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: 71 (1980)

Heft: 17

Artikel: Wechselwirkungen zwischen Mensch und elektromagnetischem Feld im Frequenzbereich von 10 bis 1000 MHz

Autor: Neukomm, P. A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905280

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: 10.12.2025

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

Wechselwirkungen zwischen Mensch und elektromagnetischem Feld im Frequenzbereich von 10 bis 1000 MHz

Von P. A. Neukomm

1. Teil: Biologische Effekte und Sicherheitsempfehlungen zu körpernahen Sendeantennen

537.811:331.823

Anhand der verbreiteten Wendelantenne wird eine Abschätzungsmethode für die Nahfelder von elektrisch kleinen Sendeantennen gezeigt. Die westlichen und die bedeutend strengeren östlichen Sicherheitsvorschriften werden mit ihren Begründungen vorgestellt. Unter gewissen Bedingungen können biologische Effekte weit unterhalb der US-Sicherheitsgrenzwerte auftreten. Deshalb, und weil elektrisch kleine Antennen einen sehr grossen Blindleistungsanteil aufweisen, scheint eine Begrenzung der Sendeleistung auf ca. 100 mW sinnvoll, wenn mit solchen Antennen längere Zeit in unmittelbarer Körpernähe gearbeitet werden muss.

Une méthode d'estimation, appliquée à l'antenne helicoïdale usuelle, est présentée pour calculer les champs proches d'une antenne electriquement petite. Les prescriptions de sécurité de l'Ouest et surtout celles nettement plus sévères de l'Est sont présentées, avec leurs motivations. Dans certaines conditions, des effets biologiques apparaissent bien en dessous des limites américaines de sécurité. C'est pourquoi, et parce que les antennes électriquement petites présentent une très grande part de puissance réactive, il convient de limiter leur puissance d'émission à 100 mW environ, lorsqu'elles doivent fonctionner pendant longtemps à proximité immédiate du corps.

1. Einleitung

Es ist bekannt, dass man mit seinem Körper den Empfang von KW- und UKW-Empfangsgeräten beeinflussen kann, sei es durch direkte Berührung der Antennenbuchse (Mensch als Antennenersatz) oder durch Näherung des Körpers an die Antenne (Mensch als Reflektor). Von den Mikrowellenöfen her weiss man, dass hochfrequente Felder biologische Materialien durchdringen und erhitzen können. Bei modernen Funksprechgeräten und Biotelemetriesendern zur Sprach- und Messdatenübermittlung befindet sich die Antenne in unmittelbarer Körpernähe, so dass sich folgende Fragen aufdrängen:

1. Wie gross sind die von der körpernahen Sendeantenne erzeugten elektromagnetischen Felder? Unter welchen Bedingungen können biologische Effekte auftreten?

2. Wie beeinflusst der menschliche Körper die Strahlungscharakteristik von körpernahen Sende- und Empfangsantennen?

Im Rahmen einer 4jährigen Forschungsarbeit an der ETH Zürich wurden diese Fragen im Frequenzbereich von 10 bis 1000 MHz im Zusammenhang mit Biotelemetriesendern untersucht. Die Biotelemetrie dient zur möglichst rückwirkungsfreien Messung und Übermittlung von physiologischen und anderen Daten, wobei eine Verfälschung dieser Messdaten durch elektromagnetisch ausgelöste biologische Effekte unerwünscht wäre. Dabei ist zu berücksichtigen, dass man auf eine permanente Funkverbindung zwischen einer kleinen, körpernahen Antenne und der Messzentrale angewiesen ist, und zwar auch dann, wenn sich die Versuchsperson um ihre Körperachsen dreht.

2. Elektrisch kleine, körpernahe Sendeantennen

Nach der Theorie von *Wheeler* [1] kann man sich um eine kleine Sende-Dipol-Antenne herum eine Kugelschale (Radiansphäre) mit dem Umfang λ (Länge einer Welle) vorstellen. Innerhalb dieser Kugelschale existiert das komplizierte Nahfeld (Poynting-Vektor $\vec{p}$ variiert in Richtung und Amplitude), weit ausserhalb dieser Kugelschale findet man das Fernfeld (Poynting-Vektor $\vec{p}$ weist stets von der Quelle weg). Als elektrisch klein wird eine Antenne dann bezeichnet, wenn sie kleiner ist als diese Kugelschale, und als körpernah, wenn diese Kugelschale durch den Körper beeinträchtigt wird.

Bei modernen Funksprechgeräten, Biotelemetriesendern, Personen-Suchempfängern und anderen Hochfrequenzgeräten würde eine freistehende, $\lambda/2$ grosse Dipolantenne unzulässig behindernd wirken, oder es müssten sehr kleine Wellenlängen verwendet werden, die aber von den Ausbreitungseigenschaften her ungeeignet wären. In den letzten Jahren wurde eine Reihe von elektrisch kleinen, körpernahen Antennen entwickelt, so z. B. die weit verbreitete Wendel- oder Helixantenne (*Tong* [2]).

3. Abschätzung der Antennenstrahlung in unmittelbarer Körpernähe

Auf den ersten Blick könnte man annehmen, dass Sendegeräte mit wenigen Watt Sendeleistung geringe, biologisch unbedenkliche Feldstärken erzeugen. Bei näherer Betrachtung erkennt man aber, dass die erzeugten hochfrequenten Felder in Körpernähe viel stärker als erwartet auftreten, weil elektrisch kleine Antennen sehr viel Blindleistung produzieren und weil der Abstand zur Strahlungsquelle sehr klein sein kann. Zur Abschätzung der elektrischen ($\vec{E}$) und magnetischen ($\vec{H}$) Feldstärken betrachte man eine Wendel-Dipolantenne der Länge $2\,h$ im Abstand h zur Körperoberfläche (Fig. 1).

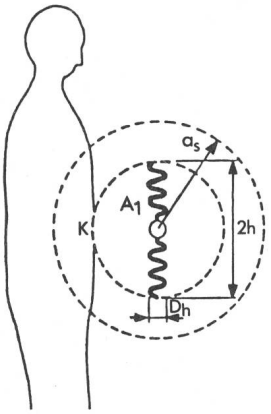

Fig. 1 Modell zur Abschätzung der Nahfelder von körpernahen, elektrisch kleinen Sendeantennen

A_1 Wendel-Dipolantenne

$2\,h$ Physikalische Antennen-Dipollänge ($< \lambda/2$)

D_h Durchmesser des Wendels ($\ll \lambda$)

a_s Radius der Radiansphäre nach *Wheeler*, Kugelschale mit Radius $\lambda/2\,\pi$

λ Wellenlänge, z. B. 3 m bei 100 MHz

K Punkt auf der Körperoberfläche im Abstand h vom Antennenzentrum

Die dargestellte Wendel-Dipolantenne wird genauer als «Normal-Mode-Helix» bezeichnet und weist eine ähnliche Strahlungscharakteristik auf wie eine $\lambda/2$-Dipolantenne. In der Monopolversion wird sie bei Funksprechgeräten eingesetzt, wobei die physikalische Monopollänge h ca. $\lambda/10$ und der Wendeldurchmesser D_h ca. $\lambda/100$ beträgt. Bei richtiger Dimensionierung misst man im Fernfeld eine vertikal polarisierte $\vec{E}$-Feldstärke, die nur wenige dB unter dem Feldstärkewert einer normal grossen Dipol- oder Monopolantenne liegt. Zusätzlich misst man eine um ca. 15 dB geringere horizontale $\vec{E}$-Feldstärke, weil die Wendelantenne eine im wesentlichen vom h/D_h-Verhältnis abhängige elliptische Polarisation aufweist, die bei extremer Körpernähe von grosser Bedeutung für die Rundstrahlungscharakteristik sein kann, wie im 2. Teil gezeigt wird.

