

Gesundheitsgefahren
durch Radium in Leuchtfarben
bei der Bundeswehr

Prof. Dr. Inge Schmitz-Feuerhake
Gesellschaft für Strahlenschutz e.V.

Dipl.-Ing. Walter Mämpel
Bund zur Unterstützung Radargeschädigter e.V.

Mit ergänzenden Beiträgen der Arbeitsgruppe Dosimetrie und Aufklärung des BzUR

Rödermark, März 2011

Inhaltsverzeichnis

EINLEITUNG	4
I DAS RADIOAKTIVE ELEMENT RADIUM.....	6
II DER RADIUMGEHALT VON LEUCHTFARBEN	8
III MÖGLICHKEITEN DER STRAHLENBELASTUNG DURCH RADIUMFARBEN	10
III.1 ALLGEMEINES	10
III.2 GAMMADOSISLEISTUNG DURCH LEUCHTFARBENBESCHRIFTUNGEN	10
III.2.1 Radiumfarbe als Punktstrahler	10
III.2.2 Anordnung von Leuchtfarbenbeschriftungen	12
III.2.3 Linienstrahler	13
III.2.4 Flächenstrahler	14
III.2.5 Torusstrahler.....	14
III.2.6 Zusammenfassung	15
III.3 DOSISBESTIMMUNG BEI RADIUMINKORPORATION	15
III.4 ORGANODOSIS DURCH INKORPORIERTE RADIUMLEUCHTFARBE.....	17
III.5 RADONEMISSION DURCH RADIUMLEUCHTFARBE	17
III.6 INHALATIONSDOSE DURCH RADON	18
III.7 HAUTDOSE DURCH KONTAKT MIT RADIUMFARBEN UND RADON.....	21
IV GESUNDHEITLICHE SCHÄDEN DURCH RADIOAKTIVITÄT	24
IV.1 EINFÜHRUNG.....	24
IV.2 ALLGEMEINES	24
IV.2.1 Deterministische Strahlenschäden	24
IV.2.2 Stochastische Strahlenschäden	25
IV.2.3 Das Schema der ICRP zur quantitativen Beschreibung des Strahlenrisikos	25
IV.3 SPEZIFISCHE BEFUNDE NACH RADIUM- ODER RADONINKORPORATION	26
IV.3.1 Knochentumore durch Radium	26
IV.3.2 Lungenkrebs durch Radon	28
IV.3.3 Leukämie und weitere stochastische Erkrankungen.....	28
IV.4 STRAHLENBEDINGTE ERKRANKUNGEN AUßER KREBS	30
IV.4.1 Gutartige Tumore, insbesondere Hirntumore	30
IV.4.2 Katarakte (Grauer Star)	32
IV.4.3 Weitere Erkrankungen außer Tumore	35
IV.4.4 Schäden bei den Nachkommen	35
IV.4.4.1 Die derzeitige offizielle Einschätzung des genetischen Strahlenrisikos	35
IV.4.4.2 Befunde über genetisch bedingte Entwicklungsstörungen	37
IV.4.4.3 Befunde über Krebs bei Nachkommen bestrahlter Eltern	37
IV.4.4.4 Schlussfolgerungen zum Erkenntnisstand über das genetische Risiko.....	38
IV.5 KOMBINATIONSWIRKUNGEN VON IONISIERENDER UND HF-STRALHUNG	40
V NACHWEIS VON RADIUM MIT DEM GANZKÖRPERZÄHLER.....	43
ANHANG A	45
LITERATURRECHERCHE	45
A.1 NACHWEIS NICHTKARZINOGENER ERKRANKUNGEN.....	45
A.2 WISSENSCHAFTLICH BEGRÜNDETE AUSSAGEN ZU NICHTKARZINOGENEN ERKRANKUNGEN	50
ANHANG B	56
MESSUNGEN VON AKTIVITÄTEN UND ORTSDOSEN	56
B.1 MESSUNGEN VON ORTSDOSISLEISTUNGEN AN RADIUMBESCHRIFTUNGEN	56
B.2 AKTIVITÄTEN VON RADIOAKTIVEN BAUTEILEN AUS DER DATENBANK AU76.....	57
ANHANG C	58
GRUNDLAGEN DER DOSIMETRIE.....	58

C.1 ALLGEMEINES	58
C.2 DAS GRÖßENSYSTEM DES STRAHLENSCHUTZES	58
C.2.1 <i>Physikalische Basisgrößen</i>	59
C.2.2 <i>Operative Größen</i>	61
C.2.3 <i>Schutzgrößen</i>	62
C.2.4 <i>Berücksichtigung des physikalischen Strahlenfeldes:</i>	65
ICUR-Kugel	65
C.2.5 <i>Geltende Messgrößen der Ortsdosis</i>	65
C.2.6 <i>Geltende Messgrößen der Personendosis</i>	66
C.3 UMRECHNUNG DER FRÜHEREN DOSEN IN DIE GÜLTIGEN DOSEN	66
ANHANG D	68
KONZEPT DER BUNDESWEHR ZUR BERECHNUNG DER KÖRPERDOSIS	68
D.1 EINLEITUNG	68
D.2 METHODE DER WBV SÜD ZUR BERECHNUNG DER KÖRPERDOSIS	68
D.3 UNTERSCHIEDSMERKMALE DER RADARSYSTEME AN/CPN-4 UND AN/FPN-33/36	72
D.4 ZUSAMMENFASSUNG	73
ANHANG E	75
GRENZWERTE NACH STRAHLENSCHUTZVERORDNUNG	75
E1. KATEGORIEN FÜR BERUFLICH STRAHLENEXPONIERTE PERSONEN	75
ANHANG F	76
ABGRENZUNG VON STRAHLENSCHUTZBEREICHEN	76
TABELLENVERZEICHNIS	77
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	79
REFERENZEN	80
INDEX	87
AUTOREN	89

EINLEITUNG

Im Jahr 2000 wurde von der Bundeswehr erstmalig eingeräumt, dass über Jahrzehnte zahlreiche Soldaten und Bedienstete einer gesundheitsgefährdenden Strahlenbelastung durch Radaranlagen und Luftfahrzeugen ausgesetzt waren. Neben den Radarwellen, einer Hochfrequenzstrahlung, trat eine Röntgenstrahlung aus den Erzeugerröhren der Hochfrequenzsender aus. Ferner befanden sich besonders in den frühen Jahren radioaktive Leuchtfarben auf den Konsolen und Komponenten der stationären und mobilen Radareinrichtungen sowie im Cockpit der Militärmaschinen auf Schaltern und Beschriftungen von Skalen und Messgeräten, des Weiteren auf Geräten der Flotte. Das jeweilige Bedienungs- und Wartungspersonal war über die Gefährlichkeit der Farbe gar nicht oder nur unzureichend informiert.

Verteidigungsminister Scharping beauftragte den unabhängigen Arbeitsstab Dr. Leo Sommer ein Gutachten zu erstellen, indem die Schädigung von Bundeswehrsoldaten durch Strahlung bestätigt wird. Nachdem zahlreiche erkrankte ehemalige Soldaten sowie zivile Bedienstete der Bundeswehr und der Nationalen Volksarmee Anträge auf Anerkennung einer Berufskrankheit gestellt hatten, wurde vom Bundesminister der Verteidigung eine Radarkommission eingesetzt, die die gesundheitlichen Auswirkungen anhand der Arbeitsplatzverhältnisse begutachten sollte.

