

**Bericht der**

**Expertenkommission zur Frage der**

**Gefährdung durch Strahlung in früheren**

**Radareinrichtungen der Bundeswehr und**

**der NVA (Radarkommission)**

Berlin, 02. Juli 2003

## INHALT

### KURZFASSUNG

<b>1</b>	<b>ARBEITSAUFTRAG</b> .....	<b>I</b>
<b>2</b>	<b>ARBEITSWEISE DER KOMMISSION</b> .....	<b>II</b>
<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE</b> .....	<b>III</b>
3.1	Expositionen .....	III
3.2	Gesundheitliche Risiken .....	VI
3.3	Bisheriges Vorgehen .....	VII
<b>4</b>	<b>EMPFEHLUNGEN</b> .....	<b>VIII</b>
4.1	Erkrankungen .....	VIII
4.2	Exposition .....	VIII
4.3	Verfahrensregelung .....	IX
	<b>MITGLIEDER DER RADARKOMMISSION</b> .....	<b>XI</b>

### AUSFÜHRLICHER BERICHT

<b>1</b>	<b>EINFÜHRUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>RÖNTGENSTÖRSTRAHLUNG</b> .....	<b>3</b>
2.1	Entstehung von Röntgenstörstrahlung in Radargeräten .....	3
2.2	Vorschriften zum Schutz vor Röntgenstörstrahlung in der Bundeswehr und der NVA .....	8
2.2.1	Bundeswehr .....	8
2.2.2	Nationale Volksarmee .....	14
2.3	Existierende Messungen der Röntgenstörstrahlung an Radargeräten .....	15
2.3.1	Qualität der Messungen ionisierender Strahlung an Radargeräten .....	15

2.3.2	Repräsentativität der Messwerte für die Strahlen- exposition durch Röntgenstrahlung.....	20
2.3.2.1	Einzelbewertung der wichtigsten Systeme.....	25
2.3.2.2	Stichprobenumfang .....	30
<b>3</b>	<b>RADIOAKTIVE STOFFE UND LEUCHTFARBEN.....</b>	<b>32</b>
3.1	Vorschriften zum Schutz vor radioaktiven Stoffen und Leuchtfarben bei der Bundeswehr und der NVA und deren Umsetzung.....	32
3.1.1	Bundeswehr.....	32
3.1.2	NVA.....	35
3.2	Exposition durch radioaktive Stoffe und Leuchtfarben.....	35
<b>4</b>	<b>BISHERIGE VORGEHENSWEISE ZUR BESTIMMUNG VON ERSATZDOSEN .....</b>	<b>39</b>
<b>5</b>	<b>HOCHFREQUENZSTRAHLUNG.....</b>	<b>50</b>
5.1	Grenzwerte und Messgrößen.....	50
5.2	Retrospektive Beschreibung der Expositionsverhältnisse des Personals von Waffensystemen mit Radaranlagen.....	51
5.2.1	Grundlagen.....	51
5.2.2	Analyse der gesichteten Messberichte und Protokolle.....	52
5.2.2.1	Messberichte zum Strahlungsfeld der Antennen.....	52
5.2.2.2	Wartungs- und Reparaturarbeitsplätze .....	59
5.3	Bewertung des vorliegenden Messdatenmaterials .....	59
5.4	Schlussfolgerungen .....	60
<b>6</b>	<b>RISIKOBEWERTUNG .....</b>	<b>62</b>
6.1	Darstellung des aktuellen Standes der wissenschaftlichen Forschung.....	62
6.1.1	Vorbemerkungen.....	62
6.1.1.1	Grundsätzliches zur Risikobewertung.....	62
6.1.1.2	Zur strahlenbedingten Krebsentstehung.....	68
6.1.2	Ionisierende Strahlung .....	72
6.1.2.1	Strahlenbedingte Leukämie- und Krebserkrankungen .....	74
6.1.2.2	Wirkung inkorporierter Radionuklide (Leuchtfarbenproblematik).....	82
6.1.3	Nichtionisierende Strahlung (HF).....	83
6.1.3.1	Hochfrequente Felder.....	85
6.1.3.1.1	Direkte Feldwirkungen.....	85
6.1.3.1.2	Zelluläre und molekularbiologische Effekte sowie tier- experimentelle Untersuchungen zur Karzinogenität .....	91
6.1.3.2	Epidemiologische Studien.....	92
6.1.3.2.1	Zur Problematik elektromagnetischer Felder als Risikofaktoren in epidemiologischen Studien .....	92
6.1.3.2.2	Spezifische epidemiologische Studien zu hochfrequenten EMF, Fall-Kontroll-Studien zum Malignom des ZNS, der Augen und Hoden .....	93

6.1.3.3 Mittelbare Feldwirkungen.....	105
6.1.4 Synergistische Effekte.....	105
<b>7 RISIKOBEWERTUNG BEI DEN ANTRÄGEN EHEMALIGER ANGEHÖRIGER DER BUNDESWEHR/NVA .....</b>	<b>106</b>
7.1 Datenlage.....	106
7.2 Kriterien für die Anerkennung einer Erkrankung.....	107
<b>8 GESAMTBEWERTUNG DER VORGEHENSWEISE DES BMVg UND VERGLEICH MIT ANDEREN VERFAHREN .....</b>	<b>111</b>
8.1 Versorgungsmedizinische Aspekte .....	111
8.2 Vorgehensweise in anderen Ländern.....	113
8.2.1 OECD (außer USA) .....	113
8.2.1.1 Allgemeines.....	113
8.2.1.2 Kompensierte Schäden.....	114
8.2.1.3 Art der Kompensation .....	114
8.2.1.4 Kriterien für die Zuerkennung einer Kompensation.....	115
8.2.1.5 Schlussfolgerungen der OECD-Studie von 2000.....	116
8.2.1.5.1 Ergänzungen aufgrund der Umfrage 2003: Details zur Situation in Dänemark..	116
8.2.2 USA.....	118
8.3 Zum bisherigen Verfahren des BMVg und Vorschläge zur Modifikation.....	128
<b>9 ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNGEN .....</b>	<b>130</b>
9.1 Expositionen.....	130
9.1.1 Röntgenstörstrahlung .....	130
9.1.2 Radioaktive Stoffe und radiohaltige Leuchtfarben .....	131
9.1.3 Hochfrequenz-Strahlung .....	132
9.2 Gesundheitliche Risiken.....	134
9.3 Empfehlungen .....	135
9.3.1 Röntgenstörstrahlung .....	135
9.3.2 Radioaktive Stoffe und <sup>226</sup> Ra-haltige Leuchtfarben.....	137
9.3.3 Hochfrequenzstrahlung .....	138
9.4 Bewertung der Vorgehensweise in den Anerkennungsverfahren und Vorschläge zur Modifikation .....	139
9.4.1 Bisheriges Vorgehen .....	139
9.4.2 Vorschläge zur Verfahrensregelung.....	139
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>141</b>
<b>Glossar .....</b>	<b>155</b>
<b>Anhang 1: Datendokumentation.....</b>	<b>164</b>
<b>Anhang 2: Weitergehende wissenschaftliche Dokumentation .....</b>	<b>170</b>

## **BERICHT DER RADARKOMMISSION**

### **- KURZFASSUNG -**

#### **1. ARBEITSAUFTRAG**

Ausgehend von der Möglichkeit einer Gesundheitsgefährdung durch die frühere Tätigkeit an Radargeräten haben erkrankte, meist ehemalige, Soldaten der Bundeswehr und der Nationalen Volksarmee sowie Zivilangestellte Anträge auf Anerkennung einer durch die Berufsausübung verursachten Krankheit gestellt.

Die Radarkommission wurde auf Ersuchen des Verteidigungsausschusses des Deutschen Bundestages durch das Bundesministerium der Verteidigung eingesetzt. Sie sollte

- zur Aufklärung der früheren Arbeitsplatzverhältnisse unter Einbeziehung der dafür bereits vorliegenden Zwischenergebnisse beitragen,
- eine Expertise zu den Belastungswerten abgeben, die in den Dienstbeschädigungsverfahren zu Grunde gelegt werden,
- ggf. zusätzliche und neue Erkenntnisse zur gesundheitlichen Auswirkung bei Strahlenbelastung durch Radargeräte aufbereiten, sowie
- den wissenschaftlichen Sachstand zur Möglichkeit einer Gesundheitsgefährdung durch ionisierende Strahlung und Hochfrequenzstrahlung (Radarstrahlung) feststellen und die versorgungsmedizinischen Aspekte von Strahlenschäden untersuchen.

## 2. ARBEITSWEISE DER KOMMISSION

Am 26. September 2002 hat sich die Radarkommission unter Leitung von Wolfram König, Präsident des Bundesamtes für Strahlenschutz, konstituiert. Die 17 Mitglieder repräsentieren ein breites Spektrum von wissenschaftlichen Disziplinen und Lehrmeinungen. Die Kommission leistete keine eigenständige wissenschaftliche Forschungsarbeit, sondern konzentrierte sich auf die Bewertung des bisherigen Vorgehens auf der Grundlage des vorliegenden Materials, von Anhörungen sowie eigener Messungen. Dies vor allem unter den Gesichtspunkten

- der Konformität der Risikobewertung mit dem Stand der Wissenschaft und
- der Richtigkeit bzw. Plausibilität des Vorgehens angesichts der bestehenden Unsicherheiten bei der Rekonstruktion der zum Teil Jahrzehnte zurück liegenden Expositionen.

Zur Erfüllung ihres Auftrags hat die Radarkommission eine Vielzahl von Daten, Dokumenten und wissenschaftlichen Publikationen ausgewertet. Berücksichtigt wurde weiterhin der Bericht des Arbeitsstabes Dr. Sommer „Die Bundeswehr und ihr Umgang mit Gefährdungen und Gefahrstoffen – Uranmunition, Radar, Asbest“. Die Radarkommission hat eine Reihe von Anhörungen durchgeführt – im Einzelnen von an den Wehrdienstbeschädigungsverfahren im Geschäftsbereich des Bundesministeriums der Verteidigung beteiligten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, von Soldaten und Offizieren der Bundeswehr und der NVA, von Vertretern des Bundesministeriums für Gesundheit und Soziale Sicherung und von Vertretern der Berufsgenossenschaften sowie des TÜV Hannover/Sachsen-Anhalt e.V. Die Kommission hat Vertreter des Bundes zur Unterstützung Radargeschädigter e.V. in ihre Ermittlungen einbezogen, insbesondere bei Vor-Ort-Besuchen einiger wichtiger noch existierender Radaranlagen.

### 3. ERGEBNISSE

#### 3.1 Expositionen

Beim Betrieb, bei Wartung und Reparatur von Radargeräten können Expositionen gegenüber ionisierender Strahlung und Hochfrequenzstrahlung (HF-Strahlung) auftreten. Des Weiteren können bei der Arbeit mit radioaktiven Leuchtfarben radioaktive Stoffe inkorporiert werden.

Bei der ionisierenden Strahlung handelt es sich vornehmlich um Röntgenstrahlung von sogenannten Störstrahlern, d.h. Bauelementen (Elektronenröhren), die als unerwünschten Nebeneffekt Röntgenstrahlen aussenden.

Die externe Strahlenexposition durch radioaktive Leuchtfarben ist gering. Inkorporierte Radionuklide können dagegen zu einer nicht unerheblichen Dosis führen. Zu vernachlässigen ist dagegen die schwache Radioaktivität in manchen Elektronenröhren.

Bei der HF-Strahlung ist vor allem die Nutzstrahlung im Bereich der Antennen für den Strahlenschutz von Bedeutung.

#### Exposition gegenüber Röntgenstrahlung

Hinsichtlich der Expositionsrekonstruktion der Röntgenstörstrahlung bei der Bundeswehr hält die Radarkommission eine gerätespezifische Unterscheidung von drei Phasen für sinnvoll, die sich hinsichtlich der Möglichkeit zur retrospektiven Ermittlung der Strahlenexposition sowie der Umsetzung des Strahlenschutzes unterscheiden.

Die Phase 1 ist dadurch charakterisiert, dass kaum Messungen zu Ortsdosisleistungen und keine personenbezogenen Dosiswerte vorhanden sind oder verlässlich rekonstruiert werden können. Für die Phase 1 wird eine zuverlässige oder auch nur obere Abschätzung der Exposition durch Röntgenstörstrahlung rückwirkend für nicht möglich erachtet, da die Daten- und Informationsbasis unzureichend ist. Eine Übertragung der Ergebnisse späterer Messungen (der Strahlenmessstellen der Bundeswehr) als auch aktueller Messwerte auf frühere Expositionszeiträume ist in der Regel nicht möglich, da eine Vielzahl von Einflussfaktoren nicht mehr rekonstruierbar sind. Für die NVA-Geräte erstreckt sich der Zeitraum der Phase 1 bis zum Ende der NVA, da für die NVA-Geräte nach Kenntnis der Bundeswehr hinreichend

repräsentative Messungen der Ortsdosisleistung und der personendosimetrischen Überwachung nicht vorhanden sind.

In der Übergangsphase 2 wurden Strahlenschutzmaßnahmen etabliert und es fanden Messungen der Ortsdosisleistung an häufig verwendeten Waffensystemen statt. Zwei Strahlenmessstellen wurden geschaffen und es wurden sowohl technische als auch organisatorische Strahlenschutzmaßnahmen ergriffen. Diese Phase lässt sich für eine Reihe wichtiger Radargeräte auf die Zeit zwischen ca. 1975 und 1985 eingrenzen.

Die Phase 3 ist dadurch charakterisiert, dass ein adäquater Strahlenschutz existiert, d.h. es sind nachweisbar technische und organisatorische Maßnahmen zur Reduzierung der Strahlenexposition abgeschlossen und es erfolgten Kontrollen durch Messungen. Mit erhöhter Strahlenexposition ist in dieser Phase nicht zu rechnen.

### **Expositionen gegenüber Leuchtfarben**

Die Ermittlung der Strahlenbelastung des Radarpersonals durch radioaktive Stoffe kann sich auf die Verwendung radiumhaltiger Leuchtfarbe konzentrieren. Radiologisch relevante Folgedosen durch andere radioaktive Stoffe sind nicht zu erwarten.

Expositionen durch Radium-Leuchtfarbe waren primär ein Problem der Bundeswehr. Der Kommission liegen keine Hinweise vor, dass bei den Radaranlagen der Nationalen Volksarmee radioaktive Leuchtfarben in nennenswertem Umfang verwendet worden wären.

Die Benutzung radiumhaltiger Leuchtfarben in der Bundeswehr lässt sich nach den Sachverhaltsermittlungen der Kommission in zwei Zeiträume untergliedern:

#### *Zeitraum bis 1980*

Dieser Zeitraum ist durch einen weitverbreiteten Einsatz radiumhaltiger Leuchtfarben gekennzeichnet. Auskratzen, Abschmiegeln und Wiederauftragen dieser Leuchtfarben durch Radartechniker ohne adäquate Strahlenschutzvorkehrungen sind vorgekommen. Im Einzelfall kann eine Inkorporation während solcher Arbeiten im Gegensatz zu externer Exposition und Berühren nicht abgedeckter mit radiumhaltiger Leuchtfarbe versehenen Schalter zu hohen Belastungen führen.

### *Zeitraum ab 1980*

Ab spätestens 1980 erfolgten Arbeiten wie das Auskratzen nach Erkenntnissen der Kommission in der Regel unter ausreichender Beachtung des Strahlenschutzes. Auch nach 1980 existierten in der Bundeswehr zwar noch Restbestände an Bauteilen mit radiumhaltiger Leuchtfarbe. Obwohl deren Zahl hoch genug war, um im Jahre 2000 einen erneuten Befehl zur Aussonderung zu veranlassen, hält die Kommission das Risiko einer Radium-Inkorporation in diesem Zeitraum infolge der Strahlenschutzmaßnahmen für gering.

### **Expositionen gegenüber Hochfrequenzstrahlung**

Hinsichtlich der Möglichkeit des Erreichens oder Überschreitens einer Leistungsflussdichte, die bei chronischer Exposition zur Induktion einer Katarakt (Trübung der Augenlinse) ausreicht, lässt sich eine Kategorisierung nach Einsatzzeit, Einsatzort und Waffensystem vornehmen.

Demnach sind zunächst zu unterscheiden Einsatzzeiten vor bzw. nach Inkrafttreten von Schutzvorschriften. Für die Bundeswehr trat die erste Schutzvorschrift 1958 in Kraft. Die früheste der Kommission bekannte Vorschrift der NVA stammt aus dem Jahre 1976.

Die Einsatzorte können in zwei Kategorien eingeteilt werden: In solche, bei denen das Risiko einer Überexposition als hoch, und solche, in denen es als gering eingestuft werden kann.

Die erste Kategorie umfasst Arbeitsplätze in geringer Entfernung von einem Dauerstrichradar und Arbeitsplätze in geschlossenen Räumen, in denen die Möglichkeit von Reflexionen der Strahlung an Gebäudestrukturen nicht ausgeschlossen werden kann. Hier sind insbesondere Reparaturhallen zu nennen. In die zweite Kategorie sind Einsatzorte an Radargeräten einzuordnen, die sich in ortsfesten Stellungen in Entfernungen von Radarsendern befanden, bei denen kritische Leistungsflussdichten ausgeschlossen werden können, oder an denen eine Exposition ausschließlich durch Rundsuch-Radargeräte möglich war, bei denen bei Erreichen kritischer Leistungsflussdichten die Expositionsdauer gering blieb.

Schließlich ist eine Kategorisierung nach Waffensystemen möglich. Ein – im Einzelfall beträchtliches – Risiko für Überexpositionen stellten Waffensysteme dar, bei denen in

mobilen Stellungen Dauerstrich-Radargeräte in zu geringer Entfernung von anderen Komponenten aufgestellt wurden, an denen Arbeitsplätze existierten.

### **3.2 Gesundheitliche Risiken**

Zur Beurteilung der Krankheitsbilder hat das Verteidigungsministerium der Kommission anonymisierte Daten zur Verfügung gestellt. Diese ermöglichten weder eine genaue Beschreibung der Häufigkeit der einzelnen Krankheiten, noch eine Aussage über statistische Häufungen einzelner Krankheiten innerhalb der exponierten Gruppe. Die Erfassung der Erkrankten ist unvollständig und der Umfang und die Altersverteilung der zu Grunde liegenden betroffenen Population sind nicht bekannt.

Die von der Bundeswehr in Auftrag gegebene, als Mortalitätsstudie durchgeführte und im Mai 2003 vorgestellte Studie „Untersuchungen über die Erfassung des gesundheitlichen Risikos von Bundeswehrangehörigen im Arbeitsbereich Radar im Zeitraum 1956-1985“ ist aufgrund schwerwiegender methodischer Mängel ungeeignet zur Beurteilung eines gesundheitlichen Risikos von Bundeswehrangehörigen durch Exposition gegenüber Radar. Sie kann auch keine Daten über die Häufigkeit von Erkrankungen in der betroffenen Gruppe liefern.

Die Aussagen und Empfehlungen zur Gesundheitsgefährdung stützt die Kommission deshalb ausschließlich auf den in der internationalen Fachliteratur dokumentierten Stand der wissenschaftlichen Forschung. Die biologischen, medizinischen und epidemiologischen Erkenntnisse über die Wirkung ionisierender Strahlung und HF-Strahlung werden im Bezug auf die vorliegende Problematik dargestellt. Von der ionisierenden Strahlung ist anerkannt, dass sie auch in niedrigen Dosen Krebserkrankungen induzieren kann. Zu beachten ist, dass die Menschheit auch ionisierender Strahlung natürlichen Ursprungs ausgesetzt ist. Krebs ist zudem keine seltene Erkrankung, für sie ist eine Vielzahl von anderen Verursachungsfaktoren bekannt. Bei HF-Strahlung ist nach heutigem wissenschaftlichen Kenntnisstand nur die Wärmewirkung von Bedeutung, die bei hohen Dosen zu einer Trübung der Augenlinse (Katarakt) führen kann.

## **Forschungsbedarf**

Innerhalb eines im Zusammenhang mit den anstehenden Entschädigungsverfahren vertretbaren Zeitrahmens würden weitergehende Untersuchungen, Ermittlungen und Forschung keine für die generelle Bewertung relevanten neuen Entscheidungsgrundlagen liefern. Grundsätzlich besteht jedoch Forschungsbedarf, insbesondere zur Untersuchung der gesundheitlichen Auswirkungen von HF-Strahlung sowie zu einigen Aspekten der ionisierenden Strahlung.

## **3.3 Bisheriges Vorgehen**

- (a) Die Analyse des bisherigen Vorgehens bei der Ermittlung der Ersatzdosen hat eine Reihe methodischer Mängel sowie Abweichungen in den Vorgehensweisen unterschiedlicher Wehrbereichsverwaltungen gezeigt. Die Radarkommission hält darüber hinaus die Einbeziehung der Betroffenen in die Verfahren für unzureichend. Das gilt insbesondere auch angesichts der Schwierigkeiten der Rekonstruktion der Arbeitsplatzverhältnisse in den frühen Jahren.
- (b) Die sogenannte "Kannversorgung" kann zu Anerkennung bei Strahlenexpositionen führen, die in einer Größenordnung liegen, die dem Schwankungsbereich der Lebenszeitdosis durch die natürliche Strahlenexposition entsprechen.
- (c) Die derzeitige Vorgehensweise beinhaltet den pauschalen Ausschluss bestimmter Erkrankungen (Beispiel Hodentumoren) ohne eindeutige wissenschaftliche Grundlage.
- (d) Derzeit werden die Antragsteller je nach (Beschäftigten-)Status ungleich behandelt.

#### **4. EMPFEHLUNGEN**

Die Radarkommission gibt zum weiteren Vorgehen folgende Empfehlungen:

##### **4.1 Erkrankungen**

Die folgenden drei Bedingungen zur Anerkennung müssen erfüllt sein:

1. Als qualifizierende Krankheiten sind aufgrund einer Exposition gegenüber Röntgenstrahlung grundsätzlich alle malignen Tumore - mit Ausnahme der Chronisch Lymphatischen Leukämie (CLL) - anzusehen, die Katarakte aufgrund einer Exposition gegenüber HF-Strahlung und/oder ionisierender Strahlung. Bei Inkorporation radiumhaltiger Leuchtfarbe ist primär Knochenkrebs (Sarkome von Knochen und umgebendem Bindegewebe) als spezifische qualifizierende Erkrankung anzusehen.
2. Voraussetzung sind ärztlich bestätigte Diagnosen mit pathologisch-histologischem Befund.
3. Das Auftreten eines soliden Tumors muss mindestens 5 Jahre nach Beginn der Strahlenexposition liegen, bei Leukämie und Knochensarkomen müssen wenigstens 2 Jahre zwischen Strahlenexposition und deren Auftreten vergangen sein.

##### **4.2 Exposition**

Die Exposition gegenüber *Röntgenstrahlung* wird entsprechend der in Abschnitt 3.1 angegebenen drei Phasen bewertet. In den Phasen 1 und 2 sind erhebliche Strahlenexpositionen möglich. So sollten in Phase 1 Erkrankungen nach Abschnitt 4.1 bei allen Personen anerkannt werden, die am Radargerät SGR-103 gearbeitet haben, das von 1961 an in der Bundesmarine eingesetzt wurde. Für andere Personen, die an anderen Radaranlagen gearbeitet haben, wird im ausführlichen Teil des Berichtes ein zusätzlicher Kriterienkatalog vorgeschlagen. In Phase 2 sollten die vorliegenden Messungen als Basis für eine Ersatzdosisbestimmung herangezogen werden, sofern ausreichend viele Messwerte vorliegen. Ansonsten sollte wie in Phase 1 verfahren werden. In der Phase 3 sind keine relevanten Strahlenexpositionen zu erwarten. Dies ist den Antragstellern durch Darlegung der technischen und organisatorischen Strahlenschutzmaßnahmen und ggf. durch Abschätzung

der Dosis, unter Berücksichtigung der Verbesserungsvorschläge der Kommission, zu dokumentieren.

In Bezug auf die Thematik *Leuchtfarben* empfiehlt die Kommission, im Einzelfall mittels der Arbeitsplatzanamnese zu prüfen, ob die jeweilige Person vor 1980 durch Auskratzen, Abschmirgeln oder Wiederauftragen mit radiumhaltigen Leuchtfarben zu tun hatte. Falls die Anamnese zeigt, dass entsprechende Tätigkeiten in dem Zeitraum vor 1980 ohne entsprechende Schutzmaßnahmen durchgeführt wurden, wird empfohlen, Antragsteller mit Knochenkrebs, aber auch sonstigen qualifizierenden Erkrankungen, in einem Ganzkörperzähler zu messen und die Dosis im Anerkennungsverfahren zu berücksichtigen.

Die Expositionsmöglichkeiten gegenüber *HF-Strahlung* sind gemäß der Kategorien Einsatzzeit, Einsatzort und Waffensystem einzuteilen. Als qualifizierende Erkrankung wird die Katarakt gesehen. Bei hoher Expositionswahrscheinlichkeit wird eine Anerkennung empfohlen.

### **4.3 Verfahrensregelung**

Die Kommission kann keinen fachlichen Grund erkennen, der unterschiedliche Bewertungen in den Verfahren aufgrund der dienstrechtlichen Stellung der Antragsteller plausibel macht.

Die Antragsteller sollten bei Vorliegen der drei in Abschnitt 4.1 genannten Bedingungen bei der Rekonstruktion der Arbeitsplatzverhältnisse und vor endgültiger Bescheiderteilung gehört werden.

Es sollte eine effektive Qualitätssicherung bei der ab Phase 2 möglichen Ersatzdosisermittlung eingeführt werden. Hierfür unterbreitet die Kommission methodische Vorschläge.

Weitere Untersuchungen auf dem Gebiet der individuellen Expositionsrekonstruktion für die Phase I hält die Kommission für nicht erfolgversprechend. Aus diesem Grund empfiehlt die Kommission, solche Untersuchungen nicht aufzunehmen.

Bei Vorliegen von Organdosiswerten sollte eine Abschätzung der Verursachungswahrscheinlichkeit vorgenommen werden. Die Verursachungswahrscheinlichkeit ist auf Grund

epidemiologischer Risikodaten zu ermitteln. Welches Verfahren bei der Anerkennung gewählt wird, kann nicht durch wissenschaftliche Überlegungen entschieden werden, sondern ist letztlich eine politische Entscheidung.

Wolfram König  
Vorsitzender

Berlin, 02. Juli 2003

### Der Radarkommission gehörten folgende Mitglieder an:

Dipl.-Ing. Wolfram König (Vorsitzender der Kommission)	Präsident des Bundesamtes für Strahlenschutz, Salzgitter
Frau Prof. Dr. Maria Blettner (stellvertretende Vorsitzende)	Prof. für Epidemiologie und Med. Statistik, Universität Bielefeld
Dr. Peter Ambrosi	Fachbereichsleiter, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig
Dr. Kuno Anger	Referent für Strahlenschutz, Senatsverwaltung für Gesundheit, Soziales und Verbraucherschutz Berlin
Dipl.-Phys. Detlef Beltz	Sachverständiger für Strahlenschutz, TÜV Hannover/Sachsen-Anhalt e.V.
Dr. Hauke Brüggemeyer	Dezernatsleiter Strahlenschutz des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie, Hannover
Dr. Ing. Siegfried Eggert	Wissenschaftlicher Mitarbeiter elektromagnetische Felder, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Berlin
Biol. Bernd Franke	Fachbereichsleiter am IFEU-Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, Heidelberg
Prof. Dr. Eberhard Greiser	Direktor des Bremer Instituts für Präventionsforschung und Sozialmedizin (BIPS), Zentrum für Public Health, Universität Bremen
Dr. Ralf Hille	Geschäftsbereichsleiter Sicherheit und Strahlenschutz am Forschungszentrum Jülich GmbH
Prof. (em.) Günter Käs	Professor an der Bundeswehr-Universität München
Prof. (em.) Dr. Jürgen Kiefer	Strahlencentrum der Justus-Liebig-Universität Gießen
Dr. Gerald Kirchner	Leiter des Fachbereichs „Strahlenschutz und Umwelt“ des Bundesamtes für Strahlenschutz, Berlin
Prof. (em.) Dr. Wolfgang Köhnlein	Institut für Strahlenbiologie, Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Dr. med. Volker List	Leiter der medizinischen Abteilung des Forschungszentrums Karlsruhe
Prof. Dr. Dr. Herwig G. Paretzke	Leiter des Instituts für Strahlenschutz, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Neuherberg
Prof. Dr. Jürgen Schütz	Klinik und Poliklinik für Strahlentherapie – Radioonkologie des Universitätsklinikums Münster – im Ruhestand

## Bericht der Radarkommission

---

Die Arbeit der Radarkommission wurde unterstützt durch die Wissenschaftlichen Sekretäre

Dr. Klaus Gehrecke

Schwerpunkt Expositionsrekonstruktion

Dr. Michael Thieme

Schwerpunkt Risikobewertung

Büro der Geschäftsstelle

Roswitha Kühn

## 1 EINFÜHRUNG

Radaranlagen werden seit Jahrzehnten im zivilen wie im militärischen Bereich zur Ortung von Zielen oder Hindernissen eingesetzt. Mit Hilfe elektromagnetischer Wellen können diese auch weit außerhalb der sichtbaren Reichweite registriert werden. Beim Betrieb von Radaranlagen sind bei Nichtbeachtung von Schutzvorschriften gesundheitliche Gefährdungen möglich.

Potenzielle Gesundheitsgefährdungen für das an Radaranlagen tätige Personal gehen zum einen von der Hochfrequenzstrahlung selbst aus, vor allem beim Aufenthalt im Nutzstrahlungsbereich bei hohen Sendeleistungen im Nahbereich der Sendeantennen.

Zum anderen entsteht an den in Radaranlagen vielfach genutzten Röhrenbauteilen Röntgenstrahlung als unerwünschte Begleiterscheinung. Die Reichweite dieser Strahlung ist verhältnismäßig gering, so dass Gefährdungen für das Personal nur in unmittelbarer Nähe der Sender entstehen, z.B. bei Einstellungs- und Reparaturarbeiten.

Lange Zeit üblich war bei der Bundeswehr an Radargeräten die Verwendung radioaktiver Leuchtfarben, um z.B. Anzeigeeinstrumente auch bei Dunkelheit ablesen zu können. Strahlenbelastungen können in diesem Fall vor allem bei ungeschütztem Umgang durch die unbeabsichtigte Aufnahme von Partikeln dieser Farbe durch Verschlucken oder Einatmen entstanden sein.

Ausgehend von diesen Erkenntnissen einer potenziellen Gefährdung haben erkrankte, meist ehemalige, Soldaten der Bundeswehr und der NVA sowie Zivilangestellte, die an Radargeräten tätig gewesen sind, Anträge auf Anerkennung einer durch die Berufsausübung verursachten Krankheit gestellt. Inwieweit diese Anträge begründet sind, d.h. welchen Expositionen welche Person ausgesetzt war und ob ggf. diese Exposition ausreichend war, um retrospektiv von einer die Krankheit auslösenden Exposition zu sprechen, kann grundsätzlich nur für jede Person individuell bestimmt werden. Dieses setzt voraus, dass noch genügend Informationen zu den Arbeitsbedingungen vorliegen bzw. erbracht werden können.

Darüber hinaus können je nach den potenziellen früheren Belastungen Personengruppen gebildet werden. Grundlage hierfür bilden vorliegende Erkenntnisse über Expositionen gegenüber Röntgenstrahlung, radioaktiven Stoffen und Hochfrequenz-Strahlung.

Nachdem es Kritik an der Bearbeitung der Anträge durch die zuständigen Behörden gegeben hatte, setzte das Bundesverteidigungsministerium in 2000 einen Arbeitsstab unter Leitung von Dr. Theo Sommer ein, der den Umgang der Bundeswehr mit Gefährdungen und Gefahrstoffen zu untersuchen hatte. Die im Bericht des Arbeitsstabes vorgeschlagenen Verfahren für den Teilbereich Radar wurden aber nach Ansicht der Antragsteller nicht in ausreichendem Maße umgesetzt. Der Verteidigungsausschuss des Deutschen Bundestages bat daraufhin das Bundesministerium der Verteidigung, eine Expertenkommission zur Frage der Gefährdung durch Strahlung in früheren Radareinrichtungen der Bundeswehr und der Nationalen Volksarmee (Radarkommission) einzusetzen. Sie sollte zur Aufklärung der früheren Arbeitsplatzverhältnisse unter Einbeziehung der dafür bereits vorliegenden Zwischenergebnisse beitragen, eine Expertise zu den Belastungswerten abgeben, die in den Dienstbeschädigungsverfahren zu Grunde gelegt werden sollten, ggf. zusätzliche und neue Erkenntnisse zur gesundheitlichen Auswirkung bei Strahlenbelastung durch Radargeräte aufbereiten, sowie den wissenschaftlichen Sachstand zur Möglichkeit einer Gesundheitsgefährdung durch ionisierende Strahlung und HF-Strahlung feststellen und die versorgungsmedizinischen Aspekte von Strahlenschäden untersuchen.

## Bericht der Radarkommission

---

Die Kommission konzentrierte sich auf die Bewertung des Vorgehens der jeweils zuständigen Behörden in den bisherigen Verfahren. Hierbei wurde insbesondere geprüft, wie unter den Gesichtspunkten der Konformität der Risikobewertung mit dem Stand der Wissenschaft und der Richtigkeit bzw. Plausibilität des Vorgehens angesichts der bestehenden Unsicherheiten bei der Rekonstruktion der zum Teil Jahrzehnte zurück liegenden Expositionen verfahren wurde. Sie hat dazu eine große Zahl von Daten, Dokumenten und wissenschaftlichen Publikationen ausgewertet, sowie unter Einbeziehung von Vertretern des Bundes zur Unterstützung Radargeschädigter eine Reihe von Anhörungen durchgeführt.

Die Ergebnisse der Arbeit der Kommission werden im Folgenden vorgestellt.

## 2 RÖNTGENSTÖRSTRAHLUNG

### 2.1 ENTSTEHUNG VON RÖNTGENSTÖRSTRAHLUNG IN RADAR-GERÄTEN

Für den Betrieb von Radaranlagen sind Sender mit hohen Ausgangsleistungen notwendig, die wiederum durch den Betrieb von Bauelementen mit hohen Spannungen erreicht werden. Wegen der sehr begrenzten Spannungsfestigkeit von Halbleitern werden bis heute vielfach noch Röhren verwendet, die mit Spannungen bis zu einigen 10 kV, in Einzelfällen sogar bis zu 265 kV (Klystron TV2030 des Radargerätes MPR [AG Radar 2002 a]) betrieben werden müssen, um die erforderlichen hohen Hochfrequenz (HF)-Ausgangsleistungen zu erreichen.

Als Senderöhren findet man sowohl in Pulsradaranlagen als auch in Dauerstrichradaranlagen seit Jahrzehnten vorwiegend Magnetrons und Klystrons. In den Ansteuerschaltungen dieser Senderöhren werden Wasserstoff-Thyratrons (z.B. 5949) als schnelle Hochleistungsschaltröhren eingesetzt und Dioden (z.B. 8020) als Gleichrichter oder zur Begrenzung (Clipperdioden) unerwünschter Signalanteile (Überschwinger).

Im Gegensatz zu Röntgenröhren im medizinischen und technischen Bereich entsteht im Fall der Sende- und Schaltröhren von Radaranlagen Röntgenstrahlung als unerwünschter Nebeneffekt. Formal hat man es hier folglich mit Störstrahlern im Sinne der Röntgenverordnung von 1973 zu tun.

In diesen Senderöhren bzw. Schaltröhren werden freie Elektronen, die durch Glühemission oder in selteneren Fällen durch Feldemission erzeugt wurden, durch angelegte Hochspannung beschleunigt. Röntgenstrahlung entsteht, wenn Elektronen mit hoher kinetischer Energie auf ein Gitter, auf eine metallische Anode oder andere Röhrenbauteile treffen (zeitlich gemittelt wird der überwiegende Anteil der Elektronenenergie jedoch in Wärme umgewandelt). Die Maximalenergie dieser Röntgenstrahlung ist begrenzt durch die maximale kinetische Energie der Elektronen und liegt im Falle der in der Bundeswehr und der Nationalen Volksarmee eingesetzten Störstrahler in Radaranlagen abgesehen von sehr wenigen Ausnahmen im Bereich unterhalb von 40 keV.

Die spektrale Verteilung der Röntgenstrahlung wird vom Material beeinflusst, auf das die Elektronen treffen. Die Röntgenstrahlung setzt sich zusammen aus einem Anteil charakteristischer Röntgenstrahlung mit diskreten Energien sowie einem kontinuierlichen Röntgenbremsstrahlungsspektrum, das den gesamten Energiebereich zwischen 0 und der Maximalenergie der auftreffenden Elektronen umfasst. Hinsichtlich praktischer Strahlenschutzaspekte bei Radaranlagen dominiert in aller Regel die Röntgenbremsstrahlung gegenüber der charakteristischen Röntgenstrahlung [Anger 1988]. Das Spektrum und die Intensität der aus dem Bauteil austretenden Strahlung werden darüber hinaus in ganz erheblichem Maße durch die Wechselwirkung der Photonen mit der Ummantelung des Bauteils beeinflusst. So weisen die mit massiven metallischen Wandungen (Permanentmagneten) versehenen Magnetrons in der Regel geringere Dosisleistungen an der Ummantelung auf als Thyratrons, die insbesondere in den 50er bis 70er Jahren meist verhältnismäßig dünnwandige Glasummantelungen aufwiesen. Klystronröhren sind beinahe vollständig durch ausreichend dicke Metall- und Keramikkolben, zum Teil durch Magnetisierungsspulen und Wasserkühlmäntel gegen eine Emission von Röntgenstrahlung abgeschirmt. Mögliche Leckstellen sind hier verglaste Elektrodeneinschmelzungen.

Auf Grund dieser Bedingungen treten zumeist nur eng begrenzte Strahlenbündel auf und die Radartechniker sind in der Regel nur Teilkörperexpositionen ausgesetzt. Die folgende Abbildung 2-1 verdeutlicht dies. Es handelt sich um eine Filmaufnahme der Störstrahlung vor dem Sender des Radargerätes HAWK-PAR.

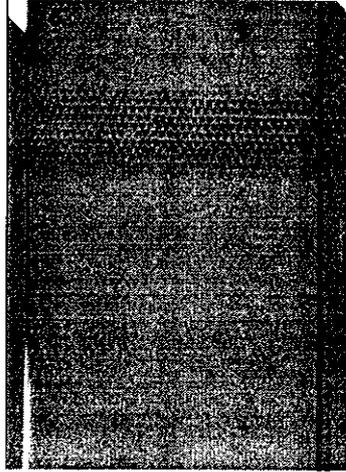


Abb. 2-1: *Filmaufnahme der Störstrahlung vor dem Sender des Radargerätes HAWK-PAR*

Da aus den oben genannten Gründen die Schwächung der Strahlung durch Komponenten des Bauteils selbst einen der wichtigsten Parameter für die räumliche Verteilung des Strahlenfeldes darstellt, können selbst geringfügige Modifikationen an den Röhren zu signifikanten Änderungen der Strahlungsintensität führen.

Abbildung 2-2 illustriert den Einfluss konstruktiver Merkmale auf die Abstrahlcharakteristik der Thyatronröhre JAN 5949 A. Sie gibt die mittels Monte-Carlo-Rechnungen ermittelten Dosisleistungsverhältnisse in der xy-Ebene um die Röhre in Höhe der Anode wieder. Deutlich zu erkennen ist der Einfluss dreier Spalte in der metallenen Abschirmung um die Anode dieser Röhre [TÜV 2002].

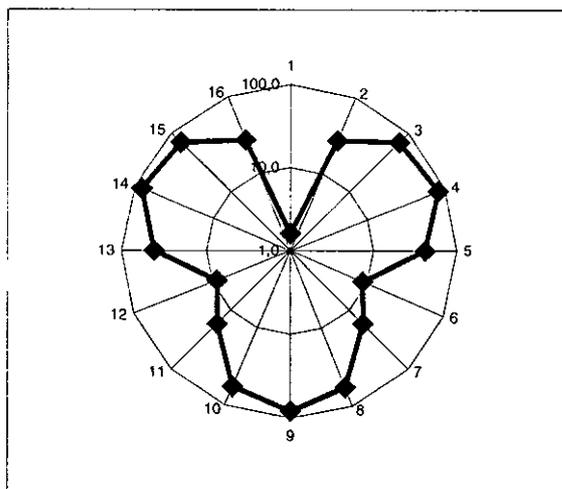


Abb. 2-2: *Dosisleistung in der xy-Ebene in Höhe der Anode der Röhre JAN 5949A in logarithmischer Darstellung (rel. Einheiten)*

Im Gegensatz dazu weist das Thyatron 5C22 (Abb. 2-3) keine winkelabhängigen Spaltöffnungen im Anodenbereich auf, was zu einer bezüglich der Röhrenachse rotationssymmetrischen Abstrahlcharakteristik führt (vgl. [TÜV 2002]).

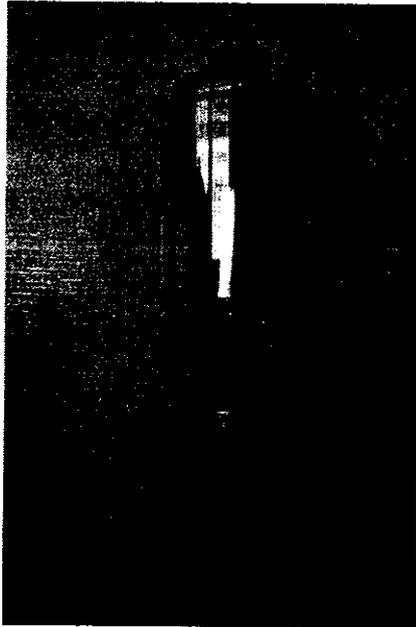


Abb. 2-3: Thyatron 5C22

Aus der folgenden Abb. 2-4 wird anschaulich deutlich, dass im Fall der Diode 8020 in der dort vorhandenen Ausführung (Fenster im Anodenbereich) mit einer anisotropen Abstrahlcharakteristik zu rechnen ist. Von diesem Diodentyp wurden der Radarkommission allerdings auch Exemplare vorgelegt (8020 W, Abb. 2-5), die keine derartigen Spalte besaßen.

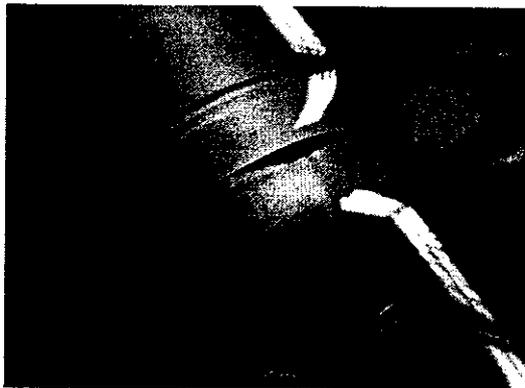


Abb. 2-4: Diode 8020 (Ausschnitt)



Abb. 2-5: Diode 8020W (Ausschnitt)

Folglich können konstruktive Detailunterschiede oder unterschiedliche Einbaulagen eines Röntgenstrahlers in einer Radaranlage zu erheblichen Unterschieden hinsichtlich der Expositionssituation führen. So waren z.B. die beiden oben abgebildeten Röhrentypen alternativ zueinander in demselben Radargerät einsetzbar, was die Rekonstruierbarkeit damaliger radiologischer Verhältnisse zusätzlich erschwerte (vgl. Abb. 2-6).

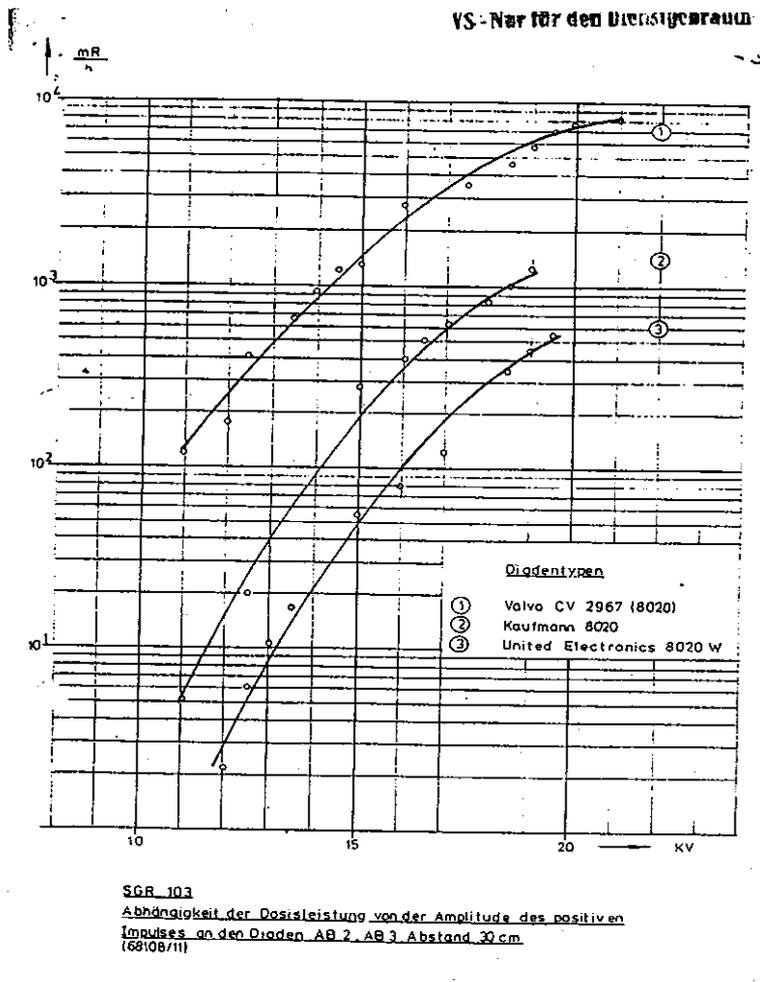


Abb. 2-6: Spannungs- und Typabhängigkeit der Dosisleistung an Clipperdioden

Beim Durchgang der Röntgenstrahlung durch das Wandmaterial tritt zusätzlich zur Schwächung eine Aufhärtung der Röntgenstrahlung auf. Dies bedeutet, dass das Energiespektrum der Strahlung sich durch bevorzugte Absorption niederenergetischer Photonen dichter an die physikalisch vorgegebene Maximalenergie der Strahlung verlagert.

Die spektrale Verteilung dieser Strahlung ist für die Beurteilung möglicher Gesundheitsschäden ein wesentlicher Parameter, da diese die Eindringtiefe der Photonen ins Körpergewebe und somit die Tiefenverteilung der Dosis bestimmt. Im Rahmen der Anhörung von Sachverständigen zur Messung von Röntgenstörstrahlung an Radaranlagen durch die Radarkommission am 24.01.2003 wurde deutlich, dass zur Sicherstellung konstanter Leistung von Radarsendern mit zunehmender Alterung von Bauteilen die Ladespannung innerhalb bestimmter Grenzen erhöht werden musste. Dies führte dann zu Situationen, in denen sich die Durchdringungsfähigkeit der Röntgenstrahlung erhöhte und erhöhte Dosisleistungen auftraten.

Grundsätzlich wird bei allen Bauteilen die Intensität der Strahlung (Photonenflussdichte) durch die Anzahl der Elektronen bestimmt, die pro Zeiteinheit durch Wechselwirkung mit Materie die Emission von Photonen mit ausreichend hoher Energie hervorrufen können. Somit ist die Stromstärke im Bauteil während des Anliegens einer Hochspannung von zumindest mehreren kV direkt proportional zur Intensität der Strahlung. Im Falle der Schaltröhren kann eine Emission von Röntgenstrahlung grundsätzlich nur im Augenblick des Schaltvorgangs selbst stattfinden. Ist ein Thyatron durchgeschaltet, emittiert es keine Röntgenstrahlung mehr, da die im Bauteil anliegende Spannung auf Grund des geringen

Innenwiderstands im leitenden Zustand hierfür zu niedrig ist. Mögliche Emissionen von Röntgenstrahlung im gesperrten Zustand des Thyratrons wurden auf thermische Effekte zurückgeführt [Schneider et al. 1955]. Für die Kommission ist es daher nicht auszuschließen, dass auch Emission von Röntgenstörstrahlung aus Thyratrons außerhalb der eigentlichen Schaltvorgänge vorkommen konnte.

Hinsichtlich der Beschleunigungsspannung ist eine Proportionalität zur Dosisleistung nicht gegeben. Zum einen ist bereits die Strahlungsleistung einer ungefilterten Röntgenstrahlungsquelle proportional zum Quadrat der Beschleunigungsspannung. Darüber hinaus ist jedoch die starke Energieabhängigkeit der Schwächung von Röntgenstrahlung beim Durchgang durch Materie dafür verantwortlich, dass an der Außenseite von Röntgenstörstrahlern die Energiedosisleistung exponentiell mit der Spannung ansteigen kann [Anger 1988]. Bei im Auftrage der Radarkommission durchgeführten Untersuchungen [TÜV 2003] wurde mittels Monte-Carlo-Rechnungen für das bereits erwähnte Thyatron JAN 5949A bei einer Erhöhung der Hochspannung um 25% gegenüber der Nennspannung eine um den Faktor 40 erhöhte Tiefendosisleistung ermittelt.

Im Bereich von Marineradaranlagen (z.B. SGR-103) wurden Clipperdioden als starke Störstrahlungsquellen identifiziert. Da diese Dioden zur Begrenzung unerwünschter Signalanteile eingesetzt werden, ist es bei diesen von Bedeutung, wie gut die gesamte Schaltung abgestimmt ist, d.h., wie viel Energie wirklich in HF-Strahlung umgesetzt wird. Die nicht nutzbaren Anteile der bereitgestellten Energie bestimmen hier die mögliche Emission von Röntgenstrahlung.

Clipperdioden werden eingesetzt, um die Restenergie des Leistungspulses, die als inverser Überschwinger auftritt, in Wärme umzusetzen. Dabei treten Spannungen in der Höhe des Leistungspulses (oder höher) - bei sehr niedrigen Strömen - auf. Ein von der Kommission entwickeltes Modell für das Auftreten der Röntgenstörstrahlung zeigt, dass diese während des Sendeimpulses emittiert wird, also in der Phase, in der die Diode sperren sollte, weil negative Spannung anliegt. Während des (inversen) Überschwingers ist die Diode durchgeschaltet und es kann daher nur eine vergleichsweise niedrige Spannung an ihrer Anode anliegen, die zur Erzeugung von nennenswerter Röntgenstrahlung nicht ausreicht. Nach diesem Erklärungsmodell tritt die Röntgenstrahlung nur auf, wenn die Anode der Diode die für eine Emission von Elektronen erforderliche Temperatur aufweist (mindestens leichte Rotglut). Diese entsteht durch die mit entsprechenden Strömen bei höherer Fehlanpassung verbundene Verlustleistung. Damit ist verständlich, dass bei guter Anpassung keine Röntgenstrahlung der Clipperdiode gemessen wurde. Ebenfalls plausibel nachvollziehbar ist, warum beim SGR-103 an der Clipperdiode solche hohen Dosisleistungen aufgetreten sind, da dieses Gerät (im Gegensatz beispielsweise zum SGR-105) durch schlechte Anpassung des Senders charakterisiert ist.

Entsprechende Zusammenhänge von Fehlanpassungen der Radaranlagen und der Dosisleistung wurden im Bereich der Bundesmarine Ende der 70er Jahre [BW 1977] und in Teilberichten der AG Radar [AG Radar 2002 b] diskutiert.

Die Pulsdauer der Radaranlage stellt einen weiteren Parameter dar, der Einfluss auf die Emission von Röntgenstörstrahlung hat [Maguire 2002]. Protokolle von Messungen an Marineradaranlagen [Eltro 1976] belegen, dass im Betriebsmodus mit längeren Pulsen die Dosisleistung der Röntgenstörstrahlung signifikant höher lag als im Falle kurzer Pulse. Die Zunahme der Störstrahlung bei Thyratrons mit zunehmender Pulsdauer ist darauf zurückzuführen, dass die Anstiegsflanke des Leistungspulses mit zunehmender Pulsdauer üblicherweise weniger steil wird. Mit zunehmender Pulsdauer steigt also die Dauer der Anstiegsflanke und damit die Dauer der Störstrahlung.

## 2.2 VORSCHRIFTEN ZUM SCHUTZ VOR RÖNTGENSTÖRSTRAHLUNG IN DER BUNDESWEHR UND DER NVA

### 2.2.1 Bundeswehr

Bis zum Inkrafttreten der Röntgenverordnung vom 1. März 1973 war der Schutz vor Röntgenstrahlung, die von Geräten ausgeht, die nicht zum Zwecke der Erzeugung dieser Strahlung betrieben werden<sup>1</sup>, also z.B. Radargeräte, in der Bundesrepublik Deutschland nicht gesetzlich geregelt. Die „Verordnung zum Schutz gegen Schädigung durch Röntgenstrahlen und radioaktive Stoffe in nichtmedizinischen Betrieben“ (Röntgenverordnung) vom 7. Februar 1941 (RGBl. I S. 88), galt hierfür nicht. Gleiches ist für die Erste Strahlenschutzverordnung vom 24. Juni 1960 (und nachfolgende Fassungen) festzustellen, welche nur den Umgang mit Strahlung radioaktiver Stoffe regelte.

Dennoch wurden in der Bundeswehr und in ihrem Auftrag bereits Ende der 50er Jahre Untersuchungen der Strahlenexposition des Personals an Radaranlagen durch Röntgenstrahlung durchgeführt, unter anderem vom Bayerischen Landesinstitut für Arbeitsschutz (1958) und vom Fernmeldetechnischen Zentralamt Darmstadt. Mit der Zentralen Dienstvorschrift (ZDv 44/20) wurde 1958 eine Vorschrift zum Schutz des Personals von Radaranlagen erlassen, die unter anderem darauf verweist, dass bei Großgeräten mit einer Impulsleistung von 5 MW und mehr an der Senderöhre auch Röntgenstrahlen entstehen können und für Arbeiten am offenen Sender Schutzmaßnahmen vorschreibt (Bleiabschirmungen) [BMVg 1958].

Ferner hat die Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation e.V. im Jahre 1962 mit Unterstützung des Verteidigungsministeriums ein Merkblatt erstellt, das u.a. auch den Schutz vor Röntgenstrahlung an Röhren von Radargeräten zum Gegenstand hat<sup>2</sup>. Dort werden konkrete Schutzmaßnahmen behandelt, wie die Ermittlung der Ortsdosisleistung durch Messtrupps, die Einrichtung von Kontrollbereichen, die Bestellung von Strahlenschutzverantwortlichen und die Belehrung des Personals. Als Bewertungsgrundlage werden – in Ermangelung einer spezifischen Rechtsvorschrift – die Euratom-Grundnorm vom 2. Februar 1959 (AbIEG 1959, S. 221) und die erste Strahlenschutzverordnung vom 24.06.1960 empfohlen und bei späteren Bewertungen zu Grunde gelegt, wie aus einem Bericht über Strahlenschutzmessungen an den Radaranlagen der Schulfregatte „Scheer“ von 1963 hervorgeht.

Konkrete Hinweise, dass auf der Grundlage dieser frühen Vorschriften und Empfehlungen und der durchgeführten Untersuchungen tatsächlich Schutzmaßnahmen abgeleitet und umgesetzt wurden, haben sich für die Radarkommission aus dem Studium einer Reihe von Strahlenschutzberichten sowie im Ergebnis der durchgeführten Anhörungen allerdings nicht ergeben. Auch sind die Ende der 50er Jahre begonnenen - punktuellen - Untersuchungen 1964 zu einem Abschluss gekommen. Dies geht aus einem Schreiben des BMVg (T III 7) an das Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung vom 04.03.1964 hervor, in dem die Einstellung der diesbezüglichen Untersuchungen angewiesen wird, da in deren Ergebnis festgestellt wurde, dass keine Gefahren für das Personal bestehen.

---

<sup>1</sup> Hierfür wurde 1973 mit der Röntgenverordnung der Begriff Röntgenstörstrahler eingeführt.

<sup>2</sup> 2. Auflage 1966

Darüber, inwieweit das Radarpersonal durch entsprechende Belehrungen über die Gefährdungen informiert wurde, hat die Radarkommission im Rahmen der Anhörungen widersprüchliche Auskünfte erhalten, wie dies auch bereits im Bericht des Arbeitsstabes Dr. Sommer festgestellt wurde. Vom BMVg wurde im Rahmen der Anhörungen im Wesentlichen auf die oben genannten Dokumente verwiesen und darauf, dass die Radarsoldaten im Rahmen der Ausbildung und bei regelmäßigen Belehrungen über die Gefährdungen an Radargeräten, einschließlich Röntgenstrahlung, informiert worden seien. Dem wurde allerdings bei den Anhörungen von einer Reihe von Betroffenen, die zumeist in sehr frühen Jahren an Radargeräten tätig waren, z.T. vehement widersprochen. Hier mag es in Abhängigkeit vom Waffensystem und vor allem von der jeweiligen Zeit Unterschiede gegeben haben. Über Inhalt und Qualität solcher Belehrungen, wenn sie stattgefunden haben, ist der Kommission nichts bekannt. Dokumentationen hierüber werden nach Aussage eines BMVg-Mitarbeiters (in Übereinstimmung mit den Regelungen der Röntgenverordnung) in der Regel nach 5 Jahren vernichtet. Im Ergebnis der Diskussion bei einer der Anhörungen (NASARR) wurden der Kommission vom BMVg zwar Unterlagen vorgelegt, die die Durchführung von Strahlenschutzbelehrungen in einer Einheit ab 1970 dokumentieren. Der Inhalt der Belehrungen beschränkte sich aber auf „Hinweise für die praktische Arbeit beim Umgang mit radioaktiven Stoffen“ (unter Bezug auf die erste Strahlenschutzverordnung, s. Kap. 3).

Insgesamt hat die Kommission den Eindruck gewonnen, dass der Stellenwert, den man dem Problem Röntgenstrahlung bis Ende 1975 in der Bundeswehr beigemessen hat, auch wenn es Belehrungen gegeben haben sollte, nicht sehr groß gewesen ist. Zur Illustration sei angemerkt, dass ein Lehrfilm über Sicherheitsbestimmungen am Waffensystem HAWK, der vermutlich Ende der 60er/Anfang der 70er Jahre entstand<sup>3</sup>, zwar Hinweise zum Schutz vor konventionellen Risiken wie Hochspannung, Feuer und auch HF-Strahlung enthält, jedoch nichts über die Gefährdung durch Röntgenstrahlung<sup>4</sup>. Strahlenwarzeichen, die z.B. auf Verpackungen bestimmter Röhren des NASARR angebracht waren, bezogen sich, wie bei der betreffenden Anhörung von Vertretern der Bundeswehr und von Betroffenen übereinstimmend geäußert wurde, auf die darin enthaltenen radioaktiven Stoffe (Cs-137), nicht auf Röntgenstrahlung.

### Regelungen für Störstrahler in der Röntgenverordnung von 1973

In der Röntgenverordnung (RöV) vom 1. März 1973 (BGBl. I S. 173) wird in der Bundesrepublik Deutschland erstmalig der Strahlenschutz für Störstrahler geregelt. Sie findet auch Anwendung auf den Betrieb von Störstrahlern bei der Wartung und Instandsetzung dieser Geräte. Mit der Anordnung im Ministerialblatt des Bundesministeriums der Verteidigung (VMBl) 1973 S. 373 wurde die Röntgenverordnung auch für den Dienstbereich der Bundeswehr verbindlich. Nachfolgend werden einige Regelungen der Röntgenverordnung auszugsweise wiedergegeben:

#### ▪ **Beschaffenheitsanforderungen**

Störstrahler dürfen nur genehmigungsfrei betrieben werden, wenn der Störstrahler der Bauart nach zugelassen ist oder die Spannung zur Beschleunigung der Elektronen 20 Kilovolt (kV) und gleichzeitig die Ortsdosisleistung im Abstand von 0,05 m von der Oberfläche 0,5 mR/h (5

---

<sup>3</sup> Zur Verfügung gestellt vom Bund zur Unterstützung Radargeschädigter e.V., genauer Produktionszeitraum nicht bekannt.

<sup>4</sup> Auch keinen Hinweis auf mögliche Gefährdungen durch radioaktive Leuchtfarben

$\mu\text{Sv/h}$ ) nicht überschreitet. Außerdem muss dann auf dem Störstrahler darauf hingewiesen werden, dass Röntgenstrahlen erzeugt werden und die Spannung zur Beschleunigung der Elektronen die vom Hersteller oder Einführer bezeichneten Höchstwerte nicht überschreiten darf.

Nach den Übergangsbestimmungen der Röntgenverordnung durften allerdings Störstrahler mit einer Spannung bis zu 20 kV nach Inkrafttreten der Röntgenverordnung ohne Genehmigung weiterbetrieben werden, auch wenn die Voraussetzungen an die Beschaffenheit nicht erfüllt waren. Störstrahler mit einer Spannung von mehr als 20 kV durften gleichfalls weiterbetrieben werden, wenn diese Geräte 6 Monate nach Inkrafttreten der Röntgenverordnung bei der zuständigen Behörde angezeigt wurden.

### ▪ **Genehmigungsvoraussetzungen**

Wer Störstrahler betreibt, bei denen die vorgenannten Anforderungen an die Beschaffenheit nicht erfüllt sind, bedarf der Genehmigung. Maßnahmen werden im Rahmen des Genehmigungsverfahrens von den zuständigen Behörden festgelegt, z.B. die Einrichtung von Kontrollbereichen, das Anbringen von Abschirmungen, die Begrenzung der Aufenthaltsdauer oder die Durchführung von Personendosimetrie. Kontrollbereiche sind dann einzurichten, abzugrenzen und zu kennzeichnen, wenn Personen eine höhere Äquivalentdosis als 1,5 rem (15 mSv) im Kalenderjahr erhalten können. Beim Aufenthalt in Kontrollbereichen haben alle Personen eine ausreichende Schutzkleidung gegen Röntgenstrahlung zu tragen, soweit nicht durch eine Dauereinrichtung ein ausreichender Schutz gewährleistet ist.

### ▪ **Vorschriften zur Begrenzung der Strahlenexposition**

Bei einer beruflich strahlenexponierten Person darf die höchstzulässige Dosis, die von einem genehmigungsbedürftigen Störstrahler verursacht wird, 5 rem (50 mSv) im Kalenderjahr und die höchstzulässige Dosis an Händen, Unterarmen, Füßen und Knöcheln 60 rem (600 mSv) im Kalenderjahr nicht überschreiten. Bei anderen Personen, die sich auf Grund ihrer Tätigkeit gelegentlich in Kontrollbereichen aufhalten, ohne mit dem Betrieb eines genehmigungsbedürftigen Störstrahlers befasst zu sein, darf die auf ein Jahr verteilte aufgenommene Äquivalentdosis höchstens 1,5 rem (15 mSv) betragen.

### ▪ **Messung der Personendosis**

Nach der Röntgenverordnung ist an Personen, die sich im Kontrollbereich aufhalten, die Personendosis zu messen. Die Messungen der Personendosis müssen am Rumpf vorgenommen werden; wird Schutzkleidung getragen, ist die Messung unter dieser vorzunehmen. Sind einzelne Stellen des Körpers der Strahlung besonders ausgesetzt, müssen die Messungen auch an diesen Stellen vorgenommen werden. Der Betreiber von genehmigungsbedürftigen Störstrahlern hat die Ergebnisse dieser Messungen 30 Jahre aufzubewahren und den Betroffenen auf Verlangen mitzuteilen. Wenn Messungen mit amtlichen Dosimetern unterbleiben oder fehlerhaft sind, kann die zuständige Behörde eine Ersatzdosis festlegen. In begründeten Fällen kann die Ersatzdosis über eine Abschätzung erfolgen.

Nach den Erkenntnissen der Radarkommission hat die Inkraftsetzung der Röntgenverordnung bei der Bundeswehr nicht unmittelbar zu Konsequenzen bzgl. des Strahlenschutzes an Störstrahlern oder einem wachsenden Problembewusstsein geführt. In einem Verwaltungs- und Mitteilungsblatt (VMBI) von 1973 hat die Bundeswehr zwar die Gültigkeit der Röntgenverordnung auch für die Bundeswehr erklärt, deren Wortlaut veröffentlicht und eine Durchführungsbestimmung angekündigt. Die erste Durchführungsbestimmung zur Röntgenverordnung für die Bundeswehr erschien aber erst in einem VMBI von 1977.

Wie oben dargestellt, unterlagen zudem auf Grund der Übergangsbestimmungen nur solche Radareinrichtungen den Bestimmungen der Röntgenverordnung, bei denen die Betriebsspannungen größer als 20 kV waren oder die nach dem 1. September 1973 in Betrieb genommen wurden. Damit war für einen Teil der Radargeräte durch die Röntgenverordnung zunächst kein Handlungsbedarf gegeben.

Allerdings liefern die der Kommission vorliegenden Unterlagen keine Hinweise, dass wenigstens für Geräte mit Betriebsspannungen größer 20 kV die erforderlichen Maßnahmen ergriffen worden wären, wie dies für einen beträchtlichen Teil der zum damaligen Zeitpunkt in der Bundeswehr betriebenen Radarsysteme notwendig gewesen wäre. Die betreffenden Geräte mussten bis zum 28. Februar 1974 der zuständigen Behörde angezeigt werden, die dann entsprechende Maßnahmen, wie die Einleitung eines Genehmigungsverfahrens, die Durchführung von Strahlenschutzmessungen, die Festlegung von Kontrollbereichen einschließlich einer personendosimetrischen Überwachung zu veranlassen gehabt hätte.

Für die Durchführung der erforderlichen Messungen fehlten der Bundeswehr seinerzeit auch die Voraussetzungen. In einer Niederschrift über eine Notfalluntersuchung im Zusammenhang mit den Vorkommnissen im Marinearsenal Wilhelmshaven vom 18. Mai 1976 heißt es dazu:

„Die dringend erforderliche messtechnische Überprüfung aller Anlagen mit gefährlicher Strahlung kann z.Z. nicht im notwendigen Umfang durchgeführt werden, da der Bundeswehr sowohl die personellen wie die materiellen Voraussetzungen dafür fehlen“.

Erst die Vorkommnisse im Marinearsenal Wilhelmshaven waren Ausgangspunkt für eine verstärkte Auseinandersetzung mit den Gefährdungen durch Röntgenstörstrahlung an Radaranlagen in der Bundeswehr. Aus Anlass zweier Todesfälle und dem Verdacht, die Erkrankungen (Leukämie, Magenkrebs) könnten in kausalem Zusammenhang mit einer Exposition durch Röntgenstörstrahlung an Radargeräten gestanden haben, waren Messungen an Radargeräten der Marine (SGR-103) durchgeführt worden, die z.T. extrem hohe Werte der Ortsdosisleistung ergeben hatten.

Als Reaktion auf diese alarmierenden Untersuchungen wurden - in Abhängigkeit vom Radargerät - schrittweise konkrete Schutzmaßnahmen wie die Einrichtung von Kontrollbereichen, Abschirmmaßnahmen, Festlegung zur Strahlenschutzüberwachung, Belehrungen des Radarpersonals vorgeschlagen und durchgeführt. Parallel wurden mit der Einrichtung der beiden Strahlenmessstellen die personellen und technischen Voraussetzungen zur Durchführung der erforderlichen Untersuchungen in der Bundeswehr geschaffen.

Insgesamt nahm der Prozess mehrere Jahre in Anspruch. Neben den umfangreichen Sofortmaßnahmen bei der Marine, die im wesentlichen in den Jahren 1976 - 1978 durchgeführt wurden, sei hier beispielhaft auf einen Befehl zum Tragen von Bleischürzen bei Arbeiten am eingeschalteten Sender des Radargerätes PAR im Waffensystem HAWK vom

30.11.1981 hingewiesen sowie auf die Einführung von Blei-Schutzkappen für die Störstrahler bei Arbeiten am NASARR (außerhalb des Luftfahrzeugs) etwa im gleichen Zeitraum.

Bei den Anhörungen wurde deutlich, dass den betroffenen Radartechnikern zumeist erst mit Einführung solcher konkreten Schutzmaßnahmen und mit der Durchführung von Messungen durch Mitarbeiter der Strahlenmessstellen an ihren Arbeitsplätzen die Bedeutung des Strahlenschutzes an Röntgenstörstrahlern bewusst wurde.

### Röntgenverordnung von 1987

Die Röntgenverordnung von 1973 wurde in den Jahren 1987 (BGBl. I S. 114) und 2002 (BGBl. I S.1869) durch neue Röntgenverordnungen abgelöst, wobei sich die Anforderungen an Störstrahler nicht wesentlich geändert haben. Lediglich der Wert von 0,5 mR/h (5  $\mu$ Sv/h) in 0,05 m von der Oberfläche wurde durch den Wert von 1  $\mu$ Sv/h in 0,1 m Abstand von der Oberfläche ersetzt. Außerdem entfällt seitdem die Übergangsregelung nach der Röntgenverordnung von 1973, so dass nunmehr alle Störstrahler die Anforderung an die Beschaffenheit erfüllen müssen oder anderenfalls der Genehmigungspflicht unterliegen. Diese Anforderungen sind in der Dienstvorschrift ZDv44/510 „Strahlenschutz- Röntgen, Laser, elektromagnetische Felder“ vom Mai 1989 aufgeführt, wobei in dieser Dienstvorschrift nunmehr auch konkrete Maßnahmen zur Durchsetzung dieser Anforderungen beim Betrieb von Radaranlagen festgelegt sind.

Über die Umsetzung der Vorschriften gemäß der Novelle von 1987 konnte die Radarkommission sich im Rahmen der ihr zur Verfügung stehenden Zeit kein umfassendes Bild machen. Allerdings haben sich allein durch technische Entwicklungen wie Röhren mit Keramikummantelungen oder deren Ersatz durch Halbleiterbauelemente deutliche Verbesserungen des technischen Strahlenschutzes ergeben. Bei den Besichtigungen wurden z.T. auch modernere Geräte gesehen, bei denen die vorhandenen Störstrahler konstruktiv gut abgeschirmt waren. Sowohl neue wie auch noch betriebene ältere Geräte (HAWK) waren mit Strahlenwarnzeichen versehen.

Insgesamt wurde der Kommission von den Teilnehmern der Anhörungen bestätigt, dass sich der Strahlenschutz an Radaranlagen seit den 70er / 80er Jahren deutlich verbessert hat und mittlerweile ein entsprechendes Problembewusstsein auch bei den vor Ort tätigen Radartechnikern besteht.

### Personendosimetrische Überwachung von Radartechnikern

Von besonderer Bedeutung für die Fragestellung der Radarkommission ist es, ob und auf welche Weise sich die Strahlenexposition der Betroffenen retrospektiv ermitteln lässt. Die Standardmethode zur Ermittlung der Körperdosis im Strahlenschutz, die nach der Röntgenverordnung an bestimmten Arbeitsplätzen wie dargestellt seit 1973 vorgeschrieben war, ist die personendosimetrische Überwachung. Die Radarkommission hat deshalb der Frage, ob, in welchem Umfang und mit welchem Ergebnis personendosimetrische Überwachungen an Personal von Radaranlagen durchgeführt wurden, besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

Ein diesbezügliche Anfrage beim BMVg wurde dahingehend beantwortet, dass es in 3 Wehrbereichen konkrete Hinweise auf eine personendosimetrische Überwachung des Radarpersonals gibt, und zwar im wesentlichen bei der Wehrbereichsverwaltung Nord.

In den Anhörungen haben sich allerdings weitere Hinweise ergeben, dass zu verschiedenen Zeiten und mit unterschiedlicher Dauer an Radargeräten personendosimetrische Messungen durchgeführt wurden, teils auch schon Ende der 60er Jahre, so beispielsweise am NASARR. Hingegen waren keinem der Beteiligten an der Anhörung zum HAWK entsprechende Messungen an diesem Waffensystem bekannt.

