



EUROPÄISCHE KOMMISSION  
GENERALDIREKTION GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ  
DIREKTION C – Wissenschaftliche Gutachten  
Referat C2 – Verwaltung wissenschaftlicher Ausschüsse; wissenschaftliche Zusammenarbeit  
und Netzwerke  
Wissenschaftlicher Ausschuss für Toxizität, Ökotoxizität und Umwelt

Brüssel,  
C2/JCD/csteeop/EMF/RFF30102001/D(O I)

**WISSENSCHAFTLICHER AUSSCHUSS FÜR TOXIZITÄT, ÖKOTOXIZITÄT UND UMWELT (CSTEE)**

Gutachten über

Die möglichen Auswirkungen elektromagnetischer Felder (EMF), Radiofrequenzfelder (RF) und  
Mikrowellenstrahlung auf die menschliche Gesundheit

Geäußert auf der 27. Plenarsitzung des CSTEE

Brüssel, am 30. Oktober 2001

## Hintergrund

Der Wissenschaftliche Ausschuss "Toxizität, Ökotoxizität und Umwelt" (CSTEE) wurde ersucht, eine Aktualisierung des Gutachtens (I) des Wissenschaftlichen Lenkungs Ausschusses (SSC) vom 25.-26. Juni 1998 über die möglichen Auswirkungen elektromagnetischer Felder (EMF) auf die Gesundheit zu verfassen, die den vom ICNIRP (Internationaler Ausschuss für nichtionisierende Strahlungen) veröffentlichten Leitlinien zustimmt und als Grundlage für die Empfehlung des Rates vom 5. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber EMF diene.

Dieses Ersuchen ergab sich aus der zunehmenden Exposition gegenüber EMF in Folge der weiteren Ausweitung der Elektrizität, des ständigen Ausbaus der Telekommunikationsindustrie und des rasanten Anstiegs der Zahl von Sendermasten, die als Funkbasisstationen verwendet werden. Diese Sender werden häufig in der Nähe von Wohnhäusern, Geschäftseinrichtungen und Schulen aufgestellt, so dass ein zunehmender Teil der Bevölkerung ELM-Feldern und RF chronisch exponiert ist. Darüber hinaus hat das auffällige Erscheinungsbild dieser Sendemasten auch zu einer stärkeren Sensibilisierung der Bevölkerung über die Gefahren elektromagnetischer Strahlung geführt. Aus der Forscherperspektive ist dies ein kompliziertes Feld.

EMF umfassen einen breiten Frequenzbereich (0 Hz -300 GHz) (Anhang I). Bei der Untersuchung ihrer Strahlungsquellen und ihrer möglichen Gefahren für die Gesundheit unterscheidet man üblicherweise zwischen extrem niederfrequenten elektromagnetischen Feldern (ELF), Radiofrequenzen und Mikrowellen. Der vorliegende Bericht behandelt ELF (1 Hz - 1 kHz), RF (1 MHz - 1 GHz) und Mikrowellen (1 GHz - 300 GHz). Zusätzlich zu den elektrischen Geräten und Produkten im Haushalt, in der Industrie und in der Medizin stellen Hochspannungs-Überlandleitungen (und im geringeren Maße unterirdische Kabel) eine der wichtigsten Quellen von ELF-Strahlung in der Umwelt dar. Das ELF-Frequenzband beschränkt sich in Europa auf 50 HZ, in Nordamerika auf 60 Hz. RF und niedrigere Mikrowellenfrequenzen sind für den Rund- und den Mobilfunk von besonderer Bedeutung. Die 2,45 GHz-Frequenz wird vorwiegend in Haushalts- und Industriemikrowellenherden eingesetzt.

Der CSTEE wurde ersucht

*"...anhand neuer Erkenntnisse und Entwicklungen in der Technik sowie Anwendungen von Quellen und Methoden zur Untersuchung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern eine Aktualisierung des Gutachtens vom Juni 1998 vorzulegen:*

A. *Über nichtthermische langfristige Wirkungen der Exposition gegenüber EMF auf die Gesundheit, unter besonderer Berücksichtigung von epidemiologischen Erkenntnissen und auch von biophysischen und biologischen Erkenntnissen über krebserregende Auswirkungen auf das Immun-, Kreislauf- und Nervensystem, sowie auf bestimmte Körperteile oder auf das Gesamtverhalten der exponierten Personen. Im Gutachten soll darauf hingewiesen werden, ob neue Empfehlungen über Expositionsgrenzen gemacht werden können.*

B. *Ob in Zusammenhang mit thermischen und nichtthermischen Wirkungen der technische Anhang für die Empfehlung des Rates<sup>1</sup>, in der die Basisgrenzwerte und die Referenzwerte zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber nichtionisierenden Strahlungsquellen festgelegt sind, ausgehend von den vom Internationalen Ausschuss für nichtionisierende Strahlungen veröffentlichten Leitlinien, immer noch eine geeignete wissenschaftliche Grundlage für ein System zum Schutz gegen gesundheitliche Risiken durch nichtionisierende Strahlung bildet".*

