



Strahlenschutzkommission

Geschäftsstelle der
Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
D-53048 Bonn

<http://www.ssk.de>

Richtfunk- und Radarwellen rufen keine Waldschäden hervor

Stellungnahme der Strahlenschutzkommission

Verabschiedet in der 99. Sitzung der Strahlenschutzkommission am 27. September 1990

Veröffentlicht in: – Bundesanzeiger Nr. 1 vom 03. Januar 1991
– Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 24

Inhaltsverzeichnis

1	Wechselwirkungen von Hochfrequenzstrahlung mit biologischer Materie.....	3
2	Abschätzung der durch Radar- und Richtfunkanlagen verursachten Leistungsflußdichte	5
3	Waldschadenserhebungen.....	6
4	Schlußfolgerungen.....	7

In den Medien wird seit einiger Zeit wiederholt die Vermutung geäußert, daß hochfrequente elektromagnetische Felder, die durch Richtfunk und Radar (Mikrowellen) hervorgerufen werden, eine der Ursachen für die beobachteten ausgedehnten Waldschädigungen sein könnten. Der Ausschuß "Nichtionisierende Strahlen" hat sich mit dieser Thematik befaßt und nimmt wie folgt Stellung:

1 Wechselwirkungen von Hochfrequenzstrahlung mit biologischer Materie

Jede Schädigung von pflanzlichem oder tierischem Gewebe durch Hochfrequenzstrahlung setzt eine Energieabsorption voraus. Die Energieabsorption hängt von zahlreichen Faktoren ab. Die wichtigsten Faktoren sind Intensität und Frequenz der Hochfrequenzstrahlung, desweiteren sind Größe, Form und innere Struktur (insbesondere der Wassergehalt) des Objektes sowie die Position des Objektes im Strahlungsfeld von Bedeutung.

Auf molekularer und zellulärer Ebene ist die pro Zeiteinheit absorbierte Energie von den dielektrischen Materialeigenschaften und von den elektromagnetischen Feldstärken im Material abhängig. Die Energieübertragung erfolgt durch verschiedene Mechanismen, hauptsächlich durch Polarisierung gebundener Ladungen, Orientierungsschwingungen permanenter Dipole, insbesondere der Wassermoleküle, durch Schwingungs- und Rotationsbewegungen innerhalb von Molekülen oder durch Verschiebung freier Ladungsträger. Diese Vorgänge erfolgen im Takt der eingestrahnten Frequenz. Deshalb hängt die absorbierte Energie stark von der Frequenz der einwirkenden elektromagnetischen Strahlung ab.

Im Frequenzbereich zwischen 1 GHz und 30 GHz sind Orientierungsbewegungen polarer Moleküle der dominierende Absorptionsmechanismus. In biologischem Gewebe ist in diesem Frequenzbereich vor allem das Wasser für die Energieübertragung verantwortlich. Im allgemeinen kann man davon ausgehen, daß die ausgelösten Orientierungsbewegungen der Wassermoleküle nicht zu dauerhaften Veränderungen der in der Zelle vorhandenen Makromoleküle führen, sondern daß die absorbierte Energie aufgrund von Reibungsverlusten vollständig in Wärme umgewandelt wird.

Die Dosisgröße, welche die Absorption von Hochfrequenzstrahlung in Materie, auch in pflanzlichem Gewebe, quantitativ beschreibt, ist die spezifische Absorptionsrate (SAR). Diese Dosisgröße, die mit biologischen Wirkungen korreliert werden kann, ist die über die gesamte Objektmasse oder über eine Teilmasse (z.B. 1 g) gemittelte absorbierte Energie pro Zeiteinheit; sie wird in Watt pro Kilogramm (W/kg) angegeben.

Die Absorption von Hochfrequenzenergie in Pflanzen oder anderen biologischen Objekten hängt von Größe, Form und Position des Objektes relativ zum äußeren Feld ab. Hierbei kann es zu resonanzartigen Absorptionsüberhöhungen kommen, die z.B. für Nadeln und Blätter von Bäumen im Frequenzbereich zwischen 2 GHz und 20 GHz maximal den Faktor 3 betragen. Dabei ist allerdings eine optimale Ausrichtung der Nadeln oder Blätter im Feld erforderlich, vergleichbar mit der Ausrichtung einer Fernsehantenne, mit der der Empfang verbessert werden kann. In der Natur trifft eine solche optimale Ausrichtung immer nur für einen sehr kleinen Teil der Nadeln oder Blätter zu. Außerdem ist eine Überhöhung der Absorption um einen Faktor 3 für die hier angestellten Betrachtungen ohne große Bedeutung.