Nach *Wheeler* [3] wird die Bandbreite B einer elektrisch kleinen Antenne umso geringer, je kleiner die Antenne ist, weil zusätzliche Reaktanzen eingeführt werden müssen, um die Resonanzfrequenz f_{res} zu erreichen. Im vorliegenden Fall wird die Reaktanz durch die Spulenwirkung des Wendels erzeugt, und die Gleichungen (1) und (2) zeigen, wie dadurch der Blindleistungsanteil ansteigt. Massgebend ist das Verhältnis des effektiven Volumens (in grober Näherung Volumen einer Kugel mit Radius h) zum Volumen der Radiansphäre.

$$Q = f_{res}/B = P_{bl}/P_{str} \tag{1}$$

$$P_{bl}/P_{str} = 4.5\ V_s/V_{eff} \tag{2}$$

Q = Güte der Antenne
B = Bandbreite der Antenne
f_{res} = Resonanzfrequenz
P_{bl} = Blindleistung
P_{str} = Strahlungsleistung
V_s = Volumen der Radiansphäre
V_{eff} = Effektives Antennenvolumen

Die genaue Berechnung der Nahfelder einer verlustbehafteten Antenne erfordert detaillierte Kenntnisse der Antennenstruktur und kann nur mit grossem Computeraufwand durchgeführt werden. In den meisten Fällen genügt folgende, praktisch einfach durchzuführende Abschätzung nach *Neukomm* [4]:

Man nimmt an, dass die gesamte Wirk- und Blindleistung innerhalb einer Kugel mit dem Radius h erzeugt wird. Die Strahlungsleistung P_{str} berechnet sich aus der nominalen Sendeleistung P_{nom} und dem Antennenwirkungsgrad η_{ant}. Die Wirkleistungsdichte $\vec{p}_w$ auf der Kugeloberfläche am Körperpunkt K beträgt

$$|\vec{p}_w| = P_{str}/4 \cdot h^2 \cdot \pi \tag{3}$$

Neben dieser Wirkleistungsdichte $\vec{p}_w$ tritt eine bedeutend grössere Blindleistungsdichte $\vec{p}_{bl}$ auf:

$$|\vec{p}_b| \approx Q \cdot |\vec{p}_w| \tag{4}$$

Eine elektrisch kleine Antenne ist also in erster Linie ein Blindleistungsspeicher, d.h. in der Nähe des Körperpunktes K erfolgt starker Hin- und Herfluss von elektromagnetischer Energie. Es findet eine ständige Umwandlung von elektrischer zu magnetischer Energie statt (analog zu RCL-Kreis), und die maximal möglichen elektrischen ($\vec{E}$) und magnetischen ($\vec{H}$) Feldstärken in der Nähe des Körperpunktes K betragen

$$\begin{aligned} |\vec{H}| &< Q \cdot (|\vec{p}_w| / Z_0)^{\frac{1}{2}} \\ |\vec{E}| &< Q \cdot (|\vec{p}_w| \cdot Z_0)^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \tag{5}$$

mit $Z_0 = 377\ \Omega$, der Wellenimpedanz des Vakuums.

Zur Illustration betrachte man ein Funkgerät mit folgenden Daten: Frequenz $f = 450$ MHz, Antenne: Monopol-Wendelantenne mit $h = 4$ cm, Abstand vom Körper $d_{at} = h = 4$ cm, Sendeleistung: $P_{nom} = 5$ W, Antennenwirkungsgrad: $\eta_{ant} = 50\,\%$, Bandbreite der Antenne: $B = 45$ MHz. Daraus resultiert eine Strahlungsleistung $P_{str} = 2.5$ W und bei $f = f_{res}$ eine Güte $Q = 10$. Mit den Gleichungen (4) und (5) erhält man die approximativen Feldgrössen

$$\begin{aligned} |\vec{p}_w| &\approx 10\ \text{mW/cm}^2 && \text{(Wirkleistungsdichte)} \\ |\vec{p}_{bl}| &\approx 100\ \text{mVA/cm}^2 && \text{(Blindleistungsdichte)} \\ |\vec{E}_{max}| &\approx 2000\ \text{V/m} && \text{(maximale elektrische Feldstärke)} \\ |\vec{H}_{max}| &\approx 5\ \text{A/m} && \text{(maximale magnetische Feldstärke)} \end{aligned} \tag{6}$$

Diese Schätzungswerte stimmen mit den gemessenen Werten von *Tell* und *O'Brien* [5], *Balzano*, *Garay* und *Steel* [6] recht gut überein. Bei ähnlichen Funksprechgeräten wurden mit $\vec{E}$-Feldmess-Sonden eine Leistungsdichte (Mischform von Wirk- und Blindleistungsdichte) von ca. 30 mW/cm² gemessen. Bei eigenen Experimenten an 173 MHz Funksprechgeräten mit $P_{nom} = 2$ W und einer Wendelantennen-Länge $h = 15$ cm wurden mit einer $\vec{E}$-Sonde Feldstärken im Bereich von 1000 V/m registriert.

Obwohl nur an einem Antennentyp (Wendelantenne) Experimente ausgeführt wurden, kann man annehmen, dass die hier vorgestellte Abschätzungsmethode auch für andere elektrisch kleine Antennen zulässig ist. Bis heute ist es leider nicht möglich, in unmittelbarer Antennennähe die $\vec{E}$- und $\vec{H}$-Feldstärken getrennt zu messen, weil die dazu notwendigen, miniaturisierten triaxialen Feldmeßsonden fehlen.

4. Internationale Sicherheitsvorschriften

Eine Übersicht über die sehr verschiedenen nationalen Sicherheitsvorschriften vermittelt Figur 2. Sie gelten für Teil- und Ganzkörperbestrahlung im Frequenzbereich von 10 MHz bis 100 GHz, wenn sich der Körper im Fernfeld der Quelle befindet. Für Nahfeldbedingungen können die maximal zulässigen $\vec{E}$- und $\vec{H}$-Feldstärken analog zu Formel (5) bestimmt werden (Beispiel: 10 mW/cm² entspricht 200 V/m und 0,5 A/m) Im Gegensatz zu den USA-Grenzwerten sind die östlichen

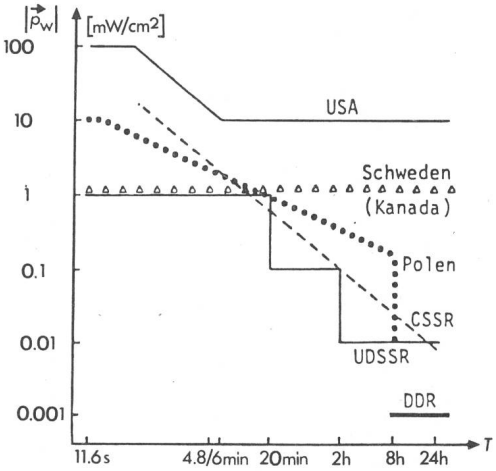

Fig. 2 Sicherheitsvorschriften
Die zulässige Wirkleistungsdichte $|\vec{p}_w|$ ist als Funktion der täglichen Bestrahlungsdauer T aufgezeichnet. Mit Ausnahme der DDR-Angabe (für schwangere und stillende Frauen) gelten diese Werte für Arbeitsplätze [4; 7; 8; 9; 10]

Biologische Effekte von Mikrowellen bei Leistungsdichten unter 10 mW/cm² nach osteuropäischen Quellen [15] Tabelle I

Klinische Effekte	*Experimentelle Effekte*
I Allgemeine subjektive Beschwerden (Empfindungen, Müdigkeit, Schwäche, Appetitverlust usw.)	I Reduzierte körperliche Ausdauer und reduzierte Gewichtszunahme (Ratten)
II Funktionelle Störungen im Zentralnervensystem und Veränderungen im Wahrnehmungsvermögen.	II Allgemeine Inaktivation der elektrischen Aktivität des Zentralnervensystems, Dominieren der hypothalamischen Funktionen, Veränderung der afferenten (informationszuführenden) Funktionen (Ratten, Katzen) Inhibition der konditionierten Reflexe. Erhöhte motorische Aktivität, Abschwächung der Exitation/Inhibition Reaktionen (Ratten, Mäuse, Vögel) Morphologische Veränderungen im Nervensystem (Ratten, Meerschweinchen, Kaninchen)
III Kardiovaskuläre Veränderungen und Veränderungen im vegetativen Nervensystem	III Veränderter Blutdruck und Herzfrequenz, veränderte Reaktionen auf Drogen (Ratten, Kaninchen)
IV Veränderte Blutchemie	IV Veränderte neuroendokrine Chemie des Blutes (Ratten, Kaninchen)
V Veränderter Stoffwechsel	V Veränderter Stoffwechsel von Amino- und Askorbinsäure (Ratten)
VI Herabgesetzte Drüsenfunktionen	VI Veränderter Reproduktionszyklus, verringerte Lebensfähigkeit der Nachkommen (Ratten)
VII Erhöhte Empfindlichkeit auf Infektionskrankheiten	VII Veränderte Immunreaktionen (Kaninchen)

Grenzwerte für die Leistungsdichten in Funktion der täglichen Bestrahlungsdauer gestaffelt.