Diese hat im Juli 2003 in ihrem Bericht (Radarkommission 2003) über die Exposition durch Leuchtfarben ausgesagt, dass „radiologisch relevante Folgedosen“ nur auftreten konnten, sofern das radioaktive Element Radium in den Farben enthalten war. Sie unterscheidet zwei verschiedene Zeiträume:

Zeitraum bis 1980

Dieser Zeitraum ist durch einen weitverbreiteten Einsatz radiumhaltiger Leuchtfarben gekennzeichnet. Auskratzen, Abschmirgeln 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.

Aus dem Bericht geht hervor, dass seitens der Bundeswehr weder Angaben über die spezifischen Aktivitäten der Leuchtfarben vorliegen noch Messwerte über die von ihnen ausgehenden Strahlenbelastungen während der Zeiträume, in denen an den betreffenden Einrichtungen gearbeitet wurde. Zur Beurteilung individueller Arbeitsverläufe bei ehemaligen Soldaten und anderen Beschäftigten mit spezifischen gesundheitlichen Beeinträchtigungen bieten daher weder die Angaben der Bundeswehr noch der Radarbericht eine Handhabe. Daher sollen in diesem Report die wesentlichen Aspekte und bei uns vorhandenen Daten zusammengestellt werden, die im Individualfall zu beachten sind.

Die Bundeswehr hat von 1975 bis 1978 radioaktive Abfälle in der Schachtanlage Asse in Remlingen eingelagert. Die Einlagerungen wurden von der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung -mbH - München vorgenommen und in Begleitlisten dokumentiert. Die

kontaminierten Teile wurden in Fässer mit Beton (ca. 700 Kilogramm/Fass) eingegossen oder zusammen mit Aktivkohle und Torf in Dosen verlötet entsorgt.

Folgende Nuklide lagern in der Asse: Ra-226, Co-60, Pm-147, Ni-63, Str-90 und Cs-137. Angegeben wurde die mittlere Aktivität in mCi, die maximale Dosisleistung an der Außenseite und im Abstand von 1 Meter in mrem/h. Folgende Komponenten sind in den Listen aufgeführt: Armaturen, Kompass, Mikrowellenröhren, Libellen, kontaminiertes Papier und Plastikteile. Die Komponenten wurden von der Wehrwissenschaftlichen Dienststelle der Bundeswehr für ABC-Schutz und der Erprobungsstelle 53 der Bundeswehr in Munster angeliefert. Nach uns vorliegenden Informationen wurden von der Bundeswehr 241 Fässer mit radioaktivem Material in der Asse¹ entsorgt.

¹ Quelle: 13.05.2009, Bundesamt für Strahlenschutz, Auszug aus der Datenbank ASSE-KAT.

I DAS RADIOAKTIVE ELEMENT RADIUM

Die frühere Verwendung von Radium in Leuchtfarben hängt damit zusammen, dass radioaktive Strahlen neben der Ionisierung, bei der Elektronen aus dem Molekülverband abgesprengt werden, die Moleküle auch anregen kann. Anregung ist ein Vorgang in der Atomhülle, bei dem Elektronen durch Energiezufuhr in höhere Positionen in Bezug auf den Atomkern versetzt werden. Die angehobenen Elektronen fallen dann in den Ausgangszustand zurück und dabei wird ein Fluoreszenzlicht ausgesandt.

Radium ist ein schweres radioaktives Element, das chemisch in die zweite Hauptgruppe, die Erdalkalimetalle, gehört. Wegen seiner Ähnlichkeit im chemischen Verhalten mit Kalzium ist es im Körper ein „Knochensucher“, d.h. reichert sich besonders in den Knochen an.

Das wichtigste Isotop ist das Radium-226, ein Folgeprodukt in der natürlichen Zerfallsreihe des Urans-238 (Halbwertszeit 4,5 Milliarden Jahre). Wie dieses befindet es sich daher in unterschiedlicher Konzentration überall in den Mineralien der Erdkruste.

Radium-226 ist ein Alphastrahler, der mit einer Halbwertszeit von 1600 Jahren in das kurzlebige gasförmige Radon zerfällt, das sich überall in mehr oder weniger geringen Konzentrationen in unserer Atemluft befindet. Man schätzt, dass bei uns die Konzentration in Häusern im Mittel bei 50 Bq pro Kubikmeter liegt.

In Tabelle 1 sind neben Radon die weiteren radioaktiven Folgeprodukte des Radiums sowie die Strahlungseigenschaften der Elemente in dieser Reihe angegeben.

Radium-226 sendet nur in weniger als 5 % seiner Zerfälle neben Alphastrahlung auch Gammastrahlung aus. Sofern sein Folgeprodukt Radon nicht entweichen kann, wie z.B. bei abgedeckten Farbschichten mit Radium, stellt sich ein Gleichgewicht zwischen Neubildung und Zerfall der Folgeprodukte ein und es tritt dann eine zusätzliche gleichbleibende Gammastrahlung aus, die von den Folgeprodukten ausgeht. Sie bildet die durchdringende Komponente der Strahlung, während Alpha- und Betastrahlen nur geringe Reichweiten haben.

Alphaeilchen als zweifach geladene und vergleichsweise schwere Teilchen geben in Materie ihre Energie sehr schnell an die umgebenden Moleküle ab, sie werden zu den „dicht ionisierenden“ Strahlungen gezählt. In Luft fliegen sie einige Zentimeter weit (Faustregel: soviel cm wie ihrer Energie in MeV entspricht). In Gewebe (Wasser), das rund 1000-mal so dicht ist wie Luft, werden sie entsprechend etwa 1000-mal stärker abgebremst und ihre Reichweite liegt unterhalb von 0,1 mm (Faustregel: sie werden durch 1 Blatt Papier absorbiert).

Von einem engen Kontakt mit der Haut oder den Augen abgesehen, können Alphastrahlen ihre biologische Wirkung daher nur entfalten, wenn sie in den Körper gelangen entweder durch Inhalation oder über den Magen-Darm-Trakt (Ingestion).

Betateilchen sind Elektronen und fliegen in Luft je nach Energie einige Zentimeter bis Meter weit, in Gewebe einige Zehntel Millimeter bis etliche Zentimeter.

Gammastrahlung ist eine elektromagnetische Wellenstrahlung, deren Energie im Allgemeinen höher ist als die der diagnostischen Röntgenstrahlung und die den Körper daher zum Teil durchdringen kann.