<sup>1</sup> Amtsblatt Nr. L 199/59 vom 30.07.1999

Zur Beantwortung dieser Fragen hat der CSTEE eine Arbeitsgruppe bestellt, zusammengesetzt aus Mitgliedern des CSTEE<sup>2</sup> sowie externen Experten<sup>3</sup> und Mitgliedern anderer wissenschaftlicher Ausschüsse der Kommission<sup>4</sup>. Die Arbeitsgruppe traf am 13. Juni, am 10. September und am 18. Oktober 2001 zusammen. Es wurde beschlossen, zunächst Frage A zu beantworten, d.h. festzustellen, ob wissenschaftliche Erkenntnisse aus neuen Untersuchungen über nichtthermische Wirkungen elektromagnetischer Felder zu einer Änderung der wissenschaftlichen Beurteilung führen, die dem SSC-Gutachten vom Juni 1998 zugrunde liegt. Angesichts der Vielzahl von ausgezeichneten wissenschaftlichen Auswertungen früherer Studien dienten diese der Arbeitsgruppe als ihre Hauptliteraturquelle, auf der sie ihre Schlussfolgerungen begründet hat.

Da der vorliegende Bericht als Grundlage zur Aktualisierung des Gutachtens des Wissenschaftlichen Lenkungsausschusses dienen soll, liegt der Schwerpunkt auf Fragen, für die neue Erkenntnisse vorliegen. Aus diesem Grund werden akute thermische Wirkungen auf die Gesundheit – die für hochfrequente EMF ausreichend definiert worden sind – im vorliegenden Bericht nicht behandelt.

Neben der wissenschaftlichen Literatur wurden für bestimmte Themen (z.B. neurologische Verhaltensänderungen) auch Expertengutachten (3-9) miteinbezogen. Angesichts der an den CSTEE gestellten Fragen lag der Schwerpunkt auf Ergebnissen, die ein Überdenken der 1999 empfohlenen Expositionsgrenzen veranlassen würden. Epidemiologische Studien mit dem Ziel der Identifizierung eines Zusammenhangs mit Krebsrisiken wurden eingehend erörtert. Bei der Interpretation von epidemiologischen Ergebnissen griff man auf klassische Kriterien zurück, die vor 40 Jahren von Austin Bradford Hill (siehe unten) vorgeschlagen wurden.

Angesichts der Möglichkeit unterschiedlicher Wirkungsmechanismen wurden zwei Umstände getrennt berücksichtigt, *d.h.*:

- Exposition gegenüber extrem niederfrequenten elektromagnetischen Feldern, d.h. bis zu 50-60 Hz, aus Freileitungen und unterirdischen Kabeln sowie aus bestimmten elektrischen Geräten in Haushalt und Industrie, und
- Exposition gegenüber Zwischen-, Radio- und Mikrowellenfrequenzen von 1 kHz bis zu 300 GHz, die von Quellen wie Display- oder Fernsehgeräten und Induktionsheizgeräten, RF-Heizgeräten, Mobiltelefonen, Radio- und TV-Sendern, Mikrowellenkommunikationsgeräten und Mikrowellenherden in Haushalt und Industrie erzeugt werden.

Die ICNIRP-Leitlinie für elektrische und magnetische Felder von 50/60 Hz geht von einer maximalen Stromdichte von 10 mA/m<sup>2</sup> im Körper aus. Daraus ergeben sich für die Bevölkerung ICNIRP-Referenzwerte von 5 kV/m und 100 µT für die elektrischen bzw. Magnetfelder.

---

<sup>2</sup> Prof/Dr. B. Terracini (WG chaim1an), J. Vos and C. Lambre

<sup>3</sup> A. Ahlbom (Karolinska Institut.Se), G. Decat (VITO.Be), J. Joussot-Dubien (Laboratoire PION.Fr) und C. Roy (WHO.CH)

<sup>4</sup> M. Maroni (SCP), W. Klein und V. Silano (SSC)

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die grundlegenden Auswirkungen von statischen, ELF-, RF- und Mikrowellen-Feldern, die biologische Veränderungen zur Folge haben könnten.

Frequenz	Mechanismus	Konzentrationseinheit
Statisches Magnetfeld 0 Hz	Magnetische Induktion und magnetomechanische Interaktionen	
ELF 30 Hz - 300 Hz	Strominduktion im Körper	$A/m^2 = H_{A/m} \cdot f \cdot x$
ELF RF & Mikrowellen 0,1 MHz- 10 G Hz	Energiekonzentration	SAR in W /kg
10 G Hz - 300 G HZ	Erwärmung oberflächennahen Gewebes	Leistungsdichte W/m <sup>2</sup>

SAR = Spezifische Energieabsorptionsrate

A= Fläche

H = Feldstärke

### Interaktion elektromagnetischer Felder mit biologischen Systemen

Frequenz ist eine Hauptdeterminante für die Induktion von Strom oder Wärme (Energie) in einem biologischen oder nichtbiologischen System. Die Konzentrationseinheit ist die Stromdichte ( $A/m^2$ ), die von der Feldstärke (H in  $A/m$ ), der Frequenz, und der Körperlänge abhängt. Exposition gegenüber ELF führt nicht zur Energiekonzentration im Körper, während bei der Exposition gegenüber RF und Mikrowellen (wie z.B. 900 und 1800 MHz GMS-Strahlung usw.) dies wohl der Fall ist. Zur Messung der Energiekonzentration bzw. -absorption im Körper wird SAR herangezogen. Die Energie aller elektrischen, magnetischen, und elektromagnetischen Felder ist um Größenordnungen niedriger als jene ionisierender Strahlung.