Diese Sicherheitsvorschriften gelten in erster Linie für Mikrowellen, d.h. für Frequenzen oberhalb 300 MHz. Wie gezeigt werden kann, absorbiert der menschliche Körper erst ab ca. 30 MHz einen Grossteil der einfallenden Leistung. Zum Vergleich sei erwähnt, dass die Sonne im Sommer auf Meereshöhe eine Wirkleistungsdichte von ca. 100 mW/cm² erzeugt. Beachtenswert ist, dass die östlichen Sicherheitsvorschriften bis um einen Faktor 10000 strenger sein können als die westlichen Sicherheitsvorschriften. Der Grund dafür liegt in der unterschiedlichen Betrachtungsweise der Gefahren: Während die westlichen Vorschriften auf *thermischen Zerstörungen* beruhen, basieren die östlichen Vorschriften auf einer Vielzahl von *biologischen Effekten*, die unter gewissen Umständen schädliche Folgen zeigen können.

Die Entwicklung des USA Safety Standards ANSI und die Absorption nicht-ionisierender Strahlung ist in [4] ausführlich beschrieben. Kurz zusammengefasst basiert der USA Safety Standard auf der Überlegung, dass der Stoffwechsel des ruhenden Menschen einer Verlustleistung (Wärmeleistung) von 70 W entspricht, und dass eine einseitige Bestrahlung mit 10 mW/cm² zu einer Leistungsaufnahme gleicher Grösse führt. Thermische Schäden, wie z.B. Kataraktbildung im Auge, treten tatsächlich erst bei längerer Bestrahlungsdauer mit ca. 100 mW/cm² auf. Diese Überlegungen stimmen aber nur, wenn sich der Körper im freien Raum befindet und wenn keine Resonanzen auftreten. *Gandhi* et al. [11] konnte zeigen, dass der Mensch unter gewissen Reflektionsbedingungen, bei Resonanzfrequenzen im Bereich 35 bis 400 MHz und bei Leistungsdichten von 10 mW/cm² eine Leistung bis zu 8400 W aufnehmen kann.

Im Gegensatz dazu basieren die östlichen Sicherheitsvorschriften einerseits auf Feldverhältnissen, wie sie an einem Arbeitsplatz auftreten können, und anderseits auf klinischen Langzeitbeobachtungen und experimentellen Untersuchungen. Bis vor einigen Jahren wurden die östlichen Beobachtungen im Westen stark angezweifelt, in der Zwischenzeit häufen sich aber ähnliche Berichte aus den USA, so dass eine kurze Darstellung der biologischen Effekte bei Leistungsdichten unter 10 mW/cm² angemessen erscheint.

5. Biologische Effekte

Mit der Bibliographie von *Glaser* et al. [12] stehen heute über 5000 neuere Arbeiten über biologische Effekte zur Verfügung. Eine wertvolle Übersicht vermitteln [13] und [14]. Es sei aber ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die an vorwiegend kleinen Tieren und isolierten Körperorganen ermittelten Effekte nicht direkt auf den Menschen übertragen werden können. Die in Tabelle I angegebenen Effekte aus östlichen Quellen wurden auch in westlichen Laboratorien beobachtet, wenn auch häufig erst bei höheren Leistungsdichten. Während im Osten häufig mit Tiergruppen und reinen $\vec{E}$-Feldstärke-Messungen gearbeitet wurde, bestrahlte man im Westen die isolierten Einzeltiere mit homogenen Feldern. Vom Standpunkt des Arbeitsmediziners ist letztere Versuchssituation unrealistisch, für die wissenschaftliche Bestimmung der Strahlungsbelastung aber viel genauer.

Anhand von drei amerikanischen Untersuchungen soll gezeigt werden, dass bei genau kontrollierbaren, niedrigen Leistungsdichten unerwartete Effekte auftreten können:

Missbildungen bei Insekten. Von *Liu* et al. [16] wurde der Einfluss von Mikrowellen auf die Missbildungen während der Metamorphose untersucht. Puppen des gelben Mehlwurmes (Tenebrio Molitor) wurden in einem Wellenleiter während 2 h mit 9 GHz bestrahlt. Es zeigte sich, dass der Prozentsatz der missgebildeten, erwachsenen Insekten proportional zum Logarithmus der Leistungsdichte zunahm. Der untere Schwellwert lag bei nur 0.05 mW/cm². Weitere Experimente mit konstanter Dosis durch Variation von Leistungsdichte und Bestrahlungsdauer haben gezeigt, dass die *Dosis* für die Missbildungen hauptverantwortlich ist und dass die Schwelle der kritischen Energiedichte bei 0,1 mWh/cm² liegt. Da durch Vergleichsmessungen bekannt ist, dass eine Leistungsdichte von 16 mW/cm² nur eine mittlere Erhöhung der Körpertem-

peratur um 2 °C verursacht, und weil konventionelle Erhitzungstechniken keine Missbildungen zur Folge haben, muss man annehmen, dass die für die Missbildungen verantwortlichen biologischen Effekte nichtthermischer oder wenigstens nichtmakrothermischer Natur sind.

Akustische Effekte durch gepulste Mikrowellen. Von *Guy* et al. [17] wurden die von gepulsten Mikrowellen induzierten akustischen Effekte im Hörsystem von Mensch und Säugetieren untersucht. Diese Effekte äussern sich als hörbares Klicken oder Summen im oder nahe beim Hinterkopf. Die empfundene Tonfrequenz stimmt mit der Repetitionsfrequenz der Mikrowellenpulse überein, die empfundene Lautstärke steht in einem strengen Zusammenhang mit der Energiedichte eines einzelnen Impulses. Die Empfindungsschwelle liegt bei einer Energiedichte von 0,01 μWh/cm^2 pro Impuls und liegt somit 5 Grössenordnungen tiefer als die von der USA zugelassene maximale Energiedichte von 1 mWh/cm^2. Die erforderliche mittlere Leistungsdichte liegt bei 0,12 mW/cm^2, es muss aber erwähnt werden, dass zur Erzeugung der kurzen (1 bis 32 μs) Impulse Spitzenleistungsdichten von mehr als 1250 mW/cm^2 erforderlich sind. Obwohl durch solche Mikrowellenpulse nur lokale Temperaturerhöhungen von 5×10^{-6} °C möglich sind, handelt es sich bei diesem Höreffekt um mikrothermische Phänomene. Die Impulse erzeugen eine thermische Expansion der Flüssigkeit im Ohrlabyrinth und führen so zu einer Druckwelle, die von den Hörsensoren wie eine akustisch angeregte Druckwelle empfunden wird. Damit stellt sich auch die Frage, ob nicht auch andere Körperorgane oder Sensoren auf ähnliche Weise durch kleinste, lokale und rhythmische Energiezufuhren gereizt werden können.

Chronotrope Effekte im isolierten Herz. Von *Olsen* et al. [18] wurden Experimente bei konstanter 960-MHz-Strahlung am isolierten, perfundierten und bei konstanter Temperatur gehaltenen Rattenherz durchgeführt. Bei Leistungsdepositionen von 1,3 bis 2,1 W/kg (Basis USA-Standard: 1 W/kg) konnte eine Verringerung der Herzfrequenz (Bradykardie) festgestellt werden, obwohl eine Erhöhung der Herzfrequenz (Tachykardie) infolge der leichten Erwärmung zu erwarten gewesen wäre. Unter Zugabe von Atropin trat während der Bestrahlung eine starke Tachykardie auf, und analog bei Zugabe von Propranolol eine stärkere Bradykardie als ohne Bestrahlung, so dass man zum Schluss kam, dass Mikrowellen neurologische Wirkungen aufweisen. Man nimmt an, dass Mikrowellen einen direkten Einfluss auf das vegetative Nervensystem ausüben, indem der Auslösemechanismus der Neurotransmitter beeinflusst wird.

6. Sicherheitsempfehlungen für körpernahe Sendeantennen

Es ist heute noch nicht möglich, die biologischen Effekte im vollen Zusammenhang zu verstehen. In dem für die mobile Funkkommunikation interessanten Frequenzbereich von 10 bis 1000 MHz spielen unter anderem folgende Faktoren eine grössere Rolle:

– Frequenz: Oberhalb 20 MHz fliessen auch im Zellinnern Ströme, weil die Admittanz der Zellmembran mit der Frequenz zunimmt (*Schwan* und *Piersol* [19]).