Tab. 1: Radioaktiver Zerfall von Radium nach Angaben der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP (1983)

Nuklid	Zerfallsart	Halbwerts-Zeit	Mittlere emittierte Energie pro Zerfall		
			Alphaenergie MeV	Betaenergie MeV	Gamma-energie MeV
Radium-226 ↓	α	1600 y	4.86	-	0.007
Radon-222 ↓	α	3.824 d	5.59	-	-
Polonium-218* ↓	α (99%) + β (0.02%)	3.05 min	6.11	-	-
Actinium-218 (0.02%) +	α	1.6 s	6.82	0.04	-
Blei-214 (99.98%) ↓	β	26.8 min	-	0.291	0.284
Wismut-214* ↓	β (99%) + α (0.04%)	19.9 min	-	0.648	1.46
Polonium-214 (99.98%) +	α	1.64 10 ⁻⁴ s	7.83	-	-
Thallium-210 (0.02%) ↓	β	1.3 min	-	-	-
Blei-210 ↓	β	22.3 y	-	0.020	0.047
Wismut-210 ↓	β	5.01 d	-	0.389	-
Polonium-210 ↓	α	138.4 d	5.40	-	-
Thallium-206	β	4,2 min	-	0,50	-
Blei-206		Stabil			

d Tage h Stunden min Minuten s Sekunden y Jahre

*) nach Polonium-218 und Wismut-214 treten Verzweigungen in der Zerfallskette auf

Bei jedem radioaktiven Strahler stehen die Masse des Stoffes und seine Aktivität in Bq (Zerfallsrate) in einem festen Zusammenhang:

1 Bq entspricht 1 Zerfall/s (s Sekunde).

1 g Radium entspricht der Aktivität von $3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 37.000.000.000 \text{ Bq} = 3,7 \cdot 10^4 \text{ MBq}$.
--

II DER RADIUMGEHALT VON LEUCHTFARBEN

Zur Einschätzung des Gefährdungspotentials der radiumhaltigen Beschriftungen fehlen unter anderem Angaben seitens der Bundeswehr über den Radioaktivitätsgehalt der verwendeten Farben. Der Bund zur Unterstützung Radargeschädigter beauftragte daher den Physiker G. Golde, einen Bericht über seine Erfahrungen aus der dortigen Praxis anzufertigen (Golde 2005).

Nach Golde enthielten 0,5 kg Leuchtfarbe bis zu 277,5 MBq Radium-226, d.h. die spezifische Aktivität der Farbe betrug bis zu $5,55 \cdot 10^5$ Bq pro g bzw. 0,555 MBq pro g.

Im Rahmen von gerichtlichen Auseinandersetzungen hat die Bundeswehr behauptet, die Angaben von Golde seien fragwürdig und nicht belastbar. Sie hat aber ihrerseits nicht belegt, worin die Fehler des Berichtes bestehen, und sie hat nach unserer Kenntnis auch keine alternativen quantitativen Aussagen gemacht.

Aus Angaben in der Literatur lässt sich jedoch entnehmen, dass die Goldeschen Angaben eher zu niedrig als zu hoch liegen.

Über die in den Militärmaschinen verwendeten Radiumleuchtfarben haben wir allerdings keine Firmenangaben. Wir gehen daher davon aus, dass die Flugzeugbauer in ihnen die gleichen Farben einsetzten wie in den von ihnen erbauten Zivilmaschinen. Das Bundesgesundheitsamt hat im Jahr 1962 die radiologischen Eigenschaften der Leuchtfarben in den Zivilmaschinen Viscount 802 (britisch) sowie DC 4 und DC 6-B des amerikanischen Herstellers Douglas Aircraft Co Inc. begutachtet (Bundesgesundheitsamt 1962). Danach wurden für Flugzeuginstrumente Leuchtfarben der Helligkeitsstufen 8-14 verwendet mit einem Radiumgehalt von 18-100 mg pro kg.

Diese Angabe entspricht 18-100 µg Radium pro g Farbe, und diese Farben enthielten somit nach oben eine „spezifische“ Aktivität von $18 \times 3,7 \cdot 10^4$ Bq = $66,6 \cdot 10^4$ Bq = 0,666 MBq bis zu 3,7 MBq pro g Farbe. Diese Werte betragen das 1,2- bis 6,7-fache der Angabe von Golde. Ähnliche spezifische Radiumgehalte haben deutsche Hersteller von Leuchtfarben verwendet. Nach Seelentag und Klotz (1959) betragen die Aktivitätsgehalte für die Helligkeitsstufen 8-14 zwischen 16,0 und 65 mg pro kg. Dieses entspricht 0,592 MBq bis 2,4 MBq pro g Farbe.

Für unsere weiteren Betrachtungen nehmen wir einen Gehalt von 2 MBq pro g Farbe an.

Zur Klärung der Expositionsverhältnisse durch Leuchtfarben ist es wichtig zu wissen, welche Fläche man mit einem Gramm radiumhaltiger Leuchtfarbe bestreichen kann. Zur Berechnung der Fläche benötigt man die Dicke des Farbauftrags, die verwendeten Leuchtpigmente mit Dichte und das Bindemittel / Farbe mit Dichte. Der Anteil von Bindemitteln soll gering sein, weil dadurch die Leuchtkraft reduziert wird.

Der Farbauftrag zur Erzielung einer hohen Leuchtdichte soll $h = 0,5$ mm betragen. Bei $2 \text{ MBq/g} = 0,054 \text{ mg Radium pro Gramm Farbe}$ ist der Beitrag von Radium zur Dichte der Farbe vernachlässigbar. Das Volumen der Farbe errechnet sich aus den Angaben in Tabelle 2. Die Farbe soll 10 Gewichtsprozent Bindemittel und 90 Gewichtsprozent Zinksulfid enthalten²

²<http://www.info-uhren.de/technik/leucht/uhrenleuchtfarben4.htm>

Tab. 2: Leuchtfarbenbestandteile

Komponenten	Dichte	Anteil in %
Bindemittel/Lack 0,8 bis 1,4 g/cm ³	1,10 g/cm ³ angenommenes Mittel	10
Zinksulfid	4,01 g/cm ³	90

Mit diesen von uns gewählten Annahmen erhält man die Dichte der Leuchtfarbe zu

$$\rho = 1,10 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 0,10 + 4,01 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 0,90 = 3,72 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Das Volumen erhält man mit $V = \frac{m}{\rho}$; m = Masse und p = Dichte.

Das Volumen von einem Gramm Leuchtfarbe beträgt

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{1\text{g}}{3,72 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 0,269 \text{ cm}^3$$

Die Fläche mit 1 g Leuchtfarbe bei einem Volumen von 0,269 cm³ erhält man mit

$$V = F * h, \text{ daraus folgt } F = \frac{V}{h} = \frac{0,269\text{cm}^3}{0,05 \text{ cm}} = 5,38 \text{ cm}^2$$

Dies entspricht einem kreisförmigen Leuchtfleck mit einem Durchmesser von 2,6 cm und einer quadratischen Fläche mit einer Seitenlänge von 2,3 cm.

Die Flächenaktivität beträgt $2 \text{ MBq}/5,38 \text{ cm}^2 = 0,371 \text{ MBq}/\text{cm}^2 = 371 \text{ kBq}/\text{cm}^2$.

III MÖGLICHKEITEN DER STRAHLENBELASTUNG DURCH RADIUMFARBEN

III.1 ALLGEMEINES

In Tabelle 1 sind die Zerfallsenergien von Radium und seinen Folgeprodukten angegeben, d.h. die Energien, die die einzelnen radioaktiven Strahlen beim Austritt aus dem zerfallenden Atomkern haben³. Bei vollständiger Absorption dieser Strahlen im Gewebe bilden die Zerfallsenergien pro Gewebemasse die Energiedosis (Maßeinheit Gy)⁴.

Man sieht, dass – sofern sich das Radium im Körper befindet - die überwiegende Energiedosis durch die Alphastrahlung gebildet wird, auch wenn sämtliche Folgeprodukte des Radiums ebenfalls im gleichen Gewebe zerfallen. Die Betastrahlung macht demgegenüber nur einen kleinen Bruchteil aus.