Eine intensive Auseinandersetzung mit der Frage der Personendosimetrie, insbesondere mit der Frage der Eignung verschiedener Dosimetertypen, hat es offenbar hauptsächlich im Zusammenhang mit den Vorkommnissen im Marinearsenal Mitte der 70er Jahre gegeben:

Aus den vorgelegten Unterlagen [BWB 1976] geht hervor, dass eine sofortige Personendosimetrie mit amtlichen Filmosimetern sowie geeigneten Stabdosimetern zu erfolgen habe. Dies wurde seit dem 01.10.1976 durchgeführt. Ferner wurde die Eignung von Thermolumineszenz-Dosimetern (TLD) diskutiert. Die Anhörung am 12. März 2003 in Hengelo im Zusammenhang mit einer Besichtigung des Rundsuchradars SGR 103 hat ergeben, dass der Senderraum, in dem sich SGR 103 und 105 befanden, ab 1976 bis zur Realisierung technischer Strahlenschutzmaßnahmen, die 1981 mit Abschirmaßnahmen und Einführung von Halbleiterdioden abgeschlossen waren, Kontrollbereich war.

Bei der Auswertung von 42 Personendosimetern bis März 1978 wurden keine Dosen oberhalb der Nachweisgrenze von 40 mrem (400  $\mu$ Sv) festgestellt. Nachdem die Modifizierung der Anlagen an Bord der Schiffe abgeschlossen war, wurde mit Schreiben des Marineunterstützungskommandos vom 24.05.1978 die personendosimetrische Überwachung dieses Personenkreises mittels Doppeldosimetrie (Film- und Stabdosimeter) eingestellt. Die Befragung während der Anhörung zum SGR-103 ergab, dass die Filmdosimetrie zumindest im Arsenal in Wilhelmshaven noch bis 1981 durchgeführt wurde. Diese Auskunft wird bestätigt durch ein Fernschreiben vom 25.01.79, das einen Hinweis auf die amtliche Messstelle für Filmdosimeter in Hamburg enthält, und das den Schluss zulässt, dass die Filmdosimetrie in einigen Bereichen der Bundeswehr noch weitergeführt wurde.

Etwa zeitgleich wurde 1977 der Vorschlag gemacht, ergänzend zur Filmdosimetrie die Fingerringdosimetrie mit TLD anzuwenden [MUKdo 1977]. Mit Schreiben vom 11.05.1978 berichtet die Wehrwissenschaftliche Dienststelle an das Bundesamt für Wehrtechnik, dass an 12 Personen TLD Fingerringdosimeter ausgegeben wurden und die Auswertung bei einem dieser Dosimeter eine Dosis von 50 mR (500  $\mu$ Sv) für Februar 1978 ergab [WWD 1978]. Über die Weiterführung dieser Art der Dosimetrie wird in den Unterlagen nicht berichtet, alle Befragungen im Rahmen der durchgeführten Besichtigungen bestätigen, dass die Fingerringdosimetrie praktisch nicht eingesetzt wurde.

Im Zusammenhang mit den negativen Ergebnissen bei der Filmdosimetrie muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass auf Grund der eng begrenzten Strahlenbündel die Radartechniker in der Regel nur Teilkörperexpositionen durch begrenzte Strahlenbündel ausgesetzt sind (vgl. Abschnitt 2.1). Die Messung der Personendosis mit amtlichen Dosimetern in diesen räumlich inhomogenen Strahlenfeldern ist mit sehr großen Fehlern behaftet. Hierbei besteht das Problem, die repräsentative Körperstelle für das Personendosimeter festzulegen. Darüber wurde bereits 1955 in [Schneider 1955] berichtet. Damals wurde festgestellt, dass für das Personal eines Testlabors in New Jersey aufgrund der falschen Positionierung der Filmdosimeter im Brustbereich in den meisten Fällen eine Personendosis nicht registriert wurde, obwohl es nachweislich Röntgenstörstrahlung ausgesetzt war.

Dies wird letztlich auch durch die durchgeführten personendosimetrischen Untersuchungen in der Bundeswehr bestätigt. Selbst bei Kenntnis des Strahlenfeldes dürfte es nahezu

unmöglich sein, das Dosimeter an der tatsächlich repräsentativen Stelle zu platzieren. Deshalb ist eine Interpretation der in inhomogenen Strahlenfeldern ermittelten Personendosen immer problematisch.

Aus den Unterlagen geht hervor, dass die Wehrwissenschaftliche Dienststelle der Bundeswehr für ABC-Schutz sich der Frage, ob in der Nähe von Radaranlagen Kontrollbereiche einzurichten sind, 1976 gewidmet hat. Sie kam generell zu dem Ergebnis, dass die Festlegung eines Überwachungsbereiches in der Regel ausreicht, empfahl allerdings die Ermittlung von Personen- beziehungsweise Körperdosen.

Auch die Befragungen der Betroffenen im Rahmen der von der Kommission durchgeführten Anhörungen haben den Eindruck bestätigt, dass Kontrollbereiche nach 1976 allenfalls temporär bis zur Realisierung technischer Strahlenschutzmaßnahmen eingerichtet wurden. Es wurde keine der oben beschriebenen personendosimetrischen Maßnahmen konsequent und fachlich hinreichend kompetent angewandt, auch nicht für mögliches Risikopersonal. Sie ist in keinem Fall so konzipiert und dokumentiert, dass auch nur näherungsweise eine Körperdosismessung darauf aufgebaut werden könnte. Das mag aufgrund der geschilderten prinzipiellen Probleme mit einer repräsentativen Personendosimetrie im Allgemeinen kein großer Mangel sein, wohl aber wäre hinsichtlich der Teilkörperdosimetrie der Hände eine systematischere Untersuchung der Möglichkeiten der Fingerringdosimetrie als Überwachungsmethode angebracht gewesen.

### **2.2.2 Nationale Volksarmee**

Der Strahlenschutz beim Betrieb von Einrichtungen, in denen ionisierende Strahlung als Nebeneffekt entsteht, war in der DDR seit 1964 geregelt. Grundlage für diese Regelungen waren Empfehlungen des International Committee on Radiation Protection (ICRP), wobei auch die Festlegungen der Euratom-Grundnorm vom 2. Februar 1959 (Ableg 1959, S. 221) berücksichtigt wurden.

Für den Strahlenschutz beim Betrieb von Radareinrichtungen sind von Bedeutung die Verordnung über den Schutz vor der schädigenden Einwirkung ionisierender Strahlung vom 10. Juni 1964 – Strahlenschutzverordnung - (GBl II Nr. 76, S. 655), die 1969 überarbeitet (GBl II Nr. 99, S. 627) und nochmals 1984 novelliert und als Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz vom 11. Oktober 1984 (GBl I Nr. 30, S. 325) veröffentlicht wurde, und die Anordnung über die Bauartzulassung von Strahleneinrichtungen, umschlossener Strahlenquellen und von Mitteln zur Gewährleistung des Strahlenschutzes und der nuklearen Sicherheit vom 19. Oktober 1988 (GBl I Nr. 24, S. 265). Diese Strahlenschutzvorschriften galten für die NVA unmittelbar und mussten in deren Zuständigkeitsbereich eigenverantwortlich durch die NVA umgesetzt werden.

In den Strahlenschutzvorschriften der DDR gab es den Begriff „Störstrahler“ nicht, hierfür wurde die Bezeichnung „Einrichtungen, in denen ionisierende Strahlung als Nebeneffekt entsteht“ verwendet. Die in den Strahlenschutzvorschriften der DDR enthaltenen Anforderungen an Radareinrichtungen unterschieden sich nur unwesentlich von denen, die zur selben Zeit in der Strahlenschutzgesetzgebung der Bundesrepublik vorgeschrieben waren.

Über die Umsetzung der Strahlenschutzvorschriften und das Strahlenschutzregime beim Betrieb von Radareinrichtungen liegen der Radarkommission nur wenige Erkenntnisse vor.

Das BMVg hat der Radarkommission unter Berufung auf die Wehrbereichsverwaltung Ost berichtet, dass das Radarpersonal der NVA weder Filmdosimeter noch Fingerringdosimeter getragen hat und Unterlagen zur Personendosimetrie nicht vorliegen. Dieses wurde während einer Anhörung grundsätzlich bestätigt. Die Soldaten waren nur mit Dosimetern ausgestattet, die für die Dosimetrie im Falle des Einsatzes von Nuklearwaffen ausgelegt und die für eine Ermittlung der Exposition durch Röntgenstrahlung nicht geeignet waren. Einem der anwesenden Bundeswehrvertreter (ein ehemaliger NVA-Offizier) ist bekannt, dass auf individuelle Initiative hin in seiner ehemaligen Einheit für einen kurzen Zeitraum von Radarsoldaten Filmdosimeter getragen wurden, ohne dass jedoch eine Strahlenexposition nachgewiesen wurde. Angesichts der bereits oben diskutierten Probleme dieser Überwachungstechnik überrascht dieses Ergebnis allerdings nicht.

Informationen über Gefährdungen durch Röntgenstrahlung hat es zumindest für höher qualifizierte Radartechniker (z.B. im Rahmen der Offiziersausbildung) gegeben. Im Rahmen einer Anhörung wurde von den beiden ehemaligen NVA-Soldaten glaubhaft dargestellt, dass sie als Grundwehrdienstleistende hierüber nicht belehrt wurden.

### **2.3 EXISTIERENDE MESSUNGEN DER RÖNTGENSTÖRSTRAHLUNG AN RADARGERÄTEN**

Nach der Einrichtung der beiden Strahlenmessstellen der Bundeswehr Ende der Siebziger Jahre wurden in den darauffolgenden Jahren für die wichtigsten der in den Teilstreitkräften der Bundeswehr zum damaligen Zeitpunkt eingesetzten Radarsysteme wiederholt Messungen der Ortsdosisleistungen der identifizierten Röntgenstrahler durchgeführt. Diese Messungen werden für die einzelnen Radaranlagen von der „Arbeitsgruppe Aufklärung der Arbeitsplatzverhältnisse Radar“ (AG RADAR) der Bundeswehr zusammengestellt. Da die Radargeräte bis auf einzelne Ausnahmen verschrottet worden sind, bilden diese alten Messungen die wesentliche Grundlage für eine Rekonstruktion der Expositionsbedingungen der Radartechniker an ihren Arbeitsplätzen. Sie können dazu allerdings nur Verwendung finden, wenn (a) die Messwerte nicht durch systematische Fehler verfälscht wurden - etwa durch die Verwendung nicht geeigneter Messgeräte - , und (b) Betriebsbedingungen der Störstrahler und damit die gemessenen Ortsdosisleistungen auch repräsentativ für die Einsatzbedingungen in den Zeiten vor Aufnahme der Messungen gewesen sind.

Beide Fragestellungen sind von der Kommission überprüft worden, ihre Ergebnisse sind im Folgenden zusammengefasst.

#### **2.3.1 Qualität der Messungen ionisierender Strahlung an Radargeräten**

##### **Beschreibung der verwendeten Messgeräte**

In Tabelle 2-1 sind für eine Auswahl von Messberichten [BMVg 2002 a] die verwendeten Dosimeter und die mit diesen Dosimetern durchgeführte Anzahl von Messungen angegeben. 212 dieser insgesamt 308 Messungen sind mit dem Ortsdosimeter TOL/E der Fa. Berthold

durchgeführt worden, in vielen Fällen mit der HF-Version, die bis auf die Metall-Abschirmung des Detektors gegen Störungen durch Hochfrequenz (HF)-Strahlung (z. B. Radar-Strahlung) mit der Standardversion identisch ist [Berthold 1977]. Die Standardversion des Dosimeters TOL/E ist von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) bauartzugelassen [PTB 1977]. Das Dosimeter verwendet eine Ionisationskammer als Detektor, die ein abgeschlossenes Messvolumen besitzt und je nach Messbereich mit oder ohne Gasverstärkung betrieben wird. Der aktive Teil der Sonde ist etwa 12 cm lang und hat einen Durchmesser von etwa 3 cm. Das Dosimeter hat einen zugelassenen Energiebereich von 8 keV bis 1300 keV und einen Dosisleistungsbereich von 10  $\mu$ R/h (in der  $H_X$ -Version 0,1  $\mu$ Sv/h) bis 3000 R/h (in der  $H_X$ -Version 30 Sv/h). Bei der HF-Version beginnt der Energiebereich nach Herstellerangaben [Berthold 1977] erst bei einer mittleren Energie von etwa 9 keV, die obere Grenze des Energiebereichs und alle anderen Daten sind gleich.

Tab. 2-1: *Liste der Dosimeter, die bei einer Auswahl von Messberichten [BMVg 2002a] verwendet wurden sowie die mit diesen Dosimetern durchgeführte Zahl von Messungen*

Dosimeter	Zahl der Messungen	Detektortyp
TOL/E	20	Ionisationskammer
TOL/E-HF	190	Ionisationskammer
TOL/E-LB	2	Ionisationskammer
Zählrohr	12	Zählrohr
FH 40 T / FHZ 72	7	Geiger-Müller-Zählrohr
Andere	13	–
Keine Angabe	64	–
Summe	308	

Für weitere 19 Messungen wurden Zählrohrdosimeter verwendet, teilweise ohne Angabe des Typs, teilweise wird als Typ das FH 40 T / FHZ 72 genannt - ein Ortsdosimeter der ehemaligen Firma FAG Kugelfischer, jetzt ESM Eberline Instruments Strahlen- und Umweltmesstechnik GmbH [FAG 1986]. Dieses Gerät ist ebenfalls von der PTB bauartzugelassen [PTB 1985]. Es besitzt ein Geiger-Müller-Zählrohr als Detektor, das als Messprinzip die Umwandlung der Strahlung in kurze Impulse und deren Zählung verwendet.

Von den restlichen 77 Messungen wurden 13 mit verschiedenen anderen benannten Dosimetern durchgeführt. Für 64 gibt es keine Angabe zum Typ des Dosimeters.

Das TOL/E Ortsdosimeter ist damit bei 87 % aller von benannten Dosimetern durchgeführten Messungen verwendet worden. Es wird daher zusammen mit dem FH 40 im Folgenden ausführlich bezüglich seiner Eignung für Messungen an Radargeräten diskutiert.

### Eignung der Dosimeter hinsichtlich der Photonenenergie

Abbildung 2-7 zeigt die Energieabhängigkeit des relativen Ansprechvermögens der Standard- und der HF-Version des TOL/E bei Strahleneinfall in Vorzugsrichtung, d. h. Strahleneinfall radial auf die zylinderförmige Sonde, im Bild 2-8 durch das dunkle Rechteck symbolisiert. Für die Standardversion ergibt sich ein zugelassener Energiebereich von 8 keV bis 1300 keV, für die HF-Version ergibt sich aus den Herstellerangaben [Berthold 1977] ein Energiebereich von 9 keV bis 1300 keV. Abbildung 2-8 zeigt die Winkelabhängigkeit des relativen Ansprechvermögens der Standardversion des TOL/E bei der Strahlungsqualität A 40 nach DIN 6818-1 [DIN 1992], entsprechend einer mittleren Energie von 33 keV. Für die HF-Version ist die gleiche Winkelabhängigkeit zu erwarten.

Aus den in Abb. 2-7 und 2-8 gezeigten Energie- und Winkelabhängigkeiten ergibt sich, dass das Dosimeter TOL/E sowohl in der Standardversion als auch in der HF-Version hinsichtlich der Photonenenergie für Messungen der ionisierenden Strahlung an Störstrahlern von Radar-Anlagen ab etwa 10 kV Betriebsspannung geeignet ist.

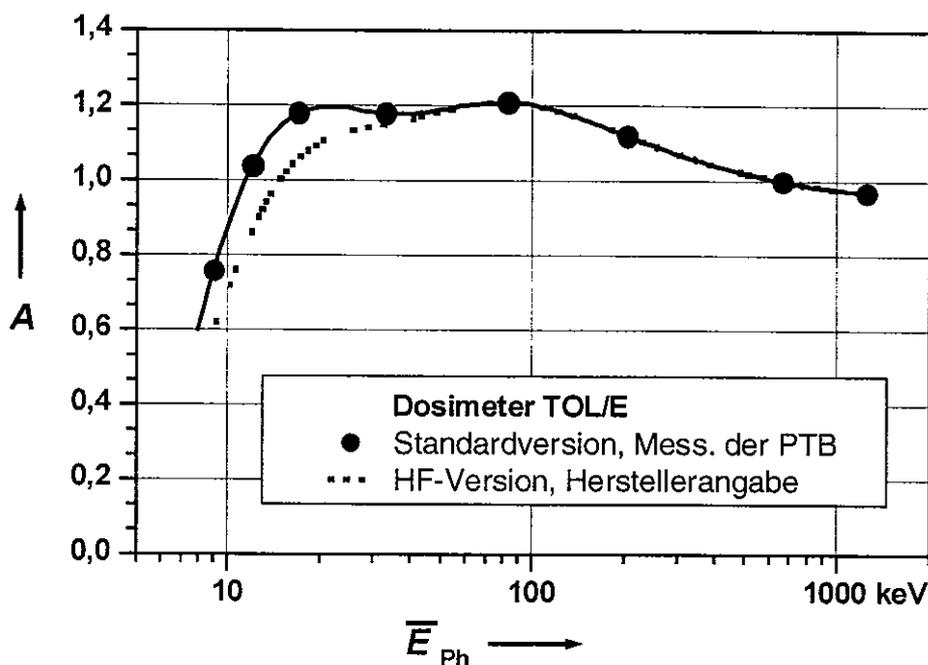


Abb. 2-7: Energieabhängigkeit des relativen Ansprechvermögens (bezogen auf  $A = 1$  bei 662 keV) des TOL/E bei Strahleneinfall in Vorzugsrichtung. Prüfstrahlungsqualitäten nach DIN 6818-1 [DIN 1992].

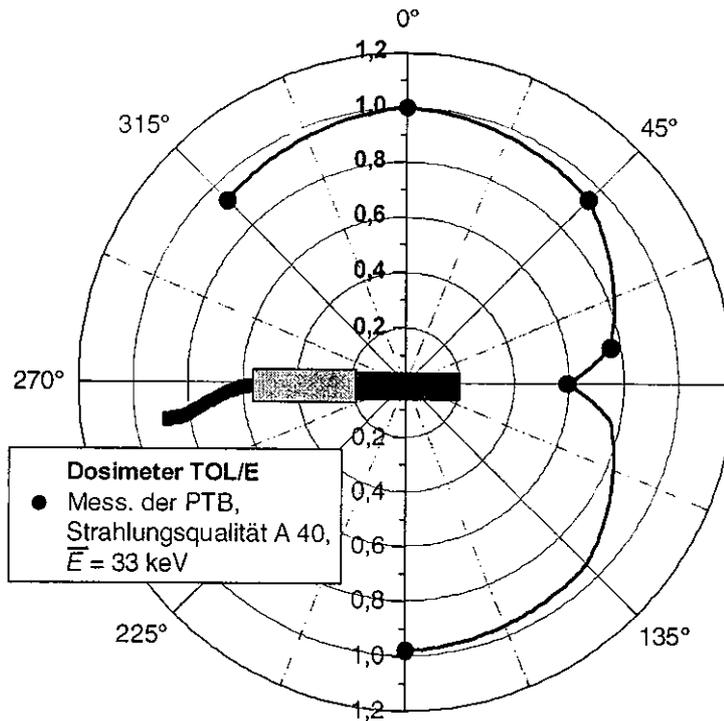


Abb. 2-8: Winkelabhängigkeit des relativen Ansprechvermögens (bezogen auf  $A = 1$  bei  $0^\circ$ ) der Standardversion des TOL/E bei der Strahlungsqualität A 40, mittlere Energie 33 keV. Prüfstrahlungsqualitäten nach [DIN 1992].

Für das FH 40 ist, je nach Ausführung F1 bis F4, eine untere Grenze des Energiebereichs von 40 keV bis 45 keV angegeben. Es kann deshalb die an Störstrahlern von Radar-Anlagen vorkommende Röntgenstrahlung nur sehr eingeschränkt nachweisen und ist daher hinsichtlich der Photonenenergie ungeeignet.

### Eignung der Dosimeter für gepulste Strahlung

Die meisten Radargeräte werden im Pulsbetrieb betrieben, die Radarimpulse haben eine Folgefrequenz von etwa 1 kHz und eine Länge von etwa  $1 \mu\text{s}$ . Daraus ergibt sich, dass die Impulse der ionisierenden Strahlung je nach Ursprung  $1 \mu\text{s}$  (bei Klystrons oder invers leitenden Clipperdioden) oder weniger als 100 ns (bei Thyratrons) lang sind, siehe Kapitel 2.1. Das Tastverhältnis der Strahlung liegt zwischen 1000:1 und über 10 000:1. Diese sehr kurzen Impulse der Röntgenstrahlung stellen hohe Anforderungen an das Dosimeter.

Das TOL/E (-HF) misst die im Messvolumen erzeugte Ladung (je nach Messbereich auch durch Gasverstärkung erhöht); diese ist proportional zur Dosis. Nur bei sehr hohen Dosisleistungen kann es zu lokalen Ladungsrekombinationen und zu einer Überlastung des Detektors kommen, die zu einer starken Reduzierung der Anzeige führen können. Dies kann bei extrem kurzen Impulsen in Verbindung mit einem für die Messung zu empfindlichen Messbereich und „passenden“ Folgefrequenzen dazu führen, dass die Anzeige auf Null zurückgeht. Diese Überlast kann erkannt und vermieden werden, wenn bei der Messung zunächst in einem hohen Dosisleistungs-Messbereich begonnen und der Messbereich dann schrittweise verkleinert wird. In der Zulassung des Dosimeters wird von der PTB angegeben, dass das Dosimeter mindestens bis zu einem Tastverhältnis von 3 000:1 geeignet ist. Weiterhin zeigen die Messungen des TÜV [TÜV 2002], bei denen an Radaranlagen Messungen mit dem TOL/E-HF mit Messungen mit Thermolumineszenz-Dosimetern (TL-Dosimetern) verglichen wurden, dass bei richtiger Bedienung kein signifikanter Unterschied

in den Messwerten auftritt. Dabei wurden auch Messungen an Thyratrons durchgeführt, also bei den höchsten an Radaranlagen vorkommenden Tastverhältnissen. Von Thermolumineszenz-Dosimetern ist bekannt, dass sie bis zu extrem hohen Dosisleistungen linear anzeigen.

Zählrohrdosimeter wie das FH 40 sind bei den kurzen Impulsen von  $1\mu\text{s}$  oder kürzer überfordert, da der Zählrohrimpuls selbst schon typisch  $1\mu\text{s}$  lang ist und während eines Impulses kein weiterer Impuls gezählt werden kann. Es werden daher immer nur 0 oder 1 Impuls während eines Radarimpulses gezählt und die angezeigte maximale Dosisleistung wird durch die Folgefrequenz der Radarimpulse bestimmt.

Hieraus ergibt sich, dass das TOL/E sowohl in der Standardversion als auch in der HF-Version bei richtiger Bedienung für die Messung von gepulster Strahlung geeignet ist. Alle Bauarten des FH 40 sind für die Messung von gepulster Strahlung jedoch nicht geeignet.

Deshalb wird im Folgenden nur noch das TOL/E weiter diskutiert.

### **Eignung des TOL/E-HF hinsichtlich HF-Störfestigkeit**

Die HF-Version des TOL/E unterscheidet sich von der Standardversion nur durch eine dünne Metallkappe, die über den Detektor geschoben wird. Diese Kappe soll als Faraday-Käfig die HF-Felder abschirmen. Die Bundeswehr hat bereits ab 1975 Untersuchungen zum Einfluss von HF-Strahlung auf Kernstrahlungsmessgeräte durchgeführt [WTW 1975], über die zusammenfassend in einem Schreiben der Strahlenmessstelle Nord vom 08.01.1981 berichtet wurde [BW 1981] und die durch eigene Untersuchungen der Radarkommission bestätigt wurden. Falls die in diesem Schreiben angegebenen Hinweise zum Erkennen von HF-Störungen und zu deren Beseitigung angewendet wurden, sollten nach Ansicht der Kommission die von den Messstellen der Bundeswehr durchgeführten Messungen mit der HF-Version des TOL/E nicht wesentlich von HF-Störungen verfälscht sein. Die Kommission hat eigene Messungen am 06./07. März 2003 in Mechernich und am 23.04.2003 im HF-Labor der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Berlin, durchgeführt, die diese Erkenntnisse bestätigen.

### **Eignung des TOL/E-HF für inhomogene Strahlungsfelder**

Die Strahlungsfelder an den Störstrahlern von Röntgenanlagen sind extrem inhomogen, siehe auch Kapitel 2.1. Die Abmessungen der Strahlungsfelder mit den höchsten Dosisleistungen betragen oft nur wenige Zentimeter. Aus einem Messbericht der Berufsgenossenschaft Feinmechanik und Elektrotechnik ergibt sich zum Beispiel für Messungen an einem Thyatron JAN 5949A an einer HAWK Radaranlage, *dass die Emissionen des Thyratrons geometrisch scharf begrenzt in ein kleinwinkliges Raumvolumen abgestrahlt werden* [BGFE 2001]. Der TÜV NORD ermittelte bei Untersuchungen in Mechernich ebenfalls an einem Thyatron JAN 5949A, jedoch an einem Radargerät AN MPQ 50 (X0-2) *ein divergentes Strahlungsfeld mit einer Querschnittsfläche von ca. 5 cm x 5 cm, bezogen auf den Abstand von 9 cm vom Glaszylinder des Thyratrons* [TÜV 2002]. In einem Abstand von 30 cm von der Oberfläche ergibt sich dann ein Strahlungsfeld von ca. 17 cm x 17 cm. Die Sonde des TOL/E ist etwa 12 cm lang und hat einen Durchmesser von etwa 3 cm. Das Feld in 30 cm Abstand könnte die Sonde also voll ausleuchten. Wegen der in Vergleich zum Durchmesser großen Länge kann jedoch die Orientierung der Sonde (waagrecht/senkrecht) bei den Messungen einen großen Einfluss haben. Bei kleinen Abständen zu den Störstrahlern ist aus diesen Gründen nicht sicher, dass die Sonde von den Strahlungsfeldern mit den höchsten Dosisleistungen immer vollständig ausgeleuchtet wurde, so dass in solchen Fällen auch bei optimaler Positionierung der Sonde mit dem TOL/E die Maximalwerte der Dosisleistung nicht bestimmt wurden. Hier

kann zumindest in den Fällen, in denen an einem Störstrahler mehrere Messungen in verschiedenen Abständen durchgeführt wurden, über den Test des quadratischen Abstandsgesetzes eine Prüfung und ggf. Korrektur erfolgen.

Das TOL/E ist bei richtiger Bedienung zur Messung des höchsten Wertes der Dosisleistung in inhomogenen Strahlungsfeldern an Röntgenstörstrahlern geeignet. Der Sorgfalt des Bedienpersonals beim Suchen des Bereichs höchster Dosisleistungen kommt jedoch eine sehr hohe Bedeutung zu.

Die benötigten Erfahrungen mussten zumindest einige der Mitarbeiter der Strahlenmessstellen am Beginn ihrer Tätigkeit erst sammeln, wie bei der Anhörung von Sachverständigen zur Messung von Röntgenstörstrahlung an Radaranlagen am 24. Januar 2003 deutlich wurde.

### **Zusammenfassung**

Nach Meinung der Kommission ist das Strahlenschutzdosimeter TOL/E in seiner HF-Version für Messungen der von Störstrahlern von Radar-Anlagen ab 10 kV Betriebsspannung ausgehenden ionisierenden Strahlung geeignet, sofern das Messpersonal ausreichende Erfahrungen zum Erkennen von Überlast und HF-Störungen hat und die notwendige Sorgfalt beim Aufsuchen des Bereiches höchster Dosisleistungen aufwendet.

Unterhalb von 10 kV Betriebsspannung sind keine Aussagen zur Dosis möglich.

Die Messprotokolle [BMVg 2002 a] genügen nicht den heutigen Ansprüchen. Dies gilt insbesondere für die Angaben zur Hochspannung, die nicht gemessen werden konnte und aus verschiedenen Quellen entnommen wurde. Diese Quellen waren zum Beispiel Angaben in den Datenblättern der Röhren, Hinweise auf Warnschildern oder auch Angaben der Radartechniker.

Zum Zeitpunkt der von der Bundeswehr durchgeführten Messungen gab es nach Ansicht der Kommission kein besseres, kommerziell erhältliches Strahlenschutzdosimeter.

### **2.3.2 Repräsentativität der Messwerte für die Strahlenexposition durch Röntgenstörstrahlung**

#### **Allgemeine Übersicht**

Für die Rekonstruktion der Strahlenexposition der Beschäftigten bei Bundeswehr und NVA durch Röntgenstörstrahler sind im Wesentlichen nur noch die Messwerte der Ortsdosisleistung verwendbar. Diese liegen je nach Typ des Radargerätes und der darin enthaltenen Störstrahler in sehr unterschiedlicher Zahl vor. Aus einer tabellarischen Übersicht der AG Aufklärung der Arbeitsplatzverhältnisse Radar (AG RADAR) für die Radargeräte der Bundeswehr und der NVA vom 4.11.2002 [AG Radar 2002 a], geht hervor, dass für die 121 Radargerätetypen der Bundeswehr mit 256 verschiedenen Störstrahlern insgesamt ca. 2 400 und für die 79 Radargerätetypen der NVA mit etwa 200 verschiedenen Störstrahlern insgesamt nur ca. 170 Ortsdosisleistungs-Messwerte vorliegen. Die Messungen datieren von Ende der 50er Jahre bis zum Zeitpunkt der Erstellung der Übersicht.

Einen Überblick über die vorliegenden Messwerte für Störstrahler der Radargeräte der Bundeswehr gibt die folgende Tabelle 2-2.

## Bericht der Radarkommission

Tab. 2-2: Übersicht über die vorliegenden Messwerte für Störstrahler an Radargeräten der Bundeswehr [AG Radar 2002 a]

	Anzahl von Messwerten je Störstrahler							Summe
	0	1	2	3	4	5-10	>10	
Anzahl identifizierter Störstrahler	51	54	33	14	12	38	54	256
Anzahl der Störstrahler für die der maximale Messwert als „0“ oder „DLo“ angegeben ist		32	10	7	4	9	11	73
Anzahl der Störstrahler für die der maximale Messwert „< Wert“ angegeben ist		14	12	1	1	5	2	35
Anzahl der Störstrahler für die der maximale Messwert mit eindeutigem Wert angegeben ist		8	11	6	7	24	41	97
Minimaler Messwert für Störstrahler in der Gruppe, $\mu\text{Sv/h}$		<1	<1	<0,3	<30	<2		
maximaler Messwert für Störstrahler in der Gruppe, $\mu\text{Sv/h}$		150	300	1.440	15.000	8.000	150.000	

Gleichartige Röhrenbauteile werden hier als unterschiedliche Störstrahler betrachtet, wenn sie in anderen Gerätekonfigurationen eingesetzt wurden. Dieses Vorgehen empfiehlt sich, weil gleiche Bauteile in verschiedenen Geräten mit eigenen Betriebsparametern betrieben wurden und auf Grund geometrischer Variationen (Einbauorte, abschirmende Materialien etc.) sehr unterschiedliche Ortsdosisleistungen hervorrufen können. So wurde das Thyatron 5C22 nach [AG Radar 2002 a] in 12 verschiedenen Radargeräten eingesetzt, wobei die Spannungsangaben von 8 bis 25 kV reichen. Die zitierten Maximalwerte der Ortsdosisleistung reichen von 1  $\mu\text{Sv/h}$  beim Einsatz dieser Röhre im Gerät SGR-114 bis 12 000  $\mu\text{Sv/h}$  im SGR-103.

Für ca. 50% der Störstrahler der Bundeswehr liegen höchstens 2, für 54 Störstrahler liegen mehr als 10 Ortsdosisleistungs-Messwerte vor. Mit 402 Messungen wurde das Klystron TV 2030 des MPR Radars, von dem bis zum Jahre 2002 insgesamt 6 Geräte im Einsatz waren, am intensivsten untersucht. Die Gründe dürften in der hohen Maximalspannung von 265 kV zu finden sein. Der Maximalwert aller Messungen wurde mit 150 mSv/h an der Gleichrichterröhre 8020 des Radargeräts SGR 103 gefunden (Maximum von insgesamt 12 Messwerten).

Nur für 10 der Störstrahler der NVA liegen mehr als 2 Messwerte vor. Die höchste Zahl von Messungen wurde mit jeweils 15 am Thyatron TGI 2 (16 kV) und Magnetron MI 29 (30 kV) des Radargeräts P 37 durchgeführt. Der gefundene Maximalwert aller Messungen lag bei 32 mSv/h an der Schältröhre GMI 7 des Radargeräts P 40.

Die weitaus überwiegende Zahl aller Messungen bei NVA und Bundeswehr wurde nach 1976 durchgeführt. Ab 1978 geschah dies durch die Strahlenmessstellen Nord und Süd der Bundeswehr. Parallel dazu wurden ab 1976 technische Strahlenschutzmaßnahmen schrittweise realisiert, so dass die Messwerte in der Folgezeit immer weniger die frühere Situation widerspiegeln.

Vor 1976 gab es nur vereinzelte Messwerte, z.B. für die Flugsicherungs-Radaranlage AN/CPN 4, die bereits 1967 außer Betrieb genommen wurde. Diese Radaranlage wurde zwischen 1957 und 1966 von 4 Messstellen untersucht. Diese Messungen hatten teilweise lediglich orientierenden Charakter, konkrete Werte lassen sich nur aus den Messungen des Fernmeldetechnischen Zentralamts Darmstadt von 1958 (max. 10 mSv/h in 8 cm vor dem geöffneten und 0,6 mSv/h vor dem mit perforierter Platte geschlossenen Gerät) und des Bay. Landesinstituts für Arbeitsschutz von 1957 (max. 0,07 mSv/h in 50 cm vor dem Magnetron) ableiten. Allerdings ist die Zuverlässigkeit dieser Messungen zu Recht hinterfragt worden [TÜV 2002].

Der Kommission liegen einige Messprotokolle aus den Jahren 1972-1975 vor. So wurde 1972 von der Erprobungsstelle 53 in Munster am MPQ 43 (HIPAR) des Waffensystems „Improved Nike“ in 10 cm Abstand vom Klystron 0,15 mSv/h mit dem Messgerät TOL/E(HF) gemessen. Das Klystron wurde bei einer Hochspannung von 230 kV betrieben.

Von der Wehrwissenschaftlichen Dienststelle der Bundeswehr für ABC-Schutz liegt ein Messprotokoll aus dem Jahre 1975 mit Ergebnissen aus dem Marinearsenal Wilhelmshaven vor. An einem Magnetron (Typ 5657, 30kV) wurden 0,25 mSv/h in 10 cm Abstand, bei einem Thyatron (Typ PL 522, 12 kV) wurden 5 mSv/h in 8 cm Abstand gemessen. Zum Messgerät wurden keine Angaben gemacht.

Gemäß [AG Radar 2002 c], Teilbericht NASARR, gibt es ein Protokoll der Erprobungsstelle 23 vom 7.5.74, in dem ein Messwert von 0,3 mSv/h in 5 cm Abstand berichtet wird, über das Messgerät werden keine Angaben gemacht.

Im Übergangsjahr 1976 steigt die Zahl der Messprotokolle der genannten Wehrwissenschaftlichen Dienststelle für ABC-Schutz und einem von der Bundeswehr beauftragten Messdienst (Eltro) sprunghaft an. Vom 21./22.1.1976 liegt ein Protokoll aus dem Marinearsenal Kiel vor. Darin sind Messwerte von bis zu 30 mSv/h am SGR 103 in 10 cm Abstand von der Gleichrichterdiode CV 2967/ 8020 angegeben. Selbst in 30 cm Abstand wurden noch Werte von 3,8 mSv/h gefunden. An der genannten Gleichrichterdiode CV 2967 wurden im SGR 105 in 10 cm Abstand 0,85 mSv/h gemessen.

In einem Messprotokoll vom 20.4.76 wird an der Diode CV 2967/8020 im SGR 103 ein Messwert von 150 mSv/h angegeben.

Die weiteren Messungen ab Juli 1976, z.B. auf dem Zerstörer Hamburg, dem Tender Saar, den Fregatten Emden, Lübeck und Köln sowie bei der MOS Bremerhaven, zeigen bereits eine veränderte Tendenz. Die höchsten Werte wurden zwar immer noch am SGR 103 und SGR 105 gefunden, doch liegen sie in allen Fällen unter 0,1 mSv/h, wie andere Werte, die auch außerhalb der Marine, z.B. in der Erprobungsstelle 61 Manching, bestimmt wurden.

Zu den tatsächlichen Betriebsdaten der Störstrahler wird in den meisten Protokollen jedoch nichts gesagt. Das verwendete Messgerät wird ebenfalls nicht immer erwähnt.

Ab 1977 wurde in den vorliegenden Messprotokollen der beiden oben genannten Messstellen und der Strahlenmessstelle Nord bzw. Süd im Marinebereich fast kein Wert oberhalb 0,01 mSv/h mehr gefunden. Es entsteht der Eindruck, dass die Bundeswehr ab dieser Zeit die Strahlenschutzprobleme besser in den Griff bekam, wenn auch mit einer erkennbaren zeitlichen Verschiebung außerhalb des Marinebereichs.

So wurden bei den Waffensystemen HAWK, NIKE und Starfighter (NASARR) noch nach 1980 erhöhte Messwerte gefunden, z.B. Werte von 0,04 bzw. 0,06 und 0,08 mSv/h, gemessen am offenen PAR (JAN 5949A) in 5 cm Abstand von der Geräteoberfläche, wobei zumindest die letzten beiden Werte ohne die Thyatron-Abschirmung gemessen wurden.

### **Allgemeine Bewertung**

Die der Kommission vorgelegten Unterlagen zeigen bezüglich Anzahl und Qualität der durchgeführten und dokumentierten Messungen sowohl bei Bundeswehr als auch NVA ein sehr unterschiedliches, in weiten Teilen unbefriedigendes Bild.

Vor 1976, und damit immerhin 3 Jahre nachdem die Röntgenverordnung mit klaren Vorschriften zur Überwachung von Störstrahlern in Kraft getreten war, gab es, von ganz wenigen Ausnahmen abgesehen, praktisch keine ausreichend dokumentierten Messungen. Diese Zeitspanne ist daher als eine Phase zu sehen, in der eine belastbare Dosisrekonstruktion aufgrund von Messdaten praktisch unmöglich ist.

Danach schließt sich zumindest bei der Bundeswehr eine zweite Phase an, in der die Zahl der Messungen deutlich anstieg und in der erste Strahlenschutzmassnahmen durchgeführt wurden, um, wie es in einigen Verlautbarungen heißt, die dauerhafte Einrichtung von Kontrollbereichen zu vermeiden. Im Prinzip erscheint eine Dosisabschätzung für diese Phase möglich, sofern eine ausreichende Zahl von Messwerten vorliegt, die den Zustand betreffen, wie er vor Durchführung technischer Strahlenschutzmaßnahmen vorgelegen hat. Diese zweite Phase ist gerade dadurch charakterisiert, dass beide Systeme, ertüchtigte (z.B. durch Abschirmung, Halbleitermaterial) und alte nebeneinander existierten. In den Anhörungen wurde deutlich, dass dieser Zustand in Einzelfällen weit in die 80er Jahre angedauert hat. Bei der Marine war dieser Prozess nach dem Eindruck der Kommission relativ schnell abgeschlossen. Bereits Ende 1976 liegen kaum noch erhöhte Messwerte vor.

Nach Abschluss der Strahlenschutzmaßnahmen zeigen alle Messwerte ein unbedenkliches Bild, so dass dann für die Bundeswehr von einer dritten Phase ausgegangen werden kann, in der eine Schädigung durch Röntgenstörstrahlung grundsätzlich auszuschließen ist. Nach Einschätzung der Kommission liegt für die NVA eine zu geringe Zahl von Messwerten vor, um zu einem Urteil über die Strahlenschutzbedingungen gelangen zu können. Dies entspricht damit weitgehend der ersten Phase der Bundeswehr.

Die Auswertung der Übersichten [AG Radar 2002 a] zeigt ferner, dass die Messwerte der Ortsdosisleistung am gleichen Störstrahler um mehrere Größenordnungen variierten. Die höchsten Spannweiten wurden bei dem Gerät SGR-103 (Störstrahler GL 8020, CV 2967) der Bundesmarine mit Werten zwischen 0,2  $\mu$ Sv/h und 150 mSv/h und bei dem Gerät P-15 der

NVA mit  $< 0,1 \mu\text{Sv/h}$  bis  $8 \text{ mSv/h}$  gefunden. Die Kommission geht aufgrund ihrer Sachverhaltsermittlungen davon aus, dass es sich hierbei um reale Messwerte handelt, deren Variationsbreite durch die jeweiligen auslegungstechnischen, betriebstechnischen und messtechnischen Bedingungen zum Messzeitpunkt verursacht wurde.

Das Zugrundelegen des Maximums der vorliegenden Messwerte bei der dosimetrischen Bewertung für den jeweiligen Geräte- bzw. Störstrahlertyp (Vorgehensweise der AG RADAR in den Teilberichten) dürfte bei ausreichender Datengrundlage zu einer (z.T. erheblichen) Überschätzung der tatsächlichen Exposition der Beschäftigten führen. Liegen dagegen nur wenige Messwerte vor, ist eine Unterschätzung nicht auszuschließen. Für einen Teil der Geräte liegen gar keine Messwerte vor. In diesen Fällen ist eine nachträgliche Bewertung der Relevanz dieser Störstrahler noch schwieriger. Selbst unter der Annahme, dass Störstrahler, die eine Maximalspannung unter  $10 \text{ kV}$  haben, zunächst außer Betracht bleiben können, bleiben bei der Bundeswehr fast 90 Störstrahlertypen mit 2 oder weniger Messwerten. Die höchste bei diesen Geräten gemessene Ortsdosisleistung lag immerhin bei  $0,1 \text{ mSv/h}$ , ein Wert, der aber bei insgesamt 2 Messwerten weder als repräsentativ noch als konservativ gelten kann.

Es erscheint notwendig, die Schwankungsbreiten der gemessenen Ortsdosisleistung in Hinblick auf die sie bestimmenden Einflussgrößen einer Analyse zu unterziehen.

Zunächst stellt sich aber die Frage, ob die ermittelten Ortsdosisleistungswerte richtig und repräsentativ sind oder ob mit Artefakten zu rechnen ist, hervorgerufen durch für den Messzweck ungeeignete Messgeräte, Störeinflüsse, nicht repräsentative Betriebszustände oder falsche Positionierung in einem extrem inhomogenen Strahlenfeld. Ferner ist die Frage zu diskutieren, wie sehr die Messergebnisse von herstellerepezifischen oder entwicklungsstechnisch bedingten Änderungen abhängig sind.

Die Frage der Eignung der Messgeräte in einem sehr niederenergetischen Röntgenfeld unter Berücksichtigung starker HF-Einstrahlung wird in Kapitel 2.3.1 behandelt. Es kann davon ausgegangen werden, dass mit dem TOL/E(HF) in der Regel ein geeignetes Meßsystem eingesetzt wurde, bei dem Störeinflüsse durch HF-Strahlung weitgehend auszuschließen sind und die Unsicherheiten akzeptabel erscheinen. Die größten Unterschätzungen können bei extremen Gradienten der Ortsdosisleistung bei kleinen Abständen auftreten, so dass die Messkammern der Geräte nur zum Teil ausgeleuchtet werden.

Es bleibt eine heute kaum noch zu klärende Frage, unter welchen Betriebszuständen die Messwerte gewonnen wurden. Es ist bekannt, dass die Messergebnisse von der tatsächlichen Hochspannung, dem Heizstrom und der Röhrenleistung wesentlich abhängen. In den Messprotokollen wird meistens nur die nominelle Höchstspannung – wenn überhaupt und nicht immer richtig – angegeben. Auf den von der Kommission durchgeführten Anhörungen wurde deutlich, dass diese Parameter erheblich variieren konnten und beispielsweise die nominelle Höchstspannung je nach Röhrenzustand während der Messungen erheblich unter- oder überschritten werden konnte.

Entsprechendes gilt für den Röhrentyp und den Alterungszustand der Röhren. Auch zu diesen wichtigen Parametern gibt es keine oder nur unvollständige Angaben. Zwar dürfte der Röhrentyp durch die Typenkennummer im Allgemeinen beschrieben sein, doch ist bekannt, dass die Hersteller im Rahmen der Lieferanforderungen erhebliche Freiräume, etwa bei der Wahl des Anoden- und Gittermaterials oder bei der Zusammensetzung und Dicke der Wandmaterials, hatten. Auch die Veränderung der Röhreneigenschaften mit dem Alter ist hinsichtlich ihres Einflusses auf die Störstrahlung so unklar, dass eine Abschätzung der Auswirkungen der Kommission nicht möglich erscheint.

Die von der Kommission erbetenen Informationen, die es ihr gestatten könnten, diese Fragen abzuklären, konnten von der Bundeswehr nicht geliefert werden. Von der Kommission wurden daraufhin Monte-Carlo-Rechnungen beim TÜV Nord veranlasst, die den erheblichen Einfluss dieser Parameter auf die Ortsdosisleistung am Beispiel der Thyatronröhre JAN 5949 verdeutlichen [TÜV 2003].

Ferner erscheint ein Einfluss des extrem inhomogenen Strahlenfeldes als Ursache für die beobachteten hohen Schwankungsbreiten der Messwerte gesichert. Unter anderem die Erfahrungen der Bundeswehr-Messstellen Nord und Süd, die Untersuchungen des TÜV Nord [TÜV 2002] und der Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik [BGFE 2001] und eigene Untersuchungen der Radarkommission mit TLD-Gitteranordnungen belegen, dass hohe Strahlenfelder oft nur in zentimeterbreiten Bündeln auftreten. Beim PAR des Waffensystems HAWK sind allein diese Unterschiede groß genug, um die extremen Messwertschwankungen zu erklären.

### **2.3.2.1 Einzelbewertung der wichtigsten Systeme**

Im Folgenden wird eine Analyse der Ortsdosisleistungs-Messwerte unter Berücksichtigung der heute noch bestimmaren Messbedingungen für die Radargeräte des HAWK, NIKE sowie das Radarsystem SGR 103, das als Rundsuchradar bei der Marine eingesetzt wurde, und der NVA-Anlage P 15 unter dem Gesichtspunkt ihrer Relevanz und Repräsentativität für die dosimetrische Bewertung vorgenommen.

#### **HAWK**

Das Waffensystem HAWK wurde über die Jahre seines Einsatzes bei der Bundeswehr mehrfach verändert. Zur ursprünglichen Variante, dem BASIC-HAWK, die 1963 in die Bundeswehr eingeführt wurde, gibt es nach Angaben des Bundesministeriums der Verteidigung keine Messwerte. Die Einführung des ersten Verbesserungsprogramms I-HAWK zwischen 1975 und 1978 war gemäß Teilbericht HAWK der Arbeitsgruppe „Aufklärung der Arbeitsplatzverhältnisse“ (AG RADAR) nicht mit grundsätzlichen Änderungen der Radargeräte verbunden. Diese Aussage gibt jedoch aus Sicht der Kommission aufgrund der oben dargelegten möglichen Detailänderungen keine Rechtfertigung für die Annahme, dass für die Tätigkeit am BASIC-HAWK die Messwerte am I-HAWK, von denen es ab 1980 eine größere Zahl gibt, zu Grunde gelegt werden können. Die letzte Ausbaustufe, das PIP-HAWK, wurde ab 1981 bei der BW eingeführt.

Das System war ausgestattet mit dem Pulserfassungsradar PAR und den Komponenten HPIR, CWAR, ROR mit der Bezeichnung AN/MPQ 34 bis 60 je nach Typ und Version. Diese Geräte wurden in Kampfstaffeln betrieben. Dort wurden auch erste Störungsbeseitigungen nebst Austausch von Baugruppen vorgenommen. Für schwierige Arbeiten war eine Unterstützungseinheit DSU zuständig<sup>5</sup>.

Ferner gab es an HAWK noch ein Such- und Erfassungsradar ASR-P, das nicht in allen Kampfstaffeln, sondern in den Bataillonsgefechtsständen eingesetzt wurde.

---

<sup>5</sup> Nach einem Hinweis des BMVg wurden diese Arbeiten teilweise von privaten Firmen durchgeführt. Im Teilbericht der AG Radar zum HAWK finden sich dazu keine Hinweise.

Gegenüber dem Untergrund erhöhte Werte der Ortsdosisleistung wurden laut Teilbericht HAWK der AG RADAR an den Radargeräten PAR (AN/MPQ-50) sowie HPIR (AN/MPQ-46) gemessen.

Die Abbildung 2-9 zeigt den Arbeitsplatz eines Technikers am Radargerät HAWK-PAR [AG Radar 2001].

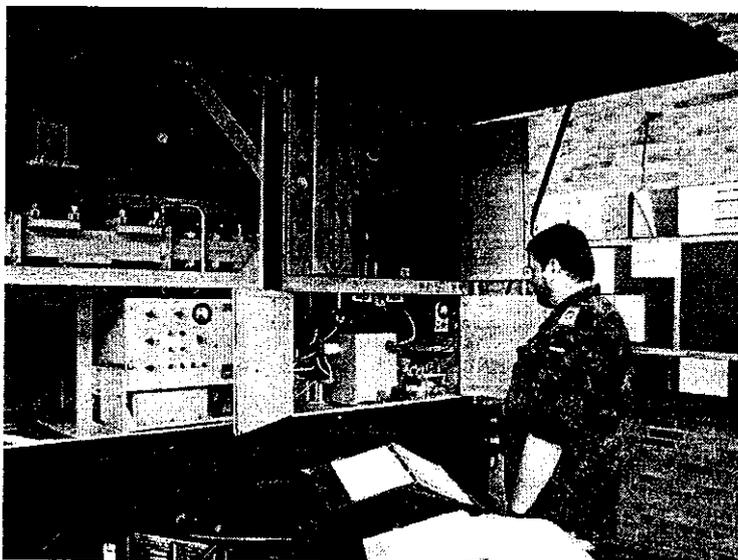


Abb. 2-9: Arbeitsplatz des Technikers am Sender des PAR

Die wesentlichen Störstrahler in der Radaranlage AN/MPQ-50 sind das Thyatron JAN 5949A, die Clipperdiode JAN 6303 und die Charging- und Shunt diode JAN 6303.

Für das Thyatron JAN 5949A existieren 46 Messwerte, die zwischen 1 und 600  $\mu\text{Sv/h}$  liegen und im Abstand von 5 cm von der Geräteoberfläche am geöffneten Sendergehäuse gemessen wurden. Der Maximalwert von 600  $\mu\text{Sv/h}$  wurde 1978 in einem Nato-Bulletin gemeldet, ein Messprotokoll mit genaueren Angaben u.a. zur Hochspannung liegt der Kommission nicht vor. Der Wert wurde nicht an einem Gerät der Bundeswehr ermittelt. Die meisten Werte stammen aus den Jahren 1981 bis 1995, wobei z.T. von den Röhren die (dann offenbar schon vorhandenen) Abschirmungen entfernt worden waren. Generell ist davon auszugehen, dass diese und auch andere der oben angesprochenen Betriebs- und System-Parameter nicht mehr vollständig zu rekonstruieren sind.

Die Messungen an diesem Thyatron, die vor der Durchführung zusätzlicher Abschirmmaßnahmen und dem Einsatz einer mit einer Keramikwand modifizierten Röhre ermittelt wurden, wurden von der Kommission beispielhaft einer genaueren statistischen Analyse unterzogen. Es handelt sich jeweils um Maximalwerte, die in vorgegebenem Abstand von der Geräteoberfläche gesucht wurden.

Zunächst wurde mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests [Lilliefors 1967] die Häufigkeitsverteilung der Ortsdosisleistungen analysiert. Die Annahme einer Normalverteilung kann mit hoher Wahrscheinlichkeit ( $p < 0.1\%$ ) ausgeschlossen werden, während die Annahme, dass die Messwerte eine Stichprobe einer logarithmisch normalverteilten Grundgesamtheit bilden, akzeptiert wird. Mit Hilfe der von [Crow 1988] zusammengestellten Verfahren wurden folgende Schätzungen für statistische Kenngrößen der Verteilung bestimmt:

- 75  $\mu\text{Sv/h}$  für den Mittelwert,
- 23  $\mu\text{Sv/h}$  für die Standardunsicherheit des Mittelwerts,
- 367  $\mu\text{Sv/h}$  für die 90 % - Perzentile (mit einem 90%-Vertrauensbereich).

Im Jahre 2001 wurden vom TÜV Nord [TÜV 2002] und von der Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik [BGFE 2001] Untersuchungen an einem ausgebauten, nicht abgeschirmten Thyatron durchgeführt, bei denen Dosisleistungswerte unter  $100 \mu\text{Sv/h}$  in der gleichen Entfernung gemessen wurden. Diese Ergebnisse fügen sich gut in den oben angegebenen Wertebereich ein.

Aufgrund der relativ großen Zahl von Messwerten ohne Zusatzabschirmung erscheint es trotz der fehlenden Informationen über die Betriebs- und Systemzustände gerechtfertigt und hinreichend konservativ, den Maximalwert für die Zeit vor 1981 in Phase 2 anzusetzen. Danach waren alle Röhren wohl mit der Zusatzabschirmung versehen, so dass man für diesen Zeitraum von deutlich niedrigeren Werten ausgehen kann.

Für die Clipperdiode JAN 6303 liegen 33 Werte unter vergleichbaren Bedingungen aus den Jahren 1980 - 1981 (offenes Gerät, 5 cm Abstand, ca. 40 kV, 100 mA) vor. Die Spannweite beträgt  $0,5 \mu\text{Sv/h}$  bis  $80 \mu\text{Sv/h}$ . Weitere 5 Werte liegen aus den Jahren 1988 - 1992 vor, darunter der Maximalwert von  $800 \mu\text{Sv/h}$ , allerdings ermittelt bei 'Auflage' der Sonde und daher nicht vergleichbar mit allen übrigen Werten.

Für die Charging- und Shuntodiode JAN 6303 gibt es 30 Messwerte aus den Jahren 1980 - 1981 unter vergleichbaren Bedingungen (ca. 10 kV, 100 mA, 5cm Abstand, offenes Gerät), wobei die Spannweite  $0,4 \mu\text{Sv/h}$  bis  $52 \mu\text{Sv/h}$  beträgt, also wiederum etwa 2 Größenordnungen.

3 Messwerte von 1992 liegen teils sogar über den älteren Messwerten, wurden aber in geringem Abstand gemessen, wodurch die höheren Werte erklärbar werden ( $40$ ,  $90$  und  $10 \mu\text{Sv/h}$ ).

In beiden Fällen (Clipperdiode bzw. Charging- und Shuntodiode) liegen der Kommission keine Informationen zur Beschreibung der Betriebs- und System-Parameter vor. Insbesondere bleibt völlig unklar, ob etwa zwischen 1976 und 1980 technische Änderungen zur Verbesserung des Strahlenschutzes realisiert wurden, die eine Reduzierung der später gemessenen Ortsdosisleistungen bewirkt hätten. Aufgrund der relativ hohen Zahl von Messwerten erscheint es aber vertretbar, die Maximalwerte für die Dosisabschätzung für die Phase 2 zu Grunde zu legen. Für die Zeit davor lässt sich hier wie auch beim Thyatron JAN 5949A aus den Messwerten keine entsprechende Aussage ableiten. Es kann insbesondere nicht davon ausgegangen werden, dass die Zugrundelegung des gemessenen Maximalwertes eine konservative Annahme für die tatsächlich aufgetretene Ortsdosisleistung wäre.

Der wesentliche Störstrahler für das System AN/MPQ-46 ist das Klystron VA 851D (Power Amplifier) mit 12 kV maximaler Hochspannung. Messergebnisse vor 1980 liegen nicht vor. Es existieren 76 spätere Messwerte zwischen  $0,2 \mu\text{Sv/h}$  und  $80 \mu\text{Sv/h}$ . Der Wert von  $80 \mu\text{Sv/h}$  wurde gemäß [AG Radar 2001] in 5 cm von der berührbaren Störstrahleroberfläche bestimmt. Bei 77% der Messwerte lag die ODL unter  $10 \mu\text{Sv/h}$ .

Aufgrund der hohen Zahl von Messwerten nach 1980 erscheinen bezüglich der Ersatzdosisbestimmung die gleichen Annahmen wie bei der Diode JAN 6303 gerechtfertigt.

### NIKE

Das Waffensystem NIKE wurde 1959 als Flugabwehrraketensystem bei der Bundeswehr eingeführt [AG Radar 2002 d]. Von diesem Waffensystem hat es ab 1964 eine verbesserte Version, das Improved NIKE, gegeben. Bis zur Außerdienststellung 1989 waren im Wesentlichen folgende Feuerleit-Radaranlagen im Einsatz:

LOPAR (1959-1989) mit Magnetron 5795 und Thyatron JAN 5948A

MTR, TTR (1959-1989) mit Magnetron VMX 1077A und Thyatron ML 654

TRR (1964-1989) mit Magnetron VMU 1039 oder 7208

HIPAR (1972-1989) mit Klystron ZM 6803, Thyatron GL 7890, Gleichrichterröhre GL F7779.

Röntgenstrahlung aus Störstrahlern des Waffensystems NIKE wurde ab dem Jahr 1980 systematisch vermessen. Aus dieser Zeit liegen Messwerte in größerer Zahl vor, während für den Zeitraum davor nur für das HIPAR einige Werte auffindbar sind (1972 und 1977).

Nennenswerte Expositionen treten gemäß des Teilberichts NIKE der AG RADAR nur am Thyatron und Klystron des HIPAR auf.

Beim Thyatron GL 7890 mit 28 kV Maximalspannung liegen von 19 Messwerten am offenen Gerät in 5 cm Abstand nur 5 Werte über der Nachweisgrenze. Die Spannweite beträgt von weniger als  $0,1\mu\text{Sv/h}$  bis  $70\mu\text{Sv/h}$ .

Beim Klystron ZM 6803 liegen zusätzlich zu dem oben erwähnten Messwert aus dem Jahr 1972 noch 30 Messberichte vor, die aus den Jahren 1977 bis 1986 stammen. Die Hochspannung ist mit 2 Ausnahmen immer mit 200 kV angegeben. Es wurden unter verschiedenen Bedingungen an verschiedenen Orten Messungen durchgeführt. So liegen für den Fall 5 cm Abstand zur Oberfläche (geschlossene Klappe) 27 Werte mit einer Spannweite von  $0,6\mu\text{Sv/h}$  bis  $60\mu\text{Sv/h}$  vor. Ein Wert von  $1000\mu\text{Sv/h}$  wurde direkt vor der geöffneten Klappe zur Abschirmung einer Kabelzuführung gemessen.

Durch die verschiedenen Betriebsbedingungen sind die Messwerte nicht sämtlich vergleichbar. Wieweit die unter vergleichbaren Bedingungen erhobenen Messwerte eine für die Bestimmung der Ersatzdosis in Phase 2 ausreichende statistische Teilmenge darstellen, ist daher zweifelhaft und bedarf einer detaillierten Analyse aller einzelnen Messprotokolle. Für die Situation vor 1976, insbesondere vor 1964 (Einführung Improved NIKE) ergeben sich aus den Messwerten wegen der oben genannten Gründe (unbekannte Veränderung von Betriebs- und Systemparametern) keine belastbaren Aussagen.

### SGR 103

Gemäß [AG Radar 2002 b] wurden die Geräte der SGR-Familie seit 1961 auf Zerstörern, Fregatten und Tendern eingesetzt. Das Marinearsenal in Kiel und seine Außenstelle waren und sind die zentralen Dienststellen für Wartung, Reparatur und technische Änderungen von Radargeräten der Marine.

Der technische Aufbau der unterschiedlichen SGR-Typen ist ähnlich, jedoch gibt es Unterschiede in der Zuordnung der Störstrahler zu den Baugruppen. Dies gilt im Besonderen für das Thyatron. Es ist im SGR 103 in einem gemeinsamen Gestell für Sender und Modulator, beim SGR 105 dagegen in einem Gestell, in dem sich nur der Modulator befindet.

Ende des Jahres 1975 waren im Marinearsenal Wilhelmshaven hohe Werte der Ortsdosisleistung von Röntgenstrahlung festgestellt worden.

Als wesentliche Störstrahler wurden laut [AG Radar 2002 b] das Thyatron PL 522 und die Clipperdiode 8020 (CV 2967) im SGR 103 identifiziert. Gemäß [AG Radar 2002 a] handelt es sich beim Thyatron um die Typen CV 2520 und 5C22. Dies sind Röhren verschiedener Hersteller, die die gleiche Funktion erfüllen.

Wesentlichen Einfluss auf die Ortsdosisleistung hat die Pulsdauer. Der Unterschied zwischen den Betriebsarten Puls-lang und Puls-kurz beträgt bei sonst konstanten Parametern bis zu einem Faktor 200 beim Thyatron und bis zu 600 bei der Clipperdiode.

Für das Thyatron PL 522 (16 kV max. HV) liegen 8 Messwerte aus Messprotokollen aus den Jahren 1975 und 1976 für die Betriebsart Puls-Lang vor. Die Spannbreite beträgt 0,5  $\mu\text{Sv/h}$  bis 76 mSv/h, gemessen zum Teil in 5cm Abstand und bei unterschiedlichen Spannungen.

In [AG Radar 2002 b] wird ein Maximalwert von 44 mSv/h in 10 cm Abstand vom geöffneten Senderschrank angegeben, der Mittelwert 3,4 mSv/h. Gemäß [AG Radar 2002 a] ergibt sich für CV 2520, 5C22 eine Spannbreite von 2,5  $\mu\text{Sv/h}$  bis 12 mSv/h.

Bei der Clipperdiode 8020 liegen für die Betriebsart Puls lang 7 Messwerte in Protokollen aus 1975-1976 vor, von denen keine hinsichtlich der Parameter Spannung und Abstand übereinstimmen. Der höchste Wert beträgt 150 000  $\mu\text{Sv/h}$ , der höchste Wert, der für eine Radaranlage der Bundeswehr registriert wurde (im Teilbericht wurde von der Entfernung 25 cm auf 10 bzw. 40 cm entsprechend des quadratischen Abstandsgesetzes umgerechnet, weshalb dort die Werte 940 000 bzw. 59 000  $\mu\text{Sv/h}$  auftreten). Bemerkenswert und klärungsbedürftig erscheint der große Bereich der Nennspannungen von 5,2 bis 25 kV.

Für die Betriebsart „Puls kurz“ traten nur Ortsdosisleistungen zwischen 0,3  $\mu\text{Sv/h}$  und 5  $\mu\text{Sv/h}$  auf, allerdings sind diese Werte wegen der jeweils unterschiedlichen Spannungen nicht unmittelbar vergleichbar.

Nach Klärung der aufgezeigten Fragen erschiene die Angabe von Maximaldosen am SGR103 für die in diesem Fall sicher kurze Phase 2 möglich. Ob das letztlich sinnvoll ist oder aber aufgrund zwangsläufig konservativer Annahmen zu unrealistischen Überschätzungen führt, ist im Einzelfall zu prüfen. Für die Zeit nach 1976, spätestens 1980, kann generell davon ausgegangen werden, dass wirksame Strahlenschutzmassnahmen installiert wurden, die die Ortsdosisleistungen dauerhaft unter 10  $\mu\text{Sv/h}$  begrenzt haben.

### P 15

Das Radargerät P 15 wurde in der NVA unter anderem bei der FlaRak von 1959 – 1990 eingesetzt. Insgesamt waren ca. 150 Geräte im Einsatz. Bei den Störstrahlern des Gerätes handelt es sich um zwei Schaltröhren (GMI-90, HV 27 kV), ein Magnetron (MI-119, HV 30 kV), vier Gleichrichterröhren (W1-0,1/30; HV 14 kV) und zwei Bildröhren. Die relevanten Störstrahler waren die Schaltröhren und die Gleichrichterröhre.

Von allen Störstrahlern liegt höchstens ein Messwert vor. Dabei handelt es sich um eine Messung der Strahlenmessstelle Nord der Bundeswehr vom März 2002. An den Gleichrichterröhren wurde ein Wert von 400  $\mu\text{Sv/h}$  am offenen Geräteschrank in 10 cm Abstand.

Bei der Schaltröhre ergab sich ein Wert von 8 mSv/h am offenen Gerät, gemessen in 5 cm Abstand. Am Magnetron wurden keine erhöhten Werte gefunden.

Obwohl diese Messung und die Art ihrer Protokollierung im Vergleich zu anderen Messprotokollen einen zuverlässigen und aussagefähigen Eindruck macht, erfüllt eine Einzelmessung in keiner Weise die Anforderungen, die an eine repräsentative Zahl von Messwerten zur Erfassung verschiedener System- und Betriebsparameter insbesondere für die Zeit vor 1980 zu stellen sind. Deshalb erscheint eine hinreichend zuverlässige Dosisabschätzung auf dieser Basis nicht möglich.

### 2.3.2.2 *Stichprobenumfang*

Im Folgenden wird eine statistische Mindestanforderung an die Zahl von Messwerten formuliert, die die Kommission für eine repräsentative und ausreichend konservative Abschätzung der Ortsdosisleistung als notwendig ansieht.

Durch die Bundeswehr werden bei der Expositionsermittlung jeweils die Maximalwerte der gemessenen Ortsdosisleistung zu Grunde gelegt. Wegen der beobachteten großen Spannweite der Messwerte muss diese Vorgehensweise bei kleinen Stichprobenumfängen nicht konservativ im Sinne des Strahlenschutzes sein, da die vorkommenden Extremwerte möglicherweise nicht erfasst werden.

Auf der Grundlage allgemeiner statistischer Überlegungen lässt sich aber ein minimaler Stichprobenumfang angeben, bei dessen Einhaltung die Kommission davon ausgeht, dass die erforderliche Konservativität erzielt werden kann. Vorausgesetzt werden muss dabei, dass die verwendeten Messwerte einer Grundgesamtheit angehören. Sie müssen unter vergleichbaren Bedingungen gewonnen werden (Intensitätsmaximum, identischer Abstand von Störstrahler bzw. Geräteoberfläche), um ausschließlich die durch die unterschiedlichen Betriebsbedingungen verursachte Variabilität der Ortsdosisleistung zu erfassen (u.a. bedingt durch unterschiedlich Röhrenfabrikate, Betriebsspannungen).

Unter diesen Bedingungen kann ein minimaler Stichprobenumfang festgelegt werden, so dass die Stichprobe mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit  $w$  mindestens einen Wert enthält, der ein bestimmtes Perzentil (z.B. das 90-Perzentil) der zu Grunde liegenden, wie auch immer gearteten, Verteilung erreicht oder überschreitet. Dies ist auf der Grundlage der Binomialstatistik möglich. In Abhängigkeit vom Stichprobenumfang  $n$  ergeben sich auf dieser Grundlage folgende Werte für  $w$ :

n	5	10	20	22	25	30
w	0,41	0,65	0,88	0,90	0,93	0,96

Um also mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% in einer vorliegenden Messgesamtheit mindestens einen Wert zu erhalten, der größer oder gleich dem 90-Perzentil der zu Grunde liegenden Verteilung ist, ist eine Stichprobe vom Umfang  $n=22$  erforderlich.

Falls eine Mindestanzahl von  $n > 20$  Messwerten vorliegt, die unter – wie oben ausgeführt – vergleichbaren Bedingungen gewonnen wurden und daher einer Grundgesamtheit (von unter diesen Bedingungen an den Geräten auftretenden Höchstwerten) entstammen, so hält die Kommission die Verwendung des Maximalwertes der Ortsdosisleistung aus dieser Stichprobe im Sinne der vom BMVG angestrebten Konservativität für gerechtfertigt.

### **Schlussfolgerungen zur Repräsentativität der Messwerte**

Die vorliegenden Messwerte sind nur bedingt für eine statistische Analyse zum Zwecke der Bestimmung von Ersatzdosen geeignet, da sie nach Anzahl und Qualität viele Fragen offen lassen. Außerdem lassen sich viele Parameter zur Auslegung und zum Betrieb der Röhren heute nicht mehr rekonstruieren, obwohl ihr Einfluss auf die Messwerte erheblich ist.

Diese Probleme gelten für die Bundeswehr und in noch viel stärkerem Maße für die NVA.

Gerade der besonders interessierende Zeitraum vor 1976 (Phase 1) lässt sich damit kaum beleuchten, so dass es nicht möglich erscheint, mit Hilfe der Messwerte zu einer sinnvollen oberen Dosisabschätzung zu kommen. Wenn überhaupt, wird das nur in der Zeit danach für wenige Systeme und bestimmte Zeitspannen (Phase 2) möglich sein.

Die Bundeswehr hat nach 1976 mit unterschiedlicher Intensität Strahlenschutzvorkehrungen gegen Röntgenstrahlung an Radaranlagen eingeführt. Erst ab dem Zeitpunkt, als diese Maßnahmen vollständig umgesetzt waren (Phase 3), bestand ein erhöhtes Strahlenrisiko für Radarbeschäftigte der Bundeswehr nach dem Eindruck der Kommission nicht mehr. Dieser Zeitpunkt ist für die einzelnen Radaranlagen unterschiedlich und kann deshalb im Rahmen unserer Begutachtung nicht genau fixiert werden. Die der Kommission vorgelegten Unterlagen und die Anhörungen vermittelten den Eindruck, dass dieser Zeitpunkt bei Radaranlagen der Marine deutlich früher lag, als bei den übrigen Teilstreitkräften der Bundeswehr. Sie hält deshalb den Beginn der Phase 3 im Marinebereich vor 1980 für sinnvoll, bei den Waffensystemen HAWK und NIKE wurden auch nach 1980 noch erhöhte Werte gefunden, so dass sie diesen Zeitpunkt nicht vor 1985 ansetzen würde.

### 3 RADIOAKTIVE STOFFE UND LEUCHTFARBEN

#### 3.1 VORSCHRIFTEN ZUM SCHUTZ VOR RADIOAKTIVEN STOFFEN UND LEUCHTFARBEN BEI DER BUNDESWEHR UND DER NVA UND DEREN UMSETZUNG

##### 3.1.1 Bundeswehr

Radiumhaltige Leuchtfarben waren nach Aussage des BMVg „seit Gründung der Bundeswehr in ihrem Wehrmaterial, insbesondere in übernommenem US-Wehrmaterial vorhanden“ [BMVg 2002 b]. Es wird – zu Recht – darauf verwiesen, dass deren Verwendung zur damaligen Zeit weit verbreitet war (Anzeigeeinstrumente in Luft-, Rad- und Kettenfahrzeugen, Uhren, Kompass, Skalen und Schriften an Gehäusen von Geräten und Stellvorrichtungen, Leuchtpunkte auf Visiereinrichtungen). Das gilt im übrigen nicht nur für den militärischen, sondern auch für den zivilen Bereich.

Vor Inkrafttreten der Ersten Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) vom 24. Juni 1960 galten für den Umgang mit radioaktiven Stoffen die Röntgen – und Strahlenschutzverordnung von 1941 (RGBl. I S. 88), in der aber über die dort festgelegten Grenzwerte hinaus keine konkreten Regelungen für den Umgang mit radioaktiven Leuchtfarben enthalten waren.

Mit der Ersten Strahlenschutzverordnung wurden konkrete Regelungen für den Umgang mit radioaktiven Leuchtfarben geschaffen:

Genehmigungsvoraussetzungen: Ein genehmigungsfreier Umgang mit Geräten, die Skalen oder Anzeigemittel mit festhaftender radioaktiver Leuchtfarbe enthalten, ist dann zulässig, wenn diese berührungssicher abgedeckt sind und die ODL 0,1 mrem/h (1  $\mu$  Sv/h) in 10 cm Abstand nicht überschreitet.

Der Kommission wurde mehrfach berichtet, dass zumindest in den frühen Jahren das Abkratzen und zum Teil auch die Neubeschriftung praktiziert wurde.

Eine Genehmigung zum Umgang mit radioaktiven Leuchtfarben an Geräten und Armaturen wurde 1963 erteilt. In einem Verwaltungs- und Mitteilungsblatt (VMBI) von 1963 wurde befohlen, die Instandsetzung von radioaktiven Leuchtfarben nur durch die Liefer- oder Betreuungsfirmen durchführen zu lassen.