– Grösse des Versuchsobjektes: Ist der grösste Umfang des Versuchsobjektes etwa gleich gross wie die Wellenlänge, so treten Resonanzen auf. Der relative Wirkungsquerschnitt kann grösser als 1 werden, d.h. der Körper zieht das elektromagnetische Feld an und die Absorption nimmt stark zu. Bei noch höheren Frequenzen wird ein grosser Teil der einfallenden Strahlung in den bestrahlten Oberflächenschichten absorbiert und der Rest reflektiert. Bei Frequenzen unterhalb der Resonanzfrequenz nimmt die totale Absorption rasch ab, betrifft dafür tiefer gelegene Körperregionen.

– Intensität der elektrischen und magnetischen Feldstärken

– Tägliche und absolute Dosis der Strahlung

– Modulation: Bei Impulsmodulationen (PPM, PDM) mit Repetitionsfrequenzen im Bereich von 0,1–100 Hz und im hörbaren Bereich treten zusätzliche Effekte auf (Beispiel: eine schwache, blinkende Taschenlampe stört mehr als ein starker, kontinuierlich brennender Scheinwerfer).

– Physiologische Organisation des Versuchsobjektes: Tiere mit einfacher Thermoregulation oder empfindlichen Wachstumsstadien sind auf äussere Störungen empfindlicher.

– Mobilität, Gesundheitszustand, Einwirkung von Drogen.

Unter Berücksichtigung all dieser Faktoren erscheint eine Begrenzung der Sendeleistung von Funkgeräten auf 100 mW sinnvoll, wenn mit elektrisch kleinen, körpernahen Antennen gearbeitet wird. Bei höheren Sendeleistungen sind gezielte Abklärungen notwendig. Entsprechende Forschungsarbeiten sind weltweit im Gange.

2. Teil: Der Polarisation-Transformations-Effekt: Einfluss des menschlichen Körpers auf die Strahlungscharakteristik kleiner, körpernaher Antennen

Der menschliche Körper übt einen systematischen Einfluss auf ein einfallendes, elektromagnetisches Feld aus. Im Resonanz-Frequenzbereich des menschlichen Körpers, bei 50 bis 200 MHz, tritt ein Polarisations-Transformations-Effekt auf, der es erlaubt, den Körper selbst als effiziente Sende- oder Empfangsantenne zu betreiben. Die Computer-Rechenmethoden und die Messmethoden werden kurz beschrieben und die wichtigsten Resultate erläutert. Die Hauptanwendung liegt bei mobilen Funkdiensten wie Biotelemetrie, Sprechfunk, Personenpeilung usw., wo sehr kleine, extrem körpernahe Antennen gefordert werden.

Le corps humain exerce une influence systématique sur le champ électromagnétique incident. A la fréquence de résonance du corps humain, entre 50 et 200 MHz, un effet de transformation de polarisation apparaît, de sorte que le corps agit comme une efficace antenne d'émission ou de réception. Les méthodes de calcul et celles de mesure sont brièvement décrites et les principaux résultats expliqués. Leur application concerne notamment les services mobiles, tels que biotélémesure, émetteur-récepteur portatif, radiogoniomètre, etc., où de très petites antennes, extrêmement proches du corps, sont nécessaires.

7. Analyse des Antennen-Körper-Systems

Um die vielfältigen Einflüsse des menschlichen Körpers auf das elektromagnetische Feld systematisch untersuchen zu können, muss ein Antennen-Körper-Modell definiert werden (Fig. 3). Dieses Modell soll einerseits alle bedeutsamen Parameter der realistischen Situation enthalten, anderseits so einfach sein, dass es mit vernünftigem Aufwand berechenbar wird. Anhand des Modells sollen mit Berechnungen und Experimenten systematisch die Beziehungen zwischen Frequenz, Körpergeometrie, relativer Lage der Antenne zum Körper und dem Übertragungsgewinn zu einer entfernten Antenne erklärt werden.

Der zu untersuchende Übertragungsgewinn G_B bestimmt sich aus der von der *freien* Antenne A_1 bei A_2 erzeugten Referenzfeldstärke E_0 und der Messfeldstärke E, wenn sich die Antenne A_1 in Körpernähe befindet:

$$G_B = 20 \log (|E| / |E_0|) \quad \text{in dB} \tag{7}$$

E_0 = Maximal mögliche Referenzfeldstärke
E = Messfeldstärke bei verschiedenen Polarisationsrichtungen von A_1 (Vertikal: E_v, axial zum zyl. Körper; Horizontal: E_h, tangential zum zyl. Körper; radial: E_r, radial zum zyl. Körper)

Für die Berechnungen und Experimente müssen folgende Einschränkungen und Annahmen definiert werden, die in [4] genauer begründet sind:

Reziprozität: Im integralen Sinn ist der Übertragungsgewinn G_B von A_1 nach A_2 gleich gross wie von A_2 nach A_1. Für die Berechnung kann man den physikalisch einfacheren reziproken Fall betrachten: Ein Körper wird von A_2 her mit einer ebenen Welle bestrahlt, zu berechnen ist die bei A_1 auftretende Feldstärke.

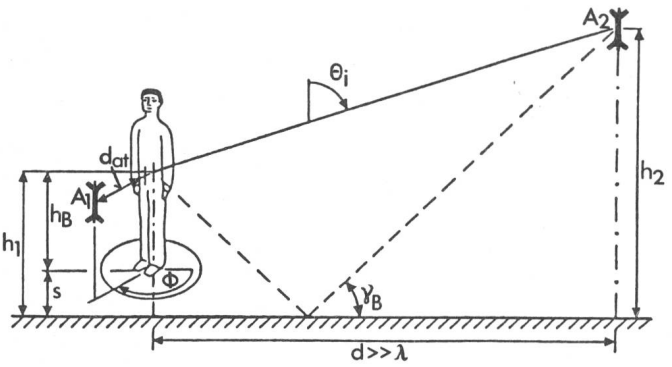

Fig. 3 Allgemeines Antennen-Körper-Modell
Die zu bestimmende Grösse ist der Übertragungsgewinn G_B zwischen der körpernahen Antenne A_1 und der weit entfernten Gegenantenne A_2. Parameter sind: Antennen-Körper-Abstand d_{at}, azimutaler Drehwinkel Θ, relative Antennenhöhe h_B und Einfallswinkel θ_i (Brewsterwinkel γ_B = 14–16°)

Feldhomogenität und Antennenlänge: Die Antenne A_1 sei hinreichend klein, werde durch die Körpernähe nicht verstimmt und zeige eine dominante Polarisationsrichtung. Man nimmt an, dass die im Antennenzentrum A_1 herrschende, von A_2 und dem Körper erzeugte Feldstärke (reziproker Fall) den Übertragungsgewinn G_B bestimmt.

Körper-Wellenlängen-Verhältnis: Der Umfang des menschlichen Körpers über die Längsachse beträgt ca. 4 m. Daraus folgt, dass der Körper bei ca. 75 MHz eine Hauptresonanz aufweist, mit Nebenresonanzen bis über 200 MHz. Oberhalb 200 MHz, d.h. im quasi-optischen Bereich, kann der Körper als unendlich lang angenommen werden, wenn vertikal polarisierte Felder in der Nähe der Körpermitte untersucht werden.

Körpermaterial: Die Welle, die auf den Körper auftrifft, wird zum grössten Teil reflektiert, ein geringer Anteil durchläuft den Körper und wird zunehmend gedämpft. Da der tatsächliche Reflektionsfaktor im betrachteten Frequenzbereich praktisch −1 beträgt, kann für die Feldbetrachtung *ausserhalb* des Körpers ein ideal leitender, der Form des Menschen entsprechender Körper angenommen werden.

Ebene einfallende Welle und Bodenreflektion: Bei Sendedistanzen über 30 m und Frequenzen zwischen 10 bis 1000 MHz darf die von A_2 ausgesendete Kugelwelle als eben angenommen werden. Durch geeignete Wahl der Antennenhöhen h_1 und h_2 kann eine Bodenreflektion (Brewsterwinkel, vertikale Polarisation) verhindert werden.

Die für die Experimente geeigneten drei Körper SUB, PHA und MET sind in Figur 4 den Rechen-Modellkörper IZYL, FZYL und MANMOD gegenübergestellt. Während für die Experimente der Körper schrittweise vereinfacht wurde, ging man für die Berechnungen vom einfachsten IZYL-Modell aus. Tatsächlich wurden die wesentlichen neuen Erkenntnisse an den einfacheren MET und FZYL-Modellen gewonnen, während die komplizierteren SUB- und MANMOD-Körper hauptsächlich zur Verifikation der Effekte dienten.

