

Die Ursprünge der US-amerikanischen Sicherheitsstandards für Mikrowellenstrahlung

Nicholas H. Steneck, Harold J. Cook,

Arthur J. Vander, Gordon L. Kane

Deutsche Übersetzung von Katharina Gustavs

SCIENCE, VOL. 208, 13 JUNE 1980

Zu Beginn unserer Untersuchung haben wir alle relevanten Veröffentlichungen ausfindig gemacht. Durch Telefongespräche, Fragebögen und persönliche Interviews haben wir dann die Schritte nachvollzogen, die unternommen wurden, die wissenschaftlichen Informationen aus der veröffentlichten Literatur zur Untermauerung des Standards einzusetzen. Unsere Bemühungen wurden durch die umfangreichen unveröffentlichten Dokumente, die wir im Zuge unserer Forschung ausgegraben haben, großartig unterstützt.

Die Festlegung des Standards

Die Hauptereignisse, die zur Verabschiedung von C95.1 führten, haben ihren Ursprung in den frühen 1940er Jahren. Das *Bureau of Ships* der US-Marine reagierte während des 2. Weltkriegs auf Probleme mit dem Kampfegeist der Truppen, die durch die weit verbreitete Angst vor den Auswirkungen des Radars ausgelöst worden waren, indem es bereits Mitte 1942 sein *Naval Research Laboratory (NRL)* damit beauftragte, Informationen über mögliche schädliche Wirkungen der Mikrowellenstrahlung vorzulegen. Die daraufhin in Auftrag gegebenen Studien vom NRL (3), dem *National Defense Research Council (Division 14)*, dem *Aero Medical Laboratory of the Air Technical Service Command* und dem *Army Air Field* in Boca Raton, Florida (4), fanden keine nachteiligen Wirkungen. Nach Meinung derer, die diese Untersuchungen durchgeführt hatten, gab es keinen Grund zur Sorge. Dementsprechend gab es für die restliche Kriegszeit zahlreiche Anordnungen, die im Fall einer anhaltenden Überexposition zur Vorsicht mahnten, aber es wurden keine allgemeinen Richtlinien erlassen. Im Kontext des Kriegsgeschehens wurden die Mikrowellen des Radars grundsätzlich als nützlich eingestuft.

Als der Krieg dann zu Ende war, wurden die im Krieg entwickelten Mikrowellengeräte wie z.B. das *Raytheon Microtherm* medizinischen Forschern für Untersuchungen und die Weiterentwicklung der Diathermie (Behandlung durch selektive Erwärmung des Körpers mit HF-Strahlung) zur Verfügung gestellt. Das Interesse an der therapeutischen Nutzung dieser Radiowellen (inzwischen wurden Mikrowellen verwendet) verdrängte daraufhin das Aufspüren von Risiken und die Notwendigkeit eines Standards wurde ignoriert. Noch bis in die 1950er Jahre waren die meisten Mediziner der Überzeugung, dass Mikrowellen, wenn sie mit Bedacht angewendet werden, „eine scheinbar unbedenkliche, bequeme und angenehme Art der lokalen Erwärmung für Gewebe“ (5) darstellen.

Alle Autoren sind von der Universität Michigan, Ann Arbor 48109. Nicholas H. Steneck ist a.o. Professor für Geschichte; Harold J. Cook, Doktorand im Fachbereich Geschichte; Arthur J. Vander, Professor für Physiologie und Gordon L. Kane, Professor für Physik.

Die Verfahren, die zur Grenzwertfestlegung für die menschliche Exposition gegenüber Fremdstoffen und Strahlung gewählt werden, richten sich kaum nach irgendwelchen Idealen. Die wissenschaftlichen Daten, die im Entscheidungsprozess

Grenzwert für die unbedenkliche Höchstexposition gegenüber Mikrowellenstrahlung geführt hat (*US-Standard C95.1-1966*, der im weiteren Text einfach mit C95.1 bezeichnet wird) (1).

Die Grenzwertfestlegung für Mikrowellen-

Zusammenfassung. *In der vorliegenden Arbeit werden die wissenschaftlichen Forschungsergebnisse und Wertvorstellungen analysiert, die auf den politischen Entscheidungsprozess, der zur Verabschiedung des US-Standards für Mikrowellenexposition von 1966 geführt hat, Einfluss genommen haben. Diese Analyse dient als Grundlage für das Verständnis der Probleme, mit denen diejenigen, die Grenzwerte festlegen, konfrontiert sind. Es wurde keine Mühe gescheut, die komplexen Motivationen zu entschlüsseln, die der Verabschiedung dieses Standards zugrunde lagen. Aufgrund der Erfahrungen in der Vergangenheit schlagen die Autoren vor, dass das Festlegen von Grenzwerten von der wissenschaftlichen Grundlagenforschung getrennt gehalten werden sollte und dass kontradiktorische Verfahren nur in letzter Instanz benutzt werden sollten, um für einen vorliegenden Standardentwurf einen Konsens zu finden.*

herangezogen werden, führen selten zu nur einer Interpretationsmöglichkeit und häufig bieten sie auch keine eindeutige Grenzlinie (wie zwischen gefährlichen und unbedenklichen Expositionsniveaus), die die Standards vermitteln wollen. Die Verfahren, die eingesetzt werden, um die wissenschaftlichen Daten und gesellschaftlichen Anforderungen (z.B. Nutzen-Risiko-Analyse oder Konferenzen) in Einklang zu bringen, sind selbst Gegenstand der Diskussion. Kurz gesagt: Das Festlegen von Grenzwerten ist eine komplexe Angelegenheit, die häufig ebenso viele Schwierigkeiten aufwirft wie sie löst. Selten werden die zu lösenden Probleme tatsächlich beseitigt.

Wenn man bedenkt, mit wie vielen Problemen das Festlegen von biologischen Expositionsrichtlinien behaftet ist, dann kann es hilfreich sein, Erfahrungen aus der Vergangenheit zu betrachten und Verallgemeinerungen zu erkennen, die sich unter Umständen auf die Gegenwart anwenden lassen. Zu diesem Zweck haben wir die Geschichte des Entscheidungsprozesses untersucht, der 1966 zur Festlegung von 10 Milliwatt pro Quadratcentimeter als

strahlung ist aus mehreren Gründen ein ideales Fallbeispiel. Erstens verkörpert es alle Elemente, die das Festlegen von Grenzwerten so problematisch machen wie z.B. umstrittene oder unzureichende wissenschaftliche Daten, starke Interessen, unklare politische Verhältnisse, nicht repräsentierte Werte und so weiter. Zweitens handelt es sich um Ereignisse, die nicht zu weit zurückliegen, so dass die Mehrheit der Hauptbeteiligten konsultiert werden kann und der Zugang zu den erhaltenen schriftlichen Dokumenten gegeben ist. Drittens bestehen zwischen der Geschichte der Grenzwertfestlegung für Mikrowellenstrahlung und der Gegenwart direkte und reale Verbindungen, da sie bis heute weiterhin kontrovers diskutiert wird. Und da auf dem Gebiet der Mikrowellenstrahlung historische Betrachtungen Entscheidungen beeinflussen (2), sind wir schließlich davon überzeugt, dass unsere Untersuchung einen wichtigen Beitrag zur gegenwärtigen Neubewertung des Standards für Mikrowellenexposition leisten kann, und vielleicht auch zu anderen Standards.

Obleich es nach dem Krieg kaum aktive Forschung zur Mikrowellenstrahlung und ihren Risiken gab, wurden doch einige entdeckt. Im Jahr 1948 wurden die ersten schädlichen Wirkungen von Forschern der Mayo-Klinik erhärtet, die einzig und allein durch Mikrowellenexposition hervorgerufen wurden: Kataraktbildung bei Hunden (6). Zur gleichen Zeit berichteten vom Militär unterstützte Forscher ebenfalls von einem möglichen Zusammenhang zwischen Mikrowellen, Katarakten und Hodendegeneration bei Hunden (7). Diese Forschung wurde an der Universität Iowa im Auftrag von *Collins Radio* in Cedar Rapids, Iowa, durchgeführt, wobei der Auftraggeber ein Subunternehmer der *Rand Corporation* war. Jedoch bestand nur sehr geringes Interesse an diesen Studien, insbesondere seitens der geldgebenden Behörden. Die *Rand Corporation* zum Beispiel entzog dem Iowa-Projekt bereits im Jahr 1949 seine Unterstützung (8).

Das Interesse an den biologischen Wirkungen von Mikrowellen wurde im Jahr 1953 wieder entfacht, als man sich anfang über die Krankheitsberichte von Radar-Bedienungspersonal und Servicetechnikern Sorgen zu machen. Im Februar 1953 verfasste John T. McLaughlin, ein medizinischer Berater für die *Hughes Aircraft Corporation*, einen an das Militär adressierten Bericht, in dem er folgende mögliche Wirkungen auflistete: purpura hemorrhagica (innere Blutungen), Leukämie, Katarakte, Kopfschmerzen, Hirntumoren, Herzbeschwerden und Gelbsucht (9, S. 56 ff.). Auf diesen Bericht wurde ziemlich prompt reagiert. Das *Air Research and Development Command (ARDC)* berief umgehend eine Sitzung ein und am 28. April 1953 wurde an das Forschungszentrum Cambridge eine Direktive mit der Anweisung entsandt, den Forschungsauftrag zu erweitern und „die Erforschung und Entstehung der biologischen Wirkungen der Mikrowellenenergie mit einzubeziehen.“ Ein Teil dieser Forschung sollte sich darauf konzentrieren, „zulässige Strahlendosen für einmalige sowie wiederholte Mikrowellenexpositionen zu bestimmen.“ Am Tag darauf berief die Marine eine weitere Sitzung unter Kommandeur David E. Goldman ein, um unter anderen Problemen die Festlegung von „Toleranzdosen“ zu besprechen (10). Mit der Schwierigkeit konfrontiert, dass nur wenige empirische Daten zur Festlegung von Toleranzdosen vorlagen, versuchten die Teilnehmer der Marinekonferenz dennoch die Strahlenmenge zu bestimmen, die der Körper unter Normalbedingungen aushalten könnte, indem sie ihren Berechnungen Vermutungen über die Art der Interaktionen zwischen Mikrowellen und lebendigem Gewebe zugrunde legten. Kenneth S. Cole, Direktor des *Naval Medical Research Institute*, wagte einen ersten Vorstoß in diese Richtung, indem er vorschlug - „falls er sich

