**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 Wirkung elektromagnetischer Felder auf den Menschen aus medizinischer Sicht

**Autor:** Hauf, R.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-904107

**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:** 09.12.2025

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

# Die Wirkung elektromagnetischer Felder auf den Menschen aus medizinischer Sicht

R. Hauf

***Die Arbeitsgruppe des Autors führte in den letzten 20 Jahren umfangreiche Forschungsarbeiten durch. Die Versuchsergebnisse, das eingehende Studium der einschlägigen Literatur und auch die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass elektrische Felder bis 20 kV/m und magnetische Felder bis 5 mT keine direkten Störungen von Gesundheit und Wohlbefinden des Menschen hervorrufen. Die durch die Stromversorgung bedingte Belastung unserer Umwelt liegt weit unter diesen Werten.***

***Au cours des 20 dernières années, le groupe de travail de l'auteur a réalisé d'importants travaux de recherche. Les résultats des essais, l'étude exhaustive de la bibliographie correspondante et les expériences accumulées montrent que des champs électriques jusqu'à 20 kV/m et des champs magnétiques jusqu'à 5 mT n'ont aucune conséquence directe pour la santé et le bien-être de l'homme. L'impact de l'approvisionnement en électricité sur notre environnement est bien inférieur à ces valeurs.***

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

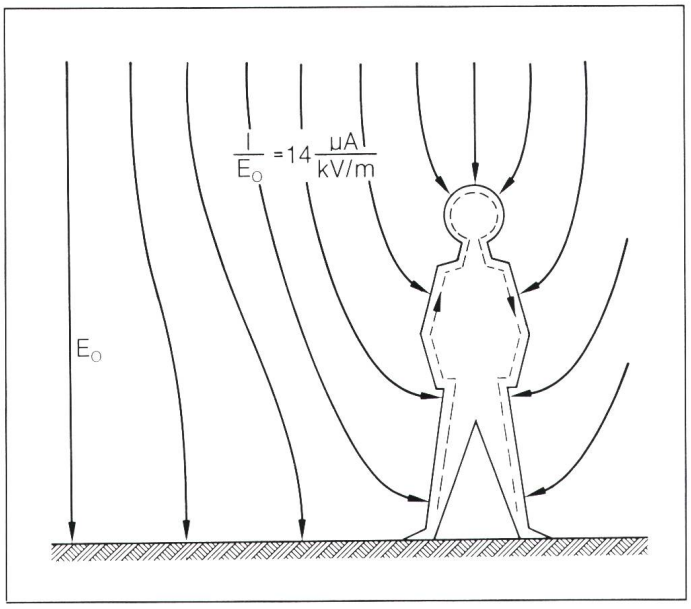
**Adresse des Autors**
Prof. Dr. med. *Rudolf Hauf*,
Reutebachgasse 11, D-7800 Freiburg im Breisgau.

## 1. Einleitung

Heute hat sich die Elektropathologie, die Lehre von gesundheitsschädigenden Wirkungen elektrischer Einflüsse auf den Menschen, zu einem eigenständigen Fachgebiet als Teilgebiet der Arbeitsmedizin entwickelt, das eine enge Zusammenarbeit mit dem Elektroingenieur und Physiker erfordert. Während am Beginn der elektrische Unfall stand, sind nun die Beeinflussungen des Menschen und der Umwelt durch nichtionisierende Strahlung, insbesondere durch elektromagnetische Felder des energietechnischen Bereiches, in den Vordergrund getreten. Sie beschäftigen uns seit etwa 20 Jahren, ohne dass bisher allseits befriedigende Ergebnisse erzielt werden konnten, was nicht zuletzt auf die zögernde und halbherzige Unterstützung der Forschung zurückzuführen ist.

Die elektromagnetische Strahlung durchsetzt unseren gesamten Lebensraum und ist teils natürlichen, teils technischen Ursprungs. Mit Ausnahme des sichtbaren Lichts können wir sie mit unseren Sinnesorganen nicht wahrnehmen, man kann ihre Natur und ihren Charakter nicht erkennen. Deshalb ist sie für viele Menschen etwas Geheimnisvolles und Unberechenbares. Die elektromagnetische Strahlung tritt mit dem menschlichen Organismus in Wechselwirkungen (Fig. 1), wodurch fördernde, hemmende oder schädigende Einflüsse auftreten können, oder sie bleibt indifferent. Erst das Auftreten von erkennbaren Veränderungen kann auf eine Einwirkung schliessen lassen. Mit Recht wird gefragt, ob solche Einwirkungen sich auf Gesundheit und Wohlbefinden auswirken.

Geschehnisse und Symptome, für die es keine augenfällige Erklärung gibt oder für die aus dem Kausalitätsbedürfnis des Menschen eine Erklärung gesucht wird, schreibt man gerne unsichtbaren Kräften zu. Diese Neigung des Menschen kann zu einer ver-




**Figur 1**
**Menschlicher Körper im elektrischen Feld E mit Verschiebestrom in Abhängigkeit von Bodenfeldstärke $E_0$**

hängnisvollen Verstrickung und psychischen Belastungen führen, die eine sachliche Aufklärung oft schwer machen. Diese menschliche Unzulänglichkeit wird oft missbraucht für dunkle Geschäfte und bewusste, unverantwortliche Meinungsmache. Der unsachlichen und irreführenden Sensationspublizistik sollte noch mehr wissenschaftlich fundierte Aufklärung in allgemein verständlicher Form entgegengesetzt werden.

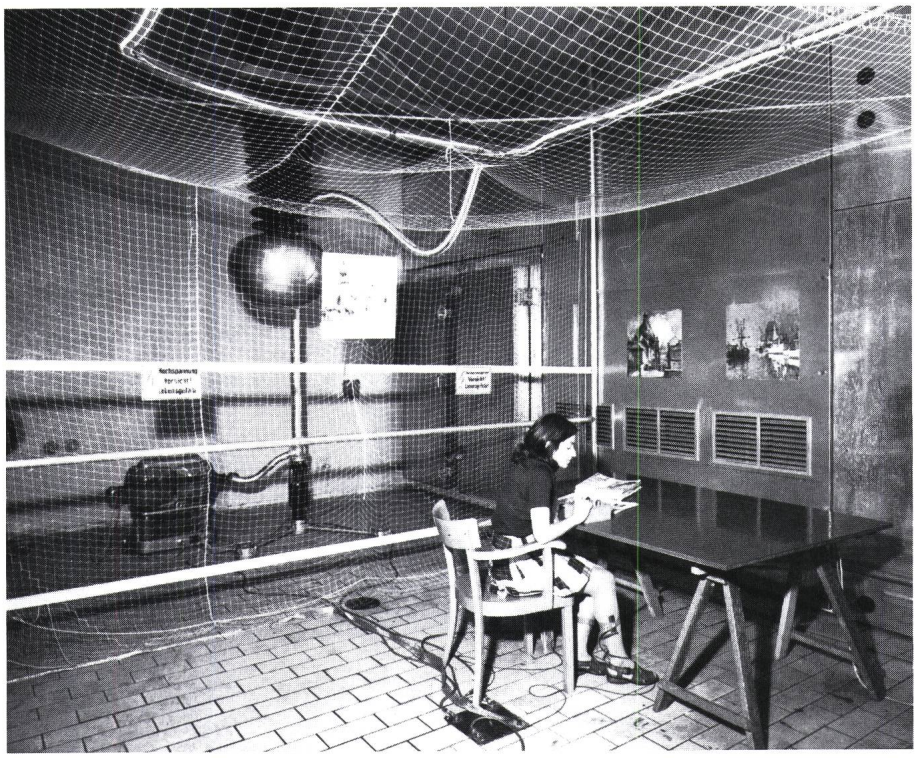
Die natürlichen elektromagnetischen Strahlungen sind zurückzuführen auf meteorologische, atmosphärische und kosmische Vorgänge, die Wohlbefinden und Entwicklung der Lebewesen beeinflussen können. Mit ihnen lebt der Mensch seit Anbeginn. Die Einwirkgrössen sind aber so komplex, dass eine Zuordnung von Reaktionen zu bestimmten Einflussfaktoren nicht möglich ist. Nach dem derzeitigen Stand der Erkenntnisse gibt es keine biologische Reaktion, die exakt nachweisbar allein auf natürliche elektromagnetische Felder bezogen werden könnte.