1966 wurde in einem VMBI die Umstellung von Radium und Promethium auf Tritium für radioaktive Leuchtfarben angeordnet. Die zunächst unbefristet erteilte Genehmigung wurde nachträglich bis zum 31.12.1966 befristet.

Da für die Umstellung auf Tritiumleuchtfarbe ein längerer Zeitraum notwendig war, wurden jedoch mit der Begründung, die Einsatzbereitschaft der Bundeswehr nicht gefährden zu wollen, für die Erneuerung von Leuchtfarben in einem weiteren VMBI (1967) Übergangsbestimmungen erlassen. Danach war radiumhaltige Leuchtfarbe auf ihre Leuchtkraft zu überprüfen und erst dann auszutauschen, wenn die Leuchtkraft des Radiums nicht mehr ausreichte. Allerdings wurde es grundsätzlich verboten, Radium- oder Promethium-Leuchtfarbe abzukratzen und diese durch Tritium-Leuchtfarbe zu ersetzen, „da Radium und dessen Folgeprodukte und Promethium auf diese Weise nur zum Teil beseitigt

werden können“<sup>6</sup>. Weiter heißt es: „Ausnahmsweise unterliegen bei Beschaffungsschwierigkeiten Ziffernblätter, Zeiger und andere Ersatzteile, bei denen die Dosisleistung bei Kontaktmessung weniger als 1 mRem/h beträgt, nicht diesem Verbot“.

Seit 1976, mit der neuen Strahlenschutzverordnung, ist ein genehmigungsfreier Umgang mit radiumhaltiger Leuchtfarbe untersagt. Allerdings durften Geräte, die bereits vorher genutzt wurden, weiter betrieben werden.

Mit der Herausgabe der Bestimmungen zur Durchführung der Strahlenschutzverordnung in der Bundeswehr (VMBl 1980 S. 404 Ziffer 9) wurden alle bis dahin geltenden Übergangsbestimmungen aufgehoben. Von diesem Zeitpunkt an bestand ein umfassendes Verwendungsverbot für radiumhaltige Leuchtfarbe in der Bundeswehr:

*„Alle Gegenstände, auf die andere als mit Tritium (H-3) oder berührungssicher abgedecktem Promethium (Pm-147) radioaktiv angeregte Leuchtfarben aufgebracht sind, müssen ausgesondert und als radioaktiver Abfall beseitigt werden.“*

Die 1989 in Zusammenhang mit der StrlSchV von 1989 in Kraft getretenen Zentralen Dienstvorschrift ZDv 44/500, die die Strahlenschutzbestimmungen enthält, die im Geschäftsbereich des BMVg beim Umgang mit radioaktiven Stoffen zu beachten sind, weist unter Ziffer 210 auf das Umgangsverbot für Radium 226 nochmals ausdrücklich hin. Danach sind Gegenstände mit radioaktiver Leuchtfarbe, die Ra-226 enthalten, auszusondern und als radioaktiver Abfall zu beseitigen.

Nach Auffassung des BMVg war „das Problem radiumhaltiger Leuchtfarbe seit 1980 in der Bundeswehr umfassend geregelt und gelöst“ [BMVg 2002 b].

In der Tat hat sich die Bundeswehr ausweislich der oben aufgeführten Befehle, Genehmigungen etc. schon bald nach Erscheinen der ersten Strahlenschutzverordnung um das Problem radioaktiver Leuchtfarben gekümmert. Die Kommission hat den Eindruck gewonnen, dass mit Beginn der 80er Jahre auch in dieser Hinsicht das Problembewusstsein für die damit möglicherweise verbundenen Gefährdungen wuchs, auch wenn es nur bedingt möglich war, zu überprüfen, wie konsequent die entsprechenden Vorschriften tatsächlich umgesetzt wurden. Der Kommission wurde aber beispielsweise bei einer Anhörung von einem früheren Radartechniker berichtet, dass von ihm im Zeitraum Anfang der 80er Jahre das ‚Auskratzen‘ von radioaktiver Leuchtfarbe mit persönlicher Schutzausrüstung durchgeführt worden sei. Ein ehemaliger HAWK Beschäftigter berichtete, Anfang der 80er Jahre radioaktive Leuchtfarbe mit Lack übermalt zu haben, um sie berührungssicher abzudecken<sup>7</sup>. Dabei blieb für die Kommission allerdings unklar, wie übrigens auch in anderen Fällen, ob es sich um radiumhaltige Farbe handelte, oder z.B. um solche mit Promethium.

Für den Zeitraum vor etwa 1980 ergibt sich für die Radarkommission folgendes Bild:

Insbesondere in den Anfangsjahren der Bundeswehr sind radioaktive Leuchtfarben mit Ra-226 nicht nur auf vielen Geräten vorhanden gewesen, sondern auch abgekratzt und zum Teil erneuert worden. Dem Einwand eines Vertreters des BMVg, für solche Farben habe es keine Versorgungsnummern gegeben, sie könnten also auch wohl nicht vorhanden gewesen sein, steht die Erklärung des Strahlenschutzverantwortlichen des von der Radarkommission

---

<sup>6</sup> Nicht recht verständlich ist für die Radarkommission allerdings, wozu im Jahre 1967 ein Befehl erteilt werden musste, der sich offenbar an das Personal der Bundeswehr richtete, jedoch Arbeiten betraf, die dieser Personenkreis schon seit 1963 (VMBl von 1963) nicht mehr ausführen durfte.

<sup>7</sup> Eine Maßnahme von offensichtlich beschränkter Zuverlässigkeit, da der Lack offenbar nach einiger Zeit wieder abplatzte.

besuchten „Zentrallagers radioaktiv“ des Luftwaffenmaterialdepots 81 entgegen, wonach diese Farbe jedenfalls bei amerikanischen Geräten als Bestandteil des Lieferumfanges sehr wohl zur Verfügung stand. Am Beispiel eines offensichtlich eher unprofessionell mit radioaktiver Leuchtfarbe bemalten Uhrenzeigers, der vom Waffensystem NIKE stammte und am Tag des Besuchs der Kommission angeliefert worden war (!), wurde der Radarkommission dies auch recht eindrucksvoll demonstriert.

Das Ersetzen der radiumhaltigen Leuchtfarben, das gemäß des Aussonderungsbefehls Mitte der 60er Jahre begann, zog sich – in Abhängigkeit vom Radargerät – unter Nutzung der o.g. Übergangsregelungen viele Jahre hin und wurde offensichtlich trotz gegenteiliger Befehle wenigstens teilweise durch das bereits erwähnte Auskratzen und ohne Schutzausrüstungen besorgt. Dies wurde der Kommission für NIKE für die Jahre 1976 – 1977 bei einer Anhörung auch von einem ehemaligen NIKE-Soldaten, der noch aktiver Soldat (und kein Antragsteller auf Wehrdienstbeschädigung - WDB) ist, bestätigt.

Ähnliches wurde über das Marinearsenal Wilhelmshaven berichtet. Strahlenschutzaspekte spielten dabei offenbar eine untergeordnete Rolle. Der Radarkommission wurde berichtet, dass man erst ab dem Jahre 1976 (als Folge der bekannten Ereignisse hinsichtlich Röntgenstörstrahlung) auch auf der Ebene der Beschäftigten gegenüber möglichen Gefährdungen durch derartige Tätigkeiten hinreichend sensibilisiert war. Diese Aussagen korrespondieren mit den bereits erwähnten Dokumentationen über Strahlenschutzbelehrungen für Arbeiten in einer Luftwaffenwerft. Im ersten Jahr der dokumentierten Belehrungen (1970) beziehen sich diese offensichtlich nur auf radioaktive Stoffe, die in Röhren (zur Vorionisation) eingesetzt werden. 1972 werden erstmals Hinweise für den Umgang mit Leuchtfarben gegeben und erst 1974 wird auf das Verbot des Abkratzens von Leuchtfarbe hingewiesen.

Dagegen ergaben sich etwa bei der Anhörung zum NASARR keine Hinweise, dass die dortigen Radarmechniker vergleichbare Arbeiten ausgeführt hätten. Die dort vorhandenen radioaktiven Leuchtfarben waren Bestandteil der Instrumente und hinter Glas angebracht <sup>8</sup>.

In offenbar deutlich größerem Umfang als durch die Radarmechniker wurden solche Arbeiten allerdings offenbar durch nichtmilitärisches Personal ausgeführt. An 18 Personen aus diesem Personenkreis wurden 1977 in der Kernforschungsanlage Jülich Inkorporationsmessungen mittels Ganzkörperzähler durchgeführt [KFA 1977]. Dabei wurde nur in einem Fall ein Radium-Aktivität nachgewiesen, und zwar im Bereich der Messgrenze von ca. 1 nCi (37 Bq). Allerdings wurden ausweislich der der Kommission zur Verfügung gestellten Unterlagen aus diesen Messergebnissen keine Abschätzungen der möglichen Radium-Inkorporationen durchgeführt.

### **Zusammenfassung**

Insgesamt hat sich der Radarkommission bei ihren Recherchen hinsichtlich des Umgangs mit radioaktiven Leuchtfarben in der Bundeswehr und den Schutzmaßnahmen ein differenziertes Bild ergeben.

In den Anfangsjahren wurden in größerem Umfang radioaktive Leuchtfarben verwendet, im wesentlichen Ra-226. Offensichtlich war es an verschiedenen Geräten auch über längere

---

<sup>8</sup> Bei anderen Markierungen der Skalen, über die während der Anhörung zum NASARR ausführlich diskutiert wurde, handelt es sich höchstwahrscheinlich nicht um radioaktive Leuchtfarben.

Zeiträume üblich, die Leuchtfarben im Rahmen von Instandsetzungen zu entfernen und neu aufzutragen.

Die bereits Mitte der 60er Jahre beschlossene Aussonderung dieser Farben wurde 1967 durch eine Übergangsbestimmung, die erst 1980 außer Kraft getreten ist, verzögert. Wie der Ersatz der radiumhaltigen Leuchtfarbe in diesem Zeitraum im einzelnen erfolgte, ist nicht mehr nachvollziehbar. Es gibt aber klare Hinweise, dass das ‚Auskratzen‘ von Leuchtfarbe - obwohl offenbar seit 1967 verboten - zumindest bei einem Teil der Radargeräte bis etwa Mitte der 70er Jahre praktiziert worden ist.

Etwa seit Beginn der 80er Jahre wurde das Problem konsequenter verfolgt. Dies hat nach Überzeugung der Kommission dazu geführt, dass die Wahrscheinlichkeit einer Exposition durch radiumhaltige Leuchtfarbe von da an erheblich geringer gewesen ist als in den Jahrzehnten davor, auch wenn immer noch eingesetzte Restbestände existieren. In noch stärkerem Maße gilt diese Aussage für das Risiko einer Radium-Inkorporation.

### **3.1.2 NVA**

Für den Strahlenschutz beim Umgang mit radioaktiven Leuchtfarben sind von Bedeutung die Verordnung über den Schutz vor der schädigenden Einwirkung ionisierender Strahlung vom 10. Juni 1964 - Strahlenschutzverordnung - (GBl II Nr. 76, S. 655), die 1969 überarbeitet (GBl II Nr. 99, S. 627) und nochmals 1984 novelliert und als Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz vom 11. Oktober 1984 (GBl I Nr. 30, S. 325) veröffentlicht wurde. Diese Strahlenschutzvorschriften galten für die NVA unmittelbar und mussten in deren Zuständigkeitsbereich eigenverantwortlich durch die NVA umgesetzt werden.

Hinsichtlich der Verwendung radioaktiver Leuchtfarbe wurde während einer Anhörung berichtet, dass die Skalen der den Teilnehmern bekannten Radareinrichtungen bei der Nationalen Volksarmee nicht mit radioaktiver Leuchtfarbe belegt waren, sondern mit Lämpchen beleuchtet wurden. Dies fand die Radarkommission bei der Besichtigung bestätigt. Auch der AG Radar liegen keine Kenntnisse über die Verwendung radioaktiver Leuchtfarbe an Radargeräten der NVA vor.

## **3.2 EXPOSITION DURCH RADIOAKTIVE STOFFE UND LEUCHTFARBEN**

In Radaranlagen der Bundeswehr wurden verschiedene Arten von Leuchtfarben eingesetzt, um Skalenteile, Regler und Zeiger auch in völliger Dunkelheit ablesen zu können.

Radioaktive Stoffe dienten außerdem der Vorionisation in Elektronenröhren und Spannungsableitern. Hierbei kamen die Radionuklide H 3, Co 60, Kr 85, Cs 137 und Ra-226 zum Einsatz. Dabei waren ausweislich der der Radarkommission zur Verfügung gestellten Unterlagen die Aktivitäten so gering, dass die Ortsdosisleistung im Abstand von 5 cm von der Röhre selten 5  $\mu$ Sv/h erreichte oder überschritt. Eine innere Strahlenexposition durch Inkorporation wäre insbesondere bei Ausbau und Entsorgung gebrochener bzw. defekter

Elektronenröhren möglich gewesen, aufgrund der eingesetzten Aktivitäten und deren chemischer Form (Gas, Metall, Keramik) war sie aber im Allgemeinen nicht dosisrelevant.

Trotz der insgesamt recht vagen Angaben geht die Kommission aufgrund ihrer eigenen Ermittlungen bei den Anhörungen und Besichtigungen davon aus, dass signifikante Folgedosen durch radioaktive Stoffe an Radaranlagen wegen ihrer absolut überwiegenden Verwendung und der hohen Radiotoxizität der Alphastrahler nur durch Leuchtfarben, die das Radionuklid Ra-226 enthielten, verursacht werden konnten. Dieses Nuklid mit einer Halbwertszeit von 1 600 Jahren wurde über viele Jahrzehnte seit Einführung der Radaranlagen bei der Bundeswehr als Bestandteil von Leuchtfarben eingesetzt, wobei die emittierte Alpha-Strahlung zur Erzeugung von dauerhaften Leuchteffekten ausgenutzt wurde.

Die äußere Strahlenexposition des BW-Personals durch radiumhaltige Leuchtfarbe lag gemäß [AG Radar 2002 c] im Abstand von 30 cm vor Schutzschaltern mit einer Aktivität von ca. 10 kBq unter ca. 3  $\mu$ Sv/h und an einer Kompassrose unter ca. 7,5  $\mu$ Sv/h. Eigene Messungen mit mehreren TL-Dosimetern im Starfighter-Cockpit in Kaufbeuren, dessen Armaturen gemäß BW-Angaben noch mit alten Ra-226-Zifferblättern ausgestattet waren, erbrachten keine höheren Messwerte. Die Kommission hält die angegebenen ODL-Werte als Obergrenzen für die Ermittlung der externen Strahlenexposition für plausibel.

Eine innere Strahlenexposition kann nach Einschätzung der Arbeitsgruppe Aufklärung der Arbeitsplatzverhältnisse Radar durch Inkorporation von Partikeln nicht berührungssicher abgedeckter radioaktiver Leuchtfarbe in Einzelfällen entstehen. Das Problem der Ingestion solcher Partikel wird von der AG RADAR aufgrund von Wischtests, die einen Abrieb von 10 Bq ergeben haben, als gering eingestuft und unter dem Hinweis, dass eine solche Inkorporation zu einer effektiven Folgedosis von weniger als 3  $\mu$ Sv führen würde, nicht nachhaltig verfolgt [AG Radar 2002 e].

Auch die Inhalation wird nur in Hinblick auf Rn 222-Folgeprodukte bewertet, und als nicht relevant eingestuft.

Aufgrund der Anhörungen und Besichtigungen zu den Systemen HAWK, NIKE, NASARR, CPN 4 und SGR stellt sich das Gesamtbild für die Kommission erheblich anders dar:

Eine Inkorporation von Ra-226 war nicht nur durch das Berühren von Markierungen oder Beschriftungen in den Einheiten möglich. Das Problem entstand auch und vorwiegend in Werkstätten, wo es beim Auskratzen von alter Leuchtfarbe, beim Abschmiegeln oder zum Teil auch beim Nachmalen von ausgeblichenen Markierungen zu erheblichen Inkorporationsrisiken kam. Darüber hinaus wurde der Kommission berichtet, dass solche Arbeiten auch in den Stellungen durch Radartechniker ausgeführt werden mussten. Insbesondere das Entfernen von Ra-Leuchtfarbe ohne ausreichende Schutzmaßnahmen (persönliche Schutzausrüstung) ist der Kommission in mehreren Anhörungen plausibel dargestellt worden. Die Behandlung des radioaktiven Abfalls entsprach ebenfalls nicht immer dem notwendigen Standard.

Aus diesem Grunde erscheint der Kommission gerade bei Personen, die nach eigener Aussage Ra-226 ausgekratzt oder abgeschmiegelt haben, eine Zufuhrabschätzung nach der Methode der AG Radar, die lediglich die Berührung nicht abdeckungssicher angebrachter Schalter betrachtet, nicht ausreichend.

Bei bekannter Häufigkeit des möglichen Umgangs mit offener Ra-226-Aktivität, der jeweils durchgeführten Tätigkeit und des Bruchteils der dabei inkorporierbaren Aktivität ließe sich im Einzelfall eine Dosisabschätzung vornehmen. Nach der Auffassung der Kommission ist dies aber nicht möglich, da die betreffenden Informationen fehlen.

Die Kommission hat daher die Möglichkeit geprüft, die reale Zufuhr und die daraus resultierende Dosis durch eine messtechnische Bestimmung der Höhe des heute noch vorhandenen Ra-226-Depots im Körper zu rekonstruieren. Dafür war zunächst die Frage zu klären, wieweit dieses mit den erreichbaren Nachweisgrenzen mittels Ausscheidungsanalyse oder Ganzkörpermessung zum heutigen Zeitpunkt und damit möglicherweise Jahrzehnte nach der Inkorporation noch sinnvoll möglich ist.

Inkorporiertes Radium lagert sich bei Inhalation zunächst in der Lunge an. Die alten Leuchtfarben enthielten Radiumsulfat auf Kunstharzbasis. Sie stellten damit eine schwer lösliche Verbindung dar. Deshalb ist davon auszugehen, dass inhaliertes Radium zunächst in der Lunge ein Depot bildete. Aufgrund seiner chemischen Eigenschaften wird Radium sowohl bei Inhalation, als auch bei Ingestion vorrangig an der Knochenoberfläche abgelagert und langfristig gebunden. Diese Aktivitätsdepots werden über die Jahre durch Ausscheidung des Ra-226 über den Urin abgebaut. Als Möglichkeit zur Gewinnung dosimetrisch verwertbarer Daten bieten sich somit zuerst die Methoden der Urin-Analyse an.

Die potenzielle Dosisrelevanz dieser Arbeiten wird mit nachfolgendem Rechenbeispiel demonstriert:

Unterstellt man eine Zufuhr von etwa 50 kBq Ra-226 zu einem Zeitpunkt vor ca. 10, 20 oder 30 Jahren, so resultieren daraus sowohl im Falle einer Inhalation als auch im Falle einer Ingestion die in Tab. 3-1 angegebenen Ganzkörpergehalte bzw. Ausscheidungsraten zum heutigen Tage<sup>9</sup>. Diese sind Durchschnittswerte, die jeweils den individuellen Gegebenheiten in konkreten Entscheidungsfällen anzupassen wären.

*Tab. 3-1: Aktivität von Ra-226 im Ganzkörper eines Erwachsenen und Ra-226 Aktivität im Urin nach 10, 20 und 30 Jahren nach Inkorporation von 50 kBq Ra-226 (anhand Daten [Potter 2002], Dosisberechnung nach Bundesanzeiger „Dosiskoeffizienten zur Berechnung der Strahlenexposition“ Bd. 2, 2001)*

	10a	20a	30a
Ganzkörpergehalt, Bq	100	60	42
Urin, mBq/d	0,49	0,18	0,1
Folgedosis Ingestion; Sv (Organ: Knochenoberfläche)	0,31 Sv	0,44	0,52
Folgedosis Inhalation; Sv (Organ: Lunge)	0,85 Sv		

Man erkennt, dass der Ganzkörpergehalt zwar signifikant oberhalb des natürlichen Untergrundniveaus von 0,3 - 4 Bq [Eisenbud 1987] liegt, die Nachweisgrenze für eine Messung der Urinausscheidung von etwa 1 mBq/d aber für alle in den Berechnungen angenommenen Zufuhrzeitpunkte unterschritten wird. Damit wird deutlich, dass die Methode

---

<sup>9</sup> Mit diesem Zahlenbeispiel wird nicht unterstellt, dass Inkorporationen in dieser Höhe tatsächlich aufgetreten sind.

der Ausscheidungsanalyse für eine retrospektive Ermittlung von Radium-Inkorporationen, die zu einer Strahlenexposition in Höhe der, nach derzeitiger Praxis, für eine Entscheidung über die Anerkennung einer Berufskrankheit relevante Teilkörperdosis führen würde, nicht geeignet ist.

Die Situation bei Ganzkörpermessungen wird durch Tab. 3-2 verdeutlicht:

*Tab. 3-2: Nachweisgrenze für Ra-226 bei Ganzkörpermessungen für die direkte Messung des Ra-226 sowie die indirekte Bestimmung anhand der Folgeprodukte Pb-214 und/oder Bi-214*

Nuklid	Energie (keV)	Nachweisgrenze (kBq) bei einer Messzeit von		
		10 min	30 min	60 min
Ra-226	186,1	1,14	0,93	0,87
Pb-214	351,9	0,095	0,078	0,073
Bi-214	609,3	0,061	0,050	0,047

Körperdepots von 0,1 kBq nach 10 a gemäß Tab. 3-1 können über die Folgeprodukte Pb-214 bzw. Bi-214 nachgewiesen werden, wobei jedoch beachtet werden muss, dass die Aktivität dieser Radon-Folgeprodukte nur etwa 30% derjenigen des Ra-226 beträgt. Bei langen Messzeiten von ca. 60 Minuten gelingt deren Nachweis noch bis 47 Bq (Bi-214) nach 30 a.

Eine weitere Verbesserung der Nachweisgrenze wäre durch eine Schädel-Teilkörpermessung möglich.

#### 4 BISHERIGE VORGEHENSWEISE ZUR BESTIMMUNG VON ERSATZDOSEN

Der Kommission wurden vom BMVg insgesamt 17 Ersatzdosis-Festlegungen vorgelegt, die von unterschiedlichen Wehrbereichsverwaltungen durchgeführt wurden. Die Daten dieser Bescheide lagen zwischen dem 04.12.2001 und dem 28.11.2002. Es handelt sich dabei um Antragsteller, die an den Systemen HAWK (13 Personen), NASARR (2 Personen) und AN/CPN-4 (2 Personen, von denen eine zusätzlich am TACAN AN/GRN9A eingesetzt war) beschäftigt waren. In einigen der der Kommission vorgelegten Fälle waren die Entscheidungen allerdings schon vor der Durchführung der im folgenden analysierten Ersatzdosis-Berechnung getroffen worden und basieren daher auf früheren Dosisabschätzungen.

Die wesentliche Grundlage aller vorgelegten Ersatzdosis-Bestimmungen bilden die Teilberichte der „AG Aufklärung der Arbeitsplatzverhältnisse Radar“ (AG RADAR), in der für das jeweils abgehandelte Waffensystem die in der Bundeswehr verfügbaren Informationen zu Einsatz, Störstrahlern, Ortsdosisleistungen, radioaktiven Stoffen sowie Charakterisierung der Tätigkeiten und Arbeitszeiten an den Radargeräten zusammengestellt sind. Diese wurden von der Kommission daher für ihre Analysen hinzugezogen.

Für die in der NVA und in den Teilstreitkräften der Bundeswehr weitverbreitet eingesetzten Waffensysteme mit potenziellen Störstrahlern hat die Kommission Fragen der Tätigkeitsprofile, Arbeitszeiten und Expositionsbedingungen bei den Anhörungen ausführlich mit den Sachkundigen, die vom BMVg (u.a. Mitglieder der AG RADAR) und dem Bund zur Unterstützung Radargeschädigter benannt worden waren, erörtert.

Zur Vorgehensweise der Wehrbereichsverwaltungen stellt die Kommission, auf der Basis dieser Unterlagen und Anhörungen folgendes fest:

##### **(a) Dosimetrische Zielgröße**

Als dosimetrische Größe wird in den der Kommission vorgelegten Bescheiden in der Regel die effektive Dosis berechnet. Lediglich in vier der 17 Ersatzdosis-Berechnungen werden Organdosen explizit ausgewiesen. Aber auch für drei dieser Fälle wird zur Beurteilung der Frage, ob die geltend gemachten Gesundheitsschäden durch die Strahlenexposition verursacht sein könnten, ausschließlich die jeweils errechnete effektive Dosis zugrunde gelegt. Nur in einem Bescheid bildet die Organdosis des Gewebes, in dem sich ein Tumor manifestiert hatte, die Grundlage.

Die Kommission stellt fest, dass die effektive Dosis zur Bestimmung der Verursachungswahrscheinlichkeit einer Krebserkrankung durch ionisierende Strahlung nicht verwendet werden sollte. Die effektive Dosis ist im Wesentlichen ein Planungsinstrument. Zur Beurteilung der Verursachungswahrscheinlichkeit eines spezifischen Tumors hingegen ist die Organdosis im betroffenen Gewebe die relevante Größe. Sie sollte die Grundlage der versorgungsmedizinischen gutachterlichen Beurteilungen und damit der Bescheidungen bilden (vgl. Kap. 6).

Zur Frage nach der aktuellen Praxis wurde der Kommission mitgeteilt (BMVg PSZ SdB Radar, e-mail v. 26. 11. 2002):

„Mit Rundschreiben des BMA vom 13. Mai 2002 wurden Anhaltspunkte für die gutachterliche Beurteilung im sozialen Entschädigungsrecht festgelegt. Hier ist erstmals allgemeinverbindlich beschrieben, dass für die Beurteilung der konkreten Erkrankung

eines Körperteils dessen Organdosis heranzuziehen ist. Nachdem dieses Rundschreiben Ende September den Aufsichtsbehörden bekannt geworden ist, wird die standardmäßige Berechnung der Organdosen auf Grundlage des hier entwickelten Rechenschemas durchgeführt, damit den ärztlichen Gutachtern die notwendigen Daten entsprechend BMA – Rundschreiben zur Verfügung gestellt werden können.“

Die Kommission kann diese ihr gegebene Aussage nicht bestätigen, da von den sieben Ende Oktober bis November 2002 erstellten Ersatzdosis-Berechnungen vier ausschließlich auf die effektive Dosis abheben.

### **(b) Annahmen zur Maximalenergie der Störstrahler**

Einen der entscheidenden Parameter für die Bewertung möglicher Gesundheitsschäden stellt die Energieverteilung der Störstrahlung dar, da diese die Eindringtiefe im Gewebe und damit die potenziell exponierten Organe bestimmt. In den vorgelegten Ersatzdosis-Berechnungen wird durchweg für die Energie der Röntgenstrahlung die Nennspannung des jeweiligen Störstrahlers (exakt: seine Anodenspannung) angesetzt. Da dies physikalisch der Maximalenergie der emittierten ionisierenden Strahlung entspricht<sup>10</sup>, führt diese Annahme in der Regel zu einer systematischen Überschätzung der berechneten Dosis.

Die von der Kommission durchgeführten Anhörungen zeigten auf der anderen Seite, dass während längerer Betriebsphasen die anliegenden Hochspannungen die Nennspannungen sowohl deutlich unter- als auch überschreiten konnten. Als Grund hierfür wurde – für die Kommission überzeugend – dargestellt, dass neue Röhren zunächst bei gegenüber der Nennspannung reduzierter Spannung betrieben wurden, jedoch Alterungseffekte der Röhren und betriebliche Anforderungen (wie witterungsbedingte Erhöhung der Sendeleistung, bessere Abstimmung des Senders) routinemäßig durch Erhöhung der Anodenspannung (und damit der Störstrahlung) kompensiert wurden. Als Zeiten, während derer zum Ausgleich von Alterungseffekten eine Spannungserhöhung erforderlich war, wurden der Kommission etwa 50 % der Lebensdauer der jeweiligen Röhre als typischer Wert genannt. Für die Variationsbreite wurde ein Intervall von etwa 70 % bis 130 % der Nennspannung spezifiziert.

Auch die Hochspannungswerte, die in den Protokollen der ab Ende der Siebziger Jahre an Störstrahlern durchgeführten Messungen eingetragen sind, geben keine belastbaren Informationen. Die Kommission hat sich auf den Anhörungen davon überzeugt, dass an den in der Bundeswehr gebräuchlichen Radargeräten keine Anzeigergeräte installiert waren oder sind, von denen die an einzelnen Störstrahlern betrieblich anliegende Hochspannung ablesbar wäre. Die befragten damaligen Leiter der beiden Strahlenmessstellen der Bundeswehr konnten über die Herkunft der in den Protokollen angegebenen Hochspannungsdaten nur spekulieren. Einer exakten Erfassung der betrieblichen Hochspannung der einzelnen Störstrahler wurde keine Bedeutung beigemessen.

Da die betriebliche Anodenspannung die Maximalenergie der Röntgenstörstrahlung linear, ihre mittlere Energie unter- und ihre Intensität deutlich überlinear beeinflusst [Lehman 1970], ist eine Aussage, ob – und falls, in welchem Ausmaß – die Annahme einer Energie der Röntgenstrahlung in Höhe der Anodenspannung der erzeugenden

---

<sup>10</sup> Zum Vergleich: die mittlere Energie der emittierten, durch die Röhre gefilterten Strahlung beträgt typischerweise etwa 50 – 75 % dieser Maximalenergie.

Röhre zu einer Überschätzung der ermittelten Ersatzdosis führt, nicht möglich. Die Kommission sieht andererseits keinerlei Möglichkeiten, retrospektiv Daten der betrieblichen Hochspannungen einzelner Störstrahler zu ermitteln.

**(c) Verwendung maximaler Messwerte der Ortsdosisleistung**

Sofern entsprechende Daten existieren, wird den vorgelegten Feststellungen der Ersatzdosis der jeweilige Maximalwert der für jeden Störstrahler gemessenen Ortsdosisleistungen zugrunde gelegt. Dieses Verfahren findet die grundsätzliche Zustimmung der Kommission, da – wie in Kap. 2.3.2 ausführlich diskutiert – die Variabilität der für viele Störstrahler dokumentierten Ortsdosisleistungen unterschiedliche mögliche Betriebszustände widerspiegelt, auch wenn nicht ausgeschlossen werden kann, dass mangelnde Qualitätssicherung der historischen Messungen einen nicht quantifizierbaren Beitrag zu dieser Variabilität geliefert haben kann (siehe Kap. 2.3.1).

Da die Beschäftigten nicht dosimetrisch überwacht wurden, ist das Vorgehen der Wehrbereichsverwaltungen, die dokumentierten maximalen Ortsdosisleistungen während der gesamten Arbeitszeit an dem jeweiligen Störstrahler anzusetzen, aus Sicht der Kommission ebenfalls alternativlos.

Wie in Kapitel 2.3.2 begründet, ist diese Vorgehensweise nicht anwendbar (a) auf Störstrahler, für die keine oder nur eine so geringe Zahl an Messwerten existiert, dass die Variabilität der betrieblich möglichen Ortsdosisleistungen nicht erfasst wird, (b) für Beschäftigungszeiten, die vor der Aufnahme systematischer Messungen an den jeweils für den Antragsteller relevanten Störstrahlern liegen.

Auf einen Aspekt der Ortsdosisleistungs-Festlegungen in den vorgelegten Bescheiden sei abschließend verwiesen: Für das PAR des HAWK wird von mehreren Wehrbereichsverwaltungen neben dem Maximalwert die 90 % - Perzentile der im Teilbericht der "AG Aufklärung der Arbeitsplatzverhältnisse Radar" dokumentierten Messwerte der Dosisberechnung zugrunde gelegt. Die resultierende Dosis wird bewertet als

- „wahrscheinlicher Wert“,
- „Dosis in 90 % der Fälle“,
- „Wahrscheinlichkeit, dass die aufgenommene Gesamtdosis kleiner ... ist, beträgt 90 %

oder

- „Mit hoher Wahrscheinlichkeit ist die beim PAR aufgenommene Gesamtdosis kleiner ...“.

Die Kommission hält Dosisberechnungen mit anderen Ortsdosisleistungen als den jeweiligen gemessenen Maximalwerten generell für entbehrlich. Sie empfiehlt dringend, zumindest auf die oben zitierten statistisch problematischen Interpretationen der Ergebnisse zu verzichten und verweist zur Begründung auf die entsprechenden Ausführungen dieses Berichts (Kap. 2.3.2).

### **(d) Einbeziehung der Antragsteller**

Zur Feststellung der früheren Belastungsbedingungen ist es allgemein geübte Praxis, sowohl die Dokumentation des Arbeitgebers als auch die individuellen Angaben der betroffenen Personen heranzuziehen. Dadurch werden einerseits fehlende Befunde, andererseits subjektive Beurteilungen relativiert.

Die von der Kommission untersuchten Bescheide weisen in einem einzigen Fall aus, dass Angaben des Antragstellers herangezogen wurden, in den restlichen 16 Fällen wird ausschließlich die Aktenlage zugrunde gelegt. Meist findet sich der stereotype Passus:

„Infolge der vorgegebenen Bearbeitungszeit war ein Befragen des Betroffenen nicht möglich. Auf Besonderheiten kann daher nicht eingegangen werden. Bei der Berechnung der Ersatzdosis wird daher unter Zuhilfenahme des Teilberichtes der Arbeitsgruppe (...) strikt nach Aktenlage vorgegangen.“

Die Kommission versteht dies dahingehend, dass in diesen Fällen von den Wehrbereichsverwaltungen nicht der Versuch unternommen wurde, Informationen der jeweiligen Antragsteller einzuholen. Das begrüßenswerte Ziel einer zügigen Antragsbearbeitung kann als Entschuldigung nicht überzeugen, da bei entsprechender Organisation - analog zur Praxis in den USA - verbunden mit enger Terminsetzung für eine Rückantwort eines Antragstellers dessen Beteiligung bei zügiger Bescheiderstellung möglich ist.

Wie im vorliegenden Bericht an anderen Stellen dokumentiert wird, hat sich die Kommission in den von ihr durchgeführten Anhörungen zudem davon überzeugt, dass Arbeitsbedingungen und -zeiten, Schutzmaßnahmen und Belehrungen erheblich variieren konnten, so dass auf eine Erfassung der individuellen Arbeitsbedingungen nicht verzichtet werden kann. Dies wird beispielhaft illustriert durch die Festlegung der Arbeitszeit in dem einzigen der vorgelegten Bescheide, in dem diese auf Angaben des Antragstellers basiert: je nach Störstrahler liegen diese bis zu einem Faktor 5 höher als die üblicherweise angesetzten Werte im Bericht der AG RADAR.

Der Kommission ist dargestellt worden, dass in der Bundeswehr im Falle des Fehlens geeigneter Planstellen Radartechniker für befristete Zeiträume formal auf anderen Stellen geführt werden konnten, so dass nach der Aktenlage die Möglichkeit einer Exposition während dieser Beschäftigungszeiten fälschlicherweise ausgeschlossen würde. Auch wenn dies wohl eher selten vorgekommen sein dürfte, kann der betroffene Personenkreis nur bei einer Anhörung jedes Antragstellers identifiziert werden.

### **(e) Qualitätssicherung**

Die Kommission fand beim Vergleich der vorgelegten Bescheide eine Vielzahl unterschiedlicher Vorgehensweisen, Annahmen und Parameterfestlegungen. Die für die Ersatzdosis-Berechnungen relevanten Vorgehensweisen sind in Tab. 4-1 zusammengestellt. Bevor diese im Detail kommentiert werden, muss aber deutlich auf die sich damit manifestierende nicht ausreichende Qualitätssicherung der Ersatzdosis-Berechnungen hingewiesen werden – ein aus Sicht der Kommission wesentliches Defizit der ihr vorgelegten Bescheide.

## Bericht der Radarkommission

Tab. 4-1: Unterschiede in den Annahmen und der Vorgehensweise bei der Ersatzdosisberechnung für die 17 analysierten Bescheide

Fall-Nr.	Waffensystem	Expositionsdauer je Störstrahler [h/a]	Annahme für Dosisermittlung		Exposition durch <sup>226</sup> Ra [mSv/a]	
			GK <sup>b)</sup>	TK <sup>b)</sup>	extern	Ingestion
1	Basic - HAWK - HPIR	450 / 50 <sup>a)</sup>	X		1.5	1.0
2	HAWK - PAR	500	X		1.5	1.0
	- HPIR	500 / 50 <sup>a)</sup>	X		1,5	1,0
3	I - HAWK - PAR	500	X		1.5	1.0
4	AN/CPN - 4	b)		X	4.8	0
5	HAWK - PAR	576	X		1.5	1.0
	- HPIR	576 / 48 <sup>a)</sup>	X			
6	AN/CPN - 4	400		X	6.5	0
	TACAN AN/GRN9A	400		X	0	0
7	HAWK - PAR	500	X		1.5	1.0
8	I - HAWK - PAR	480	X		1.5	1.0
9	I - HAWK - PAR	500	X		1.5	1.0
10	I - HAWK - PAR	500	X		1.5	1.0
11	NASARR	50/150/100 <sup>c)</sup>		X	1.2	0
12	HAWK - PAR	500	X		1.5	1.0
	- HPIR	500/50 <sup>a)</sup>	X		1,5	1,0
13	HAWK - PAR	500	X		1.5	1.0
	- HPIR	500/50 <sup>a)</sup>	X		1,5	1,0
14	HAWK - PAR	480 <sup>d)</sup>	X		1.5	1.0
	- HPIR	0 <sup>e)</sup>	-		-	-
15	HAWK - PAR	500	X		1.5	1.0
16	I-HAWK - PAR	500	X		1.5	1.0
17	NASARR	250/750/100 <sup>c)</sup>		X	2.44	0

a) in 30 cm/5 cm Abstand

b) nicht angegeben

c) je Störstrahler und Tätigkeit

d) aus den Angaben zur Dosisermittlung berechnet

e) es wird angenommen, dass während der gesamten Dienstzeit Arbeiten am PAR durchgeführt werden

f) GK: homogene Ganzkörper-Exposition; TK: arbeitsplatzspezifische Teilkörper-Expositionen

Zu Tabelle 4-1 im Einzelnen:

(i) *Tätigkeitsprofile*

Die überwiegende Zahl der Antragsteller war am Waffensystem HAWK beschäftigt, für das der Teilbericht der „AG Aufklärung der Arbeitsplatzverhältnisse Radar“ die Radargeräte PAR und HPIR als die wesentlichen Quellen ionisierender Strahlung benennt. Auffällig ist, dass in Tab. 4-1 eine alleinige Tätigkeit an einem dieser beiden Radargeräte, für andere hingegen ein Einsatz an beiden Geräten angenommen wird<sup>11</sup>. Als Begründung wird angeführt, dass der jeweilige Antragsteller laut Aktenlage nur an dem in der Tabelle aufgeführten Radargerät als Mechaniker eingesetzt gewesen sei, oder auch, dass die Tätigkeit an anderen Geräten als den berücksichtigten nicht zu einer Strahlenexposition habe führen können, da der Einsatz dort als Operator und nicht als Mechaniker erfolgte.

Der Kommission wurde hingegen bei einer Anhörung nachvollziehbar (und unwidersprochen) dargestellt, dass bei Reparatur- oder Einstellarbeiten eines Radargerätes regelmäßig der auf dem Gerät arbeitende Operator<sup>12</sup> oder die Mechaniker anderer Radargeräte der HAWK-Batterie Unterstützung leisteten. Diese Praxis ist insbesondere in den Jahren vor 1990 als üblich dargestellt worden, in denen einerseits Zeiten hoher Ausfallraten einzelner Geräte, andererseits aufgrund der militärischen Bedrohungsanalyse die Anforderung hoher Verfügbarkeiten und schneller Wiederherstellung nach Ausfällen zusammentrafen.

Die zur Vermeidung längerer Geräteausfälle selbstverständliche Übernahme von Mechanikerarbeiten durch Bediener wurde für die Kommission nachvollziehbar auch für das Radargerät AN/CPN-4 von dort früher Beschäftigten beschrieben, und im Einvernehmen mit dem Leiter der „AG Aufklärung der Arbeitsplatzverhältnisse Radar“ als im entsprechenden Teilbericht der AG ungenügend berücksichtigt charakterisiert.

Bei einer Anhörung zum Waffensystem NIKE wurde bestätigt, dass ähnlich zu HAWK auch hier die Radartechniker häufig bei Reparaturen an anderen Geräten als dem, für das sie verantwortlich waren, eingesetzt wurden, da sonst die geforderten zeitlichen Verfügbarkeiten nicht einzuhalten gewesen wären.

Da solche Unterstützungen nicht aus den Personalakten ersichtlich sind, sollte nach Auffassung der Kommission für die Annahme von Expositionsdauern an einzelnen Störstrahlern hier das Vorbringen der Antragsteller im Einzelfall zugrunde gelegt werden.

(ii) *Arbeitszeitansätze*

Unverständlich bleiben die in Tab. 4-1 aufgeführten Diskrepanzen der jeweils zugrunde gelegten Expositionsdauern je Störstrahler, da diese beispielsweise für die am HAWK Beschäftigten nicht auf individuellen Einlassungen der

---

<sup>11</sup> Dies ist nicht dadurch erklärbar, dass ausschließlich Letztere Mitglied einer Unterstützungseinheit (DSU – Direct Support Unit) waren, die erforderlichenfalls für komplexere Reparaturen an allen Radargeräten einer HAWK-Kampfstaffel hinzugezogen wurden.

<sup>12</sup> Dies wird auch im Teilbericht der „AG Aufklärung der Arbeitsplatzverhältnisse Radar“ ausgewiesen.

Antragsteller, sondern ausschließlich auf unterschiedlichen Annahmen der einzelnen Wehrbereichsverwaltungen beruhen. Dies erstaunt umso mehr, da sich alle diese Bescheide auf den entsprechenden Teilbericht der „AG Aufklärung der Arbeitsplatzverhältnisse Radar“ und den dort getroffenen Arbeitszeitansatz beziehen.

Die Vorgehensweise dieser Arbeitsgruppe zur Ermittlung der in ihren Teilberichten dokumentierten Arbeitszeitansätze wurde von ihrem Leiter dahingehend erläutert, dass diese im Wesentlichen auf Befragungen von Radartechnikern<sup>13</sup> beruhen, deren Angaben von dem mit der Erfassung beauftragten Mitglied der AG auf ihre Plausibilität bewertet<sup>14</sup> und zu mittleren Arbeits- und Expositions-Zeitansätzen zusammengefasst wurden. Informationen und Vorgehensweise sind von der Arbeitsgruppe nur unvollständig intern dokumentiert worden, so dass es nicht möglich war, diese nachzuvollziehen.

Im Ergebnis der Anhörungen haben sich allgemeine und waffensystem-spezifische Punkte ergeben, deren Berücksichtigung die Kommission bei Ersatzdosis-Bestimmungen zukünftig für erforderlich hält:

- Allgemein ergab sich aus den Diskussionen das Bild, dass sowohl in der Bundeswehr als auch in der NVA die politische Großwetterlage und daraus abgeleitete militärische Bedrohungsanalysen einen wesentlichen Einfluss auf die jeweils geforderten Einsatzbereitschaften und damit auf die Arbeitszeiten und -bedingungen der Radartechniker ausübten. So waren für diesen Personenkreis offensichtlich in der Bundeswehr in den Sechziger Jahren mehrtägiger Schichtdienst und Siebentage-Wochen verbreitet. Ähnliche Anforderungen, die zusätzliche Expositionsbedingungen schaffen konnten<sup>15</sup>, sind der Kommission auch für spätere Zeiten (bis 1989) beispielsweise für die FlaRak-Waffensysteme dargestellt worden. Solche Zeit- und Einsatz-spezifische individuelle Arbeitsbedingungen werden von den Arbeitszeitansätzen in den Teilberichten der „AG Aufklärung der Arbeitsplatzverhältnisse Radar“ nicht notwendigerweise abgedeckt. Dieser Sachverhalt unterstreicht die Notwendigkeit, im Rahmen der Ersatzdosis-Ermittlungen plausiblen Angaben der Antragsteller den Vorzug vor den standardisierten Ansätzen der Teilberichte der AG RADAR zu geben.
- Bei der Anhörung zum P-15 wurde von dem anwesenden ehemaligen Soldaten, der an diesem Gerät 1969-1970 als Techniker und Funkorter eingesetzt war, dargestellt, dass in Ausnahmefällen Reparaturarbeiten am Sender bei offener Tür und anliegender Hochspannung erfolgten. Dies wurde von einem Vertreter der Bundeswehr und früheren NVA-Offizier mit Erfahrung am P-15 bestätigt. Auch wenn solche Arbeiten nur selten erforderlich waren (als Intervall wurde übereinstimmend etwa einmal alle

---

<sup>13</sup> Unter diesen waren auch mehrere, die an den von der Kommission durchgeführten Anhörungen im Auftrag des Bundes zur Unterstützung Radargeschädigter (BzÜR) teilnahmen.

<sup>14</sup> Daher wurde mit dieser Aufgabe möglichst ein Arbeitsgruppen-Mitglied betraut, das an dem jeweiligen Waffensystem als Soldat selbst eingesetzt war.

<sup>15</sup> So wurde für mehrere Waffensysteme (HAWK, SGR-103, P-18) von der Praxis der Radartechniker berichtet, vor den Radargeräten zu nächtigen, um bei Ausfällen unverzüglich zur Verfügung zu stehen – im Einzelfall, um keine Zeit zu verlieren, sogar bei geöffnetem Gerät, falls eine Wiederherstellung der Betriebsbereitschaft innerhalb kürzester Frist („5-Minuten-Status“) gefordert war.

zwei Monate genannt) und zeitlich begrenzt waren, könnte dies den wesentlichen Dosisbeitrag an diesem Gerät liefern.

- Die Annahme von 24-Stunden-Schichten der HAWK-Mechaniker im Teilbericht der "AG Aufklärung der Arbeitsplatzverhältnisse Radar" entspricht heutigen Verhältnissen, während früher zunächst 72-Stunden-, ab etwa 1985 48-Stunden-Schichten (mit wöchentlichen Arbeitszeiten bis zu über 80 Stunden) üblich waren. Bei der Anhörung zu HAWK konnte nach ausführlichen Diskussionen Konsens erzielt werden, dass für diese früheren Phasen ein Ansatz von 30 % der 80 Stunden für Arbeiten an den Sendern der Radargeräte abdeckend ist.
- Bei der Anhörung zum Waffensystem NIKE wurde der Kommission berichtet, dass nach einer Auswechslung des im HIPAR befindlichen Klystrons dieses von einer massiven Abschirmung umgebene Bauteil in der Regel vor Aufsetzen des Abschirmdeckels wieder in Betrieb genommen wurde, nachdem mehrmals Austauschexemplare dieses extrem teuren Bauteils wegen eines Herstellerfehlers (vertauschte Polung) bei Inbetriebnahme nach kurzer Zeit zerstört worden waren. Hintergrund dieser Vorgehensweise war, infolge der ohne Abschirmung möglichen direkten Beobachtung bei Vorliegen dieses Fehlers das Gerät rechtzeitig abschalten und die Spannungspolarität entsprechend vertauschen zu können. Dies wurde von einem Mitglied der „AG Aufklärung der Arbeitsplatzverhältnisse Radar“ mit Erfahrung am Waffensystem NIKE bestätigt. Auch wenn die Auswechslung des Klystrons nicht häufig erforderlich war und die beschriebene Wiederinbetriebnahme-Prozedur nur kurze Zeit in Anspruch nahm, könnte sie einen wesentlichen Dosisbeitrag an diesem Gerät liefern.
- Die Anhörung zum NASARR des Starfighter dokumentierte, dass sowohl hinsichtlich der Arbeitszeiten als auch der Arbeitsanforderungen und der damit verknüpften Expositionssituationen erhebliche Diskrepanzen bestanden zwischen Mechanikern, die bei den Geschwadern einerseits oder bei der Instandsetzung/Luftwaffenwerften andererseits beschäftigt waren. Die letztgenannte Gruppe von Arbeitsplätzen war durch einen deutlich höheren Anteil dosisrelevanter Arbeiten gekennzeichnet, beispielsweise langwieriger Einstellarbeiten des Sender-Magnetrons, bei denen sich bei den in der Luftwaffe eingeführten Geräten Kopf und Teile des Oberkörpers direkt im nach oben gerichteten Strahlenbündel befanden. Ab Mitte der Siebziger Jahre wurden diese Störstrahler gegen konstruktiv veränderte Magnetrons ausgetauscht, bei denen diese Einstellprozedur erheblich vereinfacht und ohne Exposition möglich war, so dass neben dem Arbeitsplatz der Zeitpunkt der Tätigkeit für die Expositionszeiten erhebliche Bedeutung zukommt.

Der Leiter der „AG Aufklärung der Arbeitsplatzverhältnisse Radar“ bot auf der Anhörung an, den Teilbericht NASARR, dessen Arbeitszeit- und Expositionsansätze die auf der Kommissionsanhörung herausgearbeiteten nach Einsatzort und -zeit differenzierten Expositionsbedingungen nicht widerspiegelt, durch entsprechende zusätzliche Einzelberichte zu ergänzen. Ein solches Vorgehen hält die Kommission grundsätzlich für sachgerecht, wertet aber die damit einhergehende zeitliche Verzögerung der anhängigen

Wehrdienstbeschädigungs-Verfahren als nachteilig. Sie empfiehlt daher, statt dessen vorrangig Angaben der Antragsteller zu ihren individuellen Tätigkeiten und Arbeitszeiten zu Grunde zu legen.

- Spezifische, nicht durch die Teilberichte der „AG Aufklärung der Arbeitsplatzverhältnisse Radar“ erfasste Expositionssituationen dürften für Lehrpersonal im Bereich Radartechnik an den technischen Schulen entstanden sein, da der Unterricht regelmäßige Demonstrationen der Vorgehensweise bei Arbeiten am offenen Gerät beinhaltete. Für das AN/CPN-4 wurde dies der Kommission detailliert dargestellt. Eine Klärung, ob dies für die Ausbilder an anderen Waffensystemen ebenfalls zutrifft, war im Rahmen der durchgeführten Anhörungen nicht möglich; dies erscheint der Kommission allerdings plausibel zu sein.

(iii) *Expositionsbedingungen*

Für die Ersatzdosis-Ermittlung wurde teils eine homogene Ganzkörper-Exposition während der Arbeitszeit am offenen Gerät, teils eine für die jeweiligen Arbeitsplätze und Tätigkeiten spezifische Teilkörper-Exposition zugrunde gelegt (Tab. 4-1).

Die Kommission ist der Auffassung, dass für alle Tätigkeiten, für die eine Exposition aller Körperpartien geometrisch betrachtet nicht sicher auszuschließen ist, die Annahme, dass das erkrankte Organ einer Strahlenexposition ausgesetzt war, die durch die maximale Ortsdosisleistung bestimmt wird, die einzig mögliche Grundlage einer Dosisabschätzung darstellt. Dies muss für die gesamte jeweilige Tätigkeit gelten, da die Expositionsdauer einzelner Körperorgane (und Distanzen zum Störstrahler) individuell nicht bekannt und nicht rekonstruierbar ist. Der Kommission ist bewusst, dass diese Annahme angesichts der meist geometrisch begrenzten Strahlenfelder in der Regel zu einer Überschätzung der Exposition führen dürfte; dies ist eine Konsequenz des Fehlens einer geeigneten dosimetrischen Überwachung.

Wenn arbeitsplatz- und tätigkeitsspezifische Expositionen einzelner Körperpartien sicher ausgeschlossen werden können, sollte die Dosisermittlung für die verbleibenden Organe durchgeführt werden. Die ausführlichen Diskussionen, die die Kommission während der Anhörungen zu Arbeitsplatz- und Tätigkeitsprofilen durchgeführt hat, haben gezeigt, dass bei der Festlegung der in diesem Falle zu berücksichtigenden Körperpartien primär plausible Informationen der jeweiligen Antragsteller über ihre früheren Tätigkeiten zugrunde gelegt werden sollten.

(iv) *Dosis-Konversionsfaktoren*

Für die in Tab. 4-1 aufgelisteten Bescheide, bei denen der Antragsteller am Waffensystem HAWK gearbeitet hatte, sind für zwei der Störstrahler die zur Bestimmung der effektiven Dosis jeweils benutzten Umrechnungsfaktoren in Tab. 4-2 zusammengestellt.

Tabelle 4-2: Konversionskoeffizienten zur Umrechnung der Photonen-Äquivalentdosis  $H_x$  in die effektive Dosis  $E$ , wie sie in den analysierten Bescheiden zu Antragstellern des Waffensystems HAWK verwendet wurden.

Fall-Nr.:	Thyratron JAN5949A ( $U_{\max} = 18 \text{ kV}$ )	Clipperdiode JAN6303 ( $U_{\max} = 36 \text{ kV}$ )
1	0,09	0,576
2	0,0885	0,5688
3	0,0885	0,5688
5	0,1	0,54
7	0,1	0,54
8	0,0855	0,5688
9	0,0855	0,5688
10	0,0855	0,5688
11	0,0855	0,5688
12	0,0855	0,5688
13	0,1	0,54
14	0,0855	0,5688
15	0,0855	0,5688

Diese sollten bei allen Bescheiden identisch sein, tatsächlich fand die Kommission bei der Analyse der ihr vorgelegten Bescheide aber die aufgeführten unterschiedlichen Werte. Auch wenn die sich daraus ergebenden Unterschiede der effektiven Dosis mit maximal etwa 15 % gering sind im Vergleich zu den Auswirkungen anderer Diskrepanzen zwischen den Bescheiden, illustriert Tab. 4-2 die Notwendigkeit einer Verbesserung der Qualitätssicherung der Ersatzdosis-Bestimmungen.

(v) <sup>226</sup>Ra-haltige Leuchtfarben

Es gab unterschiedliche Vorgehensweisen, die bei der Ermittlung der Dosis durch <sup>226</sup>Ra-haltige Leuchtfarbe gewählt wurden. In Tab. 4-1 ist zur besseren Vergleichbarkeit die jeweils ermittelte effektive Dosis aufgeführt – auch wenn dies, wie an anderer Stelle ausgeführt, nicht die geeignete Zielgröße darstellt, da in den meisten Bescheiden keine Organdosis durch <sup>226</sup>Ra ermittelt wurde. Ingestion wurde als Belastungspfad angenommen, wenn von der „AG Aufklärung der Arbeitsplatzverhältnisse Radar“ nicht berührungssicher abgedeckte, radiumhaltige Leuchtfarben entdeckt wurden.

Auf die Konsequenzen für potenzielle nicht in den Ersatzdosis-Berechnungen erfasste Expositionsszenarien, die sich aus den zahlreichen in den Anhörungen

erhaltenen Informationen ergeben, wird auf das Kapitel 3 verwiesen. An dieser Stelle sei auf die teilweise mangelnde Qualitätssicherung der in Tab. 4-1 aufgelisteten Dosisbestimmungen hingewiesen. So differieren die Werte der externen Dosis am AN/CPN-4 der Fälle 4 und 6 deutlich, obwohl beide aus der Aktenlage auf der Basis identischer Unterlagen abgeschätzt wurden. Ähnliche Diskrepanzen finden sich zwischen den Personen 11 und 17, obwohl in beiden Fällen die Daten des Teilberichts NASARR und identische Aufenthaltszeiten im Strahlenfeld zugrunde gelegt wurden.

### **Empfehlungen der Kommission zur Gewährleistung der Qualitätssicherung:**

1. Mit der Durchführung von Ersatzdosis-Berechnungen sollten ausschließlich Personen betraut werden, die eine mindestens dreijährige berufliche Praxis in den Berufsfeldern Betrieblicher Strahlenschutz oder Dosimetrie aufweisen können.
2. Die Ersatzdosis-Berechnungen sollten als Entwurf vorgelegt werden. Eine hinreichende Zahl von Entwürfen sollte gesammelt einem Audit durch eine entsprechend qualifizierte unabhängige Institution unterzogen werden.
3. Anschließend sollten die Entwürfe dem Antragsteller zur Kenntnis gegeben und diesem die Möglichkeit eröffnet werden, eventuelle Ergänzungen, Einsprüche oder Korrekturvorschläge vorzubringen.

## 5 HOCHFREQUENZSTRAHLUNG

### 5.1 GRENZWERTE UND MESSGRÖSSEN

Die Grundlagen für Regelungen und Vorschriften für den Schutz von Personen, die gegenüber hochfrequenter elektromagnetischer (HF-) Strahlung exponiert sind, haben sich seit dem Beginn der 60er Jahre nicht wesentlich geändert auch wenn eine Reduzierung der für die Exposition zulässigen Werte erfolgte.

Die Einführung von Vorschriften für den Schutz der Menschen gegen negative Wirkungen elektromagnetischer Felder begann in den USA und in der Sowjetunion schon sehr früh – nämlich unmittelbar nach dem Vorliegen erster Berichte über Radarunfälle und erster Forschungsergebnisse zum Ende der 50er Jahre.

Dabei wurde von Anfang an zwischen zwei Arten von Grenzwerten unterschieden:

- der sogenannten „Spezifischen Absorptionsrate“ als Maß für die pro Kilogramm Körpermasse absorbierte und in Wärme umgewandelte Hochfrequenzleistung (angegeben in Watt pro Kilogramm (W/kg)), die direkt nicht messbar ist,
- und den messbaren Feldgrößen der Strahlung, die diese Erwärmung verursacht hat. Diese Feldgrößen sind die elektrische Feldstärke, angegeben in Volt pro Meter (V/m), die magnetische Feldstärke, angegeben in Ampere pro Meter (A/m) und die Leistungsdichte der Strahlung, angegeben in Watt pro Quadratmeter (W/m<sup>2</sup>) bzw. Milliwatt pro Quadratcentimeter (mW/cm<sup>2</sup>). Sie werden neuerdings auch als Referenzwerte bezeichnet.

Wie Tab. 5-1 dokumentiert, wurden die für den von Radaranlagen genutzten Frequenzbereich geltenden Referenzwerte der Leistungsflussdichte im Verlauf der letzten 15 Jahre erheblich reduziert.

Tab.5-1: Referenzwerte der mittleren Leistungsdichte für die Begrenzung der Exposition im Frequenzbereich 300 MHz bis 10 GHz

Regelwerk	Frequenz		
	300 MHz	3 GHz	10 GHz
STANAG (1979)	10 mW/cm <sup>2</sup>	10 mW/cm <sup>2</sup>	10 mW/cm <sup>2</sup>
BGV B11 (06/2001)	1 mW/cm <sup>2</sup>	5 mW/cm <sup>2</sup>	5 mW/cm <sup>2</sup>
ICNIRP 1988	1 mW/cm <sup>2</sup>	5 mW/cm <sup>2</sup>	5 mW/cm <sup>2</sup>
NVA 010/9/028	2µW/cm <sup>2</sup>	2 µW/cm <sup>2</sup>	2 µW/cm <sup>2</sup>
Am Arbeitsplatz (8h) (1989)	27 µW/cm <sup>2</sup>	25 µW/cm <sup>2</sup>	25 µW/cm <sup>2</sup>

Die Absenkung der Referenzwerte erfolgte nicht als Reaktion auf Unfälle oder bekannt gewordene Schäden durch HF-Exposition, sondern diente der Vergrößerung des Sicherheitsfaktors – auch als Resultat aktueller Forschungsergebnisse.

In der Bundeswehr wurden auf der Grundlage der wissenschaftlichen Erkenntnisse der Zeit und der Vorschriften aus dem militärischen Bereich in den USA eigene Regelungen für den Schutz des Personals von Waffensystemen, welche elektromagnetische Felder emittierten, erarbeitet, in Kraft gesetzt und entsprechend dem jeweiligen Erkenntnisstand aktualisiert. Beginnend 1958 mit einer Reihe eigener zentraler Dienstvorschriften wie z.B. die ZDv 44/20 [BMVg 1958], später die auf den Grenzwerten der DIN 0848 Teil 2 (s.u.) basierenden „Bestimmungen der Bundeswehr zum Schutz von Personen vor schädigenden Wirkungen elektromagnetischer Felder“ [BMVg 1988], sowie auf der Ebene der Teilstreitkräfte die Anweisungen für Ausbildung und Betrieb [BW 1965], [MUKdo 1981]. Parallel dazu standen aus dem zivilen Bereich ab 1982 die deutschen Normen der Reihe DIN VDE 0848 [E-DIN 1991] zur Verfügung.

In der NATO wurde im Rahmen des Standardisation Agreement (STANAG) durch ein Komitee beginnend 1978 eine Sicherheitsvorschrift erarbeitet [STANAG 1979], die allen NATO-Mitgliedern als Empfehlung zur Anwendung vorlag.

Vergleichbare, in Teilen allerdings inhaltlich unterschiedliche Vorschriften gab es in der Nationalen Volksarmee [MNV 1989].

Seit 1988 gibt es Richtlinien der International Commission on Nonionising Radiation Protection [ICNIRP 1988] für den Frequenzbereich 100 kHz 300 GHz. Diese wurden 1998 [ICNIRP 1998] unter Erweiterung des Frequenzbereiches neu gefasst. Auf diesen Empfehlungen beruhen die meisten nationalen Sicherheitsvorschriften. In Deutschland ist seit Juni 2001 im zivilen Bereich die Unfallverhütungsvorschrift BGV B11 Elektromagnetische Felder [BGV 2001] verbindlich.

## **5.2 RETROSPEKTIVE BESCHREIBUNG DER EXPOSITIONS- VERHÄLTNISSE DES PERSONALS VON WAFFENSYSTEMEN MIT RADARANLAGEN**

### **5.2.1 Grundlagen**

Die wichtigste Grundlage des Berichtes sind Messprotokolle und Teilberichte der Messstellen sowie von Messbeauftragten der Bundeswehr aus den Jahren 1979 bis 1992.

Diese werden durch Erkenntnisse aus eigenen Untersuchungen und Messungen sowie den Ergebnissen von Anhörungen Betroffener bei Besuchen von Technischen Einheiten der Bundeswehr ergänzt.

Zur Erarbeitung eines Überblicks und zur Bewertung eines möglichen erhöhten gesundheitlichen Risikos durch die Exposition gegenüber nichtionisierender Strahlung bei Betrieb, Wartung und Reparatur der Radaranlagen/-geräten der Bundeswehr wurden ca. 30 Messprotokolle/-berichte der Messstellen sowie von Messbeauftragten der Bundeswehr aus den Jahren 1979 bis 1992 gesichtet und einer kritischen Wertung unterzogen. Ebenso wurden Erkenntnisse und Messergebnisse verwertet, die bei den Besichtigungen zu den Radargeräten P15, HAWK, SGR und NASARR gewonnen wurden. Sofern es die Daten zulassen, wird die Bewertung zur Zeit der Messung einer Bewertung nach den gegenwärtigen Referenz- und Grenzwerten gegenübergestellt, wobei ein solcher Vergleich nur informativen Charakter haben kann.

### Verwendete Messtechnik:

Es wurde nahezu ausnahmslos mit dem Leistungsdichte-Meßsystem NARDA Serie 86xx (Gerät Model 8616; Sonde 8623) gearbeitet. Dieses gehörte zum Zeitpunkt seiner Einführung zu den besten verfügbaren Geräten. Es wurde vom Hersteller kontinuierlich weiterentwickelt und ist in der nunmehr dritten Generation im Einsatz. Für die an Radaranlagen anzutreffenden Leistungsdichten der Mikrowellenstrahlung genügt das NARDA-Messsystem bezüglich Messunsicherheit und Bedienungssicherheit den Anforderungen.

### 5.2.2 Analyse der gesichteten Messberichte und Protokolle

Der Kommission wurden vom BMVg keine Messberichte zu Leistungsdichten durch Hochfrequenzstrahlung an Arbeitsplätzen von Radargeräten der NVA zur Verfügung gestellt. Die folgenden Ausführungen und Bewertungen beziehen sich daher ausschließlich auf Radargeräte, die im Bereich der Bundeswehr eingesetzt worden sind.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass die überwiegende Anzahl der Messungen im zugänglichen Strahlungsfeld der Antennen für die Verhältnisse des Normalbetriebes – das heißt im Bereich der bestimmungsgemäßen Abstrahlung - erfolgten. Für die Arbeitsplätze des Reparatur- und Wartungspersonals, für die nicht bestimmungsgemäße Abstrahlung, beispielsweise Leckstrahlung, von Bedeutung sein kann, liegen nur wenige Berichte vor.

#### 5.2.2.1 Messberichte zum Strahlungsfeld der Antennen

##### *Waffensystem (WS) NIKE*

Zum WS NIKE gehörten standardgemäß vier Typen von Radargeräten: HIPAR, LOPAR, MTR und TTR. Das HIPAR und LOPAR sind beides Hochleistungsanlagen mit Pulsleistungen von mehr als 1 MW, in deren Hauptstrahl Leistungsdichten von mehr als 100 mW/cm<sup>2</sup> auftreten konnten.

Die Geräte waren überwiegend auf Türmen oder erhöht auf Gebäuden installiert. Die Leistungsdichte der von Ihnen ausgehenden Strahlung überschritt in den für Menschen zugänglichen Bereichen am Boden nur in Ausnahmefällen den STANAG- Grenzwert von  $S = 10 \text{ mW/cm}^2$ .

In der Zeit der Einführung des WS NIKE gab es auch „mobile“ Varianten, die auf Trailern montiert waren und deren Antennenschwerpunkte niedriger als 8 m sein konnten. Da die Stellungen häufig von Schutzwällen umgeben waren, bestand bei Aufenthalt auf diesen Wällen die Möglichkeit einer erheblichen Überexposition. Direkte Messdaten dazu liegen nicht vor.

##### *Waffensystem HAWK*

- Radargerät HPIR „A“ und andere Radargeräte (Messbericht HA 016/80 der Strahlenmessstelle Nord)

Grundlage dieses Berichts sind Ergebnisse von Messungen und Berechnungen, die an einer realen Stellung der Bundeswehr mit mehreren Radaranlagen durchgeführt wurden. Untersucht wurden die Strahlungsfelder der Radarsysteme HPIR, CWAR, ASR-P, PAR und ROR.

Auf Grund der Betriebsart beim HPIR – stehende Antenne und Dauerstrichsendung – enthält die Strahlung dieses Systems das mit Abstand höchste Gefährdungspotential. Zwar ist auch in den Strahlungsbereichen von CWAR, PAR und ROR ein Überschreiten des damals geltenden

Grenzwertes von 10 mW/cm<sup>2</sup> möglich; durch Zugangsbeschränkungen (Beispiel einer Dienstvorschrift liegt vor), d.h. das Festlegen von Schutzbereichen, kann aber die Überexposition des Personals verhindert werden.

- Radargerät HPIR „A“ und Radargerät CWAR und (Messbericht Nr. 57/83 der Strahlenmessstelle Süd)

Im Rahmen der Entwicklung von Schutzmaßnahmen gegen ungewolltes bzw. zufälliges Bestrahlen des Bedienpersonals des einen Radargerätes (CWAR) durch ein benachbartes anderes Gerät (HPIR – Dauerstrichsender mit stehender Antenne) wurden Leistungsdichtemessungen bei gestellten Szenarien durchgeführt. Ohne Abschirmmaßnahmen wurden am Ort des CWAR bei Bestrahlung durch das für die Messungen konstant auf das CWAR gerichtete HPIR folgende Werte gemessen:

Außen am CWAR-Shelter ohne Abschirmung 45 mW/cm<sup>2</sup> (4,5-facher STANAG Grenzwert)

Im Shelter mit Abschirmung 2 mW/cm<sup>2</sup>

Arbeitsplatz des Bedieners 9 mW/cm<sup>2</sup>

Inwieweit diese Expositionsbedingungen aber in der Praxis aufgetreten sind, kann von der Kommission retrospektiv nicht beurteilt werden.

Im umgekehrten Fall, dass das CWAR in Richtung anderer Geräte abstrahlte, wurde bei stehender Antenne des CWAR ein Höchstwert der Leistungsdichte von 2 mW/cm<sup>2</sup> gemessen, wobei die Betriebsart „Senden mit stehender Antenne“ im Normalbetrieb nicht auftritt.

Die Schwierigkeit zur Einrichtung von Schutzzonen bestand darin, wie die nachstehenden Bilder Abb. 5-1 und Abb. 5-2 zeigen, dass die notwendigen Schutzbereiche, in denen die Grenzwerte von damals 10 mW/cm<sup>2</sup> überschritten werden, deutlich größer sind, als die Abstände zwischen den Standorten der einzelnen Radargeräte in einer HAWK-Stellung.

Abbildung 5-1 zeigt nach Berechnungen der Strahlenmessstelle Süd eine Übersicht über Kontrollbereich, Expositionsbereich 1 und 2 mit den Grenzwerten nach ICNIRP 1998 für die Stellung Kleinhartpenning.

Andere Berechnungen zeigen Abweichungen von bis zu 20 % von diesen Werten die darauf beruhen, dass

- die topologischen Unterschiede einzelner HAWK-Stellungen berücksichtigt wurden
- Nahfeldkorrekturen mit eingearbeitet wurden.

Abb. 5-2 zeigt die Lage der einzelnen Radaranlagen am Beispiel der HAWK-Stellung Kleinhartpenning. Legt man die STANAG-Grenzwerte zu Grunde, umfasst der 10-mW/cm<sup>2</sup>-Kreis die Standorte aller Radaranlagen der Stellung: HPIR-A und -B, PAR, CWAR und ROR. Daraus folgt, dass es nicht ohne Grenzwertüberschreitung möglich war, an einem der Geräte Reparatur- oder Wartungsarbeiten durchzuführen, wenn es im Strahlungsbereich eines HPIR lag (Grenzfall HPIR-A gegen HPIR-B mit 10 mW/cm<sup>2</sup>).

Solche Strahlungsverhältnisse waren nahezu unvermeidbar, wenn ein HPIR im Zielverfolgungsmodus arbeitete und die Zielverfolgung nicht unterbrochen werden sollte. Dabei waren auch etwas länger dauernde Bestrahlungen nicht auszuschließen, je nach Flugbewegung des Zieles, insbesondere bei vorwiegend radialem Kurs. Wie häufig solche Situationen entstanden sind, kann nicht generell beantwortet werden.

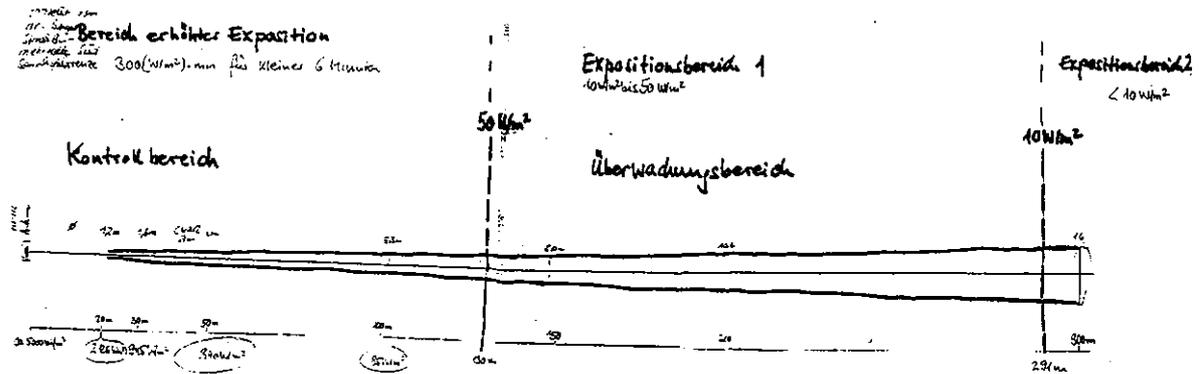


Abb. 5-1: HPIR (HAWK): Expositionsbereiche; Kontrollbereich,  $S > 50 \text{ W/m}^2$  (= ehemaliger Grenzwert für Aufenthalt  $t > 6 \text{ min}$ . Strahlenmessstelle Süd, Sonthofen)

Abb. 5-2 zeigt Leistungsdichten in verschiedenen Situationen, beispielsweise

- HPIR-A  $\Rightarrow$  PAR:  $63 \text{ mW/cm}^2$  bzw.  $630 \text{ W/m}^2$
- HPIR-A  $\Rightarrow$  CWAR:  $43 \text{ mW/cm}^2$  bzw.  $430 \text{ W/m}^2$
- HPIR-B  $\Rightarrow$  CWAR:  $37 \text{ mW/cm}^2$  bzw.  $370 \text{ W/m}^2$
- HPIR-B  $\Rightarrow$  ROR:  $34 \text{ mW/cm}^2$  bzw.  $340 \text{ W/m}^2$

Da bei Leistungsdichten oberhalb des Grenzwertes von  $10 \text{ mW/cm}^2$  ( $100 \text{ W/m}^2$ ) die zulässige Verweilzeit in Abhängigkeit von der Leistungsdichte reduziert werden musste (max. 6 min), ergibt sich bei den oben angegebenen Werten eine zulässige Aufenthaltsdauer von 1 – 2 min. Aufenthaltszeiten an anderen Radargeräten des HAWK mussten also im Falle einer Beleuchtung durch einen HPIR gering gehalten werden, um Grenzwertüberschreitungen auszuschließen.