beim Dezimal komma nicht versehen hätte“ -, dass 1 W/cm^2 eine gefährliche Strahlungsintensität sei, da ein 70 kg schwerer Mensch, der eine Körperoberfläche von ungefähr 3000 cm^2 (Coles Angabe) aufweist und ungefähr ein Drittel der Strahlung einer HF-Quelle absorbiert, in diesem Fall fast so viel Energie aufnehmen würde, als er unter normalen Bedingungen durch seine normalen Körperfunktionen ausscheiden kann (11). Nachdem diese Schätzung und die Schlussfolgerungen, die aus den wenigen durchgeführten Experimenten gezogen werden konnten, in die Überlegungen mit einbezogen worden waren, einigte sich die Gruppe darauf, dass, wenn man einen Sicherheitsfaktor von 10 verwenden würde, 0.1 W/cm^2 dann eine zumutbare erste Näherung darstellt, womit zwischen unbedenklichen und gefährlichen Expositionen eine Grenzlinie gezogen wäre. Mit einigen Gegenstimmen [mehrere Mitglieder strebten höhere oder niedrigere erste Näherungen an (12)] wurde diese Richtlinie verabschiedet.

Dass man sich tatsächlich um mehr als nur eine Dezimalstelle versehen hatte, wurde schon bald darauf von einem der Teilnehmer, Herman Schwan, einem Biophysiker an der *Moore School of Engineering*, entdeckt. In einem an das *Office of Naval Research* adressierten Memorandum, schätzte Schwan, dass die Wärmemenge, die der Körper unter Normalbedingungen ableiten kann, 100 W und nicht 150 W beträgt und dass die absorbierende Körperoberfläche in Wirklichkeit $20,000 \text{ cm}^2$ beträgt. Er hielt auch nichts von dem mit einem Drittel bezifferten Absorptionsfaktor. Nach diesen neuen Angaben schätzte er den normalen Wärmeverlust auf 0.005 W/cm^2 und schloss daraus, dass „eine Strahlungsdichte von 0.1 W/cm^2 im UHF-Bereich zwanzigmal mehr Energie pro cm^2 bestrahlter Oberfläche liefert, als der Körper unter normalen Bedingungen freisetzt. Daraus ergibt sich, dass der vorgeschlagene Wert [0.1 W/cm^2] nicht als unbedenkliche Toleranzdosis gelten kann. Ein Wert von 0.01 W/cm^2 scheint umsichtiger zu sein“ (13). Als Folge von diesem Vorschlag wurde 0.1 W/cm^2 schnellstens abgeschafft und in allen offiziellen Dokumenten mit 10 mW/cm^2 ersetzt, ein Dosiswert, der über ein Jahrzehnt später die Grundlage für C95.1 bilden sollte.

Ungefähr zur gleichen Zeit, als die ersten Richtlinien durch das Militär festgelegt wurden, beriefen zwei Hauptauftragnehmer des Militärs, *Bell Telephone Laboratories* und *General Electric*, auch Sitzungen ein, um für ihr Personal Expositionsrichtlinien gegenüber Mikrowellenstrahlung festzulegen. Im Unterschied zu ihren Kollegen aus dem Militär, legten die Teilnehmer der von der Industrie gesponserten Sitzungen mehr Gewicht auf die empirischen Daten, wobei sie einem Bericht aus dem Jahr 1952 von

Frederic Hirsch von der *Sandia Corporation* ganz besondere Aufmerksamkeit schenkten, denn dort wurde die Entstehung einer Linsentrübung in den Augen eines Laborassistenten beschrieben, der regelmäßig HF-Strahlungsdichten von schätzungsweise 0.1 W/cm^2 ausgesetzt gewesen war (14). Da die Forscher bei *General Electric* diese Daten, die auf der Marinekonferenz nur im Vorübergehen erwähnt worden waren, in ihre Überlegungen mit einbezogen, trafen sie am 1. Juni 1954 die Entscheidung, dass, wenn Schaden bei 0.1 W/cm^2 auftreten könne, ein Sicherheitsfaktor von 100 verwendet werden sollte, und legten die Expositionsrichtlinien auf 1 mW/cm^2 fest (15). Im November 1953 nahm die Hauptsicherheitskommission von *Bell Telephone* eine noch konservativere Haltung ein und verabschiedete eine Richtlinie mit 0.1 mW/cm^2 , der ein Sicherheitsfaktor von 1000 zugrunde lag (16). Allerdings waren sich sowohl die Industrie als auch das Militär Ende 1954 darüber einig, dass 0.1 W/cm^2 einen bekannten Schwellenwert darstellte, ab welchem es zu Schädigungen kommen kann. Der Punkt, an dem die Meinungen auseinandergingen, betraf die Größe des Sicherheitsspielraums, die zur Anwendung gebracht werden sollte.

Die Richtlinien, die vom Militär und der Industrie nach den erneuten Bedenken zu Beginn 1953 festgelegt worden waren, waren nicht dazu bestimmt, Langzeitlösungen für die Probleme zu bieten, die bei der Bestimmung von unbedenklichen Expositions niveaus für Mikrowellen auftreten. Die Teilnehmer der Marinekonferenz betonten mehrfach, dass mehr Daten notwendig sind (17), eine Tatsache, die seitdem immer wieder hervorgehoben wurde. Stattdessen waren die anfänglichen Richtlinien dazu gedacht, die beste „konservative“ Schätzung der unbedenklichen Expositions niveaus zu liefern, die man zur Festlegung von Grenzwerten benutzen konnte, bis genügend Daten zur Verfügung stehen würden, um diese zu bestätigen oder abzulehnen. Demzufolge begann das Militär, der größte Interessent an der Entwicklung der Mikrowellentechnologie, Forschung zu den biologischen Wirkungen der Mikrowellenstrahlung zu sponsern.

Während der Mitte der 1950er Jahre wurde der größte Teil dieser Forschung an Militäreinrichtungen durchgeführt, wobei die Hauptverantwortung für diese Forschungsrichtung der Luftwaffe übertragen worden war. Der Grund für diese Verantwortungszuweisung war eindeutig: Die Forschung zu diesen Wirkungen, hatte man das Gefühl, sollte am besten in Verbindung mit der Entwicklung der neuesten Mikrowellentechnologie durchgeführt werden. Innerhalb der Luftwaffe wurde Ende 1954 die Verantwortung vom Forschungszentrum Cambridge (das im Jahr 1953 damit

beauftragt worden war, das Problem zu untersuchen) auf die *School of Aviation Medicine*, Randolph Field, übertragen, und von dort aus auf ARDCs *Rome Air Development Center* bei Rome, New York, wo Oberst George M. Knauf 1956 ein gewaltiges Forschungsprojekt auf die Beine stellte, das sich über vier Jahre erstreckte und später unter dem Namen Tri-Service-Programm bekannt werden sollte (18).

Es war das Ziel dieses Programms, so viele unbekannte Faktoren der Mikrowellenstrahlung wie möglich abzuklären. Das bedeutete, dass (i) die Mechanismen der Interaktionen zwischen Mikrowellen und Gewebe untersucht werden sollten, (ii) die Suche nach dem Ausmaß der biologischen Wirkungen so weit wie möglich gefasst werden sollte und (iii) der Versuch unternommen werden sollte, empirische Daten über die Strahlungsintensitäten zu sammeln, die man als unbedenklich (oder gefährlich) betrachten konnte. Das Militär hegte die Hoffnung, mit dem Tri-Service-Programm ein Ziel zu erreichen, das durch J. W. Clark (19) von *Collins Radio* im Jahr 1950 angeregt worden war. Als Antwort auf die ersten Berichte über Schädigungen hatte er vorgeschlagen, dass „es im Lichte dieser Beobachtungen sehr erstrebenswert wäre, Standards zum Schutz des Bedienungs-personals, das hohen Strahlungsintensitäten ausgesetzt ist, festzulegen, bevor irgendjemand verletzt würde. Wir haben hier eine ganz außergewöhnliche Chance, den Brunnen abzudecken, bevor das Kind in den Brunnen fällt, und nicht erst danach“ (19, S. 3). Leider nahmen die Dinge hernach einen anderen Lauf. Trotz gegenteiliger Behauptungen hat sich das Tri-Service-Programm in keiner Hinsicht dem Problem des Standards zugewandt. Die Informationen, die es vorlegte, waren eben nur das: Informationen, obgleich die Bürde, Verfahren zur Grenzwertfestlegung festzusetzen, zunehmend auf der Marine lastete, und zu einem viel geringeren Maß auf einigen Teilen der Industrie.