Die durch die hochentwickelte Elektrotechnik hervorgebrachte Vielzahl verschiedenartiger elektrischer, magnetischer und elektromagnetischer Felder erstreckt sich über alle Frequenzbereiche und nimmt immer mehr zu. Im Vordergrund stehen die energietechnischen Felder. Ihre biologische Wirkung hängt ab von Frequenz, Intensität und Einwirkungsdauer. Der Wirkungsmechanismus ist bis jetzt ungeklärt, so dass wir uns nur auf empirisch gefundene Daten beziehen können.

## 2. Niederfrequente elektromagnetische Felder

Über die biologische Wirkung elektromagnetischer Felder auf Tiere, Bakterien und Pflanzen, sowie heute auch auf Zellkulturen und molekulare Strukturen, liegt eine umfangreiche Literatur vor. Die Untersucher kommen zu sehr unterschiedlichen und sich zum Teil widersprechenden Ergebnissen, die oft weder vergleichbar noch reproduzierbar sind. Diese können nicht ohne weiteres auf den Menschen übertragen werden. Im Vordergrund stehen deshalb Untersuchungen am Menschen. Aber auch hier gibt es gegensätzliche Ergebnisse.

Es waren in den sechziger und siebziger Jahren vor allem russische Autoren, die über vorwiegend subjektive gesundheitliche Beschwerden bei Beschäftigten in 400- und 500-kV-Hochspannungsanlagen berichteten. Bleibende Schäden konnten nicht beobachtet werden. Ähnliche Untersuchungen wurden in einigen anderen Industrieländern durchgeführt. Die Untersuchungsergebnisse und Schlussfolgerungen der russischen Autoren konnten nicht bestätigt werden. Von russischer Seite wurde eingeräumt, dass zu den festgestellten Symptomen auch Stress durch häufige schmerzhafte Entladungen im elektrischen Feld beigetragen haben könnte. Bei all diesen Untersuchungen wirkte nicht nur das elektrische Feld, sondern auch das, wenn auch nur schwache, magnetische Feld. Die tatsächliche Feldbelastung war kaum abzuschätzen. Ausserdem sind Arbeits- und Umwelteinflüsse miteingegangen. Differentialdiagnostische Erwägungen fehlen.



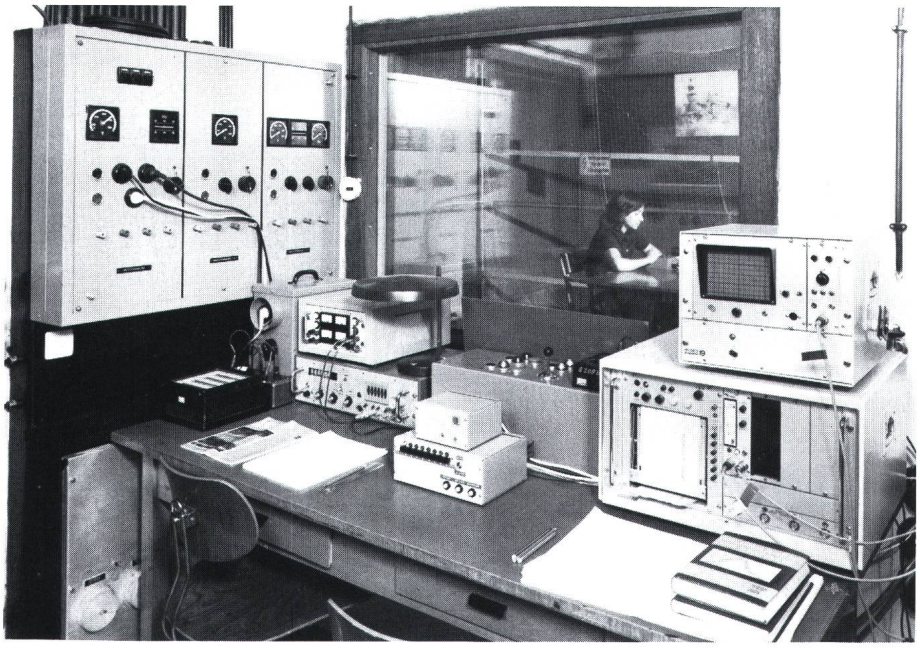
**Figur 2 Versuchsraum**

### 2.1 Kurzzeitversuche im 50-Hz-Wechselfeld

Um die allen solchen Untersuchungen anlastenden unwägbaren und unübersehbaren Einflüsse auf ein Minimum zu reduzieren, wurden von meiner Arbeitsgruppe in den letzten 20 Jahren umfangreiche, kontrollierte und exakt definierte Laboratoriumsuntersuchungen mit freiwilligen Versuchspersonen durchgeführt. Die sorgfältig ausgewählten und vorher auf ihren Gesundheitszustand untersuchten Probanden sassen in einem elektrisch abgeschirmten, vollklimatisierten Labor an einem Tisch und waren geerdet (Fig. 2). Sie konnten nicht beobachten, ob das Feld ein- oder ausgeschaltet war. Schalt- und Messgeräte standen in einem Nebenraum, von dem aus der Versuchsraum durch ein Fenster beobachtet werden konnte (Fig. 3). Zu allen Expositionstests wurden Kontrolluntersuchungen unter den gleichen Bedingungen vorgenommen, wobei auch die Tagesrhythmik berücksichtigt wurde. Die Versuchspersonen hatten Anweisung, wie sie sich vor und während der Untersuchungen zu verhalten hatten. Die Expositionszeit betrug 45 Minuten bis fünf Stunden.