Während ionisierend Strahlung biochemische Wirkungen wie z.B. die Spaltung kovalenter chemischer Bindungen, die Erzeugung von Ionen und andere relevante chemische Gattungen hervorruft, liegt die Hauptwirkung aus der Interaktion von elektromagnetischen Feldern mit biologischen Systemen wahrscheinlich in der Induktion von Strömen. Diese können zur Bildung von elektrischen Dipolen und/oder zu einer Neuausrichtung bereits bestehender Dipolen führen. Im Fall von Zellen- und Tiersystemen wurde keine reproduzierbare Korrelation zwischen den Auswirkungen, und zwar weder zeitvariabel noch bei variabler Feldstärke bei Frequenzen unter 100 kHz und einer Stromdichte von 10 mA/m<sup>2</sup> festgestellt. Bei diesen Expositionswerten liegt die Wärme aus der Absorption elektromagnetischer Energie sogar weit unter jener, die auf normale Stoffwechselprozesse zurückzuführen ist.

### Austin Bradford Hills Kriterien für Kausalzusammenhänge

Die Mehrzahl der epidemiologischen Studien über die Auswirkungen von EMF sind beobachtender Natur, was eine Bewertung der Kausalität problematisch macht. In einem klassischen Essay (2) hat Austin Bradford Hill eine Reihe von Kriterien aufgestellt, die bei der Beurteilung, ob eine Beziehung zwischen einer vermeintlichen Ursache und einer Wirkung einen Kausalzusammenhang oder lediglich eine Assoziation darstellt, herangezogen werden. Mit Ausnahme des ersten Kriteriums ist keines der anderen eine *conditio sine qua non*. Je mehr Kriterien zutreffen, desto stärker wird die Hypothese von einem Kausalzusammenhang. Diese Kriterien sind:

- Die Assoziationsstärke, normalerweise als relatives Risiko ausgedrückt, d.h. der Faktor, mit dem die Inzidenzrate in den exponierten Bevölkerungsgruppen gegenüber den nichtexponierten Bevölkerungsgruppen steigt. Ein im öffentlichen Gesundheitswesen nützlicher Indikator ist die Risikodifferenz, d.h. die Inzidenzrate, die auf die Exposition zurückzuführen ist (unter Exponierten oder Nichtexponierten).
- Die Übereinstimmung der Ergebnisse unabhängig von durchgeführten Studien.

- Die Spezifität der Assoziation (obwohl es offensichtlich wurde, dass das Prinzip "eine Ursache – eine Wirkung" bei Krankheiten mit mehrfaktorieller Ätiologie kaum anwendbar ist).
- Zeitlicher Zusammenhang (die Exposition muss der Auswirkung vorausgehen, unter Berücksichtigung der Latenzzeit der Krankheit).
- Biologischer Verlauf, d.h. eine Dosis-Reaktion-Wirkung.
- Biologische Plausibilität, d.h. ob die Postulierung angemessen ist, dass die Ursache über einen Mechanismus wirkt, der dem biologischen Wissensstand über die Schädlichkeit der Einwirkung entspricht.
- Übereinstimmung der Ursache-zu-Wirkung-Interpretation mit allgemein bekannten Fakten über die geschichtliche Entwicklung und die Biologie der Krankheit.
- Reproduzierbarkeit der Krankheit in Versuchen (entweder bei Tieren oder Menschen).

## Radiofrequenzen und Mikrowellen (RF)

Wie oben erwähnt, werden diese von Quellen wie Display- oder Fernsehgeräten, AM-Funk, Induktionsheizgeräten, Mobiltelefonen usw. erzeugt. Die wichtigsten Gutachten über deren Wirkungen, die in diesen Bericht einfließen, sind der 2000 veröffentlichte "Stewart-Bericht" (3), und Elwoods Begutachtung (4) der epidemiologischen Studien, die 1999 veröffentlicht und später bis Anfang 2001 ausgeweitet wurde, um eine Expositionsnorm für Australien festzulegen (5). Nach dem Wissen von CSTE, wurden in der Folge keine weiteren relevanten Ergebnisse veröffentlicht. Der CSTE hat keinen wesentlichen Grund zu einer abweichenden Meinung von jener dieser Gutachten festgestellt, weder in Zusammenhang mit der Ausführlichkeit der darin enthaltenen wissenschaftlichen Beobachtungen noch in Hinblick auf die Auslegung der wissenschaftlichen Ergebnisse.