Bereits am 31. August 1957, weniger als ein Jahr nach der ersten Tri-Service-Konferenz, gab der oberste Kommandeur der Marineoperationen auf Anweisung einer „Ad-hoc Arbeitsgruppe“ innerhalb des Verteidigungsministeriums dem *Bureau of Ships* den Befehl, für die Exposition durch Mikrowellenstrahlung Schadenstests durchzuführen. Bis zum 4. Juni 1958 war dieser Befehl durch das Verteidigungsministerium bestätigt worden, und zwar wurde er dann um die Verantwortung für die Festlegung eines Standards erweitert. Im Dezember 1958 wurde das Mikrowellenproblem in drei Teilbereiche unterteilt, Treibstoff, Personal und Geräte, wobei jeder einzelne dieser Bereiche weiterhin dem *Bureau of Ships* unterstand. Der Teilbereich „Personal“, zu dem die tatsächliche Festlegung des

Standards gehörte, wurde dann wieder dem ARDC in Rome, New York, übertragen, wodurch wenigstens dieser Teil des Tri-Service-Programms zum biologischen Risiko mehr oder weniger unter die Kontrolle der Marine fiel. Am 4. Mai 1959 erweiterte das *Bureau of Ships* die Basis seiner Bemühungen um einen Standard, indem es sich an die *American Standards Association (ASA)* wandte, wodurch die Mitwirkung der Industrie sichergestellt werden konnte. Einen Monat später sagte die ASA (heute das *U.S. Standards Institute*) formell zu, sich an dem Verfahren zur Festlegung eines Standards zu beteiligen, indem sie ein Querschnitt-Komitee mit der Bezeichnung C95 einrichtete, das unter der gemeinsamen Schirmherrschaft des *Bureau of Ships* und *American Institute of Electrical Engineers (AIEE)* stand (20).

Trotz wiederholter Nachfragen von Seiten der Marine bewegte sich das ASA-Komitee C95 nur sehr langsam auf sein Ziel zu, und zuweilen mit ziemlichem Widerstreben. Es brauchte sechs Monate, um einen Vorsitzenden zu wählen (Herman Schwan), und seine Wahl wurde von der AIEE nur widerwillig akzeptiert (21). Auf der ersten Sitzung (15. Februar 1960) wurde beschlossen, dass innerhalb eines Jahres die sechs einberufenen Unterkomitees ihre Erstberichte vorlegen sollten. Das Komitee trat jedoch erst wieder am 24. April 1962 zusammen, um die gemachten Fortschritte zu besprechen. In der Zwischenzeit hatte das *Bureau of Ships* die Hauptverantwortung für die Aufsicht über C95 übernommen, wobei AIEE zum Mitsponsor und „Berater“ wurde. Danach begann C95 regelmäßiger zusammenzukommen, was vorwiegend auf die Bemühungen seines Vorsitzenden Schwan zurückzuführen ist. Bis zum Jahr 1966 wurden den Mitgliedern drei Berichte seiner Unterkomitees, einschließlich des Berichts von Unterkomitee IV zum Standard, zur Abstimmung vorgelegt.

Nach 1960 wurde das Unterkomitee IV die wichtigste und sichtbarste Gruppe, die sich mit der Festlegung eines Standards für die Mikrowellenstrahlung beschäftigte. Ebenso wie das Hauptkomitee näherte sich das Unterkomitee IV seinem Ziel auch nur im Schnecken-tempo. Während der ersten beiden Jahre seines Bestehens, als es sich unter dem Vorsitz von Oberst Knauf befand, brachte das Komitee kaum etwas zustande. An einem Punkt war einmal die Rede davon, die Aufgabe einer umfangreichen Literaturrecherche, die dann als Grundlage für die Festlegung eines Standards dienen würde, als Unterauftrag (an W. B. Deichmann von der Universität Miami) weiterzugeben. Das Projekt wurde nie finanziert und es wurde nichts daraus. Mitte 1962 wurde Schwan und dem Schriftführer von C95 klar, dass das Unterkomitee IV Gefahr lief zu kollabieren, da Knaufs Verpflichtungen auf dem

Militärstützpunkt Cape Canaveral ihn daran hinderten, dem Unterkomitee die aktive Führung angedeihen zu lassen, die notwendig ist, um einen Standard zu erschaffen. Daraufhin übernahm Schwan zur dritten Sitzung des C95, am 20. November 1962, den Vorsitz des Unterkomitees IV (zusätzlich zu dem von C95) und besetzte es mit einer kleinen aber aktiven Gruppe, einschließlich Thomas Ely, David Goldman, William Mumford und R. D. Lighty. Bevor ein Jahr nach der Übernahme durch Schwan vergangen war, lag bereits der erste Entwurf von C95.1 vor und wurde zwecks Feedback und Vorschlägen unter den Mitgliedern verteilt, bevor über die Endfassung abgestimmt wurde und diese dann der gesamten Mitgliedschaft von C95 zur formellen Zustimmung vorgelegt wurde.

Selbst mit dem Entwurf von C95.1 war die Arbeit des Unterkomitees IV noch lange nicht getan. Der Prozess, die Zustimmung zu dem Standard zu erlangen, erwies sich als schwierig, und zwar nicht weil es etwa Einwände gegeben hätte, sondern weil einige Mitglieder von C95 bei der Abstimmung sehr saumselig waren. (Die Satzung der ASA schreibt vor, dass für die Verabschiedung eines Standards eine Dreiviertelmehrheit der aktiven Wahlberechtigten desjenigen Komitees benötigt wird, das für die Erstellung des entsprechenden Standards einberufen wurde.) Im Januar 1965, acht Monate nachdem die Stimmzettel ausgeschickt worden waren und sieben Monate nach dem letzten Abgabetermin zum Einsenden der Stimmzettel, hatten nur 31 von den 52 Mitgliedern gewählt. Schließlich wurde die Anzahl der wahlberechtigten Mitglieder von C95 auf 41 beschränkt, damit das Komitee die Abstimmung mit 38 Jastimmen und 3 „nicht zurückgeschickten“, Stimmzetteln abschließen konnte. Der Komiteebericht wurde an die ASA weitergeleitet, die diesen dann am 9. November 1966 – ein Jahr und wenige Tage nachdem Schwan seinen Vorsitz des C95 abgegeben hatte – als *U.S. Standard C95.1-1966* anerkannte.

Dass die Anerkennung des C95.1 das Problem eines Standards für Mikrowellenstrahlung nicht beilegen würde, wurde fast umgehend deutlich. Im Dezember 1966 schrieb Glenn Heimer an John Gerling, Präsident des neu begründeten *International Microwave Power Institute*, um ihm mitzuteilen, dass auf der letzten Sitzung des C95 darauf hingewiesen wurde, dass noch ein zweiter Standard für die allgemeine Bevölkerung notwendig sei; d.h. für diejenigen, die regelmäßig aber nicht berufsbedingt Mikrowellenstrahlung ausgesetzt sein könnten. Heimer schlug vor, dass dieser zweite Standard „für Dauerbestrahlungen in der Nähe von 1 mW/cm² angesiedelt werden könnte (22). Ungefähr zur gleichen Zeit sandte der *U.S. Army*

Electronics Command in Fort Monmouth, New Jersey, ein Schreiben an das *Naval Ship Engineering Center*, in dem zu verstehen gegeben wurde, dass „C95.1-1966 nicht zugestimmt“ werden könne, hauptsächlich aufgrund der Schwierigkeiten, die sich bei seiner Umsetzung ergeben würden (23).

Daher war mit der Verabschiedung von C95.1 die Diskussion noch lange nicht beendet. Stattdessen stellte sie den Beginn einer neuen Ära dar, in der sich die Diskussion das erste Mal in aller Öffentlichkeit um einen bestimmten Schätzwert für den Bereich einer „unbedenklichen“ Exposition drehte.

Die wissenschaftliche Grundlage des Problems

C95.1 wurde mit dem Ziel ausgearbeitet und verabschiedet, für beruflich exponierte (nicht die allgemeine Bevölkerung) die bestmögliche Näherung von unbedenklichen Expositionsniveaus für Mikrowellenstrahlung festzulegen. Die wissenschaftlichen Daten, die dafür als Grundlage dienen, können in drei Gruppen unterteilt werden: (i) klinische Studien und Untersuchungen des Personals, (ii) Tierexperimente und (iii) Forschung zu Anomalie-Effekten. Im Hinblick auf diese Daten stellt sich jedoch die große Frage, ob zu dem Zeitpunkt, als C95.1 festgelegt wurde, ausreichend Befunde vorgelegen haben, um die Anerkennung dieses Standards zu rechtfertigen oder Zweifel über seine Richtigkeit aufkommen zu lassen (24)?

Bei der am schwersten definierbaren und unter Umständen jedoch nützlichsten Datengruppe handelt es sich um die Untersuchungen an denjenigen des Personals, die der Mikrowellenstrahlung von einem Radar ausgesetzt sind. Dieser Umstand wurde bereits zu Beginn des 2. Weltkriegs erkannt und führte zu zwei Studien, deren Ergebnisse keinen Anlass zur Sorge gaben. In seiner Untersuchung von 1943 schloss Daily (3), dass „es keinen klinischen Beweis dafür gäbe, dass das Bedienungspersonal Schaden genommen hätte.“ Und in ihrer Untersuchung von 1945 fanden Lidman und Cohn (25) „keinen Beweis“ für Abnormitäten.

Zusammengefasst heißt das, dass die Untersuchungen des Personals, die während des 2. Weltkriegs durchgeführt wurden, vorwiegend dazu führten, die Gerüchte über Gesundheitsgefahren, die eventuell mit Radaranwendungen in Verbindung stünden, zu zerstreuen.

Der Einfluss, den diese Studien in den darauf folgenden Jahren ausgeübt haben, kann sicherlich nicht dem Gewicht ihrer wissenschaftlichen Beweiskraft zugeschrieben werden, denn es handelte sich um sehr

oberflächliche Untersuchungen. In der Untersuchung von Daily sind überhaupt keine Angaben zur Urinanalyse oder zum Blutbild zu finden. Hinzu kommt, dass die Schlussfolgerung, dass es „keine signifikanten Veränderungen“ gegeben hätte, aufgrund der vorgelegten Daten gar nicht gerechtfertigt ist. In den exponierten Personen des Bedienungspersonals wurde ein statistisch signifikanter Anstieg der Konzentration unreifer roter Blutkörperchen gefunden, und auch eine erhöhte Häufigkeit von Kopfschmerzen. Wenn also die Forscher daran Interesse gehabt hätten, Gründe für umfangreichere Untersuchungen des Bedienungspersonals zu finden, hätte man ganz offensichtlich Argumente dafür finden können.