Die Untersuchungen wurden unter rein medizinisch-klinischen Gesichtspunkten durchgeführt. In zahlreichen Versuchsreihen wurde zunächst bei Feldstärken von 1 kV/m, 15 kV/m und 20 kV/m das Verhalten unterschiedlicher Parameter beobachtet. Ausser einem geringen Stimulationseffekt bei der Reaktionszeit und einem leichten Anstieg der Leukozyten, absoluten Neutrophilen und Retikulozyten im physiologischen Bereich liessen sich gegenüber der Vergleichsgruppe keine signifikanten Veränderungen erkennen. Sie werden als unspezifischer physikalischer Reizeffekt gewertet.

Nun wurden die Untersuchungen im elektrischen Feld bei einer Feldstär-



**Figur 3 Mess- und Steuereinrichtung**

ke von 20 kV/m erweitert. Die Versuchsgruppen wurden bei einer Expositionszeit von fünf Stunden vergrössert und das Untersuchungsprogramm ausgedehnt auf das Verhalten der Elektrolyte des intermediären Stoffwechsels und der wichtigsten Hormone zur Beurteilung von Stressreaktionen. Auch hier zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Exponierten und den Vergleichsgruppen, insbesondere ergab sich kein Anhalt für Stressreaktionen.

Eine weitere Untersuchung galt der Einwirkung eines elektrischen 50-Hz-Wechselfeldes von 20 kV/m auf das fliessende Blut in vivo. Untersucht wurden die hämatologischen und biochemischen Parameter des Blutes, die Sauerstoffsättigung, der Sauerstoffpartialdruck, die Fluidität, die Hauttemperatur an sieben Messpunkten, die Herzfrequenz und die Atemfrequenz. Es gab keine Veränderungen gegenüber der Kontrollgruppe. Das Blut und seine Bestandteile sowie die Fluidität blieben unbeeinflusst, insbesondere gab es keine Verschiebung der Elektrolyte. Letzteres ist insofern von besonderer Bedeutung, als sich Elektrolytverschiebungen zwischen Intra- und Extrazellulärraum, eventuell durch Veränderungen an der Zellmembran, durch die enge Kommunikation zwischen Extrazellulärraum und Blut sofort in Konzentrationsänderungen im Blut niederschlagen. Weder organisch noch funktionell sind irgendwelche Störungen aufgetreten.

Ähnliche Laboruntersuchungen wie von meiner Arbeitsgruppe wurden bei der Berliner Arbeitsgruppe von Brinkmann und Schaefer durch Kühne vorgenommen. In einem umfangreichen Versuchsprogramm wurden Versuchspersonen in einem Labor mit Klimaanlage in zwei Versuchskabinen bis zu 48 Stunden je Proband gegenüber elektrischen 50-Hz-Wechselfeldern von 10 kV/m und 20 kV/m exponiert. Während der Untersuchungen wurde die Reaktionszeit auf akustische Signale und auf Lichtblitze telemetrisch gemessen. Durch eine spezielle Anlage konnten EEG und EKG während der Feldeinwirkung ohne Störungen abgeleitet werden. Neben psychologischen Tests wurde ein Fragebogen über das persönliche Wohlbefinden ausgefüllt. Umfangreiche Blut- und Urinanalysen wurden durchgeführt.

Diese Untersuchungen ergaben keinen Anhalt für irgendwelche sicher auf die Einwirkung des elektrischen Feldes zu beziehende Effekte und bestätigen somit unsere Untersuchungsergebnisse.

Gegenüber einer kurzzeitigen Berührungsspannung fliesst beim elektrischen Wechselfeld über längere Zeit ein Strom über den Körper. Um nun zu prüfen, ob ein solcher, wenn auch nicht wahrnehmbarer Strom einen biologischen Effekt auslösen kann, wurden in zwei Versuchsreihen Versuchspersonen einer Durchströmung mit einem 50-Hz-Wechselstrom einer Stromstärke von 200 μA und 500 μA ausgesetzt, der zwei Stunden lang kontinuierlich von beiden Unterarmen zu beiden Unterschenkeln durch den Körper floss. Zu den Expositionsgruppen wurden Kontrollgruppen gebildet. Es wurden dieselben Parameter getestet wie bei den Feldversuchen. Die Ströme entsprachen Verschiebeströmen bei Feldstärken von 15 kV/m und 35 kV/m. Diese direkte elektrische Durchströmung des Körpers führte zu keinen Effekten oder Reaktionen. Es ergaben sich keine Differenzen gegenüber den Kontrollgruppen.

## 2.2 Langzeitexposition in 50-Hz-Wechselfeldern

Die bis dahin besprochenen Untersuchungen waren, auch bei mehrstündiger Expositionszeit, Kurzzeituntersuchungen. Sie sagen nichts aus über mögliche Folgen einer langjährigen Exposition, eventuelle Kumulationseffekte oder eine mit der Dauer der Exposition zunehmende Empfindlichkeit gegenüber elektrischen Feldern. Aus diesem Grunde wurden 32 Personen, die etwa 20 Jahre lang den starken elektrischen Feldern im Bereich von 380-kV-Übertragungsanlagen ausgesetzt waren, einer eingehenden medizinisch-klinischen Untersuchung unterzogen und nochmals nach fünfstündiger Exposition in einem elektrischen 50-Hz-Wechselfeld von 20 kV/m nachuntersucht. Dabei wurden vermehrt psychologische Tests angewandt. Von besonderem Interesse war eine Untersuchung auf Chromosomenveränderungen und das Verhalten der Aminosäuren.

Die Personen der Vergleichsgruppe waren ähnlicher beruflicher Belastung ausgesetzt, kamen aus etwa gleicher sozialer Schicht und waren nicht in Starkstromanlagen tätig. Sie hatten etwa gleiches Durchschnittsalter.

Diese mit grossem Aufwand an speziellen Untersuchungen durchgeführte Langzeitstudie ergab keinen Anhalt für irgendwelche Veränderungen des körperlichen und geistigen Befindens durch die starken elektrischen Felder, die während der vielen Berufsjahre in unterschiedlicher Grösse und in wechselnden Intervallen eingewirkt haben. Nicht ausser acht lassen darf man die in den Anlagen ebenfalls vorhandenen magnetischen Felder, die allerdings nur relativ geringe Intensität aufweisen, aber heute mehr in den Vordergrund gestellt werden.

Eine Sensibilisierung oder ein Kumulationseffekt wurden nicht beobachtet. Auf die Feldeinwirkung zu-

rückzuführende Chromosomenveränderungen und damit ein genetisches Risiko konnten nicht festgestellt werden. Lediglich bei den Aminosäuren sind für eine gesicherte Beurteilung noch weitere Untersuchungen erforderlich. Die Schlussfolgerungen werden bestätigt durch Veröffentlichungen anderer Autoren.