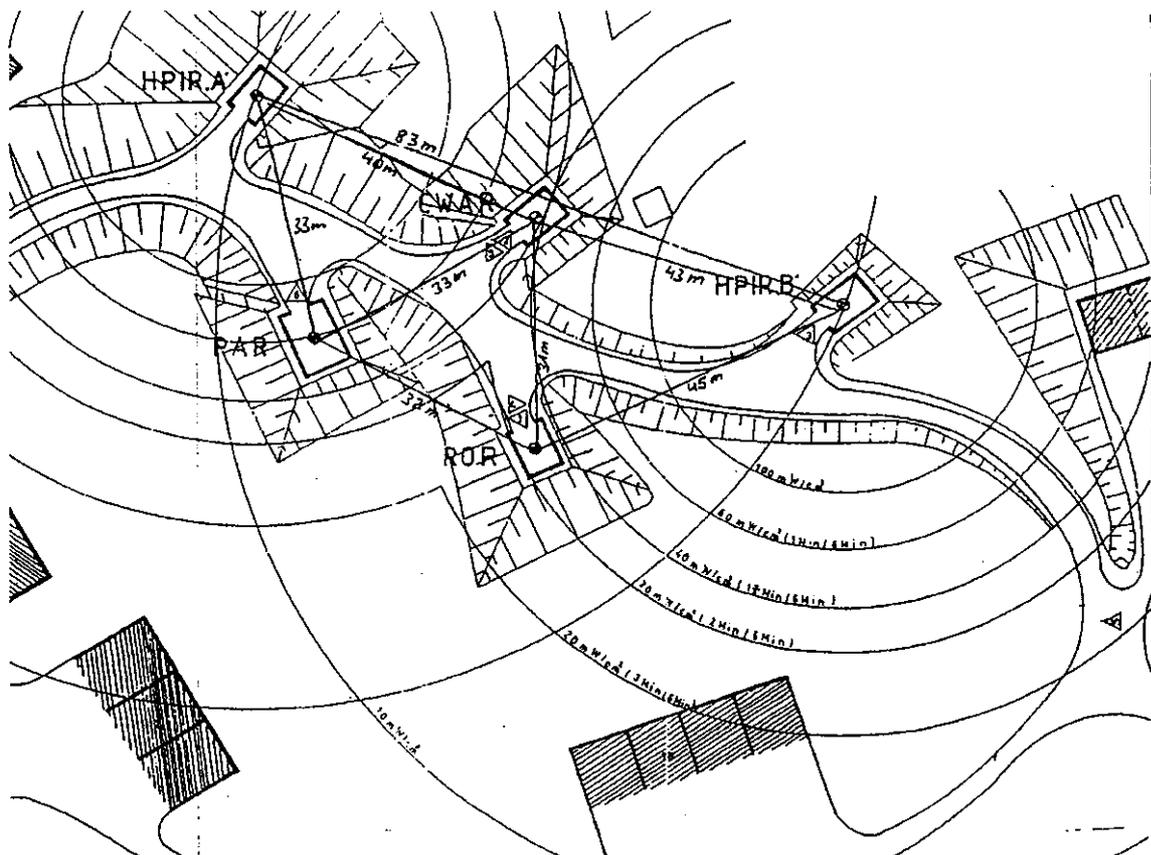


Abb. 5-2: HAWK, HPIR-Leistungsdichten, Stellung Kleinhartpenning

Ebenso wie vorstehende Rechenwerte zeigen die nachfolgend gelisteten Messwerte dass die STANAG-Grenzwerte von  $10 \text{ mW/cm}^2$  ( $=100 \text{ W/m}^2$ ) in fast allen Fällen weit überschritten wurden.

In Tabelle 5-2 sind die Messwerte von 36 Messberichten nach Kleinstwert/Größtwert zusammengefasst.

Tab. 5-2: Wertebereiche der Leistungsdichte in HAWK- und NIKE-Stellungen nach Messberichten der Strahlenmessstellen Nord und Süd

HAWK	Quelle	Messstelle	Messwerte	Bemerkungen
	HA 01/80	N	70 ... 31 $\text{mW/cm}^2$	
	HA 02/80	N	>100 $\text{mW/cm}^2$	max. Werte durch Überlagerung
	HA 03/80	N	90 ... 62 $\text{mW/cm}^2$	Bereiche mit Messwerten im Lageplan
	HA 04/80	N	86 ... 26 $\text{mW/cm}^2$	
	HA 05/80	N	80 ... 15 $\text{mW/cm}^2$	Rechenwerte
	HA 07/80	N	90 ... 50 $\text{mW/cm}^2$	
	HA 08/80	N	90 ... 11 $\text{mW/cm}^2$	
	HA 09/80	N	85 ... 27 $\text{mW/cm}^2$	
	HA 10/80	N	98 ... 11 $\text{mW/cm}^2$	
	HA 11/80	N	13 ... 100 $\text{mW/cm}^2$	
	HA 12/80	N	14 ... 100 $\text{mW/cm}^2$	
	HA 13/80	N	13 ... 80 $\text{mW/cm}^2$	
	HA 14/80	N	22 ... 140 $\text{mW/cm}^2$	

## Bericht der Radarkommission

HAWK	Quelle	Messstelle	Messwerte	Bemerkungen
	HA 15/80	N	32 ... 60 mW/cm <sup>2</sup>	
	HA 16/80	N	12 ... 75 mW/cm <sup>2</sup>	
	HA 17/80	N	38 ... 130 mW/cm <sup>2</sup>	
	HA 18/80	N	70 ... 150 mW/cm <sup>2</sup>	
	HA 19/80	N	11 ... 75 mW/cm <sup>2</sup>	
	HA 20/80	N	12 ... 60 mW/cm <sup>2</sup>	
	HA 21/80	N	14 ... 90 mW/cm <sup>2</sup>	
	HA 22/80	N	8 ... 75 mW/cm <sup>2</sup>	
	HA 23/80	N	30 ... 65 mW/cm <sup>2</sup>	
	HA 24/80	N	46 ... 100 mW/cm <sup>2</sup>	
	8/80	S	0,2 ... 60 mW/cm <sup>2</sup>	
	9/80	S	0,4 ... 1,8 mW/cm <sup>2</sup>	
	2/81	S	17,5...100 mW/cm <sup>2</sup>	
	30/81	S	2 ... 80 mW/cm <sup>2</sup>	
	31/81	S	2 ... 65 mW/cm <sup>2</sup>	
	32/81	S	4 ... >100 mW/cm <sup>2</sup>	
	50/82	S	1,5 ... 16 mW/cm <sup>2</sup>	
	15/84	S	30 ... >100 mW/cm <sup>2</sup>	
	60/91	S	12 ... 100 mW/cm <sup>2</sup>	Grenzwertangaben
	16/95	S	>100...>300 mW/cm <sup>2</sup>	keine Messwerte, Grenzwertang.
	17/95	S	> 50 ...>300 mW/cm <sup>2</sup>	keine Messwerte, Grenzwertang.
Nike				
	15/81	S	0,15... 6 mW/cm <sup>2</sup> 0,18...10 mW/cm <sup>2</sup>	
	32/80	S	0,5 ... 8 mW/cm <sup>2</sup> <0,2 ... 9 mW/cm <sup>2</sup>	
	HN 07/80	N	1 ... 24 mW/cm <sup>2</sup>	

Die Messorte waren jeweils die Radaranlagen, die sich im Strahlungsfeld eines HPIR befanden. In Tabelle 5-3 sind die Messwerte sortiert nach jeweils gleichen Messorten (PAR, ROR, CWAR) zusammengefasst zum einen bei Bestrahlung vom HPIR-A, zum andern vom HPIR-B.

Dass die Qualität der Messungen ebenso wie die Konstanz der jeweiligen Sendeleistung sehr gut ist, lässt sich an Hand der Tabellen 5-3 und 5-4 zeigen. Das Produkt aus Leistungsdichte S und Entfernung r<sup>2</sup> sollte konstant und etwa gleich 10 sein (letzte Zeile jeder Messgruppe PAR, ROR usw.). Man kann aus Tab. 5-3 erkennen, dass die Abweichungen nur wenige Prozente betragen (HPIR-A 1. 2. und 3., HPIR-B: 4., 5. und 6.)

## Bericht der Radarkommission

Tab. 5-3: *Unterschiedliche Leistungsdichten an Anlagen der HAWK-Stellungen durch HPIR-A oder -B hervorgerufen an den anderen Anlagen der Stellung CWAR, ROR und PAR.*

1. PAR	Messw mW/cm <sup>2</sup>	Be- richt	Sr <sup>2</sup> / 10 <sup>4</sup>	2. ROR	Messw mW/cm <sup>2</sup>	Be- richt	Sr <sup>2</sup> / 10 <sup>4</sup>	3. CWAR	Messw mW/cm <sup>2</sup>	Be- richt	Sr <sup>2</sup> / 10 <sup>4</sup>
42 m	57	02	10,0	53 m	35	02	9,8	55 m	31	01	
62 m	26	04	9,9	34 m	84	03	9,7	78 m	16	02	9,7
46 m	46	05	9,7	33 m	86	04		32 m	90	03	
72 m	19	07	9,9	35 m	80	05	9,8	43 m	55	05	10,2
33 m	90	08	9,8	93 m	12	08		39 m	65	07	
61 m	27	09	10,0	31 m	98	10	9,4	64 m	25	08	
95 m	11	10	9,9	85 m	13	11	9,4	33 m	85	09	
83 m	14	12	9,6	30 m	100	12	9,0	64 m	25	10	10,2
86 m	13	13	9,6	40 m	60	14	9,6	56 m	33	12	10,3
40 m	60	15	9,6	57 m	32	15		86 m	13	13	9,6
49 m	41	16	9,8	45 m	50	16	10,1	67 m	22	14	9,9
35 m	75	19	9,2	28 m	130	17		36 m	75	16	9,7
66 m	21	20	9,1	58 m	30	19	10,1	27 m	150	18	
				69 m	19	20	9,0	57 m	30	19	9,7
								38 m	60	20	8,7
4. PAR				5. ROR				6. CWAR			
36 m	70	01		36 m	70	01		52 m	38	02	10,3
49 m	41	02	9,8	36 m	75	02	9,7	51 m	38	04	
39 m	62	03		48 m	42	05	9,8	87 m	13	10	9,8
70 m	20	07		32 m	90	07		30 m	100	11	9,0
56 m	33	10	10,3	97 m	11	08		49 m	41	12	9,8
60 m	28	11	10,1	44 m	55	09		53 m	38	13	10,7
30 m	100	12	9,0	64 m	25	11	10,2	56 m	32	14	10,0
39 m	65	13	9,9	72 m	19	12	9,8	44 m	55	15	
25 m	140	14	8,8	35 m	80	13	9,8	36 m	75	16	9,7
91 m	12	16	9,9	37 m	75	16	10,3	39 m	70	17	
52 m	38	17		38 m	70	18		92 m	11	19	9,3
27 m	150	18		37 m	60	20	8,2	68 m	20	20	9,2
65 m	21	20	8,9								

Zur Bestimmung der Toleranzen wurden 10 zufällig ausgewählte Berichte der Strahlenmessstelle Nord für Tabelle 5-4 selektiert, mit der Maßgabe, dass mindestens jeweils 4 Messwerte pro Bericht vorliegen.

Ermittelt wurde das Produkt aus Leistungsflussdichte (Messwert) S und dem Quadrat der Entfernung, das bei gleicher Sendeleistung P konstant sein soll.

$$P \sim S \cdot r^2 = \text{const.}$$

Die Tabelle 5-4 ermöglicht Betrachtungen zur Größe der Abweichungen vom Wert 10 bei

Messungen in verschiedenen Stellungen und zur relativen Leistung der Sender.

Tab. 5-4: Messwert- und Sendeleistungstoleranzen

Bericht Nr.	Messwerte, Anzahl	Spannweite P/10.000 (in mW)	mittl. Wert (rel. Sendeleistung)
2	6	9,7 ... 10,3	1,000
5	4	9,7 ... 10,2	0,995
10	5	9,4 ... 10,3	0,985
11	4	9,0 ... 10,2	0,960
12	6	9,0 ... 10,3	0,965
13	5	9,6 ... 10,7	1,150
14	4	8,8 ... 10,0	0,940
16	6	9,7 ... 10,3	1,000
19	4	9,2 ... 10,1	0,965
20	6	8,2 ... 9,2	0,870

Die ausgewählten Berichte stammen ausnahmslos von der Strahlenmessstelle Nord. Die Berichte der Strahlenmessstelle Süd enthalten keine exakten Entfernungsangaben, so dass sie nicht in diese Betrachtungen einbezogen werden konnten.

Wie aus Spalte 4 zu ersehen ist, sind die Abweichungen vom Sollwert in den meisten Fällen außerordentlich gering. Als Ergebnis dieser Überprüfung kann daher festgestellt werden, dass die Messungen der Leistungsdichten durch Hochfrequenzfelder als zuverlässig beurteilt werden können.

#### Andere Radarsysteme

PAR Pulsed Acquisition Radar (Rundsuchradar) OA-4428/TP (Prüfbericht Nr. S 9001 vom 07.03.1979):

Der zu diesem Radarsystem vorliegende Messbericht ist der älteste aus dem der Kommission vom BMVg zur Verfügung gestellten Material. Es handelt sich um ein Rundsuchradar, das mit einer Impulsleistung von 1 MW zu den Hochleistungsgeräten gezählt werden kann. Aus der Beschreibung der Messbedingungen ist zu entnehmen, dass es sich um eine spezielle Kontrollmessung gehandelt haben kann, bei der in einer Halle gezielt senkrecht nach oben abgestrahlt wurde.

Es wurde an zwei Messpunkten in Augenhöhe gemessen, mit denen die Entfernungen zum Strahler für den Ort der Einhaltung des Grenzwertes (0,5 m für 10 mW/cm<sup>2</sup>) und des 50%-Wertes (2 m für 0,5 mW/cm<sup>2</sup>) bestimmt wurden.

Bei eigenen Messungen der Kommission an einem PAR in Mechernich wurde festgestellt, dass durch Überstrahlung des Hornstrahlers (Primärstrahler) in Kopfhöhe im Rhythmus der Antennenrotation Leistungsdichten von 1 mW/cm<sup>2</sup> und mehr auftraten, der gegenwärtige Grenzwert von 5 mW/cm<sup>2</sup> aber nicht überschritten wurde.

### 5.2.2.2 *Wartungs- und Reparaturarbeitsplätze*

#### **Radargerät NASARR**

Betrieb auf der Testbank (Berichte Nr.12/80, Strahlenmessstelle Süd und Nr. 5 020/81, Strahlenmessstelle Nord, Munster)

Im Bericht 5 020/81 sind ausführliche Untersuchungen sowohl der Leckstrahlung von Systemkomponenten als auch der Antennenstrahlung unter Werkstattbedingungen durchgeführt worden.

Aus den Messwerten ist zu ersehen, dass unter ungünstigen Bedingungen am Arbeitsplatz des Bedieners Leistungsdichten von  $20 \text{ mW/cm}^2$  und damit eine Überschreitung des damaligen Grenzwertes um 100% auftreten konnten. Diese hohen Werte haben ihre Ursache nicht in Wellenleiter-Leckagen am Radargerät, sondern entstehen durch Reflexionen der über die Antenne abgestrahlten Mikrowellen an metallischen Flächen, wie Fenster- oder Türrahmen. Die Kommission hat dies durch eigene Messungen überprüft.

Die Kommission hat sich davon überzeugt, dass unter anderem als Schlussfolgerungen aus den Messergebnissen jener Zeit entsprechende Verhaltensregeln für das Personal angegeben wurden, um Überexposition zu vermeiden, was zum damaligen Zeitpunkt durch automatisch wirkende Sicherheitsmaßnahmen mit einem vertretbaren Aufwand nicht möglich war.

### 5.3 **BEWERTUNG DES VORLIEGENDEN MESSDATENMATERIALS**

Die technisch-physikalische Bewertung der an den Radaranlagen gemessenen Werte der Mikrowellen-Leistungsdichte erfolgte nach dem Stand des Wissens zur Zeit der Erstellung der Berichte und Protokolle. Es wurden der Bewertung und der Festlegung von Sperr- oder Schutzbereichen der zu jener Zeit geltende Grenzwert von  $10 \text{ mW/cm}^2$  und die sogenannte „6-Minuten-Regel“ zugrunde gelegt. Die gemessenen Werte liegen sowohl bezüglich der Höhe als auch des Wertebereichs (Streuung) durchweg in normalen Grenzen und würden heute unter gleichen Expositionsbedingungen gemessen nicht wesentlich anders ausfallen. Diese generelle Bewertung wurde durch Kontrollmessungen der Kommission an Radargeräten von HAWK, SGR-103 und NASARR bestätigt.

Es sind an einigen – für Menschen normalerweise nicht zugänglichen Orten - Werte der mittleren Leistungsdichte gemessen worden, die den Grenzwert um ein Mehrfaches überschreiten. Das ist im Strahlungsbereich von Radarantennen normal – entscheidend ist, ob sich Personen in solchen Bereichen aufhalten können oder müssen. Aus vielen Berichten geht hervor, dass in derartigen Fällen „Sperr- oder Schutzbereiche“ festgelegt wurden, die eine Überexposition des Personals verhindern sollten. Inwieweit derartige Festlegungen in der Praxis befolgt wurden, kann aufgrund der Papierlage nicht retrospektiv bewertet werden.

Die Kommission ist allerdings zu der Überzeugung gelangt, dass es - in Abhängigkeit von der Einsatzzeit, dem Einsatzort und dem Waffensystem – Situationen gegeben hat, in denen das Risiko für Überexpositionen nicht unerheblich war.

Messwerte liegen erst seit etwa 1978 vor. Der Zeitraum davor ist messtechnisch nicht erfasst. Legt man die Messwerte aus den Berichten von 1978 bis etwa zum Jahr 1990 einer Bewertung der Expositionssituation nach den heute geltenden Referenzwerten zu Grunde, so würde nicht nur durch die Halbierung dieser Werte Anfang der 90er Jahre eine Grenzwertüberschreitung vorliegen. Bei der Bewertung der daraus resultierenden Risiken ist zu beachten, dass nicht nur

die Grenzwerte (SAR), sondern auch die zu messenden Referenzwerte noch erhebliche Sicherheitsfaktoren enthalten.

Neben der Messung der Leistungsdichten ist allerdings unter bestimmten Voraussetzungen auch deren Berechnung ein geeignetes Mittel zur retrospektiven Ermittlung der Expositionen. So können für Arbeitsplätze im Bereich der Antennenstrahlung mittels weniger, bekannter Parameter (Sendeleistung, Entfernung vom Sender) die Leistungsdichten der Hochfrequenzstrahlung zuverlässig ermittelt werden.

### 5.4 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Hinsichtlich der Möglichkeit des Erreichens oder Überschreitens einer Leistungsflussdichte von  $100 \text{ W/m}^2$  lässt sich eine Kategorisierung nach Einsatzzeit, Einsatzort und Waffensystem vornehmen.

#### Einsatzzeit

Entsprechend der Einsatzzeit ist nach Auffassung der Kommission eine Unterscheidung zwischen dem Zeitraum vor der Einführung von Schutzvorschriften und -maßnahmen und dem Zeitraum danach sinnvoll. Vor der Einführung solcher Maßnahmen hält die Kommission Expositionen mit Überschreitung der späteren Grenzwerte für wahrscheinlich.

#### **Bundeswehr**

Für die Bundeswehr wurde mit der ZDv 44/20 von 1958 die erste Vorschrift zum Schutz vor HF-Strahlung eingeführt. Bis dahin existierten keine Regelungen zur Begrenzung der Exposition. Messungen zur Etablierung oder Überprüfung eines Personenschutzes sind der Kommission nicht belegt worden.

Der Zeitraum danach ist durch die sukzessive Etablierung eines Schutzsystems gekennzeichnet. Es wurden zunächst einzelne sporadische Messungen zur Expositionsbestimmung durchgeführt. Systematische Messkampagnen fanden bis etwa 1976 nicht statt, da im Verantwortungsbereich der Bundeswehr keine speziellen Messstellen und kein spezifisch dafür ausgebildetes Personal vorhanden waren. Diese Situation verbesserte sich mit der Etablierung der beiden Strahlenmessstellen der Bundeswehr, durch die Ende der Siebziger Jahre systematische Messungen an kritischen Waffensystemen durchgeführt wurden. Weitere Entwicklungsstufen sind die Einführung eines umfassenden Schutzsystems für das Personal durch Anwendung vereinheitlichter Regelungen im Rahmen der NATO (STANAG, 1979), die im weiteren Verlauf durch nationale Vorschriften ergänzt wurden. Überexpositionen sind jedoch nach Auffassung der Kommission für bestimmte Expositionsorte und Waffensysteme wahrscheinlich.

#### **NVA**

Ab ca. Mitte der 70er Jahre gab es nach den Erkenntnissen der Kommission bei der NVA erste Messungen von HF-Strahlung (mobiler Messtrupp), die z.T. Empfehlungen für den Schutz vor Hochfrequenzstrahlung zur Folge hatten. Die früheste der Kommission bekannte Vorschrift der NVA stammt aus dem Jahre 1976 [NVA 1976].

### Einsatzort

Die Einsatzorte können kategorisiert werden in solche, in denen das Risiko einer Überexposition als hoch, und solche, in denen es als gering eingestuft werden kann.

Die erste Kategorie umfasst Arbeitsplätze in geringer Entfernung von Dauerstrichradarantennen oder leistungsstarken Rundsuchradarantennen und Arbeitsplätze in geschlossenen Räumen, in denen die Möglichkeit von Reflexionen der Strahlung an Gebäudestrukturen nicht ausgeschlossen werden kann. Hier sind insbesondere Reparaturhallen zu nennen, in denen das Potential für Reflexionen zusammen mit der der Kommission wiederholt geschilderten Praxis, zu Testzwecken Rundsuchradargeräte konstant in einen Raumwinkel abstrahlen zu lassen und dadurch unbedacht benachbarte Arbeitsplätze zu exponieren, zu Überexpositionen geführt haben kann.

In die zweite Kategorie sind Einsatzorte an Radargeräten einzuordnen, die sich in Stellungen in Entfernungen von Radarsendern befanden, bei denen auf Grund der Entfernung und räumlicher Bedingtheiten eine relevante Aufenthaltszeit an Orten mit kritischen mittleren Leistungsflussdichten ausgeschlossen werden kann.

### Waffensystem

Ein – im Einzelfall beträchtliches – Risiko für Überexpositionen stellten Waffensysteme dar, bei denen in mobilen Stellungen Dauerstrich-Radargeräte in unzureichender Entfernung von anderen Komponenten des jeweiligen Waffensystems, an dem Arbeitsplätze existierten, aufgestellt wurden. Nach den Ermittlungen der Kommission ist es beispielsweise für HAWK während der gesamten Einsatzzeit dieses Waffensystems in der Bundeswehr in einer Vielzahl von Einsatzstellungen vorgekommen, dass die in der Bundeswehr zur Vermeidung kritischer Leistungsflussdichten festgelegten Mindestentfernungen nicht eingehalten wurden. In geringerem Maße gilt dies auch für NIKE.

## 6 RISIKOBEWERTUNG

### 6.1 DARSTELLUNG DES AKTUELLEN STANDES DER WISSENSCHAFTLICHEN FORSCHUNG

#### 6.1.1 Vorbemerkungen

##### 6.1.1.1 *Grundsätzliches zur Risikobewertung*

Es ist Aufgabe des Staates beim Auftreten gesundheitsrelevanter Noxen am Arbeitsplatz durch den Erlass von Grenzwerten den Schutz der Beschäftigten sicher zu stellen. Hierbei spielen neben den objektiv-wissenschaftlichen Grundlagen auch Ermessensfragen eine nicht unerhebliche Rolle. Da dieses Problem bei ionisierenden Strahlen seit vielen Jahrzehnten bekannt ist und zu entsprechenden Regelungen geführt hat, hat sich der Strahlenschutz in diesem Zusammenhang zu einem Modell für andere Schadenseinflüsse entwickelt.

Die Grenzwerte zum Schutz vor Strahlung basieren auf abgesicherten wissenschaftlichen Erkenntnissen. Durch internationale wissenschaftliche Kommissionen wird der Stand der Wissenschaft zur Frage möglicher gesundheitlicher oder umweltgefährdender Einwirkungen kontinuierlich bewertet. Sie geben Empfehlungen für Grenzwerte und Schutzmaßnahmen ab. Die Umsetzung dieser Empfehlungen der Wissenschaft in verbindliche Regelungen wie Gesetze und Verordnungen ist Aufgabe des Staates, wobei er sich auf die Expertise von Beratungsgremien, z.B. die Strahlenschutzkommission (SSK), stützt. Durch öffentliche Anhörungen haben alle relevanten gesellschaftlichen Gruppen die Möglichkeit auf die Umsetzung der Regelungen Einfluss zu nehmen. So sind Sicherheitsfaktoren und weitergehende Schutzanforderungen zur Vorsorge immer Ergebnis der gesellschaftlichen Konsensfindung im Gesetzgebungsverfahren. Deshalb gibt es in solchen Fragen auch Unterschiede in der Umsetzung derselben wissenschaftlichen Basis in den unterschiedlichen Ländern.

Am Beispiel des Schutzes vor den Gefahren durch äußere ionisierende Strahlung werden hier das Verfahren, die wissenschaftliche Grundlage sowie die Unsicherheiten näher erläutert.

Die gesundheitsgefährdende Wirkung ionisierender Strahlungen ist seit langem bekannt und wissenschaftlich abgesichert (s. u.). Primär zum Schutz beruflich strahlenexponierter Personen wurden Strahlenschutzbestimmungen entwickelt, welche das Ziel haben, die Wahrscheinlichkeit möglicher Schädigungen zu **begrenzen**. Sie beruhen vor allem auf der Analyse epidemiologischer Erhebungen, die allerdings notwendigerweise mit Unsicherheiten behaftet sind. Gesicherte Erkenntnisse liegen nur für verhältnismäßig hohe Dosen ab 0,1 Sv vor. Die Extrapolation zu dem Bereich, der für beruflich Strahlenexponierte interessant ist, muss daher mit Näherungen arbeiten. Eine solche ist die Annahme, dass die Wahrscheinlichkeit einer Erkrankung auf Grund stochastischer Strahlenwirkungen der Dosis proportional ist und dass keine Dosischwelle existiert. Es handelt sich hierbei um eine plausible, aber keineswegs bewiesene, Hypothese, die aber auch große praktische Vorteile hat. Das Ziel von Strahlenschutzbestimmungen liegt primär in der Begrenzung eines möglichen Risikos und wird daher von dem Prinzip der "Konservativität" geprägt, welches beinhaltet, dass bei Vorliegen gleich plausibler Analysen, welche zu unterschiedlichen Risikoschätzungen führen, immer diejenige gewählt wird, die ein höheres Risiko impliziert. Ein solches Vorgehen ist im Sinne des Vorsorgeprinzips angemessen. Möglicherweise

überdimensionierte Schutzmaßnahmen werden zum Wohl der Beschäftigten bewusst in Kauf genommen.

Die Praxis des Strahlenschutzes verlangt außerdem, dass die Bestimmungen handhabbar sein müssen, was impliziert, dass wissenschaftlich begründbare Details nicht immer beachtet werden können und mit Näherungen gearbeitet werden muss. Ein solches Vorgehen ist solange akzeptabel, wie das Prinzip der Konservativität streng beachtet wird. Es muss nachdrücklich darauf hingewiesen werden, dass im Falle von Risikoabschätzungen in einer speziellen individuellen Expositionssituation die den Strahlenschutzbestimmungen zu Grunde liegenden Verfahren **nicht** angewandt werden dürfen, vielmehr muss eine Einzelfallanalyse durchgeführt werden, welche alle zu Verfügung stehenden physikalischen und strahlenbiologischen Erkenntnisse zu berücksichtigen hat. Dies beinhaltet auch, dass Größen des Strahlenschutzes nicht ohne eingehende Prüfung verwendet werden dürfen. Zur weiteren Klärung werden im Folgenden einige der Größen und Prinzipien erläutert:

Als quantitatives Maß zur Risikobegrenzung wird im Strahlenschutz die "effektive Dosis" benutzt. Ihre Definition beruht auf zwei strahlenbiologischen Erkenntnissen, nämlich, dass verschiedene Arten ionisierender Strahlungen bei identischen physikalischen Dosen biologisch unterschiedlich wirksam sind und dass die Organe und Gewebe des menschlichen Körpers eine unterschiedliche Empfindlichkeit in Bezug auf die Wahrscheinlichkeit einer strahlenbedingten Krebserkrankung besitzen. Als physikalisches Maß einer Strahleneinwirkung wird die pro Masse absorbierte Energie definiert, welche in der Einheit "Gray" (Abk. Gy) gemessen wird. 1 Gy entspricht 1 Joule pro Kilogramm. Der unterschiedlichen Wirksamkeit verschiedener Strahlungsarten wird durch die Einführung von "Strahlenwichtungsfaktoren" Rechnung getragen. Man erhält danach die (biologisch relevante) Organdosis, indem man die physikalische Dosis (gemessen in Gy) gemittelt über das Organ mit den jeweiligen Strahlenwichtungsfaktoren multipliziert. Die so erhaltene Organdosis wird in "Sievert"(Abk. Sv) angegeben. Tab. 6-1 verzeichnet die heute gültigen Strahlenwichtungsfaktoren.

Tab. 6-1: *Strahlenwichtungsfaktoren*

Strahlenart	Strahlenwichtungsfaktor $w_R$ (ICRP-60, 1991)
Röntgenstrahlen, Gammastrahlen, schnelle Elektronen	1
Protonen	5
Neutronen (abhängig von der Energie)	5...20
Alphateilchen und schwerere Kerne	20

Da hinreichend belastbare Daten für Wirkungen auf Menschen nur für Gamma- und Röntgenstrahlen verfügbar sind, beruhen die Werte in Tab. 6-1 vor allem auf Tierversuchen und sind daher nur mit Vorsicht auf den Menschen übertragbar. Aus strahlenbiologischen Untersuchungen (in erster Linie in-vitro-Experimenten) ist bekannt, dass verschiedene

Photonenstrahlungen durchaus unterschiedlich wirksam sind, z.B. sind die Effekte weicher Röntgenstrahlen deutlich größer als die harter Gammastrahlung. Dennoch wird für die Belange des praktischen Strahlenschutzes an einer einheitlichen Wichtung festgehalten, um das System praktikabel zu halten. Im Falle der Setzung von Grenzwerten im Rahmen der Strahlenschutzbestimmungen ist ein solches Verfahren zu vertreten, da die benutzten "nominalen Risikofaktoren" das Risiko eher über- als unterschätzen ("Prinzip der Konservativität") und Regelungen für spezielle Expositionssituationen nicht intendiert sind. Grundsätzlich ist darüber hinaus sicher zu stellen, dass die berufliche Strahlenbelastung auch unterhalb der Grenzwerte so niedrig wie möglich gehalten wird ("ALARA-Prinzip" der ICRP, Minimierungsgebot der deutschen Strahlenschutzbestimmungen). Damit wird dem Schutzgebot auch bei identischer Wichtung aller Photonenstrahlungen hinreichend Rechnung getragen. Bei Risikoschätzungen im konkreten Einzelfall ist jedoch ein differenzierteres Vorgehen notwendig.

Die aufgelisteten Werte gelten streng genommen nur für stochastische Strahlenwirkungen, bei deterministischen Effekten (vgl. Kap. 6.1.2) sind die Unterschiede geringer, d. h. falls sie auch hier angewendet werden, kommt es zu einer Überschätzung des Risikos.

Für die Bestimmung der effektiven Dosis werden die Organdosen mit "Gewebewichtungsfaktoren" multipliziert und über alle exponierten Organe summiert. Die heute gültigen Werte sind in Tab. 6-2 aufgelistet.

Tab. 6-2: *Tabelle der Gewebewichtungsfaktoren*

Gewebe bzw. Organ	Gewebewichtungsfaktoren $w_T$ (ICRP 60, 1991)
Gonaden	0.20
Rotes Knochenmark	0.12
Colon	0.12
Lunge	0.12
Magen	0.12
Blase	0.05
Brust	0.05
Leber	0.05
Speiseröhre	0.05
Schilddrüse	0.05
Haut	0.01
Knochen-oberflächen	0.01
Sonstige	0.05 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Die zwei am stärksten exponierten Organe außer den aufgelisteten erhalten den Wichtungsfaktor 0,025

Die angegebenen Wichtungen orientieren sich an epidemiologischen Daten menschlicher Populationen (vor allem den japanischen Atombombenopfern) und beziehen sich im Wesentlichen auf Mortalität, d. h. die Wahrscheinlichkeit, an einem Tumor zu erkranken und daran zu sterben. Sie machen daher keine Aussagen über die generelle Erkrankungswahrscheinlichkeit. Die starke Wichtung der Gonaden beruht ausschließlich auf dem genetischen Risiko, d.h. der Möglichkeit einer strahleninduzierten Mutation in den

Keimzellen, die zu Erbschädigungen bei der Nachkommenschaft führen kann, und gibt keinen Anhalt für Tumorentstehung in den Geschlechtsorganen. Es muss außerdem darauf hingewiesen werden, dass die Organgewichtung nicht für deterministische Effekte gilt. So ist z.B. das Auge gar nicht verzeichnet, obwohl Katarakte (Linsentrübung) zu den wichtigsten Strahlenwirkungen gehören.

Die effektive Dosis ist für den praktischen Strahlenschutz eine durchaus sinnvoll brauchbare Größe, wenn von einer Exposition des gesamten Körpers mit Strahlen hinreichender Durchdringungsfähigkeit ausgegangen werden kann. Bei örtlich begrenzten Bestrahlungen mit weicher Röntgenstrahlung können sich u.U. falsche Einschätzungen ergeben.

Aus dem vorher Gesagten ergibt sich zwingend, dass Prinzipien und Größen des praktischen Strahlenschutzes nicht für die individuelle Risikoabschätzung benutzt werden dürfen. Die Gründe hierfür werden noch einmal zusammengefasst:

1. Die effektive Dosis ergibt sich durch Anwendung von Strahlungs- und Organwichtungsfaktoren. Strahlungswichtungsfaktoren werden im Wesentlichen aus einer Mittelung der Ergebnisse von Tierversuchen erhalten. Bei Photonenstrahlungen wird aus Gründen der Praktikabilität auf eine Differenzierung verzichtet, obwohl an der größeren Wirksamkeit weicher Röntgenstrahlung kein Zweifel besteht (s. o.).
2. Die Organwichtungsfaktoren orientieren sich (abgesehen von genetischen Effekten) nahezu ausschließlich an der **Krebsmortalität**, kaum aber an der Inzidenz. Das führt z.B. dazu, dass Schilddrüse und Haut nur sehr geringe Wichtungsfaktoren erhalten, obwohl Tumoren in diesen Organen vergleichsweise häufig sind, jedoch nur relativ selten zum Tode führen. So beträgt das "zusätzliche relative Risiko" ("Excess Relative Risk", ERR, s.u.) für das Auftreten eines Schilddrüsentumors bei einem zum Zeitpunkt der Exposition 30-jährigen Mann 0,89/Sv, während es für die Lunge nur bei 0,5/Sv liegt. Die Organwichtungsfaktoren von 0,05 bzw. 0,12, die sich im Wesentlichen an der Mortalität orientieren, tragen diesem Verhältnis nicht Rechnung.

Ausgangspunkt für die Abschätzung des Risikos für einen bestimmten Tumortyp muss in jedem Fall die physikalische Dosis im exponierten Organ sein, die unter Berücksichtigung der vorliegenden Strahlenart nach Maßgabe epidemiologischer, oder im Falle ihres Fehlens, strahlenbiophysikalischer Daten zu werten ist.

Auch die für den praktischen Strahlenschutz entwickelten Risikofaktoren sind nicht ohne Weiteres für die individuelle Betrachtung anwendbar. Aus den mehrfach angeführten Überlegungen der Konservativität enthalten sie Vereinfachungen und u. U. Überschätzungen, welche bei unkritischer Übertragung zu erheblichen Fehlern führen können.

Auch in Bezug auf nicht-ionisierende Strahlen sind Schutzbestimmungen entwickelt worden. Der Umfang der wissenschaftlichen Erkenntnisse zur Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder hatte sich seit der Zeit der ersten Festsetzungen von Grenzwerten zur Expositionsbeschränkung von Menschen vor ca. 40 Jahren vervielfacht.

Das Grundprinzip ist aber das gleiche geblieben: die Begrenzung der durch Absorption der hochfrequenten Strahlung dem menschlichen Körper zugeführten Energie (Wärmewirkung). Die dafür relevante Größe – der „Basisgrenzwert“ – ist die frequenzunabhängige Spezifische Absorptionsrate (SAR), angegeben in Watt pro Kilogramm Körpermasse. Diese Größe kann jedoch nicht direkt gemessen werden.

Die Messung und Begrenzung der Feldgröße (Leistungsdichte) der einwirkenden Strahlung war und ist der einfache und praktikable Weg – unabhängig davon, ob und wie diese

Absorption erfolgt und ob einzelne Organe oder Körperteile höher als der ganze Körper belastet werden können und dürfen oder nicht.

Mit der Verfügbarkeit präziserer Messverfahren sowohl für elektrische als auch für thermische Größen im Verlauf der letzten 20 Jahre wurden gerade zu den Problemen Absorptionsmechanismen sowie Teil-Ganzkörperexposition entscheidende Erkenntnisse gewonnen. Diese führten zur Einführung unterschiedlicher SAR-Grenzwerte für Ganz- und Teilkörperexposition und zur Absenkung des zulässigen Wertes der Mikrowellen-Leistungsdichte in den Richtlinien internationalen Strahlenschutzorganisationen von 10 mW/cm<sup>2</sup> auf 5 mW/cm<sup>2</sup>. Die Einhaltung dieser Werte garantiert eine hohe Sicherheit. Unfälle, über die vereinzelt Berichte vorliegen, ereigneten sich bei mindestens 20-fachen Grenzwertüberschreitungen [Zaret 1975], [Ikinger et al. 1978].

Die genannten westeuropäischen Grenz- und Referenzwerte haben ausschließlich das Ziel, die thermischen Wirkungen elektromagnetischer Felder zu beschränken. Sie stehen in keiner Beziehung zu einer in den letzten 10 Jahren insbesondere im Zusammenhang mit der Strahlung von Mobiltelefonen wiederholt diskutierten möglichen kanzerogenen oder teratogenen Wirkung oder Verhaltensstörungen.

Alle zur Klärung dieser Frage zum Teil mit sehr großem Aufwand durchgeführten wissenschaftlichen Untersuchungen haben zwar einzelne Hinweise, aber keine Beweise für solche Wirkungen erbracht.

Zum Verständnis der im Folgenden dargestellten Ergebnisse epidemiologischer Studien mag es hilfreich sein, die verschiedenen Arten epidemiologischer Studien zu erörtern und die wissenschaftliche Logik zu diskutieren, die es erlaubt, letzten Endes eine Gesundheitsgefährdung als kausale Folge eines verdächtigten Risikofaktors zu bezeichnen.

Wenn der Verdacht besteht, dass ein Faktor - in diesem Fall Radar - die Ursache von Gesundheitsstörungen sein könnte, würde die Forschungsfrage lauten:

- Sind Personen, die mit Radar gearbeitet haben (gegenüber Radar exponiert waren), häufiger an einer bestimmten Krankheit (z.B. bösartigen Tumoren des Gehirns oder Leukämie) erkrankt als vergleichbare Personen, die nicht gegenüber Radar exponiert waren?

Die epidemiologische Studienform, mit der eine solche Frage beantwortet werden kann, ist die sogenannte Kohortenstudie. Als Kohorte wird in der Epidemiologie eine Gruppe von Personen bezeichnet, die durch ein gleichartiges Merkmal charakterisiert ist. In diesem Fall könnte man Bundeswehr-Angehörige, die in Radarstellungen gearbeitet haben, Radargeräte gewartet haben oder auf Schiffen in der Nähe von Radarantennen Dienst taten, als eine exponierte Kohorte definieren.

Im Rahmen einer Kohortenstudie müsste für jedes Mitglied der Kohorte genau ermittelt werden, in welchem Umfang und wie lange er während seines Dienstes gegenüber Radar exponiert war.

In vergleichbarer Weise müsste für jeden festgestellt werden, ob als Erkrankung ein Hirntumor oder eine Leukämie diagnostiziert worden ist. Da bei beiden Erkrankungen zwischen der ersten Exposition gegenüber Radar und dem Ausbruch der Erkrankung eine gewisse Zeit verstrichen sein muss (Latenzzeit), ist es einsehbar, dass die Beobachtungsdauer einen längeren Zeitraum umfassen muss. Sinnvollerweise wird man das Krankheitsschicksal eines ehemaligen Bundeswehrangehörigen deshalb auch über den Zeitraum der Wehrüberwachung hinaus verfolgen.

Die Auswertung der Daten einer solchen Kohorte von ehemals gegenüber Radar exponierten Personen liefert Erkrankungshäufigkeiten (=Inzidenz), die möglicherweise bei stärker und länger gegenüber Radar exponierten höher liegen könnten als bei nur kurz exponierten.

Für eine verlässliche Schätzung der tatsächlichen Erhöhung der Erkrankungshäufigkeit wäre es allerdings erforderlich, Erkrankungshäufigkeiten einer nicht-exponierten Kohorte zum Vergleich heranzuziehen.

Angenommen, die Auswertung von Neuerkrankungshäufigkeiten aus der Radar-Kohorte und der Vergleichskohorte ergäbe, dass die Erkrankungshäufigkeit für Hirntumoren um den Faktor 1.6 und für Leukämien um den Faktor 2 in der Radarkohorte ausfiele, so würde dieses einer relativen Erhöhung des Erkrankungsrisikos um 60% bzw. 100% entsprechen.

Aus diesen Ergebnissen die Schlussfolgerung zu ziehen, dass Radar für die Risiko-Erhöhung ursächlich verantwortlich wäre, ist jedoch wissenschaftlich nicht vertretbar. Denn beide Krankheitsgruppen können nach dem derzeitigen Wissensstand durch eine Vielzahl von Faktoren verursacht werden.

Bei Hirntumoren werden unter anderem Schädel-Hirn-Verletzungen, diagnostisches und therapeutisches Röntgen sowie Pestizide diskutiert. Bei Leukämien sind eine Vielzahl von Chemikalien (u.a. Benzol, Insektizide, Herbizide, Holzschutzmittel), Expositionen am Arbeitsplatz, ionisierende Strahlen, Rauchen und spezifische Arzneimittel als Risikofaktoren etabliert.

Es wäre deshalb ein schwerwiegender Fehler, beim Versuch, Radar als Gesundheitsrisiko zu identifizieren, diese konkurrierenden Risikofaktoren nicht zu berücksichtigen.

Eine epidemiologische Studienform, bei der genau dieses ein integraler Bestandteil ist, ist die sogenannte retrospektive Fall-Kontroll-Studie. Die logische Basis dieser Methode ist die Überlegung, dass ein Faktor dann als krankmachender Faktor (Risikofaktor) identifiziert werden kann, wenn er sich bei Patienten vor Erkrankungsbeginn häufiger findet als in einer nicht-erkrankten Vergleichsgruppe. Die Planung, Durchführung und Auswertung von Fall-Kontroll-Studien ist heutzutage derartig differenziert, dass der Einfluss verschiedener potenzieller Risikofaktoren auf die Entstehung verschiedener Krankheiten gleichzeitig analysiert werden kann. Mit anderen Worten: Es wäre am Ende einer Fall-Kontroll-Studie über die Risikofaktoren von Leukämien ein Ergebnis denkbar, das dem Risikofaktor "Insektizide" einen Anteil von 30% und dem Risikofaktor "Radar" einen solchen von 23% zuschriebe.

Da alle epidemiologischen Studien einen erheblichen Aufwand erfordern, würde man die Durchführung von Fall-Kontroll-Studien erst dann ins Auge fassen, wenn zuvor in einer Kohortenstudie bei gegenüber Radar Exponierten tatsächlich ein erhöhtes Erkrankungsrisiko festgestellt worden wäre.

Es werden bei der Analyse epidemiologischer Daten zwei Risikomodelle angewendet, die des "absoluten" und des "relativen" Risikos. Beim Modell des relativen Risikos (RR) geht man davon aus, dass das Risiko zu erkranken, von einer exponierten Person proportional ist zum Erkrankungsrisiko einer nicht exponierten Person (d. h., das Erkrankungsrisiko wird mit einem - dosisabhängigen - Faktor multipliziert). Beim absoluten Risiko geht man davon aus, dass sich das Erkrankungsrisiko um einen (dosisabhängigen) Betrag erhöht, der unabhängig ist vom Risiko der Nichtexponierten. Das Risiko, ausgedrückt als Erkrankungsrisiko oder als Sterberisiko an einer bestimmten Krankheit, berechnet sich als Quotient aus der Zahl der erkrankten/verstorbenen Personen und der Zahl der betroffenen Personen und wird im Allgemeinen auf ein Jahr und auf eine Gesamtzahl von 100.000 Personen angegeben. Für

unsere Darstellungen hier kann das Erkrankungsrisiko mit der Inzidenzrate und das Sterberisiko mit der Mortalitätsrate gleichgesetzt werden.

Verursachungswahrscheinlichkeit (Probability of Causation = PC) ist das „attributable“ Risiko unter den Exponierten. Man bezieht die Risikodifferenz zwischen den Exponierten und den Nichtexponierten auf das Risiko der Exponierten  $PC=(RR-1)/RR$ . Es entspricht also dem Anteil der Erkrankungen, die durch die Exposition auftreten. Die Verdoppelungsdosis entspricht einem Relativen Risiko von 2,0. Personen, die mit dieser Dosis exponiert sind, haben ein doppelt so hohes Erkrankungsrisiko wie Personen, die nicht exponiert sind.

Unter Verwendung vor allem des Modells des relativen Risikos hat die Internationale Strahlenschutzkommission ICRP "nominale" Lebenszeitriskiken für tödlich verlaufende Tumorerkrankungen abgeleitet, welche nach heutigem Stand der Wissenschaft den Belangen des Strahlenschutzes, d. h. der Begrenzung des Risikos für Beschäftigte, genügen. Sie können nicht ohne nähere eingehende Überprüfung für die individuelle Betrachtung benutzt werden.

### 6.1.1.2 *Zur strahlenbedingten Krebsentstehung*

Die Entwicklung eines Tumors ist ein komplizierter Prozess, der sich in der Regel über viele Jahre erstreckt. Grob schematisch lassen sich drei Stufen unterscheiden:

Initiation (Induktion) → Promotion → Progression

Das am Anfang stehende auslösende (initiierende, induzierende) Ereignis ist eine Veränderung der zellulären Erbinformation, die in dem Molekül der Desoxyribonukleinsäure (DNS, *engl.* DNA) nieder gelegt ist. Dabei muss es sich nicht notwendigerweise um eine Mutation handeln, auch Veränderungen der räumlichen Anordnung, wie sie z.B. durch Chromosomenaberrationen hervorgerufen werden, können zu einer Induktion führen. In diesem Stadium werden die Eigenschaften der Einzelzelle so modifiziert, dass sie auf die Gewebsregulation nicht mehr reagiert und zum autonomen Wachstum befähigt wird. Sie kann lokal zu einer kleinen Kolonie aus identischen Zellen heranwachsen. Durch die Promotion gewinnen die Zellen die Fähigkeit zur lokalen Ausbreitung. Der letzte Schritt zur Malignität (Bösartigkeit) wird als "Progression" bezeichnet. Hierdurch gewinnen die Zellen die Fähigkeit zum invasiven Wachstum und zur Bildung von Tochtergeschwülsten (Metastasen), welche sich fern vom Ausgangsorgan ansiedeln können.

Am Anfang des Krebsgeschehens steht also immer eine Veränderung der zellulären genetischen Information. Bedingung für die tumorinitiierende Wirkung eines bestimmten Agens ist somit seine genotoxische Potenz. Neben vielen Chemikalien verfügen ohne Zweifel ionisierende und ultraviolette Strahlen über diese Eigenschaft, nicht aber hoch- oder niederfrequente Radiowellen. Direkte Befunde zu den molekularbiologischen Mechanismen einer strahlenbedingten Krebsauslösung beim Menschen liegen nur im Ansatz vor. Inzwischen sind zahlreiche Gene bekannt, deren strahlenbedingte Veränderung als aktivierte Proto-Onkogene oder als inaktivierte Tumor-Suppressorgene für bösartige Entwicklungen verantwortlich sein können. Die krebsauslösenden genetischen Veränderungen müssen dabei nicht alle durch die Strahlung bedingt sein, auch eine genetische Vorbelastung (Erbkrankheit), im Körper durch Stoffwechselprozesse verursachte Veränderungen (z.B. Sauerstoff-Radikale), Virusinfektionen, (genetisch bedingte) fehlerbehaftete Reparaturprozesse oder epigenetische Vorgänge (z.B. mehr oder weniger starke Methylierung der DNS) können vorausgehen.

Bekannt sind eine Reihe von zellulären Reparaturprozessen, die sowohl konstitutiv ablaufen als auch induzierbar sind („Adaptive Response“). Untersuchungen über den Einfluss der

Reparaturprozesse auf die Krebsauslösung haben gezeigt, dass durch Reparaturhemmung oder -ausfall, z.B. aufgrund eines genetischen Defekts, Personen strahlenempfindlicher sein können.

Der Einfluss von Strahlung auf Promotion und Progression ist unklar, und zwar sowohl in Bezug auf ionisierende als auch nicht-ionisierende. Klare empirische Belege fehlen. Da bei beiden Vorgängen auch nicht-genetische Prozesse eine Rolle spielen, ist eine prinzipielle Eingrenzung nicht möglich. Ohne Zweifel spielt auch das Immunsystem eine entscheidende Rolle.

Es bestehen deutliche Unterschiede innerhalb der Bevölkerung in Bezug auf die Wahrscheinlichkeit, an Krebs zu erkranken. Dies gilt nicht nur allgemein, sondern auch im Hinblick auf das strahlenbedingte Krebsrisiko. Ausschlag gebend sind Lebensgewohnheiten, aber auch hier genetische Faktoren ("genetische Prädisposition"), von denen auch schon eine Reihe bekannt sind.

In der Epidemiologie werden Inzidenzraten und Mortalitätsraten betrachtet. Man spricht häufig auch von der „Spontanrate“ und versteht darunter das Risiko einer nicht exponierten Person. Der Begriff „Spontanrate“ wird insbesondere in Zusammenhang mit dem Strahlenschutz benutzt. Inzidenzraten werden im Allgemeinen alters-, geschlechts- und krankheitsspezifisch angegeben. Für praktisch alle Tumoren gilt, dass die Inzidenzraten mit dem Alter steigen. Für viele Tumoren gibt es geschlechtsspezifische Unterschiede für die Raten. Für die Bundesrepublik Deutschland liegen Inzidenzraten nicht für das gesamte Land vor, sondern nur von den Regionen, in denen Krebsregister vorhanden sind. Mit Hilfe der Mortalitätsraten, die aus den statistischen Unterlagen der Statistischen Landesämter und des Statistischen Bundesamts berechnet werden, werden aber auch Schätzungen für bundesweite Inzidenzraten angegeben. Als Beispiele sind in den folgenden Abbildungen die Verhältnisse für Hodenkrebs (Abb. 6-1) und Leukämien (Abb. 6-2) dargestellt:

Hodentumoren - Neuerkrankungshäufigkeit pro 100.000 Männer  
Saarländisches Krebsregister 1970-2000

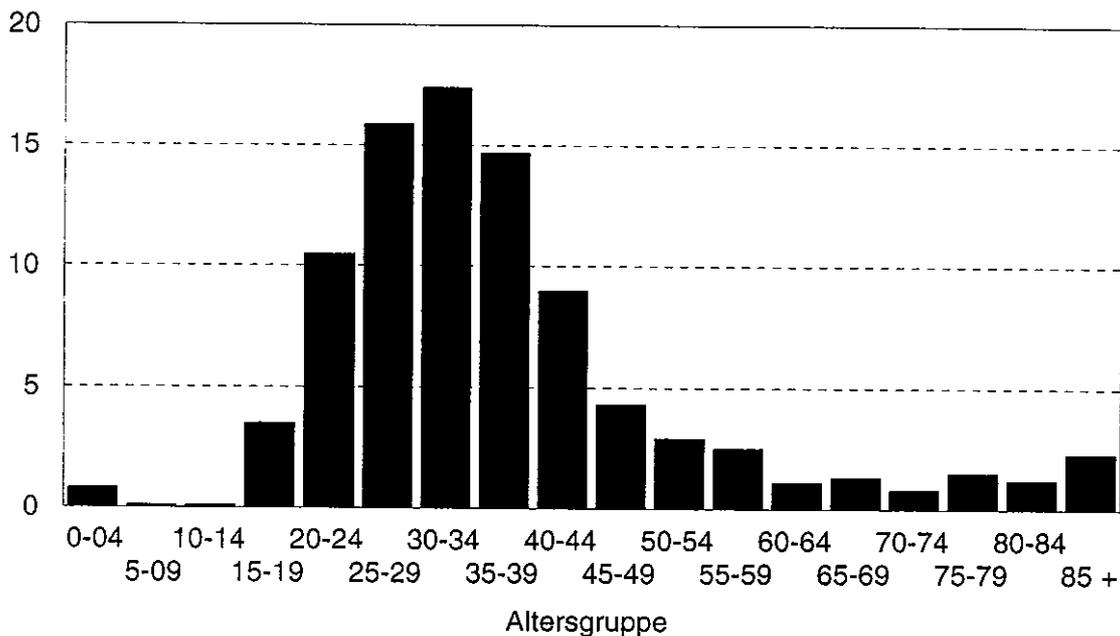


Abb. 6-1: Hodentumoren – Neuerkrankungen pro 100.000 Männer

Leukämie und Lymphdrüsenkrebs - Neuerkrankungshäufigkeit pro 100.000 Männer  
Saarländisches Krebsregister 1970-2000

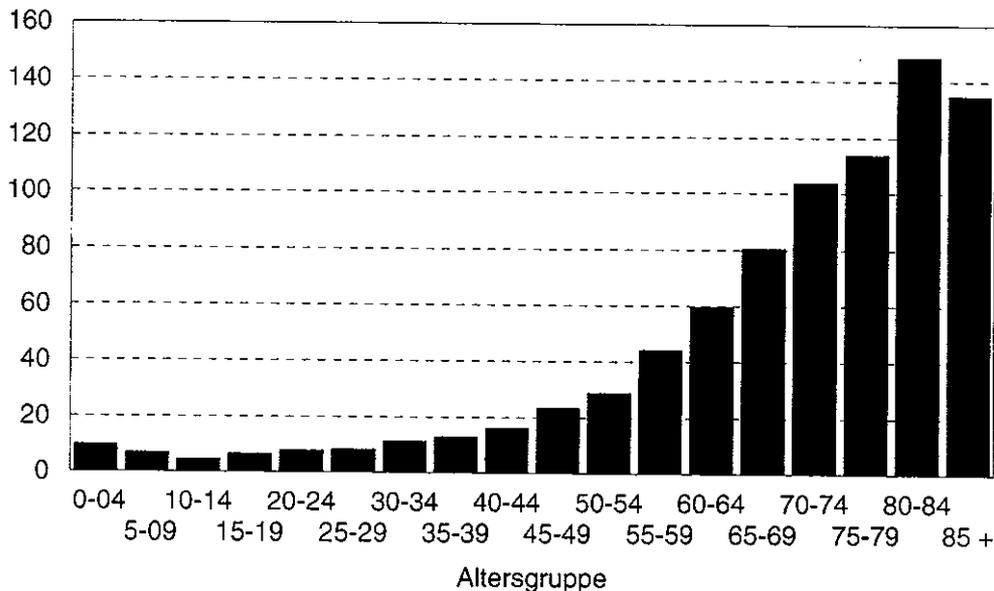


Abb. 6-2: Leukämie und Lymphdrüsenkrebs – Neuerkrankungen pro 100.000 Männer

Aus dem Gesagten ist verständlich, dass zwischen dem initiiierenden Ereignis und der klinischen Manifestation einer Krebserkrankung eine lange Zeit ("Latenzzeit") vergeht, die sich in Jahren bemisst. Bei Einwirkung ionisierender Strahlung als auslösendes Agens liegen über ihre Dauer relativ genaue Kenntnisse vor.

Für die Diskussion eines möglichen kausalen Zusammenhanges reichen die bloßen Ergebnisse einer Kohortenstudie bzw. einer Fall-Kontroll-Studie nicht aus. Vielmehr wird in der Epidemiologie ein Kanon von neun Kriterien angewendet, die nach dem englischen Epidemiologen Austin Bradford Hill benannt worden sind. Er hatte seine Kriterien am Beispiel arbeitsmedizinischer Erkrankungen erarbeitet [Hill 1965].

- Stärke der Assoziation

Die Stärke der Assoziation wird durch verschiedene Risikoschätzer angegeben. Sie lassen jeweils erkennen, um wie viel mal häufiger eine Erkrankung nach Einwirkung eines spezifischen Risikofaktors auftritt als ohne. Es hat sich in den vergangenen Jahren durchgesetzt, bei einem Risikoschätzer von 2.0 (gleichbedeutend mit der Verdopplung des Erkrankungsrisikos) von einer starken Assoziation zu sprechen. Allerdings sprechen auch niedrigere Risikoschätzer nicht grundsätzlich gegen einen Kausalzusammenhang. So wird die Risikoerhöhung für das Auftreten von Bronchial-Carcinomen durch Passiv-Rauchen heute als kausal verursacht angesehen, obgleich die Risikoerhöhung aus verschiedenen Studien lediglich bei 20 - 40% liegt.

- Konsistenz

Dieses Kriterium verlangt, dass gleichartige Ergebnisse im Rahmen verschiedener Studien von verschiedenen Untersuchern gefunden werden sollten. Allerdings ist die Anwendung dieses Kriteriums dann problematisch, wenn es sich bei dem verdächtigten Risikofaktor z.B. um einen regional singular vorkommenden Faktor handelt oder einen Faktor der ausschließlich in einer bestimmten Population vorkommt.

Eine besondere Form der Ermittlung der Konsistenz über verschiedene Studien ist mit der Einführung von sogenannten Meta-Analysen in die Epidemiologie möglich geworden. Dabei wird mit komplexen statistischen Verfahren ein gewichteter durchschnittlicher Risikoschätzer über verschiedene Studien bei vergleichbarer Exposition berechnet. Die Voraussetzung für die Anwendung von Meta-Analysen ist die relative Gleichförmigkeit der Effekte der Risikofaktoren auf die Krankheitsentstehung (Homogenität).

- Spezifität

Das Kriterium der Spezifität besagt, dass ein Risikofaktor lediglich auf einen spezifischen Endpunkt (Krankheit, Tod) wirkt. Dieses Kriterium ist deshalb ein relativ schwaches Kriterium, weil eine ganze Reihe von Risikofaktoren mittlerweile als kausale Faktoren für mehrere distinkte Erkrankungen identifiziert worden sind. So ist Zigarettenrauchen eindeutiger Risikofaktor für eine Vielzahl von Krebserkrankungen, aber auch für Herzinfarkt und Schlaganfall. Insektizide sind mittlerweile als Risikofaktoren für so verschiedene Erkrankungen wie Brustkrebs, Leukämien und Lymphdrüsenkrebs etabliert worden.

- Zeitliche Beziehung

Dieses Kriterium der zeitlichen Kohärenz zwischen Faktor und Effekt ist von zentraler Bedeutung in der Kausaldiskussion, weil es bedingt, dass ein verdächtigter Risikofaktor in bedeutsamer Weise häufiger vor Eintritt einer Erkrankung auftritt als danach. Abgeleitet aus diesem Kriterium lassen sich Latenzzeiten zwischen der ersten Exposition und dem Eintritt der spezifischen Erkrankung ermitteln.

- Biologischer Gradient

Von einem biologischen Gradienten wird gesprochen, wenn sich ein quantitativer Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Exposition gegenüber einem Risikofaktor und dem Erkrankungsrisiko darstellen lässt. So besteht z.B. ein deutlicher biologischer Gradient zwischen der lebenslang gerauchten Menge von Zigaretten und dem Risiko, an Blasenkrebs zu erkranken.

- Plausibilität

Die im Rahmen einer epidemiologischen Studie ermittelten Beziehungen zwischen Risikofaktor und Erkrankung sollten plausibel sein im Kontext des biologischen Wissens über Zusammenhänge zwischen Risikofaktor und Erkrankung.

- Kohärenz

Die Interpretation eines Zusammenhanges zwischen Faktor und Effekt sollte nicht im Gegensatz stehen zu dem, was über die Entstehung der in Frage kommenden Erkrankung an biologischem und pathophysiologischem Wissen verfügbar ist. So ist Kohärenz für die Entstehung von Bronchialcarcinomen durch Zigarettenrauchen zu konstatieren, weil sich z.B. spezifische Veränderungen im Bronchialepithel als Vorstufen eines späteren Carcinoms finden. Von Hill selbst wurde ein enger Konnex zum Kriterium der Plausibilität gesehen.

- Experimenteller Nachweis

Es ist für die Kausaldiskussion außerordentlich hilfreich, wenn sich ein Zusammenhang zwischen Faktor und Effekt auch im Tierexperiment nachweisen lässt. Dieses ist z.B. für den Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber weiblichen Hormonen und der Entwicklung von hormonabhängigen weiblichen Tumoren nicht nur beim Menschen gefunden, sondern auch bei verschiedenen Tierspezies bestätigt worden.

- Analogie

Es ist hilfreich, wenn für die Etablierung eines Kausalzusammenhanges auf Analogieschlüsse zurückgegriffen werden kann. So wäre dieses Kriterium z.B. erfüllt, wenn man bei einem spezifischen Insektizid in einer epidemiologischen Studie eine Assoziation zu Lymphdrüsenkrebs ermittelte, nachdem für ein weiteres Insektizid eine vergleichbare Assoziation bereits gefunden worden wäre.

### 6.1.2 Ionisierende Strahlung

Von den Risikofaktoren, denen der Mensch in seiner Umwelt ausgesetzt ist, liegen für die ionisierende Strahlung umfangreiche Kenntnisse über Wirkungen und Risiken vor.

Befunde über Strahlenwirkungen werden regelmäßig vom wissenschaftlichen Komitee der Vereinten Nationen über die Effekte der atomaren Strahlung UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), dem Fachleute aus über 40 Nationen angehören, zusammengetragen und bewertet. Der Stand der wissenschaftlichen Kenntnisse zur Strahlenwirkung wird von UNSCEAR in umfangreichen Berichten dokumentiert. Zusätzlich liegen umfassende Dokumentationen zur Strahlenwirkung von der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC) der Weltgesundheitsorganisation (WHO), dem National Research Council der USA (Committee on the Biological Effects on Ionizing Radiations, BEIR-Bericht), der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP und der deutschen Strahlenschutzkommission SSK vor. Die zellulären und molekularbiologischen Grundlagen werden seit vielen Jahrzehnten intensiv erforscht. Im Rahmen dieses sehr kurzen Abrisses können nur diejenigen Erkenntnisse skizziert werden, welche im Rahmen der Beurteilung der Radar-Problematik eine Rolle spielen.

In Bezug auf die menschliche Gesundheit werden grundsätzlich zwei Kategorien von Strahlenwirkungen unterschieden: deterministische und stochastische Strahlenwirkungen.

#### Deterministische Strahlenwirkungen

Deterministische Strahlenwirkungen treten relativ früh nach Exposition auf und sind in der Regel mit einer Fehlfunktion oder dem Verlust der Gewebefunktion in den bestrahlten Organen verbunden. Sie werden im Wesentlichen durch den strahlenbedingten Verlust des Zellteilungsvermögens bedingt. Deterministische Wirkungen werden erst bei Strahlendosen über 100 mSv feststellbar, wenn eine für das jeweils bestrahlte Organ oder Gewebe charakteristische Schwellendosis überschritten wurde. Unterhalb der Schwelle ist die Zahl der abgetöteten oder geschädigten Zellen zu gering, um die Gewebe- oder Organfunktion temporär oder auf Dauer zu beeinträchtigen, insbesondere solange durch Vermehrung nicht geschädigter Stammzellen ein Verlust ausgeglichen werden kann. Mit zunehmender Dosis oberhalb der Schwellendosis verfrüht sich nicht nur der Eintritt der deterministischen Strahlenwirkungen, die Schwere des Effekts nimmt auch zu. Zu den in Bezug auf deterministische Effekte strahlenempfindlichen Geweben gehören diejenigen, die ständig auf einen Zellnachschub angewiesen sind wie die (männlichen) Geschlechtsorgane, das

Knochenmark, der Darm, die Haut und die Augenlinse. Dementsprechend können folgende charakteristische deterministische Strahlenwirkungen auftreten: Sterilität, verminderte Blutbildung, Erythem- und Blasenbildung der Haut sowie Linsentrübung ("Katarakt", "grauer Star"). Mit Ausnahme des letzten Beispiels (Katarakt) sind bei entsprechender Dosis die beschriebenen Wirkungen in jedem Falle festzustellen, wobei die Empfindlichkeit allerdings individuellen Schwankungen unterliegt. Linsentrübungen können u. U. auch erst lange Zeit nach Bestrahlung manifest werden. Die Latenzzeit ist dosisabhängig.

### **Stochastische Strahlenwirkungen**

Die zweite Kategorie, die stochastische Strahlenwirkung, geht von strahlenbedingten Veränderungen in der Erbsubstanz von Körper- oder Keimzellen aus, die zu keiner Inaktivierung der Zellen führen. In Abhängigkeit von der Art der betroffenen Zellen (Körper- oder Keimzellen) können als Folge einer Bestrahlung Krebs, Leukämie oder ein vererbbarer Schaden ausgelöst werden. Strahlenbedingte und spontane Erkrankungen an Krebs, Leukämie oder vererbare Krankheiten lassen sich im Erscheinungsbild nicht unterscheiden. Das Auftreten dieser Strahlenwirkungen kann oft erst Jahre oder auch Jahrzehnte nach einer Bestrahlung mit Hilfe statistischer Methoden dadurch festgestellt werden, dass Krebserkrankungen bei bestrahlten häufiger als bei unbestrahlten Personengruppen vorkommen. Die Bezeichnung „stochastisch“ hebt für diese Strahlenwirkung den zugrundeliegenden Zufallscharakter hervor, d. h. eine Zuordnung im Einzelfall ist nicht möglich und es können nur Wahrscheinlichkeiten mit Hilfe statistischer Verfahren abgeschätzt werden. Es wird davon ausgegangen, dass es für stochastische Strahlenwirkungen keine Schwellendosis gibt. Auch niedrige Dosen erhöhen danach die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Krebs oder Erbschäden bei bestrahlten Personen. Mit zunehmender Dosis erhöht sich das Erkrankungsrisiko. Auch hier unterliegt die Empfindlichkeit individuellen Schwankungen, wobei auch genetische Faktoren eine Rolle spielen.

Bei niedrigen Dosen, d. h. unterhalb der für deterministische Effekte charakteristischen Schwellen, ist nur mit stochastischen Wirkungen, vor allem Krebserkrankungen, zu rechnen. Es gibt sporadische Berichte, dass in strahlenexponierten Personen auch vermehrt Herz-Kreislauf-Erkrankungen aufgetreten sind. Die vorliegenden Daten erlauben keine Abschätzung eventueller Risiken.

Bei den Betrachtungen zu stochastischen Strahlenwirkungen, für die eine lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellendosis unterstellt wird, darf nicht außer Acht gelassen werden, dass jeder Mensch aus natürlichen und zivilisatorischen Quellen zeit seines Lebens ionisierender Strahlung ausgesetzt ist. In Deutschland summieren sich im Durchschnitt die Dosen zu ca. 4 mSv/Jahr, wobei 2,4 mSv/Jahr auf natürliche Umgebungsstrahlung zurückgehen. Der Rest entfällt vor allem auf medizinische Strahlenanwendungen. Diese Mittelwerte schwanken erheblich, wobei für die natürlichen Quellen vor allem der geologische Untergrund sowie die Aufenthaltshöhe, für die medizinischen Expositionen in erster Linie das Lebensalter von Einfluss sind.

Die Strahlenwirkung hängt von vielen Faktoren ab. Dazu gehören neben genetischen Einflüssen vor allem auch die Expositionsbedingungen und die Strahlenart. Im Zusammenhang der hier zu diskutierenden Fragen kommt vor allem der Strahlenqualität eine besondere Bedeutung zu. Generell kann festgestellt werden, dass Strahlen größerer Ionisationsdichten bei gleicher physikalischer Dosis eine erhöhte Wirkung zeigen. Dies gilt im Vergleich zu Gammastrahlen oder hochenergetischen Röntgenstrahlen z.B. für Alphateilchen, aber auch für niederenergetische Röntgenstrahlen. In der Strahlenbiologie wird dieses Verhalten quantitativ durch die Angabe der "Relativen Biologischen Wirksamkeit" (RBW) charakterisiert. Man versteht darunter das Verhältnis der Energiedosen, die für verschiedene

Strahlenarten zu dem selben Effekt führen. Die ICRP hat für die Belange des Strahlenschutzes allen Photonenstrahlen den Wichtungsfaktor 1 gegeben. Dies im Hinblick auf die Risikobegrenzung hinreichend, wie in Abschnitt 6.1.1.1 ausgeführt. Eine Betrachtung des Einzelfalls muss jedoch die erhöhte Wirksamkeit niederenergetischer Röntgenstrahlen in Rechnung stellen. Auf Grund strahlenbiologischer Überlegungen kann für Röntgenstrahlen unter 30 kV von einer RBW von ungefähr 3 ausgegangen werden [Kocher et al. 2002]. Dieser Wert ist als "konservativ" zu betrachten, kann also u. U. zu einer Überschätzung des Risikos führen.

### **6.1.2.1 Strahlenbedingte Leukämie- und Krebserkrankungen**

Kenntnisse über die Leukämie- und Krebsinduktion durch Strahlung wurden durch epidemiologische Studien bei Personengruppen gewonnen, die einer so hohen Bestrahlung ausgesetzt waren, dass eine gegenüber der unbestrahlten Bevölkerung höhere Krebshäufigkeit festgestellt werden konnte. Zu den bestrahlten Personengruppen gehören insbesondere die Überlebenden der Atombombenexplosionen von Hiroshima und Nagasaki, aus medizinischen Gründen bestrahlte Patienten (z.B. mit Morbus Bechterew, Tuberkulose, Tinea capitis, Mastitis) und beruflich strahlenexponierte Personen (z.B. Uranbergarbeiter, Leuchtziffermalerinnen).

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass durch Strahlung in allen Geweben oder Organen des Körpers Krebs hervorgerufen werden kann. Tabelle 6-3 gibt den derzeitigen Wissensstand bezüglich der Strahleninduzierbarkeit einzelner Krebsarten wieder.