Die Unzulänglichkeiten der ersten Untersuchungen an Personen des Bedienungspersonals wurden offensichtlich, sobald das Mikrowellenproblem zu Beginn der 1950er Jahre wieder auftauchte. McLaughlin stellte fest, dass „die ersten Untersuchungen, die von der Marine und der AAF [Luftwaffe] durchgeführt wurden, eher begrenzt waren, da die Teststärke sehr gering, die Arbeit mengenmäßig zu klein und die Kontrollgruppen unzureichend waren. Daher kann man auf diese Untersuchungen nicht als eine wissenschaftliche Grundlage zurückgreifen, um mögliche Gesundheitsgefahren der Mikrowellenstrahlung zu bestimmen“ (9, S. 6.). Obwohl McLaughlin ständig nachhakte, verbesserte sich die Quantität oder Qualität dieser Untersuchungen nicht wesentlich. Das Thema kam auf der Marinekonferenz an mehreren Stellen zur Sprache, und dabei stand immer eindeutig fest, dass mehr Daten vonnöten seien (26). Auf der Konferenz gaben die Vertreter der Industrie zu Verstehen, dass „*Philco, General Electric* und *RCA Victor* alle stark daran interessiert sind zusammenzuarbeiten und alles tun wollen, was in ihren Kräften steht, aber sie warten alle darauf, dass jemand anderes den ersten Schritt tut“ (27). Trotz dieser Einsatzbereitschaft scheint der auf der Marinekonferenz geforderte Ansatz, mit einer „Cook's Tour“ das Ausmaß der Gefahren abschätzen zu wollen, nie in die Tat umgesetzt worden zu sein, denn nur eine Handvoll solcher Personaluntersuchungen wurden über die nächsten zehn Jahre in der Literatur veröffentlicht.

Die wenigen Personaluntersuchungen, die in der zweiten Hälfte der 1950er Jahre durchgeführt wurden, führten zu widersprüchlichen Ergebnissen. Anfang 1954 berichteten Forscher von *Lockheed Aircraft* über Blutabnormitäten, aber diese Befunde wurden in einem späteren Artikel als „Abweichung einer Interpretation durch einen Laborassistenten“ abgetan. Sobald man diesen Fehler eliminiert hatte, wurde in der Endfassung der Lockheed-Studie die

Schlussfolgerung gezogen, dass „die Besorgnis der Öffentlichkeit über die Wirkungen von stark erhöhter Mikrowellenenergie in der Umwelt nicht gerechtfertigt zu sein scheint“ (28). Milton Zaret, der gezielt nach Augenschäden suchte, war sich über die Unbedenklichkeit der Mikrowellen nicht so sicher. Obwohl er keine „Reduzierung der Sehschärfe aufgrund von Katarakten“ entdecken konnte, berichtete Zaret doch von einem „statistisch signifikanten Anstieg der Häufigkeit von erblichen Defekten der Augenlinse, Lumineszenz und frühzeitiger Linsentrübung“ (29, 30). Diese Veränderungen waren für Zaret Anlass genug, um seine Arbeit fortzusetzen und größere Populationen zu untersuchen.

Zusammengenommen führten die frühen Personaluntersuchungen zu keiner klaren Aussage über einen weiteren Handlungsbedarf. So „magere Daten der Humanstudien“, wie Michaelsons die Befunde zu bezeichnen pflegte, warfen mehr Fragen auf, als sie beantworteten konnten, und eigneten sich kaum zur Festlegung eines Standards (31, 32). Folglich handelte es sich bei den Befunden, auf deren Grundlage C95.1 schließlich beschlossen wurde, vorwiegend um Tierstudien und entsprechende biophysikalische Berechnungen.

Obleich die Tierstudien wesentlich umfangreicher waren und besser kontrolliert wurden als die Personaluntersuchungen (insbesondere während der Tri-Service-Ära), erbrachten auch diese keinen schlüssigen Beweis für oder gegen den empfohlenen Grenzwert von 10 mW/cm². Die Tiere wurden der Strahlung unter kontrollierten Bedingungen ausgesetzt und auf jegliche negative Wirkungen hin untersucht. Die Untersuchungsparameter wie z.B. Frequenz und Tierart wurden von den Mitgliedern des Tri-Service-Programms vorgeschrieben und die eigentlichen Untersuchungen wurden dann an Universitätsforscher als Untervertrag weitergegeben. Idealerweise hätte man anhand solcher kontrollierter Experimente bestimmen können sollen, ab welchem Expositionsniveau Schäden anfangen aufzutreten. Leider lassen sich biologische Systeme nicht immer so leicht den experimentellen Methoden unterwerfen.

Es gab zahlreiche Studien, in denen die Tiere Strahlungsintensitäten von mehr als 10 mW/cm² ausgesetzt wurden, ohne dass sie irgendwelche Anzeichen von irreversiblen Schäden gezeigt hätten. Forscher an der Staatsuniversität New York, Buffalo (damals Universität Buffalo) setzten Mikrowellen mit einer Pulsrate von 200 MHz und einer Strahlungsdichte von 100 mW/cm² ein. Dabei fanden sie keine okularen Veränderungen in Meerschweinchen, Hunden, Schafen oder Mäusen und in einer Kammer mit einer kontinuierlichen Strahlungsdichte von 50 bis 200 mW/cm² konnten sie vier

Generationen von Mäusen aufziehen. Forscher an der Universität Kalifornien, Berkeley, arbeiteten mit 3-cm-Mikrowellen und fanden, dass sich die Temperaturerhöhung bei Ratten unterhalb von 60 mW/cm² stabilisierte und sich die Tiere ohne merkliche negative Folgen erholten. Bei der Bestrahlung von Ratten mit Mikrowellen (Pulsrate 24.000 MHz) beobachteten Forscher an der Universität Miami keine Blutabnormitäten bei Strahlungsintensitäten von 6 bis 10 mW/cm² und die mittelgradigen Veränderungen des Hormonkreislaufs bei den Männchen, die bei 300 mW/cm² auftraten, schienen jedoch reversibel zu sein. Diese und andere Experimente bestärkten die Ansicht, dass Tiere, und daher vermutlich auch Menschen, Expositionen weit oberhalb von 10 mW/cm² tolerieren könnten, ohne einen ernsthaften oder dauerhaften Schaden zu erleiden. Einige Studien legten sogar nahe, dass sich Tiere an wiederholte Bestrahlungen anpassen könnten (33).

Die Bedeutung dieser Experimente für die Untermauerung der Unbedenklichkeit der vorgeschlagenen Richtlinie führte einige zu dem Schluss, dass das Tri-Service-Programm dieses Problem gelöst hätte. Zu Beginn der vierten und letzten Tri-Service-Konferenz war Oberst Knauf auch zu dieser Überzeugung gelangt, als er festhielt, dass „wir bis heute noch keine Forschungsdaten gesehen hätten, die unseren Glauben an die Richtigkeit dieses willkürlichen Sicherheitsstandards, den wir bereits vor etwa fünf Jahren befürwortet haben, erschüttern würden“ (34). Knauf äußerte diese seine Meinung vielfach im Verlauf der Verhandlungen, die zur Festlegung von C95.1 führten. In seiner rückblickenden Einschätzung der Tri-Service-Ära teilte Michaelson eine ähnliche Ansicht, wobei er feststellte, dass der wichtigste Beitrag, den das Programm geleistet habe, darin bestand, „den Sicherheitsstandard von 10 mW/cm² zu bestätigen“ (35). Andere, die auch auf die Forschung der 1950er Jahre zurückgeblieben haben, gingen sogar noch weiter. In einem Brief der *Raytheon Company* an den Senator G. Magnuson vom 31. August 1967 wurde argumentiert, dass das Tri-Service-Programm zu „drei grundlegenden Schlussfolgerungen“ geführt habe: Die biologischen Auswirkungen sind (i) thermischer Natur, (ii) nicht kumulativ und (iii) kaum von Bedeutung, da „der Mensch über ein integriertes Alarmsystem verfügt, das in Zusammenarbeit mit seiner Schmerzgrenze ihn vor thermischen Schäden schützt“ (36).

Obgleich diese Sichtweise weit verbreitet ist, wurde sie zum Ende der Tri-Service-Ära nicht einhellig vertreten. Es gab auch Zweifel an dem Stand der damaligen Mikrowellenforschung. Erstens waren die experimentellen Methoden so geartet, dass deren Ergebnisse selten reproduziert und häufig hinterfragt wurden. Zweitens waren Experimente durchgeführt worden, wo bei 10 mW/cm² oder ähnlichen Expositionsniveaus negative Auswirkungen beobachtet wurden, auch wenn diese Studien nicht so zahlreich waren wie diejenigen, die oberhalb dieses Schwellenwerts keine irreversiblen Schäden fanden. Drittens wurde von Anomalien berichtet, die die Ansicht untermauerten, dass Mechanismen mitbeteiligt sein könnten, die nichts mit Thermik zu tun haben, obgleich fast die gesamte Forschung vor 1966 von der Annahme ausging, dass nur mit thermischen Effekten zu rechnen sei.

Die technischen Mängel der ersten Tierstudien waren besonders in zwei Bereichen sehr auffällig. Erstens wurden in vielen der ersten Tierstudien keine Dosisangaben gemacht. Und selbst wenn Angaben gemacht wurden, dann bezogen die sich oft auf die Leistung der Strahlungsquelle und nicht auf die Feldstärke oder Absorption eines Gewebes. Die möglichen Unterschiede zwischen gepulster und kontinuierlicher Strahlung bei gleicher Leistungsflussdichte trugen zur weiteren Verwirrung bei. Zweitens gab es nur wenige Langzeitstudien für den Niedrigdosisbereich, obwohl sich die Exposition des Personals unter echten Bedingungen über lange Zeit erstreckte, und das bei sehr niedrigen Strahlungsintensitäten. In den meisten der frühen Experimente lagen die Strahlungsintensitäten weit über 10 mW/cm² und die Expositionsdauer betrug nur wenige Stunden oder Tage.