Auch bei Bäumen ergeben sich resonanzartige Überhöhungen der SAR-Werte in der gleichen Größenordnung. Diese liegen im Frequenzbereich von einigen MHz bis zu einigen zehn MHz und sind von der Höhe des Baumes abhängig. Unter Berücksichtigung aller Einflußfaktoren ergibt sich im Bereich der Mikrowellen im ungünstigsten Fall bei einer äußeren Leistungsflußdichte von 10 W/m^2 ein abgeschätzter maximaler SAR-Wert von 2 W/kg . Die daraus resultierende Temperaturerhöhung beträgt bei Langzeiteinwirkung unter Berücksichtigung von Wärmeverlusten durch Wärmeleitung und Wärmestrahlung weniger als $1 - 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Da wegen der geringen Leistungsdichte (siehe Abschnitt 2) mit Sicherheit auszuschließen ist, daß thermische Wirkungen von Mikrowellen als eine der Ursachen für das Waldsterben anzusehen sind, werden auch verschiedene nichtthermische Wirkungen diskutiert. Die verschiedenen nichtthermischen Wirkungen werden im folgenden auf ihre mögliche Relevanz im Hinblick auf die Schädigung von Pflanzen untersucht.

- a) Diskutiert werden resonanzartige Schwingungsbewegungen innerhalb von Makromolekülen des Photosyntheseapparates oder in der DNS. Bisher wurden jedoch keine Resonanzeffekte beobachtet, da sowohl im pflanzlichen als auch im tierischen Gewebe aufgrund der relativ hohen Wasserkonzentration Resonanzen stark gedämpft werden. Dies dürfte auch der wesentliche Grund dafür sein, daß bisher keine Beeinflussung von Erbanlagen im Tierversuch nachgewiesen werden konnte.
- b) Felderzeugte Kraftwirkungen auf Zellen oder felderzeugte Potentialdifferenzen an Grenzschichten kommen vor allem bei tieferen Frequenzen unterhalb einiger MHz zum Tragen und sind im Bereich der Mikrowellen ohne Bedeutung.
- c) Zellmembraneffekte durch gepulste Mikrowellenstrahlung, die z.B. zur Zerstörung von Membranen infolge des dielektrischen Durchbruchs führen können, erfordern sehr hohe Pulsspitzenleistungen (Feldstärken über 100 kV/m). Solche hohen Pulsspitzenleistungen können nur in unmittelbarer Nähe leistungsstarker Radaranlagen erreicht werden und sind deshalb außerhalb des Nahfeldbereiches (bis zu einigen 100 m) ohne Bedeutung.
- d) Es sind Änderungen des Stofftransports durch Zellmembranen nachgewiesen worden, wenn Hochfrequenzfelder mit 16 oder 22 Hz niederfrequent moduliert wurden. Die Versuchsbedingungen waren jedoch sehr speziell, so daß solche Veränderungen bei den real vorliegenden hochfrequenten elektromagnetischen Feldern, wie sie durch Rundfunk- und Fernsehsender sowie Radar und Richtfunkstrecken verursacht werden, nicht zu erwarten sind.
- e) Von einzelnen Forschergruppen wurde von resonanzartigen Wachstumsveränderungen an speziellen Hefezellen nach Exposition mit Mikrowellen im Gigahertzbereich ($40\text{-}50 \text{ GHz}$) unter bestimmten Laborbedingungen berichtet. Diese Veränderungen waren jedoch so gering, daß sie im natürlichen Schwankungsbereich liegen; sie konnten für andere Zellarten nicht bestätigt werden.

Andere nichtthermische Wirkungsmechanismen sind bisher wissenschaftlich nicht begründet.

2 Abschätzung der durch Radar- und Richtfunkanlagen verursachten Leistungsflußdichte

Die verschiedenen Sendeanlagen führen im Bereich der ausgesandten Hochfrequenzfelder zu unterschiedlichen Expositionen, die im folgenden als Leistungsflußdichten angegeben werden. Die im Bereich der Wälder auftretenden Leistungsflußdichten werden in der Regel aufgrund theoretischer Überlegungen aus den verfügbaren Daten, z.B. der Sendeleistung und den geometrischen Bedingungen, mit hinreichender Genauigkeit abgeleitet.