Man hat sich insbesondere auf die Abschnitte über jene biologischen Grenzpunkte konzentriert, welche in den Fragen an den CSTE erwähnt sind, d.h. die Auswirkungen auf das Immun-, Kreislauf- und Nervensystem, das allgemeine Verhalten der exponierten Personen sowie die experimentellen und epidemiologischen Studien über krebserregende Risiken. Die Schlussfolgerungen des CSTE zu den einzelnen Bereichen sind im Folgenden zusammengefasst:

**1. Immunsystem:** bestimmte thermische Werte von RF-Exposition verursachen sowohl Reiz- als auch Hemmreaktionen in Teilen des Immunsystems. Diese Auswirkungen waren im allgemeinen vorübergehender Natur und kehrten nach Einstellung der Exposition auf Normalwerte zurück. Es konnten keine bleibenden Auswirkungen schwacher RF-Exposition auf blutbildende und zirkulierende Blutzellen oder auf Immunreaktionen festgestellt werden.

**2. Herz und Blutdruck:** Mit Ausnahme einer durchdachten, jedoch kleinen Studie (die durch größere, unabhängige Untersuchungen bestätigt werden muss), die auf frühe Auswirkungen auf den Blutdruck von freiwilligen Probanden bei einer kopfnahen Exposition gegenüber einem herkömmlichen GSM-Telefon deutet, enthalten die vorhandenen Ergebnisse keine gleichbleibenden Hinweise auf Auswirkungen von Mobiltelefonen auf das Herz und den Kreislauf.

**3. Nervensystem:** Ohne Hitzeeinwirkung waren die Hinweise auf Veränderungen in der neuronalen Erregbarkeit, der Neurotransmitterfunktion, im angeborenen und angelernten Verhalten, sowie in der Blut-Hirn-Schranke unbeständig und nicht überzeugend. Eine Extrapolation aus Laboruntersuchungen an Ratten auf den Menschen erscheint problematisch aufgrund der Unterschiede zwischen Nagetieren und Menschen in der Energiekonzentration von RF. Darüber hinaus besitzen Ratten im Gegensatz zu Menschen die Fähigkeit, RF akustisch wahrzunehmen, was zu einer Beeinträchtigung ihrer Reaktionsfähigkeit führen kann. Einigen Studien zufolge können Auswirkungen auf Membranproteine, auf den Kalziumfluss und jenen anderer Ionen durch die Neuronenmembran, sowie auf den EEG-Rhythmus auftreten, diese sind jedoch nicht reproduzierbar.

**4. Auswirkungen auf das neurologische Verhalten und das Autofahren:** Die Relevanz von experimentellen Untersuchungen für den Menschen ist aufgrund artenspezifischer Unterschiede bei der Wahrnehmung starker gepulster RF-Felder unklar. Manche Studien über die akuten Auswirkungen von Mobiltelefonen auf freiwillige Probanden zeigten bestimmte Veränderungen des neurologischen Verhaltens (derartige sogenannte "neurobehavioural changes" beziehen sich vorwiegend auf subjektives Unbehagen), deren Mechanismus möglicherweise eine lokale Wärmeentwicklung bewirkt. Die Wechselwirkung zwischen elektromagnetischen Feldern und Arzneimitteln wurde nicht ausreichend untersucht. Die wichtigsten Auswirkungen durch die Nutzung von Mobiltelefonen beim Autofahren sind auf die Ablenkung des Fahrers zurückzuführen.

**5. Auswirkungen auf das Auge:** Das Auge stellt ein mögliches Zielorgan für RF- und Mikrowellenstrahlung dar, da es nicht von Knochen geschützt wird. Elektrische Aktivität bildet Teil der Netzhautfunktion, so dass Gegenstände vor dem Auge als "Abstrahlblech" für Wärmewirkungen fungieren können. Darüber hinaus sind die Fasern, die den Großteil der Linse ausmachen, nur geringfügig dazu imstande, sich nach Verletzungen zu heilen.

Obwohl eine umfangreiche Literatur über die Auswirkungen von Mikrowellen auf Versuchstiere (einschließlich Affen und Kaninchen) existiert, sind die Experimentalkonzepte schwer reproduzierbar, und die Ergebnisse immer noch umstritten. Es wurden deutliche artenspezifische Unterschiede festgestellt. Grauer Star trat nach Exposition gegenüber sehr hohen Frequenzen auf, es ist jedoch unklar, ob diese Wirkung auf thermische Veränderungen zurückzuführen ist. Daher ist die Relevanz der derzeitigen Erkenntnisse über die Risiken für den Menschen - ohne thermische Auswirkungen - sehr gering.

**6. Beobachtungen bei Menschen im Hinblick auf Gesundheitsrisiken außer Krebs:** Die offiziellen epidemiologischen Studien haben bisher keine kohärenten Ergebnisse über Auswirkungen auf den Menschen ergeben. Dies bedeutet aber nicht, dass RF und Mikrowellen keine Gefahr für die menschliche Gesundheit darstellen. Der Großteil der offiziellen epidemiologischen Studien konzentriert sich auf die Häufigkeit der Krebserkrankungen.