8. Berechnung der am Körper gestreuten elektrischen Felder

Für Frequenzen oberhalb 200 MHz, d.h. oberhalb der Resonanzfrequenzen, kann mit zweidimensionalen Rechenmethoden gearbeitet werden: Gegeben ist ein vertikal polarisiertes einfallendes Feld ($\theta_i = 90°$) und ein unendlich langer Zylinder (IZYL). Gesucht ist das elektrische Feld bei A_1, das sich aus dem einfallenden und dem am Körper gestreuten Feld zusammensetzt:

$$\vec{E}_{tot} = \vec{E}_{ein} + \vec{E}_{streu} \quad (8)$$

$$E^{R}_{tot} = E^{R}_{ein} + E^{R}_{streu} = 0 \text{ für } E \parallel R \text{ (Rand)} \quad (9)$$

Das einfallende Feld kann mit einer Fourier-Reihe beschrieben werden, die dank der einfachen Körpergeometrie als Zylinderfunktion ausgedrückt werden kann. Das gestreute Feld wird ebenfalls durch eine Zylinderfunktion beschrieben, deren Koeffizienten aus den Randbedingungen (9) bestimmt werden können. Mit relativ einfachen Bessel- und Hankelfunktionen und einem wenig aufwendigen Computerprogramm erhält man den Übertragungsgewinn G_B als Funktion von d_{at} und Φ, natürlich aber nur für $\theta_i = 90^0$ und für vertikale Polarisation von A_1 und A_2.

Im allgemeinen Fall gelangt man mit analytischen Rechenmethoden nicht mehr zum Ziel. Es ist zweckmässig, die von *Harrington* [20] und *Bevensee* [21] entwickelte numerische Momenten-Methode anzuwenden:

In einem ersten Schritt wird die Körperoberfläche in einzelne Flächenelemente unterteilt und die Impedanzmatrizen für die Modi 0, 1, 2...n der Anregungsfunktion bei einer bestimmten Frequenz berechnet. Dazu wird eine Körperhälfte ($0 \leqq \Phi \leqq \pi$) in 19×19 Flächenelemente unterteilt, und man erhält für jeden Mode 4 Impedanzmatrizen von 19×19 komplexen Elementen, die die gegenseitigen elektrischen Beziehungen der Flächenelemente beschreiben. In einem zweiten Schritt berechnet man die Tangentialströme auf der Körperoberfläche für einen bestimmten Einfallswinkel θ_i und eine bestimmte Polarisation der einfallenden Welle. In einem dritten Schritt wird das gestreute Feld am Punkt A_1 durch Superposition der Wirkungen aller Tangentialströme berechnet. Durch Superposition mit dem einfallenden Feld (8) erhält man den totalen $\vec{E}$-Vektor, dessen Komponenten in vertikaler, radialer und horizontaler Richtung bestimmt werden können. Diese Komponenten, E_v, E_r und E_h, entsprechen den verfügbaren elektrischen Feldstärken bei der A_1-Antenne mit vertikaler, radialer und horizontaler Polarisation und beschreiben damit die Übertragungsgewinne.

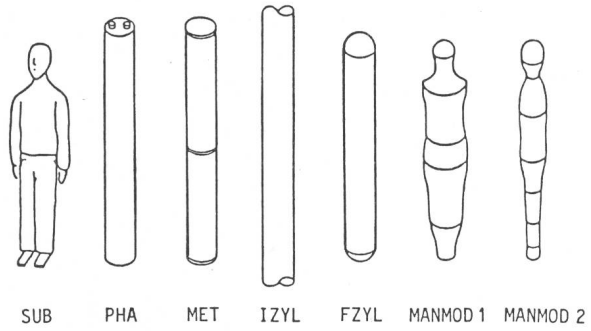

Fig. 4 Körpermodelle für Berechnungen und Experimente

SUB	Mensch, Länge 1,68 m
MET	Metallzylinder, 1,8 × 0,25 m ⌀
PHA	Phantom, Plastikrohr mit Flüssigkeit, die in dielektrischer Hinsicht dem Körpermaterial bei ca. 500 MHz entspricht. Abmessungen wie Metallzylinder
IZYL	Unendlich langer Zylinder für analytische Berechnungen oberhalb 200 MHz, 0,25 m ⌀
FZYL	Begrenzter, leitender Zylinder 1,8 × 0,25 m ⌀
MANMOD	Leitendes, rotationssymmetrisches Menschmodell aus Frontalansicht (1) und Lateralansicht (2) von SUB

Die Berechnung eines einzigen Resultatsatzes G_B (Φ) dauert auf einem Grossrechner CDC 6500 etwa 700 s. Mit einem Fehler von weniger als 1 dB kann der Übertragungsgewinn G_B in Funktion von beliebigen d_{at}, Φ, θ_i, h_B usw. berechnet werden, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind: $f < 500$ MHz, $d_{at} > 0{,}1$ m, Körperlänge $L_B < 2{,}0$ m, Körperdurchmesser $D_B < 1{,}0$ m, $G_B > -15$ dB.

9. Messmethoden

Die Messung des Übertragungsgewinnes ist im Prinzip einfach: eine Sendeantenne A_1 wird mit konstanter Leistung angesteuert und man erfasst die Feldstärke bei der Empfangsantenne A_2 mit einem stabilen Feldstärke-Messgerät. In der Praxis treten aber eine Reihe von Problemen auf: Verstimmung der A_1-Antennen durch Körpernähe, Übertragungs-Nebenschluss durch ungenügend «dichte» Koaxialkabel, Antennen-Rückwirkung auf Generator, Bodenreflektionen usw.

Für die Feldmessungen bei vertikaler Polarisation von A_1 und A_2 bei 11 Frequenzen im Bereich von 74 bis 897 MHz wurde mit ferngespeisten Monopol-Antennen A_1 und einer Breitband LPD-Antenne A_2 gearbeitet. Als A_1-Antennen dienten 5 Wendel-Monopol- und 3 Stabantennen, die auf einem Gegengewicht von 70 mm ⌀ × 100 mm Länge montiert waren. Zur Bekämpfung der Kabel-Mantel-Strahlung wurden in den Gegengewichten angepasste HF-Chokes und Attenuatoren eingebaut. Zudem wurde die Reststrahlung des Koaxialkabels mit Absorbermaterial gedämpft.

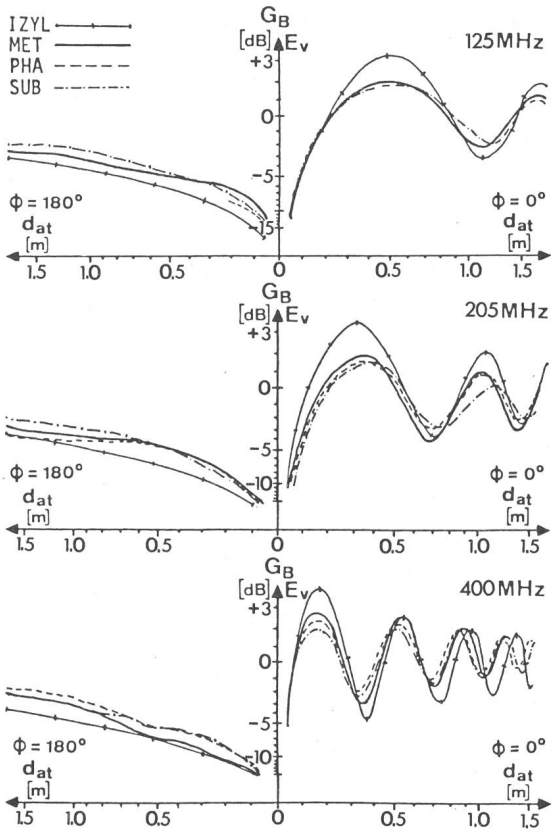

Fig. 5 Relative Empfangsfeldstärke G_B bei vertikaler Polarisation (A_1, A_2 vertikal) bei variablem Antennen-Körper-Abstand d_{at} in der Schattenzone ($\Phi = 180^0$) und auf der Bestrahlungsseite ($\Phi = 0^0$)

Experimente mit den drei Versuchskörpern MET, PHA und SUB im Vergleich zu den berechneten Daten des unendlich langen Zylinders IZYL