### 2.3 Festlegung von Grenzwerten

Ein eindeutiger Wirkungsmechanismus des elektrischen 50-Hz-Wechselfeldes für den Menschen zeichnet sich nicht ab. Die Ergebnisse der dargelegten Untersuchungen und das eingehende Studium der verfügbaren Literatur ergeben keine typischen Symptome oder Reaktionen, die ursächlich auf die direkte Einwirkung energietechnischer Wechselfelder auf den Menschen zurückgeführt werden könnten. In unserer Umwelt auftretende energietechnische Wechselfelder führen nicht zu einer Beeinträchtigung von Gesundheit und Wohlbefinden. Es kann die wissenschaftlich gesicherte und experimentell gut fundierte Aussage gemacht werden, dass das elektrische 50-Hz-Wechselfeld bis zu einer Feldstärke von 20 kV/m für den Menschen keine schädigenden Auswirkungen hat. Dies ist ein rein empirisch gefundener Grenzwert. Wenn man davon ausgeht, dass ein Körperstrom unter der Empfindungsgrenze von 500 µA keine pathologische Wirkung entfaltet, so könnte eine Feldstärke bis 35 kV/m toleriert werden. Mit einem Grenzwert von 20 kV/m liegt man auf der sicheren Seite. Für die bei Körperströmen oberhalb der Empfindungsschwelle auftretende Effekte gibt die IEC-Publikation 479 «Effects of current passing through the human body» Schwellenwerte und Gefährdungsbereiche in Strom-Zeit-Abhängigkeit an. Sekundäreffekte bedürfen einer besonderen Betrachtung und Beurteilung.

Sicher gibt es auch gegensätzliche Veröffentlichungen und Behauptungen. Für eine kritische Würdigung sind zu beachten: Frequenz, Intensität, Einwirkungszeit, Spezies, Versuchsablauf, Umwelteinflüsse und differentialdiagnostische Erwägungen. Unsere Untersuchungsergebnisse und Schlussfolgerungen sind bisher weder experimentell noch theoretisch widerlegt worden. Aber die Diskussion über Grenzwerte geht weiter. Natürlich können von medizinischer Seite nur Bereiche und Grenzwerte für eine gesundheitliche Beeinträchtigung und Gefährdung angegeben werden, und es ist Sache der Normung, unter Berücksichtigung dieser Grundlagen ihre Festlegungen zu treffen, wobei auch andere Gesichtspunkte eine Rolle spielen. Nur darf nicht versucht werden, in der Normung Grenzwerte mit medizinischen Erkenntnissen zu rechtfertigen, wenn sie von diesen grundsätzlich abweichen.

Für eine allgemeine Orientierung und zur Beseitigung von Unsicherheiten und Spekulationen sowie zur Vermeidung eines Wirrwarrs von nationalen Richtlinien ist eine internationale Festlegung von Grenzwerten unerlässlich. Da bisher keine erfolgversprechenden Ansätze vorhanden waren, wurde von der DKE empfohlen, dass sich die IEC damit befassen soll. Dieser Vorstoss fand leider keine Unterstützung, mit der Begründung, dass in der Veröffentlichung der Welt-Gesundheits-Organisation (WHO) unter Beteiligung der International Radiation Protection Association mit dem Titel «Environmental Health Criteria 35 - Extremely Low Frequency Fields (ELF)» eine ausreichende Grundlage gegeben sei. Die Publikation gibt eine gute Bestandsaufnahme der den Verfassern bekannten Literatur einschliesslich der neueren Publikationen, wobei naturgemäss nicht alle Veröffentlichungen von Bedeutung bekannt oder berücksichtigt waren, besonders wenn diese nicht in Englisch vorlagen. Sicher ist diese Übersicht zu begrüssen und gibt wertvolle Anregungen, aber die daraus gezogenen Schlussfolgerungen und Empfehlungen geben teilweise Anlass zu grössten Bedenken, wie auch bereits erfolgte Auslegungen zeigen.

So ist meines Erachtens die Aussage unbegründet und unverständlich, dass es nach gegenwärtiger Kenntnis nicht möglich sei, eine definitive Darstellung über Sicherheit oder Gefährdung durch Langzeitexposition gegenüber einem sinusförmigen elektrischen Wechselfeld zwischen 1 und 10 kV/m zu geben. Dies steht im Gegensatz zur Publikation «WHO Regional Publication, European Series No. 10: Nonionizing Radiation Protection», in der hierzu klare und fundierte Aussagen gemacht werden. Seither sind keine in Widerspruch dazu stehende Untersuchungsbefunde oder Erfahrungen und Beobachtungen bekannt geworden.

Was bedeutet die Empfehlung, die Exposition so niedrig zu begrenzen, wie billigerweise erreicht werden kann? Wer legt den zumutbaren Grenzwert fest, und wie hoch ist er anzusetzen? Soll er unter 1 kV/m gedrückt werden, wie schon vor Jahren von König empfohlen? Werden von Fall zu Fall die Gerichte entscheiden? Die Schlussfolgerungen und Empfehlungen in «Environmental Health Criteria 35» bringen Unsicherheit und Verwirrung und öffnen Spekulationen und unsachlichen Deutungen Tür und Tor. Sie können die Arbeit und Entwicklung bei Stromversorgung und Elektroindustrie lahmlegen durch endlose Einspruchsverfahren und gerichtliche Klagen, die zu Entscheidungen führen können, die nicht mehr realisierbar sind.

Die Festlegung von Grenzwerten durch eine Normung auf der Grundlage der derzeitigen wissenschaftlichen Erkenntnisse und praktischen Erfahrungen ist möglich. In der Bundesrepublik Deutschland ist eine solche in Vorbereitung. Ich halte eine elektrische Feldstärke von 20 kV/m und eine magnetische Feldstärke von 5 mT für eine gute Basis, die allen derzeitigen Anforderungen gerecht wird und Raum für künftige Entwicklungen lässt.

### 2.4 Sekundäreffekte

Sekundäreffekte bedürfen besonderer Aufmerksamkeit, da oft nicht daran gedacht wird.

Elektromagnetische Felder können in leitenden Gegenständen Ströme und Spannungen induzieren. Die bei Berührung auftretenden Entladungen können unangenehme und schmerzhafte Empfindungen auslösen, ja sogar in extremen Fällen zu Schocks und Verbrennungen führen. Durch einfache Massnahmen wie Erdung können sie vermieden werden. Sie sind aber als gesundheitliche Störfaktoren in Betracht zu ziehen. Häufige unangenehme Reize durch solche Entladungen können Stresssymptome bedingen. Tödliche Unfälle durch induzierte Ströme sind bekannt.

Ein aufrecht unter einer Starkstromleitung stehender Mensch (Fig. 4) nimmt das elektrische Feld nach unseren Untersuchungen bei einer Feldstärke von etwa 13 kV/m wahr, wobei individuelle Unterschiede bestehen, die auf Behaarung und Hautstruktur zurückgeführt werden. In der Literatur werden auch Werte von 2 bis 10 kV/m angegeben. Das am meisten verwendete Versuchstier, die Ratte, nimmt das Feld bei 10 kV/m wahr, bei 120 kV/m beginnen sichtbare Entladungen an

den Spitzen und bei 200 kV/m kommt es zum Durchschlag.