Das gilt auch für den Gammastrahlungsanteil. Eine nennenswerte Gammastrahlung wird nur von den Nukliden Blei-214 (stärkste Linie 0,352 MeV in 37% der Zerfälle) und Wismut-214 (stärkste Linie 0,609 MeV mit 41%) ausgesandt. Diese Energien werden aber im Gewebe nicht vollständig absorbiert.

Noch bedeutender ist der Anteil der Schädigung durch Alphastrahlung in Bezug auf die Äquivalentdosis in Sv, siehe Kapitel IV.2.3. Um sie zu erhalten, muss nach ICRP für Alphas die Energiedosis in Gy mit dem Faktor 20 (Strahlungswichtungsfaktor) multipliziert werden, während für Beta- und Gammastrahlen der Wert gleich bleibt (Strahlungswichtungsfaktor 1).

Bei externer Bestrahlung durch Leuchtschriften ist praktisch nur die austretende Gammastrahlung wirksam. Ihre Dosisleistung (Dosis pro Zeiteinheit) kann wegen der hohen spezifischen Aktivität der Leuchtfarbe bei langer Aufenthaltsdauer der Beschäftigten relevant sein. Die Dosisbestimmung ist sehr kompliziert, weil sie außer von der Zeit, von dem Abstand der Person zur strahlenden Fläche und deren geometrischer Form abhängt.

III.2 GAMMADOSISLEISTUNG DURCH LEUCHTFARBENBESCHRIFTUNGEN

III.2.1 RADIUMFARBE ALS PUNKTSTRAHLER

Einzelne Farbmarkierungen oder auch Gruppen können näherungsweise als Punktquelle beschrieben werden. Man sagt, dass eine Leuchtfarbenquelle in einer Distanz vom zwei- bis dreifachen Quelldurchmesser als Punktquelle behandelt werden kann (Abbildung 1). Dies vereinfacht die Berechnung der Ortsdosisleistung in Abhängigkeit vom Abstand zur Quelle.

Die von der Punktquelle ausgehende Photonenstrahlung breitet sich isotrop im Raum um die Quelle aus. Im Abstand r beträgt die Oberfläche F_{Kugel} einer gedachten Kugel mit dem Radius r:

$$F_{Kugel} = 4\pi * r^2 \quad (1)$$

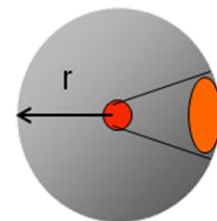


Abb. 1: Punktstrahler

Statistisch gesehen verteilen sich die von der Quelle abgestrahlten Photonen⁵ auf die gesamte Kugeloberfläche. Diese wird von allen Photonen durchsetzt. Dies drückt man durch die Flussdichte oder den Photonenfluss aus. Der Photonenfluss Φ im Abstand r von der Quelle ist

³ 1 eV (Elektronenvolt) entspricht der Energie, die ein Elektron beim Durchlaufen eines Spannungsfeldes von 1 V aufnimmt; 1 MeV = 10⁶ eV = 1,602 10⁻¹³ J

⁴ 1 Gy (Gray) = 1 J/kg. Die Masse in kg bezieht sich auf das bestrahlte Gewebe.

⁵ Die einzelnen von der Quelle ausgesandten Gammastrahlen nennt man auch Photonen.

gleich der Aktivität der Quelle geteilt durch die Kugeloberfläche im Abstand r von der Quelle. Es gilt:

$$\Phi = \frac{A}{F_{Kugel}} = \frac{A}{4\pi * r^2} = \frac{A}{4\pi} * \frac{1}{r^2} \quad (2)$$

wobei A die Aktivität der Quelle ist.

Eine charakteristische Größe für jeden Gammastrahler ist die „Gammadosisleistungskonstante“. Sie bezieht sich auf eine punktförmige Strahlenquelle mit der Einheitsaktivität, die nach allen Seiten gleichförmig strahlt, und gibt die Dosisleistung an, die in 1 m Entfernung in der Oberfläche eines Gewebes erzeugt wird. Für diesen Fall gilt das quadratische Entfernungsgesetz, d.h. die Dosisleistung ist umgekehrt proportional zum Quadrat der Entfernung von der Quelle. Sie lässt sich daher für jeden Punkt des Raumes berechnen. Sie bezieht sich auf alle ausgesandten Photonen (Gamma, Röntgen) ab der Energie 0,02 MeV und Röntgen ab 5 keV und schließt alle Folgeprodukte im Dauergleichgewicht mit ein. Für Ra-226 beträgt sie (Vogt 1992):

$$K_\gamma = 2,50 \cdot 10^{-10} \frac{mSv}{h} \frac{m^2}{Bq} \quad h = \text{Stunde} \quad (3)$$

Daraus errechnet sich, dass die Dosisleistung in 1 m Entfernung von einer punktförmigen Quelle mit 2 MBq Ra-226 pro Stunde $5 \cdot 10^{-4}$ mSv beträgt. Würde man sich der Quelle um 1/100 auf 1 cm nähern, ergäbe sich der Wert 5 mSv pro Stunde. Bei 2000 Arbeitsstunden im Jahr ergäbe das 10 Sv pro Jahr.

Im Vergleich dazu beträgt die Gammadosisleistung durch die natürliche Umgebungsstrahlung etwa 0,08 µSv pro Stunde, im Jahr somit 0,7 mSv (Vogt 1992).

Die Gammadosisleistung beliebiger Punktquellen D_γ/t ist proportional zum Photonenfluss Φ :

$$D_\gamma/t = f \Phi \quad (4)$$

In 1 m Entfernung entspricht die Gammadosisleistung von 1 Bq Ra-226 dem Zahlenwert von Gleichung (3), und der Photonenfluss beträgt $\Phi = 1/4\pi$. Daraus ergibt sich, dass der Proportionalitätsfaktor f den Wert hat:

$$f = 10\pi \cdot 10^{-10} \quad (5)$$

Die Gammadosisleistung für punktförmige Radiumstrahler ergibt sich somit aus Gl. (2) bis (5) zu:

$$D_\gamma/t = f \Phi = 10\pi \cdot 10^{-10} \frac{A}{4\pi} * \frac{1}{r^2} = 2,5 \cdot 10^{-10} A/r^2 \quad [mSv/h]$$

wobei A in Bq und r in m zu messen sind.

Bei den Beschriftungen der Messinstrumente mit Leuchtfarbe handelt es sich jedoch nicht um Punktstrahler sondern um ausgedehnte strahlende Flächen oder Linien. Für diese lässt sich kein einfacher Zusammenhang mit der Aktivität angeben.

Eine Maximalabschätzung kann man bei bekannter Flächenbelegung in Bq/m² durch die Annahme einer unendlich ausgedehnten Fläche, vor der sich der Proband befindet, erhalten. Für diesen Fall wurden Dosisleistungskoeffizienten berechnet⁶ (eigentlich für Gamma-

⁶ www.bfs.de/bfs/recht/dosis.html

Bodenstrahlung, d.h. die Person steht auf der strahlenden Fläche). In 1 m Entfernung beträgt der Wert für Ra-226 und seine Folgeprodukte:

$$5,76 \cdot 10^{-12} \text{ (Sv/h)/(Bq/m}^2\text{)}$$

Bei einer Flächenbelegung von 1 MBq pro Quadratdezimeter $10^6 \text{ Bq}/0,01\text{m}^2 = 10^8 \text{ Bq/m}^2$ ergäben sich $5,76 \cdot 10^{-4} \text{ Sv/h} = 0,576 \text{ mSv}$ pro Stunde.

