

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 79 (1988)

Heft: 22

Artikel: Die Beeinflussung der Umwelt durch hochfrequente elektromagnetische Felder

Autor: Leuthold, P. E.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-904106>

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: 17.03.2025

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

Die Beeinflussung der Umwelt durch hochfrequente elektromagnetische Felder

P. E. Leuthold

Bei hohen Leistungsdichten bewirken hochfrequente Felder in biologischer Materie eine Erwärmung. Im zugänglichen Bereich nachrichtentechnischer Anlagen sind jedoch die auf die Umwelt einwirkenden Felder so schwach oder treten nur so kurze Zeit auf, dass das Gefährdungspotential für Menschen, Tiere und Pflanzen als äusserst gering eingestuft werden muss.

En cas de fortes densités de puissance, des champs à haute fréquence provoquent un échauffement de la matière biologique. Dans la partie accessible des installations de télécommunication, les champs influençant l'environnement sont toutefois si faibles ou ne sont que de courte durée, que le potentiel de dangers pour les hommes, les animaux et les plantes doit être considéré comme insignifiant.

Referat anlässlich der VSE-Diskussionsversammlung über «Die Beeinflussung der Umwelt durch elektromagnetische Felder» am 16. März 1988 in Luzern.

Adresse des Autors

Prof. Dr. Peter Leuthold, Institut für Kommunikationstechnik an der ETH Zürich, Sternwartstr. 7, 8092 Zürich.

1. Grundlagen

Der Betrieb von Anlagen der elektrischen Energieversorgung sowie von Informations- und Kommunikationssystemen ist naturgemäss mit der Erzeugung elektromagnetischer Felder verknüpft. Letztere erfüllen den Lebensraum von Menschen, Tieren und Pflanzen. Im Zuge der Zeit war zu erwarten, dass sich früher oder später die Frage stellt, ob diese Felder möglicherweise schädliche Auswirkungen haben könnten. Eine Beantwortung ist nicht einfach, da hier eine komplexe interdisziplinäre Materie vorliegt, deren experimentelle Überprüfung grosse Schwierigkeiten bereitet. Man denke dabei z.B. an Langzeitversuche mit Menschen, die unter eindeutigen Randbedingungen wohl kaum möglich sind. Hinzu kommt, dass bei den üblicherweise vorkommenden Feldintensitäten allfällige schädliche Einflüsse – wenn überhaupt vorhanden – gemäss den bisherigen Erfahrungen nur in äusserst schwacher Form erkennbar wären.

Im folgenden soll der Versuch unternommen werden, einige wesentliche Aspekte dieses Problemkreises zu beleuchten und das Gefährdungspotential hochfrequenter elektromagnetischer Felder, die vor allem in Verbindung mit drahtlosen Nachrichtenübertragungssystemen auftreten, gemäss dem Stand der heutigen Erkenntnisse abzuschätzen.

Zunächst müssen die Eigenschaften des elektromagnetischen Feldes kurz betrachtet werden. Zur Beschreibung verwendet man bekanntlich den elektrischen Feldvektor \vec{E} , dessen Betrag in Volt pro Meter [V/m] gemessen wird, und den magnetischen Feldvektor \vec{H} , entsprechend gemessen in Ampere pro Meter [A/m]. Die Quellen der beiden Vektoren sind ruhende und be-

wegte elektrische Ladungen (Ströme), die quantitativen Zusammenhänge werden durch die Maxwell'schen Gleichungen vollständig beschrieben. Wichtig ist die Feststellung, dass bei zeitlich variierender Feldintensität das elektrische und magnetische Feld stets gemeinsam auftreten.

Bei den Antennen unterscheidet man zwischen den Feldkonfigurationen in unmittelbarer Umgebung, dem sog. *Nahfeld*, und Feldern in grossem Abstand, dem sog. *Fernfeld*. Dieses hat den Charakter einer sog. ebenen Welle, die Energie transportiert. Man spricht daher auch von elektromagnetischer Strahlung, die aber im Gegensatz zur radioaktiven Strahlung nicht ionisierend ist. Die Leistungsdichte S der elektromagnetischen Strahlung berechnet sich sehr einfach als Produkt der Beträge der elektrischen und magnetischen Feldstärke E bzw. H . Wie man leicht verifizieren kann, hat S die Dimension Watt pro Quadratmeter [W/m²], es handelt sich also tatsächlich um eine Leistung pro Flächeneinheit.