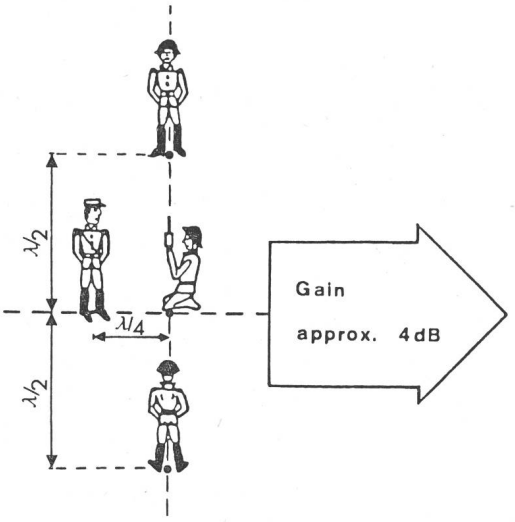

Fig. 6 Die «Soldaten-Richtantenne»
Nutzung der Reflexionseffekte an menschlichen Körpern zur Erhöhung der Strahlungsleistung von Funksprechgeräten. Funktioniert mit allen Funkgeräten mit kleinen Wendel- oder Stabantennen bei Frequenzen oberhalb 100 MHz; theoretisch 6 dB Gewinn möglich

Für die Feldmessungen bei vertikaler und radialer Polarisation von A_1 (A_2 vertikal) bei 65, 74, 101 und 164 MHz wurde mit kleinen, isolierten Sendern mit angepassten Wendel-Dipolantennen gearbeitet. Damit erhielt man lokale, miniaturisierte Feldquellen ohne Kabelverbindungen und Gegengewichte.

Auf einer grossen Wiese wurden folgende Experimente durchgeführt:

– Einfluss des Antennen-Körper-Abstandes d_{at}: Die Sendeantenne A_1 wurde mittels eines isolierten Antennenhalters auf einer bestimmten Höhe h_1 im Abstand d von der Gegenantenne A_2 montiert. Mit einem Schienenfahrzeug wurden die Versuchskörper aus einer Distanz d_{at} von mehr als 2 m langsam bis auf 35 mm an A_1 herangefahren. Mit einer speziellen Wegmessmethode, der Gummifaden-Goniometrie [22] konnte der Antennen-Körper-Abstand d_{at} ohne Feldverfälschungen kontinuierlich gemessen und zusammen mit der Messfeldstärke direkt aufgezeichnet werden (Fig. 5).

– Einfluss des Azimutalwinkels Φ: Auf einem Drehtisch mit Winkelmesseinrichtung wurden die Versuchskörper zusammen mit der Sendeantenne A_1 um die vertikale Achse gedreht (Fig. 7).

– Einfluss der Polarisationsrichtung von A_1 (E_v, E_r) und der Antennenhöhe h_B: Mittels eines Antennen-Manipulators wurden die isolierten Sender A_1 auf die gewünschte Polarisationsrichtung eingestellt, und man variierte nacheinander die Grössen h_B, h_1, d_{at} und Φ.

10. Resultate aus Berechnungen und Experimenten

10.1 Einfluss der Antennenposition

Vereinfachend wird angenommen, dass die Versuchsanordnung der Figur 3 entspricht, beide Antennen A_1 und A_2 vertikal polarisiert sind und dass A_2 die Sendeantenne bzw. A_1 die Empfangsantenne darstellt. Somit wird der menschliche Körper mit einer ebenen Welle von A_2 her bestrahlt.

Bei allen Frequenzen und Versuchskörpern tritt der gleiche Effekt auf (Fig. 5): Durch Reflektion der einfallenden Welle bildet sich auf der Bestrahlungsseite eine stehende Welle, die näherungsweise im Abstand $\lambda/4$ ein Maximum von ungefähr + 3 dB erreicht. Auf der Schattenseite sinkt die Feldstärke mit abnehmendem Abstand zur Körperoberfläche. Das Material des Körpers spielt eine geringe Rolle, und bei den hier gezeigten sowie bei allen höheren Frequenzen stimmt die Berechnung am einfachen IZYL-Modell mit der Wirklichkeit gut überein. Eine originelle Anwendung des Reflexionseffektes ist in Figur 6 dargestellt: mit drei Personen als Reflektoren lässt sich die Strahlungsleistung verdoppeln bis verdreifachen!

Auch beim Azimutalstrahlungsdiagramm (Fig. 7) findet man eine gute Übereinstimmung zwischen den Berechnungen am einfachen IZYL-Modell und den Feldmessungen am Menschen. Bei sehr geringen Antennen-Körper-Abständen ($d_{at} <$ 35 mm) treten in der Schattenzone Verluste bis 30 dB auf, d.h. nur ein Promille der Sendeleistung kann für die Übermittlung genutzt werden.

10.2 Der Polarisation-Transformations-Effekt im Resonanz-Frequenzbereich

Im Resonanz-Frequenzbereich 50 bis 200 MHz treten Effekte auf, die nur durch dreidimensionale Rechenmethoden (Modell FZYL und MANMOD) sowie durch Messung der Feldkomponenten in E_v und E_r erfasst werden können. In Fig. 8 sind die elektrischen Feldstärken in vertikaler und radialer Polarisationsrichtung in Funktion der Frequenz dargestellt:

Die vertikale Feldkomponente E_v ist bei Frequenzen unterhalb 50 MHz nur wenig gedämpft, bei der Hauptresonanz-Frequenz 65 MHz nimmt sie leicht zu und fällt bei der Antiresonanz-Frequenz 100 MHz stark ab. Bei höheren Frequenzen steigt E_v wieder leicht an und pendelt um einen Mittelwert, der dem des unendlich langen Zylinders IZYL entspricht.

Die radiale Feldkomponente E_r ist bei Frequenzen unter 300 MHz viel grösser als E_v. Ein erstes Maximum von ca. 0 dB wird bei der ersten Resonanzfrequenz beobachtet, ein zweites, leicht schwächeres Maximum bei der zweiten Resonanzfrequenz von 150 MHz. Dies bedeutet, dass die vom Körper induzierte Sekundärstrahlung im Frequenzbereich 50 bis 200 MHz sehr hohe Werte erreicht, ja sogar die einfallende Strahlung übertrifft, wie man aus Figur 9 entnehmen kann:

Während die vertikale Feldkomponente E_v mit abnehmendem Antennen-Körper-Abstand abnimmt, nimmt die radiale Feldkomponente zu, und zwar für alle Azimutalwinkel Φ wie Figur 10 zeigt. Im Resonanz-Frequenzbereich 50 bis 200 MHz tritt also ein Polarisation-Transformations-Effekt [4] auf. Dieser Effekt kann im Empfangsfall wie folgt erklärt werden:

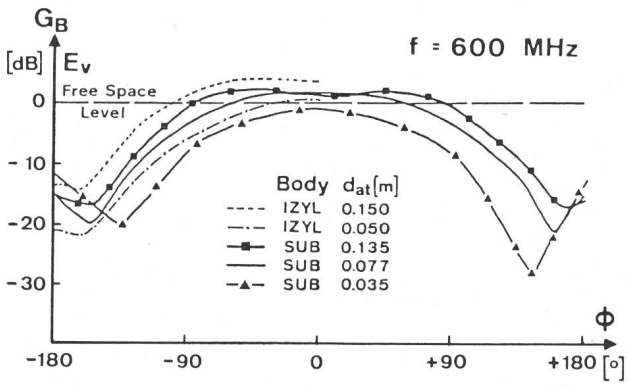

Fig. 7 Azimutalstrahlungsdiagramm bei vertikaler Polarisation und 600 MHz
Vergleich der SUB-Messdaten mit den IZYL-Rechendaten

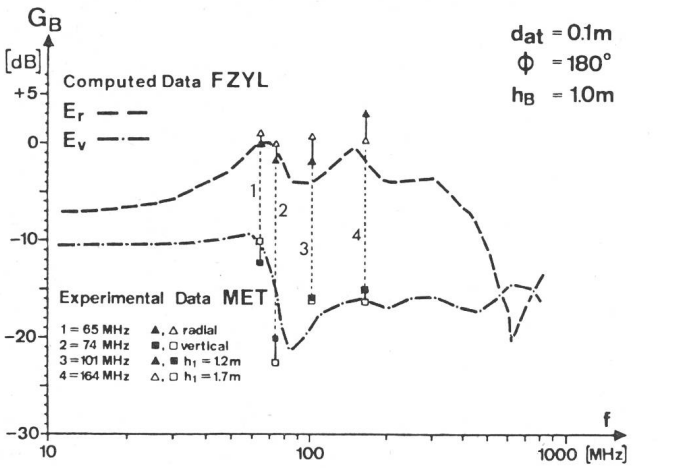

Fig. 8 Feldstärken in vertikaler (E_v) und radialer (E_r) Polarisationsrichtung in Funktion der Frequenz