Bei näheren oder weiteren Entfernungen des Gewebes von der Fläche als 1 m ändert sich die Dosisleistung praktisch nicht wesentlich.

Im realen Fall nur verteilt angeordneter kleiner strahlender Flächen ist die Dosisleistung allerdings wesentlich geringer und stärker von der Entfernung abhängig.

Messwerte an realen Arbeitsplätzen sind von der Bundeswehr nicht veröffentlicht worden. Uns vorliegende Messergebnisse an simulierten und realen Beispielen sind im Anhang B angegeben.

Die Radarkommission hat in der **Empfehlung Nr. 6** des Radarberichtes bei der Bestimmung der Ortsdosisleistungen an Waffensystemen eine Beweiserleichterung vorgesehen und wie folgt begründet: *“Für Radargeräte, für die die Verwendung radiumhaltiger Leuchtfarbe nicht dokumentiert ist, aber von der Bundeswehr auch nicht durch einen Nachweis ausgeschlossen werden kann, ist für die Ersatzdosisleistung von der Exposition durch ein leuchtfarbenhaltiges Ziffernblatt auszugehen. Dabei kann die im Teilbericht der AG Radar zum CPN-4 dokumentierte Ortsdosisleistung eingesetzt werden (Radarkommission 2003, Seite 138).“* Die Werte, die nach Ansicht der Bundeswehr hier ersatzweise eingesetzt werden sollen, betragen $7,5 \mu\text{Sv/h}$ im Abstand von 30 cm und $105 \mu\text{Sv/h}$ im Abstand von 5 cm.

In einem Gutachten von 1984 der Strahlenmessstelle Süd der Bundeswehr bei der WBV VI wird ein Messwert für dasselbe Ziffernblatt von $10 \mu\text{Sv}$ pro Stunde für den Abstand von 50 cm angegeben (Berger 2001). Das zeigt, dass die Annahmen der Radarkommission nicht auf der sicheren Seite liegen.

III.2.2 ANORDNUNG VON LEUCHTFARBENBESCHRIFTUNGEN

Die an den Komponenten der Waffensysteme verwendeten Leuchtfarbenbeschriftungen, kurz Quellen genannt, bestanden in der Regel nicht wie in Teilberichten⁷ dokumentiert aus einer einzigen punktförmigen Quelle, auf die das quadratische Abstandsgesetz zur Bestimmung der Ortsdosisleistung in Abhängigkeit vom Abstand zur Quelle angewendet wurde. Auf den Komponenten (Abbildung 2) der Waffensysteme befanden sich stets mehrere Quellen in unterschiedlichen Anordnungen. Die Anzahl und Verteilung der Quellen auf den Komponenten war abhängig von den in den Komponenten realisierten Funktionen. Die Quellen unterschieden sich in der Größe und bezüglich der verwendeten Leuchtfarben-Zeichenelemente Strich, Punkt, Buchstabe und Ziffer. Ihre An-

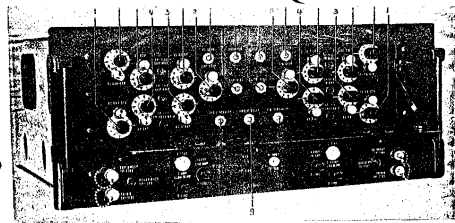


Abb. 2: Typische Radarkomponente

ordnungen bildeten geometrische Quellenfiguren. Stellvertretend für alle anderen Radarsysteme soll am Beispiel des Radarsystems AN/CPN-4 die Quellengeometrie erläutert werden.

Beim Radarsystem AN/CPN-4 wurden alle Quellen zu einer einzigen Quelle mit einer Ortsdosisleistung von $7,5 \mu\text{Sv/h}$ im Abstand von 30 cm und $105 \mu\text{Sv/h}$ im Abstand von 5 cm zu-

⁷ Von der Bundeswehr verfasste Berichte zu Waffensystemen. Diese beschreiben die Expositionsverhältnisse in vereinfachter Form

sammengefasst (AG Radar 2002b). Die stark vereinfachte Darstellung vermittelt den Eindruck, dass von Radiumbeschriftungen bei einer externen Exposition ohne Berührung keine gesundheitliche Gefährdung ausgehen kann.

Die Anordnung der Zeichenelemente auf den Komponenten⁸ wurde bestimmt durch die Formen und Position der Bauteile. Sie können vereinfachend als Linien, Flächen und Kreisflächen aufgefasst werden. Die von diesen Quellen ausgesandten Photonen induzierten im umgebenen Raum komplexe Strahlenfelder. Diese müssen bei der Expositionsermittlung in jedem Einzelfall berücksichtigt werden, weil davon die Verteilung der Bestrahlung auf die verschiedenen Zonen des Körpers abhängig ist.

III.2.3 LINIENSTRAHLER

Sind mehrere punktförmigen Quellen auf einer Radarkomponente angeordnet, dann kann zur Bestimmung der Ortsdosisleistung die von jeder einzelnen Quelle ausgehende Photonenstrahlung gesondert betrachtet werden. Für jede einzelne Quelle gilt das quadratische Abstandsgesetz $1/r^2$. Die Flächen konstanter Photonenstrahlung der einzelnen Quellen überlagern sich im Raum. Hält sich jemand in diesem zusammengesetzten Feld im Abstand b von den Quellen auf, dann kann die Ortsdosis aus den Feldern der einzelnen Quellen nur mit einem hohen Rechenaufwand bestimmt werden.

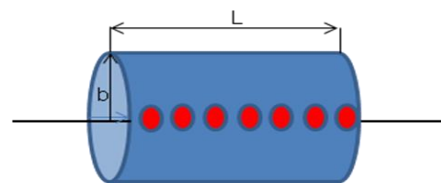


Abb. 3: Linienstrahler

Sind die Quellen auf einer Radarkomponente dicht nebeneinander in einer Linie der Länge L angeordnet, dann kann diese Anordnung näherungsweise als Linienstrahler aufgefasst werden. Die einhüllende Fläche der Quellen im Abstand b ist ein Zylinder mit einer linken und rechten Deckelfläche. Die auf die Deckelflächen entfallende Photonenstrahlung kann für den Fall, dass L groß gegen b ist, vernachlässigt werden. Das Strahlenfeld kann dann auf die Betrachtung der Mantelfläche eines Zylinders mit dem Radius b reduziert werden.