Diese Probleme wurden durchaus erkannt. Spätestens auf der vierten Tri-Service-Konferenz gab es Beiträge, die „Überlegungen zu der Messausrüstung der Experimente“ diskutierten, „...die darauf abzielten, die Messungen der biologischen Wirkungen von Mikrowellenenergie reproduzierbarer und quantitativer zu gestalten“ (37). Diese Beiträge brachten ganz unmissverständlich zum Ausdruck, dass die Mängel in der Durchführung der Experimente das volle Verständnis von den Expositionsniveaus, bei denen es zu Schädigungen kommen kann, verhinderten. Spätestens 1960, als das Tri-Service-Programm auslief, gab es Studien, in denen von gesundheitsschädlichen Wirkungen bei 10 mW/cm² oder in diesem Intensitätsbereich berichtet wurde. Forscher an der *School of Aerospace Medicine* fanden Hodengenerationen in Ratten bei Strahlungsintensitäten von nur 30 bis 40 mW/cm², ein Wert, der von Ely und Goldman (38) noch weiter auf 5 bis 10 mW/cm² gesenkt wurde. Bach and Lewis (39) berichteten von Hirnreaktionen bei Expositionsniveaus von 12 und 64 mW/cm², und später fand Bach (40) Veränderungen im Blutbild bei ungefähr 13 mW/cm². Das, zusammen mit der Tatsache, dass in Tierstudien vor 1960 meist mit Expositionen um 100 mW/cm² oder darüber gearbeitet wurde, konnte im günstigsten Fall als Evidenzmangel für Effekte im Niedrigdosisbereich gedeutet

werden und im schlimmsten Fall ernsthafte Zweifel über die Sicherheitszusagen solcher Expositionen aufkommen lassen (41).

Bei der dritten Evidenzart, die gegen die vorherrschende Sichtweise sprach, handelte es sich um Anomalien oder nicht thermische Wirkungen der Mikrowellenstrahlung. Untersuchungen in den 1920er Jahren deuteten bereits auf dieses Phänomen hin: Schereschewsky (42) beobachtete Auswirkungen von Ultrakurzwellen auf bösartige Tumoren in Mäusen und Schliephake (43) fand Wirkungen von Kondensatorfeldern auf Fliegen, Ratten und Mäusen; und in den 1930er Jahren war es eine Studie von Szvmonowski und Hicks (44) über die Schwächung von bakteriellen Giftstoffen. In den 1940er Jahren waren viele dieser Befunde jedoch entweder widerlegt oder von den Autoren selbst zurückgezogen worden. Trotzdem gab es während der 1950er und 1960er Jahre gelegentlich Berichte über nicht thermische Reaktionen, von denen einige überzeugt waren, dass man ihnen nachgehen sollte. Fragen, die auf der dritten Tri-Service-Konferenz von Bach aufgeworfen wurden, veranlassten zum Beispiel David Goldman, Vorsitzender der Marinekonferenz von 1953, zu der Bemerkung, dass „die Umstände auf die Möglichkeit hindeuten, dass diese Effekte vielleicht nicht einfach nur die Folge einer Wärmeentwicklung seien. Ganz eindeutig müssen die Forschungsanstrengungen fortgeführt und verstärkt werden“ (45).

Aber in diese Richtung wurden keine weiteren Anstrengungen unternommen, auf keinen Fall mit der Intensität, wie sie zur Tri-Service-Ära üblich waren, obgleich die besten Studien dieser Zeit Bedenken aufkommen ließen und weitere Forschung einforderten. In einer dieser Studien (über Kataraktbildung) stellten Carpenter et al. (46) alle bekannten Bedenken zusammen. Carpenters Forschungsteam zeigte, dass die Belege aus der Literatur nahelegten, dass sich offensichtlich die vorhandenen „Daten über die Leistungsflussdichten nicht zum Vergleich eignen würden,“ insbesondere weil sich die Messmethoden so stark von einander unterschieden. Es gab gar keinen reproduzierbaren wissenschaftlichen Beweis, der eine Entscheidung darüber zugelassen hätte, ob Mikrowellen Katarakte verursachen oder nicht, oder bei welchen Strahlungsintensitäten. Hinzu kommt, dass solche wichtigen Details wie zum Beispiel der Unterschied zwischen gepulster und kontinuierlicher Strahlung oder das Ausmaß von kumulativen Wirkungen noch ungeklärt waren. Schließlich legten Carpenter et al. die gesundheitgefährdenden Schwellenwerte fest, die weit unterhalb von 100 mW/cm² lagen. Anhand dieser Ergebnisse, schrieben sie, „fangen wir an zu zweifeln, ob die die Katarakte auslösenden Effekte der Mikrowellenstrahlung tatsächlich nur auf

thermische Effekte beschränkt seien“ (46, S. 157). Daher beschloss Carpenter für seinen Teil die Arbeit fortzusetzen. Die Sponsoren seiner und anderer Projekte schätzten den Stand der Forschung jedoch anders ein, und am Ende wurde C95.1 ohne die Unterstützung weiterer Untersuchungen festgelegt. Warum wurde der Standard zu einer Zeit festgelegt, als die wissenschaftliche Forschung gerade anfang zu entdecken, wie viel Arbeit noch vor ihr lag?

Implikationen

Die einfachste Antwort, und zwar die, die von Paul Brodeur, einem Hauptkritiker der frühen Richtlinie, vertreten wird, lautet, dass viele von denjenigen, die an der Standardentwicklung von C95.1 beteiligt waren „sich verpflichtet fühlten, den 10-mW-Grenzwert um jeden Preis zu schützen und jegliche Informationen über negative Wirkungen im Niedrigdosisbereich der Mikrowellenstrahlung zu ignorieren, zu leugnen oder im schlimmsten Fall sogar zu unterdrücken“ (2, S. 39). Für Brodeur ließen sich die hinter diesen Ereignissen liegenden Wertvorstellungen ganz einfach erklären. Vor allen Dingen gab es den Glauben an die Verteidigungsbereitschaft und die Vermutung, dass ein Grenzwert unterhalb von 10 mW/cm² diese beeinträchtigen würde. Von daher wurden alle anderen Tatsachen ignoriert einschließlich Wahrhaftigkeit und Gemeinwohl - vermutlich waren diese beiden Wertvorstellungen die stärksten Gegenspieler. Die Geschichte zeigt jedoch, dass sich die Wertvorstellungen, die zu dem Standard für Mikrowellenstrahlung geführt haben, nicht ganz so einfach auf eine simple Formel reduzieren lassen.

In dem Zeitraum, als es um die Festlegung des Standards ging, war man innerhalb des Militärs häufig geteilter Meinung, und zwar gab es auf der einen Seite diejenigen, deren Hauptsorge der Führung des Militärs galt, und auf der anderen Seite diejenigen, die sich stärker an die Forschungsaktivitäten hielten. Innerhalb der Industrie gab es auch deutliche Unterschiede zwischen denjenigen, die Auftragnehmer des Verteidigungsministeriums waren und denjenigen, die Verbindungen zur Welt der Mediziner pflegten. Wissenschaftler in der Forschung setzten sich mit dem Problem der Mikrowellenstrahlung auf mindestens drei verschiedene Art und Weisen auseinander: klinisch, biologisch und ingenieurtechnisch/physikalisch. Schließlich gab es auch die Öffentlichkeit, die vor den ersten Anhörungen über Mikrowellen im Jahr 1967 nur wenige aktive Fürsprecher hatte. Folglich spiegelt dieser Prozess des Standardfestlegens das Zusammenspiel von mindestens sieben oder acht verschiedenen Interessengruppen wider.

Es gibt umfangreiches Beweismaterial für diese konkurrierenden Interessen aus der Zeit vor 1966. Als sich zum Beispiel die Militärauftragnehmer wie *Hughes Aircraft* and *Lockheed* darum bemühten, dass mit der aktiven Forschung zu den biologischen Risiken begonnen würde, wird zur gleichen Zeit über den Diathermiegerätehersteller *Raytheon Company* berichtet, dass er versucht hat, das Militär zu überreden, seine Unterstützung für das Iowa-Forschungsprojekt zu Katarakten zurückzuziehen (9, S. 26). Ähnliches ereignete sich auch innerhalb wissenschaftlicher Kreise, wo zur gleichen Zeit mehrere Forschergruppen versuchten, die Dosis-Antwort für die klar belegte Beziehung zwischen Mikrowellen und Katarakten zu bestimmen, ein der Diathermie nahestehender Arzt aber mit dem Brustton der Überzeugung behauptete, dass „Radarwellen vollständig von der Hornhaut absorbiert würden und es keine Berichte darüber gäbe, dass sie Katarakte auslösen könnten“ (47). Die Spaltung zwischen der forschungstreuen und der führungstreuen Fraktion des Militärs trat auf der vierten Tri-Service-Konferenz klar zutage, als Oberst Knauf auf die Vorstellung reagierte, dass die 10-mW-Richtlinie eher dafür ausgewählt worden wäre, den Führungskräften zu schmeicheln als für Sicherheit zu sorgen: „Wenn Sie die Proteste unserer Kollegen, die die Radartechnik einsetzen, hätten hören können, als ihnen das erste Mal unterbreitet wurde, dass sie mit diesem Wert zu leben hätten, dann bin ich mir ganz sicher, dass Sie auch zu dem Schluss gekommen wären, dass die Anwendungstauglichkeit keine Voraussetzung für die Wahl von 0.01 W/cm² gebildet hat“ (48). Ebenso wie die Industrie und die Naturwissenschaften ging auch das Militär nicht nur von einer Wertvorstellung in diesem Prozess des Standardfestlegens aus.