Die epidemiologische Studie bei den Atombomben-Überlebenden von Hiroshima und Nagasaki ist die umfangreichste aller Studien. Sie wird für die Abschätzungen des Strahlenrisikos im Strahlenschutz herangezogen, weil sie sowohl Frauen und Männer als auch alle Altersgruppen umfasst. Für alle Krebsarten zusammengenommen ergibt sich eine lineare Dosis-Wirkungsbeziehung bis zur Dosis von 3 Sv. Die Dosis-Wirkungsbeziehung für Leukämien wird dagegen am besten durch eine linear-quadratische Funktion beschrieben. Statistisch signifikante Risiken für Krebs sind bei den Atombomben-Überlebenden erst bei Organdosen über etwa 100 mSv erkennbar. Bei Strahlenexpositionen während der Schwangerschaft liegt die untere statistische Nachweisgrenze für Leukämien im Kindesalter bei etwa 20 mSv.

Die Höhe des Strahlenrisikos wird im Wesentlichen durch die folgenden Faktoren bestimmt:

Höhe der Dosis (je höher die Dosis, desto größer ist das Risiko), zeitliche Dosisverteilung (Dosisprotrahierung, Dosisfraktionierung), Strahlenart (dicht-ionisierende Strahlung ist bei gleicher Energiedosis wirksamer als locker-ionisierende Strahlung), betroffene Gewebeart bzw. Organ (es bestehen deutliche Unterschiede in der Krebsempfindlichkeit), Alter bei Bestrahlung (Kinder und Jugendliche sind empfindlicher als Erwachsene).

Zwischen der Bestrahlung und dem vermehrten Auftreten von Krebserkrankungen besteht eine Latenzzeit, die für die einzelnen Krebsarten unterschiedlich lang ist.

Die kürzesten Latenzzeiten bestehen für strahlenbedingte kindliche Leukämien. Bei Bestrahlung im Kindesalter werden die kürzesten Latenzzeiten für Leukämien und Schilddrüsenkrebs mit zwei bis drei Jahren angegeben. Im Mittel wird bei Erwachsenen in diesen Fällen mit 8 Jahren gerechnet. Für die anderen Krebsarten liegen die mittlere Latenzzeiten über 10 Jahren. Für Lungenkrebs wird von mittleren Latenzzeiten bis zu 20 und mehr Jahren ausgegangen. Als untere Grenze kann man bei Erwachsenen für Leukämien 2 Jahre, für solide Tumoren 5 Jahre annehmen. Tritt eine Krebserkrankung in einem kürzeren

Abstand als die angegebenen minimalen Latenzzeiten nach einer Strahlenexposition auf, ist ihre Induktion durch Strahlung eher unwahrscheinlich.

Die Abschätzung des Strahlenrisikos auf der Grundlage vorhandener Daten ist aus den folgenden Gründen mit Unsicherheiten behaftet:

Epidemiologische Studien bestrahlter Personengruppen umfassen wegen ihrer begrenzten Beobachtungsdauer (Follow up) nicht das Lebenszeitrisiko; deshalb muss das Strahlenrisiko mittels geeigneter Modelle über die Beobachtungszeit extrapoliert werden (Risikoprojektion).

Risikoabschätzungen müssen von bestimmten bestrahlten Personengruppen auf andere übertragen werden, die sich u. U. in Nation, ethnischer Zugehörigkeit, Lebensstil etc. unterscheiden (Risikotransfer). Daten epidemiologischer Studien liegen in der Regel für Personen vor, die relativ hohen Dosen ausgesetzt waren. Risikoabschätzungen müssen daher durch geeignete Verfahren von Effekten bei hohen zu niedrigen Dosen extrapoliert werden (Risikoextrapolation).

Im Folgenden werden die wichtigsten Erkenntnisse zur Strahlenabhängigkeit von einzelnen malignen Erkrankungen und Erkrankungsgruppen zusammengefasst. Die einführende tabellarische Übersicht enthält quantitative Angaben zur Höhe des relativen Risikos bei 1 Gray Strahlendosis sowie zum zusätzlichen absoluten Risiko (zusätzliche Fälle) pro  $10^4$  Personenjahre-Gray (= für 1000 Personen, die 1 Gray Exposition erhalten haben und 10 Jahre nachverfolgt werden). Die Reihenfolge der anschließend kurz erläuterten strahlenepidemiologischen Ergebnisse zu einzelnen Tumorarten orientiert sich dabei an der Tabelle. Als Quellen wurden hauptsächlich Übersichten wie der UNSCEAR Bericht 2000 [UNSCEAR 2000], die IARC Monographie Vol. 75 [IARC 2000] sowie die Arbeit [Boice et al. 1996] genutzt, daneben verschiedene Einzelpublikationen.

Tab. 6-3: Rangfolge verschiedener Krebsarten/-lokalisationen in Hinsicht auf die karzinogene Wirkung ionisierender Photonenstrahlung\* (bezogen auf Mortalität und Inzidenz (Angegeben wird die Spannbreite von Werten, die in der Literatur genannt werden. Es handelt sich hier nicht um ein Vertrauensintervall oder Konfidenzintervall, sondern um bisher publizierte Werte.)

Krebsart/-lokation	Risikoschätzer (Spanne)	
	Relatives Risiko RR bei IGy	Exzess Risiko-EAR x 10 <sup>4</sup> Personenjahre-Gy (absolute zusätzliche Fälle)
<b>Häufig mit ionisierender Strahlung assoziierte Tumoren und gesicherte Risikoschätzer</b>		
Leukämie	1,3-6,2	0,5-2,9
Schilddrüsen	1,6-31	3,0-13
Brust (weibl.)	1,1-2,7	3,5-18
<b>Gelegentlich mit ionisierender Strahlung assoziierte Tumoren, valide Risikoschätzer</b>		
Lunge	1,0-1,6	0,0-1,7
Magen	1,0-1,7	0,0-4,7
Kolon	1,0-1,9	0,0-3,0
Ösophagus	1,3-1,6	0,3-0,5
Harnblase	1,1-2,3	0,1-1,0
Ovarien	1,0-2,3	0,1-0,7
Multiples Myelom	1,0-3,3	0,0-0,3
<b>Selten mit ionisierender Strahlung assoziierte Tumoren <sup>a</sup>, unsichere Risikoschätzer</b>		
Hirn/Nervensystem	1,0-5,9	0,0-1,1
Niere	1,0-1,7	0,0-1,1
Leber	1,0-1,5	0,0-1,6
Speicheldrüsen	1,1-1,7	0,1-0,2
Haut	b	b
Rektum	1,0-2,0	0,1-2,5
Uterus	1,0-1,2	0,0-0,1
Knochen	1,0-1,01	0,0-0,5
Bindegewebe	b	b
<b>Nicht oder sporadisch mit ionisierender Strahlung assoziierte Tumoren, ohne Risikoschätzer <sup>c</sup></b>		
Chronisch lymphatische Leukämie	b	b (kein Effekt)
Pankreas	b	b
Morbus Hodgkin	b	b
Prostata	b	b
Hoden	b	b
Zervix	b	b
Kindliche Tumoren <sup>d</sup>	b	b
Stützgewebe <sup>e</sup>	b	b

\* Tabelle modifiziert nach [Boice et al. 1996]. Relative Rangfolge basiert auf der Häufigkeit, mit der das Auftreten der betrachteten Tumorart in exponierten Bevölkerungen berichtet wird, der Stärke der gefundenen Assoziationen und dem Vorhandensein von verlässlichen Schätzungen zum Strahlenrisiko pro Organodoseinheit (siehe Boice et al 1996). Risikoeffizienten beruhen hauptsächlich auf [Thompson et al. 1994], [Shimizu et al 1990], [BEIR V 1990], [UNSCEAR 1994, 2000], [Boice et al. 1988] und [Darby et al.

1987]. Die Spanne der Risikoschätzer ist durch Unterschiede in der Altersverteilung, Follow-up Zeit und andere Faktoren in den exponierten Gruppen bedingt.

- <sup>a</sup> Assoziation wurde nicht konsistent gefunden und/oder vorhandene Schätzungen sind sehr unsicher
- <sup>b</sup> Keine verlässlichen Risikoschätzwerte bekannt
- <sup>c</sup> Tumorarten/lokalisationen, für die strahleninduzierte Tumoren nicht berichtet oder bestätigt sind
- <sup>d</sup> Retinoblastom, Wilms-Tumor, und andere embryonale Tumoren
- <sup>e</sup> Muskeln, Sehnen und Synovialgewebe

### **Leukämie**

Trotz deutlicher Variationen sind internationale Unterschiede in der Häufigkeit von Leukämien nicht so ausgeprägt wie bei vielen soliden Tumoren. Insgesamt liegen für diese Gruppe maligner Erkrankungen sichere Hinweise und Risikoschätzer bezüglich des strahlenassoziierten Risikos vor. Für die Leukämien ist eine getrennte Betrachtung der verschiedenen Subtypen hinsichtlich des Strahlenrisikos notwendig. Akute lymphatische Leukämien (ALL) sind Erkrankungen des Kindesalters, während Akute Myeloische Leukämien (AML) und Chronische Myeloische Leukämien (CML) den Großteil der Fälle bei Erwachsenen ausmachen. Starke Dosis-Wirkungsbeziehungen zwischen ALL, AML, CML und ionisierender Strahlung wurden in der Life-Span-Studie (LSS) der Atombombenopfer von Hiroshima und Nagasaki gefunden, ebenso wie in vielen weiteren Studien etwa bei Personen mit medizinisch begründeten Strahlenexpositionen. Die Latenzzeit nach Exposition bis zum Auftreten der Erkrankungen ist deutlich kürzer als bei vielen soliden Tumoren. Keine Effekte finden sich in Hinsicht auf den Subtyp der chronisch lymphatischen Leukämien (CLL), so dass vielfach die Non-CLL-Leukämien gemeinsam hinsichtlich der Wirkung ionisierender Strahlung analysiert werden.

Zwischen der LSS und anderen Studien gibt es Unterschiede in der Höhe des geschätzten Risikos wie auch bezüglich der Form der Dosis-Wirkungsbeziehung. Insgesamt wird von einem nicht-linearen Verlauf der Dosis-Wirkungskurve ausgegangen, wobei in einer kombinierten Analyse der Daten der Atombombenopfer und zweier großer Patientenkohorten die steilste Dosis-Wirkungsbeziehung für AML gefunden wurde. Bei Arbeitern in der Nuklearindustrie, die zumeist recht niedrigen Strahlendosen ausgesetzt waren, fand sich ebenfalls ein erhöhtes Leukämierisiko [Cardis et al. 1995].

Ein häufig untersuchtes Thema sind auch mögliche Risikoerhöhungen für Leukämien in der Nähe von Nuklearanlagen. Aus mehreren Ländern liegen hierzu Berichte vor, die allerdings keine klare Evidenz für erhöhte Risiken ergeben und zumeist Schwächen in der Expositionsschätzung aufweisen. Interne Expositionen gegenüber Niedrig-LET Strahlung (Strahlung geringer Ionisationsdichte) scheinen in den meisten Studien nicht zu erhöhten Leukämierisiken zu führen, allerdings bestehen wegen der oft relativ niedrigen Dosen Probleme bei der statistischen Präzision.

### **Schilddrüsenkrebs**

Schilddrüsentumoren sind eher selten und nehmen in vielen Ländern in der Inzidenz zu, in der Mortalität dagegen ab. Epidemiologische Studien zeigen konsistent, dass Schilddrüsenmalignome zu den durch ionisierende Strahlung induzierbaren Tumoren gehören. Das Schilddrüsenewebe ist besonders in der Kindheit empfindlich gegenüber karzinogenen Strahleneffekten. Das Risiko sinkt mit zunehmendem Alter bei Exposition. Erhöhte ERR

bestehen aber bis über 40 Jahre nach der Exposition. Trotz der Unterschiede in der natürlichen Erkrankungshäufigkeit zwischen Frauen und Männern unterscheiden sich die strahlenbedingten ERR zwischen den Geschlechtern kaum.

### **Brustkrebs**

Brustkrebs ist die häufigste Tumorart bei Frauen in den meisten Industrieländern und mittlerweile auch in vielen Schwellen- und nicht industrialisierten Ländern. Aus der LSS und aus Studien bei medizinisch exponierten Gruppen liegen eindeutige Hinweise auf eine Induzierbarkeit der Brustkrebserkrankung durch externe Niedrig-LET Bestrahlung vor. Für Brustkrebs bei Männern weisen die wenigen vorliegenden Befunde in die gleiche Richtung.

### **Lungenkrebs**

Die weltweit hohe und in vielen Ländern noch steigende Inzidenz und Mortalität des Lungenkrebs reflektiert zu großen Teilen die Prävalenz des Tabakkonsums. Zu den weiteren Lungenkarzinogenen zählt auch die ionisierende Strahlung. Die LSS sowie weitere Studien unter akut strahlenexponierten Patienten zeigen erhöhte Lungenkrebsrisiken nach externer Bestrahlung. Die Ergebnisse weisen einen linearen Dosis-Wirkungstrend auf. Der starke Einfluss des Rauchens muss jedoch auch in der Bewertung des Strahlenrisikos beachtet werden. Der gemeinsame Effekt von Rauchen und Strahlung scheint eher additiv als multiplikativ zu sein. Dass bei wiederholt fluoroskopierten Tuberkulose-Patienten keine Risikoerhöhungen gefunden wurden, kann mit der Dosisfraktionierung (also der Aufteilung der Gesamtdosis) zusammenhängen.

Hinsichtlich der internen Bestrahlung gibt es kaum Informationen zur Niedrig-LET Wirkung aber recht viele Daten zu Hoch-LET exponierten Personen, zumeist Radon-exponierte Bergleute. Das Risiko steigt mit zunehmender kumulativer Radonexposition linear an, während das ERR mit höherem Alter und Zeit seit Exposition sinkt.

### **Magenkrebs**

Inzidenzraten für Magenkrebs zeigen starke internationale Schwankungen. In Japan werden besonders hohe Raten gefunden. In epidemiologischen Studien wurden erhöhte Magenkrebsrisiken nach Strahlenexposition beobachtet. Der Großteil der Information stammt auch hier aus der LSS-Kohorte der japanischen Atombombenopfer. Die Studienergebnisse weisen auf eine lineare Dosis-Wirkungsbeziehung hin. Das ERR per Sv sinkt mit zunehmendem Alter bei Exposition, variiert nicht in Abhängigkeit von der Zeit seit Exposition, und ist möglicherweise höher für Frauen als für Männer. Einige, aber nicht alle Studien zur Wirkung externer Niedrig-LET Bestrahlung im medizinischem Kontext zeigen ebenfalls eine Assoziation zwischen Strahlenexposition und Magenkrebsrisiko. Die Ergebnisse der LSS und der Studie bei Zervixkarzinom-Patientinnen lassen darauf schließen, dass eine Übertragung japanischer Ergebnisse auf andere Länder für relative Risiken eher Gültigkeit hat als für absolute Risiken. Niedrigdosisstudien aus der Arbeitsepidemiologie (Niedrig-LET) weisen Mängel in der Präzision auf. Eine Studie zu protrahierter Hochdosisexposition unter Arbeitern der Mayak-Anlage in Russland ergab erhöhte Magenkrebsrisiken, erlaubte aber keine weitergehende Quantifizierung von Dosis-Wirkungsbeziehungen. Studien zu interner Niedrig- und Hoch-LET Exposition haben hinsichtlich der Evaluation von Magenkrebsrisiken zumeist wenig Informationsgehalt.

### **Dickdarmkrebs (Kolon)**

Für Dickdarmkrebs werden weltweit die höchsten Raten in Nordamerika und (West-) Europa gefunden. Ernährungseinflüsse spielen für die internationale Variabilität die wichtigste Rolle. Zum Dickdarmrisiko nach Strahlenexposition liegt eine größere Zahl epidemiologischer Studien vor. Den LSS-Ergebnissen zufolge ist von einer linearen Dosis-Wirkungsbeziehung auszugehen. Unklar ist der Einfluss des Geschlechts und der Zeit seit Exposition auf das ERR pro Sv. Das zusätzliche absolute Risiko (EAR) steigt mit zunehmender Zeit seit Exposition.

### **Ösophaguskrebs (Speiseröhre)**

Speiseröhrenkrebs wurde in einigen Studien mit ionisierender Strahlung in Verbindung gebracht. Ein Großteil der Information bezieht sich auf externe Niedrig-LET Expositionen. Nur wenig Daten liegen für interne Expositionen mit hohem LET vor. Die Life-Span-Studie (LSS) der Atombombenopfer von Hiroshima und Nagasaki gibt Hinweise auf ein erhöhtes Risiko nur in der frühen Periode nach der Strahlenexposition. Daten aus den Studien bei strahlentherapeutisch behandelten Morbus-Bechterew Patienten zeigen ein kontinuierlich bestehendes erhöhtes Risiko, während andere Studien nach medizinischen Expositionen keine Risikoerhöhungen für Ösophaguskrebs ergaben. Insgesamt liegen nur sehr wenige epidemiologische Studien zu Strahlenrisiken für diese Krebsart vor, die in vielen Ländern selten ist.

### **Tumoren der Harnblase**

Harnblasentumoren machen ca. 5% aller inzidenten Malignome in industrialisierten Ländern aus und treten weniger häufig in Lateinamerika und Asien auf. Gegenüber Niedrig-LET strahlenexponierte Personen wiesen in mehreren Studien statistisch signifikant erhöhte Blasentumorrisiken auf.

### **Multiples Myelom**

Für die Gruppe der seltenen malignen Plasmazellerkrankungen wurde in den letzten Jahrzehnten ein leichter Anstieg in der Mortalität registriert. Auffällig sind in die unterschiedlichen Ergebnisse zu Inzidenz und Mortalität. Die neusten Mortalitätsauswertungen der LSS zeigen einen signifikanten Dosis-Wirkungstrend mit steigender Strahlendosis, der bei Analyse der Inzidenz deutlich schwächer war. Auch in anderen Studien zur Mortalität fanden sich Hinweise auf einen positiven Dosis-Wirkungstrend, während Inzidenzstudien zumeist schwächere oder gar keine Assoziationen ergaben.

### **Hirn- und ZNS-Tumoren**

Bei diesen Tumoren ist die Trennung zwischen benignen und malignen Typen nicht immer einfach, da Zeichen und Symptome sich stark ähneln. Daher werden alle ZNS-Tumoren oftmals gemeinsam berichtet. Dies ist insofern problematisch, als eine Assoziation zwischen ionisierender Strahlung und ZNS-Tumoren bei gutartigen Tumoren deutlicher ausgeprägt ist. Konsistente Risikoerhöhungen wurden nur für Neurolemma-Tumoren berichtet. Exposition in der Kindheit bedingt höhere Risiken, und nur wenige Daten zu Erwachsenen liegen vor. Maligne Gliome werden nur nach Strahlentherapie beobachtet. In der LSS traten Hirntumoren nicht gehäuft auf. Beruflich Strahlenexponierte hatten in der überwiegenden Mehrzahl der Studien keine erhöhten Hirntumorrisiken.

### **Leberkrebs**

Leberkrebs ist eine relativ häufige Erkrankung in Teilen Afrikas und Asiens, kommt in Nordamerika und Europa aber selten vor. Mortalitätsdaten zu Leberkrebs sind deswegen unsicher, da die Leber der bevorzugte Ort von Metastasen anderer Organumoren ist. Hinweise zur Strahlenabhängigkeit von Leberkrebs stammen vornehmlich aus der Untersuchung von Patienten, die bei Angiographien das Kontrastmittel Thorotrast erhalten haben. Hier wurden stark erhöhte Risiken durch diese interne Hoch-LET Bestrahlung (Alpha-Strahlung) insbesondere für Cholangiokarzinome und Angiosarkome festgestellt. Zur Wirkung von Niedrig-LET Strahlung zeigten Studien unter exponierten Beschäftigten bzw. aus medizinischen Kohorten keine Assoziation zwischen Strahlung und Leberkrebshäufigkeit. Die LSS-Ergebnisse zur Mortalität weisen hingegen auf eine signifikante Dosis-Wirkungsbeziehung hin und wurden mittlerweile durch Inzidenzanalysen bestätigt. Es handelt sich hierbei um hepatozelluläre Karzinome. Beim Vergleich zwischen verschiedenen Bevölkerungen sollten Unterschiede der Basisraten für Leberkrebs berücksichtigt werden, die vornehmlich von der Prävalenz der Infektion mit Hepatitisviren (speziell Hep. C) beeinflusst werden.

### **Non-Hodgkin- und Hodgkin-Lymphom**

Non-Hodgkin-Lymphome (NHL) nehmen in vielen Ländern an Häufigkeit zu, was nicht allein durch veränderte Klassifikationssysteme zu erklären ist. Die Hodgkin'sche Erkrankung zeigt dagegen weltweit stabile bis leicht abnehmenden Inzidenz.

Die Ergebnisse zu NHL und externer Niedrig-LET sind nicht völlig konsistent. Aus der LSS zeigt sich insgesamt kein Zusammenhang zwischen Mortalität an NHL und ionisierender Strahlung, es finden sich jedoch Hinweise für einen positiven Trend der Inzidenz mit zunehmender Dosis bei Männern. Arbeiter in der Nuklearindustrie haben nach bisherigen Ergebnissen kein erhöhtes NHL-Risiko. Studien bei Patienten oder Arbeitern mit Expositionen gegenüber interner Niedrig- oder Hoch-LET Strahlung sind limitiert in Hinsicht auf Dosis-Wirkungs-Analysen. Auch die allgemeinen Risikoschätzer der wenigen vorhandenen Studien sind nicht konsistent, so dass eine Bewertung kaum möglich ist. Die Studien zum Hodgkin-Lymphom zeigten insgesamt keine Assoziation mit externer oder interner ionisierender Strahlung.

### **Hautkrebs**

Nicht-Melanom Hautkrebs ist wesentlich häufiger als das maligne Melanom. Dunkelhäutige Populationen haben sehr viel niedrigere Erkrankungsrisiken. Weltweit wird seit Jahren ein starker Anstieg der Hautkrebshäufigkeit beobachtet, der mit der zunehmenden Sonnenexposition in Verbindung gebracht wird. Ionisierende Strahlung kann Nicht-Melanom Hautkrebs, insbesondere das Basalzellkarzinom, induzieren. Für eine Assoziation zwischen dem malignen Melanom und ionisierender Strahlung gibt es bisher nur vereinzelte Hinweise, u.a. aus Studien bei medizinischem Personal. Unklar ist, ob eine Interaktion zwischen UV und ionisierender Strahlung vorliegt. Für Basalzellkarzinome ist von einer erhöhten ERR bei Exposition gegenüber UV im Kindesalter auszugehen. Insgesamt erscheint die epidemiologische Datenlage für die Evaluation der Rolle ionisierender Strahlung in der Entstehung von Melanomen und anderen Hautkrebstypen außer Basalzellkarzinomen unzureichend.

### **Maligne Knochentumoren und Tumoren des Bindegewebes**

Knochen und Bindegewebstumoren sind selten und machen gemeinsam weniger als 1,5% aller Tumoren aus. Eine Dosisabhängigkeit des Risikos für Knochensarkome wurde unter Patienten gefunden, die wegen einer Tumorerkrankung im Kindesalter mit ionisierender Niedrig-LET Bestrahlung in hohen Dosen behandelt wurden. Aussagen zu niedrigeren Dosen sind aufgrund dieser Daten schwierig. Eine genetische Prädisposition könnte das Erkrankungsrisiko nach therapeutischer Bestrahlung beeinflussen.

Eine erhöhte Häufigkeit von Knochensarkomen wurde auch unter Personen mit hoher interner Radiumaufnahme gefunden. Das EAR vermindert sich mit zunehmender Zeit seit Exposition (beginnend nach mehr als 12 Jahren) sowie zunehmendem Alter bei Exposition. Für andere Bindegewebstumoren liegen vereinzelte Hinweise auf erhöhte Risiken nach Bestrahlung vor.

### **Prostatakrebs**

Prostatakrebs ist weltweit einer der häufigsten Tumoren bei Männern. Die ansteigende Häufigkeit wird zu erheblichem Anteil durch verbesserte Diagnostik der Erkrankung erklärt. In der LSS und den meisten weiteren Studien gibt es nur schwache Hinweise auf eine Assoziation zwischen Strahlung und Prostatatumoren. Einzelne Berichte über erhöhte Risiken können auf Expositionen gegenüber ionisierender Strahlung oder anderen Faktoren beruhen, gerade bei arbeitsepidemiologischen Studien bestehen hier Unklarheiten. Da mehrere dieser Studien auf kleinen Fallzahlen basieren bzw. geringe Dosen evaluiert werden, sind die Schätzer oft statistisch unpräzise.

### **Hodenkrebs**

Zu dem Zusammenhang zwischen Hodenkrebs und ionisierender Strahlung liegen bisher keine Studien vor, was z. T. darauf zurückzuführen sein dürfte, dass die Mortalität gering ist. Die japanische Inzidenzstudie führt den Hodenkrebs nicht auf. Es sind auf Grund der Datenlage somit keine Aussagen über einen möglichen Zusammenhang zwischen Hodenkrebs und ionisierender Strahlung möglich.

1998 erkrankten in Deutschland rund 3.280 Männer an Hodenkrebs [AG Krebsregister 2002], in den USA ging die American Cancer Society für das Jahr 2001 von rund 7.200 Tumordiagnosen aus [McGlynn 2001]. Damit gehört der Hodenkrebs zu den eher seltenen bösartigen Neubildungen beim Mann. Entsprechend liegt der Hodentumor an 12. Stelle aller jährlich in Deutschland neuauftretenden Krebsfälle [AG Krebsregister 2002]. Nach der amtlichen Todesursachenstatistik verstarben 1998 207 Männer an dieser Erkrankung. Dies entspricht einem Anteil von 0,2 % aller auf bösartigen Erkrankungen beruhenden Sterbefälle bei deutschen Männern.

Der Hodenkrebs nimmt im Rahmen der bösartigen Neubildungen eine Sonderstellung ein. Im Gegensatz zu allen anderen Krebserkrankungen weist er im jüngeren Alter eine größere Erkrankungshäufigkeit auf als in höheren Altersklassen (vgl. Abb. 6-1).

In der Altersgruppe der 20- bis 40-Jährigen ist Hodenkrebs daher der häufigste maligne Tumor, gefolgt von Leukämien und Lymphomen. Das mittlere Erkrankungsalter liegt unter 35 Jahre [Otite et al. 2001], wobei Nichtseminome durchschnittlich etwas früher auftreten als Seminome [AG Krebsregister 2002].

Über den Zeitraum der letzten 30 Jahre lässt sich für Deutschland ebenso wie für die USA und Europa insgesamt ein kontinuierlicher Anstieg der Inzidenz verzeichnen [AG Krebsregister

2002], [Boyle et al. 1993], [Kodoma et al. 1998], [Faboy-Menciere et al. 2002], [McGlynn 2001]. Dieser Entwicklung steht eine rückläufige Mortalität gegenüber.

Im europäischen Vergleich liegt die in Deutschland ermittelte Inzidenz für Hodenkrebs an zweiter Stelle. Die höchsten Erkrankungsraten werden in Dänemark beobachtet, die niedrigsten Raten in Griechenland. Trotz beträchtlicher Unterschiede bei der Inzidenz zwischen den EU-Ländern ist die Altersverteilung der Erkrankungsfälle bei der Erstdiagnose und der zeitliche Trend bei den Inzidenzraten sehr ähnlich.

Der Hodenkrebs gehört zu den prognostisch günstigen bösartigen Neubildungen. Die 5-Jahres-Überlebensrate liegt bei 93 %. Aufgrund der wenigen aber frühen Todesfälle droht dem Erkrankten ein Verlust von im Durchschnitt 8 Lebensjahren [AG Krebsregister 2002].

### 6.1.2.2 *Wirkung inkorporierter Radionuklide (Leuchtfarbenproblematik)*

Neben externer Strahleneinwirkung ist auch eine Bestrahlung von Körperorganen durch Aufnahme radioaktiver Stoffe in den Organismus möglich. Radioaktive Isotope haben in diesem Sinne auch einen erheblichen Anteil an der natürlichen Strahlenexposition (K-40 und Rn-222).

Neben strahlenphysikalischen Eigenschaften der Radioisotope wie physikalische Halbwertszeit und Strahlungsreichweite (Alpha-, Beta-, Gamma-Strahler), sind im Fall der Inkorporation für die räumliche und zeitliche Dosisverteilung im Körper die chemische Verbindung (Löslichkeit, Transportfähigkeit, Stoffwechsel) und das biologische Verhalten (Biokinetik) bezüglich Aufnahme, Verteilung, Stoffwechsel, Ablagerung in bestimmten Organen, Umverteilung und Ausscheidung von Bedeutung.

Als Zufuhrweg kommen Inhalation über kontaminierte Raumluft, Ingestion durch kontaminierte Hände und/oder Lebensmittel sowie direkter Blutkontakt (Injektion) über kontaminierte Wunden in Betracht.

Besonders problematisch sind Radioisotope mit langer effektiver Halbwertszeit (Kombination aus physikalischer und biologischer Halbwertszeit), die sich besonders in Organen langfristig anreichern, wo sie in Abhängigkeit von der Strahlenart auf strahlenempfindliche Gewebe bzw. Zellen einwirken können. Zu nennen sind hier die blutbildenden Knochenmarkstammzellen, die knochenbildenden Osteoblasten an den äußeren Oberflächen des Skeletts wie die Epithelzellen der Bronchiolen und Alveolen in den Lungen. Hinsichtlich langfristiger und überwiegender Verteilung in entsprechenden Organen sind besonders die Transurane und die Elemente der Erdalkalireihe – Strontium und Radiumisotope – zu benennen. Die genannten Isotope sind überwiegend Alphastrahler, wodurch zwar einerseits die Strahlungsreichweite sehr gering (ca. 30  $\mu\text{m}$ ), andererseits aber die deponierte Strahlenenergie besonders hoch ist, wenn die empfindlichen Gewebe innerhalb der Strahlungsreichweite liegen. Dies trifft gerade bei den Osteoblasten an den Knochenoberflächen und den Epithelzellen der Bronchiolen und Alveolen in den Lungen zu.

Im Gegensatz zu externer Strahlung lässt sich die Dosis im Allgemeinen nicht direkt messen. So wird in einem ersten Schritt die dem Organismus zugeführte Aktivitätsmenge des fraglichen Radionuklids bestimmt. Abhängig von der Strahlenart erfolgt dies im einfacheren Fall über externe Ganz- oder Teilkörperdirektmessung oder bei fehlender externer Nachweisbarkeit über radiochemische Ausscheidungsanalysen. In einem zweiten Schritt ergibt sich die Dosis aus der Multiplikation der abgeschätzten Aktivitätszufuhr mit einem tabellierten Dosisfaktor. Dessen Größe wird bestimmt durch die effektive Halbwertszeit und die für das Isotop relevante Organ- bzw. Gewebstoxizität. Die Dosis muss deshalb im

Einzelfall entweder als Effektivdosis und/oder Teilkörperdosis für das dosisbestimmende Organ angegeben werden, bei langlebigen Isotopen mit langjähriger biologischer Halbwertszeit muss die 50-Jahre-Folgedosis berechnet werden. Die Dosisabschätzung wird ungenauer, wenn Zeitpunkt bzw. Zeitraum sowie der Pfad der Zufuhr nicht bekannt sind. Wenn der Untersuchungszeitpunkt vom Zufuhreignis Jahre bis Jahrzehnte Abstand hat, können schließlich methodische Nachweisgrenzen der Analytik unterschritten werden.

Seit Beginn des 20. Jahrhunderts konnten Ziffernblätter und andere Instrumente durch Fluoreszenz von Radium-Salz haltigen Farbstoffen in der Dunkelheit sichtbar gemacht werden. In dieser Leuchtziffern-Industrie wurden in den USA ca. 5000 Personen, überwiegend Frauen, beschäftigt, max. 1915-30, 1945-54 und auslaufend 1974.

Es wurden entweder isoliert Ra-226 haltige Salze oder später Gemische aus Ra-226 und Ra-228 verwendet. Die Halbwertszeiten (HWZ) liegen bei 1620 Jahren resp. 5,75 Jahren, Ra-226 zerfällt u.a. zu Rn-222 mit einer HWZ von 3,8 Tagen, Ra-228 zu Rn-220 mit einer HWZ von 55,6 Sekunden. Mit Ausnahme des  $\beta$ -Strahlers Ra-228 sind alle genannten Isotope in erster Linie Alphastrahler; die Radiumisotope reichern sich als Erdalkalielemente wie Calcium im mineralischen Anteil des Skeletts an, Rn-222 wird im Skelett zu einem Anteil von etwa 0,33 retiniert und als Edelgas ausgeatmet, reichert sich aber intermittierend in lufthaltigen Räumen – etwa den Nasennebenhöhlen oder den Proc. Mastoidei (Warzenfortsätze des Schädels hinter den Ohren) an.

Die natürliche Zufuhr von Ra-226 beläuft sich nach ICRP 23 auf tgl. 2,3 pg bzw. ca. 15 Bq jährlich über die Nahrung. Bei Ingestion beträgt der Anteil der Darmresorption ca. 20 %. Mehr als 70 % des Körpergehalts von 31 pg entsprechend ca. 850 mBq sind im Knochen abgelagert. Die durchschnittliche jährliche effektive Dosis liegt bei Zufuhr von Ra-226 in normalbelasteten Gegenden bei etwa 7  $\mu$ Sv, in höher belasteten Gegenden Brasiliens bei 65 bis 250  $\mu$ Sv.

Die Zufuhr war 1925 bei den Ziffernblattmalerinnen auf tgl. 3-43  $\mu$ g Radium geschätzt worden. Die ersten Gesundheitsprobleme führten schon 1926 zu veränderten Arbeitsanweisungen: das „pointing“ - Befeuchten der Pinselspitzen mit den Lippen - wurde verboten, da es insbesondere zu Kiefernekrosen gekommen war. Des Weiteren wurden deutlich gehäuft Knochentumoren, in erster Linie Osteosarkome und Nasennebenhöhlen-Carcinome gefunden. In Übersichten von [UNSCEAR 1994] und [BEIR IV 1988] wurden bei 85 von 4775 Personen 87 Knochensarkome festgestellt bei erwarteten ca. 3 Fällen! Bei Exposition in jüngerem Alter, besonders bei noch aktivem Knochenwachstum, ergab sich ein höheres Risiko. Im wesentlichen traten die Sarkome erst oberhalb abgeschätzter Organdosen von 10 Gy auf, einzelne Fälle und ein Fall einer englischen, geringer exponierten Gruppe, allerdings ab ca. 1 Gy. Deutlich weniger klar, aber wahrscheinlich immer noch vermehrt zeigten sich andere Malignome: ein frühes Auftreten von Leukämie bei Frauen und eine Häufung von Leukämie bei Männern, allerdings gibt es hier z.T. widersprüchliche Befunde. Zusätzlich zeigten sich nicht signifikante Häufungen für die Krebsmortalität bei Colon- und Lungenkrebs sowie Multiplem Myelom; eine fragliche Assoziation besteht für Brustkrebs.

### 6.1.3 Nichtionisierende Strahlung (HF)

Die Wirkungen elektromagnetischer Felder auf biologische Systeme sind sehr vielfältig. Sie hängen im allgemeinen von der Frequenz und der Intensität der einwirkenden Felder ab. Aber auch individuelle Eigenschaften (z.B. Körpergröße) und weitere physikalische Randbedingungen (z.B. Erdung, Ausrichtung zum Feld) können sie beeinflussen.

Bei der Wirkung auf den Menschen werden drei Frequenzbereiche unterschieden:

Statische Felder

- bei statischen Magnetfeldern treten quantenelektronische und magneto-mechanische Wechselwirkungen sowie auf bewegten Leitern auch induktive Wirkungen auf.
- bei statischen elektrischen Feldern können Effekte wie Aufrichten der Haare, Elektrisierung und Entladungen auftreten.

Niederfrequente Felder (bis ca. 30 kHz)

- hier dominieren bei den akuten Wirkungen die Reizwirkungen auf Sinnes-, Nerven- und Muskelzellen

Hochfrequenz (30 kHz - 300 GHz)

- hier sind die thermischen Wirkungen vorherrschend.

Im Bereich 10 kHz - 100 kHz müssen abhängig von der Frequenz teilweise beide Wirkungen berücksichtigt werden, da beide relevante Beiträge liefern können (Abb. 6-3 und 6-4).

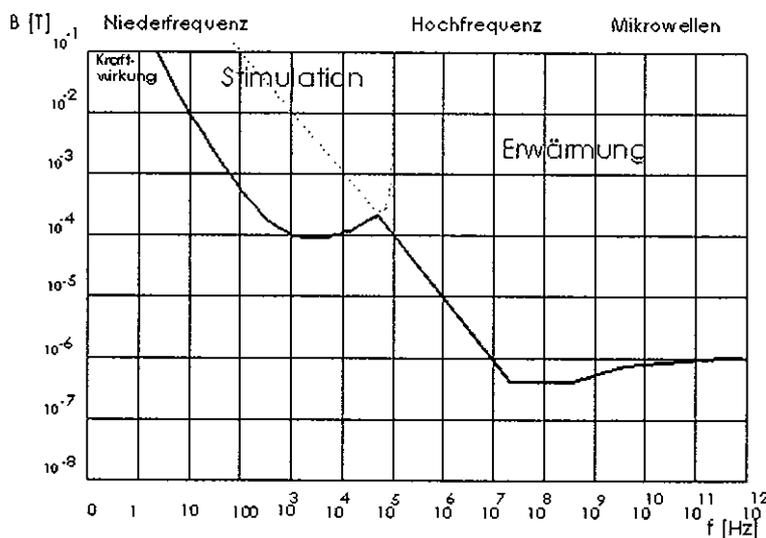


Abb. 6-3 Schematische Frequenz- und Intensitätsabhängigkeit der Reiz- und thermischen Wirkungen für die magnetische Ersatzfeldstärke B (gemessen in Tesla [T]) im Frequenzbereich 0 Hz bis 300 GHz.

Die untere Abgrenzung des Bereiches Stimulation / Wahrnehmung ist durch eine induzierte Körperstromdichte von 1 mA/m<sup>2</sup> und des Bereiches Erwärmung durch einen Ganzkörper-SAR-Wert von 0,08 W/kg gegeben.

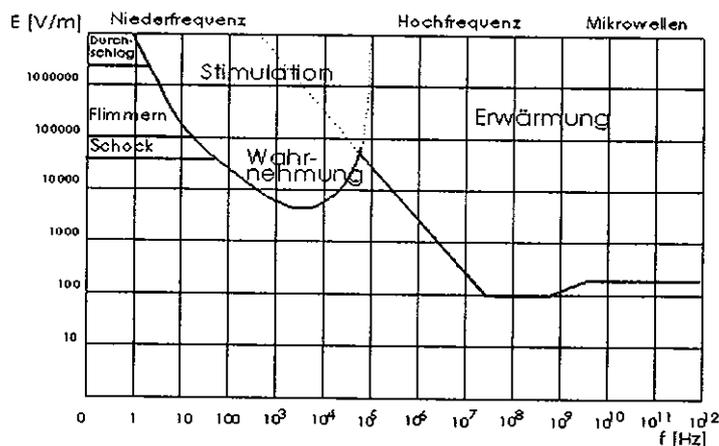


Abb. 6-4: Schematische Frequenz- und Intensitätsabhängigkeit der Reiz- und thermischen Wirkungen für die elektrische Ersatzfeldstärke  $E$  (gemessen in  $V/m$ ) im Frequenzbereich 0 Hz bis 300 GHz.

Die untere Abgrenzung des Bereiches Stimulation / Wahrnehmung ist durch eine induzierte Körperstromdichte  $1 \text{ mA/m}^2$  und des Bereiches Erwärmung durch einen Ganzkörper SAR-Wert von  $0,08 \text{ W/kg}$  gegeben.

Neben den aufgeführten Reiz- und thermischen Wirkungen werden in der Literatur weitere nichtthermische (athermische) Wirkungen beschrieben. Bei Effekten, die sich nicht als Reiz- und Wärmewirkungen einordnen lassen, wird die biologische Relevanz zur Zeit intensiv untersucht.

Das Feld kann direkt (unmittelbare Wirkungen) oder durch in leitfähigen Gebilden induzierte Ströme oder Spannungen (mittelbare Wirkungen) auf den Körper einwirken.

Über die Auswirkung von Langzeitexpositionen liegen zur Zeit wenig verlässliche Aussagen vor.

### 6.1.3.1 Hochfrequente Felder

#### 6.1.3.1.1 Direkte Feldwirkungen

##### Thermische Wirkung

Die Energie hochfrequenter elektromagnetischer Felder wird von biologischen Systemen absorbiert. Die Energieübertragung erfolgt frequenzabhängig durch verschiedene Mechanismen, hauptsächlich jedoch durch Polarisierung gebundener Ladungen, Orientierungsschwingungen permanenter Dipole (z.B. Wasser), Schwingungs- und Rotationsbewegungen innerhalb von Molekülen oder Verschiebung freier Ladungsträger. Bei diesen Vorgängen entsteht infolge von Reibungsverlusten im Gewebe Wärme. Auf molekularer und zellulärer Ebene ist die pro Zeiteinheit absorbierte Energie von den dielektrischen Materialeigenschaften und der jeweiligen Feldstärke im Material abhängig. Durch die von den Feldern im Körper ausgelösten thermischen Effekte kann es zu lokalen Erwärmungen oder zu einer Erwärmung des ganzen Körpers sowie zum Einsetzen der Temperaturregelung kommen. Weiter können Ladungsverschiebungen in der Umgebung und innerhalb einer biologischen Zelle dazu führen,

dass Membranspannungen sich ändern (die sich daraus ergebenden Reizwirkungen sind nur unterhalb von ca. 100 kHz relevant). Beide Effekte sind stark frequenzabhängig, z.B. [WHO 1993].

Der menschliche Körper stellt für das elektromagnetische Feld eine Antenne dar. Je nachdem in welchem Verhältnis die Körpergröße (auch Teile des Körpers) zur Wellenlänge steht, kann der Körper unterschiedlich gut Energie aus dem Feld aufnehmen (Abb. 6-5).

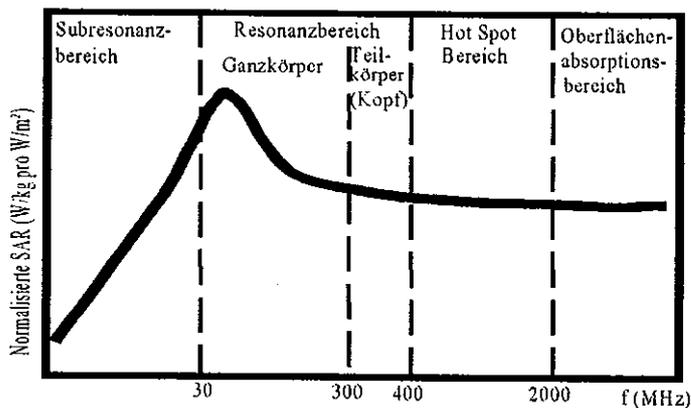


Abb. 6-5: Qualitativer Verlauf der im Körper absorbierten Leistung (SAR) durch die Absorptionscharakteristik eines Menschen. Voraussetzung: Gleiche Feldstärken für die unterschiedlichen Frequenzen

Im unteren Frequenzbereich (*Subresonanzbereich*, unterhalb von 30 MHz) nimmt die absorbierte Energie etwa mit dem Quadrat der Frequenz zu. Die Eindringtiefe dieser Felder in den menschlichen Körper ist groß. Die Verteilung der absorbierten Leistung im Körper ist sehr inhomogen. Im *Resonanzbereich* (30 - 300 MHz) sind die absorbierenden Strukturen (z.B. Größe des Menschen oder von Körperteilen) und die Wellenlänge von ähnlicher Größenordnung und der Körper kann am effektivsten Energie aus dem Feld absorbieren. Daraus folgt, dass die Resonanzfrequenzen für Kinder höher liegen als bei Erwachsenen. Oberhalb des Resonanzbereiches (400 MHz - 300 GHz) ist die Wellenlänge klein im Vergleich zu beim Menschen auftretenden geometrischen Abmessungen. Die Eindringtiefe wird immer kleiner (*Skin-Effekt*).

Tab. 6-4: *Eindringtiefe (Abschwächung auf ca. 14%) von ebenen elektromagnetischen Feldern in biologisches Gewebe mit hohem (z.B. Muskel) und niedrigen (z.B. Knochen) Wasseranteil bei 37°C nach [Lin 2000].*

Frequenz (MHz)	Eindringtiefe in Gewebe in cm	
	Hoher Wasseranteil des Gewebes	Niedriger Wasseranteil des Gewebes
27	14,3	77
433	3,6	18,3
915	2,5	12,8
2450	1,7	8,1
5800	0,8	4,7
10000	0,3	2,6

Oberhalb von 10 GHz ist die Temperaturerhöhung im Wesentlichen auf die direkte Oberfläche des Körpers begrenzt, siehe z.B. [WHO 1993] oder [Gezondheidsraad 1997].

Da die Wechselwirkung von Hochfrequenzenergie mit biologischen Objekten sehr komplex ist (z.B. durch die Abhängigkeit von äußerer und innerer Geometrie), wird bei den Betrachtungen für den Schutz von Personen das System dadurch beträchtlich vereinfacht, dass nur die Konfigurationen mit den maximalen Energieabsorptionen betrachtet werden. Bei Bestrahlung einer ganzen Person wird die absorbierte Leistung räumlich über den ganzen Körper integriert und durch die Körpermasse dividiert (Ganzkörperexposition). Diese Größe ist die durchschnittliche spezifische absorbierte Rate (SAR), in Watt pro Kilogramm [W/kg]. Werden nur Teile des Körpers bestrahlt (z.B. bei körpernahen Sendern) oder müssen Inhomogenitäten im Körper berücksichtigt werden (z.B. die Augenlinse), so ist die Verwendung lokaler SAR-Werte notwendig (Teilkörperexposition). Dabei wird über eine kleinere Masse (1, 10, 100 g) gemittelt.

Die Absorption im Körper ist abhängig von der jeweiligen Gewebeart (frequenzabhängige Gewebeleitfähigkeit in Siemens pro Meter [S/m]), was zu sehr ungleichförmigen SAR-Werten führt. Dieses kann heute mit realistischen Körpermodellen und leistungsfähigen Computerprogrammen berechnet werden. Zusätzlich wird durch die unterschiedliche Durchblutung die Wärme unterschiedlich gut abtransportiert, was zu Temperaturgradienten im Körper führen kann. Völlig andere Effekte können sich durch metallische Implantate ergeben.

Der durchschnittliche energetische Grundumsatz des Menschen beträgt ca. 1 W/kg, beim Gehen erhöht sich der Umsatz des Organismus auf 3 bis 5 W/kg. Die Einstrahlung von 4 W/kg durch elektromagnetische Felder führte bei verschiedenen Versuchen an Freiwilligen bei verschiedenen Frequenzen nach ca. 30 min zu einer durchschnittlichen Temperaturerhöhung von weniger als 1 Grad. Wie ein Organismus auf den zusätzlichen Wärmeeintrag reagiert, hängt von verschiedenen Umgebungsparametern (Temperatur, Luftfeuchte) sowie der Leistungsfähigkeit der Thermoregulation des jeweiligen Individuums ab. Der Mensch verfügt über eine Reihe von Temperatursensoren und -regelungskreisen. Um auch bei Menschen mit gestörter Thermoregulation zu keinen negativen Effekten durch die

eingestrahle Hochfrequenz zu kommen, sollte die Temperaturerhöhung nicht mehr als 0,1 bzw. 0,5 Grad betragen (Ganzkörperexposition). In lokal begrenzten Bereichen kann durch eine schlechte Durchblutung und/oder Brechung der einfallenden Welle die Temperaturerhöhung erheblich höher sein. Bei der Hochfrequenzwärmetherapie werden lokal SAR-Werte von 10 bis 50 W/kg (Teilkörperexposition) verwendet, um das betreffende Gewebe aufzuwärmen und so einen therapeutischen Effekt zu erzielen. Die in Tierversuchen ermittelte Letaldosis ist abhängig von der Tierart, der Frequenz, der Leistungsflussdichte, der Raumtemperatur und der Einwirkdauer.

Für die Frequenzen im Resonanzbereich (30 – 300 MHz) ist die Oberflächenwahrnehmung von Wärme und Hitzeschmerz ein unzuverlässiger Indikator, da die Energie hauptsächlich in den tieferen Schichten, d.h. unterhalb der Hautrezeptoren für Wärme, absorbiert wird.

Bei Frequenzen im GHz-Bereich wird die Erwärmung zuverlässig durch die Hautrezeptoren angezeigt. Die Wahrnehmungsschwelle der Haut für eingestrahle elektromagnetische Felder ist sehr frequenzabhängig und beträgt ca. 130 – 600 W/m<sup>2</sup> sowohl für kontinuierliche wie gepulste Strahlung. Die Zeitverzögerung bis zur Wahrnehmung kann mehrere Sekunden betragen. Die Schmerzgrenze liegt etwa zwei Größenordnungen höher [Gezondheidsraad 1997].

Bei Bestrahlung von Tieren durch elektromagnetische Felder zeigte sich, dass bei einem mittleren SAR-Wert von 4 W/kg schon Temperaturerhöhungen in Teilen des Körpers auftreten, es aber zu keiner Erhöhung der Körperkerntemperatur kommt. Bei Affen wurden wärmeregulierende Prozesse des Gesamtkörpers beobachtet, wenn die Temperatur am Hypothalamus um 0,2 °C ansteigt. Gesundheitsrelevante thermische Wirkungen unter 3 - 4 W/kg (Ganzkörperexposition) sind in der Literatur nicht beschrieben [WHO 1993], [ICNIRP 1998]. Die Beobachtung von Verhaltensänderungen bei Tieren wurden dagegen schon bei SAR-Werten von 0,3 – 0,7 W/kg (Ganzkörperexposition) beschrieben.

Eine in der Forschung noch diskutierte Frage ist, ob es neben dem „akustischen Effekt bei gepulster Strahlung“ (siehe unten) weitere mikrothermische Effekte bei geringeren Strahlungsleistungen und/oder bei gepulster Strahlung gibt und welche Wirkungen diese haben könnten.

### **Akustische Effekte bei gepulster Strahlung**

Durch Brechung kann es im Frequenzbereich von 400 - 6500 MHz zu räumlich eng begrenzten Erwärmungen im Körper kommen (*Hot Spots*). Das Phänomen des "Hörens" von pulsförmig amplitudenmodulierter Hochfrequenzstrahlung (1 - 500 µs-Pulse), wie sie bei Radarstrahlung im Frequenzbereich von 200 - 6500 MHz auftreten kann, kann ebenfalls durch thermisch ausgelöste Effekte erklärt werden, auch wenn dabei der Temperaturanstieg nur  $5 \times 10^{-5}$  Grad beträgt. Die Größe des Effektes ist stark abhängig von der Frequenz, der Intensität und der jeweiligen Pulsfrequenz. Bei Menschen beträgt die Auslöseschwelle ca. 16 mJ/kg pro Puls. Bei 2,45 GHz liegt die Hörschwelle für diesen Effekt (Pulsbreiten von 1- 32 µs) bei Spitzenimpulsflussdichten zwischen 10 und 400 kW/m<sup>2</sup>. In Tierstudien wurden Auslöseschwellen bis 0,9 mJ/kg gefunden. Mit kontinuierlicher Mikrowelleneinstrahlung konnte nie ein Hörereignis hervorgerufen werden [Gezondheidsraad 1997]. Eine gesundheitliche Relevanz dieses akustischen Phänomens ist nicht bekannt.

**Auge**

Auf Grund der schlechten Fähigkeit des Auges Wärme wieder abzugeben, kann es durch die Einstrahlung elektromagnetischer Felder leicht zu signifikanten Temperaturerhöhungen kommen (Abb. 6-6).

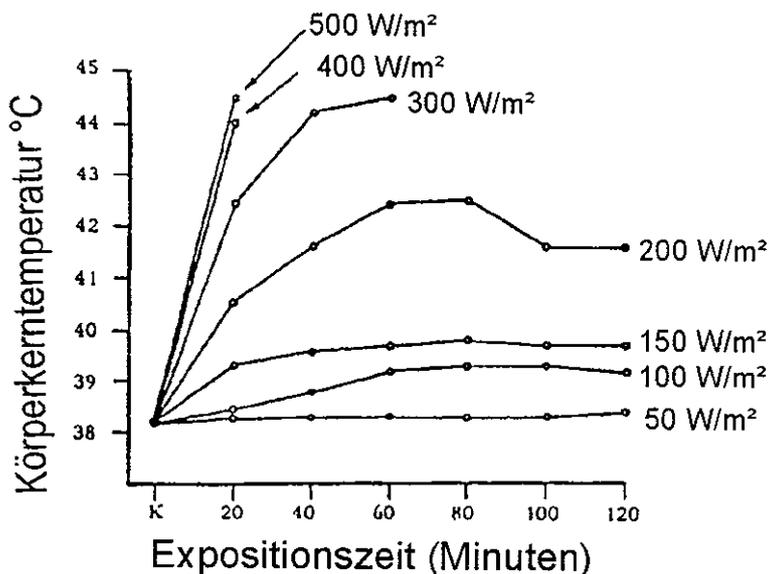


Abb. 6-6: Körperkerntemperatur in Abhängigkeit von der eingestrahnten Leistungsflussdichte

Inwieweit elektromagnetische Felder bei akuter Exposition einen Katarakt in der Linse auslösen können, ist in der Literatur häufiger untersucht worden. Verschiedene Expositionsbedingungen müssen dabei unterschieden werden. Unter 1,5 GHz sind die Abmessungen des Auges zu klein für lokale Feldkonzentrationen. Oberhalb von 10 GHz ist die Eindringtiefe auf Grund des „skin-Effektes“ zu gering, um zu einer ausreichenden Leistungsabsorption in der Linse zu führen, die Leistung wird dann schon in der Hornhaut absorbiert.

Bei Leistungsflussdichten von mehr als 1500 W/m² (SAR ca. 100 W/kg Teilkörperexposition) über einige Minuten bis einigen Stunden kommt es bei Kaninchen in der Augenlinse zur Kataraktbildung. Dabei steigt die Temperatur in der Linse auf 41 - 42 °C. Bei Ratten konnte mit 100 W/m² (2,45 GHz) ein Temperaturanstieg von ca. 1 Grad in der Linse erreicht werden. Ab 200 W/m² wurden nach 20 min 40 °C überschritten [Djordjevic 1983]. Bei Versuchen an Affen konnten unter 5000 W/m² keine Katarakte ausgelöst werden [WHO 1993].

Bei den meisten der zu dieser Fragestellung durchgeführten epidemiologischen Studien konnte kein Unterschied zwischen exponierten und nicht exponierten Gruppen gefunden werden. Dabei war die exponierte Gruppe von 2 W/m² bis 60 W/m² bzw. 100 W/m² (Ganzkörperexposition) exponiert [Siekierzynski 1974], [Appleton 1975], [Shacklett 1975], [Djordjevic 1983]. Bei medizinisch gesicherten Katarakten wurde die zugehörige Exposition auf über 1000 W/m² (Teilkörperexposition) abgeschätzt [WHO 1993]. Diese Leistungsflussdichte liegt aber in der Regel oberhalb der Wahrnehmungsschwelle für die Erwärmung.

Bei der Untersuchung von Berufserkrankungen wurde in 3 Fällen der Zusammenhang zwischen einer lang andauernden Exposition mit Leistungsflussdichten im Bereich von 10 -

100 W/m<sup>2</sup> und den Auftreten von Linsentrübungen als wahrscheinlich erachtet [Issel 1981]. Bei einer Untersuchung an den Arbeitern einer schwedischen Fabrik zur Wartung von Mikrowellengeräten fanden [Aurell 1973] vermehrt Katarakte und Veränderungen an der Retina. Für diese Untersuchungen gibt es keine Angaben zur Dosimetrie.

Nach der Exposition von Affen mit gepulsten elektromagnetischen Felder (mittlere Leistung 2,6 W/kg) haben Kues und Mitarbeiter [Kues 1985] einen histologisch gesicherten Anstieg von Gefäßundichtigkeiten in der Iris beobachtet.

Ob bei chronischer Exposition oder bei gepulster Strahlung auch bei niedrigeren Leistungsflussdichten als 1000 W/m<sup>2</sup> schon Effekte am Auge auftreten, ist noch nicht abschließend geklärt.

### **Zeugungsfähigkeit**

Es ist bekannt, dass Wärme, wie sie auch durch elektromagnetische Felder verursacht wird, die Zeugungsfähigkeit reduzieren kann.

In Tierexperimenten (Primaten) wurde bei verschlechterter Thermoregulation (narkotisierte Tiere) ein Effekt (reduzierte Spermienanzahl etc.) erst oberhalb 30 W/kg und Expositionszeiten von 30 Minuten gefunden. Bei gepulsten Feldern betrug die Schwelle 8 - 10 W/kg [Gezondheidsraad 1997].

In einigen Arbeiten aus dem ehemaligen Ostblock z.B. [Lancranjan 1975] wurden Effekte (Libidoverlust, Reduktion der Spermienanzahl etc.) schon ab Feldstärken von 100 µW/m<sup>2</sup> (3,6 - 10 GHz) aufgezeigt, die dabei verwendete Dosimetrie war aber sehr fraglich. In drei aktuellen Untersuchungen an Soldaten zeigte sich, dass nur bei der am höchsten exponierten Gruppe ein statistisch signifikanter Effekt sichtbar war. Da die Exposition der US-Soldaten in den Arbeiten von Schrader [Schrader et al.1998] und Weyandt [Weyandt et al.1996] der militärischen Geheimhaltung unterlag, kann keine Angabe zu der zugehörigen Schwellendosis gemacht werden. Die Radaranlagen, bei denen ein Effekt gezeigt wurde, wurden als Aufklärungsradaranlagen „intelligence radar“ bezeichnet. In der dänischen Arbeit von [Hjollund 1997] bei einer Einheit mit Raketen-Zielverfolgungsradars wurden bei mittleren Expositionen von 0,1 W/m<sup>2</sup> keine Effekte auf die Zeugungsfähigkeit gefunden. Bei dieser Frage besteht daher noch ein wissenschaftlicher Klärungsbedarf.

Die Daten für eine Beeinflussung der Zeugungsfähigkeit sind nicht eindeutig.

### **Kreislaufkrankungen**

Die in der wiss. Literatur veröffentlichten Arbeiten zum Zusammenhang zwischen HF-Exposition und Blutdruck und anderen für Kreislaufkrankungen relevanten Parameter sind sehr inkonsistent und es sprechen mehr Arbeiten gegen einen Zusammenhang als dafür.

### **Durchlässigkeit der Blut-Gehirnschranke**

Im Zusammenhang mit Erkrankungen des Zentralnervensystems wird immer wieder auch die erhöhte Durchlässigkeit der Blut-Gehirnschranke unter Feldeinwirkung diskutiert. In mehreren Untersuchungen wurde gezeigt, dass wenn die Versuchstiere auf über 40°C erwärmt wurden (durch HF oder heiße Luft), die Sperrwirkung der Blut-Gehirnschranke nachließ, z.B. [Merrit 1978]. Lange und Sedmak [Lange et al. 1991] zeigten, dass bei Mäusen nach einer Körperkerntemperaturerhöhung von 1,5°C durch HF die Anfälligkeit für eine Virusinfektion des Gehirns anstieg.

### **Folgerung für HF-veränderte Durchlässigkeit der Blut-Gehirnschranke**

Bei sehr hohen Feldstärken weit über 4 W/kg besteht ein Zusammenhang zwischen der Exposition und der Durchlässigkeit der Blut-Gehirnschranke. In der Regel können aber so hohe Feldstärken, außer in der Hyperthermie, ausgeschlossen werden. Bei geringeren Feldstärken reichen die wissenschaftlichen Befunde für einen Beweis zur Zeit nicht aus. Bei den an den fraglichen Radaranlagen zu erwartenden Feldstärken ist eine Beeinflussung der Blut-Hirn-Schranke unwahrscheinlich.

#### **6.1.3.1.2 Zelluläre und molekularbiologische Effekte sowie tierexperimentelle Untersuchungen zur Karzinogenität**

Genotoxische Wirkungen beruhen auf molekularen Veränderungen der Desoxyribonukleinsäure (DNS). Sie werden entweder durch Ionisationen oder Anregungen der elektronischen Niveaus des Moleküls und sich anschließenden photochemischen Prozessen (Pyridindimere nach UV) bewirkt. Voraussetzung für diese Prozesse ist eine hinreichende Größe der Quantenenergie der verursachenden Strahlung. Sie liegt bei ionisierenden Strahlen im Bereich von Tausenden Elektronvolt (eV), bei ultravioletten Strahlen, deren carcinogene Wirkung ebenfalls gut belegt ist, 4-8 eV und mehr. HF-Strahlung, wie sie z.B. beim Mobilfunk oder auch bei RADAR benutzt wird, hat Quantenenergien im Bereich 1/1000 bis 1/10 eV, also um mindestens eine Größenordnung niedriger als die oben erwähnten energiereicheren Strahlen. Eine direkte genotoxische Wirkung erscheint daher schon aus physikalischen Gründen ausgeschlossen. Neben der direkten genotoxischen Wirkung können Agentien auch als promovierend oder co-promovierend an der Krebsentstehung, dem Krebswachstum oder der Metastasenbildung beteiligt sein.

Bei sehr hohen Expositionen mit HF-Strahlung, die eine Erhöhung der Temperatur von mehr als 1° C in den Zelle verursacht, wurde konsistent in einer größeren Anzahl von Arbeiten eine Erhöhung der Mikrokernrate gefunden. Auch bei Untersuchungen zu Chromosomenaberrationen gibt es einige Untersuchungen, die Wirkungen im thermischen Bereich zeigen. Diese Untersuchungen sind aber noch nicht unabhängig wiederholt worden.

Bei Feldstärken, die keine relevante Temperaturerhöhung (nichtthermischer Bereich) verursachen, liegen keine konsistenten Daten vor. Es sprechen mehr Arbeiten gegen einen Zusammenhang als dafür. Dieses Thema ist zur Zeit aber noch Gegenstand der laufenden Forschung.

Auch die Untersuchungen zu Zellwachstum, Zellzyklus, Gen-Expression, Protein-Expression und Veränderung der Transformationsfrequenz sind in ihren Ergebnissen sehr widersprüchlich und lassen nach dem heutigen Stand der Wissenschaft keine belastbaren Aussagen zu.

Auch Langzeit-Tierexperimente erlauben keine klaren Aussagen zu einer möglichen Erhöhung der Tumorrates. Bei Untersuchungen, in denen Tieren Tumorzellen injiziert wurden, gab es eine Reihe von Experimenten, die eine Veränderung der Wachstumsrate und der Überlebensrate der Tumorzellen bei Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Felder bei Feldstärken im thermischen Bereich zeigten. Im nichtthermischen Bereich gibt es kein klares Bild.

Das Thema der Krebspromotion durch hochfrequente elektromagnetische Felder ist zur Zeit Gegenstand der aktuellen wissenschaftlichen Forschung, es kann aber dazu jetzt noch keine abschließende Aussage getroffen werden; es gibt es nur wenige Übersichtsarbeiten, die zudem oft nur Teilaspekte behandeln, z.B. [Juutilainen 1997], [Verschaeve 1998].

Untersuchungen mit spezifischer Radarstrahlungsexposition sind nicht bekannt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass allenfalls bei sehr hohen Feldstärken, die zu SAR-Werten über 4 W/kg führen, ein Zusammenhang zwischen der Exposition durch HF und Krebspromotion möglich sein könnte. In der Regel können aber so hohe Feldstärken, außer in der Hyperthermie, ausgeschlossen werden. Bei geringeren Feldstärken überwiegen die Arbeiten, die gegen einen Zusammenhang sprechen.

### 6.1.3.2 *Epidemiologische Studien*

#### 6.1.3.2.1. *Zur Problematik elektromagnetischer Felder als Risikofaktoren in epidemiologischen Studien*

Die Beurteilung epidemiologischer Studien zum Zusammenhang zwischen elektromagnetischen Feldern (EMF) und Malignomen stößt auf eine Reihe von Problemen:

1. Der pathophysiologische Mechanismus für die Initiation oder Promotion von Malignomen durch elektromagnetische Felder ist unklar. Bislang fehlt auch ein reproduzierbares Tiermodell.
2. Es ist fraglich, ob die bei niederfrequenten elektromagnetischen Feldern (NF) in einer Vielzahl von epidemiologischen Studien beobachteten Effekte einen Schluss auf vergleichbare Effekte durch hochfrequente Felder (HF) erlauben. Es liegen zwar eine Reihe epidemiologischer Studien zu Expositionen gegenüber NF vor, aber auch diese sind wegen der Problematik der Expositionserfassung für die Risikobewertung bisher nicht eindeutig.
3. Die Ermittlung der Exposition gegenüber EMF ist z.T. mit erheblichen Unsicherheiten belastet. Als Ersatz-Maße für die direkte Messung von EMF dienen häufig Tätigkeitsbeschreibungen (Job Title) bzw. daraus abgeleitete Job-Exposure-Matrizen (JEM). Wenige Studien, sowohl in der Abschätzung von EMF im häuslichen Umfeld als auch am Arbeitsplatz können auf Messungen zurückgreifen. Als exzeptionell muss der von Floderus und Koautoren [Floderus et al. 1996] gewählte Weg gelten, für 90% der in Schweden üblichen Tätigkeiten durch eine Vielzahl von Individual-Messungen eine JEM zu erstellen.
4. Es sind relativ wenige Meta-Analysen und systematische Reviews verfügbar, die sich ausschließlich mit niederfrequenten Feldern befassen [Kheifets et al. 1995], [Hardell et al. 1995], [Kheifets et al. 1997], [Angelillo et al. 1999], [Ahlbom et al. 2001], [Erren 2001], [IARC 2001]. Diese weisen z.T. Lücken und methodische Defizite auf.
5. Für hochfrequente elektromagnetische Felder sind bislang relativ wenig belastbare epidemiologische Studien publiziert worden.

Die umfassendste Evaluation für NF wurde durch die IARC 2001 veröffentlicht. Für niederfrequente elektromagnetische Felder kam die IARC-Arbeitsgruppe zu der Gesamtbeurteilung, dass sie möglicherweise humancarcinogen seien ("possibly carcinogenic to humans (Group 2B)"). Diese Beurteilung wird gestützt auf "eingeschränkte Evidenz" ("limited evidence") für einen Zusammenhang zu kindlichen Leukämien und unzureichende Evidenz ("inadequate evidence") für **alle** anderen Tumoren. Da niederfrequente Felder im Rahmen der Beurteilung des Radarrisikos höchstens von untergeordneter Bedeutung sind, wird hier auf eine detailliertere Darstellung verzichtet, sie ist im Anhang dokumentiert.

**6.1.3.2.2 Spezifische epidemiologische Studien zu hochfrequenten EMF, Fall-Kontroll-Studien zum Malignom des ZNS, der Augen und der Hoden**

Zu hochfrequenten EMF liegen bislang relativ wenige epidemiologische Studien vor, die belastbare Schlussfolgerungen erlauben, jedoch keine übergreifende Meta-Analyse. Im Folgenden werden einige neuere Arbeiten diskutiert.

**Kohortenstudien**

Bis Ende 2002 wurden die Ergebnisse von neun Kohortenstudien zu den gesundheitlichen Risiken durch die Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern veröffentlicht. Diese Studien werden kurz dargestellt und insbesondere über auffällige Ergebnisse, zumeist erhöhte Erkrankungsrisiken, berichtet.

Die Artikel zu den Kohortenstudien wurden in den Literaturdatenbanken Medline, CancerLit und HealthStar und der EMF-Datenbank der WHO recherchiert.

Tab 6-5 : Kohortenstudien

Studie	Kohorte	Exposition	Outcome	Methode
Groves et al. 2002 USA	Angehörige der US-Marine 40.890 Männer 1950/54 – 1997	- Mikrowellenbereich (Radaranlagen) - Hoch und gering exponierte Gruppe - keine Information zur individuellen Exposition	Mortalität nach Todesursache	SMR, RR interne Vergleich und externe Vergleiche (mit altersspezifischen Todesursachen weißer Männer)
Morgan et al. 2002 USA	Beschäftigte bei Motorola 195.775 Personen (2,7 Mil. Personenjahre) 1976 - 1996	- Hochfrequenz (kabellose Kommunikationstechnologien) - 4 Gruppen nach Berufsbezeichnung, Dauer der Exposition - qualitative JEM, keine Information zur individuellen Exposition	Gesamtmortalität und Mortalität differenziert nach Kreberkrankungen	SMR, RR interne und externe Vergleiche
Finkelstein 1998 Kanada	Polizisten aus Ontario 22.197 Männer 1970 - 1995	- Mikrowellenbereich (Handrargeräte zur Tempomessung) - Jahre der Beschäftigung / Aufnahme der Polizeiwache in d. Studie - keine Information zur individuellen Exposition	Krebsinzidenz	SIR externe Vergleiche
Lagorio et al. 1997 Italien	Angestellte e. Kunststoffverarbeit. Firma 481 Frauen (10.609 Personenjahre) 1962 - 1992	- Hochfrequenz (dielektrische Plastikschweißmaschinen) - Hoch und gering exponierte Gruppe, Dauer der Beschäftigung - keine Information zur individuellen Exposition	Gesamtmortalität und Mortalität differenziert nach Kreberkrankungen	SMR interne und externe Vergleiche
Tynes et. al 1996 Norwegen	Funkrinnen auf Handelsschiffen 2.169 Frauen (72.105 Personenjahre) 1961-1991	- Hochfrequenz, künstliche Beleuchtung und z.T. Niederfrequenz - Punktmessungen der Exposition, Dauer der Beschäftigung - keine Information zur individuellen Exposition	Brustkrebsinzidenz und Krebsinzidenz anderer Lokalisationen	SIR, OR interne und externe Vergleiche
Szmigielski	Angehörige der polnischen	- Hochfrequenz und Mikrowellenbereich	Krebsmorbidität	OER

Tab 6-5 : Kohortenstudien

Studie	Kohorte	Exposition	Outcome	Methode
1996 Polen	Armee 128.000 Männer im Durchschnitt pro Jahr 1971 - 1985	- Hoch und gering exponierte Gruppe - keine Information zur individuellen Exposition		interne Vergleiche
Muhm 1992 USA	Beschäftigte elektromag. Puls- Test-Prog. 304 Männer (3.362 Personenjahre) 1970-1986	- Elektromagnet. Impulse ähnlich wie nach Atombombenexplosion - Mindestens 30 Tage pro Halbjahr potenziell exponiert - keine Information zur individuellen Exposition	Mortalität nach Todesursache	SMR externe Vergleiche
Tynes et al. 1992 Norwegen	Beschäftigte der Elektroindustrie 37.945 Männer (824.321 Personenjahre) 1961 - 1985	- Hochfrequenz und Niederfrequenz - fünf Expositionskategorien nach Beruf gemäß Berufszensus - keine Information zur individuellen Exposition	Krebsinzidenz (Leukämie und Hirntumore)	SIR interne und externe Vergleiche
Milham 1988 USA	Amateurfunker 67.829 Männer (232.499 Personenjahre) 1979-1984	- Hochfrequenz - gültige Lizenz gilt als Indikator für die Exposition - keine Information zur individuellen Exposition	Mortalität nach Todesursache	SMR externe Vergleiche
Robinette et al. 1980 USA	Angehörige der US-Marine 40.890 Männer 1950/54 - 1974	- Mikrowellenbereich (Radaranlagen) - Hoch und gering exponierte Gruppe - keine Information zur individuellen Exposition	Mortalität nach Todesursache Hospitalisierungen	MR (observed/expected) interne Vergleiche

### **Arbeiterinnen an dielektrischen Plastiksweißmaschinen (Italien)**

[Lagorio et al. 1997] untersuchten den Einfluss der Hochfrequenz (HF)-Strahlung dielektrischer Plastiksweißmaschinen auf die Krebsmortalität von Beschäftigten in einer kunststoffverarbeitenden Firma in Italien. In die Studie wurden alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aufgenommen, die zwischen dem 1. Oktober 1962 (Beginn der Produktion) und dem 30. September 1992 eingestellt wurden. Die Kalkulation der Personenjahre basierte auf dem Zeitraum zwischen der Aufnahme der Beschäftigung und dem Ende der Studie, dem 30. Dezember 1992.