Vergleich der MET-Messdaten mit den FZYL-Rechendaten. Parameter: $\theta_i = 80{,}8^0$, $h_B = 1{,}0$ m, d_{at}, $= 0{,}1$ m, $\varnothing = 180^0$, Messungen bei 65 bis 164 MHz bei verschiedenen h_1 von 1,2 und 1,7 m

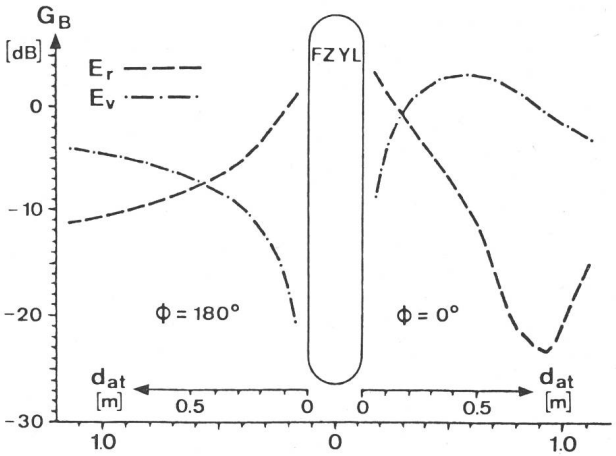

Fig. 9 Feldstärken in vertikaler (E_v) und radialer (E_r) Polarisationsrichtung in Funktion des Antennen-Körper-Abstandes d_{at} bei 150 MHz

Parameter: $\theta_i = 80{,}8^0$, $h_B = 1{,}0$ m, $\varnothing = 180^0$ bzw. 0^0, A_2 vertikal

Wird ein Körper, dessen Länge ungefähr der halben bis ganzen Wellenlänge entspricht, mit einer ebenen Welle bestrahlt, so nimmt der Körper sehr viel Energie auf, weil sein Wirkungsquerschnitt sehr gross ist. Auf der Körperoberfläche werden beträchtliche Ströme und Ladungen induziert, die naturgemäss eine gewisse Streustrahlung erzeugen. Bedingt durch die vorteilhaften Phasenlagen bildet sich rund um den Körper herum eine Art Strahlenhülle mit hoher Strahlungsintensität. Die elektrische Feldstärke dieser Strahlenhülle ist radial polarisiert und ist bei Körperabständen unter 0,1 m grösser als die einfallende, vertikal polarisierte Feldstärke. Wie eingehende Berechnungen und Experimente gezeigt haben, ist der Polarisation-Transformations-Effekt dominant und variiert nur wenig bei geringen Änderungen von d_{at}, h_B und θ_i. Berechnungen am Mensch-Modell MANMOD haben gezeigt, dass die Form des Körpers einen gewissen Einfluss ausübt: In erster Näherung bestimmt die Körperlänge die erste Hauptresonanz, und das Längen/Dicken-Verhältnis die Stärke der zweiten Resonanz. Nicht näher untersucht wurde der Einfluss des Körpermaterials, aus Figur 5 kann man aber schliessen, dass erst bei Antennen-Körper-Abständen unter 0,1 m und bei Frequenzen unter 100 MHz wesentliche Unterschiede auftreten, weil in diesen Fällen der Stromfluss in tieferen Körperschichten von Bedeutung sein kann. Berechnungsansätze dazu sind bei *Johnson* und *Guy* [23] und *Nyquist* et al. [24] zu finden.

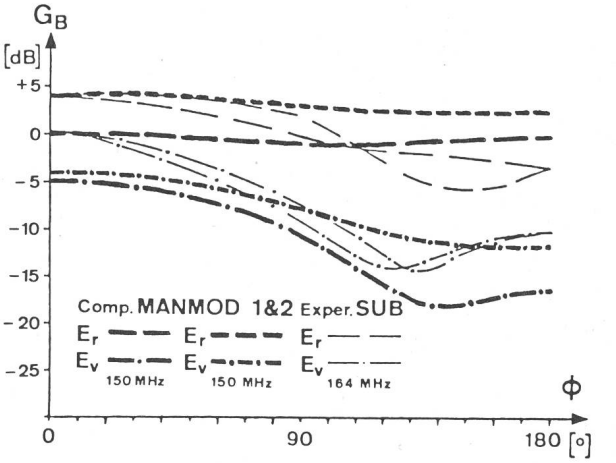

Fig. 10 Azimutalstrahlungsdiagramm bei vertikaler (E_v) und radialer (E_r) Polarisation

Vergleich Berechnung mit MANMOD 1 & 2 Modell (150 MHz) mit Messungen an der Versuchsperson SUB (164 MHz).

Parameter: $\theta_i = 80{,}8^0$, $h_B = 1{,}0$ m, $d_{at} = 0{,}1$ m, Polarisation A_2 vertikal

11. Anwendung des Polarisation-Transformations-Effektes

Der beschriebene Effekt erlaubt die Entwicklung von Antennen-Körper-Systemen, bei denen der menschliche Körper als eigentliche Antenne mit Rundstrahlungscharakteristik dient. In Figur 11 sind zwei Vorschläge gezeigt: Bei der Radialantenne wird eine radiale *E*-Feldstärke erzeugt bzw. aufgenommen. Bei der Teil-Toroid-Antenne wird die im Empfangsfall auftretende tangentiale *H*-Feldstärke, die zurzeit noch näher untersucht wird, detektiert.

Fischer und *Castelli* [25] konnten mit Experimenten zeigen, dass die Radialantenne Übertragungsverluste von weniger als 15 dB aufweist (Referenz: freistehender, idealer Dipol). Ver-

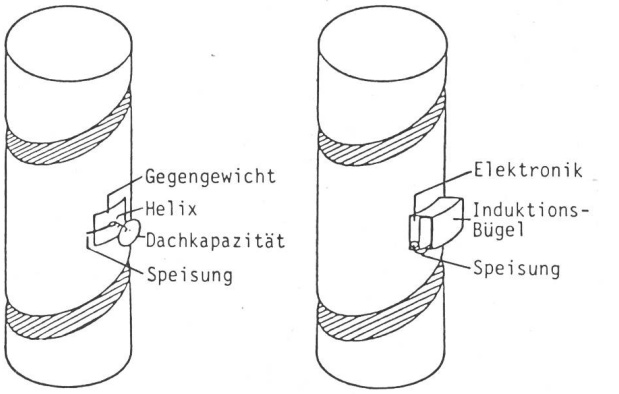

Fig. 11 Radialantenne für Sende- und Empfangsbetrieb (links) und Teil-Toroid-Empfangsantenne (rechts)

gleicht man ein Funksprechgerät mit konventioneller Antenne (Wendelantenne, Gerät auf Brust) mit einer 60-mm-Radialantenne, so sind die Verluste der Radialantenne rund 10 dB geringer. Ein weiterer Vorteil stellt die Abschirmwirkung des Gegengewichtes dar: Die im Sendefall erzeugten Nahfelder im Körpergewebe sind bei der Radialantenne bedeutend geringer. Beiläufig sei erwähnt, dass auch die konventionelle, vertikale Wendelantenne vom Polarisation-Transformations-Effekt profitiert: Jede Wendelantenne weist eine um ca. 15 dB kleinere Transversalkomponente auf (elliptische Polarisation), die bei unmittelbarer Körpernähe auf die dominierende E_r-Radialkomponente anspricht.

Literatur

[1] *H.A. Wheeler:* The radiansphere around a small antenna. Proc. IRE 47(1959)8, p. 1325...1331.

[2] *D.A. Tong:* The normal mode helical aerial. Radio Communication 50(1974)7, p. 432...437.

[3] *H.A. Wheeler:* Small antennas. IEEE Trans. AP 23(1975)4, p. 462...469.

[4] *P.A. Neukomm:* Body-mounted antennas. The effect of the human body on the RF transmission of small body-mounted biotelemetry- and portable radio antennas in the frequency range 10–1000 MHz and safety considerations. Dissertation Nr. 6413 der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, 1979.

