nennt die Verhältniszahl  $\mu_r$  die relative Permeabilität. Diese hat für die meisten Stoffe nahezu den Wert 1,0. Lediglich die Metalle Eisen, Nickel und Kobalt, die sogenannten Ferromagnetika, fallen durch ihre bedeutend grössere relative Permeabilität besonders auf. Sie ist aber bei ihnen nicht allein vom Stoff, sondern ausserdem auch noch von der magnetischen Erregung abhängig.

### Die magnetische Kraftwirkung auf bewegte elektrische Ladungen

Wie wir bereits wissen, gibt sich ein magnetisches Feld dem Beobachter dadurch zu erkennen, dass es nicht nur auf Dauermagnete, wie Kompassnadeln, sondern auch auf bewegte elektrische Ladungen bestimmte Kräfte ausübt. Der Zusammenhang zwischen einer bewegten elektrischen Ladung  $Q$  in As, der magnetischen Felddichte  $B$  in Vs/cm<sup>2</sup> am Ort der Ladung und der auf sie einwirkenden magnetischen Kraft  $F_m$  ergibt sich zu

$$F_m = Q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha. \quad (9)$$

Darin ist  $v$  die Geschwindigkeit der Ladung und  $\alpha$  der Winkel, unter dem die Bewegungsrichtung die magnetischen Feldlinien schneidet.

Hat dieser Winkel den Wert Null, bewegt sich die Ladung also in Richtung des magnetischen Feldes, so unterbleibt jegliche magnetische Kraftwirkung auf die Ladung. Bewegt sich die Ladung hingegen senkrecht zum magnetischen Feld, so übt dieses die unter den gegebenen Umständen grösstmögliche Kraftwirkung auf die Ladung aus.

Bemerkenswert ist übrigens auch die Tatsache, dass die Richtung der magnetischen Kraft nicht etwa, wie man meinen könnte, mit der Bewegungsrichtung der Ladung zusammenfällt, sondern mit dieser immer einen rechten Winkel einschliesst. Die Ladung wird also vom magnetischen Feld seitlich abgelenkt, ähnlich wie ein Kraftfahrzeug vom Seitenwind, und zwar um so stärker, je grösser ihre

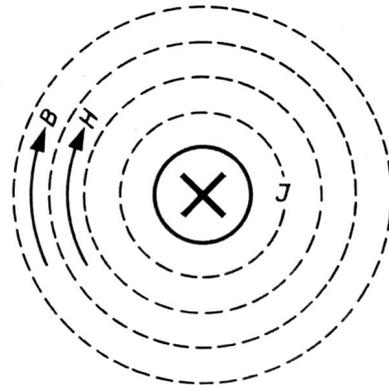


Fig. 8 Ein stromdurchflossener elektrischer Leiter ist von konzentrischen kreisförmigen magnetischen Feldlinien umgeben. Die Richtung des magnetischen Feldes wurde nach internationaler Übereinkunft so festgelegt, dass sie der Stromrichtung rechtschraubig zugeordnet ist. Das Kreuz in der Leitermittte soll das symbolische Ende des Stromrichtungspfeiles darstellen und andeuten, dass der elektrische Strom, der das magnetische Feld erregt, in die Zeichenebene hineinflussend gedacht wird.

Geschwindigkeit  $v$  in cm/sec und je dichter das magnetische Feld  $B$  ist.

Eine ähnliche Erscheinung beobachtet man übrigens auch bei der Kreiselbewegung. Lässt man nämlich auf das eine Ende der Achse eines rotierenden Kreisels eine mechanische Kraft einwirken, so weicht die Kreiselachse nicht, wie man vielleicht annehmen könnte, in Krafrichtung aus, sondern stets senkrecht dazu.

Die räumliche Zuordnung des magnetischen Feldes  $B$ , der Bewegungsgeschwindigkeit  $v$  und der magnetischen Kraft  $F_m$  ist in Bild 10 dargestellt. Dabei ist stillschweigend angenommen, dass die Ladung positiv sei. Im Falle einer negativen Ladung, zum Beispiel der eines durch das magnetische Feld fliegenden Elektrons, kehrt sich die Krafrichtung um. Dieses merkwürdige Verhalten einer bewegten elektrischen Ladung in einem magnetischen Feld rührt daher, dass diese ihrerseits ein magnetisches Feld hervorruft, welches mit dem gegebenen magnetischen Feld in Wechselwirkung tritt. Es sei hier daran erinnert, dass man bei Kathodenstrahlröhren für Oszilloskope gewöhnlich von der elektrostatischen Ablenkung des Elektronenstrahls Gebrauch macht, wohingegen bei Fernseh-Bildröhren der magnetischen Ablenkung der Vorzug gegeben wird.

### Die elektromagnetische Induktion

Im Jahre 1830 machte der englische Naturforscher M. Faraday (1791–1867) eine interessante Entdeckung. Als er bei seinen Experimenten einen elektrischen Leiterstab quer zu den Feldlinien eines Dauermagneten bewegte, stellte er zu seiner Überraschung fest, dass zwischen den Enden des Leiterstabes eine elektrische Spannung auftrat.