Die Auswertungen wurden auf 481 beschäftigte Frauen (10.609 Personenjahre) beschränkt, da in der Firma fast ausschließlich Frauen im exponierten Produktionsbereich beschäftigt wurden und zudem zu mehr als drei Viertel aller Personenjahre beitrugen. Die Exposition wurde durch die Zeitdauer der Beschäftigung in drei Berufsgruppen (Arbeiterinnen an Plastiksweißmaschinen, Arbeiterinnen mit anderen Tätigkeiten, Angestellte) definiert. Die Subkohorte der Angestellten wurde aufgrund der geringen Zahl von 29 Frauen bei den Auswertungen nicht berücksichtigt. Von den verbleibenden 452 Frauen waren 302 aufgrund ihrer Tätigkeiten an Plastiksweißmaschinen mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern exponiert.

Verglichen mit den Mortalitätsraten der Region findet sich eine erhöhte Mortalität in der hochfrequenzbelasteten Subkohorte bei malignen Neoplasien (SMR: 2,0; 95 % Konfidenzintervall [CI]: 0,7-4,3), Unfällen (SMR: 2,4; 95 % CI: 0,3-8,7) und bei allen Todesursachen (SMR: 1,4; 95 % CI: 0,7-2,7). Die SMR aller Todesursachen unterscheidet sich dabei aber nicht von der SMR der Frauen, die nicht an diesen Maschinen arbeiten (SMR: 1,3; 95 % CI: 0,4-3,1).

Sowohl die Größe der Kohorte als auch die geringe Zahl der Verstorbenen (n=14) sprechen für eine sehr geringe Power der Studie. Für 5 Frauen, die nicht bis zum Studienende verfolgbar waren (lost to follow-up), wurde angenommen, dass diese am Ende der Studie noch leben. Diese Annahme kann zu einer Verzerrung der Ergebnisse führen, da nicht ausgeschlossen werden kann, dass eine oder mehrere dieser Frauen doch an einer Krebserkrankung verstorben sind. Außerdem führt diese Annahme zu einer geringen Überschätzung der Personenjahre unter Risiko.

Informationen zur Vollständigkeit der Personalakten (Daten der Beschäftigung) liegen nicht vor. Die individuelle Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern wurde nicht bestimmt. Stattdessen wurden drei Berufsgruppen und die Dauer der Berufstätigkeit zur Expositionsabschätzung genutzt. Die Exposition mit krebserregenden Vinyl-Dämpfen wurde bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

### **Amateurfunker (USA), Funkerinnen auf Handelsschiffen (Norwegen)**

Die möglichen Auswirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder von Funkgeräten waren in zwei Studien Gegenstand der Untersuchung [Milham 1988], [Tynes et al. 1996]. In den USA wurden in einer Kohorte aus 67.829 registrierten Amateurfunkern (232.499 Personenjahre) der amerikanischen Bundesstaaten Washington und Kalifornien für den Zeitraum von 1979 bis 1984 2.485 verstorbene Männer identifiziert. Frauen wurden aufgrund der geringen Zahl an Funklizenzen von der Analyse ausgeschlossen. Der Zeitraum vom Tag der Lizenzierung bis zum 31. Dezember 1984 bzw. dem Todestag war die Grundlage zur Bestimmung der Personenjahre „at risk“. Alle Personen mit gültiger Lizenz wurden als

exponiert angesehen. Die Todesursachen der verstorbenen männlichen Funker wurden der Todesursachenstatistik der oben genannten Bundesstaaten gegenübergestellt.

Die Zahl der Fälle war ausreichend, um bei den bösartigen Neubildungen nach betroffenen Organen/Geweben zu differenzieren. Die Gesamtmortalität bei den Amateurfunkern war deutlich geringer als in der Vergleichspopulation (SMR: 0,71; 95 % CI: 0,69-0,74). Ein erhöhtes Mortalitätsrisiko fand sich bei den Neubildungen des lymphatischen und blutbildenden Gewebes (SMR: 1,23; 95 % CI: 0,99-1,52) sowie in den Untergruppen Leukämie (SMR: 1,24; 95 % CI: 0,87-1,72), akute myeloische Leukämie (SMR: 1,76; 95 % CI: 1,03-2,85) und bei sonstigen Neubildungen des lymphoiden Gewebes.

Informationen zum Alter der Mitglieder der Kohorte wurden nicht gegeben; dies trotz der Tatsache, dass diese Daten bei der Lizenzvergabe erfasst wurden und somit verfügbar waren.

Für alle lizenzierten Amateurfunker wurde eine Exposition angenommen. Hier bleibt jedoch unklar, wie viele der Amateurfunker tatsächlich senden oder den Funkverkehr nur abhören, da beim reinen Abhören des Funkverkehrs keine Exposition auftritt. Es ist unbekannt, wann eine Person das erste Mal eine Lizenz bekam und damit, seit wie vielen Jahren eine Exposition bestand. Alternativ hätte eine Differenzierung nach Lizenzklassen als ein grober Schätzer dienen können.

Eine Verzerrung der Ergebnisse kann nicht ausgeschlossen werden, da rund 30 % der Amateurfunker, aber nur 3 % der zu Vergleichszwecken herangezogenen Bevölkerung in verschiedenen Bereichen der Elektroindustrie arbeiten und damit potenziell nieder- und hochfrequenten Feldern ausgesetzt sind. Hier hätte ein zusätzlicher interner Vergleich einen Aufschluss über das Ausmaß einer möglichen Verzerrung geben können.

In der zweiten Studie [Tynes et al. 1996] wurde die Inzidenz von Brustkrebs bei Frauen bestimmt, die auf Handelsschiffen beruflich im Schichtdienst mit Funkgeräten und/oder Fernschreibern arbeiteten und zudem nachts künstlicher Beleuchtung ausgesetzt waren. Die Studie untersuchte drei Kohorten, die sich in ihrer Zusammensetzung zum Teil überschneiden. Zudem war in die Studie eine Fall-Kontrollstudie eingebettet.

Im Folgenden werden einige Ergebnisse der so genannten Telekom-Kohorte, der umfangreichsten der drei Kohorten, und der eingebetteten Fall-Kontrollstudie dargelegt. Die Kohorte bestand aus 2.619 Frauen (72.105 Personenjahre), die zwischen 1920 und 1980 zertifiziert wurden. Im Zeitraum des Follow-ups von 1961 bis 1991 traten 140 neue Krebsfälle auf. Die Studie fand erhöhte SIRs für die gesamten bösartigen Neubildungen (SIR: 1,2; 95 % CI: 1,0-1,4) sowie der Untergruppe Brustkrebs (SIR: 1,5; 95 % CI: 1,1-2,0). Die errechneten SIRs basieren auf der weiblichen Bevölkerung Norwegens als Referenz.

Im Rahmen einer eingebetteten Fall-Kontrollstudie wurden interne Vergleiche durchgeführt. 50 Frauen mit einer Krebserkrankung wurden mit jeweils 4 bis 7 Kontrollen gematcht. Detaillierte Angaben zur Berufsbiographie standen mit dem sogenannten „Matrosen-Register“ zur Verfügung.

Die Dauer der beruflichen Tätigkeit bzw. Schichtarbeit wurden als Exposition definiert und nach der Expositionsdosis (in Jahren) in jeweils drei Kategorien unterteilt. Für Frauen in einem Alter von 50 Jahren und älter fand sich eine Dosis-Wirkungsbeziehung zwischen dem Brustkrebsrisiko und der Dauer der Beschäftigung in Jahren (keine Beschäftigung OR: 1,0; bis 3,2 Jahre OR: 1,9; länger als 3,2 Jahre OR: 5,9; p für Trend: 0,02) sowie zwischen dem Brustkrebsrisiko und Schichtarbeit (keine Schichtarbeit OR: 1,0; bis 3,1 Jahre OR: 3,3; länger als 3,1 Jahre OR: 6,1; p für Trend: 0,01). Nach einer wechselseitigen Adjustierung war die Trendberechnung jedoch nicht mehr statistisch signifikant.

**Polizisten (Kanada) / Techniker bei der Marine I (USA) / Techniker bei der Marine II (USA)**

Zu den gesundheitlichen Auswirkungen von Strahlungen im Mikrowellenbereich (Radar) liegen drei Untersuchungen vor. In einer kanadischen Studie [Finkelstein 1998] wurde an 1.596 Polizistinnen und 20.601 Polizisten untersucht, ob diese Berufsgruppe eine erhöhte Zahl von Krebserkrankungen hat. Als mögliche Ursache wurde die Strahlung von Hand-Radargeräten zur Geschwindigkeitsmessung angesehen. Die Aufnahme in das von 1970 bis 1995 laufende Follow-up erfolgte entweder anhand des Einstellungsdatums oder zu dem Zeitpunkt, an dem eine Polizeistation auch ihre ehemaligen Mitarbeiter vollständig identifizieren konnte. Für die Stationen, die nur Daten von aktuell beschäftigten Polizisten liefern konnten, wurde das Eintrittsdatum auf den 1. Januar 1992 festgelegt. Aufgrund der Geschlechterverteilung beschränkten sich die Auswertungen auf die männlichen Teilnehmer. Für studieninterne Vergleiche wurden zwei Gruppen gebildet: Personen, deren Follow-up weniger als 10 Jahre dauerte, und Personen mit einem Follow-up von 10 Jahren und mehr. Für die Bestimmung der SIR wurden bevölkerungsbezogene Daten als Referenz genutzt.

Die berufliche Tätigkeit galt als Exposition, eine genauere Abschätzung der Exposition erfolgte nicht. Die Polizisten erkrankten - bei 561 Fällen während des Follow-ups - weniger häufig an Krebs als die Bevölkerung insgesamt (SIR: 0,90; 90 % CI: 0,83-0,98). Dieses Ergebnis wird von den Autoren auf einen „healthy worker effect“ zurückgeführt, da unter anderem der Anteil an Rauchern unter den Polizisten deutlich niedriger als in der Allgemeinbevölkerung ist. Ein erhöhtes Risiko fand die Studie für bösartige Neubildungen der Prostata (SIR: 1,16; 90 % CI: 0,93-1,43), für Hodenkrebs (SIR: 1,3; 90 % CI: 0,89-1,84) und für Melanome (SIR: 1,45; 90 % CI: 1,10-1,88).

Problematisch ist, dass nicht alle Polizeistationen an der Studie teilnahmen. Aufgrund dieser Selbstselektion kann eine Verzerrung der Ergebnisse nicht ausgeschlossen werden. Zudem war zum Zeitpunkt der Publikation nicht bekannt, wie viele der Polizisten die Radargeräte nie, gelegentlich oder häufig benutzt haben.

Da das Krebsregister von Ontario mehrere Neubildungen beim selben Individuum registriert, wurden Personen mit einer Krebserkrankung weiter beobachtet mit der Annahme, für weitere Krebserkrankungen unter Risiko (at risk) zu stehen. Dies macht einen Vergleich der Ergebnisse mit den Ergebnissen anderer Inzidenzstudien unmöglich.

Von Robinette et al. (1980) wurde eine Studie mit 40.890 Angehörigen der amerikanischen Marine durchgeführt, die während der Zeit des Korea Krieges gedient hatten. Die Dauer des Follow-up lag bei rund 20 Jahren (1950/54 – 1974).

Auf der Basis von Messungen, die die Marine auf Schiffen durchgeführt hatte, wurden zur Bestimmung der Effekte einer Exposition mit Radar zwei Subkohorten von jeweils rund 20.000 Personen aus jeweils drei Tätigkeitsgruppen gebildet: Die Gruppen Elektrotechniker (Reparatur von Radareinheiten), „Feuerkontroll-Techniker“ und Elektrotechniker aus dem Bereich Luftfahrt mit maximaler Exposition, sowie Funker, das Bedienungspersonal von Radaranlagen und Bord-Elektriker aus der Luftfahrt mit potenziell minimaler Exposition.

Die potenzielle Exposition wurde über die Zugehörigkeit zu den oben genannten Berufsgruppen und mit so genannten „hazard numbers“ geschätzt. Diese „hazard number“ definiert sich aus der Summe aller Werte (power ratings) der an Bord eines Schiffes befindlichen Radaranlagen multipliziert mit der Zahl der Dienstmonate auf diesem Schiff. Ein Vergleich innerhalb der potenziell hochexponierten Gruppe nach den „hazard numbers“ zeigt

einen signifikanten Unterschied bei den bösartigen Neubildungen der Atemwege mit einer Mortalitätsratio von 2.2 (10 Fälle).

Ein Vergleich mit externen Daten (Todesursachen) wurde nicht durchgeführt, daher wurden für die Berechnung der Mortalitäts-Ratios die in der Gesamtkohorte aufgetretenen Ereignisse als Referenz verwendet. Die Ergebnisse zeigen keine nachteiligen Effekte für die hoch exponierte Gruppe: Bei den bösartigen Neubildungen (insgesamt 202 Fälle) ergibt sich für die Gruppe mit geringer Exposition ein Mortalitäts-Ratio (MR) von 1,04 und für die Hochexponierten ein MR von 0,96.

Die Bestimmung der Exposition blieb auf den Zeitraum 1950-1954 beschränkt. Es ist daher nicht bekannt, inwieweit die Mitglieder der Kohorte nach 1954 im militärischen oder im zivilen Bereich mit emittierenden Quellen in Berührung kamen. Es handelt sich hierbei nur um eine kurzfristige Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern.

Die Ergebnisse eines verlängerten Follow-up (1950/54 – 1997) der Kohorte von Marineangehörigen wurden von [Groves et al. 2002] publiziert. Im Gegensatz zur Veröffentlichung von Robinette wurden in dieser Arbeit mögliche Confounder und Effektmodifikatoren berücksichtigt. Zusätzlich wurden die Mortalitätsdaten mit externen Daten verglichen.

Für die meisten Erkrankungen wurden in der Subkohorte der hoch exponierten niedrigere Mortalitätsraten gefunden als in der potenziell gering exponierten Subkohorte, mit Ausnahme von signifikant höheren Raten bei den Leukämien (RR 1,48, 95 % CI 1,01-2,17) und in der Untergruppe der nicht lymphatischen Leukämien (RR 1,82, 95 % CI 1,05-3,14).

Die standardisierten Mortalitätsratios (externer Vergleich) zeigten statistisch signifikant niedrigere SMRs oder SMRs nahe 1 für das potenziell hoch exponierte Stratum.

Informationen zur Exposition mit Mikrowellen nach der Zeit des Korea-Krieges (1950-1954) waren nicht verfügbar. Ebenso wenig lagen Informationen über weitere Expositionen (z.B. chemische Stoffe) vor.

### **Militärangehörige (Polen)**

In einer polnischen Studie wurden alle bei den Angehörigen der Armee zwischen 1971 und 1985 aufgetretenen Krebserkrankungen registriert [Szmigielski 1996]. Von den im Durchschnitt 128.000 Personen waren jedes Jahr rund 3.700 mit hochfrequenten Strahlungen bzw. Mikrowellen exponiert. Daten zur Exposition an Arbeitsplätzen mit emittierenden Equipments wurden vom Militär zur Verfügung gestellt. Es war jedoch nicht möglich, die individuelle Exposition der dort eingesetzten Personen zu bestimmen.

Die Analysen beschränken sich auf kohorteninterne Vergleiche der Hochexponierten mit der Referenzgruppe. Bei der Kalkulation der OERs (observed/expected ratio) wurde die Subkohorte der nicht exponierten Personen als Referenz genutzt. Das OER entspricht damit dem Odds ratio. Erhöhte Morbiditäts-Risiken wurden gefunden für alle bösartigen Neubildungen (OER: 2,07; 95 % CI: 1,12-3,58), darunter für colorektale Neubildungen (OER: 3,19; 95 % CI: 1,54-6,18), Neubildungen des Ösophagus und des Magens (OER: 3,24; 95 % CI: 1,85-5,06), Neubildungen der Nervensysteme und des Gehirns (OER: 1,91; 95 % CI: 1,08-3,47) sowie Neubildungen des lymphatischen und blutbildenden Gewebes (OER: 6,31; 95 % CI: 3,12-14,32).

Die Ergebnisse dieser Studie sollten mit Vorsicht interpretiert werden, da die Studienpopulation sich von Jahr zu Jahr änderte, die genaue Altersverteilung in den beiden Subkohorten nicht bekannt war und vor allem, weil für Personen, die an Krebs erkrankten,

zusätzliche Informationsquellen zur Auffindung einer möglichen Exposition mit Hochfrequenz/Mikrowellen genutzt wurden und somit eine grundlegende methodische Voraussetzung der Durchführung von Kohortenstudien verletzt wurde.

### **Elektromagnetisches Puls-Test-Programm (USA)**

Eine aufgrund der seltenen Exposition und somit zwangsläufig geringen Zahl der Teilnehmer in ihrer Aussage limitierte Studie ist die Untersuchung von [Muhm 1992] an 304 Männern (3.362 Personenjahre), die in einer Firma an Tests zur Simulation von elektromagnetischen Impulsen - ähnlich denen nach einem Atombombenabwurf, beteiligt waren.

Identifiziert wurden die Männer anhand der dokumentierten ausführlichen Gesundheitsuntersuchungen, die bei den exponierten Personen durchgeführt wurden. In die Studie eingeschlossen wurden nur diejenigen, für die eine solche Untersuchung zwischen 1970 (dem Beginn der Untersuchungen) und dem 31. Dezember 1986 nachgewiesen werden konnte.

Frauen wurden aus der Studie ausgeschlossen, da sie weniger als 2 % der Exponierten ausmachten.

Für die Berechnung der SMR wurden die alters-, geschlechts-, jahres- und rassenspezifischen Raten der USA als Referenz verwendet. Die Ergebnisse sollten mit Vorsicht interpretiert werden, da von den insgesamt 14 Todesfällen nur zwei auf bösartige Neubildungen zurückzuführen waren. Für alle Todesursachen liegt die SMR mit 0,56 (95 % CI: 0, 31-0,95) niedriger als erwartet, bei den Leukämien mit 4,37 (95 % CI: 0,11-24,33) deutlich höher. Diese Rate wurde jedoch auf der Grundlage eines einzigen Falles berechnet.

Andere potenziell gesundheitsgefährdende Expositionen wurden in dieser Studie nicht hinreichend berücksichtigt. So war für 46 Männer eine Exposition gegenüber chemischen Substanzen und bei 73 Männern eine Exposition gegenüber ionisierender Strahlung bekannt.

### **Beschäftigte der Elektroindustrie (Norwegen)**

In Norwegen wurde die Inzidenz von Leukämien und Hirntumoren in einer Kohorte von 37.945 Beschäftigten (824.321 Personenjahre) der Elektrobranche bestimmt [Tynes et al. 1992].

Die Informationen zur beruflichen Tätigkeit standen mit dem Berufs-Zensus von 1960 und dem Zensus von 1970 zur Verfügung.

In die Studie aufgenommen wurden alle Männer, die 1960 in Berufen arbeiteten, in denen sie potenziell elektromagnetischen Feldern ausgesetzt waren. Die Auswertungen wurden mit den Daten der gesamten Kohorte (Follow-up 1961-1985 und 3.806 Krebserkrankungen) sowie den Daten einer Subkohorte (Follow-up 1970-1985 und 2.065 Krebserkrankungen) durchgeführt. Die Subkohorte bestand aus den Männern, die auch 1970 noch beruflich aktiv waren.

Es wurden 5 Typen der Exposition unterschieden: geringe magnetische Exposition (z.B. Elektriker, Installation), mittlere magnetische Exposition (z.B. Straßenbahnfahrer), Exposition durch Hochfrequenz (z.B. Funker), geringe magnetische und elektrische Exposition (z.B. Gleisarbeiter) oder starke magnetische und elektrische Exposition (z.B. Elektrofremontage). Die Berufe wurden jeweils einer dieser Gruppen zugeordnet. Für die Berechnung der erwarteten Zahl an Krebserkrankungen diente die Krebsinzidenz der beruflich aktiven männlichen Bevölkerung als Referenz.

Die Analyse der vollständigen Kohorte nach Berufsgruppen zeigte bei der Leukämie die höchste SIR (2,56; 95 % CI: 0,94-5,58) für die Radio- und Fernsehtechner. In der Subkohorte wies ebenfalls die oben genannte Berufsgruppe mit einem Wert von 3,18 (95 % CI: 1,03-7,43) die höchste SIR aus. Bei den Hirntumoren gab es eine Berufsgruppe mit auffallenden Werten: Für die Gleisarbeiter errechneten die Autoren eine SIR von 2,20 (95 % CI: 1,10-4,18). Zusätzlich wurden die Daten nach dem Typ der Exposition (siehe oben) ausgewertet. Bei einer Exposition durch Hochfrequenz oder durch starke magnetische und elektrische Felder ergaben sich SIRs von 2,85 (95 % CI: 1,30-5,41) bzw. 1,79 (95 % CI: 1,09-2,76) für die Leukämien und bei der Exposition durch geringe magnetische und elektrische Felder ein SIR von 2,20 (95 % CI: 1,01-4,18) bei den Hirntumoren.

Die Verwendung einer Berufsbezeichnung in 1960 als indirekter Indikator einer Exposition mit elektromagnetischen Feldern birgt die Gefahr einer geringen Genauigkeit, insbesondere, wenn zudem die Dauer im Beruf und die Höhe der individuellen Exposition unbekannt sind.

### **Beschäftigte bei Motorola (USA)**

[Morgan et al. 2000] führten ein von 1976 bis 1996 dauerndes Follow-up mit 195.775 Beschäftigten (2,7 Millionen Personenjahre) des Motorola Konzerns durch. Ziel war die Untersuchung der Sterblichkeit an Hirntumoren und an bösartigen Neubildungen des lymphatischen und blutbildenden Gewebes. Während des Follow-up starben 6.269 Beschäftigte. In 52 Fällen war die Todesursache ein Hirntumor, in 193 Fällen waren bösartige Neubildungen des lymphatischen und blutbildenden Gewebes die Ursache des Todes.

Unter Anwendung einer (qualitativen) Job-Expositions-Matrix und mithilfe einer Klassifizierung durch Experten wurden die 9.724 Berufe den Gruppen: hohe, mittlere, geringe Exposition oder Basisexposition zugeordnet.

In die Kohorte wurden alle Beschäftigten aufgenommen, die mindestens sechs Monate bei Motorola gearbeitet hatten und davon mindestens einen Tag während der Follow-up Periode von 1976 bis 1996. Die Raten der gesamten Kohorte und der exponierten Subkohorte (mittlere oder hohe Exposition) wurden sowohl intern als auch mit den Mortalitätsdaten der Staaten Arizona, Florida, Illinois und Texas verglichen. Der Grund für dieses Vorgehen war, dass sich die meisten der Motorola-Produktionsanlagen in diesen Bundesstaaten befinden.

Die meisten der berechneten SMRs lagen für die gesamte Kohorte nahe bei 1 (externer Vergleich). Ein Vergleich der Raten der Subkohorte mit den externen Raten ergab ein sehr ähnliches Bild. Bei den internen Vergleichen konnte ebenfalls kein erhöhtes Risiko für die exponierte Gruppe nachgewiesen werden, ausgenommen für die Erkrankung Morbus Hodgkin im Zeitraum von 1975 bis 1985 mit einer SMR von 2,25 (95 % CI: 0,4-10,4).

Auf die Benutzung von Mobiltelefonen als weiterer Expositionsquelle wurde nicht eingegangen. Es scheint jedoch möglich, dass Mitarbeiter eines Konzerns aus dem Bereich der kabellosen Kommunikationstechnologien sowohl beruflich als auch privat früher und häufiger Mobiltelefone genutzt haben als die Bevölkerung allgemein.

### **Zusammenfassung**

Bei den neun recherchierten Kohortenstudien handelt es sich um Studien, deren Ergebnisse zwischen 1980 und 2002 publiziert wurden. Die Größe der Kohorten liegt zwischen 304 Männern mit 3.362 Personenjahren (Muhm 1992) und fast 200.000 Personen mit 2,7 Millionen Personenjahren [Morgan et al. 2000]. Als Expositionen wurden sowohl gepulste als auch nicht gepulste hochfrequente elektromagnetische Felder definiert: dielektrische

Verfahren in einem kunststoffverarbeitenden Betrieb, Arbeit mit Funkgeräten (Professionelle und Amateure), Herstellung kabelloser Kommunikationstechnologien, Handradargeräte der kanadischen Polizei, Radareinheiten beim Militär sowie künstlich erzeugte elektromagnetische Impulse ähnlich denen nach einer Atombombenexplosion. Mit einer (qualitativen) Job-Expositions-Matrix wurde nur in einer der Studien gearbeitet. Die übrigen Studien bedienten sich entweder einer Bestimmung der Dauer, die ein Beruf ausgeübt wurde oder einer ja/nein-Unterscheidung nach der Definition exponierter Berufe.

Alle Studien messen als „Zielvariable“ (Outcome) entweder die Gesamtmortalität, die Krebsmortalität, die Krebsinzidenz oder mehrere der genannten Endpunkte. Differenziert nach Einzeldiagnosen stehen die Hirntumoren und Leukämien im Mittelpunkt des Interesses. In keiner der hier vorliegenden Hochfrequenzstudien wurden kardiovaskuläre Ereignisse (Inzidenzen), Komplikationen während der Schwangerschaft oder subjektive Aspekte von Gesundheit als „Outcome“ untersucht.

In der Mehrzahl der Studien wurde ein erhöhtes Risiko der Exponierten für einzelne Erkrankungen gefunden. Bei Betrachtung der Resultate aller Studien werden diese Befunde allerdings relativiert, da für beinahe alle Erkrankungen inkonsistente Ergebnisse vorliegen. Das Fehlen von Informationen zur individuellen Belastung sowie die zum Teil geringe Zahl der Fälle [Lagorio et al. 1997], [Tynes et al. 1992], [Muhm 1992], die Unkenntnis möglicher Expositionen nach der Militärzeit [Robinette 1980], fehlende biologische Modelle [Finkelstein 1998] sowie die berufliche Exposition durch hochfrequente elektromagnetische Felder bei rund einem Drittel der Funkamateure [Milham 1988] raten außerdem zu einer vorsichtigen Bewertung der Ergebnisse.

### Fall-Kontroll-Studien:

[Grayson 1996] publizierte die Ergebnisse einer „eingebetteten“ Fall-Kontroll-Studie an männlichen Mitgliedern der US Airforce, wobei in die Kohorte sämtliche Airforce-Angehörige eingingen, die zwischen 1970 und 1989 mindestens ein Jahr beschäftigt waren (ca. 880.000 Männer = ca. 11.2 Millionen Mannjahre). 230 inzidente Fälle von Hirntumoren mit kompletten Daten (missing Values bei 16 Fällen) wurden mit 920 Vergleichspersonen der Kohorte gematcht. Zur Expositionsabschätzung wurde eine Job-exposure-Matrix (JEM) verwendet, bei deren Erstellung für 552 verschiedene Tätigkeiten in 1950 Kategorien die Wahrscheinlichkeit der Exposition gegenüber niederfrequenten EMF, hochfrequenten EMF (Radiofrequenzen, Radarfrequenzen) bzw. ionisierenden Strahlen ermittelt wurde. Die Ergebnisse zeigten für niederfrequente EMF eine Odds Ratio von 1.28 (95% KI 0.95-1.74), für hochfrequente eine Odds Ratio von 1.39 (95%-KI 1.01-1.90), während für ionisierende Strahlen keine Risiko-Erhöhung zu finden war. Die so exponierte Gruppe von Fällen und Kontrollen war jedoch sehr klein. Für Offiziersdienstgrade fanden sich deutlich höhere Odds Ratios für ZNS-Tumore als für Mannschaftsdienstgrade. Kumulative Expositions-Scores für nieder- und hochfrequente EMF (adjustiert für ethnische Zugehörigkeit, Alter und Dienstgrad) zeigen einen Zusammenhang der Odds Ratios mit der Exposition. Eine Differenzierung der Ergebnisse nach histologischem Typ der Malignome erfolgte bei dieser Studie nicht.

### **ZNS-Tumore**

Zu Fragen des Zusammenhangs der Nutzung von Mobiltelefonen und ZNS-Tumoren liegen derzeit nur 4 Fall-Kontroll-Studien vor, die bisher zu inkonsistenten Ergebnissen führen (Dokumentation im Anhang).

### Augen-Melanome

In einer kleinen Fall-Kontroll-Studie mit geringem Umfang wurde von [Stang et al. 2001] ein statistischer Zusammenhang zwischen der Verwendung von Mobiltelefonen und Melanomen der Netzhaut beobachtet. Allerdings wurde die Erfassung der Telefongewohnheiten nur auf berufliche Bedingungen beschränkt und andere Risikofaktoren für das maligne Melanom, insbesondere die UV-Belastung, wurden bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Bisher wurde dieser Zusammenhang in keiner weiteren epidemiologischen Studie bestätigt und erst die weitere Forschung wird zeigen, ob es sich um einen Zufallsbefund oder um einen kausalen Zusammenhang handelt.

### Hoden-Malignome

Aus den Jahren 1990–2003 liegen eine Reihe von Daten aus Fall-Kontrollstudien vor. Exposition gegenüber EMF (Radiofrequenz (RF) oder NF) wird nur in wenigen Studien erwähnt. Ob in den anderen Studien auch Daten über diese Exposition erhoben wurden, ist nicht bekannt, da diese (noch) nicht veröffentlicht wurden. Explizit erwähnt wird die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen EMF und Hodentumoren in den Arbeiten von [Hardell et al. 1998] und [Hayes et al. 1990].

In der Studie von Hardell wurden 148 Fälle mit Hodentumoren und 363 Kontrollen eingeschlossen, die zwischen 1989 und 1992 in Schweden (mittlerer und nördlicher Teil) aufgetreten sind. Mit Hilfe von Fragebogen wurden eine Reihe von beruflichen Faktoren erhoben, darunter auch die berufliche Exposition durch die Arbeit mit Radar-Ausrüstung. Messungen liegen hierzu jedoch nicht vor. Insgesamt waren 2 Fälle und 3 Kontrollen exponiert. Das nur für Alter adjustierte Odds ratio für „Radararbeiter“ beträgt 2.0 mit einem sehr breiten Konfidenzintervall (0,3-14,2).

Hardell erfasste außerdem Daten zur beruflichen Tätigkeit in der Telekommunikationsindustrie. Exponiert waren 8 Fälle und 9 Kontrollen (Odds ratio 2,3; 95 % Konfidenzintervall 0,8-6,7). Als Amateurfunker exponiert waren 2 Fälle und 2 Kontrollen. Das Odds ratio liegt bei 2,2 mit einem 95 % Konfidenzintervall von 0,7 bis 6,6. Die Odds ratios wurden nicht für andere bekannte Risikofaktoren adjustiert.

Hayes hat in seiner Fall-Kontrollstudie in den USA insgesamt 271 Hodentumore, davon 60 Seminome und 206 Nichtseminome eingeschlossen, die zwischen 1976 und 1981 in drei an der Studie beteiligten medizinischen Institutionen in Washington DC aufgetreten sind. Die berufliche Exposition gegenüber Radiofrequenz/Mikrowellen, die mittels Interview erfragt wurde, ergab für beide Krankheiten getrennt ein erhöhtes Risiko, das aber nur für Nichtseminome wegen der größeren Fallzahl statistisch signifikant ist. Die angegebenen Odds ratios sind adjustiert für das Alter. Ein Odds ratio nahe 1.0 ergab sich für Personen, die angaben, mit Radar-Ausrüstung zu arbeiten. Eine Auswertung der Exposition nach der Berufsgeschichte ergab eine nur geringe Übereinstimmung mit der selbstberichteten Exposition (Spearman 0,4) mit Radiofrequenz/Mikrowellen.

Ob es einen kausalen Zusammenhang zwischen der Radarexposition und dem Auftreten von Hodentumoren gibt, kann aus den beiden Fall-Kontrollstudien weder bestätigt noch ausgeschlossen werden. Die Hauptprobleme sind die Erfassung der Exposition, die lediglich auf einer Selbsteinschätzung beruht sowie die geringe Zahl der Exponierten in der Arbeit von Hardell (1998).

### **6.1.3.3 Mittelbare Feldwirkungen**

Auch im hochfrequenten Bereich kann es zu *mittelbaren Feldwirkungen* kommen. So kann es beim Berühren von leitfähigen Gebilden zu Verbrennungen (sog. Hochfrequenzverbrennungen) oder Schocks kommen. Zündfähige Gasgemische können zur Explosion gebracht werden. Diese Effekte hängen sehr von der Geometrie des leitfähigen Gebildes ab (optimale Abstimmung mit dem jeweiligen Sender). Auch eine Beeinflussung von Herzschrittmachern, z.B. durch körpernahe Sender, ist möglich.

### **6.1.4 Synergistische Effekte**

Über synergistische Effekte zwischen ionisierender und nicht-ionisierender Strahlung unterhalb der thermischen Wirkungsschwelle liegen keine belastbaren Erkenntnisse vor.

## 7 RISIKOBEWERTUNG BEI DEN ANTRÄGEN EHEMALIGER ANGEHÖRIGER DER BUNDESWEHR/NVA

### 7.1 DATENLAGE

Die Kommission hat sich um eine möglichst vollständige Erfassung der vorliegenden Daten bemüht. Die Aufarbeitung gestaltete sich schwierig, da die Datensätze nur als Excel-Dateien vorlagen, welche für eine weitergehende Analyse nur sehr bedingt geeignet sind.

Die Problematik soll am Beispiel des größten Datensatzes, welcher von der Bundeswehr zur Verfügung gestellt wurde, exemplarisch verdeutlicht werden (WDB-Liste).

Es wurden Daten von 1.736 Personen vorgelegt, die einen Antrag gestellt haben, weil sie meinen, dass ihre Krankheit aufgrund von Expositionen oder Arbeitsbedingungen bei der Bundeswehr verursacht sein könnte. Bei 127 Personen wird keine Diagnose, für 215 Personen werden diverse Befindlichkeitsstörungen und verschiedene Symptome angegeben, 27 Personen betreffen das Immunsystem, 82 Personen geben neurologische, psychiatrische Erkrankungen an, 15 Personen Lungenerkrankungen, 200 Personen Herz-Kreislaufkrankungen. Alle anderen Angaben beziehen sich auf verschiedene Tumoren, wobei der größte Anteil (n = 235) Hodenerkrankungen betrifft, 84-mal wird Lungenkrebs angegeben und 80-mal Darmtumor. Diese Daten können nicht als Grundlagen dienen, um Aussagen darüber zu machen, ob bestimmte Tumoren über- oder unterdurchschnittlich häufig auftreten. Die Gründe, die z. T. schon oben angeführt wurden, dafür sind folgende:

- Es liegen keine Angaben über die zugrundeliegende Grundgesamtheit vor. Es ist weder die Gesamtzahl der Exponierten noch die Gesamtzahl der Nichtexponierten bekannt. Darüber hinaus ist die Altersverteilung dieser Grundgesamtheit nicht bekannt. Es fehlen Angaben, wie lange die Personen unter Risiko standen und ab und bis zu welchem Zeitpunkt alle Krankheiten erfasst wurden.
- Zum Teil ist die Diagnose unspezifisch und es ist nicht bekannt, ob eine Bestätigung durch einen Arzt vorhanden ist.
- Es liegen nicht ausreichende Angaben über den Diagnosezeitpunkt vor.
- Es ist unklar, ob der angegebene „Schädigungszeitraum“ mit dem Zeitraum der möglichen Exposition identisch ist. Damit kann nicht ermittelt werden, welcher Zeitraum zwischen einer Exposition und dem Auftreten des Tumors liegt. Somit ist es unmöglich, eine Chronologie der Ereignisse zu beschreiben.
- Die Liste ist vermutlich keine vollständige Erfassung der Erkrankungen und führt zu einer Selektion, die zu einer verzerrten Häufigkeitsverteilung führt. Der prozentuale Anteil einer Tumorart innerhalb der Gesamtzahl der Tumoren ist nicht aussagekräftig. Dieser Vergleich wäre nur dann möglich, wenn tatsächlich alle Tumoren erfasst werden und wenn zusätzlich die Größe und die Altersverteilung der zugrunde liegenden Population bekannt ist.

Die Problematik wird an folgender, einfacher Modellrechnung verdeutlicht:

*Tab. 7-1: Erwartete Fälle von Erkrankungen in einer Kohorte, die von jeweils 1960/70/80 bis zum Jahre 2000 beobachtet wird (Inzidenzdaten des Krebsregisters Saarland)*

(Annahme: 50 000 Personen; Alter 20 – 29)

	Follow-up Zeit		
	1960 – 2000	1970 – 2000	1980 – 2000
Hirntumoren	145	68	40
Lungenkrebs	1148	340	50
Hodentumoren	202	198	172
Leukämien	91	35	20
Darm (Colon)	439	133	33
Magen	225	80	29

Geht man von 50.000 Personen aus, die im Jahre 1960 zwischen 20 und 29 Jahre alt waren. In dieser Gruppe von Personen treten „normalerweise“ (Spontanrisiko) bis zum Jahre 2000 etwa 202 Hodentumore und 1148 Lungenkrebsfälle auf. Würde man die selbe Gruppe nur 20 Jahre lang beobachten, also von 1980 bis zum Jahr 2000, so reduziert sich die Zahl der spontanen Hodentumore nur unwesentlich (auf 172), während in dieser Gruppe dann nur 50 Lungenkrebsfälle zu erwarten sind. Dies liegt daran, dass Personen, die 1960 etwa 25 Jahre alt waren, bis zum Jahr 2000 im Schnitt 65 (60 – 70) Jahre alt sind. In dieser Altersgruppe treten Lungenkrebsfälle schon gehäuft auf. In dem zweiten Beispiel sind jedoch alle Personen im Jahre 2000 zwischen 40 und 49 Jahre alt, so dass wenige, nämlich 50 Lungenkrebsfälle auftreten. Für Hodenkrebsfälle gilt aber, dass diese hauptsächlich bis zum 40. Lebensjahr auftreten und somit die Verlängerung der Gesamtzeit die Zahl der Hodenkrebsfälle in dieser Gruppe nicht wesentlich beeinflusst. Diese unterschiedlichen Altersverteilungen sind zu beachten, wenn man in einer Kohorte die Zahl der Erkrankungen miteinander vergleicht. Die Gesamtzahl, die uns nicht genau bekannt ist, kann deshalb nicht beurteilt werden, wenn nicht auch die zugrunde liegende Population und ihre Altersverteilung bekannt ist.

## 7.2 KRITERIEN FÜR DIE ANERKENNUNG EINER ERKRANKUNG

Die grundsätzliche Basis für die Entschädigung beruflich erworbener Gesundheitsstörungen ist das Berufskrankheitenrecht. Im anstehenden Fall handelt es sich speziell und ausschließlich um die Folgen einer Einwirkung von ionisierenden Strahlen und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern.

Die möglichen Gesundheitsschäden durch ionisierende Strahlung sind prinzipiell seit langem bekannt und können zum Beispiel im Merkblatt für die ärztliche Untersuchung zu Nr. 2402 Anl. 1 BeKV (BArbBl. 7-8/1991 S.72) nachgelesen werden. Hierzu liegen keine aktuelleren

wissenschaftlich anerkannten neuen Erkenntnisse vor (s. UNSCEAR 2000 oder Veröffentlichung der IARC 2000/2001).

Für hochfrequente elektromagnetische Felder kann festgestellt werden, dass nach heutigem Wissensstand mit Ausnahme der auf Hitzeeinwirkung beruhenden Katarakt (Augenlinsentrübung) und evtl. anderer thermischer Wirkungen ein Zusammenhang zwischen Hochfrequenzstrahlung und Gesundheitsschäden nicht nachgewiesen ist.

Bei ionisierenden Strahlen muss zwischen stochastischen und deterministischen Schäden unterschieden werden. Im gegebenen Falle stehen Leukämien und maligne Tumoren absolut im Vordergrund.

Etwaige Einschränkungen sind aufgrund der bisher vorliegenden epidemiologischen Fakten und der unterschiedlichen Strahlenempfindlichkeit von Geweben bzw. Organen zu erörtern.

So wird die Chronisch Lymphatische Leukämie (CLL) übereinstimmend nicht als radiogen angesehen.

Weniger eindeutig ist die Lage bezüglich Tumoren in Organen, bei denen in bisher vorliegenden Studien keine gesicherte Häufung infolge Exposition mit ionisierender Strahlung festgestellt wurde oder aber nur bei sehr hohen Dosen. Diese Schwierigkeit lässt sich bei bekannten bzw. abschätzbaren Expositionsdosen durch die im Entschädigungsrecht vorgesehene Berechnung der Verursachungswahrscheinlichkeit annähernd beherrschen.

Es sind in jedem Fall **strenge Anforderungen an die Diagnose** zu stellen.

Es müssen pathologisch-anatomische Diagnosen mit histologischer- und Gewebsspezifizierung vorgelegt werden. Angaben wie Tumor oder Krebs oder auch Adenocarcinom ohne Organangabe reichen nicht aus. Da die CLL gelegentlich unter den malignen Non-Hodgkin-Lymphomen geführt wird, muss dies geprüft und ggf. ausgeschlossen werden.

Zwischen dem Zeitpunkt der Strahlenexposition und der malignen Erkrankung muss aufgrund strahlenbiologischer und epidemiologischer Erkenntnisse ein Mindestzeitraum zur Entwicklung des bösartigen Tumors liegen, der als Latenzzeit bezeichnet wird. Dieser beträgt für Leukämien und Osteosarkome mindestens 2 Jahre, für andere Malignome mindestens 5 Jahre.

Gesundheitsschäden mit Überschreitung von Schwellenwerten, sog. **Deterministische Strahlenschäden** können akut oder chronisch auftreten und setzen entsprechend hohe Ganz- oder Teilkörperdosen voraus.

Im vorliegenden Fall liegen lediglich vereinzelt Anträge mit möglichen chronischen Schäden der Haut, der Augenlinsen und der Fertilität vor. Als deterministische Strahlenschäden kommen in Frage:

**Chronischer Strahlenschaden der Haut** – sog. Radioderm – mit Zeichen der Hautatrophie als Folge einer Hautbestrahlungsdosis bei höheren Dosen.

**Katarakt** beginnend am hinteren Linsenpol, im späteren Verlauf nicht von anderen Ursachen der Linsentrübung zu unterscheiden als Folge einer Bestrahlungsdosis von  $>> 2$  Sv.

**Bleibende Sterilität im Sinne einer Oligo- bis Azoospermie**, d.h. im Samenerguss eine deutlich herabgesetzte Zahl bzw. fehlende Spermien, als Folge einer Bestrahlungsdosis von 3,5-6 Sv. Eine etwa ab 150 mSv mögliche vorübergehende Fertilitätsstörung ist aufgrund des langen Zeitraums seit Exposition nicht mehr beurteilbar.

Am Beispiel der Sterilität soll verdeutlicht werden, dass unabhängig von der grundsätzlichen Möglichkeit einer radiogenen Verursachung differentialdiagnostisch andere Ursachen ausgeschlossen werden können und müssen.

Bezüglich der **Sterilität beim Mann** sind einschränkende Bemerkungen erforderlich:

Nach hier vorliegender Datenlage werden Diagnosen wie Impotenz und Infertilität vermengt.

Außerdem liegen bei der **männlichen Infertilität** komplexe Abhängigkeiten unterschiedlicher, von Strahlenwirkung völlig unabhängiger, Organschäden bzw. Funktionsstörungen vor.

So werden prätestikuläre von testikulären und posttestikulären Fertilitätsstörungen unterschieden.

Unter den hier nur relevanten **testikulären Störungen** kommen neben Bestrahlung (auch medizinisch begründet!) angeborene Chromosomenanomalien wie Klinefelter- oder Down-Syndrom, Kryptorchismus (Hodenhochstand), Infektionen z.B. Mumps-Orchitis, Unfälle, Samenstrangtorsion, Medikamenten-Nebenwirkungen oder Durchblutungsstörungen in Betracht.

An dieser Stelle ist vor allem die **Varicocele** zu nennen, eine meist asymptomatische, überwiegend linksseitige Dilatation der Venen des Pl. pampiniformis des Hodensackes. Varicoceleen bestehen bei 15% der Männer und sind bei 30-35 % der primären- und bei 75-85 % der sekundären männlichen Infertilität ursächlich beteiligt. Postoperativ normalisiert sich bei 40 – 70 % die Samenzusammensetzung und bei 40 % erfolgt ohne sonstige therapeutische Maßnahmen eine gewünschte Schwangerschaft.

Alle anderen Diagnosen, Zustände oder Beschwerdensäußerungen (mit Ausnahme der Katarakt) sind wegen fehlender wissenschaftlicher Grundlagen als nicht strahlenbedingt anzusehen. Dazu gehören folgende Angaben, falls sie nicht durch die o.g. anerkannten Erkrankungen sekundär verursacht sein können:

- „keine Gesundheitsstörung“
- Befindlichkeitsstörungen wie Kopfschmerz, Schwindel, Tinnitus, Magen-Darmstörungen, Rückenschmerzen, Muskel- und Gelenkschmerzen, Schlafstörungen, Müdigkeit, Konzentrationsstörungen, Gleichgewichtsstörungen, Erschöpfungssyndrom, Infektanfälligkeit;
- Funktionsstörungen endokriner Organe wie z.B. Überfunktion oder Vergrößerung der Schilddrüse, Primärer Hyperparathyreoidismus, Diabetes mellitus, M. Addison;
- Systemdiagnosen wie „Schwächung des Immun- und Nervensystems“;
- Degenerative oder entzündliche/rheumatische Erkrankungen des Bewegungsapparates wie Arthrosen, Arthritis und Wirbelsäulenschäden, Gicht, Osteoporose, Muskeldystrophie, Autoimmunerkrankung, Fibromyalgie;
- Herz- Kreislauf- Erkrankungen wie die Arteriosklerose, ihre Folgen und Risikofaktoren: Koronare Herzkrankheit, Herzinfarkt, Schlaganfall, Embolien und andere Gefäßverschlüsse, Herzrhythmusstörungen, Bluthochdruck, Fettstoffwechselstörungen; Kardiomyopathie; Herzklappenerkrankungen;

- Lungen- und Atemwegserkrankungen wie Asthma bronchiale, Folgen von infektiösen Lungenentzündungen, Sarkoidose, chron. Bronchitis, Emphysem;
- Neurologische Auffälligkeiten wie Paraspastik, Parkinson-Syndrom, beidseitige Empfindungsstörung im Fußbereich, Nervenschädigung, Polyneuropathie, Anfallsleiden, Migräne, M. Alzheimer;
- Psychiatrische oder Psychosomatische Diagnosen wie Depression, Neurovegetative Dystonie, Neurasthenie, Medikamentensucht, Angstneurose;
- Hauterkrankungen wie Ekzeme, Ausschläge, Allergie, Psoriasis, Dupuytren Kontraktur;
- Infektionskrankheiten und deren Folgen wie Hydatidenzysten, AIDS, Herpesvirusinfektion, Zeckenbiss, Aphthen, Meningitis, Multiple Sklerose, Hepatitis;
- Nierenerkrankungen wie Niereninsuffizienz, Nierenzysten, Glomerulonephritis;
- Magen-Darmerkrankungen wie Colitis ulcerosa, M. Crohn, perityphlitischer Abszess, Ulcera ventriculi und duodeni, Divertikulitis, Pankreatitis und Folgen, Leberzirrhose;
- Nicht näher bezeichnete Störungen der Sinnesorgane Augen, Ohren, Geruch und Geschmack;
- Traumafolgen z.B. nach Knochenbrüchen.

Zu berücksichtigen ist im Einzelfall, dass andere Noxen und/ oder bestehende Gesundheitsrisiken (allgemein konkurrierende Faktoren) Ursache der Erkrankung sein könnten.

## 8 GESAMTBEWERTUNG DER VORGEHENSWEISE DES BMVG UND VERGLEICH MIT ANDEREN VERFAHREN

### 8.1 VERSORGUNGSMEDIZINISCHE ASPEKTE

Derzeitige Basis der Entschädigung im vorliegenden Fall von Erkrankungen in der Folge einer beruflichen Strahlenexposition durch Radargeräte ist für die betroffenen Soldaten der Bundeswehr das Soziale Entschädigungsrecht (SER) - speziell das Soldatenversorgungsgesetz (SVG) -, für andere betroffene Personen gilt die Gesetzliche Unfallversicherung (GUV) bzw. das Verfahren zur Feststellung einer Berufskrankheit (BK).

In beiden Fällen ist zunächst die sog. haftungsbegründende Kausalität im Sinne eines juristischen Vollbeweises zu erbringen, d.h. eine versicherte Tätigkeit inkl. der gesundheitsschädigenden Faktoren.

Die haftungsausfüllende Kausalität ergibt sich aus dem Nachweis definierter Gesundheitsstörungen (Liste der Berufskrankheiten) ebenfalls im Sinne eines Vollbeweises; im Lichte der Kausalitätslehre der wesentlichen Bedingung müssen die gesundheitlichen Auswirkungen mit Wahrscheinlichkeit durch die o. g. Faktoren der versicherten Tätigkeit ausgelöst worden sein. Der Zusammenhang ist also nicht nur im Sinne einer evtl. möglichen Verursachung abzusichern, es muss mehr für als gegen den Zusammenhang ( $> 50\%$ ) sprechen. Bei konkurrierenden möglichen Auslösern muss im Sinne der rechtlich wesentlichen Bedingung eine Wertung vorgenommen werden. Es darf nicht im Zweifel für den Erkrankten gestimmt werden. Alles bisher genannte bezieht sich auf beide Rechtsnormen.

Eine Besonderheit des Sozialen Entschädigungsrechtes ist die sog. „Kannversorgung“: Wenn die zur Anerkennung einer Gesundheitsstörung als Folge einer Schädigung erforderliche Wahrscheinlichkeit nur deshalb nicht gegeben ist, weil über die Ursache in der medizinischen Wissenschaft Ungewissheit besteht, kann die Gesundheitsstörung als Folge einer Schädigung anerkannt werden.

Solange ein Ursachenzusammenhang mit Wahrscheinlichkeit prüfbar ist, ist die Kannversorgung nicht zulässig. Die fehlende Wahrscheinlichkeit wird ggf. durch eine qualifizierte Möglichkeit des ursächlichen Zusammenhangs ersetzt. Bei dosisabhängigen Noxen liegt die Expositionshöhe dann zwar unterhalb der Wahrscheinlichkeitsschwelle, darf aber andererseits nicht so gering sein, dass ihr gegenüber alltäglich aufgenommenen vergleichbaren Noxen keine wesentliche Bedeutung mehr zugemessen werden könnte. Zunächst ist der ursächliche Zusammenhang immer auf Wahrscheinlichkeit zu prüfen.

Die Berufskrankheiten sind in diesem Sinne Listenerkrankungen, die aufgrund wissenschaftlicher Erkenntnisse - vor allem aus epidemiologischen Untersuchungen - bei beruflich exponierten Tätigkeiten gesichert häufiger als in der Allgemeinbevölkerung auftreten. Bevor im Sinne des § 9 (2) Sozialgesetzbuch SGB VII eine Entschädigung wie bei einer Berufskrankheit erfolgen kann, müssen deshalb für eine bestimmte exponierte Personengruppe neue allgemein wissenschaftlich anerkannte Erkenntnisse über Exposition und Auswirkung - in erheblich höherem Maße als in der Allgemeinbevölkerung - vorliegen. Dies wird grundsätzlich anerkannt, wenn der Anteil einer verdächtigten Erkrankung bei der exponierten Gruppe mindestens doppelt so hoch wie in der Grundpopulation ist. Bei quantifizierbaren Expositionen kann dies durch Konzentrations- bzw. Dosismessungen erhärtet werden.

Für den Bereich der BK 2402 „Erkrankungen durch Ionisierende Strahlen“ ist die Anerkennung stochastischer Strahlenschäden - in erster Linie Krebserkrankungen und Leukämien - durch die Verursachungswahrscheinlichkeit oder die sogenannte Verdoppelungsdosis gewährleistet. Unter Verdoppelungsdosis versteht man den Dosiswert, der bei exponierten Personen zur Verdoppelung der Eintrittswahrscheinlichkeit führt.

Die Verursachungswahrscheinlichkeit gibt also an, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, dass der aufgetretene Tumor durch die Strahlenexposition verursacht wurde. Eine Verursachungswahrscheinlichkeit von 50% bedeutet, dass eine mit dieser Dosis exponierte Person ein doppelt so großes Risiko hat, zu erkranken wie eine nichtexponierte Person. Dieses „attributable risk“ bzw. die Verursachungswahrscheinlichkeit „probability of causation“ wird rechnerisch statistisch bestimmt, da im Einzelfall keine individuelle Unterscheidung von nicht strahlenbedingten stochastischen Schäden möglich ist. Die PC bestimmt den Anteil des Risikos zum Zeitpunkt (Lebensalter) des Auftretens einer Krebserkrankung, der durch die berufliche Exposition verursacht wurde, und ist eine Größe, die nur statistisch ermittelt werden kann.

Alle Verfahren basieren auf der Auswertung der existierenden Humandaten über gesundheitliche Folgen von Strahlenexposition, nach wie vor in erster Linie der „Life Span Study“ bei den Überlebenden der Atombombenabwürfe auf Hiroshima und Nagasaki. Diesbezügliche Risikoberechnungen liegen international seitens der ICRP, UNSCEAR und des National Research Council der USA (BEIR V – Bericht) vor. Aus diesen Risikoanalysen wurden schon in den 80er Jahren in Großbritannien und USA Rechenverfahren zur Bestimmung der „PC“ in Entschädigungsverfahren beruflich Strahlenexponierter entwickelt. In USA erstellte das Nationale Gesundheitsinstitut (NIH) 1983 erstmals strahlenepidemiologische Tabellen. Für Deutschland wurde ein entsprechendes Verfahren 1995 von Chmelevsky et al. veröffentlicht. 1996 hat die IAEA eine entsprechende Dokumentation zur internationalen Anwendung mitgeteilt. Das aktuellste Konzept stammt aus den USA, wo die o.g. radioepidemiologischen Tabellen 2002 gemeinsam von NIOSH und CDC erneuert wurden (s.u.). Alle genannten Methoden basieren in erster Linie auf relativen Risikomodellen aus BEIR V. Dies hat auch den Vorteil, bei nicht vorliegenden nationalen Krebsregistern wie im Fall der BRD dennoch ohne Vergleichsdaten aus der Grundpopulation auszukommen.

Folgende Faktoren müssen berücksichtigt werden:

- Alter bei Exposition
- Geschlecht
- Art der Strahlen und Höhe sowie zeitliche und räumliche Verteilung der Dosis
- Diagnose, d.h. Art der Krebserkrankung
- Alter bei Diagnose
- Latenzzeit zwischen Expositionsbeginn und Auftreten der Erkrankung:  
für Leukämien (und Knochensarkome) übereinstimmend mindestens 2 Jahre,  
für alle anderen soliden Tumoren mindestens 5-10 Jahre
- andere Risikofaktoren außer ionisierender Strahlung

Grundlegende Unsicherheitsfaktoren bestehen in den epidemiologischen Daten bezüglich

- unterschiedlicher Endpunkte: Mortalität oder Inzidenz
- zu geringer Fallzahlen seltener Krebserkrankungen
- schwieriger Extrapolationen bezüglich betroffener Populationen, Altersgruppen und Dosisbereiche.

Auf Basis der epidemiologischen Daten werden in den verschiedenen genannten zusammenfassenden Veröffentlichungen allerdings in unterschiedlichem Umfang einige Krebserkrankungen als nicht strahlenbedingt angesehen: Übereinstimmung besteht lediglich für die Chronisch Lymphatische Leukämie. Darüber hinaus werden in unterschiedlicher Kombination auch M. Hodgkin, Non-Hodgkin-Lymphome, Malignes Melanom genannt. Hodentumoren erscheinen in keiner der Übersichtsarbeiten als Ausschlusskriterium. Im UNSCEAR 2000-Bericht als neuester Übersicht wird zum einen auf die grundsätzliche radiogene Verursachung von Krebserkrankungen hingewiesen, zum anderen zwar die bisher fehlenden Häufungen bestimmter Krebsdiagnosen bemerkt. Das beruht aber zum Großteil auf statistischen Unsicherheiten und sollte deshalb nicht als absolutes Ausschlusskriterium gewertet werden.

Die Berechnung der PC lässt zunächst offen, bei welcher Höhe welche Entschädigung gewährt wird. So werden z.B. in Großbritannien (s. nächster Abschnitt) oberhalb 50% volle Leistungen und zwischen 20 und 50% anteilmäßig mit der errechneten Wahrscheinlichkeit steigende Leistungen gegeben. Wie erwähnt kommt in der deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung erst bei Wahrscheinlichkeit > 50% eine Entschädigung in Betracht.

## 8.2 VORGEHENSWEISE IN ANDEREN LÄNDERN

### 8.2.1 OECD (außer USA)

#### 8.2.1.1 *Allgemeines*

Im Folgenden wird auf Vorgehensweisen in Ländern der OECD eingegangen [CRPPH 2001]. Wegen der sehr detaillierten Regelungen in den USA ist diesen ein eigener Abschnitt (8.2.2) vorbehalten.

Die hier folgenden Erläuterungen basieren größtenteils auf den Ergebnissen einer diesbezüglichen Umfrage im Frühjahr 2003 bei den Mitgliedern des OECD/NEA Committee on Radiation Protection and Public Health; in diesem Komitee sitzen Mitglieder aus den Ländern Deutschland, Österreich, Belgien, Luxemburg, Niederlande, Dänemark, Schweden, Schweiz, Slowenien, Tschechien, Südkorea, Frankreich, Italien, Großbritannien, Irland, Kanada, Vereinigte Staaten von Amerika, Japan und Ungarn, sowie Beobachter der WHO, IAEA, EU, ICRP und IRPA. In einer Studie dieser Kernenergie-Agentur (NEA) der OECD aus dem Jahr 2000 wurden die Kompensationsregeln für Beschäftigte mit Strahlen-Exposition in den einzelnen Mitgliedstaaten erfragt und zusammengestellt. Dieses Dokument wird hier zunächst zusammengefasst. Dann werden Informationen erläutert, die aus der oben erwähnten Umfrage in diesem Frühjahr resultieren und in einigen Fällen neue Erkenntnisse gebracht haben.

Es fällt in der Zusammenstellung das weit verbreitete Fehlen von nationalen Kompensationsregeln für strahlenexponierte Beschäftigte auf. In den meisten Mitgliedsländern der OECD - mit Ausnahme von Südkorea und Großbritannien - werden strahlenexponierte Beschäftigte nach den allgemeinen Kompensationsregeln für Beschäftigte behandelt und nicht nach speziellen, strahlenspezifischen Regeln, welche die allgemeinen ersetzen. In den meisten Ländern bezieht sich die Gesetzgebung auf alle Beschäftigten, unabhängig von der Art ihrer Tätigkeit. In einigen Ländern gibt es jedoch innerhalb der allgemeinen Kompensationsregeln Tabellen oder Listen derjenigen beruflichen Erkrankungen, von denen eine Verursachung durch ionisierende Strahlung vermutet wird. Solche Tabellen oder Listen gibt es z.B. in Frankreich und in der Tschechischen Republik (Regierungsverordnung N. 290/1995/Coll). Andere Länder (z.B. Dänemark) führen in ihrer Liste oder Tabelle von beruflichen Erkrankungen lediglich als Kategorie "Krankheiten verursacht bei Exposition durch ionisierende Strahlung", ohne diese jedoch weiter zu spezifizieren.

Eine andere Gemeinsamkeit der Vorgehen von OECD Länder ist, dass eine Kompensation unabhängig vom Verschulden gewährt wird: Wenn die geforderten Kriterien erfüllt sind, muss der Beschäftigte keinen Nachweis eines Verschuldens des Arbeitgebers führen, um die Kompensation zu erhalten.

Mit Ausnahme von Korea und der USA scheint es nicht viele Länder zu geben, die Beschäftigte im Bereich der Kernindustrie anders behandeln als strahlenexponierte Beschäftigte an anderer Stelle, z.B. in Krankenhäusern, Labors, industrieller Radiographie, usw. Es ist auch heraus zu stellen, dass die Europäische Union selbst keine Kompensationsregeln für Schäden durch Strahlenexposition im Kapitel 3 des Euratom-Vertrags und der daraus abgeleiteten Gesetzgebung vorgeschlagen hat. Auch die EU-Gesetzgebung zu Kernenergie enthält keine Regeln, die in diesem Zusammenhang interessant sein könnten. Nach Auffassung der Europäischen Kommission liegen solche Regelungen im Bereich der nationalen Gesetzgebung. Eine Ausnahme davon sind lediglich Mitglieder der Europäischen Kommission die an der gemeinsamen Forschungsstelle der Europäischen Gemeinschaft arbeiten: das Risiko von Kommissions-Mitgliedern wird vom hauseigenen Versicherungs-System abgedeckt und unterliegt nicht den nationalen Regeln der Mitgliedsländer.

### **8.2.1.2      *Kompensierte Schäden***

Im Allgemeinen werden bleibende physische und psychische Verletzungen, wirtschaftliche Nachteile (z.B. Nachteile bei der Bezahlung) und medizinische Kosten kompensiert. Im allgemeinen werden auch sowohl deterministische Schäden (z.B. strahleninduzierte Verbrennungen) als auch stochastische Effekte (Krebserkrankungen, die oft lange Zeit nach der Exposition auftreten) kompensiert. Die Kriterien für Kompensation unterscheiden häufig zwischen diesen beiden Situationen. Kompensiert werden oft auch Unfälle auf der Fahrt zur Arbeit.

### **8.2.1.3      *Art der Kompensation***

Medizinische Kosten werden in den meisten Ländern zu 100% kompensiert. In einigen Ländern wird eine Tagespauschale während der Erkrankung bezahlt. Oft gibt es einen festgesetzten Betrag für bestimmte Schäden, wie den Verlust eines Auges, oder eines Beins,

basierend auf dem Grad der bleibenden Schädigung. Manchmal spezifiziert die Gesetzgebung den Betrag der Kompensation für wirtschaftliche Schäden, basierend auf dem Verdienstausschlag. Gelegentlich, z.B. in Australien, wird eine Obergrenze für die Kompensation von Verletzungen und wirtschaftlichen Schäden festgelegt. Überall gibt es Regeln für den Fall einer bleibenden Arbeitsunfähigkeit. Frankreich schützt zusätzlich teilweise den Arbeitsvertrag des Beschäftigten.

### **8.2.1.4 Kriterien für die Zuerkennung einer Kompensation**

#### **Existenz eines Risikos**

Nach den von der OECD gesammelten Beiträgen aus verschiedenen Ländern scheinen nicht viele Länder für eine mögliche Entschädigung vorauszusetzen, dass die ausgeübte Tätigkeit einer vorher bekannten Risiko-Gruppe angehört. Allerdings verlangt die französische Gesetzgebung, dass der/die Geschädigte einen Beruf ausübt, in dem die Schädigung überhaupt auftreten kann.

#### **Beweis der Exposition**

In diesem Bereich gibt es Unterschiede: Manche Länder (z.B. Spanien) verlangen einen Nachweis, dass Dosis-Grenzwerte überschritten wurden, während andere (z.B. Großbritannien) eine Kompensation auch gewähren können, wenn Dosis-Grenzwerte nicht überschritten wurden.

#### **Beweis eines kausalen Zusammenhangs**

Ein Beweis eines kausalen Zusammenhangs zwischen dem Schaden und der Tätigkeit des Geschädigten wird immer verlangt. Im Allgemeinen gilt ein solcher kausaler Zusammenhang bei deterministischen Effekten als bewiesen, wenn der Schwellwert der Dosis überschritten ist, oberhalb dem derartige deterministische Schäden überhaupt beobachtet wurden. Es gibt dazu bewährte strahlenbiologische Daten zu Schwellwert-Dosen (z.B. die Tabelle IV-1 der internationalen Basic Safety Standards der IAEA von 1999).

Im Fall von stochastischen Spätschäden können (PC-) Tabellen, oder individuelle Abschätzungen, oder beides, eingesetzt werden, um die berufliche Verursachung zu klären. Dort, wo eine individuelle Abschätzung erfolgt, kann die Kompensation auf einer Berechnung der Verursachungswahrscheinlichkeit beruhen. Dies wird z.B. in der Tschechischen Republik auf der Basis der individuellen Dosimetrie und von epidemiologischen Daten durchgeführt. In den meisten Ländern muss der berechnete Wert der Verursachungswahrscheinlichkeit 50% übersteigen. Ausnahmen für Werte unter 50% gibt es, wenn spezielle Voraussetzungen erfüllt sind, wie z.B. das Vorliegen anderer, beruflich bedingter Karzinogene, unvollständige Dosimetrie usw.

In Frankreich gibt es zwei Verfahren: zum einen gibt es eine Tabelle mit Schädigungen, die von ionisierender Strahlung verursacht werden, und beispielartig Tätigkeiten, die diese Schäden verursachen könnten. Wenn ein Geschädigter eine der aufgelisteten Krankheiten hat und eine der aufgelisteten Tätigkeiten ausübte und weitere Bedingungen wie aufgelistete Zeitlimits zutreffen, dann muss der Beschäftigte keinen weiteren Beweis der Verursachung seiner Krankheit durch die berufliche Tätigkeit führen. Wenn diese vereinfachte Situation nicht vorliegt, muss auch in Frankreich die berufliche Verursachung nachgewiesen werden.

In Großbritannien sehen die Kompensationsregeln für strahlenbedingte Krankheiten (CSRLD) eine anteilige Kompensation ab einer Verursachungswahrscheinlichkeit (PC) von 20% vor, wobei die Höhe der Entschädigung wie folgt gestaffelt ist:

$pc < 20\%$	Keine Kompensation
$20\% \leq pc < 30\%$	1/4 Kompensation
$30\% \leq pc < 40\%$	1/2 Kompensation
$40\% \leq pc < 50\%$	3/4 Kompensation
$50\% \leq pc$	volle Kompensation

Diese Regeln in Großbritannien sind freiwilliger Natur und nicht gesetzlich bindend. Ihre Benutzung wird allerdings von den Gewerkschaften empfohlen, welche das Verfahren zusammen mit den teilnehmenden Arbeitgebern betreiben. Es stellt eine Alternative zu gerichtlichen Auseinandersetzungen dar.

In Dänemark berücksichtigt die Gesetzgebung, dass auch nicht-beruflich bedingte Faktoren beitragen können. In solchen Fällen wird nur der von der beruflichen Exposition herrührende Teil der Krankheit kompensiert. Ähnlich ist die Situation in Norwegen: Dort muss bewiesen werden dass die Strahlenexposition so groß war, dass eine Haftung angemessen scheint, auch wenn die Strahlenexposition nicht notwendigerweise die primäre Ursache der Krankheit war.

#### **8.2.1.5 *Schlussfolgerungen der OECD-Studie von 2000***

Diese Zusammenfassung zeigt einige Übereinstimmung der OECD-Länder bei der Kompensation von beruflich Strahlenexponierten:

- Die Kompensation wird unabhängig von Verschulden des Arbeitgebers behandelt,
- die Forderung eines Beweises des kausalen Zusammenhangs zwischen dem Schaden und der beruflichen Tätigkeit. Allerdings sind die Methoden wie solche Verursachungswahrscheinlichkeiten bestimmt werden, sehr unterschiedlich,
- die Art der Kompensation, die der Beschäftigte erhalten kann.

Die Bereiche, in denen große Unterschiede bestehen, sind unter anderem:

- Das Vorhandensein von umfassenden oder repräsentativen Tabellen mit Beschwerden, die vermutlich berufliche Ursachen haben,
- die Bedeutung von nicht-beruflichen Risikofaktoren auf die Entscheidung über die Kompensation und ihre Höhe,
- wie schwierig es ist, erfolgreich einen Kompensations-Anspruch durchzusetzen, insbesondere bei stochastischen Schäden.

#### **8.2.1.5.1 *Ergänzungen aufgrund der Umfrage 2003: Details zur Situation in Dänemark***

Die Verwaltungs-Vorschrift No. 357 des dänischen Nationalen Rats für industrielle Verletzungen vom 17. Mai 2001 gibt eine Liste der berufsbedingten Krankheiten. Die allgemeinen Bedingungen für die Anerkennung einer Krankheit als berufsbedingt sind:

- Die Intensität und Dauer der schädlichen Exposition soll einer Exposition entsprechen, für die eine kausale Beziehung zwischen Exposition und Krankheit etabliert ist.

- Der pathologische Befund soll dem pathologische Befund entsprechen, für den eine kausale Beziehung zwischen Exposition und Krankheit etabliert ist.
- Es soll keine Information über irgendwelche Faktoren geben, die es jenseits von berechtigtem Zweifel wahrscheinlich machen, dass die Krankheit eine nicht berufsbedingte Ursache hat.

Wenn nicht berufsbedingte Faktoren zur Krankheit beigetragen haben, wird die Entschädigung nur für den Teil der Krankheit gewährt, der durch berufliche Exposition verursacht wurde.

Für einzelne Punkte der Liste werden weitere spezielle Bedingungen gefordert. Die Liste umfasst mehrere Gruppen, Unterpunkte sind hier nur erwähnt, wenn sie ionisierende Strahlung betreffen:

**Gruppe A:** Krankheiten, welche nach medizinischer und technischer Erfahrung durch Chemikalien verursacht sein können,

**Gruppe B:** Hautkrankheiten, verursacht durch Substanzen und Expositionen, die nicht anderweitig erwähnt sind,

**Gruppe C:** Krankheiten, verursacht durch die Inhalation von Substanzen, die nicht anderweitig erwähnt sind,

**Gruppe D:** Infektionskrankheiten und von Parasiten verursachte Krankheiten,

**Gruppe E:** Krankheiten, verursacht durch physikalische Effekte: Krankheiten, verursacht durch ionisierende Strahlung

(Kommentar: Natur der Krankheit: Bestimmte Typen von akuter Leukämie und chronische myeloische Leukämie),

**Gruppe F:** Krebskrankheiten, die nicht anderweitig erwähnt sind:

Krebskrankheiten, verursacht durch eine Substanz oder Exposition in einer gültigen Liste karzinogener Substanzen und Expositionen der IARC unter Kategorie 1 und 2A, für die ein etablierter Zusammenhang zwischen beruflicher Exposition und einem erhöhtem Krebsrisiko besteht, vergleiche Anhang 2.

Das bedeutet für Kategorie 1, dass solche Substanzen und Expositionen weggelassen wurden, die im Grunde keine berufliche Exposition darstellen. In Kategorie 2A sind solche Substanzen und Expositionen weggelassen, die im Grunde keine berufliche Exposition darstellen zusammen mit solchen Substanzen und Expositionen, für die kein Zusammenhang zwischen beruflicher Exposition und einem erhöhtem Risiko des betreffenden Krebses im Menschen etabliert ist.

**Gruppe G:** Krankheiten der Zähne und des Zahnfleisches,

**Gruppe H:** Anomalien des Fötus.

Unter-Punkt 3. Andere schädliche Expositionen:

(a) Strahlung (Radioaktivität), Natur der Krankheit: Microcephalia, maligne Krankheiten

Der Anhang, auf den in Gruppe F verwiesen wird, gibt einen Auszug aus der IARC-Liste (IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, IARC Monographs, Volumes 1-67, Lyon 1996). In Kategorie 1 findet sich der Punkt: Radon und seine Folgeprodukte: Natur der Krankheit: Lungenkrebs. In Kategorie 2A findet sich keine Erwähnung von ionisierender Strahlung.

Der Text der dänischen Verwaltungs-Vorschrift in englischer Sprache findet sich unter <http://www.ask.dk/English/Udgivelsesreng/erhvervsygdforteng.htm>.