Zu einer echten Gefahr können sonst harmlose elektrische Schläge werden, wenn sie bei Personen auf Gerüsten oder Leitern zu einer Schreckreaktion führen und dadurch Absturzgefahr besteht.

Unter Umständen können starke elektrische Felder Mikroentladungen und Haarvibrationen hervorrufen, die im Bereich des Hautorgans wahrgenommen und eventuell unangenehm empfunden werden, insbesondere ein Prickeln an den Rändern von Kleidungsstücken wie Hemdkragen, Jakkenärmel oder am Brillengestell. Es handelt sich um harmlose Erscheinungen, die aber zu nervösen Reaktionen führen können.

Bei starken elektrischen Feldern kommt es zu Ionenverschiebungen in der Raumluft, die aber so gering sind, dass sie keine biologische Wirkung hervorrufen. Unter Hochspannungsleitungen an der freien Luft treten sie kaum in Erscheinung und sind nicht mehr messbar.

Koronaentladungen an Hochspannungsleitungen führen zu Ozonbildung. Die dadurch auftretende Ozonkonzentration an den Leiterseilen nimmt mit der Entfernung sehr rasch ab und hat in der freien Luft unter den Leitungen nurmehr geringfügige Werte. Sie geht unter im Bereich der Schwankungen des natürlichen Ozongehaltes der Luft. Dieser liegt bei 0,005 ppm, die Wahrnehmungsschwelle ist 0,05 ppm. Ozon ist ein starkes Reizgas und Oxidationsmittel, das zu Reizerscheinungen an den Schleimhäuten, vor allem der Augen und der Nase, und schliesslich des Respirationstraktes führen kann. Der MAK-Wert beträgt 0,1 ppm, und als sicherer Wert bei einem Daueraufenthalt wird 0,05 ppm angegeben. Diese Werte können aber durch die Ozonbildung an Hochspannungsleitungen nicht erreicht werden.

Die Bildung von Stickstoffoxiden ist unbedeutend und kann vernachlässigt werden.

Eine nennenswerte UV-Strahlung im Bereich von Hochspannungsanlagen ist nicht nachgewiesen.

Der von Hochspannungsleitungen in unseren Bereichen ausgehende Lärm hält sich in Grenzen, kann aber individuell als Belästigung angesehen werden. Unter ungünstigsten Verhältnissen kann ein Lärmpegel von etwa 63 dB(A) erreicht werden. Gesundheitsbeeinträchtigende vegetative Lärmwirkungen treten sicher messbar ab einem Lärmpegel von 75 dB(A) auf. Für überwiegend geistige Tätigkeit gilt ein Richtpegel von 50 dB(A). Normalerweise hält sich der Lärm von unseren Hochspannungsleitungen in zumutbaren Grenzen.

**Figur 4**
**Versuchsanordnung im Freigelände der TU München mit einer stehenden Person im Feldraum**

## 2.5 Das magnetische Feld

Das magnetische Feld durchdringt den Körper vollkommen und induziert Ring- bzw. Wirbelströme, die nicht messbar sind. Man kann sie aber berechnen. Über ihre Wirkung bestehen keine klaren Vorstellungen. Die im energietechnischen Bereich auftretenden magnetischen Wechselfelder sind sehr klein und liegen unter Hochspannungsleitungen in der Grössenordnung von 0,01 mT. Man rechnet mit 0,01 mT/kA. Wenn man von einer möglichen induzierten Spannung von 1 mV ausgeht, so ist das im Hinblick auf eine biologische Wirkung ein vernachlässigbar kleiner Wert. Er entspricht etwa den beim Ablauf bioelektrischer Vorgänge im Körper auftretenden Potentialdifferenzen. Sehr starke magnetische 50-Hz-Wechselfelder zwischen 5 und 10 mT erzeugen Flimmererscheinungen der Augen und optische Phänomene. Sie sind vorübergehender Natur und haben keinerlei Krankheitswert.

## 2.6 Herschrittmacher

Viele Menschen sind heute Herzschrittmacherträger. Im wesentlichen werden synchronisierte Herzschrittmacher verwendet. Durch die Entwicklung der Schrittmachertechnik ist die Anfälligkeit dieser Geräte auf elektrische Einflüsse beträchtlich reduziert worden. Bei kontinuierlich anhaltenden Störungen schalten sie auf eine feste «Störfrequenz» um. Eine Beeinträchtigung ist möglich, wenn gepulste oder amplitudenmodulierte Störungen den Verstärkereingang erreichen. Auf diesen übertragene Potentiale von 0,5 bis 1 mV, ob durch elektrische oder magnetische Felder hervorgerufen, können eine Störung verursachen. In der Praxis sind die Schrittmacher durch die hohe Leitfähigkeit des menschlichen Körpers wirkungsvoll

abgeschirmt. Energietechnische Felder im Haus und im öffentlichen Bereich bedeuten keine Gefährdung für Herzschrittmacherträger.

### 2.7 Epidemiologische Untersuchungen

In jüngster Zeit haben epidemiologische Untersuchungen Aufsehen erregt, die dann auch noch vor allem von der Laienpresse in oft tendenziöser Aufmachung verbreitet wurden und in der Öffentlichkeit Widerhall gefunden haben.

Wertheimer und Leeper eröffneten den Reigen mit einer Fallstudie in Colorado 1979. Sie fanden ein Übermass elektrischer Leitungen in der Nähe von Häusern, in denen 344 Kinder unter 19 Jahren an Krebs starben, während 344 aus nichtexponierten Häusern keinen Krebs bekamen. Die Ursache für diese Beobachtung war nicht bekannt, aber die Autoren nahmen an, dass es die magnetischen Wechselfelder der elektrischen Leitungen seien. Im Jahre 1982 fanden sie auch Krebs bei Erwachsenen in Verbindung mit elektrischen Leitungen in der Nähe der Wohnungen dieser Personen, in denen grosse Ströme flossen.

Fulton und Mitarbeiter wiederholten 1980 die erste Studie von Wertheimer und Leeper in Rhode Island. Sie konnten deren Schlussfolgerungen nicht bestätigen.

Milham analysierte 1982 im Staat Washington 438 000 Todesfälle von Männern über 20 Jahre zwischen 1950 und 1979. Er fand eine erhöhte Sterblichkeit an Leukämie bei Arbeitern, die Reparaturen an Radiogeräten und Fernsehapparaten ausführten, bei Arbeitern in elektrischen Kraftwerken, bei Elektrikern und Aluminiumarbeitern, also bei Personen, die bei ihrer Arbeit elektrischen und magnetischen Feldern ausgesetzt waren.

Wright und Mitarbeiter studierten 1982 in Los Angeles und Umgebung die Leukämierate bei Arbeitern an Starkstrom- und Telefonleitungen und fanden ein akutes Ansteigen der Leukämie zwischen 1972 und 1979. Unterstützt werden die Ergebnisse der Arbeiten von Wertheimer und Leeper durch anekdotenhafte unkritische und irrelevante Veröffentlichungen wie Tomenius 1982, der entgegen seinen eigenen Erwartungen wirklich keinerlei Zusammenhang zwischen Krebs und Magnetfeldern feststellen konnte, und Lin und Mitarbeiter 1985, die einen sehr schwachen Zusammenhang fanden.