Was die Öffentlichkeit betraf, war in den Jahren der Standardausarbeitung der Mangel jeglicher ernsthafter Bemühungen im Interesse der Öffentlichkeit besonders deutlich spürbar. Die wenigen Bedenken, die im Hinblick auf die Öffentlichkeit geäußert wurden, wurden nicht von den Betroffenen selbst ausgesprochen, sondern von denjenigen, die sich am Ende mit jeglichen Problemen würden auseinandersetzen müssen, die unter Umständen durch die Exposition der Arbeiter gegenüber Mikrowellenstrahlung entstehen könnten. Dieses Interesse sorgte dann dafür, dass die Probleme bis zu einem gewissen Grad diskutiert und dass Standards und Sicherheitsvorschriften eingeführt wurden. Aber es reichte nicht dafür aus, dass im Hinblick auf die exponierte Öffentlichkeit auf Nummer sicher gegangen wäre, ganz besonders nicht im Hinblick auf die allgemeine Bevölkerung. Diejenigen, die 1966 den Standard festgelegt hatten, betrachteten Mikrowellen als ein Radarphänomen und das Radarphänomen als

ein Problem des Militärs und der Industrie, und genau in diesem Kontext wurden die Entscheidungen für die finanzielle Unterstützung gefällt und der Standard C95.1 festgelegt.

Aufgrund der rivalisierenden Interessengruppen innerhalb des Militärs, der Industrie und Wissenschaft gab es in diesem Prozess auch ohne die Beteiligung der Öffentlichkeit noch Unstimmigkeiten darüber, wie weiter vorgegangen werden sollte. Um diese zu überwinden und das weit verbreitete Desinteresse an den die Öffentlichkeit betreffenden Umweltproblemen, wie es vor 1966 üblich war, benötigte man die Zeit und Energie von einigen wenigen engagierten Personen. So machte sich McLaughlin im Jahr 1952 verdient, als er auf die Möglichkeit hinwies, dass da ein Problem existieren könnte, und Knauf in der Mitte der 1950er Jahre, als er das Tri-Service-Programm ins Leben rief. Aber am allerwichtigsten war zu Beginn der 1960er Jahre das außerordentliche Engagement von Schwan für die Festlegung eines Standards. Die Entschlossenheit von Schwan zeigte sich ganz besonders, als sich die Verhandlungen zu C95.1 in die Länge zogen. Am 16. Juni 1963 schrieb er an John Anderson vom *Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)*: „Ich möchte Ihnen und dem IEEE-Komitee versichern, dass diese Dokumentation beträchtliche Anstrengungen und Verhandlungen gekostet hat. Wir glauben, dass ein ausgezeichneter Standard erreicht wurde und dass, wenn darauf bestanden wird, das Wort ‚Empfehlung‘ durch ‚Standard‘ zu ersetzen, sich die Verabschiedung eines Gesundheitsstandards für Mikrowellenstrahlung unendlich hinauszögern würde“ (49). Zwischen der ersten Anweisung und dem Entwurf von 1963 waren über sieben Jahre vergangen. Dass es nur noch drei Jahre länger gedauert hatte, bis der Entwurf verabschiedet wurde, ist nur durch die Überzeugungskraft und den Einsatz von Schwan und seinsgleichen erklärbar. Wenn sich solche Personen mit außergewöhnlicher Überzeugungskraft und Einsatzbereitschaft aber in Schlüsselpositionen befinden, dann kann das sowohl destruktive als auch konstruktive Folgen haben. Bei der weitreichendsten destruktiven Folge handelte es sich um die Tatsache, dass während der Endphase zur Festlegung des Standards die sich widerstreitenden Gesichtspunkte (Anomalien und andere widersprüchliche wissenschaftliche Befunde) vernachlässigt wurden. Am Ende der dritten Tri-Service-Konferenz machte Schwan seiner Unzufriedenheit über diese Einschränkungen Luft, als er darauf hinwies, dass „es keine Gelegenheit gäbe, diese Dinge ausdiskutieren“ (50).

Dieselbe Enttäuschung wurde auch von vielen anderen geteilt, die an den Tri-Service-Konferenzen teilnahmen, weshalb

sie ihre Bemühungen später fortsetzen. Allan Freys (51) Erinnerung an eine der ersten Sitzungen des Unterkomitees IV unter dem Vorsitz von Schwan (der zu diesem Zeitpunkt die organisatorische Rolle übernommen hatte) ist die einer kurzen Proforma-Zusammenkunft, auf der wiederholt behauptet wurde, dass noch kein Beweis dafür gefunden worden sei, der die 10-mW-Richtlinie in Zweifel ziehen würde. Auf anderen Sitzungen des Unterkomitees IV erinnerte Schwan die Teilnehmer wiederholt daran, dass „es nicht die Aufgabe von C95.1 oder einer seiner Arbeitskomitees sei, Forschung in die Wege zu leiten, um den Wissensmangel zu beheben. Demzufolge muss die Hauptaufgabe der Arbeitskomitees darin bestehen, die einschlägigen Informationen zu beurteilen und Standards auszuarbeiten, die durch die einschlägige Literatur ohne Weiteres untermauert werden können“ (52). Die dringende Notwendigkeit, einen Standard festzusetzen, ließ keine Zeit für ausführlichere Problemdiskussionen.

Es gibt keinen Zweifel daran, dass unter diesem Druck, den Standard festsetzen zu wollen, etwaiges Beweismaterial, das gegen dessen Sicherheit sprach, ignoriert wurde und Forschung, die bestimmte Detailspekte hätte klären können, nicht durchgeführt wurde. Das Vorgehen derjenigen, die die Energie und Überzeugungskraft gehabt hätten, auf das Problem einzugehen, verdrängten die widersprüchlichen Befunde, die im Rückblick von anderen als wichtig angesehen werden. Auf diese Mängel hinzuweisen und deren Folgen als eine Verschwörung – die geheime Planung einer widerrechtlichen Handlung – zu bezeichnen, zeigt jedoch, dass die Umstände, die vor fast zwei Jahrzehnten vorgeherrscht haben, nicht verstanden werden und zur gleichen Zeit die Chance vertan wird, rückblickend einige wichtige Lektionen aus der Analyse der Vergangenheit zu lernen.

Kritische Bemerkungen

Im gesellschaftspolitischen Klima, das in den Vereinigten Staaten 20 Jahre nach der Entwicklung des Radars herrschte (und Radar war bis zur Vermarktung der Mikrowellenherde praktisch die einzige Quelle von Mikrowellenstrahlung, die Besorgnis erregte), wurde der Entscheidungsprozess nicht in die Hände der Personen gelegt, denen die Hauptverantwortung für die öffentliche Gesundheit und die Umweltüberwachung oblag. Die Entscheidungsträger waren damit beschäftigt, einen großen Krieg zu gewinnen und danach während des kalten Krieges eine starke Verteidigung aufzubauen. Daher trafen sie notwendigerweise ihre Entscheidungen hinsichtlich der Mikrowellentechnologie eher im Kontext globaler und nationaler Sicherheit als dem individuellen Wohlergehen. Unter extrem großen Druck

wie während des Krieges werden Leben für größere Ziele geopfert. Wenn der Druck während der Jahre der Verteidigungsplanung etwas nachlässt, werden vielleicht keine Leben geopfert, aber die militärischen Aktivitäten werden auch nicht ausgesetzt, um das Risiko auf Null herunterzuschrauben. Die Grundausbildung wird nicht unterbrochen, wenn während der Ausbildung ein Unfall passiert, die Luftwaffe wird nicht aufgelöst, wenn Flugzeuge abstürzen, und Radaranlagen, die niemanden umgebracht hatten, der die Mindestanforderungen der Sicherheitsvorschriften einhielt, wurden nicht abgebaut, als Kopfschmerzen, Blutkrankheiten und andere Probleme auftraten. Niemand schien zu sterben und die Personen, die den 10-mW-Standard erarbeiteten und verabschiedeten, hielten es nicht für wahrscheinlich, dass Expositionen in diesem Bereich in absehbarer Zukunft zu ernsthaften Schwierigkeiten führen könnten.

Die Tatsache, dass C95.1 auf Entscheidungen beruht, die mit gutem Gewissen gefällt wurden, bedeutet nicht, dass es der beste Standard wäre, den man hätte festlegen können, oder dass er stichhaltig wäre. Da C95.1 revidiert wird, gibt es offensichtlich Möglichkeiten der Verbesserung. Dennoch sollte man nicht vergessen, dass diejenigen, die Standards festlegen, ihre Entscheidungen auf das Wissen und die Wertvorstellungen ihrer Zeit basieren, und sie dann später dafür zu verdammen nützt niemandem. Stattdessen sollte man sich darum bemühen, von ihrer Erfahrung zu lernen, und im Fall des C95.1 zu entdecken, wie der Entscheidungsprozess hätte geändert werden können, um die darauf folgende Kontroverse zu vermeiden und um gleichzeitig Entscheidungen zu ermöglichen, die auf einer breiteren Basis Unterstützung finden.

Die Tatsache, dass relativ wenige Personen mit ähnlichen Ansichten die Mehrheit der frühen Entscheidungen über die Forschungsentwicklung und Regulierungen der biologischen Wirkungen der Mikrowellenstrahlung getroffen haben, hat offensichtlich dazu geführt, dass Beiträge mit anderen Ansichten kaum oder gar nicht zu Wort kamen. Um diesem Trend entgegenzuwirken, benötigt man Entscheidungsprozesse, die einem vorgeschriebenen Verfahren folgen, das mit vielen verschiedenen Gesichtspunkten arbeiten kann. Dabei geht es nicht nur um die Öffentlichkeit, die eine legitime Rolle in diesem Entscheidungsprozess über die die Menschheitsgeschichte beeinflussenden Standards spielt, sondern auch um Wissenschaftler, die außerhalb der konventionellen Wissenschaft arbeiten, und um Personen wie z.B. Humanisten, die nicht wissenschaftlich geprägt sind.