Elektromagnetische Felder treten mit der Materie in Wechselwirkung. Die sog. relative Permittivität ϵ_r beschreibt die «Durchlässigkeit» der Materie in bezug auf das elektrische Feld, die sog. relative Permeabilität μ_r diejenige in bezug auf das magnetische Feld. Wichtig ist ferner die spezifische Leitfähigkeit σ , welche die Stromdichte in der Materie mit dem darin herrschenden elektrischen Feld verknüpft. Schliesslich stellt die sog. Eindringtiefe δ der ebenen Welle in die Materie eine bedeutsame Grösse dar.

Biologische Materie kann näherungsweise als verlustbehaftetes Dielektrikum betrachtet werden, d.h. die relative Permeabilität weist ungefähr den Wert eins auf. Die Parameter ϵ_r , σ

und δ sind einerseits stark frequenzabhängig, andererseits spielt der Wassergehalt des Gewebes eine wichtige Rolle. Die Eindringtiefe und die Feldstärke in der Materie haben entscheidenden Einfluss auf die absorbierte Energie.

2. Biologische Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder

Bevor auf die Feldeffekte in biologischer Materie eingetreten wird, sei erwähnt, dass alle lebenden Organismen dem Einfluss elektromagnetischer Felder natürlichen Ursprungs unterworfen sind. So weist das langsam schwankende elektrische Erdfeld an der Erdoberfläche im Mittel etwa 120 V/m auf; das magnetische Erdfeld beträgt auf unserer Breite im Mittel etwa 36 A/m. Die nicht ionisierende Sonneneinstrahlung weist über den grossen Spektralbereich von Radiowellen bis zu Licht eine Strahlungsleistungsdichte von 100 mW/cm² auf. Hinzu kommen noch andere Felder natürlichen Ursprungs wie Sferics (pulsförmige Feldschwankungen) und kosmische Strahlung, die aber nur geringe Intensitäten aufweisen.

Durch das Eindringen von elektromagnetischen Feldern in biologische Materie werden dort Ströme erzeugt, die ihrerseits zu einer *Erwärmung* führen können. Zudem ist eine *direkte Interaktion* (Reizwirkung) unterhalb der Intensitätsschwelle, die zu einer merklichen Erwärmung führt, denkbar. *Kraftwirkungen* (Vibration von Haaren) sind hingegen nur bei sehr tiefen Frequenzen möglich. Massgeblich für die Auswirkungen sind offenbar folgende drei Parameter:

- Intensität
- Frequenz
- Expositionsdauer

Es ist bekannt, dass eine länger andauernde Erwärmung durch hochfrequente Felder zu Fieberzuständen führt, die sicher schädlich sind, die aber auch für medizinische Zwecke absichtlich herbeigeführt werden (Diathermie). Umstritten sind hingegen schädliche Auswirkungen, die durch direkte Interaktion weit unterhalb der Erwärmungsgrenze eintreten sollen.

In vielen Ländern existieren mehr oder weniger verbindliche Richtwerte für die maximal zulässige elektrische und magnetische Feldstärke bzw. Strahlungsleistungsdichte und für die Expositionsdauer bei gegebener Fre-

quenz. Früher orientierten sich diese Grenzwerte vorwiegend an der Vermeidung von Erwärmungseffekten; heute ist man etwas vorsichtiger geworden und hat eine Reduktion um Faktoren zwischen 10 und 100 vorgenommen. Zurzeit gelten etwa folgende Richtwerte:

Langwellen, Mittelwellen (150-1600 kHz):	$S_{\max} = 100 \text{ mW/cm}^2$
Kurzwellen (3-30 MHz):	$S_{\max} \approx 10 \text{ mW/cm}^2$
VHF (30-300 MHz):	$S_{\max} = 1 \text{ mW/cm}^2$
UHF (> 300 MHz):	$S_{\max} \approx 5 \text{ mW/cm}^2$

Die drahtlosen Nachrichtensysteme lassen sich in folgende Klassen einteilen, die hinsichtlich einer Gefährdung gesondert zu beurteilen sind:

- Rundfunk und Fernsehen
- Satelliten
- Richtstrahlverbindungen
- Mobilfunk

Felder von *Radio- und Fernsehsehdern* sind ausserhalb der eingezäunten Antennenanlagen weit unterhalb der Sicherheitsgrenzen. Äusserst geringe Feldintensitäten stammen von den *Satelliten* ($\approx 10^{-12} \text{ mW/cm}^2$). Völlig unbedenklich sind auch *Richtstrahlverbindungen*, da die Sendeleistungen kleine Werte aufweisen und die Strahlen so angeordnet sind, dass in Sendernähe kein Zugang möglich ist.

Etwas unübersichtlichere Verhältnisse herrschen bei *Mobilfunksystemen*. Die Signale von den Basisstationen weisen natürlich ebenfalls nur äusserst geringe Feldintensitäten auf. Hingegen befinden sich die Benutzer im Einflussbereich des Nahfeldes der Antenne des mobilen Gerätes. Man kann nachweisen, dass die Feldstärkewerte der Antennen von Handfunkgeräten im Bereich des Kopfes zum Teil über den festgelegten Grenzwerten liegen. In Nahfeldern ist aber die Strahlungsleistungsdichte im Mittel erheblich kleiner als das Produkt aus elektrischer und magnetischer Feldstärke. Zudem sind die Expositionszeiten sehr kurz. In der Tat liegen bis heute keine Erkenntnisse über schädigende Wirkungen vor. Mit der wachsenden Verbreitung solcher Funkgeräte wie z.B. dem schnurlosen Telefon muss aber diese Situation im Auge behalten werden.

Im Zusammenhang mit modernen Informationssystemen soll auch das Problem eines möglichen Gefähr-

dungspotentials von *Bildschirmterminals* angeschnitten werden, das durch eine entsprechende Studie in Schweden breite Kreise der Öffentlichkeit aufhorchen liess. Eine Messung der Felder in einem Abstand von mehr als 25 cm rund um verschiedene Typen solcher Geräte herum, die an der ETH Zürich durchgeführt wurde, zeigte aber, dass die Intensitäten eindeutig unterhalb der Grenzwerte liegen. Inzwischen wurden auch die Ergebnisse der erwähnten Untersuchungen durch die zuständigen schwedischen Institutionen erheblich relativiert.

Schliesslich sei noch der *Mikrowellen-Kochherd* kurz betrachtet, der auf dem beschriebenen Prinzip der Erwärmung biologischer Materie durch intensive elektromagnetische Felder beruht. Natürlich herrschen während des Betriebes im Innern des Gerätes Feldstärken, die in kürzester Zeit schwere Verbrennungen zur Folge hätten. Die Konstruktionen sind aber so gestaltet, dass bei einer Öffnung des Herdes die Felderzeugung sofort aufhört. Im Betriebszustand, d.h. bei geschlossener Türe, sind in der Umgebung dieser Geräte praktisch keine Felder messbar. Moderne Mikrowellenherde können auch selbst dann zu keinen Unfällen Anlass geben, wenn ein Defekt vorliegt, da mehrfache Sicherheitsmassnahmen getroffen sind.

3. Zusammenfassung

Insgesamt muss also das Gefährdungspotential hochfrequenter elektromagnetischer Felder für Menschen, Tiere und Pflanzen als äusserst gering eingestuft werden. In diesem Zusammenhang kann auch die kürzlich veröffentlichte PTT-Studie über eine Gefährdung der Wälder in der Umgebung von Sendeanlagen erwähnt werden, die völlig negativ ausfiel.

Nicht behandelt wurden die Sekundäreffekte, die durch hochfrequente Felder verursacht werden. Dazu gehört die Störung elektrischer und elektronischer Systeme (elektromagnetische Verträglichkeit) und die Induktion von Spannungen und Strömen in metallischen Gegenständen, die bei Berührung im schlimmsten Fall zu Schocks und/oder sogar zu lokalen Verbrennungen führen kann. In praktisch allen Fällen lassen sich jedoch wirksame Schutzmassnahmen treffen, wobei aber unter Umständen ein recht grosser Aufwand betrieben werden muss.