### 8.2.2 USA

In den USA hat der Kongress ein nationales Kompensationsprogramm für Uran-Bergarbeiter, Militärs bei Atomtests in der Atmosphäre und amerikanische Bürger, die im Abwindbereich dieser Tests lebten, eingeführt. Es enthält auch spezielle Regeln für die Marine der USA. Es gibt Bestrebungen (Stand Jahr 2000), Beschäftigte in der Produktion, Erforschung und dem Testen von Kernwaffen in einem nationalen Programm zu entschädigen. Für alle anderen Beschäftigten sind die einzelnen Bundesstaaten für die Entschädigungs-Regelung zuständig. Die US-Regierung interveniert nur, wenn in größerem Ausmaß mehrere Bundesstaaten betroffen sind. Das nationale Kompensationsprogramm in den USA benützt entweder den Ansatz der Verursachungswahrscheinlichkeit, oder ein Verfahren von Vermutungen, basierend auf der Expositions-Geschichte und der Art der Krankheit. Der erste Ansatz benützte die „Radioepidemiologischen Tabellen“ des NIH von 1985, die im Jahr 2000 (als dieser OECD-Bericht erstellt wurde) noch im Prozess der Revision waren (2002 war die Revision beendet). In den einzelnen Bundesstaaten der USA sind die Regeln sehr unterschiedlich. Es ist die Aufgabe des Beschäftigten, den Schaden (die Krankheit) und ihre Verursachung nachzuweisen, und jeder Fall wird gesondert behandelt. Je nach Bundesstaat kann der Beschäftigte beim Nachweis der Strahlen-Bedingtheit seiner Krankheit damit eine schwierige Beweislast tragen.

Das Kompensationsprogramm für Bundesangestellte (FECA) deckt alle Bundesangestellten ab. Es gibt auch ein spezielles Programm für Beschäftigte der US-Marine.

Die Regeln der einzelnen Staaten variieren stark. Im allgemeinen benützt jeder Staat einen Test, basierend auf Krankheiten und Verletzungen die berufsbedingt sein könnten, um festzustellen, ob eine berufliche Exposition zu einer Kompensation führt. Es ist im allgemeinen Aufgabe des Beschäftigten, die Krankheit und den Zusammenhang mit der beruflichen Exposition zu beweisen. Jeder Einzelfall wird getrennt behandelt.

In den USA hat der Kongress 1984 ein nationales Kompensationsprogramm für Uran-Bergarbeiter, Militärs, die bei Atomtests in der Atmosphäre teilnahmen und amerikanische Bürger, die im Abwindbereich dieser Tests lebten, eingeführt (RECA: Radiation exposure compensation program). Es gibt auch Bestrebungen, ein nationales Entschädigungsprogramm für Beschäftigte in der Produktion, Erforschung und dem Testen von Kernwaffen einzuführen (s. unten). Für alle anderen Beschäftigten sind die einzelnen Bundesstaaten für die Entschädigungs-Regelung zuständig. Mehrere Bundesstaaten haben spezielle Regeln zur Kompensationen für von ionisierender Strahlung induzierten Krankheiten. Dies kann sowohl eine Positivliste, als auch eine Negativliste sein. Es gibt auch Regeln bezüglich der Zeitspannen und von Schwellwerten, die von Staat zu Staat unterschiedlich sind.

Das nationale Kompensationsprogramm RECA benützt entweder den Ansatz der Verursachungswahrscheinlichkeit, oder ein Verfahren von Vermutungen, basierend auf der Expositions-Geschichte und der Art der Krankheit. Der Ansatz mit der Verursachungswahrscheinlichkeit benützte die Radioepidemiologischen Tabellen des NIH von 1985, die 2002 revidiert wurden. Diese neue Version benützt ein Computer-Programm das persönliche Daten wie Geschlecht, Geburtsjahr, Krebstyp, Details der Krebsdiagnose, und im Fall von Lungentumor die Rauch-Historie erfragt. Das Programm benötigt auch Expositions-Daten, Zahl und Jahre der Expositionen, Dosisrate, Strahlungstyp, und Dosis.

Daraus errechnet das Programm eine Punktschätzung der Verursachungswahrscheinlichkeit. Auch ein Unsicherheitsbereich dieser Schätzung wird berechnet. Dabei geht die Unsicherheit der Dosis, des RBW, des originalen relativen Risikos pro Sv, und des benützten justierten relativen Risikos pro Sv ein. Wenn das obere 95 (oder 99) Prozent Perzentil des Unsicherheitsbereichs die 50% erreicht oder übertrifft, dann liegt ein Kompensations-Fall vor.

Weiter ist folgendes anzumerken:

a) RECA-Programm:

Am 15. Oktober 1990 hatte der Kongress der USA das Gesetz zur Kompensation von Folgen einer Strahlenexposition (Radiation Exposure Compensation Act, RECA) verabschiedet. Ziel war ein Härteausgleich für Personen, die als Folge ihrer Strahlenexposition während und nach den oberirdischen Atomwaffen-Tests, oder während ihrer Beschäftigung in Uran-Bergwerken, bestimmte Arten von Tumoren oder andere schwerwiegende Krankheiten entwickelten. Am 10. Juli 2000 wurden Ergänzungen dieses Gesetzes gültig. Die weitreichenden Änderungen umfassen neue berechnete Gruppen, zusätzliche Krankheiten, geringere Strahlenschwellwerte, veränderte Anforderungen an die medizinische Dokumentation und die Beseitigung von Einschränkungen bei den Krankheiten. Nach dieser Fassung des Gesetzes gibt es fünf Gruppen von Berechtigten: Uran-Bergarbeiter, Arbeiter in Uranerzmühlen, Erz-Transporteure, Bewohner von Regionen im Abwindbereich der oberirdischen Atombomben-Tests und Teilnehmer an diesen Tests:

Nach RECA 2000 erhalten berechnete Uranbergarbeiter eine Zahlung von US\$100.000. Dazu müssen sie in einem Uran-Bergwerk (ober- oder unterirdisch) in einem von 11 spezifizierten Bundesstaaten (andere Bundesstaaten sind auf Antrag möglich) irgendwann zwischen 1.1.1942 bis 31.12.1971 beschäftigt gewesen sein. Die Exposition im Bergwerk muss mehr als 40 WLM (working level months, eine Expositions-Einheit für Radon und Folgeprodukte) gewesen sein. Die Krankheiten schließen Lungenkrebs und einige nicht-maligne Lungenkrankheiten ein.

Ähnliche Regeln gelten für die Erzmühlen-Arbeiter und die Transporteure. Bei beiden Gruppen wird die Expositions-Bedingung durch mindestens 1 Jahr relevante Beschäftigung ersetzt.

Die Bewohner von Regionen im Abwindbereich können mit US\$ 50.000 entschädigt werden, wenn sie in einer der betroffenen Regionen (eine spezifizierte Liste von Landkreisen (Counties)) während spezifizierten Perioden mindestens 2 Jahre ihren Aufenthalt hatten und danach bestimmte Krankheiten bekamen. Die Krankheiten sind z.B. Leukämien außer CLL, Schilddrüsenkrebs, Leberkrebs, usw. Dabei sind weitere Bedingungen zu erfüllen, wie z.B. Auftreten der Erkrankung mindestens 5 Jahre nach erster Exposition bei Schilddrüsenkrebs, oder bei Leberkrebs: die gleiche minimale Latenzzeit und kein Anzeichen für Hepatitis B oder Leber-Zirrhose.

Teilnehmer an den Atombomben-Tests können mit US\$ 75.000 entschädigt werden. Dazu müssen sie innerhalb oder oberhalb der offiziellen Grenzen des entsprechenden Testgeländes während eines Tests gewesen sein, an der atmosphärischen Detonation eines nuklearen Sprengsatzes beteiligt gewesen sein und nachher eine Krankheit aus einer Liste von Tumoren entwickelt haben.

Unter bestimmten Bedingungen kann auch die Ehefrau eines verstorbenen Berechneten die Entschädigung erhalten.

Bis zum 12.5.2003 wurden 16.942 Anträge in diesem Verfahren gestellt. Davon wurden 9.342 anerkannt und 4.810 abgelehnt. Die anerkannte Entschädigungs-Summe lag bei über 616 Millionen US\$, wovon über 559 Millionen bereits ausgezahlt sind. Die größten Entschädigungs-Summen wurden für Bewohner im Abwindbereich (über 300 Millionen) und Uran-Bergarbeiter (über 248 Millionen US\$) anerkannt.

Die Homepage des RECA Programms beim US Ministerium für Justiz ist: <http://www.usdoj.gov/civil/torts/const/reca/>. Dort findet man auch einen Link zu dem entsprechenden Gesetzestext (28 CFR part 79; Claims under the Radiation Exposure Compensation Act Amendments of 2000; Final Rules and Proposed Rule, 7. August 2002). Das Verfahren wird vom Justizministerium der USA abgewickelt. Eine Übersicht der verschiedenen Programme zur Schadensersatzregelung nach Strahlenexposition in den USA gibt Tab. 8-1.

### b) EEOICPA:

Das aktuelle Gesetz ist der „Energy Employees Occupational Illness Compensation Program Act“ (EEOICPA, Public Law 106-398, Oktober 2000), nach dem Angestellte in Anlagen des Department of Energy zur Produktion von Atomwaffen und Zivilangestellte der Atomwaffentestgelände von Nevada und Alaska entschädigt werden. Es wird geschätzt, dass bis zu 180.000 Anträge unter diesem Programm gestellt werden könnten. Das Verfahren in EEOICPA unterscheidet sich von dem deutschen Ansatz dahingehend, dass der Gesetzgeber ein präzises numerisches Kriterium für die Anerkennung festgelegt hat: Schadensersatz wird dann gezahlt, wenn das obere 99-Perzentil des „uncertainty interval“ für die Verursachungswahrscheinlichkeit („probability of causation“ oder PC) den Wert von 50% überschreitet. Dadurch soll dem Grundsatz Rechnung getragen werden, dass die Unsicherheiten in der Dosisrekonstruktion und in der Dosis-Wirkungsbeziehung großzügig im Sinne des Antragstellers geregelt werden.

Der Begriff „probability of causation“ (PC) wird oft synonym mit „assigned share“ verwendet. Während „probability of causation“ streng genommen nur auf ein Individuum bezogen werden kann, ist „assigned share“ der Anteil einer Erkrankung in einer heterogenen Bevölkerung, der ohne die Exposition nicht aufgetreten wäre (bezogen auf Individuen in derselben Expositionskategorie (d.h. Dosis, Geschlecht, Alter bei Exposition und Alter bei Diagnose, etc.)).

Nach EEOICPA qualifizieren als Folge ionisierender Strahlung nur Krebserkrankungen für eine Entschädigung. Dabei werden alle Krebsarten mit einer einzigen Ausnahme, der chronisch-lymphatischen Leukämie (CLL), als durch ionisierende Strahlung verursachbar angesehen. Wissenschaftlich wird diese vergleichsweise weitgehende Liste der durch Strahlenexposition verursachten Krebserkrankungen von einer Arbeitsgruppe des „National Cancer Institutes“ (NCI) und des „Centers for Disease Control“ (CDC) unter anderem mit der Tatsache begründet, dass die gesamte Unsicherheitsbandbreite für die Inzidenz in epidemiologischen Untersuchungen berücksichtigt wird [Land 2002] (Entwurf). Dabei werden in erster Linie die Ergebnisse der epidemiologischen Untersuchungen an Überlebenden der Atombombenabwürfe auf Hiroshima und Nagasaki zugrunde gelegt. Nach der statistischen Auswertung der Daten können auch für solche Krebserkrankungen, für die bislang keine statistisch signifikanten Dosis-Wirkungs-Funktionen angegeben werden konnten (z.B. Hodentumor, malignes Melanom, Hodgkin-Lymphom), Dosis-Wirkungs-Funktionen unter Berücksichtigung der Unsicherheiten ermittelt werden.

Die Festlegung der Ausführungsbestimmungen im Detail obliegt dem „Department of Health and Human Services“ (DHHS) und wurde im Mai und Juni 2002 im „Code of Federal

Register“ publiziert [CFR 2002a], [CFR 2002b]. Kernstück ist das interaktive Rechenprogramm „Interactive RadioEpidemiological Risk Tables“ (IREP), das im Entwurf im Internet verfügbar ist (<http://www.cdc.gov/niosh/ocas/ocasirep.html>). IREP erlaubt die Bestimmung der Verursachungswahrscheinlichkeit für einen gegebenen Krebsfall als Funktion der Dosis (unter Berücksichtigung der Dosisrate und Strahlungsart), des Geschlechts, des Alters bei Exposition und Diagnose, und der Rauchergewohnheiten bei Lungentumoren. Als minimale Latenzzeit sind 2 Jahre bei Leukämien und Knochentumoren und fünf Jahre bei allen anderen Krebsarten erforderlich. Der Ansatz und die Datengrundlage von IREP wurde von einer Kommission der „National Academy of Sciences“ positiv begutachtet [NAS 2000]. Weitere Kennzeichen des Programms sind die verpflichtende Anhörung des Antragsstellers, die wissenschaftliche Qualitätskontrolle bei der Dosisrekonstruktionen und der Errechnung der Verursachungswahrscheinlichkeit und die Verpflichtung zur fortschreitenden Anpassung an neue Erkenntnisse.

Für die Ableitung des Risikofaktors „excess relative risk“ in Abhängigkeit von der Strahlenexposition (ERR/Sv) haben die Autoren der NCI-CDC Arbeitsgruppe die Konvention befolgt, Kategorien mit mindestens 50 Erkrankten in dieser Gruppe zu bilden, die mit > 5 mSv exponiert waren. So werden etwa für die Tumore der männlichen Geschlechtsorgane die Fallzahlen für Tumore von Prostata (ICD-9:185), Testes (ICD-9:186), sowie Penis und andere männliche Genitalorgane (ICD-9:187) als Gruppe ausgewertet. Nach mathematischer Berücksichtigung der Unsicherheiten (a) in der Individualdosis der Atombombenüberlebenden, (b) in der Übertragung des ERR von der japanischen auf die US-amerikanische Bevölkerung, (c) im Dosisratenreduktionsfaktor (DDREF), und (d) in der relative biologische Wirksamkeit verschiedener Strahlungsarten („radiation effectiveness factor“, REF) wurden die Verteilungsfunktion des ERR ermittelt. Nicht berücksichtigt wurden die folgenden Unsicherheiten: (e) die diagnostische Fehlklassifikationen der Atombombenüberlebenden, und (f) die Extrapolation des Risikos auf die restliche Lebenszeit der Atombombenüberlebender, für die derzeit noch keine Daten vorliegen. Für niederenergetische Photonenstrahlung <250 keV werden nach [Kocher et al. 2002] Werte für REF im Vergleich zur Co-60 Gammastrahlung abgeleitet. Der Medianwert des REF für Photonenenergien <30 keV wird dabei mit 2,4 angegeben, der 95%-Vertrauensbereich liegt zwischen 1,1 und 6,1.

Die Unsicherheiten der Eingangsdaten werden mit einem statistischen Programm nach dem Monte-Carlo-Verfahren errechnet, das die Kombination verschiedenartiger Verteilungsfunktionen erlaubt. Rechenergebnisse für die Verursachungswahrscheinlichkeit (PC) sind anhand eines Beispiels für eine Referenzperson (männlich, Nichtraucher, akute Exposition mit Röntgenstrahlung, Organdosis 100 mSv, Alter bei Exposition 20 Jahre, Alter bei Diagnose 40 Jahre) in Tabelle 8-2 zusammengestellt. Dabei sind als Kenngrößen die Perzentilwerte (1%, 5%, 50%, 95%, 99%) der Verteilung für die in IREP festgelegten Klassen für die Photonenergie (<30 keV, 30-250 keV, >250 keV) angegeben. Es zeigt sich, dass für das angegebene Beispiel der PC-Wert im 99-Perzentil für eine Reihe solider Tumore (z.B. Magen, Leber, Gallenblase, Knochen, Melanom, Schilddrüse, Niere) deutlich über 50% liegt. In Abbildung 8-1 sind die Ergebnisse für Photonenenergie <30 keV grafisch dargestellt. Am Beispiel der Krebserkrankungen der männlichen Geschlechtsorgane in Abbildung 8-2 wird deutlich, dass nach EEOICPA bei Exposition mit ca. 150 mSv niederenergetischer Röntgenstrahlung für das 99-Perzentil eine PC>50% errechnet wird und somit bei Hodenkrebs in diesem Beispiel nach EEOICPA Schadensersatz gezahlt würde. Für das 50-Perzentil würde eine PC>50% erst bei etwa 1,5 Sv erreicht.

Das Verfahren zur Dosisrekonstruktion nach EEOICPA ist in 42 CFR Part 82 geregelt; die wesentlichen Arbeitsschritte sind in Abbildung 8-3 dargestellt. Die zuständige Behörde, das

„National Institute for Occupational Safety and Health“ (NIOSH) vergab im Jahr 2002 einen Auftrag an „Oak Ridge Associated Universities“ (ORAU) in Höhe von ca. \$70 Mio. für die Rekonstruktion von ca. 40.000 Fällen, die innerhalb von fünf Jahren zu bearbeiten sind. Die Arbeitsansätze, Datengrundlage und Methoden werden durch ein unabhängiges Beratungsgremium unter Beteiligung von Gewerkschaftsvertretern begleitet. Die Bearbeitung bei ORAU erfordert Spezialisten mit einem Minimum von drei Jahren Berufserfahrung in Dosimetrie. Ein repräsentatives „peer review“ repräsentativer Dosisrekonstruktionen durch unabhängige Dritte wird in Kürze durch NIOSH beauftragt. Die Rekonstruktion beginnt mit einem Interview des Antragstellers, der Verifizierung seiner Angaben und einem schriftlichen Bericht über die Ergebnisse zu den Arbeitsplatzangaben zurück an den Antragsteller. Nach erfolgter Dosisrekonstruktion wird Entwurf der Berechnungen dem Antragsteller zur Stellungnahme zugestellt, dies kann in einem iterativen Prozess erfolgen. Es erfolgt keine Weiterleitung der Dosisrekonstruktion an die Behörde, die über den Schadensersatz entscheidet (Department of Labor, DOL) ohne einen Beleg, dass der Antragsteller die Dosisrekonstruktion zur Kenntnis genommen hat.

Als Daten für die Dosisrekonstruktion kommen in Frage:

- Arbeitsplatzbeschreibung (Ort, Zeit, Tätigkeit usw.)
- Personenspezifische Daten zur externen und internen Exposition
- Arbeitsplatzspezifische Daten (z.B. Raumlufüberwachung)
- Daten zur Charakterisierung der Belastung am Arbeitsplatz (z.B. Strahlungsart, Partikelgröße)
- Daten zur Beschreibung des Arbeitsprozesses (z.B. typische Arbeitsabläufe)

Fehlende Daten werden durch plausible oder „worst-case“ Annahmen ergänzt (z.B. bei Fehlen externer Dosimeterdaten werden Daten für vergleichbare Monate herangezogen; bei Werten unterhalb der Nachweisgrenze wird die interne Dosis auf der Basis der Nachweisgrenze berechnet). Im Zweifelsfall sollen konservative Annahmen getroffen und entsprechende Daten zugrunde gelegt werden.

Die Dosisrekonstruktion wird beendet, wenn bereits eine errechnete Teildosis ergibt, dass im 99-Perzentil des Konfidenzintervalls der Wert für PC 50% überschreitet, oder andererseits eine „worst-case“ Abschätzung ergibt, dass der entsprechende Wert für PC kleiner als 50% ist. Für den Fall, dass die Daten für eine Dosisrekonstruktion unzureichend sind, wird dies anhand der vorliegenden und Ausweisung der notwendigen, aber nicht verfügbaren Daten dokumentiert. Im letzteren Fall muss das DOL den Antrag ablehnen, da keine PC errechnet werden kann. Der Antragsteller kann die Aufnahme in eine „special exposure cohort“ beantragen. Nach EEOICPA ist für die Fälle, in denen die Datenbasis eine ausreichend genaue Rekonstruktion der Strahlenexposition nicht erlaubt, die Festlegung einer Klasse von Exponierten möglich, wenn „es eine vernünftige Wahrscheinlichkeit gibt, dass Strahlung die Gesundheit der Mitglieder dieser Klasse beeinträchtigt hat.“ Im Gesetz sind mehrere Klassen bereits festgelegt, deren Mitglieder bei Krebserkrankung automatisch entschädigt werden: strahlenexponierte Beschäftigte, die mindestens 250 Tage vor dem 01.02.1993 in den Urananreicherungsanlagen in Paducah, Portsmouth und Oak Ridge gearbeitet haben, sowie Beschäftigte des DOE (oder von DOE beauftragter Firmen) in Amchitka, Alaska im Zusammenhang mit den Atombombentests Long Shot, Milrow und Cannikin vor dem 01.01.1974.

Das Verfahren zur Festlegung der „special exposure cohorts“ soll nach dem Entwurf zu 42 CFR 83 geregelt werden [CFR 2002b]. Dabei soll ermittelt werden, ob für die Klasse der

Exponierten eine Exposition möglich war, aus der für eine gegebene Krebserkrankung eine  $PC > 50\%$  im 99-Perzentil resultiert. Danach soll eine präzisierende Festlegung der Kohorten erfolgen. Es ist offensichtlich, dass die Festlegung der Kohorten nur zum Teil naturwissenschaftlich präzise begründet werden kann.

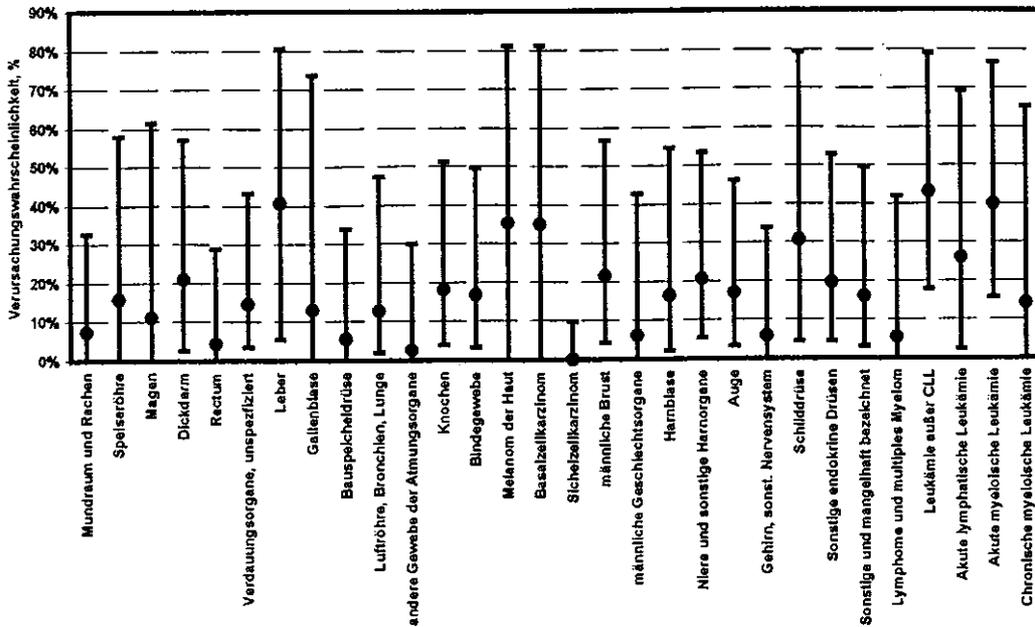


Abb. 8-1: Verursachungswahrscheinlichkeit von Krebserkrankungen eines Mannes 0,1 Sv Organdosis, akute Exposition, Photonen <30 keV, Nichtraucher, Alter bei Exposition 20 J., Alter bei Diagnose 40 J., berechnet mit NIOSH-IREP v.5.2 (Medianwert, 1-Perzentil, 99-Perzentil)

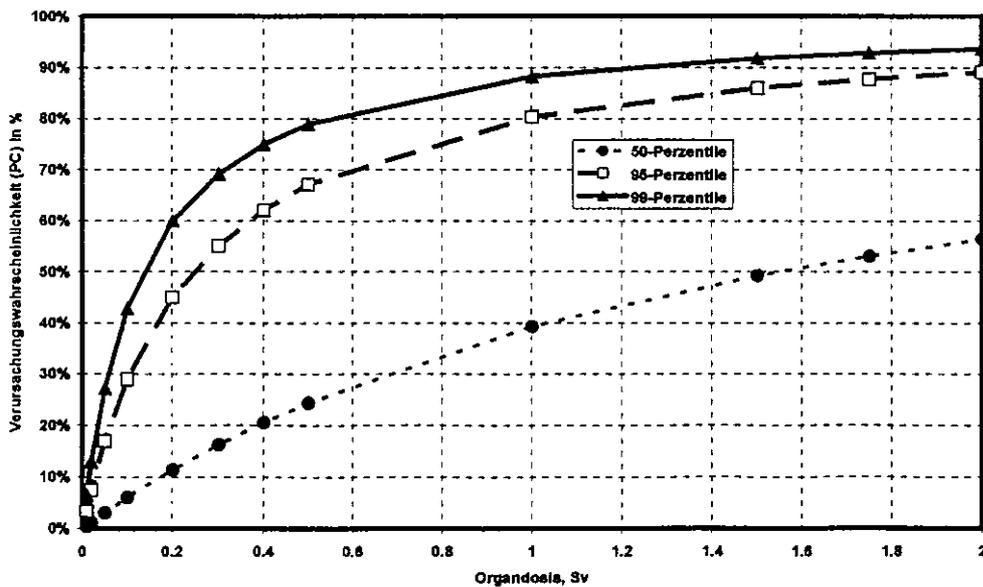


Abb. 8-2: Verursachungswahrscheinlichkeit (PC) von Krebserkrankungen der männlichen Geschlechtsorgane (Prostata, Hoden, Penis u.a.) nach akuter Exposition (Photonenenergie <30 keV, Alter bei Exposition 20 J., Alter bei Diagnose 40 J., berechnet mit NIOSH-IREP v.5.2)

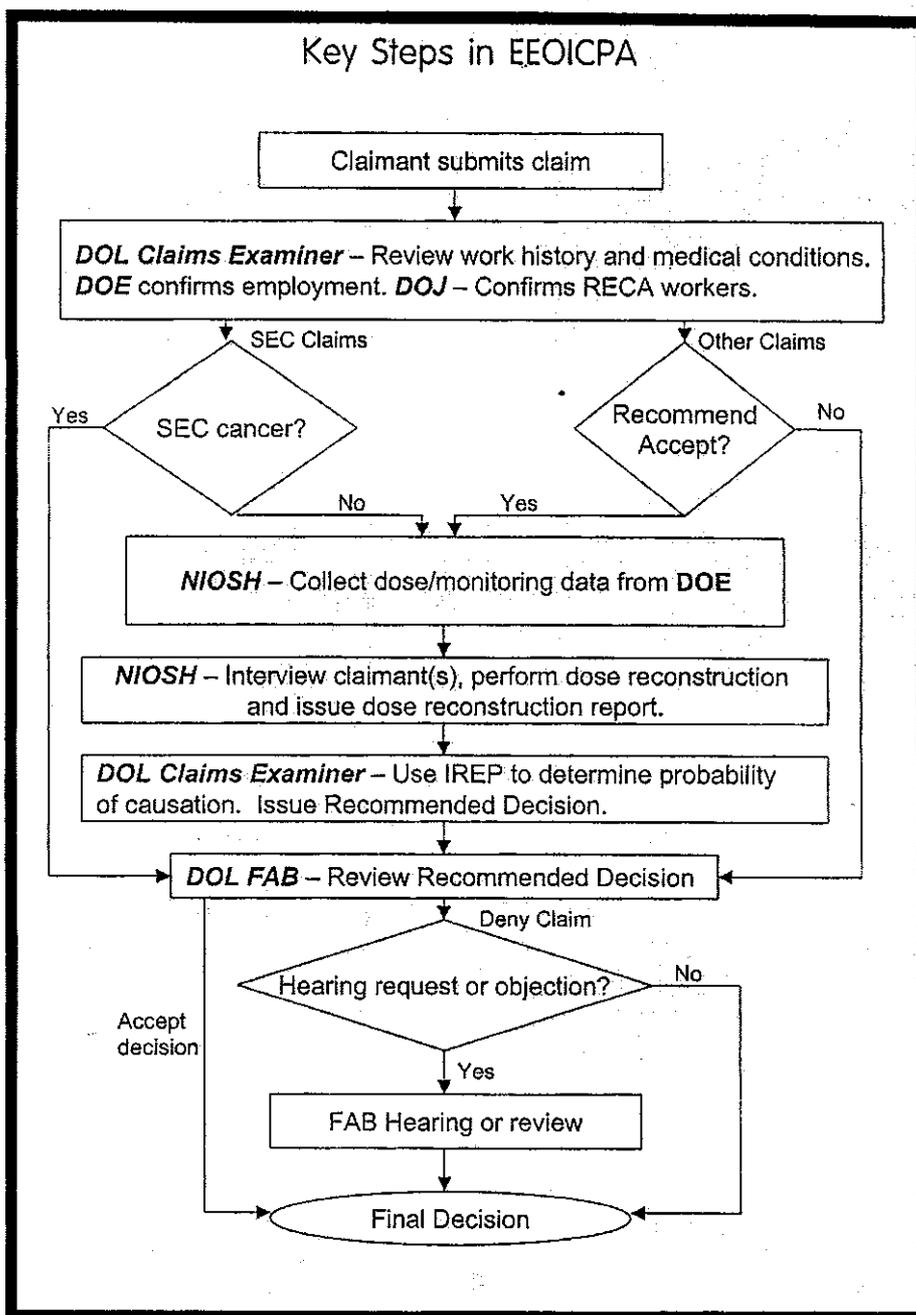


Abb. 8-3: Ablauf des Prüfverfahrens in EEOICPA [Walchuk 2003]

Tab. 8-2: Verursachungswahrscheinlichkeit (PC) für Krebserkrankungen eines Mannes (Nichtraucher) nach [NIOSH 2002] (Beispiel: akute Exposition mit 0,1 Sv Organdosis durch Photonenstrahlung verschiedener Energie, Alter bei Exposition 20 Jahre, Alter bei Diagnose 40 Jahre); dabei ist die Verursachungswahrscheinlichkeit für verschiedene Perzentilwerte der Verteilung angegeben

Krebsart	ICD-9 Code	Photonenenergie <30 keV					Photonenenergie 30-250 keV					Photonenenergie >250 keV				
		Perzentil der Verteilung					Perzentil der Verteilung					Perzentil der Verteilung				
		1%	5%	50%	95%	99%	1%	5%	50%	95%	99%	1%	5%	50%	95%	99%
Mundraum und Rachen	140-149	0,00%	0,94%	7,33%	23,12%	32,73%	0,00%	0,70%	5,73%	18,84%	27,73%	0,00%	0,46%	3,24%	8,40%	11,50%
Speiseröhre	150	0,00%	0,15%	15,77%	44,52%	57,93%	0,00%	11,00%	12,60%	38,53%	51,89%	0,00%	0,07%	7,55%	20,16%	26,71%
Magen	151	0,00%	0,43%	11,14%	46,80%	61,66%	0,00%	3,500%	8,74%	40,64%	55,67%	0,00%	0,22%	4,83%	23,45%	31,22%
Dickdarm	153	2,58%	6,05%	20,96%	45,57%	56,95%	1,75%	4,77%	16,85%	39,02%	49,78%	1,02%	3,30%	10,03%	20,07%	24,27%
Rectum	154	0,00%	0,00%	4,31%	19,74%	28,94%	0,00%	0,00%	3,35%	15,70%	23,90%	0,00%	0,00%	1,93%	7,17%	10,42%
Verdauungsorgane, unspez.	150-159	3,49%	5,14%	14,57%	22,63%	43,28%	2,69%	4,05%	11,54%	27,70%	36,21%	2,13%	3,00%	6,66%	12,90%	16,54%
Leber	155.0	5,42%	11,12%	40,70%	71,83%	80,53%	4,28%	8,66%	34,42%	66,18%	75,74%	2,95%	5,77%	23,07%	44,75%	54,32%
Gallenblase	155.1, 156	0,00%	0,00%	12,98%	56,78%	73,60%	0,00%	0,00%	10,40%	50,39%	68,44%	0,00%	0,00%	6,59%	31,90%	44,24%
Bauspeicheldrüse	157	0,00%	0,00%	5,43%	23,19%	33,77%	0,00%	0,00%	4,20%	18,60%	27,45%	0,00%	0,00%	2,55%	8,77%	12,16%
Luftröhre, Bronchien, Lunge	162	1,90%	3,36%	12,66%	35,94%	47,19%	1,44%	2,60%	10,09%	29,73%	40,52%	0,99%	1,78%	5,83%	14,28%	18,73%
Atmungsorgane, andere	160,161, 163-165	0,00%	0,00%	2,52%	19,50%	29,98%	0,00%	0,00%	1,92%	15,53%	24,81%	0,00%	0,00%	1,14%	7,47%	11,20%
Knochen	170	3,98%	6,35%	18,12%	40,26%	51,11%	3,00%	5,05%	14,64%	34,23%	45,18%	2,50%	3,57%	8,48%	16,42%	21,02%
Bindegewebe	171	3,29%	5,62%	16,72%	38,72%	49,49%	2,65%	4,45%	13,40%	32,90%	43,67%	2,11%	3,19%	7,73%	15,72%	20,23%
Melanom der Haut	172	0,00%	3,26%	35,20%	72,81%	81,18%	0,00%	2,44%	39,59%	67,58%	76,66%	0,00%	1,51%	19,40%	45,37%	55,44%
Basaliom der Haut	173	0,00%	2,30%	34,91%	72,77%	81,04%	0,00%	1,78%	29,37%	67,47%	76,56%	0,00%	1,09%	19,30%	45,14%	55,67%
Spinaliom der Haut	173	0,00%	0,00%	0,00%	4,30%	9,64%	0,00%	0,00%	0,00%	3,27%	7,38%	0,00%	0,00%	0,00%	1,77%	3,33%
Männl. Brust	175	4,18%	7,27%	21,58%	45,36%	56,56%	3,35%	5,74%	17,39%	38,77%	48,39%	2,48%	4,30%	10,78%	18,49%	21,45%
Männl. Geschlechtsorgane	185-187	0,00%	0,00%	6,08%	29,04%	42,85%	0,00%	0,00%	4,75%	24,68%	36,66%	0,00%	0,00%	2,69%	12,15%	17,79%
Harnblase	188	2,07%	4,54%	16,33%	39,60%	54,54%	1,56%	3,57%	12,97%	33,47%	44,68%	1,21%	2,57%	7,60%	16,07%	20,74%
Niere, sonstige Harnorgane	189	5,38%	7,89%	20,59%	43,09%	53,25%	4,30%	6,30%	16,61%	36,65%	46,42%	3,42%	4,72%	9,67%	17,49%	21,55%
Auge	190	3,26%	5,72%	16,95%	39,56%	45,99%	2,60%	4,46%	13,47%	33,52%	44,48%	1,87%	3,14%	7,84%	15,96%	20,47%
Gehirn, sonst. Nervensystem	191,192	0,00%	45,00%	5,79%	22,10%	33,71%	0,00%	0,34%	4,54%	17,72%	28,36%	0,00%	0,24%	2,58%	8,26%	11,79%
Schilddrüse	193	4,39%	8,22%	30,64%	68,40%	79,26%	3,60%	6,57%	25,08%	62,35%	74,63%	2,55%	4,32%	15,08%	41,21%	55,05%
Sonstige endokrine Drüsen	194	4,40%	7,15%	19,60%	42,33%	52,69%	3,38%	5,62%	15,80%	36,05%	45,51%	2,80%	4,07%	9,24%	17,98%	22,08%
Sonstige	195	3,11%	5,21%	16,01%	38,44%	49,52%	2,44%	4,14%	12,85%	32,16%	43,63%	1,98%	2,98%	7,35%	15,54%	20,29%
Lymphome, multiples Myelom	200-203	0,00%	0,00%	5,42%	27,58%	41,90%	0,00%	0,00%	4,25%	22,66%	36,10%	0,00%	0,00%	2,52%	11,57%	17,15%
Leukämie außer CLL	204-208,	17,73%	21,41%	42,99%	70,76%	78,86%	14,27%	17,59%	35,76%	63,47%	71,93%	12,03%	14,77%	22,38%	31,48%	34,59%

Tab. 8-2: Verursachungswahrscheinlichkeit (PC) für Krebserkrankungen eines Mannes (Nichtraucher) nach [NIOSH 2002] (Beispiel: akute Exposition mit 0,1 Sv Organdosis durch Photonenstrahlung verschiedener Energie, Alter bei Exposition 20 Jahre, Alter bei Diagnose 40 Jahre); dabei ist die Verursachungswahrscheinlichkeit für verschiedene Perzentilwerte der Verteilung angegeben

Krebsart	ICD-9 Code	Photonenenergie < 30 keV			Photonenenergie 30-250 keV			Photonenenergie > 250 keV													
		Perzentil der Verteilung			Perzentil der Verteilung			Perzentil der Verteilung													
		1%	5%	99%	1%	5%	99%	1%	5%	99%											
	ohne 204.1																				
Akute lymphatische Leukämie	204.0	2,44%	6,12%	25,96%	58,26%	69,19%	1,82%	4,98%	21,24%	51,75%	63,91%	1,09%	3,13%	12,99%	30,47%	39,35%					
Akute myeloische Leukämie	205.0	15,68%	19,56%	39,89%	68,18%	76,59%	12,55%	15,75%	32,82%	60,18%	68,89%	10,52%	13,02%	20,01%	28,85%	33,01%					
Chronische myeloische Leukämie	205.1	6,00%	1,59%	14,24%	52,02%	65,18%	0,40%	1,19%	10,84%	43,56%	57,65%	0,19%	0,70%	6,03%	21,35%	30,71%					

### 8.3 ZUM BISHERIGEN VERFAHREN DES BMVG UND VORSCHLÄGE ZUR MODIFIKATION

(a)

Mit Rundschreiben des BMA vom 13.05.2002 wurden im Bundesarbeitsblatt Anhaltspunkte für die ärztliche Gutachtertätigkeit zur Beurteilung von bösartigen Neubildungen nach Einwirkung ionisierender Strahlen durch Radargeräte der Bundeswehr im sozialen Entschädigungsrecht mitgeteilt. Darin wird zunächst auf der Basis der Anhörung erfahrener Sachverständiger der Sektion Versorgungsmedizin des BMA die dosisabhängige Anerkennbarkeit der Einwirkung durch Röntgenstrahlung als auch durch radioaktive Stoffe festgestellt, während für hochfrequente elektromagnetische Felder nach dem derzeitigen Kenntnisstand lediglich thermische Schäden durch hochgradige Exposition möglich seien. Weiter wird dort ausgeführt:

Trotz der generellen Kanzerogenität ionisierender Strahlen kommt die Verursachung für folgende maligne Tumoren nicht in Betracht: Chronisch-lymphatische Leukämie, Hodgkin-Lymphom (Lymphogranulomatose), malignes Melanom sowie Hodentumoren.

Für Leukämien und Myelodysplastische Syndrome ist der ursächliche Zusammenhang ab einer Organdosis (Knochenmark) von 0,2 Sv mit Wahrscheinlichkeit gegeben. Dafür sind bei soliden Tumoren wenigstens 1 Sv für strahlensensible Gewebe (Schilddrüse, Harnblase, Ovar, Brust, Haut) erforderlich, für weniger empfindliche Gewebe (z.B. Pankreas, Leber, Prostata) wesentlich höhere Organdosen. Unterhalb einer Organdosis von 0,02 Sv bei akuten Leukämien und 0,1 Sv bei malignen soliden Tumoren ist der ursächliche Zusammenhang unwahrscheinlich.

Werden im Anerkennungsverfahren in einem ersten vorzunehmenden Prüfschritt die o.g. Wahrscheinlichkeitsuntergrenzen nicht erreicht, kann im Rahmen eines zweiten Prüfschritts die „Kannversorgung“ greifen, wenn die o.g. Unwahrscheinlichkeitsgrenzen von 0,02 bzw. 0,1 Sv überschritten werden. Im Fall von akuten Leukämien gilt dies uneingeschränkt. Bei malignen soliden Tumoren ist zusätzliche Einzelfallbeurteilung vorgesehen.

(b)

Die Kommission ist der Ansicht, dass wegen der dargelegten epidemiologischen Unsicherheiten und in Übereinstimmung mit [UNSCEAR 2000] und der US-Amerikanischen Vorgehensweise im angefragten konservativen Sinne auf generelle Malignomausschlüsse außer der CLL verzichtet werden sollte.

Zur bisherigen Anwendung der Kannversorgung sollte trotz der erstaunlichen Übereinstimmung mit dem Vorgehen gemäß EEOICPA in USA folgendes beachtet werden:

- Unterhalb von 0,1 Sv konnten bisher weder bei beruflicher noch umweltbedingter menschlicher Exposition gesundheitsschädliche Effekte bei Erwachsenen nachgewiesen werden.
- Max. 2% der Krebsfälle in der deutschen Bevölkerung könnten durch ionisierende Strahlung (inkl. UV und Radon) verursacht sein. Normalerweise liegen berufliche Lebens-Strahlendosen unterhalb der Dosis durch natürliche und medizinische Strahlenquellen, die nicht zu entschädigen sind. Für einen deutschen Bundesbürger, der im Alter von 50 Jahren an einem Malignom erkrankt, beträgt unter Vernachlässigung medizinischer Strahlenanwendungen die natürlich erworbene effektive Dosis durchschnittlich 120 mSv mit einer Schwankungsbreite von +/- 15 mSv. Zwar reduziert sich im Einzelnen die

natürliche Organdosis zumeist um den aus der Radoninhalation in Innenräumen bedingten Anteil von rd. 50% der effektiven Dosis, die Nähe des Mindest-Organdosiswertes für Knochenmark von 20 mSv für die Anerkennung einer Leukämie nach der Kannversorgung zur Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition wird dennoch deutlich. Es kann somit die Möglichkeit nicht ausgeschlossen werden, dass ggf. Erkrankungen lediglich durch allfällige natürliche Exposition bedingt entschädigt werden.

Bei der für solide Tumoren vorgesehenen Einzelfallprüfung werden von der Kommission unter Berücksichtigung des Vorgehens in anderen Ländern verschiedene mögliche Alternativen gesehen. Ausgangspunkt ist bei Vorliegen belastbarer Organdosiswerte die Abschätzung der Verursachungswahrscheinlichkeit (PC). Die Organdosen sind unter Berücksichtigung der Strahlenqualität zu bestimmen, wobei die Bewertung der Photonendosis beachtet werden muss. Die Verursachungswahrscheinlichkeit ist auf Grund epidemiologischer Risikodaten zu ermitteln. Dazu können z.B. die deutschen radioepidemiologischen Tabellen entsprechend dem deutschen Berufskrankheitenrecht verwendet werden oder es könnte z.B. das amerikanische Verfahren zu Grunde gelegt werden, das nicht das mittlere Risiko bei der Ermittlung zu Grunde legt, sondern ein Perzentil der Risikoverteilung. Welches Verfahren gewählt wird, welcher Wert bzw. welches Perzentil im zu prüfenden Fall benutzt wird, kann nicht durch wissenschaftliche Überlegungen entschieden werden, sondern ist letztlich eine politische Entscheidung. Es muss auf jeden Fall sicher gestellt sein, dass für alle Betroffenen ein einheitliches Verfahren angewendet wird und zwar unabhängig davon, welcher Beschäftigungsgruppe sie zuzuordnen sind.

## 9 ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNGEN

### 9.1 EXPOSITIONEN

#### 9.1.1 Röntgenstörstrahlung

In der Bundeswehr lässt sich der Umgang mit Störstrahlern in Radar-Waffensystemen nach den Erkenntnissen der Kommission historisch in drei Phasen gliedern.

Die **Phase 1** ist dadurch gekennzeichnet, dass Messwerte, welche die nachträgliche Ermittlung der Exposition gestatten würden, nicht vorliegen und, gemessen an heutigen Maßstäben, kein adäquater Strahlenschutz bestand.

Zwar wurde schon 1958 mit der ZDv 44/20 eine Dienstvorschrift erlassen, in der auf die Röntgen-Störstrahlung leistungsfähiger Radarsender verwiesen wurde. Dies führte aber nicht dazu, dass für die nach Gründung der Bundeswehr in den Teilstreitkräften eingeführten Radar-Waffensysteme in größerem Umfang Messungen der Ortsdosisleistung und darauf basierend Abschätzungen möglicher Arbeitsplatz-Expositionen vorgenommen worden wären. Ausweislich der ausgewerteten Unterlagen sind aus der Zeit bis 1975 nur vereinzelte Messungen dokumentiert. Diese weisen zwar nach, dass Expositionen durch Störstrahlung aufgetreten sind, ermöglichen aber für keines der Waffensysteme eine Expositionsrekonstruktion<sup>16</sup>. Eine Übertragung der Ergebnisse späterer Messungen auf frühere Expositionszeiträume ist in der Regel nicht möglich, da eine Vielzahl von Einflussfaktoren nicht mehr rekonstruierbar sind.

Aussagefähige personendosimetrische Daten liegen nicht vor<sup>17</sup>.

Die **Phase 2** markiert die Übergangsperiode, in der, nach den alarmierenden Messungen am Radargerät SGR-103 der Marine, an wichtigen Waffensystemen der Teilstreitkräfte der Bundeswehr nach und nach systematische Messungen der Ortsdosisleistung durch Störstrahler durchgeführt und Strahlenschutzmaßnahmen etabliert wurden. Im Jahre 1975 hatte im Marinearsenal Wilhelmshaven der Tod von zwei Beschäftigten als Folge maligner Erkrankungen zu Unruhe und Spekulationen über Arbeitsplatzbelastungen geführt. Die daraufhin initiierten Messungen am Sender eines SGR-103 haben einen Wert von etwa 40 R/h (entspricht ca. 400 mSv/h) ergeben. Dieses alarmierende Resultat<sup>18</sup> sowie die Ergebnisse weiterer Messungen am SGR-103, bei denen ähnliche Werte ermittelt wurden, führten zu einer Reihe technischer und administrativer Sofortmassnahmen mit dem Ziel, schnellstmöglichst Expositionen an Arbeitsplätzen zu reduzieren – beispielsweise durch das Anbringen zusätzlicher Abschirmbleche, die Einrichtung von Kontrollbereichen oder die Anweisung, Arbeiten an offenen Geräten nur mit Bleischürzen durchzuführen. Diese Vorkommnisse im

---

<sup>16</sup> Die einzige der Kommission bekannt gewordene Ausnahme stellt das Waffensystem MPS-14 dar, bei dem zwischen 1958 und 1966 (teils von der PTB) insgesamt 33 Messungen durchgeführt wurden.

<sup>17</sup> So auch der damalige Leiter der Strahlenmessstelle Nord der Bundeswehr in einem 1983 erstellten Gutachten zu einem Antrag auf Versorgung nach dem III. Teil des Soldatenversorgungsgesetzes. Der Antragsteller war für Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten am Waffensystem HAWK eingesetzt gewesen.

<sup>18</sup> Ein Aufenthalt in diesem Strahlenfeld führte zu einer Dosis, die in Abhängigkeit von den genauen Expositionsbedingungen den für beruflich strahlenexponierte Personen geltenden Jahresgrenzwert der Röntgenverordnung schon nach wenigen Stunden überschreiten konnte.

Marinearsenal steigerten bei BMVg und Bundeswehr das Problembewusstsein für mögliche Expositionen durch Röntgenstörstrahler an Radargeräten.

Der Zeitraum, den Phase 2 einnimmt, ist für jedes Radargerät/Waffensystem spezifisch zu ermitteln.

Die **Phase 3** kann als derjenige Zeitraum charakterisiert werden, ab dem ein bezüglich der Störstrahler adäquater Strahlenschutz in der Bundeswehr etabliert war.

Der Beginn dieser Phase ist für ein Waffensystem/Radargerät dadurch bestimmt, dass – sofern erforderlich – die aus den systematischen Messungen der Phase 2 abgeleiteten technischen Maßnahmen zur Reduzierung der Ortsdosisleistungen an Arbeitsplätzen abgeschlossen und deren Effizienz durch entsprechende Kontrollmessungen kontrolliert worden waren. Technische Verbesserungen konzentrierten sich dabei auf zusätzliche Abschirmungen und den Ersatz der Störstrahler durch Halbleiterkomponenten, bei denen physikalisch bedingt keine Störstrahlung mehr auftreten kann, oder zumindest durch verbesserte Röhren, bei denen die Verwendung von Keramik statt Glas die Störstrahlung signifikant reduziert.

Für die Vielzahl der Störstrahler, für die keine oder nur eine geringe Zahl von Messungen der Ortsdosisleistung vorliegt<sup>19</sup>, können keine Aussagen über Expositionen getroffen werden. Sie müssen daher der Phase 1 zugeordnet werden.

Für Radargeräte, die bei der früheren NVA eingesetzt worden sind, empfiehlt die Kommission prinzipiell ein analoges Vorgehen. Im Ergebnis sind die NVA-Geräte generell der Phase 1 zuzuordnen, da der Kommission weder Hinweise auf systematische Untersuchungen der von ihnen ausgehenden Röntgenstörstrahlung noch auf die Durchführung entsprechender Strahlenschutzmaßnahmen vorliegen.

### 9.1.2 Radioaktive Stoffe und <sup>226</sup>Ra-haltige Leuchtfarben

Die Ermittlung der Strahlenbelastung des Radarpersonals durch radioaktive Stoffe kann sich auf die Verwendung radiumhaltiger Leuchtfarbe konzentrieren. Die Kommission hat sich davon überzeugt, dass radiologisch relevante Folgedosen durch andere radioaktive Stoffe nicht zu erwarten sind.

Expositionen durch Radium-Leuchtfarbe waren primär ein Problem der Bundeswehr. Der Kommission liegen keine Hinweise vor, dass bei den Radaranlagen der Nationalen Volksarmee radioaktive Leuchtfarben verwendet worden wären.

Die Herkunft und die Verwendung von Leuchtfarben und durch diese mögliche Expositionen wurden von der Arbeitsgruppe Aufklärung der Arbeitsplatzverhältnisse Radar (AG RADAR) nur summarisch geprüft. Zum einen hat die Arbeitsgruppe keine Methodik entwickelt, um die Existenz radiumhaltiger Leuchtfarben in den von ihr erfassten Radargeräten systematisch zu erfassen, zum anderen fehlen Abschätzungen der möglichen Exposition infolge des von den ehemaligen Beschäftigten glaubhaft dargestellten Abkratzens und Wiederaufbringens radiumhaltiger Leuchtfarben.

---

<sup>19</sup> Nach Kapitel 3 ist ein Stichprobenumfang von  $n > 20$  erforderlich.

Die Benutzung radiumhaltiger Leuchtfarben in der Bundeswehr lässt sich nach den Sachverhaltsermittlungen der Kommission in zwei Zeiträume untergliedern:

### **Zeitraum bis 1980**

Dieser Zeitraum ist durch einen weitverbreiteten Einsatz radiumhaltiger Leuchtfarben gekennzeichnet. Auskratzen, Abschmiegeln und zum Teil Wiederauftragen dieser Leuchtfarben durch Radartechniker ohne adäquate Strahlenschutzvorkehrungen sind vorgekommen. Im Einzelfall kann eine Inkorporation während solcher Arbeiten im Gegensatz zu externer Exposition und Berühren nicht abgedeckter radiumhaltiger Schaltelemente zu hohen Belastungen führen.

Die von  $^{226}\text{Radium}$  ausgehende potenzielle Gefährdung war der Bundeswehr schon früh bekannt. Nach Angaben der Bundeswehr wurde eine aus diesem Grund Mitte der Sechziger Jahre ergangene Weisung zum Austausch dieser Substanz aus Gründen der militärischen Einsatzbereitschaft nicht unmittelbar und vollständig, sondern erst im Laufe der Siebziger Jahre sukzessive umgesetzt. Das Ersetzen durch andere Substanzen erstreckte sich bis in die Achtziger Jahre und wurde Ende 1989 als abgeschlossen gemeldet. Ab spätestens 1980 erfolgten Arbeiten wie das Auskratzen aber nach Erkenntnissen der Kommission in der Regel mit Schutzausrüstung.

### **Zeitraum ab 1980**

Auch nach 1980 existierten in der Bundeswehr noch Bestände an Bauteilen mit radiumhaltiger Leuchtfarbe. Obwohl deren Zahl hoch genug war, um im Jahre 2000 einen erneuten Befehl zur Aussonderung zu veranlassen, hält die Kommission das Risiko einer Radium-Inkorporation in diesem Zeitraum für gering.

Im Gegensatz zu Expositionen gegenüber externer ionisierender Strahlung besteht bei Inkorporation radioaktiver Stoffe prinzipiell die Möglichkeit, durch eine Ganzkörpermessung retrospektiv die aufgenommene Aktivität und – unter Modellannahmen – die damit verbundene Dosis abzuschätzen. Die Abschätzung der möglicherweise zugeführten Aktivitäten wird ungenauer, wenn Zeitpunkt bzw. Zeitraum sowie der Pfad der Zufuhr nicht bekannt sind. Darüber hinaus können methodische Nachweisgrenzen der Analytik unterschritten werden, wenn der Untersuchungszeitpunkt vom Zufuhreignis viele Jahre bis Jahrzehnte Abstand hat.

### **9.1.3 Hochfrequenzstrahlung**

Nach dem heutigen Stand der Wissenschaft kann nur die Wärmewirkung der HF-Strahlung als möglicher Schädigungsmechanismus als hinreichend gesichert angesehen werden. Bei hohen Leistungsflussdichten kann es zu einer Trübung der Augenlinse (Katarakt) kommen. Der relevante Frequenzbereich dafür ist 0,9 – 10 GHz. Die Kommission hält einen Kausalzusammenhang zwischen HF-Exposition und Auftreten einer Katarakt für wahrscheinlich bei

- einer mittleren Leistungsflussdichte oberhalb  $100 \text{ W/m}^2$  und einer Exposition über längere Zeiträume (mehrere Stunden pro Tag über mehrere Monate) oder
- einer mittleren Leistungsflussdichte oberhalb  $1000 \text{ W/m}^2$  über wenige Minuten.

Akute Expositionen in der genannten Größenordnung oberhalb  $1000 \text{ W/m}^2$  müssten dem Betroffenen durch eine spürbare Wärmewirkung im Bereich des Gesichtes bewusst geworden sein.

Hinsichtlich der Möglichkeit des Erreichens oder Überschreitens einer Leistungsflussdichte von  $100 \text{ W/m}^2$  lässt sich eine Kategorisierung nach Einsatzzeit, Einsatzort und Waffensystem vornehmen.

### Einsatzzeit

Entsprechend der Einsatzzeit ist nach Auffassung der Kommission eine Unterscheidung zwischen dem Zeitraum vor der Einführung von Schutzvorschriften und -maßnahmen und dem Zeitraum danach sinnvoll. Vor der Einführung solcher Maßnahmen hält die Kommission gelegentliche oder auch häufige Expositionen mit hoher Überschreitung der späteren Grenzwerte für wahrscheinlich.

### **Bundeswehr**

Für die Bundeswehr wurde mit der ZDv 44/20 von 1958 die erste Vorschrift zum Schutz vor HF-Strahlung eingeführt. Bis dahin existierten keine Regelungen zur Begrenzung der Exposition. Messungen zur Etablierung oder Überprüfung eines Personenschutzes sind der Kommission nicht belegt worden.

Der Zeitraum danach ist durch die sukzessive Etablierung eines Schutzsystems gekennzeichnet. Es wurden zunächst einzelne sporadische Messungen zur Expositionsbestimmung durchgeführt. Systematische Messkampagnen fanden bis etwa 1976 nicht statt, da im Verantwortungsbereich der Bundeswehr keine speziellen Messstellen und kein spezifisch dafür ausgebildetes Personal vorhanden waren. Diese Situation verbesserte sich mit der Etablierung der beiden Strahlenmessstellen der Bundeswehr, durch die Ende der Siebziger Jahre systematische Messungen an kritischen Waffensystemen durchgeführt wurden. Weitere Entwicklungsstufen sind die Einführung eines umfassenden Schutzsystems für das Personal durch Anwendung vereinheitlichter Regelungen im Rahmen der NATO (STANAG / 1979), die im weiteren Verlauf durch nationale Vorschriften ergänzt wurden. Überexpositionen sind jedoch nach Auffassung der Kommission für bestimmte Expositionsorte und Waffensysteme wahrscheinlich.

### **NVA**

Ab ca. Mitte der 70er Jahre gab es nach den Erkenntnissen der Kommission bei der NVA erste Messungen von HF-Strahlung (mobiler Messtrupp), die z.T. Empfehlungen für den Schutz vor Hochfrequenzstrahlung zur Folge hatten. Die früheste der Kommission bekannte Vorschrift der NVA stammt aus dem Jahre 1976 [NVA 1976].

### Einsatzort

Die Einsatzorte können kategorisiert werden in solche, in denen das Risiko einer Überexposition als hoch, und solche, in denen es als gering eingestuft werden kann.

Die erste Kategorie umfasst Arbeitsplätze in geringer Entfernung von Dauerstrichradarantennen oder leistungsstarken Rundsuchradarantennen und Arbeitsplätze in geschlossenen Räumen, in denen die Möglichkeit von Reflexionen der Strahlung an Gebäudestrukturen nicht ausgeschlossen werden kann. Hier sind insbesondere Reparaturhallen zu nennen, in denen das Potential für Reflexionen zusammen mit der wiederholt geschilderten Praxis, zu Testzwecken Rundsuchradargeräte konstant in einen

Raumwinkel abstrahlen zu lassen und dadurch unbedacht benachbarte Arbeitsplätze zu exponieren, zu Überexpositionen geführt haben kann.

In die zweite Kategorie sind Einsatzorte an Radargeräten einzuordnen, die sich in Stellungen in Entfernungen von Radarsendern befanden, bei denen auf Grund der Entfernung und räumlicher Bedingtheiten eine relevante Aufenthaltszeit an Orten mit kritischen mittleren Leistungsflussdichten ausgeschlossen werden kann.

### **Waffensystem**

Ein – im Einzelfall beträchtliches – Risiko für Überexpositionen stellten Waffensysteme dar, bei denen in mobilen Stellungen Dauerstrich-Radargeräte in unzureichender Entfernung von anderen Komponenten des jeweiligen Waffensystems, an dem Arbeitsplätze existierten, aufgestellt wurden. Nach den Kenntnis der Kommission ist es beispielsweise für das Waffensystem HAWK während der gesamten Einsatzzeit in der Bundeswehr in einer Vielzahl von Einsatzstellungen vorgekommen, dass die in der Bundeswehr zur Vermeidung kritischer Leistungsflussdichten festgelegten Mindestentfernungen nicht eingehalten wurden. In geringerem Maße gilt dieses auch für das Waffensystem NIKE.

## **9.2 GESUNDHEITLICHE RISIKEN**

Zur Beurteilung der Krankheitsbilder hat die Kommission von der Bundeswehr anonymisierte Daten zur Verfügung gestellt bekommen. Diese ermöglichten aber weder eine genaue Beschreibung der Häufigkeit der einzelnen Krankheiten, noch eine Aussage über statistische Häufungen einzelner Krankheiten innerhalb der exponierten Gruppe, da die Erfassung der Erkrankten unvollständig ist und Umfang und Altersverteilung der zu Grunde liegenden betroffenen Population nicht bekannt sind.

Die Aussagen und Empfehlungen zur Gesundheitsgefährdung stützt die Kommission deshalb ausschließlich auf den in der internationalen Fachliteratur dokumentierten Stand der wissenschaftlichen Forschung. Die biologischen, medizinischen und epidemiologischen Erkenntnisse über die Wirkung von ionisierender Strahlung und HF-Strahlung sind im Bezug auf die vorliegende Problematik im Kapitel 6 ausführlich dargestellt worden. Von der ionisierenden Strahlung ist anerkannt, dass sie auch in niedrigen Dosen Krebserkrankungen induzieren kann. Bei HF-Strahlung ist nach heutiger Erkenntnis nur die Wärmewirkung von Bedeutung, die bei hohen Dosen zu einer Trübung der Augenlinse (Katarakt) führen kann.

## 9.3 EMPFEHLUNGEN

### 9.3.1 Röntgenstörstrahlung

Die Kommission empfiehlt folgendes prinzipielles Vorgehen bei der Bewertung der in den Anträgen aufgeführten Krankheitsbilder:

1. Als qualifizierende Krankheiten sind alle malignen Tumore - mit Ausnahme der Chronisch Lymphatischen Leukämie (CLL) - anzusehen sowie Katarakte.
2. Voraussetzung sind ärztlich bestätigte Diagnosen mit pathologisch-histologischem Befund.
3. Die Latenzzeiten, d.h. die Zeit zwischen Beginn der Exposition und Manifestation des Tumors, müssen für solide Tumore mindestens 5 Jahre, für Leukämie und Knochensarkome mindestens 2 Jahre betragen.

#### **Phase 1:**

Personen, die während dieser Phase am SGR-103 tätig gewesen sind, und für die die Bedingungen 1-3 erfüllt sind, sollten anerkannt werden. Die Kommission stützt diese Empfehlung darauf, dass die 1975 ermittelten Ortsdosisleistungen eine Höhe erreichten, bei der schon bei kurzen Aufenthaltszeiten im Strahlenfeld Dosiswerte zu berechnen sind, die beispielsweise Grenzen überschreitet, die im Rundschreiben des BMA vom 13.05.2002<sup>20</sup> festgelegt worden sind. Die Kommission hat sich zudem davon überzeugt, dass die von dem Störstrahler mit dem dominanten Dosisbeitrag, einer Clipperdiode, ausgehende Strahlung eine Energieverteilung und Eindringtiefe in menschlichem Gewebe aufweist, die eine Schädigung auch tiefer liegender einzelner Organe erlaubt.

Personen, die an anderen Radargeräten tätig gewesen sind, sollten anerkannt werden, wenn neben den 3 oben erwähnten prinzipiellen Bedingungen zu den Krankheitsbildern der folgende Kriterienkatalog erfüllt ist:

- a) Als qualifizierend sind Arbeiten als Techniker/Mechaniker oder Bediener (Operator) an Radaranlagen anzusehen.
- b) Aufgrund der energieabhängigen Eindringtiefe der Röntgenstörstrahlung in menschliches Gewebe kommen in Abhängigkeit von der maximalen Betriebsspannung nur bestimmte Tumorlokalisationen in Frage. Für die in der folgenden Tabelle aufgeführten Organe sind dies die mit „X“ gekennzeichneten:

---

<sup>20</sup> Anhaltspunkte für die ärztliche Gutachtertätigkeit zur Beurteilung von bösartigen Neubildungen nach Einwirkung ionisierender Strahlen durch Radargeräte der Bundeswehr im sozialen Entschädigungsrecht“

Tab. 9-1: Für die in der Tabelle aufgeführten Organe kommen in Abhängigkeit von der maximalen Betriebsspannung nur die mit „X“ bezeichneten Lokalisationen als durch Exposition durch Röntgenstrahler verursacht in Frage.

Lokalisation	Maximale Betriebsspannung				
	≤ 10 kV	10-15 kV	15-20 kV	20-30 kV	>30 kV
Augenlinse	X	X	X	X	X
Blase	O	X	X	X	X
Dickdarm	O	O	X	X	X
Haut	X	X	X	X	X
Knochenoberfläche	X	X	X	X	X
Leber	O	O	X	X	X
Lunge	O	O	X	X	X
Magen	O	X	X	X	X
Schilddrüse	X	X	X	X	X
Speiseröhre	O	O	O	O	X
Testes	X	X	X	X	X
Thymus	O	X	X	X	X

Die Tabelle wurde aufgrund der Angaben in ICRU 57 erstellt. Es wurde konservativ die Maximalenergie monoenergetischer Photonenstrahlung, korrespondierend zur maximalen Betriebsspannung zu Grunde gelegt. Als Abschneidekriterium wurde folgende Definition verwendet: in den Fällen, in denen die Dosis für das Tumorgewebe <10% der Dosis für die Knochenoberfläche beträgt, ist eine „0“ eingetragen. Zu beachten ist, dass in die Tabelle nur die Organe aufgenommen wurden, für die nach ICRU 57 numerische Werte vorliegen. Für alle anderen Organe ist eine Einzelfallbetrachtung nötig.

Zu berücksichtigen sind jeweils alle Störstrahler, an denen ein Antragsteller gearbeitet hat.

- c) Eine Anerkennung kann ausgeschlossen werden, falls die Bundeswehr zeitnah nachweist, dass nur Teilkörperexpositionen auftreten konnten, die das erkrankte Organ nicht betrafen.
- d) Für Beschäftigungszeiten, für die keine ODL-Messungen existieren, kann eine Ersatzdosisbestimmung wie von der Kommission für Phase 2 empfohlen erfolgen, wenn (a) für die in Frage kommenden Störstrahler eine hinreichend große Zahl an Messwerten (mehr als 20, siehe Kapitel 3) aus späterer Zeit dokumentiert ist, und (b) die Bundeswehr nachweist, dass sich die für die Dosis relevanten Parameter (Abschirmungen, konstruktive Detailausführung der Röhren etc.) in den in Frage stehenden Beschäftigungszeiten gegenüber den Bedingungen während der Messungen nicht geändert haben. Ein solcher Nachweis ist ebenfalls zeitnah zu erbringen.

- e) Eine Anerkennung kann ausgeschlossen werden, wenn die Bundeswehr nachweisen kann, dass konstruktionsbedingt eine Tätigkeit am offenen Gerät bei eingeschalteter Hochspannung in der Nähe des un abgeschirmten Störstrahlers nicht möglich war und am abgeschirmten Gerät auftretende Ortsdosisleistungen einen Wert von  $5 \mu\text{Sv/h}$  nicht überschreiten konnten. So gibt es beispielsweise NVA-Geräte, bei denen die relevanten Störstrahler durch Gehäusematerialien gut abgeschirmt waren und Arbeiten am offenen Gerät extrem selten vorkamen.

### **Phase 2:**

Sofern die o.g. Bedingungen 1-3 erfüllt sind, ist wie folgt vorzugehen:

Falls aus dieser Phase genügend Messungen der Ortsdosisleistung eines Störstrahlers dokumentiert sind, um mit hinreichender statistischer Sicherheit die Variabilität der aufgetretenen Ortsdosisleistungen zu erfassen (mehr als 20 Messwerte, siehe Kapitel 3), sollte für den Zeitraum der Phase 2 eine Berechnung der Ersatzdosis unter Berücksichtigung der in Kap. 4 aufgeführten Verbesserungsvorschläge der Kommission durchgeführt werden.

Falls für einen Störstrahler keine oder eine zu geringe Zahl an Messungen vorliegt, um mit hinreichender statistischer Sicherheit die Variabilität der aufgetretenen Ortsdosisleistungen widerspiegeln zu können, sollte analog zu Phase 1 auf der Basis des dort aufgelisteten Kriterienkatalogs vorgegangen werden.

### **Phase 3:**

Für Tätigkeiten während Phase 3 sieht die Kommission keine Anhaltspunkte dafür, dass hierbei noch für die Anerkennungsverfahren relevante Expositionen durch Röntgenstörstrahler aufgetreten sind.

Dies ist den Antragstellern durch eine Dokumentation der getroffenen Maßnahmen und deren Effektivität, wie z.B. dem Einsatz von Halbleitern anstelle von Röhren bzw. zusätzliche Abschirmungen zu dokumentieren. Sofern eine relevante Exposition nicht ausgeschlossen werden kann, sollte eine Abschätzung der Ersatzdosis unter Berücksichtigung der in Kap. 4 aufgeführten Verbesserungsvorschläge durchgeführt werden.

Der Kommission ist in den Anhörungen zu verschiedenen Waffensystemen dargelegt worden, dass nach der grundsätzlichen Einführung verbesserter Bauteile, wie z.B. von Keramik-Senderöhren, die ausgetauschten Bauteile teilweise noch jahrelang als Ersatzteile weiterverwendet wurden. Es wird daher empfohlen, den Beginn der Phase 3 als den Zeitpunkt anzusetzen, an dem ein Einsatz der ausgetauschten Bauteile ausgeschlossen werden kann.

### **9.3.2 Radioaktive Stoffe und $^{226}\text{Ra}$ -haltige Leuchtfarben**

Mit Bezug auf die Thematik Leuchtfarben empfiehlt die Kommission folgendes Vorgehen:

1. Als spezifische qualifizierende Erkrankung durch die Inkorporation beim Auskratzen und/oder Aufbringen radiumhaltiger Leuchtfarbe ist Knochenkrebs (Sarkome von Knochen und umgebendem Bindegewebe) anzusehen.
2. Im Einzelfall ist mittels der Arbeitsplatzanamnese zu prüfen, ob die jeweilige Person vor 1980 durch Auskratzen, Abschmirgeln oder Wiederauftragen durch diese Leuchtfarben exponiert wurde. Bei Vorliegen eines Lungenkrebses ist dabei auch zu prüfen, ob die radiumhaltige Leuchtfarbe in lungengängiger Form vorlag. Falls die Anamnese zeigt, dass

entsprechende Tätigkeiten in dem Zeitraum vor 1980 ohne entsprechende Schutzmaßnahmen durchgeführt wurden, sollte die inkorporierte Aktivität in einem Ganzkörperzähler ermittelt werden.

3. Für die zu Grunde zu legenden Stoffwechselfparameter sind, soweit vorhanden, individuelle Werte zu verwenden. Ggf. sind konservative Annahmen zu Grunde zu legen.
4. Aus den unter diesen Annahmen ermittelten zugeführten Aktivitäten (als Untergrenze ist die Nachweisgrenze anzusetzen) sind die zugehörigen Dosen abzuleiten.
5. Für die Bestimmung der externen Exposition sind für die von der AG RADAR erfassten Radargeräte mit radiumhaltigen Leuchtfarben die in den entsprechenden Teilberichten dokumentierten Aktivitäten und Ortsdosisleistungen zu Grunde zu legen. Die Berechnung der Ersatzdosis sollte unter Berücksichtigung der in Kapitel 4 dargelegten Verbesserungsvorschläge durchgeführt werden. Ebenso ist zu verfahren für diejenigen Arbeitsplätze nach 1980, für die die Bundeswehr den abgeschlossenen Austausch aller radiumhaltigen Leuchtfarben nicht nachweisen kann.
6. Für Radargeräte, für die die Verwendung radiumhaltiger Leuchtfarben nicht dokumentiert, aber von der Bundeswehr auch nicht durch einen geeigneten Nachweis ausgeschlossen werden kann, ist für die Ersatzdosismittlung von der Exposition durch ein leuchtfarbenhaltiges Ziffernblatt auszugehen. Dabei kann die im Teilbericht der AG RADAR zum AN/CPN-4 dokumentierte Ortsdosisleistung angesetzt werden.
7. Für Radargeräte, für die die Existenz von Schaltern mit nicht berührungssicher abgedeckter <sup>226</sup>Ra-haltiger Leuchtfarbe nicht dokumentiert, jedoch von der Bundeswehr nicht nachweisbar ausgeschlossen werden kann, ist von einer Ingestion durch Abrieb beim Berühren der Schalter in Höhe der im Teilbericht zum Waffensystem HAWK der AG RADAR auszugehen.

### 9.3.3 Hochfrequenzstrahlung

Für den Umgang mit Anträgen von Personen, die eine Schädigung durch Überexpositionen in Hochfrequenzfeldern geltend machen, empfiehlt die Kommission folgendes Vorgehen:

- Als Qualifizierende Krankheit sind nur Katarakte anzusehen.
- Als qualifizierende Tätigkeiten sind Arbeiten als Radarmechaniker und –bediener (Operator) zu betrachten. Das Auftreten von Überexpositionen für andere Berufsgruppen ist ggf. im Einzelfall zu klären.

Bei Vorliegen einer Katarakt sollte eine Anerkennung ausgesprochen werden, falls folgende Kriterien erfüllt sind:

- Bei Nachweis einer qualifizierenden Tätigkeit während des Zeitraums vor Einführung der Schutzvorschriften und –maßnahmen sollten Anträge ausnahmslos anerkannt werden.
- Bei Nachweis einer qualifizierenden Tätigkeit nach Einführung von Schutzvorschriften und -maßnahmen sollte entschädigt werden, falls diese in einem wesentlichen Umfang Arbeitszeiten an Einsatzorten und Waffensystemen umfasste, die nach den Ermittlungen der Kommissionen mit einem nicht unerheblichen Risiko für Überexpositionen verknüpft waren.

Von einer Anerkennung sollte abgesehen werden, wenn die zuständige Behörde zu dem Schluss kommt, dass (a) entweder Überexpositionen physikalisch nicht zu erwarten waren und dies durch geeignete Messungen oder Berechnungen belegen kann, oder (b) falls Überexpositionen physikalisch nicht ausschließbar waren, die erforderlichen Schutzmaßnahmen (Absperrungen, Kennzeichnungen, Belehrungen) arbeitsplatzorientiert ergriffen und deren Umsetzung dokumentiert worden ist. Dies ist im Rahmen des Ablehnungsbescheides zu dokumentieren.