Für die Mantelfläche F_{Zyl} des Zylinders gilt:

$$F_{Zyl} = 2 * \pi * b * L$$

Der Photonenfluss beträgt bei einer Aktivität A der Quellen

$$\Phi_{Zyl} = \frac{A}{2 * \pi * b * L} = \frac{A / L}{2 * \pi * b}$$

Bei konstanter Länge L des Zylinders ändert sich der Photonenfluss in Abhängigkeit vom Abstand b der exponierten Person proportional zu $1/b$. Die auf die umhüllende Fläche des Linienstrahlers im Abstand b entfallende Gammadosisleistung beträgt:

$$D_{\gamma}/t = f \Phi = f \frac{A / L}{2 * \pi * b}$$

Den Proportionalitätsfaktor f , der ein Maß ist für die Energie des Photons, das die Fläche durchsetzt, können wir der Gleichung (5) in Kap. III.2.1 entnehmen. Mit $f = 10\pi \cdot 10^{-10}$ ergibt sich die Gammadosisleistung des Linienstrahlers im Abstand b zu:

$$D_{\gamma}/t = 5 \cdot 10^{-10} \frac{A / L}{b} \quad [\text{mSv/h}]$$

⁸ Einstellregler, Schalter, Anzeigeinstrumente, Kompassrosen und freie Bezeichnungen

wobei A in Bq, b und die Länge L des Linienstrahlers in m zu messen sind.

III.2.4 FLÄCHENSTRAHLER

Sind die Quellen auf einer Radarkomponente dicht über- und nebeneinander in Form einer Fläche (Abbildung 4) mit der Breite a und der Höhe h angeordnet, dann kann diese Anordnung als Flächenstrahler aufgefasst werden. Die umhüllende Fläche des Photonenflusses im Abstand b von der Quelle hat die Größe

$$F = a * h$$

Der Photonenfluss beträgt bei einer Aktivität A der Quelle

$$\phi = \frac{A}{a * h}$$

Näherungsweise kann ein vom Abstand unabhängiges Photonenfeld angenommen werden, wenn die in Achsrichtung der Flächen abgestrahlten Photonen vernachlässigt werden und wenn die Fläche des bestrahlten Körpers des Probanden im Verhältnis zur Fläche des Strahlers klein ist.

Die Gammadosisleistung im Abstand b von der Quelle ergibt sich zu:

$$D_{\gamma}/t = f \Phi = 10 \pi 10^{-10} \frac{A}{a * h} \quad [\text{mSv/h}]$$

wobei A in Bq, a und h in m zu messen sind.

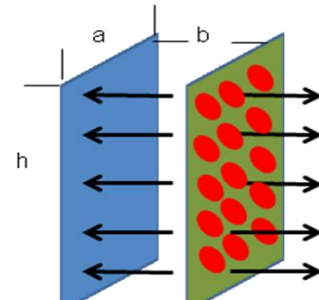


Abb. 4: Flächenstrahler

III.2.5 TORUSSTRAHLER

In den Radarsystemen wurden Braunsche Röhren zur Anzeige der Echosignale benutzt. Diese waren bei Suchradargeräten mit kreisförmigen Kompassringen (Abbildung 5 und 6) versehen, die gleichförmig mit Leuchtfarbenbeschriftungen belegt waren. Die Leuchtfarbenelemente der Beschriftungen bestanden aus Punkten, Strichen und Ziffern, die zu 360 Gradmarkierungen zusammengefasst waren.

Die Quellen sind kreisförmig angeordnet. Die umhüllende Fläche des Photonenflusses besteht aus der Fläche des Torus.

Mit dem Radius R des Torus und dem Abstand b eines Probanden zu den Quellen erhält man:

$$F_{Torus} = 2 * \pi * R * 2 * \pi * b = 4\pi^2 * R * b$$

Der Photonenfluss bei einer Aktivität A der Quellen beträgt:

$$\phi = \frac{A}{4\pi^2 * b * R} = \frac{A/R}{4\pi^2 * b}$$

Bei einem konstanten Radius R der Kompassrose ändert sich der Photonenfluss in Abhängigkeit vom Abstand b mit 1/b.

Die Gammadosisleistung im Abstand b der bestrahlten Person von der Quelle beträgt entsprechend:

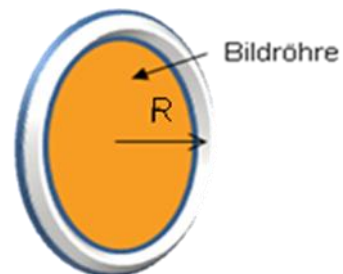


Abb. 5: Kompassring

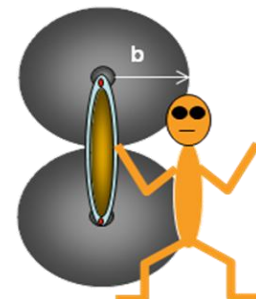


Abb. 6: Abstand zum Torus

$$D_{\gamma}/t = f \Phi = 8 \cdot 10^{-9} \frac{A/R}{b} \quad [\text{mSv/h}]$$

wobei A in Bq, b und der Radius der Kompassrose R in m zu messen sind.

III.2.6 ZUSAMMENFASSUNG

Bei externer Exposition durch mehrere radioaktive Leuchtfarbenbeschriftungen ist die Reduktion der Betrachtung auf eine einzelne Leuchtfarbenquelle je Waffensystem – wie von der Bundeswehr durchgeführt (AG Radar 2002b) - eine unzulässige Vereinfachung. Die tatsächlichen Strahlenexpositionen an den entsprechenden Arbeitsplätzen werden dadurch unterschätzt. In den vorangehenden Abschnitten wurden daher Beispiele zur näherungsweise Berechnung der realistischen Expositionsverhältnisse bei mehrfachen und ausgedehnten Quellen angegeben.

III.3 DOSISBESTIMMUNG BEI RADIUMINKORPORATION

Für radioaktive Stoffe, die über die Atemwege oder den Magen-Darm-Trakt in den Körper gelangen, hat die Internationale Strahlenschutzkommission ICRP Stoffwechselmodelle entwickelt, um die Dosis zu berechnen. Diese hängt natürlich von der Menge der Radioaktivität (in Bq) in dem jeweiligen Gewebe und der Aufenthaltsdauer des Stoffes dort ab. Das Ergebnis sind Dosiskoeffizienten in Sv/Bq für verschiedene Altersklassen der Bevölkerung und für beruflich strahlenexponierte Personen, die für den Fall der Aufnahme über die Atmung (Inhalation) und den über den Verdauungstrakt (Ingestion) angegeben werden.

In diese Koeffizienten gehen sehr viele Parameter ein wie z.B. die chemische Verbindung, in der der radioaktive Stoff vorliegt wegen der Löslichkeit in den Körperflüssigkeiten, und eine Reihe von Stoffwechselgrößen. Besonders kompliziert ist das Verhalten bei Inhalation, wo auch die Partikelgröße entscheidend dafür ist, welche Anteile in die verschiedenen Lungenbereiche gelangen (ICRP 1994). In den Alveolen (Lungenbläschen) treten die löslichen Stoffe in das Blut über, mit dem sie in die Gewebe außerhalb der Lunge transportiert werden.

Nach ICRP (1993) werden bei Ingestion von Radium beim Erwachsenen 80 % über den Darm ausgeschieden und 20 % gelangen in die Körpergewebe (Absorptionsfaktor $f_1 = 0,2$).

Der Hauptteil des im Körper verbleibenden Radiums wird nach ICRP in den Knochen abgelagert, das übrige im weichen Gewebe. Aus letzterem wird es schneller durch den Stoffwechsel abgebaut als aus den Knochen. Die Knochenaktivität sinkt nach 25 Jahren auf 0,5 – 1 % ab.