[5] *R.A. Tell* and *P.J. O'Brien:* Radiation intensities due to mobile communication systems. Silver Spring/Las Vegas, U.S. Environmental Protection Agency, 1976.

[6] *Q. Balzano, O. Garay* and *R.F. Steel:* Energy deposition in biological tissue near portable radio transmitters at VHF and UHF. Conference Record of the twenty-seventh Annual Conference IEEE Vehicular Technology Group, Orlando/Florida, March 16...18, 1977; p. 25...39.

[7] *S.M. Michaelson:* Effects of exposure to microwaves: Problems and perspectives. Environmental Health Perspectives 8(1974)–, p. 133...156.

[8] *C.H. Dodge* and *Z.R. Glaser:* Trends in nonionizing electromagnetic radiation bioeffects research and related occupational health aspects. Journal of Microwave Power 12(1977)4, p. 319...334.

[9] Safty-level of electromagnetic radiation with respect to personnel. ANSI C95.1–1974.

[10] DDR-Standard Arbeitshygiene: Elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder und Wellen. TGL 32602/01. Berlin, Staatsverlag DDR, 1975. Zusätze: ASAO 5: MfGe Nr. 1. 1977, Gesetzesblatt 109, Teil 1, 1978.

[11] *O.P. Gandhi, E.L. Hunt* and *J.A. D'Andrea:* Deposition of electromagnetic Energy in animals and in models of man with and without grounding and reflector effects. Radio Science 12(1977)6 (Supplement), p. 39...47.

[12] *Z.R. Glaser* a.o.: Bibliography of reported biological phenomena (effects) and clinical manifestations attributed to microwave and radio-frequency radiation. Ninth supplement. Bethesda/Md, Naval Medical Research Institute, 1977.

[13] Biological effects and health hazards of microwave radiation. Proceedings of an International Symposium, Warsaw, 15...18 october 1973. Warsaw, Polish Medical Publishers, 1973.

[14] *S. Baranski* and *P. Czerski:* Biological effects of Microwaves. Stroudsburg/PA, Dowden, Hutchinson and Ross, 1976.

[15] *Z.R. Glaser* and *C.H. Dodge:* Biomedical aspects of radio frequency and microwave radiation. In: Biological Effects of Electromagnetic Waves. Selected papers of the USNC/URSI annual meeting, Boulder/Colorado, october 20...23, 1975.

[16] *L.M. Liu, H.J. Rosenbaum* and *W.F. Pickard:* The relation of teratogenesis in tenebrio molitor to the incidence of low-level microwaves. IEEE Trans. MTT 23(1975)11, p. 929...931.

[17] *A.W. Guy* a.o.: Microwave-induced acoustic effects in mammalian auditory systems and physical materials. Annals of the New York Academy of Sciences 247(1975)–, p. 194...218.

[18] *R.G. Olsen, J.L. Lords* and *C.H. Durney:* Microwave-induced chronotropic effects in the isolated rat heart. Annals of Biomedical Engineering 5(1977)4, p. 396...409.

[19] *H.P. Schwan* and *G.M. Piersol:* Absorption of electromagnetic energy in body tissues. Part 1: Biophysical aspects. American Journal of Physical Medecine 33(1954)–, p. 371...401.

[20] *R.F. Harrington:* Field computation by moment methods. London/New York, Macmillan, 1968.

[21] *R.M. Bevensee:* The Syracuse computer code for radiation and scattering from bodies of revolution. Extended for near-field computation. Report UCRL–51622, TID–4500, UC–32. Livermore, University of California, Lawrence Livermore Laboratory, 1974.

[22] *P.A. Neukomm:* The rubber band goniometry. A telemetric method for the measurement of angle, angular velocity, displacement and velocity. Biotelemetry 1(1974)1, p. 12...20.

[23] *C.C. Johnson* and *A.W. Guy:* Nonionizing electromagnetic wave effects in biological materials and systems.

[24] *D.P. Nyquist, K.M. Chen* and *B.S. Guru:* Coupling between small thin-wire antennas and a biological body. IEEE Trans. AP 25(1977)6, p. 863...866.

[25] *T. Fischer* und *J. Castelli:* Aktivierung des menschlichen Körpers als Sendeantenne, Studienarbeit ETH-Institut für Elektronik. Zürich, Eidgenössische Technische Hochschule, 1979.

Adresse des Autors

Dr. *P.A. Neukomm,* Laboratorium für Biomechanik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich.

Literatur – Bibliographie

DK: 343.71 : 681.3 : 681.3.01.004.4 SEV-Nr. A 772

Computer-Kriminalität. Gefahren und Abwehrmassnahmen. Von *Thomas Fischer.* – Betriebswirtschaftliche Mitteilungen Heft 71. – Bern, Verlag Paul Haupt, 1979; 8°, 43 S., 10 Fig. Preis: kart. Fr. 10.80

Unter Computer-Kriminalität versteht man jenes Handeln, bei dem der Computer Werkzeug oder Ziel einer strafwürdigen Tat ist. Grundsätzlich kann zwischen vier Arten der Computer-Kriminalität unterschieden werden: Manipulationen von Daten und Programmen, Wirtschaftsspionage, Zeitdiebstahl (unberechtigte Nutzung der EDV-Anlage) und Sabotage. Der Begriff ist also weiter gefasst als der heute oft zitierte Datenschutz.

Das Büchlein befasst sich in drei Teilen zuerst mit Definitionen und statistischen Angaben über die Computer-Delikte, dann mit der Vorgehensweise der Täter bei bekanntgewordenen Fällen und zuletzt mit möglichen Abwehrmassnahmen. Es bildet eine Art Ergänzung zur Dissertation Rohner zum gleichen Thema [vgl. Bull. SEV/VSE 69(1978)6, S. 255].

Während in Westeuropa keine entsprechenden Statistiken erhältlich sind, weiss man aus den USA über alle aufgedeckten Fälle recht gut Bescheid: Art der Delikte und der geschädigten Organisationen, Stellung des oder der Täter, Schadenhöhe. Interessant ist, dass nur etwa ein Zehntel der bekanntgewordenen Delikte durch ordentliche Kontrollen aufgedeckt wurden, die übrigen mehr oder weniger durch Zufall. Der Autor misst deshalb den Präventivmassnahmen grosse Bedeutung bei. Unter diesen sind organisatorische und personelle Massnahmen wichtiger als programmtechnische und gerätemässige. Die möglichen Abwehrmassnahmen werden eingehend analysiert, und es wird ein allerdings recht akademisches Konzept einer Sicherheitspolitik im Computerbereich skizziert. *Eb*

DK: 536.758 : 621.314.6 : 621.314.632 : 621.382 SEV-Nr. A 783

pn-Übergänge, ihre Physik in Leistungsgleichrichtern und Thyristoren. Von *Eberhard Spenke.* Halbleiter-Elektronik. Band 5. – Berlin/Heidelberg/New York, Springer-Verlag, 1979; 8°, 144 S., 98 Fig. Preis: kart. DM 58.–

Dieses Buch ist allein schon wegen der wohlgelungenen Darstellung und detaillierten Behandlung der Shockleyschen Theorie der Halbleiter-pn-Übergänge empfehlenswert.

Zur Bewältigung grosser Vorwärtsströme und hoher Sperrschichtspannungen werden in der Leistungselektronik jedoch nicht diese einfachen pn-Dioden, sondern komplizierter gebaute p-i-n- und p-s-n-Strukturen und Thyristoren verwendet. Es ist nun recht schwierig, die in diesen Leistungsbauelementen herrschenden Trägerdichten- und Raumladungsverhältnisse theoretisch zu erfassen. Im Hinblick auf ein gutes Verständnis für die Wirkungsweise dieser Leistungsbauelemente legt das Buch besonderen Wert auf eine möglichst anschauliche Schilderung der physikalischen Vorgänge und prinzipiellen Zusammenhänge, wie sie aus einfachen Rechnungen und Modellen hervorgehen. Von berufener Seite werden p-i-n- und p-s-n-Gleichrichter behandelt und die erarbeiteten Erkenntnisse auf Thyristoren übertragen.

Eine wirklich quantitative Erfassung der Vorgänge in realen Bauelementen erfordert über den Umfang dieses Buches hinaus oft noch eingehende experimentelle Untersuchungen und aufwendige Computersimulationen.

Indem es Wert auf ein gutes physikalisches Verständnis für Leistungsbauelemente legt, fügt sich dieses Buch gut in die erfolgreiche Reihe der Halbleiter-Elektronik-Bände ein.

H. Melchior