Unter den Menschen, die gegenüber Radiowellen oder anderen elektromagnetischen Feldern exponiert waren, gab es bei Personen, die als "überempfindlich" eingestuft wurden, Fallberichte oder Berichte über eine geringe Anzahl von Fällen subjektiver Symptomatik (Müdigkeit, Stress, Schlafstörungen, Depressionen, brennendes Gefühl, Ausschläge, Muskelschmerzen, Hals-, Nasen- und Ohrenprobleme sowie Verdauungsstörungen usw.). Die beschriebenen Symptome treffen scheinbar auf eine beschränkte Zahl von Personen zu, es gibt jedoch keine zuverlässige Schätzungen über die Häufigkeit ihres Auftretens. Über die Rolle der Expositionsbedingungen (Frequenz, Konzentration, Dauer usw.) ist so gut wie nichts bekannt. Begrenzte Untersuchungen an Freiwilligen zeigten keinen Zusammenhang zwischen den berichteten Symptomen und der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern. Es ist daher sehr schwierig zu beurteilen, ob es sich dabei um wahre Auswirkungen handelt.

**7. Genotoxizität:** Aus einer Übersicht der in-vitro Genotoxizitätsdaten, die einer Beweislastuntersuchung (6) unterzogen wurde, geht hervor, dass keine starken Hinweise auf DNS-Schäden durch elektromagnetische Felder zwischen 30 MHz und 300 GHz existieren. In jenen Fällen, in denen Auswirkungen festgestellt wurden, waren diese auf Hyperthermie zurückzuführen. Trotz geringfügiger Widersprüche in der Literatur ist festzustellen, dass In-vivo- und In-vitro-Experimente über die Induktion von Mikronuklei, Schwester-Chromatid-Austausch oder Chromosomenaberrationen keine Auswirkungen gezeigt haben. Die Interpretation von Untersuchungen über Zelltransformation durch Exposition gegenüber Radiofrequenzfeldern ist aufgrund technischer Schwierigkeiten kompliziert. Es gab Berichte über DNS-Fragmentierung und über Auswirkungen auf die Nukleinsäurebildung, die für die Bösartigkeit von Tumoren relevant sein könnten, diese wurden jedoch nicht unabhängig bestätigt und sind höchst umstritten. Die mögliche Wechselwirkung zwischen elektromagnetischen Feldern und physischen oder chemischen erbgutverändernden oder krebserregenden Einwirkungen stellt eine interessante Hypothese dar, die aber noch nicht ausreichend untersucht wurde.

**8. Experimentelle Karzinogenese:** Die mögliche krebserregende Wirkung von RF wurde in einer Reihe experimenteller Systeme untersucht. Die Ergebnisse waren im wesentlichen negativ. Erste Beobachtungen, die auf eine mögliche Brustkrebs-erregende Wirkung bei Mäusen hinwiesen, wurden in späteren Studien nicht bestätigt. Von Interesse sind die Beobachtungen von Repacholi *et al* (7), der eine Verdoppelung der Lymphomen in einer Gruppe lymphomanfälliger, transgener Mäuse (E mu-Pim1) bewirkte, indem er diese ebenen Wellenfeldern von 900 MHz mit einer Impulsfolgefrequenz von 217 Hz und einer Impulsbreite von 0,6 ms (7) aussetzte (1 Stunde/Tag über bis zu 18 Monate). Eine Wiederholung dieser Ergebnisse konnte in der frei zugänglichen Literatur noch nicht gefunden werden. Es ist daher festzustellen, dass die obige Studie unzureichende Hinweise auf experimentelle Karzinogenese liefert.

**9. Auswirkungen auf die Melatoninproduktion:** In den jüngsten Studien mit freiwilligen Probanden sowie in gut durchdachten Versuchen mit Mäusen konnten keine Auswirkungen von EMF zu diesem Endpunkt festgestellt werden. Die Annahme, dass eine reduzierte Melatoninproduktion einen Einfluss auf das Auftreten von Brustkrebs in Frauen oder in Tieren haben könnte, wird nicht unterstützt. Daher erscheint die Relevanz für langfristige Auswirkungen nicht nennenswert.

**10. Epidemiologische Studien über die Verbindung zwischen RF-Magnetfeldern und Krebs bei Menschen:** Es wurde eine Reihe von Studien veröffentlicht, die drei Expositionsumstände untersucht, nämlich am Arbeitsplatz, am Wohnort in der Nähe von RF-Sendern und die Nutzung von Mobiltelefonen. Diese wurden im "Stewart-Bericht" (3), von Elwood (5) und von einer Arbeitsgruppe der Canadian Royal Society (8) begutachtet.

Im allgemeinen lassen die epidemiologischen Ergebnisse bei RF und Mikrowellen nicht auf einen dauerhaften Anstieg der Krebsinzidenz schließen. Einige Studien waren sehr umfangreich (z.B. die "Motorola-Studie" umfasste 200.000 Probanden und untersuchte die Risiken über einen Beobachtungszeitraum von 2 Millionen Mannjahren).