- a) Normale Richtfunkanlagen werden meist über relativ kurze Entfernungen betrieben. Sie arbeiten mit Sendeleistungen im Bereich von mW bis zu einigen W. Die dadurch verursachten Leistungsflußdichten liegen im Bereich von 1 bis 100 $\mu\text{W}/\text{m}^2$.
- b) Zur Überbrückung größerer Entfernungen werden sog. Scatteranlagen benutzt. Diese nutzen die Reflexion an der Ionosphäre aus und strahlen deshalb unter einem Anstiegswinkel ab, der von der zu überbrückenden Entfernung abhängt. Daher interessiert vor allem die Exposition im Bereich des Empfängers, wo der Sendestahl wieder auf die Erde auftrifft. Dort ist aber der Sendestahl so stark aufgeweitet, daß hier nur sehr niedrige Leistungsflußdichten auftreten.
- c) Satelliten-Kommunikationssysteme arbeiten wegen der großen zu überbrückenden Distanz mit Spitzenleistungen bis zu einigen hundert kW. Im Sendestahl, der stark gebündelt ist und in der Regel einen Abstrahlwinkel von mehr als 7° hat, können Leistungsflußdichten von 10 W/m^2 noch in Entfernungen bis zu 50 km auftreten. Aufgrund des Abstrahlwinkels liegt die am Erdboden zu erwartende Exposition schon bei einem Abstand von einigen 100 m vom Sender unter 100 mW/m^2 .
- d) Flugüberwachungs- und Militärradaranlagen werden meist mit Pulsleistungen im MW-Bereich betrieben. Die mittlere Sendeleistung liegt wegen des geringen Tastverhältnisses im kW-Bereich. Direkt im Sendestahl können bis zu einer Entfernung von einigen 100 m Leistungsflußdichten über 10 W/m^2 auftreten. Ab einer Entfernung von etwa 1 km von der Antenne ist die Leistungsflußdichte aber in der Regel auf Werte unter 100 mW/m^2 abgesunken. Berücksichtigt man hier den Abstrahlwinkel und die Rotation der Antenne, so ist mit erheblich geringeren mittleren Expositionswerten zu rechnen.
- e) Radaranlagen in Flugzeugen arbeiten mit Sendeleistungen von einigen zehn Watt. Bereits im Abstand von etwa 100 m liegen die Expositionswerte hier deutlich unter 0,1 mW/m^2 .
- f) Rundfunk- und Fernsehsender arbeiten überwiegend im Radiofrequenzbereich unterhalb des Mikrowellenbereiches. Nur einige Fernsehkanäle (UHF) werden im unteren Mikrowellenbereich übertragen. Für diesen Bereich gibt es in der Bundesrepublik Deutschland (vor allem im Osten) eine Reihe sehr leistungsstarker Sender mit Sendeleistungen bis zu 1 MW. Da die Antennen für die Abstrahlung von Fernsehprogrammen meist auf hohen Fernsehtürmen installiert werden, sind die Leistungsflußdichten am Boden bzw. im Bereich des Waldes gering. Bei einer angenommenen Mindesthöhe von 150 m für derartige Türme beträgt bei der maximalen Sendeleistung von 1 MW die

Leistungsflußdichte in Bodennähe (100 m vom Turm entfernt) etwa 40 mW/m^2 . In 1 km Entfernung ist die Leistungsflußdichte um etwa eine Größenordnung geringer.

3 Waldschadenserhebungen

Zur Erhebung von Waldschäden werden heute im wesentlichen drei Methoden eingesetzt:

- a) Die Schadenserhebung vom Boden aus: Dabei erfolgt die Bestimmung des Gesundheitszustandes des einzelnen Baumes durch erfahrene Forstfachleute vor Ort. Zur Beurteilung des Kronenzustandes sind Nadel- und Blattverlust der Gesamtkrone sowie Vergilbungen des Assimilationsapparates die wesentlichen Kriterien. Im Gelände kann die Beurteilung auch rein visuell erfolgen, wobei der Schaden in 20 Stufen (0 - 5 %, 5 - 10 %, etc.) eingeteilt wird, die für weniger differenzierende Betrachtungen häufig zu 5 Schadstufen zusammengefaßt werden. Am bekanntesten ist die bisher alljährlich bundesweit durchgeführte Waldschadensinventur. Diese zwischen Bund und Ländern koordinierte Erhebung stützt sich auf ein gleichmäßiges, systematisches, permanentes Probeflächennetz mit einem Gitter von $4 \times 4 \text{ km}$ Grundfläche. Zusätzlich werden weitere Inventuren, z.B. von einzelnen Forstbetrieben, nach ähnlichen Verfahren, allerdings mit einem erheblich dichteren Stichprobennetz, durchgeführt.
- b) Die Waldschadenserhebung durch Luftbilder: Diese Fernerkundung des Waldschadenzustands beruht entweder auf der visuellen Interpretation von Color-Infrarot-Luftbildern oder auf der Auswertung der durch elektronische Zeilenabtaster gewonnenen Daten. Dies ist dadurch möglich, weil zwischen geschädigten und ungeschädigten Bäumen entweder eindeutige Unterschiede der Kronenform, Aststellung oder Belaubungsdichte vorliegen und/oder in einem oder mehreren Spektralbereichen Reflexionsunterschiede auftreten. Die für die neuartigen Waldschäden typischen strukturellen Veränderungen des Kronenzustandes können bei stereoskopischer Auswertung in Luftbildern mit Maßstäben um 1:5000 aufgrund von zwei- oder dreidimensionalen Gestaltsmerkmalen gut erkannt werden. Dabei ist eine Klassifikation von Einzelbäumen in 5 Kronenzustandsstufen möglich. Für die Hauptbaumarten stehen hierzu von dem Verein Deutscher Ingenieure (1990) veröffentlichte Interpretations-Schlüssel zur Verfügung. Diese weitgehend standardisierten Schlüssel erlauben bei sachgerechter Anwendung durch qualifizierte Interpreten eine sichere Begutachtung des Kronenzustandes.
- c) Die Zuwachsanalyse: Diese beruht auf der Auswertung der jährlichen Zuwächse durch Messung der Breite der einzelnen Jahresringe. Diese Zuwächse sind im wesentlichen für längerfristige Beobachtungsserien geeignet, z.B. für die Analyse der Beeinflussung des Wachstums durch Klimaschwankungen.

Die Ergebnisse der Schadenserhebung sind hinsichtlich der Ermittlung von Schadensursachen nur für vergleichende Untersuchungen tauglich. Es muß also darauf geachtet werden, daß außer dem vermuteten schädigenden Agens alle anderen Parameter (z.B. Höhenlage, Topographie, Witterungsbedingungen, Bodenbeschaffenheit) vergleichbar sind. Einzelbeobachtungen sind zur Ursachenfindung nicht tauglich.

Bei in der Schweiz durchgeführten vergleichenden Untersuchungen zur Waldschädigung durch hochfrequente elektromagnetische Felder wurden Schadensmittelwerte für verschiedene Untersuchungs-zonen bestimmt und nach Standort und Baumart (Fichte, Tanne, Föhre, Buche) auf-

geschlüsselt. Ein Zusammenhang zwischen den in den einzelnen Untersuchungszonen vorhandenen hochfrequenten elektromagnetischen Feldern, resultierend aus den installierten Rundfunk- und Fernsehsendern, Radar- und Richtfunk-Anlagen, und der Schädigung des Waldes konnte nicht festgestellt werden.

4 Schlußfolgerungen

Die zu erwartenden Expositionswerte im Bereich von Richtfunk- und Radaranlagen liegen außerhalb des Nahfeldbereiches im unmittelbar angrenzenden Bereich mit Sicherheit unter 100 mW/m^2 , in der Regel jedoch deutlich unter 1 mW/m^2 . Im Vergleich dazu liegt die Einstrahlung im optischen Bereich (Ultraviolett bis Infrarot) durch die Sonne bei etwa 800 W/m^2 (Tagesmaximum).

Für thermische Wirkungen an Pflanzen sind mindestens 10 W/m^2 erforderlich, die nur im unmittelbaren Nahfeldbereich (in der Regel einige 100 Meter) leistungsstarker Radaranlagen und üblicherweise durch Einstrahlung im optischen Bereich durch die Strahlung der Sonne erreicht oder überschritten werden können.

Aus der Analyse der nichtthermischen Wirkungen lassen sich keine Hinweise auf Schädigungen für die Pflanzen in unserer Umwelt ableiten.

Diese aus der Analyse thermischer und nichtthermischer Wirkungen gewonnenen Schlußfolgerungen werden durch die Befunde der schweizerischen Untersuchungen der Waldschäden voll und ganz unterstützt.

Es kann daher weder aufgrund biophysikalischer Analysen noch mittels direkter Waldschadenserhebung im Vergleich zu vorhandenen elektromagnetischen Feldern ein ursächlicher Zusammenhang zwischen den installierten Radar- und Richtfunkanlagen und den beobachteten ausgedehnten Waldschäden festgestellt werden.