Tabelle 3 enthält die Dosiskoeffizienten für berufliche Strahlenexposition bei Inkorporation des Radiumisotops 226. Bei der Inhalation unterscheidet man 3 Stoffklassen: F für „fast“, M für „moderate“ und S für „slow“, die sich auf die Absorptionsraten aus der Lunge in das Blut beziehen. Für berufliche Exposition soll man, da die Stoffklasse im Allgemeinen unbekannt ist, die Werte für M benutzen. Diese entsprechen bei Radium nicht den höchst möglichen Dosiswerten.

Die Dosiskoeffizienten sind so berechnet, dass nach Inkorporation des reinen Radiumisotops 226 auch die Dosis durch die sich aus dem Radium bildenden Folgeprodukte dazu addiert wird. Bis zum Blei-210 mit einer Halbwertszeit von 22,3 Jahren (Tabelle 1) bilden sich diese Anteile sehr schnell. Die Folgeprodukte wandern entsprechend ihren anderen chemischen Eigenschaften vom Entstehungsort zu anderen Geweben. Ein besonderes Problem für die Dosimetrie stellt natürlich das unmittelbar nach dem Radium folgende gasförmige Radon dar, weil es teilweise aus dem Körper entweicht. Von ICRP wird angenommen, dass es sich im

Verhältnis 1:3 gegenüber dem Mutternuklid Radium-226 im Knochen befindet. Nach Übertritt aus den Geweben in das Blut wird es innerhalb kürzester Zeit in der Lunge abgeatmet (ICRP 1993).

Tab. 3: Dosiskoeffizienten für Radium-226 bei beruflicher Strahlenexposition nach Strahlenschutzverordnung in Sv/Bq www.bfs.de/bfs/recht/dosis.html

	Inhalation Stoffklasse M	Ingestion
Atemtrakt		
ET Luftwege	1,3E-05	4,0E-08
Lunge	1,7E-05	4,0E-08
Blase	2,9E-08	4,0E-08
Brust	2,9E-08	4,0E-08
Gehirn	2,9E-08	4,1E-08
Haut	2,9E-08	4,0E-08
Hoden	2,9E-08	4,0E-08
Knochenoberfläche	9,0E-06	1,2E-05
Leber	1,3E-07	1,8E-07
Magentrakt		
Speiseröhre	2,9E-08	4,0E-08
Magen	2,9E-08	4,1E-08
Dünndarm	3,0E-08	4,2E-08
O Dickdarm	4,1E-08	6,4E-08
U Dickdarm	8,0E-08	1,5E-07
Dickdarm	5,7E-08	9,9E-08
Milz	3,9E-08	5,3E-08
Muskel	2,9E-08	4,0E-08
Nebennieren	3,0E-08	4,1E-08
Nieren	4,3E-08	5,9E-08
Ovarien	2,9E-08	4,1E-08
Pankreas	2,9E-08	4,0E-08
Rotes Knochenmark	6,4E-07	8,7E-07
Schilddrüsen	2,9E-08	4,0E-08
Thymus	2,9E-08	4,0E-08
Uterus	2,9E-08	4,0E-08
Effektiv	2,2E-06	2,8E-07

Die Einheit E bedeutet die Basis 10 mit dem nachfolgenden Exponenten: 1E-5 = $1 \cdot 10^{-5}$

Die Angaben in Tabelle 3 entsprechen einer Lebenszeitdosis. Sie sind berechnet als diejenige Dosis, die sich bei einem 18-jährigen Menschen pro aufgenommenes Bq bis zum Alter von 70 Jahren ergibt.

Mit der Radiumfarbe würden Personen nicht nur Radium sondern auch die in der Farbe gebildeten Folgeprodukte aufnehmen. Allerdings ist anzunehmen, dass bei ungedeckten Farbschichten sich das Radon weitgehend verflüchtigt und dann auch keine strahlenden Folgeprodukte hinterlässt.

Die Dosiskoeffizienten sind – besonders im Individualfall – sehr ungenau und werden ohne Vertrauensbereich angegeben (Schmitz-Feuerhake 2000). Dennoch sind sie verbindlich nach Strahlenschutzverordnung zur Ermittlung von Körperdosen für exponierte Mitglieder der Bevölkerung und beruflich Strahlenexponierte anzuwenden.

Tabelle 3 enthält auch eine Angabe über die „effektive“ Dosis (letzte Zeile), siehe dazu die Erläuterungen in Kap. IV.2.3.

III.4 ORGANDOSIS DURCH INKORPORIERTE RADIUMLEUCHTFARBE

In Tabelle 4 sind beispielhaft Farbmengen angegeben, die eine Organdosis von 100 mSv bewirken. Man sieht, dass relativ geringe Mengen, die sich bei jahrelangem Berühren ungedeckter Leuchtschilder leicht aufsammeln können, zu nennenswerten Expositionen führen.

Eingesetzt wurde hier eine Radiumkonzentration in der Farbe von 2 MBq/g (siehe Kapitel II).

Tab. 4: Inkorporierte Farbmengen zur Erzeugung von 100 mSv Organdosis bei Radium-226-Konzentration in der Farbe von 2 MBq/g.

Krankheit	Dosiskoeffizient Sv/Bq	Farbmenge für 100 mSv
Knochentumor	$1,2 \cdot 10^{-5}$ Ingestion	4 mg
Leukämie	$8,7 \cdot 10^{-7}$ Ingestion	58 mg
Lungenkrebs	$1,7 \cdot 10^{-5}$ Inhalation	3 mg

Mit 1 g Radiumfarbe wird nach Abschnitt III.2.3 eine Fläche von $5,32 \text{ cm}^2$ bedeckt.

III.5 RADONEMISSION DURCH RADIUMLEUCHTFARBE

Wenn Leuchtfarbe mit dem Zusatz von reinem Radium versehen wird, bilden sich aus diesem die radioaktiven Tochterprodukte. Das nächste Tochterprodukt des Radiums-226, das gasförmige Radon-222, kann aus dünnen Farbschichten herausdiffundieren und in den umgebenden Gasraum gelangen. Die Frage ist dann, wie hoch die Strahlendosis durch Inhalation von Radon werden kann.

Die Zerfallsrate oder „Aktivität“ eines radioaktiven Strahlers ist durch das Zerfallsgesetz gegeben entsprechend

$$dN/dt = -\lambda N(t)$$

wobei N die Anzahl der vorhandenen Atomkerne des Strahlers ist, t die Zeit und λ die Zerfallskonstante des Strahlers. Die Zerfallskonstante ist umgekehrt proportional zur Halbwertszeit T und es besteht der Zusammenhang

$$\lambda = \ln 2 / T = 0,692 / T$$

Bei zwei Gliedern einer Kette mit den Zerfallskonstanten λ_1 und λ_2 gilt

$$dN_1/dt = -\lambda_1 N_1(t)$$

$$dN_2/dt = \lambda_1 N_1(t) - \lambda_2 N_2(t)$$

Die untere Gleichung drückt aus, dass die Atome der Tochter N_2 aus der der Mutter mit der Produktionsrate $\lambda_1 N_1$ entstehen und sich ihrerseits mit der Zerfallsrate $\lambda_2 N_2$ in das nächste Glied der Zerfallskette umwandeln.