Daher geben die Ergebnisse der epidemiologischen Studien über die Verbindung zwischen Krebs und RF zunächst keinen Anlass dazu, die vor einigen Jahren festgelegten Expositionsgrenzen zu überdenken. Dies steht im Einklang mit dem Mangel an Hinweisen auf genotoxische Auswirkungen, die mit dem der Karzinogenese in Verbindung gebracht werden.

Nichtsdestoweniger deuten einige Einschränkungen der derzeit verfügbaren Studien auf die Notwendigkeit weiterer epidemiologischer Überwachung hin: **i.** die relativ kurze Beobachtungsdauer im Vergleich zu der möglichen Latenzzeit der langfristigen Auswirkungen; **ii.** die Verwendung von Proxies (e.g. Abstand zu mutmaßlichen Quellen, Ausmaß der Nutzung des Mobiltelefons, usw.) bei der Schätzung der Exposition der einzelnen Personen, die unzuverlässig sein könnte und das geschätzte Risiko künstlich senkt, sowie **iii.** geringe statistische Schärfe der Analysen, was auf mangelnde Assoziation hindeutet.

#### **Extrem niederfrequente Felder (ELF)**

Die Hauptsorge in Bezug auf ELF steht in Zusammenhang mit den jüngsten Berichten, in denen die Frage aufgeworfen wird, ob 50/60 Hz-Magnetfelder eine krebserregende Wirkung bei Menschen haben. Der sogenannte "Doll-Bericht" (9), der Anfang 2001 veröffentlicht wurde, stellt eine umfassende Übersicht der vorhandenen Literatur dar. Dieser diente als wichtige Informationsquelle für den CSTEE. Darüber hinaus hat der CSTEE die Ergebnisse zweier Metaanalysen früherer epidemiologischer Untersuchungen ausführlich berücksichtigt, die als Fallkontrollstudien konzipiert und im Jahr 2000 (10,11) veröffentlicht wurden. Eine "Metaanalyse" ist eine epidemiologische Methode, die bei der Evaluierung der Gesamtergebnisse einer Ursache-zu-Wirkung-Beziehung eingesetzt wird und Untersuchungen aus unterschiedlichen Studien verwendet. Dabei wird aus der Zusammenführung der ursprünglichen Daten der einzelnen Studien eine einzige Datenbank geschaffen. Natürlich wird dabei vorausgesetzt, dass die einzelnen Studien, die Gegenstand einer Metaanalyse bilden, sowohl im Hinblick auf das Konzept als auch in der Beurteilung der Exposition vergleichbar sind.

Die Ergebnisse zweier "Metaanalysen" die dem CSTEE vorgelegt wurden, umfassten 9 zwischen 1993 und 1999 veröffentlichte Studien, bei denen 50-60 Hz-Magnetfelder in den Häusern von Kindern in der vorangegangenen 24-48 Stunden gemessen oder durch mathematische Berechnungen bewertet wurden. Die Gesamtzahl der Fälle und Kontrollen betrug 3.247 bzw. 10.400. Empfindlichkeitsanalysen (Schätzung des relativen Risikos nach dem Ausschluss von Studien aus bestimmten Ländern, vor allem USA und Kanada) sowie Analysen, die sich auf Untergruppen von Studien beschränkten, die in skandinavischen Ländern durchgeführt wurden, führten zu keiner wesentlichen Änderung der Schätzungen.

### **Die zwei Metaanalysen führten zu den folgenden Schlußfolgerungen:**

- Bei beiden Metaanalysen ist das Leukämierisiko doppelt so hoch bei Kindern in Haushalten, in denen die Exposition gegenüber ELF höher war als  $0.4 \mu\text{T}$  (der Metaanalyse von Greenland zufolge  $0.3 \mu\text{T}$ );
- Obwohl es vielleicht bei einigen Studien zur tendenziösen Selektion gekommen ist, so dass fallweise Kinder aus höheren sozioökonomischen Schichten überproportional vertreten waren, deutet nichts darauf hin, dass dies in allen berücksichtigten Studien der Fall war;
- Die Expositionskategorie, für die ein solches erhöhtes Risiko beurteilt wurde, ist ausbaufähig. Es wurden keine Analysen mit anderen Schwellenwerten durchgeführt (nicht zuletzt weil die Zahl der Kinder, deren Exposition mehr als  $0.4 \mu\text{T}$  beträgt, sehr klein ist). Mit anderen Worten ist das Dosis-Reaktion-Verhältnis über  $0,4 \mu\text{T}$  unbekannt.
- Die Schätzungen des relativen Risikos bei Expositionen, die zwischen jenen mit einem statistisch signifikanten Überschuss und der Referenzgruppe lagen, betragen knapp über 1.
- Bei den meisten Studien, die in den Metaanalysen in europäischen Ländern berücksichtigt worden sind, betrug der Anteil der *an Leukämie erkrankten* Kinder, die gegenüber extrem niederfrequenten ELF bei  $0,4 \mu\text{T}$  oder höher exponiert waren, nicht mehr als 1% der untersuchten Bevölkerungsgruppe. Daher beträgt der Prozentsatz des attributablen Risikos in der Bevölkerung wahrscheinlich weniger als 1% der Leukämiefälle.