### **9.4 BEWERTUNG DER VORGEHENSWEISE IN DEN ANERKENNUNGS-VERFAHREN UND VORSCHLÄGE ZUR MODIFIKATION**

#### **9.4.1 Bisheriges Vorgehen**

- a) Bei der Analyse des derzeitigen Vorgehens bei der Ermittlung der Ersatzdosen haben sich eine Reihe methodischer Mängel sowie Abweichungen in den Vorgehensweisen unterschiedlicher Wehrbereichsverwaltungen gezeigt. Die Radarkommission hält darüber hinaus die Einbeziehung der Betroffenen in die Verfahren für unzureichend. Das gilt insbesondere angesichts der Schwierigkeiten der Rekonstruktion der Arbeitsplatzverhältnisse in den frühen Jahren.
- b) Es ist zu beachten, dass bei der sogenannten "Kannversorgung" eine Anerkennung ausgesprochen werden kann bei Strahlenexpositionen, die in einer Größenordnung liegen, die dem Schwankungsbereich der Lebenszeitdosis durch die natürliche Strahlenexposition über die Lebenszeit entsprechen.
- c) Die derzeitige Vorgehensweise beinhaltet den pauschalen Ausschluss bestimmter Erkrankungen (Beispiel Hodentumoren) ohne eindeutige wissenschaftliche Grundlage.
- d) Derzeit werden die Antragsteller je nach (Beschäftigten-)Status ungleich behandelt.

#### **9.4.2 Vorschläge zur Verfahrensregelung**

- Die Kommission kann keinen fachlichen Grund erkennen, der unterschiedliche Bewertungen in den Verfahren aufgrund der dienstrechtlichen Stellung der Antragsteller plausibel macht.
- Die Antragsteller sollten bei Vorliegen der drei am Beginn des Abschnitts 9.3.1 spezifizierten Bedingungen bei der Rekonstruktion der Arbeitsplatzverhältnisse und vor endgültiger Bescheiderteilung gehört werden.
- Es sollte eine effektive Qualitätssicherung eingeführt werden, insbesondere bei der Ersatzdosismessung, unter Berücksichtigung der methodischen Vorschläge.

- Weitere wissenschaftliche Untersuchungen auf dem Gebiet der individuellen Expositionsrekonstruktion für die Phase 1 hält die Kommission für nicht erfolgversprechend. Aus diesem Grund rät die Kommission davon ab, solche Untersuchungen aufzunehmen.

Bei Vorliegen belastbarer Ersatzdosiswerte soll eine Abschätzung der Verursachungswahrscheinlichkeit (PC) vorgenommen werden. Die Organdosen sind unter Berücksichtigung der Strahlenqualität zu bestimmen, wobei die Bewertung der Photonendosis beachtet werden muss. Die Verursachungswahrscheinlichkeit ist auf Grund epidemiologischer Risikodaten zu ermitteln. Welches Verfahren bei der Anerkennung gewählt wird, kann nicht durch wissenschaftliche Überlegungen entschieden werden, sondern ist letztlich eine politische Entscheidung.

## LITERATURVERZEICHNIS

*AG Krebsregister 2002*

Arbeitsgemeinschaft Bevölkerungsbezogener Krebsregister in Deutschland (Hg.)  
Krebs in Deutschland, Häufigkeiten und Trends  
Eigenverlag, Saarbrücken 2002.

*AG Radar 2001*

Arbeitsgruppe Aufklärung der Arbeitsplatzverhältnisse Radar  
Radargeräte des Waffensystems HAWK - Teilbericht, Munster 2001

*AG Radar 2002 a*

Arbeitsgruppe Aufklärung der Arbeitsplatzverhältnisse Radar  
Übersichtstabelle über Störstrahler in Radaranlagen der Bundeswehr und der NVA, Excel-Tabelle, Stand 14.11.2002

*AG Radar 2002 b*

Arbeitsgruppe Aufklärung der Arbeitsplatzverhältnisse Radar  
Radargeräte der SGR-Familie – Teilbericht, Munster 2002

*AG Radar 2002 c*

Arbeitsgruppe Aufklärung der Arbeitsplatzverhältnisse Radar  
Radaranlage NASARR (Starfighter F-104G) – Teilbericht, Munster 2002

*AG Radar 2002 d*

Arbeitsgruppe Aufklärung der Arbeitsplatzverhältnisse Radar  
Waffensystem NIKE - Teilbericht, Munster 2002

*AG Radar 2002 e*

Arbeitsgruppe Aufklärung der Arbeitsplatzverhältnisse Radar  
Bericht, Munster 2002

*Ahlbom et al. 2001*

A. Ahlbom, E. Cardis, A. Green, M. Linet, D. Savitz, A. Swerdlow (ICNIRP)  
Review of the Epidemiologic Literature on EMF and Health  
EDnviron Health Perspect 109 (suppl 6), 911-933, 2001

*Angelillo et al. 1999*

I.F. Angelillo, P. Villari  
Residential Exposure to Electromagnetic Fields and Childhood Leukemia: A Meta-Analysis  
Bull WHO 77, 906-915, 1999

*Anger 1988*

K. Anger  
Untersuchung zur Strahlenschutzsituation beim Einsatz von Röntgenstörstrahlern  
Report des Staatlichen Amtes für Atomsicherheit und Strahlenschutz der DDR, SAAS-359,  
1988

*Appleton et al. 1975*

B. Appleton, S. Hirsch, R.O. Kinion, M. Sles, G.C. McCrossan, R.M. Neidlinger  
Microwave Lens Effects in Humans  
Arch Ophthalmol, Vol 93, 1975

*Armstrong et al. 1994*

B. Armstrong, G. Theriault, P. Guenel, J. Deadman, M. Goldberg, P. Heroux  
Association Between Exposure to Pulsed Electromagnetic Fields and Cancer in Electric  
Utility Workers in Quebec, Canada, and France  
Am J Epidemiol 140: 805-820, 1994

*Aurell et al. 1973*

E. Aurell, B. Tengöth  
Lenticular and Retinal Changes Secondary to Microwave Exposure  
Acta Ophthalmologica Vol. 51, 1973

*BEIR IV 1988*

Health Effects of Exposure to Radon  
National Academy Press, Washington, 1988

*BEIR V 1990*

Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation  
National Academy Press, Washington, 1990

*Berthold 1977*

Gebrauchsanweisung, Strahlenschutzdosimeter TOL/E  
BF-Vertriebs-GmbH für Messtechnik.

*Beyea et al. 1999*

S. Beyea, Greenland  
Health Physics 76, 269-274, 1999

*BGFE 2001*

Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik  
Präventionsabteilung, Fachbereich Strahlenschutz, Köln  
Messbericht Nr. 0901, S. 1 – 9, 06.11.2001

*BGV 2001*

Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik und Hauptverband der  
gewerblichen Berufsgenossenschaften  
Unfallverhütungsvorschrift BGV B11 Elektromagnetische Felder, Juni 2001

*BW 1977*

Bundesmarine  
Protokoll über die Aussprache mit Beschäftigten des Marinearsenals/Arsenalbetrieb  
Wilhelmshaven in Sachen Strahlenschutz am 27.09.1977

*BW 1965*

Hinweise für die Ausbildung Nr. 359 des Inspizienten Flugabwehr vom 29. Nov. 1965

*BW 1981*

Strahlenmessstelle Nord der Bundeswehr  
Einfluss von HF-Strahlung auf Kernstrahlungsmessgeräte  
Bericht vom 01.01.1981

*BMVg 1958*

ZDv 44/20

Bestimmungen für die Verhütung von Unfällen bei Arbeiten an Radargeräten des BMVg vom 11.09.1958

*BMVg 1988*

Bestimmungen der Bundeswehr zum Schutz von Personen vor schädigenden Wirkungen elektromagnetischer Felder  
VMBI 1988 Nr. 5, S. 58-60, 1988

*BMVg 2002 a*

Auswahl von Messberichten (in elektronischer Form).

Dateien: Messberichte HAWK\_PAR.xls, Messberichte NIKE.xls, Messberichte SGR103.xls, Messberichte\_NASAR.doc, file\_9710.xls, file\_26091.xls

*BMVg 2002 b*

Email BMVg (PSZ SdB Radar) an die Geschäftsstelle der Radarkommission vom 11.11.2002

*Boice et al. 1988*

J. D. Boice, G. Engholm, R. A. Kleinerman, M. Blettner, M. Stovall, H. Lisco, W. C. Moloney, D. F. Austin, A. Bosch, D. L. Cookfair  
Radiation Dose and Second Cancer Risk in Patients Treated for Cancer of the Cervix.  
Radiation Research 116 , S. 3-55, 1988

*Boice et al. 1996*

J. D. Boice, C. E. Land, D. L. Preston  
Ionizing Radiation, in 'Cancer Epidemiology and Prevention' (Eds D. Schottenfield and J. F. J. Fraumeni.) pp. 319-354, Oxford University Press, New York, 1996

*Boyle et al. 1993*

P. Boyle, DG. Zaridze  
Risk Factors for Prostate and Testicular Cancer  
Eur J Cancer 7: 1048-1055, 1993

*BWB 1976*

Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung  
Kurzprotokoll über die Besprechung der ad-hoc-Gruppe (Technik) vom 5.8.76 beim MUKdo in Wilhelmshaven

*Cardis et al. 1995*

E. Cardis et al.  
Effects of Low Doses and Low Dose Rates of External Ionizing Radiation: Cancer Mortality among Nuclear Industry Workers in Three Countries.  
Radiation Research (142) : 117-132, 1995

*CFR 2002a*

Code of Federal Regulations. 40 CFR Part 83: Procedures for Designating Classes of Employees and Members of the Special Exposure Cohort Under the Employees Occupational Illness Compensation Program Act of 2000; Proposed Rule. Federal Register Vol. 67 No 122 pp. 42962-42973, June 25, 2002

*CFR 2002b*

Code of Federal Regulations. 40 CFR Parts 81 and 82: Guidelines for Determining the Probability of Causation and Methods for Radiation Dose Reconstruction Under the Employees Occupational Illness Compensation Program Act of 2000; Final Rules. Federal Register Vol. 67 No 85 pp. 22296-22336, May 2, 2002

*Coupland et al. 1999*

C. A. C. Coupland, C. E. D. Chilvers, G. Davey, M. C. Pike, R. T. D. Oliver, D. Forman On Behalf of the United Kingdom Testicular Cancer Study Group  
Risk Factors for Testicular Germ Cell Tumours by Histological Tumour Type  
Br J Cancer 80(11):1859-1863, 1999

*Crow 1988*

E. L. Crow, K. Shimizu (Hrsg.)  
Lognormal Distributions  
Marcel Dekker, Inc., New York, 1988

*CRPPH 2001*

Compensation Regimes Applicable to Radiation Workers in OECD/NEA Countries  
59<sup>th</sup> CRPPH Meeting, Paris, 5-7 March 2001

*Darby et al. 1987*

S. C. Darby, R. Doll, S. K. Gill, P. G. Smith  
Long-term Mortality After a Single Treatment Course with X-rays in Patients Treated for Ankylosing Spondylitis  
Br J Cancer 55, 179-190, 1987

*DIN 1992*

Deutsches Institut für Normung e. V.  
DIN 6818-1: 1992-04 Strahlenschutzdosimeter - Teil 1: Allgemeine Regeln  
Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin

*Djordjevic et al. 1983*

Z. Djordjevic, A. Kolak, V. Djokovic, P. Ristic, Z. Kelecevic  
Results of our 15-year Study into the Biological Effects of Microwave Exposure  
Aviation, Space and Environmental Medicine, 1983

*E-DIN 1991*

E-DIN VDE 0848 Sicherheit in elektromagnetischen Feldern  
Teil 2 Schutz von Personen im Frequenzbereich 30 kHz bis 300 GHz  
Entwurf Oktober 1991

*Eisenbud 1987*

M. Eisenbud  
Environmental Radioactivity  
Academic Press, San Diego, USA, 1987

*Eltro 1976*

Firma Eltro  
Röntgen-Störstrahlungsmessungen im Bereich der Bundesmarine  
Messprotokolle: Fregatte "Köln", Fregatte "Emden", Tender "Werra" etc., 1976

*Erren 2001*

T.C. Erren  
A Meta-Analysis of Epidemiologic Studies of Electromagnetic Fields and Breast Cancer in Women and Men  
Bioelectromagnetics, Suppl. 5: S105-119, 2001

*Faboy-Menciere et al. 2002*

B. Faboy-Menciere, F. Deschamps  
Relations Entre Activités Professionnelles et Cancer du Testicule  
Ann Med Interne 153(2):89-96, 2002

*FAG 1986*

Betriebsanleitung zum FAG Radiameter FH 40 F1-F4  
FAG Kugelfischer Georg Schäfer KGaA, Erzeugnisbereich Strahlenmesstechnik, System  
Frieseke & Hoepfner, S. 1 – 60, 1986

*Feychting et al. 1997*

M. Feychting, U. Forssen, B. Floderus  
Occupational and Residential Magnetic Field Exposure and Leukemia and Central Nervous System Tumors  
Epidemiology 8: 384-389, 1997

*Finkelstein 1998*

M.M. Finkelstein  
Cancer Incidence Among Ontario Police Officers  
Am J Ind Med 34, 157-162, 1998

*Floderus et al. 1996*

B. Floderus, T. Persson, C. Stenlund  
Magnetic-field Exposure in the Workplace: Reference Distribution and Exposures in Occupational Groups  
Int J Occup Environ Health 2: 226-238, 1996

*Gezondheidsraad 1997*

Radiofrequency Electromagnetic Fields (300 Hz – 300 GHz)  
Gezondheidsraad Rijswijk Nederlande, 1997

*Gezondheidsraad 2002*

Radiofrequency Electromagnetic Fields (300 Hz – 300 GHz)  
Gezondheidsraad Rijswijk Nederlande, 2002

*Grayson 1996*

J. K. Grayson

Radiation Exposure, Socioeconomic Status, and Brain Tumor Risk in the US Air Force: A nested Case-Control Study

Am J Epidemiol 143: 480-486, 1996

*Groves et al. 2002*

F.D. Groves, W.F. Page, G. Gridley et al.

Cancer in Korean Navy Technicians: Mortality Survey after 40 Years

Am J Epidemiol 155: 810-818, 2002

*Hakansson et al. 2002*

N. Hakansson, B. Floderus, P. Gustavsson, C. Johansen, J.H. Olsen

Cancer Incidence and Magnetic Field Exposure in Industries Using Resistance Welding in Sweden

Occup Environ Med 59: 481-486, 2002

*Hardell et al. 1995*

L. Hardell, B. Holmberg, H. Malmer, L. E. Paulsson

Exposure to Extremely low Frequency Electromagnetic Fields and the Risk of Malignant Diseases - an Evaluation of Epidemiologic and Experimental Findings

Eur J Cancer Prevent 4 (Suppl. 1): 3-107, 1995

*Hardell et al. 1998*

L. Hardell, A. Näsman, C. G. Ohlson, M. Frederikson

Case-Control Study on Risk Factors for Testicular Cancers

Int J Oncol 13: 1299-1303, 1998

*Hardell et al. 2001*

L. Hardell, Mild K. Hansson, A. Pahlson, A. Hallquist

Ionizing Radiation, Cellular Telephones and the Risk for Brain Tumours

Eur J Cancer Prev 10: 523-529, 2001

*Hardell et al. 2003*

L. Hardell, Mild K. Hansson, M. Sandstrom, M. Carlberg, A. Hallquist, A. Pahlson

Vestibular Schwannoma, Tinnitus and Cellular Telephones

Neuroepidemiology 22: 124-129, 2003

*Hayes et al. 1990*

R. B. Hayes, L. M. Brown, L. M. Pottern, M. Gomez, J. W. Kardaun, R. N. Hoover, K. J. O'Connell, R. E. Sutzman, N. Javadpour

Occupation and Risk for Testicular Cancer, a Case-Control Study

Int J Epidemiol 19(4):825-31, 1990

*Hill 1965*

A.B. Hill

The Environment and Disease: Association or Causation?

Proc. Roy. Soc. Med. 58, 295-300, 1965

*Hjollund et al. 1997*

N. H. I. Hjollund, J. P. E. Bonde, J. Skotte  
Semen Analysis of Personal Operating Radar Equipment  
Reproductive Toxicology Vol. 11, 1997

*Hoffmann et al. 2002*

F. O. Hoffman, I. Apostoaei, B. Thomas, D. Kocher, C. Land, E. Gilbert  
The Role of Uncertainty Analysis in IREP  
Presentation to the NIOSH Advisory Board on Worker Compensation  
Denver, CO, SENES Oak Ridge, TN, July 2, 2002

*Issel et al. 1981*

I. Issel, P. Emmerlich  
Linsentrübung infolge Mikrowelleneinwirkung  
Dt. Gesundh. Wesen 36 Heft 18, 1981

*IARC 2000*

IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 75  
Ionizing Radiation X-Radiation, Gamma-Radiation, Neutrons, 2000

*IARC 2001*

IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 80  
Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and  
Magnetic Fields  
IARC Press, Lyon, 2001.

*ICNIRP 1988*

International Commission on Nonionizing Radiation Protection  
Guidelines on Limits of Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields in the Frequency  
Range from 100 kHz to 300 GHz.  
Health Physics 54 (1): 115-123, 1988

*ICNIRP 1998*

International Commission on Nonionizing Radiation Protection  
Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic  
Fields  
Health Physics 74 (4): 494-522, 1998

*ICRP 1994*

ICRP Publication 67: Age-Dependent Doses to Members of the Public from Intake of  
Radionuclides, Part 2 Ingestion Dose Coefficients  
Pergamon Press, Oxford, 1994

*Inskip et al. 2001*

P. D. Inskip, R. E. Tarone, E. E. Hatch, T. C. Wilcosky, W. R. Shapiro, R. G. Selker, H. A.  
Fine, P. M. Black, J. S. Loeffler, M. S. Linet  
Cellular Telephone Use and Brain Tumors  
N Eng J Med 344: 79-86, 2001

*Ikinger et al. 1978*

U. Ikinger et al

Beidseitige Hodenatrophie nach Radarunfall

Aktuelle Urologie 9, 221-224, © Georg Thieme Verlag Stuttgart, 1978

*Juutilainen et al. 1997*

J. Juutilainen, S. Lang

Genotoxic, Cardiogenic and Tetratogenic Effects of Electromagnetic Fields. Introduction and Overview

Mutation Research 387, 1997

*KFA 1977*

Kernforschungsanlage Jülich (Inkorporationsmessstelle)

Schreiben an das Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung vom 5.5.1977

*Kheifets et al. 1995*

L. I. Kheifets, A. A. Afifi, P. A. Buffler, Z. W. Zhang

Occupational Electric and Electromagnetic Field Exposure and Brain Cancer: a Meta-Analysis

J Occup Environ Med 37: 1327-1341, 1995

*Kheifets et al. 1997*

L. I. Kheifets, S. J. Londin, J. M. Peters

Leukemia Risk and Occupational Electric Field Exposure in Los Angeles County, California  
Am J Epidemiol 146: 87-90, 1997

L. I. Kheifets, A. A. Afifi, P. A. Buffler, Z. W. Zhang, C.W. Matkin

Occupational Electric and Magnetic Field Exposure and Leukemia: a Meta-Analysis

J Occup Environ Med 39: 1074-1091, 1997

*Kheifets et al. 1999*

L. I. Kheifets, E. S. Gilbert, S. S. Sussman, P. Guenel, J. D. Sahl, D. A. Savitz, G. Theriault

Comparative analysis of the Studies of Magnetic Fields and Cancer in Electric Utility Workers, Studies from France, Canada, and the United States

J Occup Environ Med 56: 567-574, 1999

*Kodoma et al. 1998*

M. Kodoma, T. Kodoma

Comparative Epidemiology of Cancers of the Testis, Lung, Bladder and Stomach with Special Reference to the Possible Implication of Environmental Hormones in the Recent Risk Changes of the 4 Neoplasia Types

Int J Molecular Med 2:705-714, 1998

*Kocher et al. 2002*

D. Kocher, I. Apostoaei, F. O. Hoffman

Radiation Effectiveness Factors (REFs) for Use in Calculating Probability of Causation of Radiogenic Cancers

SENES Oak Ridge, Center for Risk Analysis, June 17, 2002

*Kues 1985*

H.A. Kues, L.W. Hirst, G.A. Luty, S.A. D'Anna, G.R. Dunkelberger  
Effects of 2.45-GHz Microwaves on Primate Corneal Endothelium  
Bioelectromagnetics 6 (2):177-188, 1985

*Lagorio et al. 1997*

S. Lagorio, S. Rossi, P. Vecchia, M. De Santis, L. Bastianini, M. Fusilli, A. Ferucci,  
E. Desideri, P. Comba  
Mortality of Plastic-Ware Workers Exposed to Radio Frequencies  
Bioelectromagnetics 18, 418-421, 1997

*Land et al. 2002*

C. Land, E. Gilbert, J. Smith  
Report of the NCI-CDC Working Group to Revise the 1985 Radioepidemiological Risk  
Tables (DRAFT)  
National Cancer Institute, Centers for Disease Control, 2002  
Download unter: <http://www.cdc.gov/niosh/ocas/ocasirep.html#review2>

*Lange et al. 1991*

D.G. Lange, J. Sedmak  
Japanese Encephalitis Virus(JEV): Potentiation of Lethality in Mice by Microwave Radiation  
Bioelectromagnetics Vol. 12 No. 6, 1991

*Langranjan 1975*

I. Lancranjan, M. Maicanescu, E. Rafaila, I. Klepsch, H.I. Popescu  
Gonadic Function in Workmen with Long-Term Exposure to Microwaves  
Health Phys. 29: 381-383, 1975

*Lehman 1970*

R. L. Lehman  
X-Ray Measurements Near High-Power Klystrons  
Science 169: 52-54, 1970

*Lilliefors 1967*

H. W. Lilliefors  
On the Kolmogorow Smirnow Test for Normality with Mean and Variance Unknown  
Journal of the American Statistical Association 62, 399-402, 1967

*Lin 2000*

J. C. Lin  
Mechanisms of Electromagnetic Fields Coupling into Biological Systems at ELF and RF  
Frequencies  
Advances in Electromagnetic Fields in Living Systems  
Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2000

*Maguire 2002*

N. Maguire  
Steps in the Identification and Assessment of the Risks Associated with Hazardous Radiation  
Emitted By Primary Radar Systems in Germany  
Discussion Document, 2002

*McGlynn 2001*

K. A. McGlynn

Environmental and Host Factors in Testicular Germ Cell Tumors  
Cancer Investigations 19(8):842-853, 2001

*Merritt et al. 1978*

J. H. Merritt, A. F. Chamness, S. J. Allen

Studies on Blood-Brain Barrier Permeability after Microwave-Radiation  
Rad. And Environ. Biophys vo. 15, 1978

*Milham 1988*

S. Milham

Increased Mortality in Amateur Radio Operators due to Lymphatic and Hematopoietic  
Malignancies  
Am J Epidemiol 127: 50-54, 1988

*Minder et al. 2001*

C. E. Minder, D. H. Pfluger

Leukemia, Brain Tumors, and Exposure to Extremely Low-Frequency Electromagnetic Fields  
in Swiss Railway Employees.  
Am J Epidemiol 153: 825-835, 2001

*MNV 1989*

Minister für Nationale Verteidigung der DDR

Ordnung Nr. 010/9/024 zum Schutz vor elektromagnetischen Feldern, 1989

*Morgan et al. 2000*

R. W. Morgan, M. A. Kelsh, K. Zhao, K. A. Exuzides, S. Heringer, W. Negrete  
Radio Frequency Exposure and Mortality from Cancer of the Brain and  
Lymphatic/Hematopoietic Systems  
Epidemiology 11: 118-127, 2000

*Muhm 1992*

J. Muhm

Mortality Investigation of Workers in an Electromagnetic Pulse Test Program  
J Occup Med 34: 287-292, 1992

*MUKdo 1977*

Marineunterstützungskommando

Schreiben an BMVg vom 07.10.1977

*MUKdo 1981*

Marineunterstützungskommando

Weisungen und Informationen für den Betriebs- und Strahlenschutz in der Marine Nr. 3, 1981

*NAS 2000*

National Academy of Sciences

A Review of the Draft Report of the NCI-CDC Working Group to Revise the 1985  
Radioepidemiological Tables  
National Academy Press, Washington, DC, 2000

*Navas-Acien et al. 2002*

A. Navas-Acien, M. Pollan, P. Gustavsson, B. Floderus, N. Plato, M. Dosemeci  
Interactive Effect of Chemical Substances and Occupational Electromagnetic Field Exposure  
on the Risk of Gliomas and Meningiomas in Swedish Men  
Cancer Epidemiol Biomarkers Prevent 11: 1678-1683, 2002

*NIOSH 2002*

National Institute for Occupational Safety and Health  
NIOSH-Interactive Radio Epidemiological Program (IREP) Technical Documentation.  
Cincinnati, June 18, 2002

*NVA 1976*

Nationale Volksarmee der DDR, DV 103/0/002  
Ingenieurtechnische Sicherstellung der Funktechnischen Truppen der Luftstreitkräfte und  
Luftverteidigung, 1976

*Otite et al. 2001*

U. Otite, J. A. W. Webb, R. T. D. Oliver, D. F. Badenoch, V. H. Nargund  
Testicular Microlithiasis: is it a Benign Condition with Malignant Potential?  
Eur Urol 40: 538-542, 2001

*Pollan et al. 2001*

M. Pollan, P. Gustavsson, B. Floderus  
Breast Cancer, Occupation, and Exposure to Electromagnetic Fields Among Swedish Men  
Am J Ind Med 39: 276-285, 2001

*Potter 2002*

C.A. Potter  
Intake Retention Fractions Developed from Models Used in the Determination of Dose  
Coefficients Developed for ICRP Publication 68, Particulate Inhalation  
Health Physics 83(5): 594-789, 2002

*PTB 1977*

Physikalisch Technische Bundesanstalt  
Bekanntmachung der Bauartzulassung des TOL/E  
PTB-Mitteilungen Nr. 87, Heft 2/77, S. 142, 1977

*PTB 1985*

Physikalisch Technische Bundesanstalt  
Bekanntmachung der Bauartzulassung des FAG FH 40 F1-F4  
PTB-Mitteilungen Nr. 95, Heft 2/85, S. 141, 1985

*Rad.Res. 2000*

Radiation Research 154, S.717 ff, 2000

*Robinette et al. 1980*

D. Robinette, C. Silverman, S. Jablon  
Effects upon Health of Occupational Exposure to Microwave Radiation (Radar)  
Am J Epidemiol 112, 39-53, 1980

*Shacklett 1975*

D.E. Shacklett, T.J. Tredici, D.L. Epstein  
Evaluation of Possible Microwave-Induced Lens Changes in the United States Air Force  
Aviation, Space, and Environ. Med.: 1404-1406, 1975

*Schneider et al. 1955*

S. Schneider, B. Reich  
X-Ray Emission from High-Voltage Hydrogen Thyratrons  
Proceedings of the IRE, June 1955

*Schrader et al. 1998*

S. M. Schrader, R. E. Langford, T. W. Turner, M. J. Breitenstein, J. C. Clark, B. L. Jenkins,  
D. O. Lundy, S. D. Simon, T. B. Weyandt  
Reproductive Function in Relation to Duty Assignments Among Military Personal  
Reproductive Toxicology Vol. 12, No. 4, 1998

*Shimizu et al. 1990*

Y. Shimizu, , W. J. Schull, and H. Kato  
Cancer Risk Among Atomic Bomb Survivors the RERF Life Span Study, Radiation Effects  
Research Foundation  
JAMA 264: 601-604. 1990

*Siekierzynski et al. 1974*

M. Siekierzynski, P. Czerski, A. Gidynski, S. Zydecki, C. Czarnecki, E. Dziuk,  
W. Jedrzejczak  
Health Surveillance of Personnel Occupationally Exposed to Microwave  
III. Lens Translucency Aerospace Medicine 1974

*Srivastava et al. 2000*

Srivastava, N. Kreiger  
Relation of Physical Activity to Risk of Testicular Cancer  
Am J Epidemiol 151(1): 78-87; 2000

*STANAG 1979*

NATO Standardisation Agreement (STANAG) 2345  
Evaluation and Control of Personnel Exposure to Radiofrequency Fields  
Edition 1, 1979

*Stang et al. 2001*

A. Stang, G. Anastassiou, W. Ahrens, K. Broman, N. Bornfeld, K.-H. Jöckel  
The Possible Role of Radiofrequency Radiation in the Development of Uveal Melanoma  
Epidemiology Vol. 12; No. 1; 2001

*Szmigielski 1996*

S. Szmigielski  
Cancer Mortality in Subjects Occupationally Exposed to High-Frequency (Radio Frequency  
and Microwaves) Electromagnetic Radiation  
Sci Total Environ 180, 9-17 ; 1996

*Thompson et al. 1994*

C. E. Thompson, K. Mabuchi, E. Ron, M. Soda, M. Tokunaga, S. Ochikubo, S. Sugimoto, T. Ikeda, M. Terasaki, S. Izumi and D. L. Preston  
Cancer Incidence in Atomic Bomb Survivors, Part II: Solid Tumors, 1958-1987. Radiation Research 137, S 17-S 67, 1994

*TÜV 2002*

TÜV Nord Röntgentechnik: Sachverständige Begutachtung der Messungen ionisierender Röntgenstrahlung beim Betrieb des Radarsystems AN/CPN-4  
erstellt im Auftrag der Wehrbereichsverwaltung Nord am 10.01.2002

*TÜV 2003*

TÜV Nord Bereich Energie- und Systemtechnik; Berechnungen zur Dosisleistung um Thyatron-Röhren des Typs JAN 5949 A  
erstellt im Auftrag der Radarkommission am 20.05.2003

*Tynes et al. 1992*

T. Tynes, A. Andersen, F. Langmark  
Incidence of Cancer in Norwegian Workers Potentially Exposed to Electromagnetic Fields  
Am J Epidemiol 136, 81-88, 1992

*Tynes et al. 1996*

T. Tynes, M. Hannevik, A. Andersen, A. I. Vistnes, T. Haldorsen  
Incidence of Breast Cancer in Norwegian Female Radio and Telegraph Operators  
Cancer Causes Control 7, 197-204, 1996

*UNSCEAR 1994*

UNSCEAR or United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation  
Sources and Effects of Ionizing Radiation  
E. 94. IX. 11. New York: United Nations 1994

*UNSCEAR 2000*

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation  
UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly  
Sources and Effects of Ionizing Radiation.  
United Nations, New York 2000, 2 Volumes

*Verschaeve 1998*

L. Verschaeve  
Genetic, Cancerogenic and Teratogenic Effects of Radiofrequency Fields  
Mutation Research – Reviews in Mutation Research 410, 2, 141-165, 1998

*Walchuk 2002*

M. Walchuk  
Radiation Compensation Program  
Health Physics News Vol. 30(11)1-12, Health Physics Society, McLean, VA 2002

*Walchuk 2003*

M. Walchuk

EEOICPA Energy Employees Compensation Program

Health Physics News Vol. 31(1)1-6, Health Physics Society, McLean, VA 2003

*Weyandt et al. 1996*

T. B. Weyandt, S. M. Schrader, T. W. Turner, S. D. Simon

Seman Analysis of Military Personal Associated with Military Duty Assignments

Reproductive Toxicology Vol. 10 No. 6, 1996

*WHO 1993*

World Health Organisation (WHO)

Environmental Health Criteria 137; Electromagnetic Fields (300 Hz -300 GHz)

World Health Organisation, Geneva Schweiz, 1993

*WTW 1975*

Kurzbericht: Einfluss von HF-Strahlung auf Kernstrahlungsmessgeräte

WTW: E/T 44 A/50034/00000, Erprobungsstelle 81 d. BW. – Dezernat 212 – 8547 Greding, 09.12.1975

*WWD 1978*

Schreiben der Wehrwissenschaftlichen Dienststelle an das Bundesamt für Wehrtechnik, vom 11.05.78

*Zaret 1975*

M. Milton

Blindness, Deafness and Vestibular Dysfunction in a Microwave Worker

The Eye, Ear, Nose and Throat Monthly 54: 291 –294, 1975

## GLOSSAR

Alveolen	genauer, Alveolen pulmonis; dünnwandige „Lungenbläschen“ (Ø ca. 0,2 mm) u.a. an den Bronchiolen. Sie sind der Ort des Gasaustausches zwischen Atemluft (Alveolarluft) u. Blut (Plasmaschicht) in der Endphase der äußeren Atmung. Der Gasaustausch erfolgt durch Diffusion durch die extrem ausgedünnten Zytoplasmalamellen der Zellen des Alveolarepithels u. Kapillarendothels sowie durch die zwischen beiden gelegene Basalmembran.
AN/CPN 4	Flugsicherungsradar aus den 50er und 60er Jahren
Angiosarkome	Tumoren, die von den Blutgefäßen ausgehen
anisotrope Abstrahlcharakteristik	Die Abstrahlung erfolgt nicht gleichmäßig in die verschiedenen Richtungen des Raumes
ASR-P	Luftraumüberwachungsradar des WS HAWK
Basalzellkarzinom	spezielle Form des Hautkrebses; syn.: Basaliom
Becquerel [Bq]	Einheit des radioaktiven Zerfalls; 1 Bq = 1 Zerfall pro Sekunde. Die alte Einheit Curie [Ci] steht zur SI-Einheit Bq in folgendem Verhältnis: 1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq
Binomialverteilung	Die Binomialverteilung beschreibt den wahrscheinlichen Ausgang einer Folge von Versuchen, bei denen der elementare Einzelversuch nur zwei mögliche Ergebnisse hat (Beispiel Münzwurf). Bei einer Binomialverteilung liegt eine Grundgesamtheit vor, an deren Einheiten ein Merkmal beobachtet wird, das nur zwei (Bi) qualitative (nominale) Ausprägungen hat, wie z.B. Gesundheitsstatus „krank“ oder „gesund“.
Cholangiokarzinome	Karzinome, die von den Gallengängen ausgehen
chronisch lymphatische Leukämie (CLL)	Leukämie („Blutkrebs“) ist eine bösartige Erkrankung. Die Formen der Leukämie haben gemeinsam, dass es zu einer krankhaften Vermehrung der weißen Blutkörperchen (Leukozyten) kommt. Bei der chronischen lymphatischen Leukämie handelt es sich um eine chronisch verlaufende Form einer Leukämie (im Gegensatz zur akuten Leukämie). Charakteristisch für die Krankheit ist eine große Zahl von entarteten Lymphozyten, einer bestimmten Art von weißen Blutkörperchen. Insgesamt 30 Prozent aller leukämischen Erkrankungen sind chronisch lymphatische Leukämien. Als lymphozytäres Lymphom niedrigen Malignitätsgrades mittlerweile zu den Non-Hodgkin-Lymphomen gerechnet.
Colon/Kolon	Dickdarm
CWAR	Feuerleitradar des WS HAWK

Diode	Eine Diode ist ein elektronisches Bauteil, das Strom nur in eine Richtung fließen lässt. Es kann zum Gleichrichten von Wechselstrom verwandt werden, aber auch zum Schutz von empfindlichen Eingängen. Bei einer Clipper-, Charging- oder Shunt diode handelt es sich um spezielle Anwendungen.
EAR	Exzess Absolutes Risiko. Beschreibt den absoluten Unterschied (= Differenz) in den Erkrankungs (Mortalitäts-) raten zwischen exponierten und nicht exponierten Personen.
Elektronenvolt (eV)	In der Teilchenphysik übliche Energieeinheit. Ein Elektronenvolt entspricht der kinetischen Energie eines Elektrons, das durch die Spannung von 1 Volt beschleunigt wurde. $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ . Für sich genommen ist ein eV eine sehr kleine Energieeinheit. So braucht man zum Beispiel zum Anheben eines Milligramms um einen Millimeter etwa Sechs Milliarden Elektronenvolt. Werden aber ein paar eV auf ein einzelnes Atom übertragen, so reicht das aus, um es zu einem Ion zu machen, d.h. ihm ein Elektronen zu entreißen.
endokrine Drüsen	Drüsen innerer Sekretion, z.B. Hypophyse, Schilddrüse, Nebenniere
Epithelzellen der Bronchiolen	Epithel: geschlossener, ein- oder mehrschichtiger Zellverband, der innere oder äußere Körperoberflächen bedeckt. Bronchiolen: feinere Verzweigungen der Bronchien
ERR	Exzess Relatives Risiko = $RR - 1$ .: Das zusätzlich zum Basisrisiko auftretende Risiko durch die Exposition. Wird oft als ERR pro Gray, also zusätzliches relatives Risiko pro 1 Gray Exposition angegeben, wenn eine lineare Dosis-Wirkungs-Beziehung unterstellt wird. (Dann gilt: $RR(x) = 1 + \beta x \rightarrow ERR = \beta x$ ; $\beta = ERR \text{ pro Sv}$ )
Film dosimetrie/ Fingerringdosimetrie	Die Film dosimetrie erfasst die Strahlenbelastung über einen längeren Zeitraum, in der Regel einem Monat auf einem Film. Das Fingerringdosimeter misst die aufgenommene Dosis an der Hand.
genotoxisch	schädlich für das Genom (Erbgut)
Gliom	Sammelbezeichnung für echte, von der (Neuro-)Glia [Hüll- und Stützgewebe des Nervensystems] ausgehende, unterschiedlich differenzierte Tumoren im Gehirn (seltener im Rückenmark oder in den Hirnnerven).
Gy / Gray	Die Maßeinheit der absorbierten Dosis. $1 \text{ Gy} = 1 \text{ Joule/kg}$
Haarzell-Leukämie	Besondere Form einer chronisch Leukämie der lymphatischen Zellreihen
HAWK	Flugabwehrwaffensystem der Nato

hepatozelluläre Karzinome	Karzinome, die ihren Ursprung in Leberzellen haben
HIPAR	Rundsuch-Feuerleitradar WS Nike
HPIR	Beleuchtungsradar des WS HAWK
Hypophyse	Hirnanhangdrüse
Hypothalamus	Teil des Zwischenhirns
Inkorporation	Aufnahme in den Körper; das kann geschehen durch Essen oder Trinken (Ingestion), Einatmen (Inhalation) oder durch offene Wunden
Inzidenz	Anzahl der Neuerkrankungen in einem Kollektiv oder einer Population während einer bestimmten Zeit
Job-Exposure-Matrizen (JEM)	Job-Exposure-Matrizen werden häufig in berufsepidemiologischen Studien verwendet. Dabei werden bestimmten Tätigkeiten oder Berufen meist in Abhängigkeit vom Kalenderjahr Expositionswerte zugeordnet, die entweder über Expertenabschätzungen oder konkrete Messungen gewonnen wurden. So entsteht eine Tabelle oder Matrix, die für jedes Jahr jeder Tätigkeit einen Expositionswert zuordnet. Für jede Person kann so über den gesamten Beobachtungszeitraum eine kumulative Expositionsabschätzung durchgeführt werden.
kanzerogen/carcinogen	krebserzeugend
Klystron	Klystrons sind spezielle Elektronenröhren, die nach dem Laufzeitprinzip und bis zu einigen 10 GHz arbeiten. Sie werden entweder als Leistungsverstärker im Sender von Hochleistungsradargeräten im Impulsbetrieb mit Spannungen bis zu 200 Kilovolt (kV) und im Dauerstrichbetrieb mit Spannungen bis zu 10 kV betrieben, oder in Empfängern als selbstschwingende Oszillatoren mit sehr kleinen Leistungen eingesetzt.
Knochensarkom	Spezielle, am weitesten verbreitete, Art des Knochenkrebses
Konfidenzintervall / -bereich	(Vertrauensbereich). Ein OR oder ein anderer Effektschätzer ist eine auf einer Stichprobe basierende Punktschätzung. Der wahre Wert in der Gesamtpopulation kann durchaus unterschiedlich sein. Unter Zugrundelegung einer Verteilung für den unbekannt Parameter kann jedoch ein Vertrauensbereich angegeben werden, in dem der wahre Schätzer mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit liegt. Ein 95% Konfidenzbereich bedeutet beispielsweise, dass der wahre Effektschätzer mit 95%-iger Wahrscheinlichkeit in diesem Bereich liegt.
Larynx	Kehlkopf

LET	Linearer Energie Transfer. Mittlere Energiemenge, die pro Einheit Teilchenstrecke abgegeben wird. Ein niedriger LET ist charakteristisch für Elektronen, Röntgen – und Gamma Strahlung, ein hoher LET für Protonen und Alpha-Strahlung.
Leukämie	Krebserkrankung der weißen Blutzellen; werden weiter unterteilt, z.B. nach akute lymphatische Leukämie (ALL), akute myeloische Leukämie (AML), chronische myeloische Leukämie (CML), chronisch lymphatische Leukämie (CLL).
Log-Normal-Verteilung	(Logarithmische Normalverteilung). Eine Zufallsvariable X heißt log-normalverteilt mit Parameter $\mu$ und $\sigma$ , wenn ihr logarithmierter Wert $\ln(X)$ einer Normalverteilung mit den Parametern $\mu$ und $\sigma$ folgt. Im Gegensatz zur symmetrischen Normalverteilung ist die Log-Normal-Verteilung rechtsschief. Der Erwartungswert liegt über dem Median.
LOPAR	Rundsuchfeuerleitradar des WS NIKE
LSS	Life Span Study. Langzeit-Kohortenstudie unter den Überlebenden der Atombombenabwürfe von Hiroshima und Nagasaki
Lymphom	Lymphknotenschwellung
Magnetron	Magnetrons gehören - wie die Klystrons – zu den Elektronenröhren, die nach dem Laufzeitprinzip als selbsterregte Impuls- oder Dauerstrichgeneratoren bis zu Frequenzen von mehr als 30 GHz arbeiten. In den Sendern der meisten Radargeräte werden Impulsmagnetrons mit Spannungen bis zu 80 kV und Dauerstrichmagnetrons mit Spannungen bis zu 10 kV betrieben. Sonderformen des Magnetrons (z.B. das Amplitron) werden als Verstärker in speziellen Radargeräten eingesetzt.
maligne	bösartig; die Neigung eines Krankheitsprozesses, fortzuschreiten, zerstörend zu wirken und zum Tode zu führen.
Mastitis	Entzündung der Brustdrüse
Melanom der Haut	spezielle Form des Hautkrebses, ebenso wie Basaliome und Spinaliome
Monte-Carlo-Rechnungen	rechnerische Simulationsverfahren
Morbus Bechterew	Der Morbus Bechterew ist eine chronische, entzündlich-rheumatische Erkrankung, die hauptsächlich die Wirbelsäule betrifft.

Morbus Hodgkin	Auch Hodgkin-Lymphom, Hodgkin'sche Erkrankung oder Lymphogranulomatose genannt. Es handelt es sich, wie bei den Non-Hodgkin-Lymphomen (NHL), um eine bösartige Erkrankung des lymphatischen Systems und damit also um ein malignes Lymphom.
Mortalitäts-Rate (MR)	Eine Mortalitätsrate gibt üblicherweise die Anzahl der Todesfälle pro 100.000 Einwohner pro definierter Zeiteinheit (meist pro Jahr) an.
MPR	Luftraumüberwachungsradar der Bundeswehr
multiples Myelom/ Plasmozytom	Das Plasmozytom (multiples Myelom) ist eine Erkrankung, bei der bestimmte Zellen im Blut, die Plasmazellen, zu einem Krebs entarten.
mutagen	Änderungen in genetischen Strukturen erzeugend
Myelodysplastisches Syndrom	Beim myelodysplastischen Syndrom haben die Knochenmarkzellen die Fähigkeit verloren, sich weiter zu differenzieren. Der Ursprung dieses Defektes ist in der pluripotenten Stammzelle zu suchen. Betroffen sein können entweder nur eine oder alle drei Zelllinien. Meist handelt es sich um einen instabilen Defekt, der zu einer Abnahme der Differenzierungsfähigkeit, Zunahme der Zytopenien und/oder Übergang in eine akute myeloische Leukämie führt.
NASARR	Radar des Starfighter F-104G
Neoplasie	Neubildung von Körpergeweben (z.B. Regeneration, aber auch als Vorstufe eines malignen Tumors)
NHL	Non-Hodgkin-Lymphom
NIKE	Flugabwehrwaffensystem der Nato
Non-Hodgkin-Lymphom (NHL)	Maligne Erkrankung des lymphatischen Systems, an der in Deutschland jährlich 8 von 100.000 Menschen erkranken. Bei etwa 30% der Erkrankten stellen Ärzte die malignen Zellen im Blut fest; die restlichen Fälle werden über eine mikroskopische Untersuchung befallener Lymphknoten oder des Knochenmarks diagnostiziert. NHL werden nach verschiedenen immunologischen Kriterien in mehrere Untergruppen eingeteilt. Dabei wird grundlegend unterschieden zwischen niedrig-malignen und hoch-malignen Verlaufsformen und dabei jeweils zwischen B- und T-Zelllymphomen. Zu den Non-Hodgkin-Lymphomen vom niedrig-malignen B-Zelltyp gehört beispielsweise die Haarzell-Leukämie. An der Entstehung der Non-Hodgkin-Lymphome sind häufig Viren und genetische Mutationen beteiligt.
OERs (observed/expected ratio)	Siehe SMR oder SIR

OR	(engl. Odds Ratio, deutsch: Chancenverhältnis). Das Odds Ratio ist als der Faktor zu interpretieren, um den die Chance zu erkranken steigt, wenn man exponiert ist. Ein $OR > 1$ heißt, dass sich das Risiko zu erkranken bei Exposition erhöht, ein $OR < 1$ , das es sich erniedrigt.
Ösophagus	Speiseröhre
Osteoblasten	Osteoblasten sind knochenbildende Zellen, die aus einem bestimmten Bereich (dem Mesenchym) des Knochengewebes stammen
P-15	Feuerleitradar der NVA
P-18	Flugsicherungsradaranlage der NVA
Pankreas	Bauchspeicheldrüse
PAR	Rundsuchradar und Feuerleitradar des WS HAWK
Pharynx	„Rachen“ oder „Schlund“; als gemeinsamer Abschnitt der Luft- u. Speisewege von der Schädelbasis bis Höhe Ringknorpel reichender Muskel-Schleimhaut-Schlauch mit Übergang in die Speiseröhre; seine Lichtung steht in offener Verbindung zu Nasen-, Mundhöhle u. Kehlkopf.
Prävalenz	Anzahl der mit der bestimmten Diagnosen lebenden Personen in der Bevölkerung
R (Röntgen)	alte Einheit der Ionendosis ( $1 R = 2.58 \cdot 10^{-4} C/kg$ )
RADAR	Radio Detecting And Ranging; Ortung und Vermessung mittels Funkwellen. Man unterscheidet z.B. Überwachungsradar, Rundsuchradar, Feuerleitradar, Beleuchtungsradar.
Rektum	Mast- oder Enddarm
Retinoblastom	Bösartiger embryonaler solider Tumor der Netzhaut
ROR	Radargerät des WS HAWK (Entfernungsmessradar)
RR	Relatives Risiko. Beschreibt den relativen Unterschied im Erkrankungs (Sterbe-) risiko zwischen exponierten und nicht exponierten Personen (=Quotient). Bei $RR=1$ besteht kein Unterschied.
SAR	Spezifische Absorptionsrate (W/kg) ; Maß für thermische Wirkung durch hochfrequente elektromagnetische Strahlung
Sarkom	Bösartiger Tumor, der von Bindegewebszellen ausgeht
Schaltröhre	Schaltröhren sind Röhren, bei der ein einmal eingeschalteter Strom nicht mehr gesteuert werden kann. Schaltröhren arbeiten meist mit Gasfüllung. Zu dieser Röhrenart gehört auch das Thyatron.

Seminom	Hodentumore werden für die Therapieplanung eingeteilt nach Seminomen (vom Keimgewebe ausgehender maligner Hodentumor) und Nicht-Seminomen
SGR-103	Rundsuchradargerät der Marine
SGR-105	Zielzuweisungsradar der Marine
SIR	(standardisiertes Inzidenzratio oder Inzidenzverhältnis). Das SIR gibt den Faktor an, um den sich die in einer exponierten Gruppe beobachtete Neuerkrankungswahrscheinlichkeit von der unterscheidet, die man bei Erkrankungsverhalten der Allgemeinbevölkerung (oder einer nichtexponierten Gruppe) erwarten würde. Dabei wird indirekt eine Standardisierung für wichtige nicht-interessierende Einflussgrößen wie Alter und Geschlecht vorgenommen. Das SIR gibt das Verhältnis „beobachtete“ zu „erwartete“ Neuerkrankungen an, oder im Englischen „Observed“ / „Expected“ (O/E), deshalb auch OER: Observed / Expected Ratio.
SMR	(Standardisiertes Mortalitätsratio oder Mortalitätsverhältnis). Das SMR gibt den Faktor an, um den sich die in einer exponierten Gruppe beobachtete Mortalität von der unterscheidet, die man bei Erkrankungsverhalten der Allgemeinbevölkerung (oder einer nichtexponierten Gruppe) erwarten würde. Dabei wird indirekt eine Standardisierung für wichtige nicht-interessierende Einflussgrößen wie Alter und Geschlecht vorgenommen. Das SMR gibt das Verhältnis „beobachtete“ zu „erwartete“ Fälle an, oder im Englischen „Observed“ / „Expected“ (O/E), deshalb auch OER: Observed / Expected Ratio.
Spektrale Verteilung der Röntgenstrahlung	Energieverteilung der Röntgenstrahlung
Spezialröhren in der Radartechnik	Bei den in der Radartechnik verwendeten Röhren handelt es sich um Spezialröhren, auf Grund der hohen Sendefrequenzen v.a. um sog. Laufzeitröhren. Als Laufzeitröhren (u.a. Klystron, Magnetron) bezeichnet man Röhren, bei denen die Laufzeit der Elektronen zur Verstärkung bzw. zur Schwingungserzeugung ausgenutzt wird. In Linearstrahlröhren verläuft die Richtung des Elektronenstrahls und des statischen elektrischen Feldes zueinander parallel (linear). Dagegen stehen bei den Kreuzfeldröhren die den Elektronenstrahl beeinflussenden Felder senkrecht zum Elektronenstrahl.

Störstrahler	Begriff aus der Röntgenverordnung: Geräte oder Vorrichtungen, in denen Elektronen beschleunigt werden und Röntgenstrahlung erzeugen, ohne dass sie zu diesem Zweck betrieben werden. Störstrahler können z.B. Elektronenröhren mit Beschleunigungsspannungen > 5 kV sein.
Sv	Sievert. Die Maßeinheit der Äquivalenzdosis und der effektiven Dosis. Zur Berechnung werden die absorbierten Strahlendosen in Gray mit einem Faktor (Strahlenwichtungsfaktor) multipliziert, der die unterschiedliche biologische Wirksamkeit verschiedener Strahlenarten reflektiert. Für die Berechnung der effektiven Dosis werden zudem noch Gewebewichtungsfaktoren berücksichtigt, die ein Maß für den Beitrag des exportierten Organs zum Schadensrisiko des gesamten Körpers darstellen.
Synovialgewebe	Gelenkinnenhaut
teratogen	Missbildungen erzeugend
Testes	Hoden
Thymus	Thymus-Drüse, „Bries“
Thyratron	Ein Thyratron ist eine gasgefüllte Röhre, die in ihrem Aufbau einer Verstärkerröhre (Triode) ähnelt. Im Gegensatz zu der Verstärkerröhre kennt das Thyratron aber nur die Zustände „gesperrt“ und „gezündet“. Es wurde bis in die 80er Jahre als elektronischer Schalter eingesetzt für die Generatoren der Radarsender.
Tinea capitis (Kopfpilz)	Tinea Capitis wird durch eine Infektion mit Hautpilzen, so genannten Dermatophyten verursacht
TLD	Radiothermolumineszenz ist die Eigenschaft eines Kristalls, bei Erwärmung Licht auszusenden, wenn dieser vorher ionisierender Strahlung ausgesetzt war. In weiten Bereichen ist die emittierte Lichtmenge der eingestrahnten Dosis proportional. Man nutzt diese Effekte zur Dosisbestimmung in sog. Thermolumineszenzdosimetern (TLDs).
Tuberkulose	Die Tuberkulose (Schwindsucht) ist eine chronisch verlaufende Infektionskrankheit. Krankheitsauslöser sind Tuberkelbakterien (Mykobakterium tuberculosis), die durch Tröpfcheninfektion übertragen werden.
UV	Ultraviolette Strahlung
W/m <sup>2</sup>	Maßeinheit der Leistungsflussdichte. Gebräuchlich ist auch die Einheit mW/cm <sup>2</sup> (1 mW/cm <sup>2</sup> = 10 W/m <sup>2</sup> )
Wilms-Tumor	Embryonaler, bösartiger solider Tumor der Niere
ZDv	Zentrale Dienstvorschrift

Zervix/Cervix

Gebärmutterhals

ZNS

zentrales Nervensystem

## ANHANG 1: DATENDOKUMENTATION

Der Kommission wurden folgende Datenlisten zur Beurteilung der Krankheitsbilder zur Verfügung gestellt:

- Bundeswehrsoldaten (WDB-Verfahren)
- Anhängige Verfahren bei der Bundesausführungsbehörde für Unfallversicherung (BAfU)
- Berufs- und Zeitsoldaten der ehemaligen Nationale Volksarmee (NVA)

Eine Übersicht gibt folgende Tabelle, wobei die Krebserkrankungen nach der WDB-Datei als Teilmenge noch einmal gesondert aufgeführt ist:

Tab. A-1: Übersicht der verschiedenen Datenlisten

Datenkörper	Anzahl	Fehlende Angaben bei			
		Geburtsjahr	Diagnose-Alter	Expositions-Zeitraum	Leidens-bezeichnung
WDB	1.736	7	nicht ausgewertet	84	127
<i>(WDB (nur Malignome))</i>	<i>1.214</i>	<i>5</i>	<i>177</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
BAFU	711	70	711	20	87
NVA	438	14	438	130	70

Es handelt sich also um insgesamt 2885 Fälle. Dabei weist der WDB-Datenkörper insgesamt eine höhere Vollständigkeit auf als die übrigen beiden. Nach Kenntnis der Kommission basieren die Daten auf Angaben der Betroffenen. Inwieweit ihnen medizinisch bestätigte Diagnosen zu Grunde liegen, ist nicht ersichtlich. Wie unter Kapitel 5.2.2.1 ausgeführt, sieht sich die Kommission nicht in der Lage, die Daten zu bewerten. Aus diesem Grunde sind sie hier nur dokumentiert und in Bezug auf die Verteilung der Krankheitsbilder aufbereitet worden. Dabei wurden systematisch diejenigen Diagnosen verarbeitet, die sich auf Malignome bezogen. Zusätzlich wurden einige mögliche Schädigungen aufbereitet, von denen eine Genese durch ionisierende Strahlen unterstellt, zumindest nicht ausgeschlossen werden (Infertilität, Impotenz, Erbgutschädigung, Immunschwäche, Katarakt).

Lediglich bei der WDB-Liste war eine Analyse nach Diagnose-Alter möglich. Allerdings fehlten hier auch bei 177 Fällen mit Malignom-Diagnose das Jahr der ersten Exposition bzw. das Datum der Diagnosestellung.

In einer erheblichen Anzahl von Fällen ließ die Differenziertheit der Diagnosen auf einen pathologisch-histologischen Befund schließen, allerdings fehlen hierzu nähere Hinweise.

Orthographische Fehler bei einer Anzahl von Diagnosen erlauben den Schluss, dass diejenigen Personen, die mit der Übertragung der Diagnosen in eine Excel-Datei beauftragt

waren, mit medizinischer Terminologie nicht vertraut waren (z.B. "die Diabethis", "Lympfdrüsenkrebs" etc.). Diese typischen Fehler fanden sich in mehr als einer der Listen, so dass auf eine Identität der Überträger geschlossen werden darf.

Insgesamt entsteht der Eindruck, dass das Abstrahieren der Diagnosen aus den Anträgen z.T. mit erheblichen Defiziten in Bezug auf Sorgfalt und Sachkunde erfolgte, da kaum angenommen werden kann, dass sich in einem Antrag z.B. lediglich die Diagnose "Krebs" oder "Tumor" ohne weitere Organangabe gefunden haben könnte. Auch deutet z.B. die Diagnose "Adenocarcinom" ohne weitere Angaben darauf hin, dass ein pathologisch-histologischer Befund zugrunde gelegen hat, dieser jedoch nicht korrekt übertragen wurde. Bei einem pathologischen Befund ist jedoch praktisch auszuschließen, dass sich lediglich die Angabe "Adenocarcinom" findet, ohne dass das Drüsengewebe und das Ursprungsorgan näher beschrieben worden wären.

In einem der Datenkörper fand sich die Diagnose eines Carcinoms des Uteruskörpers. Hier stellt sich dem Analysten die Frage, ob entweder - entgegen allen bisherigen Annahmen - auch Frauen unter den Radarmechanikern fanden oder dass eine grobe Verfälschung von Diagnosen stattgefunden hat.

Bericht der Radarkommission

Lokalisation	Ohne Alters- angabe	20-29	30-39	40-49	50-59	60 +	Summe	%
Hoden	36	60	82	46	11	0	235	18,5
Leukämie	19	14	23	27	23	7	113	8,9
Urothel(Blase, Nierenbecken,	10	3	7	31	37	14	102	8,0
ZNS	13	7	15	34	19	9	97	7,6
Prostata	8	1	3	15	43	22	92	7,3
Non-Hodgkin	12	6	15	23	26	6	88	6,9
Bronchien	9	0	8	22	35	10	84	6,6
Colon	4	0	8	16	31	9	68	5,4
Niere	6	1	4	20	22	5	58	4,6
Krebs, unspezifiziert	18	4	5	15	7	4	53	4,2
Haut, incl Basaliom	8	2	11	4	10	5	40	3,2
M Hodgkin	6	6	15	8	2	0	37	2,9
Sarkom	7	4	12	7	4	1	35	2,8
Magen	7	1	4	6	9	3	30	2,4
Sonstige	2	2	3	10	11	1	29	2,3
Melanom	1	1	3	11	7	2	25	2,0
Plasmozytom	0	0	2	7	6	4	19	1,5
Sonst. gastrontestinale	1	0	1	4	6	3	15	1,2
Lymphome, maligne	2	1	5	1	3	1	13	1,0
Rektum	1	0	1	4	5	1	12	0,9
Oesophagus	3	0	0	3	4	1	11	0,9
Hypophyse	0	2	1	1	3	0	7	0,6
Mamma	0	0	0	3	1	1	5	0,4
Larynx	0	0	0	0	0	0	0	0,0
Schilddrüse	0	0	0	0	0	0	0	0,0
Summen	173	115	228	318	325	109	1268	100,0

Tab. A-2: Malignome aus der WDB-Liste nach angegebenem Diagnosealter

## Bericht der Radarkommission

Lokalisation	Keine Jahresangabe	≤ 30	31-40	41-50	51-60	61+	Summe	%
Hoden	2	0	5	16	26	20	69	14,5
Niere	3	1	6	15	12	1	38	8,0
Krebs, unspezifiziert	2	0	5	16	10	4	37	7,8
Prostata	0	0	16	14	2	0	32	6,7
Colon	1	1	6	16	4	2	30	6,3
Leukämie, unspezifiziert	3	0	5	11	7	4	30	6,3
Bronchien	0	3	9	7	4	4	27	5,7
ZNS	1	0	9	6	6	2	24	5,0
Sonstige	0	0	1	10	8	2	21	4,4
Plasmozytom	2	0	4	5	7	0	18	3,8
Lymphome, unspezifiziert	1	0	2	5	4	4	16	3,4
Haut, unspezifiziert	1	1	1	8	4	1	16	3,4
Melanom	0	0	1	5	6	0	12	2,5
Magen	0	1	4	3	1	1	10	2,1
Blase	0	1	4	4	1	0	10	2,1
CML	0	0	1	4	2	1	8	1,7
M Hodgkin	0	0	0	0	4	4	8	1,7
Non-Hodgkin	0	0	2	3	1	2	8	1,7
Sarkom	0	0	1	0	3	4	8	1,7
Schilddrüse	0	0	1	1	3	2	7	1,5
Oesophagus	1	0	1	3	1	0	6	1,3
Rektum	0	0	2	3	0	1	6	1,3
Leber	0	1	2	1	1	0	5	1,1
CLL	2	0	1	1	0	0	4	0,8
Pankreas	0	0	2	2	0	0	4	0,8
Basaliom	0	0	0	4	0	0	4	0,8
Knochen un.	0	0	1	3	0	0	4	0,8
Hypophyse	0	0	0	2	0	1	3	0,6
Larynx	0	0	1	1	1	0	3	0,6
Mamma	1	0	1	0	1	0	3	0,6
Haarzell	0	0	1	2	0	0	3	0,6
MDS	0	0	0	1	0	1	2	0,4
Summen	20	9	95	172	119	61	476	100,0

Tab. A-3: Malignome aus der BAfU-Liste nach Geburtsjahren

Bericht der Radarkommission

Lokalisation	Keine Jahres- angabe	≤ 30	31-40	41-50	51-60	61+	Summe	%
Hoden	2	0	3	6	14	19	44	15,8
Krebs, un spezifiziert	1	2	11	10	7	3	34	12,2
ZNS	0	0	0	7	10	5	22	7,9
Prostata	0	0	12	8	1	0	21	7,6
Leukämie, un spezifiziert	0	1	3	5	9	1	19	6,8
Niere	0	0	5	6	3	0	14	5,0
Bronchien	0	2	3	2	3	3	13	4,7
Blase	0	0	4	3	5	1	13	4,7
Colon	0	1	3	4	2	2	12	4,3
Sonstige	0	0	2	6	3	1	12	4,3
Haut, un spezifiziert	0	0	5	2	4	0	11	4,0
Lymphome, un spezifiziert	0	0	1	1	5	3	10	3,6
M Hodgkin	0	0	0	1	3	5	9	3,2
Sarkom	0	0	1	5	2	0	8	2,9
Schilddrüse	0	1	1	1	1	1	5	1,8
Melanom	0	0	3	1	0	1	5	1,8
Larynx	0	0	3	1	0	0	4	1,4
Magen	0	0	1	3	0	0	4	1,4
Non-Hodgkin	0	0	0	0	2	2	4	1,4
Plasmozytom	0	0	0	2	2	0	4	1,4
Rektum	0	0	1	1	0	1	3	1,1
Mamma	0	0	2	0	0	0	2	0,7
CML	0	0	0	1	0	1	2	0,7
Hypophyse	0	0	0	1	0	0	1	0,4
Oesophagus	0	0	0	1	0	0	1	0,4
Haarzell	0	0	0	0	1	0	1	0,4
Basaliom	0	0	0	0	0	0	0	0,0
Knochen, un spezifiziert	0	0	0	0	0	0	0	0,0
Summe	3	7	64	78	77	49	278	100

Tab. A-4: Malignome aus der NVA-Liste nach Geburtsjahren

Bericht der Radarkommission

Quelle	Schädigung	Geburtsjahr					Summe
		Keine Jahresangabe	20-39	40-49	50-59	60-70	
BAFU	Impotenz	1	2	5	2	1	11
	Infertilität	1	0	2	2	2	7
	Erbgutschädigung	1	0	2	1	0	4
	Immunschwäche	0	1	0	0	1	2
	Katarakt	0	0	1	0	1	2
	<b>Summe BafU</b>		<b>3</b>	<b>3</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
NVA	Impotenz	0	2	1	2	0	5
	Infertilität	0	0	2	1	3	6
	Erbgutschädigung	0	1	0	1	0	2
	Immunschwäche	0	1	2	0	2	5
	Katarakt	0	0	2	0	0	2
	<b>Summe NVA</b>		<b>0</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
WDB	Impotenz	0	2	2	2	0	6
	Infertilität	0	3	10	6	2	21
	Erbgutschädigung	0	0	2	3	0	5
	Immunschwäche	0	2	5	3	0	10
	Katarakt	0	3	3	1	0	7
	<b>Summe WDB</b>		<b>0</b>	<b>10</b>	<b>22</b>	<b>15</b>	<b>2</b>
<b>Summe(gesamt)</b>		<b>3</b>	<b>17</b>	<b>39</b>	<b>24</b>	<b>12</b>	<b>95</b>

Tab. A-5: Verschiedene mögliche Schädigungen durch ionisierende Strahlen nach Datenquelle und Geburtsjahr

## ANHANG 2: WEITERGEHENDE WISSENSCHAFTLICHE DOKUMENTATION

### **Malignome, für die EMF als Risikofaktor diskutiert wird**

#### Leukämie

Für Malignome bei Erwachsenen spielen naturgemäß Expositionen am Arbeitsplatz eine bedeutsamere Rolle als Expositionen im häuslichen Umfeld. Eine Vielzahl von Studien liegen für Leukämien sowie für ZNS-Malignome vor, eine geringere Anzahl für Mamma-Karzinom.

Von Malignomen im Kindesalter sind insbesondere die Leukämien untersucht worden. Hier spielen naturgemäß Expositionen aus der Umwelt und im häuslichen Bereich die wesentliche Rolle, [Angelillo et al. 1999]. Es ergab sich eine signifikante Assoziation.

[Kheifets et al. 1997] fanden in 38 auswertbaren Studien wenig Hinweise auf spezifische Risiko-Erhöhen bei solchen Berufen, von denen eine stärkere Exposition gegenüber EMF angenommen werden musste (z.B. Punktschweißer). Insgesamt ergaben sich Risiko-Erhöhen in der Größenordnung von 1.2 für chronisch myeloische Leukämie bis 1.4 für chronisch lymphatische Leukämien.

Neuere Studien hoher Qualität zeigen z.T. deutlich höhere Risiken. So fanden [Feychting et al. 1997] unter Verwendung der von [Floderus et al. 1996] erarbeiteten JEM für sämtliche Leukämien eine Odds Ratio von 1.4 (95%-KI 1.0-2.2) bei Expositionen von 0.13-0.19 microT, während bei Exposition darüber der Wert auf 1.7 (95%-KI 1.1-2.7) anstieg. Während bei einer Differenzierung der diagnostischen Entitäten CML keine erhöhten Risiken aufwies, fanden sich bei akuter myeloischer Leukämie (AML) Risiken von 2.1 (95%-Ki 0.9-5.0) und 2.7 (KI 0.9-7.9) und bei CLL solche von 1.4 (KI 0.7-2.5) bzw. 1.9 (KI 1.0-3.8).

[Minder et al. 2001] hatten in einer Kohorten-Studie bei Schweizerischen Bahnbeschäftigten mit Mortalität als Zielvariable Individual-Messungen zur Abschätzung der Exposition herangezogen. Sie fanden bei der am höchsten exponierten Gruppe (Zugführer mit einer Exposition von 25.9 microT) im Vergleich zur gering belasteten Bahnhofsvorstehern (1 microT) ein relatives Risiko von 2.4 (KI 1.0-6.1).

#### Malignome des ZNS

[Kheifets et al. 1995] konnten 29 relevante Publikationen auswerten und fanden über sämtliche diagnostischen Entitäten eine Risiko-Erhöhen auf 1.2. Bei Beschränkung auf Gliome stieg das Risiko auf 1.4. Noch stärkere Erhöhungen fanden sie bei Elektro-Ingenieuren (1.7). [Armstrong et al. 1994], [Theriault et al. 1995] und [Kheifets et al. 1999] fassten Studien bei Angehörigen von Energieversorgungsunternehmen aus Frankreich, Kanada und den Vereinigten Staaten zusammen. Sie konnten letzten Endes eine Schätzung der Risiko-Erhöhen von 12% pro 10 microT-Jahre ermitteln.

[Navas-Acién et al. 2002] konnten bei einer sehr umfangreichen Kohortenstudie aller zwischen 1971 und 1989 beruflich tätigen Männer in Schweden (n= 1.516.552 im Alter zwischen 25 und 64 Jahren) den kombinierten Einfluss verschiedener Arbeitsstoffe und niederfrequenter elektromagnetischer Felder auf das Erkrankungsrisiko für Gliome (n=2.859) und Meningeome (n=993) analysieren. Sie fanden, dass bei Gliomen dann ein mit erhöhten elektromagnetischen Feldern assoziiertes erhöhtes Erkrankungsrisiko zu beobachten war,

wenn eine gleichzeitige Exposition gegenüber Pestiziden/Herbiziden, Lösungsmitteln bzw. Arsen angenommen werden konnte.

### Brustkrebs

In dem systematischen Review von [Ahlbom et al. 2001] werden die verfügbaren epidemiologischen Studien nur partiell referiert, wie ein Vergleich mit der Meta-Analyse von [Erren 2001] zeigt. Die IARC-Monographie berücksichtigt sämtliche dieser Arbeiten, konnte jedoch das Ergebnis der Meta-Analyse naturgemäß nicht einschließen. Erren ermittelte für das Mamma-Karzinom der Männer über alle analysierten Studien einen Risikozuwachs auf 1.37 (KI 1.11-1.71). Unter Einbeziehung von weiteren bis 2002 publizierten Studien ([Pollan et al 2001], [Hakansson 2002]) ergab sich bei insgesamt homogenen Studien ein Risiko-Koeffizient von 1.28 (KI 1.11-1.47).

### Mobiltelefone und ZNS-Tumore:

[Hardell et al. 2002, 2003] führten eine populationsbezogene Fall-Kontroll-Studie durch, bei der 1617 Patienten (20-80 Jahre) mit inzidenten Hirntumoren (Januar 1997 - Juni 2000) im Verhältnis 1:1 mit Vergleichspersonen aus dem schwedischen Personenregister gematcht wurden. Neben anderen potenziellen Risikofaktoren (ionisierende Strahlen, organische Lösungsmittel, Pestizide u.a.) wurde der Gebrauch von Handies, differenziert nach Analog- bzw. Digital-Geräten und schnurlosen Telefonen ermittelt. Die Ergebnisse brachten für analoge Mobiltelefone eine Odds Ratio von 1.3 (95-KI 1.02-1.6), die auf 1.8 (95%-KI 1.1-2.9) anstieg, wenn eine Latenzzeit von mehr als zehn Jahren angesetzt wurde. Vergleichbare Risiko-Erhöhungen fanden sich für digitale Handies and für schnurlose Telefone nicht. Bei der Berücksichtigung der Lateralität fanden sich bei analogen Geräten Odds Ratios von 1.8 (95%-KI 1.3-2.5), bei digitalen Geräten von 1.3 (95%-KI 0.99-1.8) und bei schnurlosen Telefonen von 1.3 (95%-KI 1.01-1.8), während für kontralaterale Malignome keine Risiko-Erhöhung zu beobachten war. Eine weitere Differenzierung nach Lokalisation ergab für Analog-Geräte eine weitere Erhöhung des Risikos für Malignome im Temporal-Lappen. Bei einer Differenzierung nach histologischem Typ fanden sich besonders deutliche Risiko-Erhöhungen für Meningeome (OR 4.5; 95%-KI 0.97-20.8) und für Akustikus-Neurinome (OR 3.5; 95%-KI 1.8-6.8).

Dagegen konnten [Inskip et al. 2001] bei 782 Patienten aus Kliniken verschiedener amerikanischer Großstädte und 799 Krankenhaus-Kontrollen keinerlei erhöhte Odds Ratios ermitteln. Allerdings weist die Studie von Inskip und Koautoren gegenüber der Studie von Hardell und Koautoren einige Schwächen auf:

Es handelt sich nicht um eine populationsbasierte Fall-Kontroll-Studie, da Fälle wie Kontrollen aus Kliniken rekrutiert wurden.

Es wurde nicht nach Art der Telefone differenziert.

Die Autoren merken selber zur Power ihrer Studie an, dass z.B. eine Risiko-Erhöhung von 60% für Gliome bei einem kumulativen Gebrauch von mehr als 100 Stunden nicht ausgeschlossen werden könnte. Sie vermuten, dass es sich bei den im Studienzeitraum erfassten Telefonen weitgehend um analoge Geräte (Frequenzband 800-900 MHz) gehandelt haben könnte.