Über die Jahre, während C95.1 ausgearbeitet wurde, bestand die Motivation für

einen Mikrowellensicherheitsstandard vor allem aus der Notwendigkeit eines solchen Standards. Andererseits ergab sich die Notwendigkeit eines Standards größtenteils aus den Ergebnissen, die in der wissenschaftlichen Literatur erschienen waren. Die wissenschaftlichen Untersuchungen und die Prozeduren zum Festlegen des Standards waren ganz eindeutig miteinander verknüpft, wobei die meisten Vertreter der einen Gruppe auch an den Aktivitäten der anderen beteiligt waren. Dieses Miteinanderverwoben-Sein der Aktivitäten erweist sich letztendlich für beide Seiten als schlecht.

Wenn die Wissenschaft zu stark an dem Prozess des Standardfestlegens beteiligt ist, besteht das Risiko, dass sie von ihrer eigentlichen Hauptaufgabe, die Natur zu verstehen, abgelenkt wird. Für die Festlegung eines Standards benötigt man kein Detailwissen über Mechanismen oder Erklärungen zu den von der Norm abweichenden Phänomenen. Um einen Standard festzusetzen, muss man einfach nur wissen, bei welchem Expositionsniveau – aus welchen Gründen auch immer – gesundheitsschädliche Wirkungen auftreten. Zugegebenermaßen ist das die Information, die richtigerweise durch die Grundlagenforschung zur Verfügung gestellt wird. Aber wenn die Forschung an diesem Punkt aufhört, wie das wohl in den frühen Jahren der Mikrowellenforschung der Fall war, dann ist der Wissenschaft mit seiner Beteiligung an der angewandten Forschung nicht weiter gedient. Der Nutzen, der durch eine größere finanzielle Unterstützung von meist projektgebundenen Forschungsaufträgen ermöglicht wird, muss sorgfältig gegen das Risiko abgewogen werden, dass die daraus folgende wissenschaftliche Arbeit auf Abwege gerät.

Außerdem ist denjenigen, die die Richtlinien ausarbeiten, auch nicht gedient, wenn sie sich für Handlungsempfehlungen zu stark an der Welt der Wissenschaft orientieren. Wissenschaftler sind nicht dafür ausgebildet, soziale Probleme und Wertvorstellungen in ihre Erwägungen mit einzu beziehen, die im Kontext einer erforderlichen Standardfestlegung zutage treten können. Die Wissenschaft beschäftigt sich damit, was mit ziemlicher Sicherheit bestimmt werden kann, wie zum Beispiel ob eine Exposition von 10 mW/cm² gegenüber Mikrowellenstrahlung Katarakte verursacht. Sie sind jedoch nicht dafür ausgebildet mit Fragen umzugehen, auf die es nicht nur eine richtige Antwort gibt: Zum Beispiel die Frage, wenn eine Exposition von 10 mW/cm² die Häufigkeit von Katarakten in x Prozent einer exponierten Population erhöht, ob man dann gesetzliche Vorschriften für dieses Expositionsniveau festlegen sollte? Hinzu kommt, dass Wissenschaftler gar nicht all die Fragen stellen können, die bei

Entscheidungen von gesetzlichen Vorschriften notwendig sind.

Also müssen nicht nur unterschiedliche Sichtweisen in die Planung auf einem Gebiet wie diesem mit einbezogen werden, sie müssen auch auf eine ihnen angemessene Art und Weise integriert werden. Diese heikle Aufgabe ist jedoch nicht so einfach zu meistern und wird oft von zwei klassischen Schwierigkeiten heimgesucht, auf die hier zum Schluss noch hingewiesen werden soll.

Eine Schwierigkeit, die das Gebiet der Mikrowellen von Anfang an plagte, betrifft die Spannung zwischen Organisation und Kontrolle. Im Jahr 1953, als die Industrie bei der Regierung um Antworten bat, mangelte es an Organisation und eine Kontrolle existierte überhaupt nicht. In dieser Situation begann das Militär dieses Gebiet zu organisieren und übernahm dadurch die Kontrolle. Daraufhin schlug das Pendel während des Höhepunkts der Tri-Service-Ära in die entgegengesetzte Richtung aus, denn es wurde eine höchst effiziente Organisation ins Leben gerufen, und auch ein Plan für das Vorgehen, so dass anderen diesbezüglichen Möglichkeiten kaum Raum gegeben wurde. Mikrowellenforscher suchten nach gut definierten Wirkungen, und in diesem Prozess ignorierten sie andere und alternative Vorgehensweisen. In dieser Atmosphäre der Kontrolle wurde der Standard mit 10 mW/cm^2 festgesetzt.

In den letzten 10 Jahren hat das erneute öffentliche Interesse an dem Mikrowellenproblem zu einer Situation geführt, die derjenigen von Anfang der 1950er Jahre gleicht. Es werden wieder Rufe nach Organisation und größerer finanzieller Unterstützung laut. Inzwischen verstehen wir - und die meisten würden uns zustimmen - das Problem, das gelöst werden muss. Wir müssen einfach nur an die Arbeit gehen. Natürlich wissen wir heute viel mehr als vor 25 Jahren und die Verfahren zur Untersuchung des Problems sind wesentlich ausgereifter. Aber es gibt auch noch Unsicherheiten darüber, wie Mikrowellen mit Lebewesen interagieren und welche Ansprüche die Gesellschaft heute in zwei Jahrzehnten hat. Von daher ist es wichtig, nicht nur Raum für Untersuchungen auf „unproduktiven“ verwandten Forschungsgebieten zuzulassen, sondern solche Arbeiten regelrecht zu unterstützen, und diese Forschung dann auch ernst zu nehmen. Wenn das nicht umgesetzt wird, dann könnten sich die organisierten Bemühungen der 1980er Jahre in die „Verschwörung“ der 1990er Jahre verwandeln, und zwar nicht nur auf dem Gebiet der Mikrowellenforschung sondern auch auf anderen Gebieten (53).

Die zweite große Schwierigkeit, die das Gebiet der Mikrowellen von Anfang an plagte, betrifft den Informationsfluss. Von

dem Augenblick an, wo Radar im Dienst eingesetzt wurde, entstand eine Kommunikationslücke zwischen den Technikern und der exponierten Öffentlichkeit (anfänglich Bedienungs- und Wartungspersonal des Militärs), die mit der Zeit immer größer geworden ist. Der Grund dafür ist leicht verständlich. Die Gruppe der Techniker (einschließlich derjenigen, die die Richtlinien festlegen) hat sich schon immer vor den weit verbreiteten Missverständnissen bezüglich der Mikrowellentechnologie gefürchtet. Hinzu kommt, dass die Bedrohung durch gerichtliches Vorgehen, das von unvorhergesehenen Wirkungen in der Zukunft ausgeht, sowohl die Industrie als auch das Militär dazu bewogen haben, den Informationsfluss einzuschränken, auch wenn beide Gruppen ihre Handlungen in der Vergangenheit für vertretbar halten. Die Öffentlichkeit, die merkt, dass die Technologen ihnen etwas vorenthalten haben, greifen nun in ihren Bemühungen um einen besseren Informationsfluss genau auf das zurück, wovor jene sich gefürchtet haben: einseitige Berichterstattung und das Appellieren an die Angst der Öffentlichkeit. Und so wie die Ängste und Paranoia auf beiden Seiten zunehmen, wird auch die Kommunikationslücke immer größer.

Es gibt zwei Wege, die in dem Bestreben beschränkt werden, die Freigabe von Informationen zur Mikrowellensicherheit zu erzwingen. Der eine ist der gesetzliche Weg (Schadenersatzklagen für Schäden, die mutmaßlich mit Mikrowellenexpositionen zusammenhängen), der andere ist der politische Weg (Gesetzesvorlagen auf Bundes- sowie Lokalebene einbringen, um die Exposition gegenüber Mikrowellenstrahlung zu regulieren). In beiden Fällen besteht die Hoffnung, der Öffentlichkeit viele Informationen zugänglich zu machen. Sowohl die gesetzlichen als auch die politischen Entscheidungsprozesse beruhen auf kontradiktorischen Verfahren (entweder Kläger gegen Angeklagten oder Anwalt gegen Antragsgegner), die darauf angelegt sind, dass jede Seite so eisern wie möglich an seinen eigenen Werten festhalten muss, und nicht etwa darauf, die Werte des Gegenüber versuchen zu verstehen oder wertzuschätzen. Kontradiktorische Verfahren sind vielleicht die einzige Möglichkeit, mit der sich Konflikte zwischen Interessengruppen lösen lassen. Bis das jedoch tatsächlich bewiesen ist, hoffen wir, dass alle Anstrengungen unternommen werden, um einen ehrlichen Dialog zu suchen, der uns behilflich sein kann, vernünftige Lösungen für die uns gegenüberstehenden Probleme zu finden.