Zur Frage, ob Hochspannungsleitungen eine langfristige Gefahr für die öffentliche Gesundheit darstellen, überprüfte McDovall 1986 die Mortalität von fast 8000 Personen, die nachgewiesenermassen zum Zeitpunkt der im Jahr 1971 vom British Office of Population Census and Surveys durchgeführten Volkszählung in der Nähe von elektrischen Übertragungsanlagen gewohnt hatten. Er verfolgte die Krankengeschichte dieser Personen bis Ende 1983. Diese Studie ergab keinen Anhalt für den früher berichteten Zusammenhang zwischen Magnetfeldexposition und akuter myeloischer Leukämie, anderen lymphatischen Prozessen und Selbstmord.

Die Untersuchungen von Wertheimer und Leeper wurden nochmals 1986 überprüft und von Savitz und Wachtel nachvollzogen. Sie fanden eine schwache statistische Korrelation zwischen Kindern mit Krebs und der Nähe von elektrischen Starkstromleitungen. Die Tatsache, dass die beiden Forscher das Ergebnis unterschiedlich interpretierten, zeigt die Komplexität und Unsicherheit solcher Untersuchungen. Während Savitz an einem, wenn auch nur geringen Zusammenhang festhielt, betrachtete Wachtel die Ergebnisse nicht ausreichend für eine Zuordnung zu elektromagnetischen Feldern.

Die Epidemiologie kann, von kompetenter Hand eingesetzt, durchaus bislang unvermutete Risiken aufdekken, und sie ist gut beraten, wenn sie solche Ergebnisse als Anregung und Auftrag für eine wissenschaftlich fundierte Untersuchung betrachtet und nicht voreilige Schlüsse zieht. Es gibt viele schlechte epidemiologische Methoden und unzureichend ausgebildete Epidemiologen. Die retrospektive Epidemiologie steckt voller Tücken, hier insbesondere aufgrund der Vielzahl verschiedener Faktoren, die an der Verursachung von Krebs beteiligt sind. Es ist nicht möglich, sie alle zu kontrollieren, vor allem, wenn sie erst noch identifiziert werden müssen. Besondere Schwierigkeiten macht die Nachprüfbarkeit. Die tatsächliche Exposition, die zeitlichen Zusammenhänge, andere mögliche Krankheitsursachen, Lebensgewohnheiten, Rauchen, Umwelteinflüsse und differentialdiagnostische Erwägungen müssen ersichtlich sein.

Bedauerlicherweise werden solche Publikationen unkritisch publizistisch ausgeschlachtet und führen zu falschen Interpretationen, die die Öffentlichkeit beunruhigen. Leider fallen aber auch oft öffentliche Repräsentanten auf derartige irreführenden Veröffentlichungen herein.

Wohin solche widersprüchlichen und nicht genügend abgeklärten, fehlerhaften Untersuchungsergebnisse führen können, zeigt folgender Fall, der nun seit Jahren die Gerichte beschäftigt. In Texas wurde von der Houston-Lighting-and-Power-Gesellschaft das Gelände des Klein Independent School District mit einer 345-kV-Hochspannungsleitung von Houston nach Dallas führend überspannt. Das Trassee führte quer über das Schulgelände nahe vorbei an Schulgebäuden, die etwa 4000 Schüler beherbergen. Die Schule und die Eltern verlangten die Beseitigung der Leitung wegen einer potentiellen gesundheitlichen Gefährdung der Kinder durch die von der Leitung ausgehenden elektromagnetischen Felder. Das Gericht verurteilte die Gesellschaft zu einer Strafe von 104 000 Dollar plus tatsächlichem Schadenersatz und 25 000 000 Dollar Schadenersatzstrafe. Die Hochspannungsleitung ist inzwischen verlegt durch eine 2,5 Meilen lange Umgehung. Eine Berufung läuft noch. Solche Prozesse werden sicher Schule machen.

### 2.8 Schlussfolgerung

Aufgrund exakter wissenschaftlicher Forschung, nach dem derzeitigen Stand der Kenntnisse und nach den langjährigen praktischen Erfahrungen führen die im Bereich unserer Stromversorgung auftretenden energietechnischen Felder nicht zu relevanten Gesundheitsstörungen. Bisher ist in der Weltliteratur kein einziger Fall einer Krebserkrankung bekannt, die mit ausreichender Wahrscheinlichkeit auf die Einwirkung elektrischer oder magnetischer Felder zurückgeführt werden könnte. Trotzdem sind noch zahlreiche Fragen offen, die einer intensiven Forschungsarbeit bedürfen.

## 3. Hochfrequente Wechselfelder

Die bisherigen Ausführungen galten dem energietechnischen Frequenzbereich elektromagnetischer Felder, der uns am unmittelbarsten betrifft. Hier sind in Frequenz-, Strom-, Zeitabhängigkeit zwei Grundwirkungen zu unterscheiden, einmal energetische Stromeffekte durch Entwicklung Joulescher Wärme in den betroffenen Geweben und zum anderen Reizeffekte

auf erregbare Strukturen, wie Nerven, Muskeln und insbesondere auch den Herzmuskel. Dem energetischen Stromeffekt kommt im energietechnischen Bereich keine Bedeutung zu. Die Reizwirkung nimmt mit zunehmender Frequenz ab, die Reizschwellen werden höher, und die thermische Wirkung nimmt zu. Im Mittelwellenbereich von 1 kHz bis 100 kHz tritt die Reizwirkung auf erregbare Strukturen vollkommen in den Hintergrund, da die dazu erforderlichen Feldstärken Werte bis 1000 kV/m benötigen und damit so hoch sind, dass sie die Durchschlagspannung überschreiten. Aber auch die thermische Wirkung ist noch unbedeutend, so dass in diesem Bereich keine akute Gefährdung für den Menschen besteht.

Mit Beginn des MHz-Bereichs, dem Bereich der Radiowellen, haben wir es mit biologisch grundsätzlich anderen Verhältnissen zu tun. Ein Angriffspunkt der elektromagnetischen Energie im Körper ist die Zelle. Die zeitlich und räumlich periodischen elektrischen und magnetischen Felder üben auf die elektrischen Ladungsträger und Dipole in der Zelle eine Kraftwirkung aus, die zu einer Bewegung von Ionen und zu einer partiellen Rotation von polaren Molekülen führt. Es entstehen Reibungsverluste und damit Wärme. Durch die Ladungsverschiebungen in der Zelle wird an der Zellmembran eine elektrische Potentialdifferenz hervorgerufen, die sich dem vorhandenen Membranruhepotential überlagert. Diese Kraftwirkung, die auch Kettenbildung von Zellen bewirken kann, dürfte keine gesundheitliche Gefährdung des Menschen verursachen.