Andere mögliche Grenzpunkte von ELF-spezifischen Auswirkungen wurden weniger berücksichtigt, sowohl bei Menschen als auch in experimentellen Systemen. Die jüngsten Berichte kommen zu dem Schluss, dass es keine reproduzierbaren Hinweise auf genotoxische Auswirkungen (8) bzw. DNS-Schäden gibt (WHO-Merkblatt Nr. 263). Die Zahl der Erkenntnisse in Zusammenhang mit Auswirkungen auf das Immunsystem ist ebenfalls zu gering.

Im Fall von ELF müssen Berichte [CSTEE/2000/26-Add.35 -"Electromagnetic hypersensitivity: an environmental illness" – Entwurf für ein WHO-Merkblatt (das Dokument wurde geprüft und eine Endversion wird in Kürze veröffentlicht)] über möglicherweise überempfindliche Personen bestätigt werden und können nicht als Grundlage für eine Änderung der Expositionsgrenzen dienen.

## Gutachten/Schlussfolgerungen

### Antwort auf Frage A:

- Die in den letzten Jahren verfügbaren zusätzlichen Informationen über krebserregende und andere nichtthermische Auswirkungen von RF- und Mikrowellenstrahlung rechtfertigt nicht ein Überdenken der Expositionsgrenzen, die die Kommission auf der Grundlage des Gutachtens des Wissenschaftlichen Lenkungsausschusses vom 1998 festgelegt hat. Insbesondere haben die epidemiologischen Studien (die teilweise sehr umfangreich waren, aber deren Beobachtungszeitraum für eine endgültige Aussage nicht ausreicht) keine Hinweise auf eine krebserregende Wirkung bei Kindern oder Erwachsenen geliefert. Eine relativ große Anzahl von Laboruntersuchungen erbrachte keine Nachweise in Zusammenhang mit genotoxischen Auswirkungen. Obwohl möglicherweise bei einigen Personen subjektive Symptome auftreten, gibt es keine ausreichenden Daten über die für solche Auswirkungen verantwortlichen Expositionswerte, die Gründe für die Empfindlichkeit der einzelnen Personen, die möglichen biologischen Mechanismen *oder* die Prävalenz anfälliger Personen in den verschiedenen Bevölkerungen. Daher reichen die vorhandenen Erkenntnisse nicht aus, um Maßnahmen zur Identifizierung und zum Schutz einer höchstempfindlichen Untergruppe der Bevölkerung zu ergreifen.

In Zusammenhang mit extrem niederfrequenten elektromagnetischen Feldern kam der CSTEEN zu folgenden Ergebnissen:

- Kombinierte Analysen der epidemiologischen Studien über die Beziehung zwischen ELF-Exposition und Kinderleukämie deuten verstärkt auf einen möglichen Zusammenhang hin. Aufgrund einiger Widersprüche bei den Expositionsmessungen und mangels anderer Kriterien, die häufig zur Beurteilung von Kausalität verwendet werden (insbesondere eine plausible Erklärung der zugrundeliegenden biologischen Mechanismen, siehe oben) kann dieser Zusammenhang jedoch nicht als kausal gelten. Daher sind die Gesamtergebnisse im Hinblick auf die Rolle von 50/60 Hz-Magnetfeldern bei Kinderleukämie als unzureichend (*limited*) anzusehen\* (\*).
- Diese Auswirkungen, wenn überhaupt, beschränken sich scheinbar auf Expositionswerte über 0,4  $\mu$ T. In europäischen Ländern ist der Anteil der Kinder, die solchen Werten gegenüber exponiert sind, weniger als 1 %. Wenn man annimmt, dass dieses Risiko unter den Exponierten doppelt so hoch ist, so entspräche dies in der Gesamtbevölkerung einer Erhöhung der Kinderleukämie-Inzidenz von ungefähr weniger als 1%. Dies wird dadurch relativiert, dass in europäischen Ländern die Leukämieinzidenz etwa 45 pro Million Kinder (im Alter von 0-14 Jahren) beträgt.
- Die Frage, ob die empfohlenen Expositionsgrenzen für 50/60 Hz-Magnetfelder (12) geändert werden sollten, ist ein Problem für Risikomanager und geht über die Kompetenzen des CSTEEN hinaus.
- Es liegen keine überzeugenden Hinweise für andere krebserregende Auswirkungen durch ELF auf Kinder oder Erwachsene vor. Die in diesem Zusammenhang verfügbaren Informationen geben keinen Anlass zum Überdenken der Expositionsgrenzen.
- Berichte über möglicherweise überempfindliche Personen müssen bestätigt werden und können nicht als Grundlage für einen Änderungsvorschlag hinsichtlich der Expositionsgrenzen dienen.