Nach unseren bisherigen Betrachtungen sind wir über das Ergebnis dieses Versuches allerdings nicht ganz so erstaunt, denn wir wissen ja bereits, dass ein magnetisches Feld auf bewegte elektrische Ladungen Kräfte ausübt. Nun enthält aber doch der im magnetischen Feld bewegte Leiterstab, wie alle elektrischen Leiter, freie Elektronen, und auf diese wirken eben auch magnetische Kräfte ein, wenn man sie mitsamt dem Leiter in einem magnetischen Feld bewegt. Unter der Einwirkung der magnetischen Kraft werden die Elektronen innerhalb des Leiters so verschoben, dass

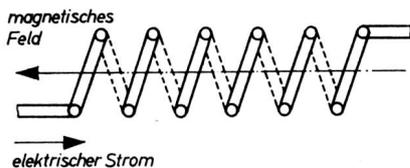


Fig. 9 Mit ein und demselben elektrischen Strom kann man dadurch eine wesentliche Verstärkung des magnetischen Feldes erzielen, indem man ihn in Form einer Schraubenlinie fließen lässt. Dazu muss man den elektrischen Leiter zu einer Zylinderspule aufwickeln. Das Bild zeigt die räumliche Zuordnung zwischen erregendem Strom und magnetischem Feld.

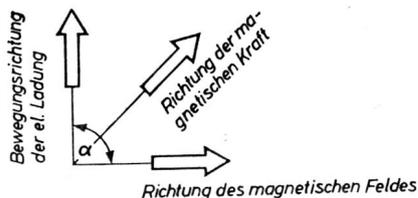


Fig. 10 Wie die Erfahrung lehrt, hängt die magnetische Kraft  $F_m$ , die auf eine bewegte elektrische Ladung  $Q$  im magnetischen Feld ausgeübt wird, einerseits von der Felddichte  $B$ , andererseits von der Geschwindigkeit  $v$  der Ladungsbewegung ab. Sie wirkt senkrecht sowohl zur Feldrichtung als auch zur Bewegungsrichtung. Die Richtung der Kraft ergibt sich aus der Verschiebungsrichtung einer Schraube mit Rechtsgewinde, wenn diese mit dem Drehsinn von der Richtung des Geschwindigkeitsvektors  $v$  in die Richtung des Felddichte-Vektors  $B$  gedreht wird.

## Die Beleidigung an Olympia

5. September 1972. Terror in München – noch sind diese Ereignisse nicht vergessen. Jene fanatischen Verbrecher haben uns alle, die wir von der Idee sportlichen Fairplays unter den Besten aller Länder und Rassen auch nach allem unrühmlichen Geschehen im Vorfeld der Spiele fest überzeugt waren, mit ihrem unbegreiflichen Tun erschreckt und zutiefst beleidigt. Wann endlich merken sie, dass sie mit solchem Morden an Unschuldigen nicht einmal ihrer streitbaren Sache selbst dienen, fragten wir uns verzweifelt.

Die Fahne Israels auf Halbmast, sind die Wettkämpfe der Jugend der Welt fortgesetzt worden. Hätte man sie abbrechen sollen? Darüber herrschen bekanntlich zweierlei Meinungen. Von Pietätlosigkeit sprechen die einen, von Trotzreaktion die anderen. Nicht auszudenken, dass eine Kapitulation vor der Gewalt bei den Freischärlern wahren Übermut entfacht und zu neuen Aktionen angestiftet hätte. Der Teufel ist nimmersatt bis zu seinem endgültigen Triumph.

Das tragische Beispiel von München hat uns deutlich gezeigt, dass dem entschlossenen Feind keine Mittel zu billig sind, um zu seinem Ziel zu kommen. Es ermahnt uns deutlich, dass dem Terror eben doch nur mit harter Gewalt beizukommen ist.

Anarchisten warten auch hierzulande auf ihren Moment, um uns zu sabotieren und zu erpressen. Dafür gab es vor nicht allzu langer Zeit Beweise in Gent und in Zürich (nur hat man die Beteiligten mit einem Butterbrot laufen gelassen, statt sie exemplarisch zu bestrafen). Und wenn wir eines Tages mit neuen Tatsachen konfrontiert würden, müssten wir nicht einmal staunen. Fazit: Wachsamkeit ist am Platz! Paul Meier

sich an dessen einem Ende ein Überschuss und an dessen anderem Ende ein Mangel an Elektronen bemerkbar macht. Die gestörte Ladungsverteilung im Leiter gibt sich dem Beobachter in Form einer elektrischen Spannung zu erkennen. Faraday bezeichnete diesen Vorgang der Spannungserzeugung als elektromagnetische Induktion.

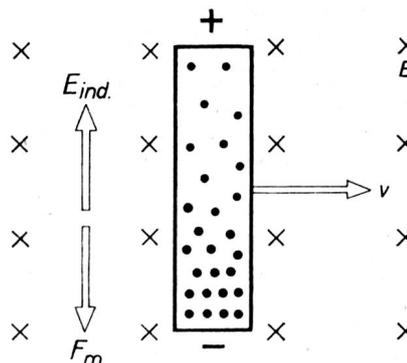


Fig. 11 Bewegt man einen elektrischen Leiter senkrecht zu einem magnetischen Feld (Richtung ist durch Kreuze angedeutet), so werden auf die in ihm befindlichen freien Elektroden magnetische Kräfte ausgeübt. Durch diese werden die Ladungsträger in Längsrichtung zu dem Leiter verschoben und drängen sich an dessen einem Ende zusammen. Infolge dieser unterschiedlichen Ladungsverteilung bildet sich im Leiter ein elektrisches Feld aus, welches vom Ort des grössten Elektronenmangels (+) zum Ort des grössten Elektronenüberschusses (-) gerichtet ist. Im Beharrungszustand hält die elektrische Feldkraft der magnetischen Feldkraft das Gleichgewicht. Wir können uns die Ladungsverteilung innerhalb des Leiters daher auch durch eine sogenannte induzierte elektrische Feldstärke  $E_{ind} = v \cdot B$  hervorgerufen denken, gegen welche die Leiterelektronen anzulaufen versuchen. (Fortsetzung folgt)