Ausschlaggebend für die thermische Wirkung von Hochfrequenzfeldern ist die insgesamt absorbierte Energie und die daraus resultierende Erwärmung. Die Wärmebildung im Körper hängt ab von der Grösse der Felder, der Frequenz und der frequenzabhängigen Eindringtiefe, das ist die Schichtdicke biologischen Materials, nach deren Durchlaufen die Flächenleistungsdichte der Strahlung auf 37% des Ausgangswertes abgeschwächt ist. Die Wärmeverteilung im Körper hängt wiederum ab von der Blutzirkulation und der Wärmeleitung. Die Wärmebildung erfolgt aber durch den komplizierten Mehrschichtenaufbau des Körpers und die unterschiedlichen elektrischen Gewebekonstanten nicht gleichmässig. Ausserdem können durch besondere Bedingungen Stellen überdurchschnittlicher Energieabsorption und damit Wärmebelastung auftreten, die als hot spot bezeichnet werden. Orte erhöhter Energieabsorption werden auch gebildet durch metallische Objekte im Körper, die wie Empfangsantennen wirken.

Der menschliche Körper und seine Funktionen sind gegenüber Änderungen der Körperinnentemperatur äusserst empfindlich. Die normale Körpertemperatur bewegt sich zwischen 36 und 37,2 °C und wird in diesen Grenzen konstant gehalten. Die zentrale Wärmeregulation erfolgt im Hypothalamus, im Zwischenhirn-Hypophysenbereich des Zentralnervensystems, und spricht bereits auf geringe Änderungen im Wärmehaushalt an. Der adäquate Reiz für das Wärmezentrum ist die Bluttemperatur. Bereits eine Änderung um 0,1 °C wird registriert. Die Wärmeregulationsmechanismen sind äusserst kompliziert und werden gesteuert über die vegetativen Regulationszentren. Einbezogen sind Herztätigkeit, Atmung, Kreislauf, Durchblutung, Schweissdrüsensekretion, Wärmebildung und neurohormonales System. Geringste Veränderungen im Wärmehaushalt werden dem Wärmezentrum zugeleitet. Störungen der Wärmeregulation und Irritationen können erhebliche Auswirkungen auf die Körperfunktionen haben, die sich dann in Beeinträchtigungen des Gesundheitszustandes und Wohlbefindens äussern. Wenn es zu einer einseitigen Überwärmung des Kopfes kommt und dabei die Hypophysentemperatur um 0,5 °C ansteigt, wird ein, den gesamten Körper betreffender Regulationsmechanismus ausgelöst, der zu Untertemperatur im Körper führen kann.

Die zur Aufrechterhaltung des Wärmehaushaltes erforderliche Wärme wird durch den Energieumsatz gebildet. Beim ruhenden Menschen beträgt er 80 W und wird als Grundumsatz bezeichnet. Die Grösse der erzeugten Wärme kann die Körperinnentemperatur um 1 °C erhöhen. Eine solche Temperaturerhöhung kann auch toleriert und kompensiert werden, wenn sie durch eine Einwirkung von aussen erfolgt. Deshalb wurde für den Radio- und Mikrowellenbereich ein Sicherheitsgrenzwert von 10 mW/cm² festgelegt, was einer Körperinnentemperaturerhöhung von maximal 1° C entspricht.

Im MHz bzw. Meterwellenbereich besteht neben dem starken Wärmeeffekt eine gute Eindringtiefe. Sie ist auch abhängig vom Wassergehalt der Gewebe und beträgt bei 30 MHz im Muskelgewebe etwa 10 cm, in Knochen und Fett ist sie 3- bis 5mal höher. So ist die Gefahr einer schädigenden Erhöhung der Körperinnentemperatur bei grossen Flächenleistungsdichten besonders gross. Hinzu kommt, dass in diesem Bereich nicht vorwiegend die Haut, sondern auch die tieferen Schichten des Körpers stark erwärmt werden, so dass die Warnfunktion der Haut überbrückt wird und unbemerkt eine Überwärmung zustande kommen kann. Erhebliche Gesundheitsstörungen können daraus resultieren und sind erklärbar. Die sich aus der Literatur ergebenden, auf eine innere Erwärmung bzw. Überwärmung des Körpers durch Hochfrequenzfelder zurückgeführten gesundheitlichen Beeinträchtigungen sind nachfolgend zusammengestellt.

Symptome nach *massiver* Langzeiteinwirkung von Hochfrequenzfeldern des Meterwellenbereiches:

- Kopfschmerzen, Druck im Kopf
- Müdigkeit, Unlust
- Unruhe, Angst, Aufgeregtheit, Beklemmungen
- Schlafstörungen, morgendliche Zerschlagenheit
- Schwindel, Übelkeit, Erbrechen
- Appetitlosigkeit, Durst, Heisshunger
- Gastritis, Magengeschwüre
- Schwächezustände, Schweissausbrüche
- Ziehende Empfindungen in den Extremitäten
- Schweregefühl in den Gliedern
- Nervosität
- Minderwertigkeitsgefühle
- Depressionen
- Aggressivität
- Pessimismus
- Störungen des Sexuallebens
- Beschleunigte Atmung
- Tachykardie, Extrasystolen
- Angiospasmen
- Koronarspasmen
- Kreislaufdysregulationen
- Vegetative Störungen
- Beschleunigung der BSG
- Erhöhte Leukozyten
- Neigung zu Thrombosen
- Neigung zu Infektionen
- Fazialisparesen
- Gedächtnisstörungen
- Haarausfall
- Linsentrübungen des Auges

Die grosse Zahl und Vielfalt dieser Symptome weist schon darauf hin, dass es sich nicht um spezifische Symptome der Einwirkung von Hoch-

frequenzfeldern handeln kann. Sie lassen sich durch Störung des Wärmehaushalts und der Wärmeregulationsmechanismen erklären. Der Körper hat nicht eine einheitliche Erwärmung zu bewältigen, sondern durch die komplizierten Erwärmungsvorgänge bilden sich Temperaturdifferenzen verschiedener Erwärmungsgrade, die über vegetative Fehlsteuerungen und Irritationen des Wärmezentrums zu Funktionsstörungen des Körpers und zu solchen vielseitigen Symptomen führen können. Dabei können auch Stellen des Organismus mit krankhaft verminderter Widerstandsfähigkeit dekompensiert werden, was fortbestehende funktionelle und organische Schäden auslösen kann. Es handelt sich um reine Folgen von Wärmeeffekten. Im allgemeinen klingen die Symptome nach Beendigung der Exposition rasch oder in kurzer Zeit ab.

Mit steigender Frequenz in den GHz-Bereich hinein, also zum Mikrowellenbereich, fällt die Eindringtiefe zunächst schnell, dann steil ab. Bei 1 GHz ist sie im Muskel noch 3 cm und bei 3 GHz nur noch wenige Millimeter. Im Mikrowellenbereich betrifft die thermische Wirkung vor allem das Hautorgan und nähert sich dem Wirkungsspektrum von Infrarot.