\* (\*) Dieser Begriff wird gemäß der Definition der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC) verwendet, d.h. "Eine positive Verbindung wurde festgestellt zwischen der Exposition gegenüber der Einwirkung... für die eine kausale Interpretation als glaubhaft gilt, jedoch Zufall, Verzerrungs- oder Verwechslungsfaktoren nicht mit hinreichender Zuverlässigkeit vollständig ausgeschlossen werden konnten". Der CSTEEN ist sich wohl bewusst, dass die IARC kürzlich auf dieser Grundlage extrem niederfrequente Magnetfelder als möglicherweise krebserregend für Menschen (Gruppe 2B) beurteilt, gestützt auf die Assoziation zwischen höheren ELF-Magnetfeldern in Wohngebieten und einem höheren Kinderleukämie-Risiko.

### **Antwort auf Frage B:**

- Auf der Grundlage der zum Zeitpunkt der Antwort auf dieses Ersuchen um Stellungnahme vorhandenen Informationen verfügt der Ausschuss über unzureichende wissenschaftliche Erkenntnisse in Zusammenhang mit thermischen und nichtthermischen Auswirkungen, um Alternativen zum Technischen Anhang der Empfehlung des Rates vorzuschlagen, in der die Basisgrenzwerte und die Referenzwerte zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber nichtionisierenden Strahlungsquellen festgelegt sind, ausgehend von den vom Internationalen Ausschuss für nichtionisierende Strahlungen veröffentlichten Leitlinien.

### **Anmerkung**

Der CSTEE wird in der Folge Empfehlungen für Forschungsprioritäten zur Aufhebung der aus der hier vorgelegten Zusammenfassung ersichtlich gewordenen kritischen Wissensmängel abgeben.

## Literatur

1. Opinion of the Scientific Steering Committee (SSC) on health effects of electromagnetic fields (EMF) dated 25-26 June 1998
2. Bradford Hill: A short textbook of medical statistics 11<sup>th</sup> ed. Edward Arnold London Melbourne Auckland 1984
3. IEGMP Independent Expert Group on Mobile Phones and Health , c/o National Radiological Protection Board, Chilton, Didcot UK 2000 ("Stewart Report" [www.iegml2.org.uk](http://www.iegml2.org.uk))
4. Elwood JM A critical review of epidemiological studies of radiofrequency exposure and human cancers. Environ Health Perspect 1999; 107 (Suppl.1) 155-168
5. ARPANSA Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (in press) Maximum Exposure Levels to Radiofrequency Fields -3 kHz to 300 GHz, Annex 3: Epidemiological studies of exposure to radiofrequencies and human health, Sydney.
6. Brusick D, Albertini R, McRee D, Peterson D, Williams G, Hanawalt P, Preston J ( 1998). Genotoxicity of radiofrequency radiation. DNA/Genetox Expert Panel. Environ Mol Mutag 32: 1-16)
7. Repacholi MH, Basten A, Gebiski V, Noonan D, Finnie J, Harris AW Lymphomas in E mu-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed MHz electromagnetic fields. Radiat Res 1997; 147:631-640
8. Royal Society of Canada 1999, "A review of the potential health risks of radiofrequency fields from wireless telecommunication devices" *An Expert Panel Report prepared at the request of the Royal Society of Canada for Health Canada*, Ottawa, Royal Society of Canada, RSC.EPR 99-1.
9. NRPB ELF electromagnetic fields and the risk of cancer, Report of an Advisory Group on non-ionising radiation. Documents of the NRPB, vol. 12, # 1, National Radiological Protection Board National Radiological Protection Board, Chilton, Didcot UK 2001 ("Doll Report")
10. Ahlbom A, Day N, Feychting M et al A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia Br J Cancer 2000;83:692-69
11. Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT et al. A pooled analysis of magnetic fields, wire codes and childhood leukaemia Epidemiology 2000 11 :624-634
12. ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz), Health Physics 1998 74: 494-522.

**Anhang 1**

	<b>IONISIERENDE STRAHLUNG</b>		
HZ $3 \times 10^{15}$			
<b>NICHT IONI- SIE- RENDE STRAH- LUNG</b>	UV	STERILISIERUNG	
	SICHTBAR	LASER LAMPEN	
	INFRAROT	THERMISCHE QUELLEN FERNBEDIENUNGEN	
	RADIO- FREQUENZ	MIKRO- WELLEN	RADARS MIKROWELLEN-DIATHERMIE MOBILTELEFON MIKROWELLENHERD FUNKVERBINDUNGEN
	FREQUENZ		TV- UND RUNDFUNKSENDER RADIOFREQUENZ-THERAPIE AMATEURFUNK RF-LÖTEN INDUKTIONSSHEIZGERÄTE
	NIEDER- FREQUENZ		METALLENDETEKTOREN DISPLAYGERÄTE MAGNETTHERAPIE HAUSHALTSGERÄTE STROMLEITUNGEN TELEFONLEITUNGEN
$3 \times 10^{14}$			
$3 \times 10^{11}$			
$3 \times 10^8$			
$3 \times 10^4$			
$3 \times 10^1$			
0	<b>STATISCHE FELDER</b>		
	MAGNETRESONANZ ELEKTROLYSE		