Literatur und Anmerkungen

1. *Safety Level of Electromagnetic Radiation with Respect to Personnel* (United States of America Standards Institute, New York, 1966). Um einer Verwechslung vorzubeugen, benutzen wir den Begriff „Richtlinie“ für die Grenzwertempfehlungen, die C95.1 voraussetzen, und „Standard“ bezieht sich ausdrücklich auf C95.1. Es sollte beachtet werden, dass C95.1 nicht rechtsverbindlich ist. Er dient lediglich als Richtlinie für die freiwillige Einhaltung jener Vorschriften.
2. Die am weitesten verbreitete Geschichte zur Entwicklung der heutigen Mikrowellendebatte stammt von P. Brodeur [*Mikrowellen - Die verheimlichte Gefahr* (Pfriemer, München, 1980)].
3. L. E. Daily, *U.S. Nov. Med. Bull.* **41**, 1052 (1943).
4. Zusammenfassungen dieser Studien findet man in R. H. Follis, Jr., *Am. J. Physiol.* **147**, 281 (1946).
5. K. G. Wakim, J. F. Herrick, G. M. Martin, F. H. Krusen, *J. Am. Med. Assoc.* **139**, 992 (1949).
6. L. E. Daily, K. G. Wakim, J. F. Herrick, E. M. Parkhill, *Am. J. Physiol.* **155**, 432 (1948).
7. A. W. Richardson, T. D. Duane, H. M. Hines, *Arch. Phys. Med.* **29**, 765 (1948); C. J. Imig, J. D. Thomson, H. M. Hines, *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* **69**, 382 (1948); W. W. Salisbury, J. W. Clark, H. M. Hines, unveröffentlichter Bericht.
8. Hinsichtlich der finanziellen Unterstützung für die Forschung in Iowa wies H. M. Hines auf der Marinekonferenz von 1953 darauf hin, dass „wir seit vier oder fünf Jahren schon keine [finanzielle Unterstützung] mehr bekommen haben. Der Hahn wurde ganz abrupt abgedreht“ (in (10), S. 133). Es sollte beachtet werden, dass die *Rand Corporation* nicht gesondert gegen dieses Projekt vorgegangen ist, da es zu dieser Zeit fast alle seiner Unteraufträge zurückgezogen hat.
9. J. R. McLaughlin, *A Survey of Possible Health Hazards from Exposure to Microwave Radiation* (Hughes Aircraft Corp., Culver City, Calif., 1953).
10. *Biological Effects of Microwaves* (Office of Naval Research, Washington, D.C., 1953). Eine Zusammenfassung der ARDC-Aktivitäten beginnt auf Seite 18.
11. K. S. Cole, in (10), S. 77.
12. Siehe (10), S. 114-115.
13. Zitiert in W. B. Deichmann und F. H. Stephens, Jr., *Ind. Med. Surg.* **30**, 221 (1961).
14. F. G. Hirsch und J. R. Parker, *Arch. Ind. Hyg. Occup. Med.* **6**, 512 (1952).
15. B. L. Vosburgh, *IRE Trans. Med. Electron.* **4**, 5 (1956). Für den vollständigen Bericht zu den Überlegungen von *General Electric* siehe H. R. Meahl, "Using microwaves safely: 750 to 30,000 mc." *General Electric Technical Information Series*, Schenectady, N.Y., 1956.
16. W. Mumford, *Hazards to Personnel Near High Power UHF Transmitting Antennas* (Proj. Rep. 717, Bell Laboratories, New York, 1956). G. M. Knauf diskutiert die frühen Meinungsverschiedenheiten zwischen Militär und Industrie in, *Arch. Ind. Hyg. Occup. Med.* **17**, 48 (1958).
17. Siehe (10), S. 73, 105-107.
18. Entwicklungen zwischen der Marinekonferenz von 1953 und den Anfängen des Tri-Service-Programms werden hier diskutiert: *Proceedings of the Tri-Service Conference on the Biological Hazards of Microwave Radiation* (AF 18(600)-1180, U.S. Air Force, 1957), S. i-ii. Diese Interpretation der Ereignisse wurde von einigen Gewährsmännern, die wir kontaktiert haben, bestritten, aber wir konnten keine Dokumente ausfindig machen, die diese andere Sichtweise untermauert hätten.
19. J. W. Clark, *Rand Rep. P-122* (7. März 1950).
20. Diese Anweisungen werden von J. J. Fisher hier diskutiert, "Standardization of procedures for electromagnetic environmental hazards to personnel, fuels, and weapons." Memorandum, Navy Bureau of Ships, 1. August 1958; in einer Reihe von Memoranda von J. J. Dunn vom 2. Dezember 1958; in "Report of the general conference on standardization in the field of radio-frequency electromagnetic radiation hazards," American Standards Association, 4. Mai 1959; und in dem Folgebrief von M. A. Pisciolta an J. J. Anderson und E. F. Seaman vom 8. Juli 1959.
21. Die Zusammenfassung, die hier zu den Aktivitäten von C95 und dem Unterkomitee IV vorgelegt wird, beruht auf unveröffentlichten Sitzungsprotokollen und dem amtlichen Schriftverkehr. Soweit wie möglich haben wir die Details durch Personen bestätigen lassen, die aktive Teilnehmer von C95 und Unterkomitee IV waren.
22. Undatierter Brief von G. M. Heimer an J. E. Gerling. Die Entscheidung, die in Heimers Brief ausgeführt wird, wird von heutigen Kritikern an den Entscheidungen der Mikrowellenpolitik viel zu oft ignoriert. Richtlinien für das Bedienungspersonal neigen aufgrund der Tatsache, dass sie für kontrollierte Bedingungen gelten (d.h. bekannte Expositionsniveaus für bekannte Zeiträume), höher zu sein als allgemeine Richtlinien, die für Expositionen längerer Zeiträume und unbekannter Strahlungsstärke gelten. Daher ist der Vorschlag von Heimer, dass für die allgemeine Bevölkerung unter Umständen eine Richtlinie mit niedrigeren Werten vonnöten sei, auf keinen Fall ein Hinweis dafür, dass

- er den für das Bedienungspersonal festgelegten Standard für zu hoch hielt.
23. R. Ullman an den Kommandeur, Naval Ship Engineering Center, Memorandum vom 3. November 1966.
 24. Frühere Forschung zu biologischen Wirkungen der Mikrowellenstrahlung wird von den Autoren detailliert hier untersucht, *Ann. Sci.*, im Druck.
 25. B. I. Lidman und C. Cohn, *Air Surg. Bull.* **2**, 448 (1945).
 26. Siehe (10), S. 119.
 27. J. R. McLaughlin, in (10), S. 145.
 28. C. I. Barron, A. A. Love, A. A. Baraff, *J. Avia. Med.* **22**, 442 (1955); *IRE Trans. Med. Electron.* **4**, 44 (1956); C. I. Barron und A. A. Baraff, *J. Am. Med. Assoc.* **168**, 1194 (1958).
 29. M. Zaret, in (30), S. 302.
 30. *Proceedings of the Fourth Tri-Service Conference on the Biological Hazards of Microwave Radiation* (Plenum, New York, 1961).
 31. S. M. Michaelson, in (32), S. 162.
 32. *Proceedings of the Third Tri-Service Conference on the Biological Hazards of Microwave Radiation* (University of California, 1959).
 33. Siehe die Zusammenfassungen der Forschung in (32). Indem wir hier diese Ergebnisse präsentieren, erlauben wir uns kein Urteil über ihre Richtigkeit. Viele Berichte, die auf den Tri-Service-Konferenzen und anderswo vorgelegt wurden - sowohl für als auch gegen den Sicherheitsanspruch von 10 mW/cm^2 -, wurden damals in Frage gestellt. Die negative Diskussion war wohl zuweilen recht lebhaft. Da jedoch sehr wenig Kritik an den vorhandenen Daten je veröffentlicht wurde, mussten wir davon ausgehen, dass die unangefochtenen Studien denjenigen zur Verfügung standen, die den Standard festgelegt haben.
 34. G. Knauf, in (30), S. 9.
 35. S. M. Michaelson, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* **19**, 133 (1971).
 36. U.S. Senate Committee on Commerce, *Hearing on S. 2067* (90. Kongress, 1. Session, 1968), S. 407-408.
 37. J. H. Vogelmann, in (30), S. 31.
 38. T. S. Ely und D. E. Goldman, *IRE Trans. Bio-Med. Electron.* **11**, 38 (1956); *IEEE Trans. Biomed. Eng.* **11**, 123 (1969).
 39. S. Bach und S. Lewis, in (52), S. 87.
 40. S. Bach, in (30), S. 131-132.
 41. Der beste Beweis für den Mangel an Forschung zu Wirkungen im Niedrigdosisbereich besteht vielleicht in der Schwierigkeit, die das Militär hatte, Anfang der 1960er Jahre, als das Problem mit der Moskauer Botschaft auftauchte, Forscher für diese Aufgabe finden zu können.
 42. J. W. Schereschewsky, *Public Health Rep.* **41**, 1939 (1926); *ebd.* **43**, 927 (1928); *ebd.* **48**, 844 (1933); *Radiology* **20**, 246 (1933).
 43. E. Schliephake, *Kurzwellentherapie* (Actinic Press, London, 1935).
 44. W. T. Szymanowski und P. A. Hicks, *J. Infect. Dis.* **50**, 1, 466 (1932).
 45. D. Goldman, in (32), S. 93.
 46. R. L. Carpenter, D. K. Biddle, C. A. Van Um-mersen, *IRE Trans. Med. Electron.* **7**, 152 (1960).
 47. *J. Am. Med. Assoc.* **150**, 528 (1952).
 48. G. Knauf, in (30), S. 10.
 49. H. P. Schwan, Brief an J. J. Anderson, 16. Juni 1965.
 50. H. P. Schwan, in (18), S. 88.
 51. A. Frey, persönl. Kommunikation.
 52. Sitzungsprotokolle, Sitzung des *American Standards Committee C95*, 20. November 1962, S. 5. Siehe auch Protokoll für die Sitzung am 24. April 1962.
 53. Es ist nicht möglich, die vielen Entwicklungen, die seit 1966 stattgefunden haben, zusammenzufassen. Selbst während wir hier schreiben, werden umfangreiche Berichte von zahlreichen Bundesbehörden und Privatorganisationen vorbereitet und veröffentlicht, einschließlich neu gegründeter Organisationen wie z.B. die *Bioelectromagnetic Society*. Die Zunahme von Berichten und Organisationen könnte zu effektiven Problemlösungen führen oder es könnte zur weiteren Aufsplitterung eines bereits sehr komplexen Forschungsgebietes kommen und das Lösen von Problemen erschweren. Es ist nicht unser Anliegen zu spekulieren, ob das eine oder das andere eintreten wird. Es ist vielmehr unser Anliegen, (i) aufgrund der in der Vergangenheit gemachten Erfahrungen darauf hinzuweisen, dass Organisation oder größere finanzielle Unterstützung alleine die Probleme dieser Art nicht lösen, und (ii) einige Gründe aufzuzeigen, warum das so ist.
 54. Mit Unterstützung einer NSF-Förderung OSS-78-06675 und des *Science, Technology, and Values Program* von NEH. Wir danken den *Collegiate Institutes for Values and Science* an der Universität Michigan für ihre Unterstützung.