Die bisherigen Forschungsergebnisse und Erfahrungen zeigen, dass bei Hochfrequenzfeldern Gefährdungen nur aufgrund der durch das Feld ausgelösten Temperaturerhöhungen nachgewiesen werden konnten. Nichtthermische Wirkungen werden zwar diskutiert, es ist aber bisher nicht gelungen, einen Beweis dafür zu erbringen.

Bei Beachtung eines Grenzwertes für die Flächenleistungsdichte von 10 $mW/cm^2$ kann eine gesundheitsschädigende Wirkung ausgeschlossen werden. Für eine Dauerbelastung wird ein Wert von 5 $mW/cm^2$ vorgeschlagen.

**Literatur**


[1] *Amon, G.:* Einfluss des elektrischen Feldes auf den Elektrolythaushalt, den intermediären Stoffwechsel und den Hormonhaushalt des Menschen. Dissertation Freiburg 1977.

[2] *Asanova, T.P.;* On the influence of high intensity electric field on organismes of workers. (Materials of the scientific session devoted to the results of the Leningrad Institute of Hygiene of Labor and Occupational Deseases 1961-1962). Leningrad, 1963.

[3] *Asanova, T.P.* and *Rakov, A.N.;* Health conditions of workers exposed to electric fields on open switchboard installations of 400-500 kV: Preliminary report. Gig. tr. prof. zabol. 10: 50-52., 1966.

[4] *Bauchinger, M., Hauf, R., Schmid, E., Dresp., I.:* Analysis of structural chromosome changes and SCE after occupational longterm exposure to electric and magnetic fields from 380 kV-Systems. J. Radiation and Environmental Biophysics 19: 235-238, 1981.

[5] *Bonnell, J.A., Cabanes, J., Hauf, R., Malboysson, E.:* Les champs électriques et magnétiques et l'homme. Concours Médical 22-12-79.

[6] *Eisemann, B.:* Untersuchungen über Langzeitwirkung kleiner Wechselströme 50 Hz auf den Menschen. Dissertation Freiburg, 1975.

[7] *Filippov, V.:* The effect of alternating electric fields on man. ISSA 2nd international colloquium on the prevention of occupational risks due to electricity, Nov. 30 - Dec. 1, 1972 Cologne.

[8] *Fulton, J., Copps, S., Preble, L., Leone, L., Forman, E.;* Electric wiring configurations and childhood leukemia. Am. J. Epidemiol. 111: 292-296, 1980.

[9] *Hauf, G.:* Untersuchungen über die Wirkung energietechnischer Felder auf den Menschen. Dissertation München, 1974.

[10] *Hauf, R.:* Wirkung von 50 Hz-Wechselfelder auf den Menschen. Elektrotechnische Zeitschrift, Ausgabe B, 12:318-320, 1974.

[11] *Hauf, R.:* Influence of 50 Hz alternating electric and magnetic fields on human beings. Revue Générale de l'Electricité, Numéro spécial, Juillet 1976, pp. 31-49.

[12] *Hauf, R.:* Einfluss elektromagnetischer Felder auf den Menschen. Elektrotechnische Zeitschrift, Ausgabe B, 23:181-183, 1976.

[13] *Hauf, R.:* Medizinische Fragen im Zusammenhang mit dem Arbeiten unter Spannung Bulletin SEV/VSE Nr. 3, 1978.

[14] *Hauf, R.:* Zur Wirkung energietechnischer Felder auf den Menschen. ASP 3/81, S. 71.

[15] *Hauf, R.:* Untersuchungen zur Wirkung energietechnischer Felder auf den Menschen. Heft 9 der Beiträge zur Ersten Hilfe und Behandlung von Unfällen durch elektrischen Strom, Forschungsstelle für Elektropathologie, Freiburg, 1981.

[16] *Hauf, R.:* Electric and magnetic fields at power frequencies, with particular reference to 50 and 60 Hz. In J.M. Suess ed., Nonionizing Radiation Protection, WHO European Regional Office, Publ. No. 10, Chapter 5, 1982.

[17] *Kühne, B.:* Einfluss elektrischer Felder auf lebende Organismen. Der praktische Arzt, 15. Jg., Heft 18 (1978).

[18] *Lin, R.S.,* et al.: Occupational exposure of electromagnetic fields and occurrence of brain tumors. J. Occup. Med. 27 (6):413-419, 1985.

[19] *Malboysson, E.:* Medical control of men working within electromagnetic fields. Revue générale de l'électricité, July 1976, pp. 75-80.

[20] *Mantell, B.:* Untersuchungen über die Wirkung eines magnetischen Wechselfeldes 50 Hz auf den Menschen. Dissertation Freiburg, 1975.

[21] *McDowall, M.E.:* Leukemia mortality in electrical workers in England and Wales. Lancet, i:246, 1983.

[22] *Milham, S.:* Mortality from leukemia in workers exposed to electrical and magnetic fields. New England J. Medicine, 307:249, 1982.

[23] *Rupilius, J.P.:* Untersuchungen über die Wirkung eines elektrischen und magnetischen 50 Hz-Wechselfeldes auf den Menschen. Dissertation Freiburg, 1976.

[24] *Savitz, D.A., Wachtel, H. et al.:* Case Control Study of Childhood Cancer and Exposure to 60 Hz Magnetic Fields. Am. J. of Epidemiology, 1988, in Press.

[25] *Sazonova, T.E.:* Les effets physiologiques du travail à proximité d'installations électriques extérieures de 400 et 500 kV. In: Nauchnye raboty institutov ahrany truda VCSPS, 46: 34-39, Moscou, 1967.

[26] *Sazonova, T.E.:* Influence of strong electric field of the industrial frequency on man's working capacity. Sci. Works inst. labor prot. all-union cent. counc. trade unions no. 63, U.S.S.R., 1970.

[27] *Schaefer, H.:* Über die Wirkung elektrischer Felder auf den Menschen. Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften - Math.-Naturwissenschaftl. Klasse, Springer Verlag Heidelberg, 1983, 3. Abh.

[28] *Tomenius, L., Hellstrom, L., Evander, R.:* Electrical constractions and 50 Hz magnetic fields at the building of tumor cases (0-18 years of age) in the county of Stockholm. Abstr. Int. Symp. Occup. Health and Safety in Mining and Tunnelling, Prague, 1982.

[29] *Wertheimer, N., Leeper, E.:* Electrical wiring configurations and childhood cancer. Am. J. Epidemiol. 109:273-284, 1979.

[30] *Wertheimer, N., Leeper, E.:* Adult cancer related to electrical wires near the home. Int. J. Epid. 11:345-355, 1982.

[31] WHO: Environmental Health Criteria 35, Extremely Low Frequency (ELF) Fields, Genf, 1984.

[32] *Wright, W.E., Peters, J.M., Mack, T.M.:* Leukemia in workers exposed to electrical and magnetic fields. Lancet, ii:1160-1161, 1982.