Im Falle von Radium und Radon ist

$$\lambda_1 = 1,38 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1} \text{ (T = 1590 Jahre)} \quad \text{s Sekunde}$$

$$\lambda_2 = 2,097 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1} \text{ (T = 3,82 Tage)}$$

und somit die Zerfallskonstante der Muttersubstanz λ_1 sehr viel kleiner als die der Tochter λ_2 . Außerdem ist die Halbwertszeit von Radium absolut sehr groß. Unter solchen Bedingungen stellt sich das sog. „Dauergleichgewicht“ ein, denn es wird

$$\frac{N_2(t)}{N_1(0)} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{T_2}{T_1}$$

Die Anzahl der vorhandenen Atomkerne der sehr langlebigen Muttersubstanz $N_1(0)$ ändert sich praktisch nicht und deshalb hat auch das Tochterprodukt eine konstante Aktivität. Diese ergibt sich nach oben zu

$$\lambda_2 N_2 = \lambda_1 N_1$$

so dass im Dauergleichgewicht die Aktivität des Tochterprodukts gleich derjenigen der Ausgangssubstanz ist.

Das Dauergleichgewicht wird nach etwa 7 Halbwertszeiten des Tochterprodukts erhalten, bei Radon also 27 Tage nach Isolierung des reinen Radiums.

Eine weitere Frage ist, wie sich das Radon quantitativ nachbildet, wenn es von der Radiumquelle entweichen kann und durch Luftwechsel von außen abtransportiert wird. Die Radonaktivität in Zeiten t unterhalb des Dauergleichgewichts errechnet sich zu:

$\lambda_2 N_2(t) = \lambda_1 N_1 (1 - e^{-\lambda_2 t})$ und man erhält für $t = 1, 5, 10, 24, 50, 100$ Stunden ungestörter Aufsammelzeit die Werte

$t = 3600 \text{ s}$	$e^{-\lambda_2 t} = 0,992478$	$(1 - e^{-\lambda_2 t}) =$	<u>$7,5 \cdot 10^{-3}$</u>
$t = 18000 \text{ s}$	$e^{-\lambda_2 t} = 0,96296$	$(1 - e^{-\lambda_2 t}) =$	<u>$3,7 \cdot 10^{-2}$</u>
$t = 36000 \text{ s}$	$e^{-\lambda_2 t} = 0,927$	$(1 - e^{-\lambda_2 t}) =$	<u>$7,3 \cdot 10^{-2}$</u>
$t = 86400 \text{ s}$	$e^{-\lambda_2 t} = 0,834$	$(1 - e^{-\lambda_2 t}) =$	<u>0,16</u>
$t = 180000 \text{ s}$	$e^{-\lambda_2 t} = 0,686$	$(1 - e^{-\lambda_2 t}) =$	<u>0,31</u>
$t = 360000 \text{ s}$	$e^{-\lambda_2 t} = 0,470$	$(1 - e^{-\lambda_2 t}) =$	<u>0,53</u>

Nach 1 Stunde wird also eine Radonaktivität von 7,5 Promille im Vergleich zur Radiumaktivität erreicht, nach 5 Stunden 3,7 Prozent davon usw., nach 100 Stunden liegt man schon oberhalb der Hälfte der Radiumaktivität.

III.6 INHALATIONSDOSE DURCH RADON

In abgeschlossenen Räumen wie z.B. dem Cockpit von Flugzeugen und geschlossenen Trailern der Radargeräte kann sich wegen der hohen spezifischen Aktivität von Leuchtfarbe eine erhebliche Radonkonzentration in der Luft bilden, sofern unabgedeckte Farbschichten vorliegen oder die Abdeckungen beschädigt oder zu Reparaturen entfernt wurden.

Radon-222 in der Atemluft bildet den größten Anteil unserer Exposition durch natürliche Strahlenquellen, da es als Folgeprodukt der Uran-Radium-Reihe ständig im mineralischen Untergrund nachgebildet wird. Die mittlere Konzentration in Häusern wird in der BRD zu etwa 50 Bq/m^3 angegeben. Nach Angabe der Strahlenschutzkommission ist davon auszugehen, dass durch das Radon in Wohnungen bei uns etwa 5 % des vorkommenden Lungenkrebses in der Bevölkerung verursacht werden (SSK 2007). Ein besonderes Problem stellt das

Radon in Bergwerken dar, insbesondere in Uranbergwerken. Die sehr komplizierte Dosisbestimmung für Radoninhalation hat daher ganze Forschergenerationen beschäftigt.

Die Dosis in den Körpergeweben wird hauptsächlich durch die Folgeprodukte des Radons erzeugt. Da diese im Gegensatz zur Muttersubstanz Feststoffe sind, die sich weitgehend in den Lufträumen der Lunge niederschlagen, erhalten die Lungengewebe die höchste Dosis. Radon ist wasserlöslich und wird daher mit dem Blut aus der Lunge auch in alle anderen Bereiche des Körpers transportiert. Sehr viel höher als in Wasser ist die Löslichkeit in Fett, so dass besonders in Fettgewebe eine Anreicherung erfolgt. Diese gelten im Allgemeinen nicht als Risikogewebe für Schädigungen. Eine Ausnahme bildet jedoch das sehr fettreiche Knochenmark, das blutbildende Organ, in dem Leukämie ausgelöst wird.

Speziell für Radon wird die Größe WLM (Working Level Months) benutzt, auf die sich großenteils die Dosiswirkungsangaben über Effekte nach Inhalation beziehen. Das WL ist eine Luftkonzentration, die bei Gleichgewicht von Radon-222 mit seinen Folgeprodukten dem folgenden Wert entspricht:

$$1 \text{ WL} \cong 3700 \text{ Bq/m}^3$$

wobei die Aktivität in Bq diejenige des Radons ist.

Die Exposition 1 WLM ist das Produkt aus 1 WL und der Zeit von 1 Monat, der mit 170 Arbeitsstunden gerechnet wird. Zwischen WLM und der Radonkonzentration besteht daher die Beziehung

$$1 \text{ WLM} = 0,629 \frac{\text{MBq}}{\text{m}^3} \text{ h}$$

Um daraus eine Gewebstdosis zu berechnen, müssen weitere Annahmen gemacht werden. Erstens betrifft das den Anteil der Folgeprodukte, die als Aerosol in der Luft bleiben und mit inhaliert werden, da sich ein Teil an Wänden, Böden und Gegenständen niederschlägt („Attached“ fraction). In Wohnhäusern wird eine attached fraction von 0,6 angenommen (BEIR 1999).

Im Jahr 1994 hat die ICRP ein neues Lungenmodell vorgeschlagen, nach dem auch die Inhalationskoeffizienten in Tabelle 4 berechnet wurden. In Vergleichen mit neueren Berechnungsansätzen ergaben sich für Uranbergarbeiter effektive Dosen, die sämtlich nahe bei 10 mSv pro WLM lagen (Winkler-Heil 2007). Dieser Wert wurde schon in der älteren Literatur angegeben.

Im Report der U.S.-amerikanischen Academy of Sciences (BEIR 1999) wird die Auffassung vertreten, dass das Verhalten der Radonfolgeprodukte in Wohnhäusern ähnlich angesetzt werden kann wie in Uranstollen. In Ermangelung diesbezüglicher Messungen übernehmen wir diesen Ansatz für die hier zur Debatte stehenden militärischen Einrichtungen.

Tabelle 5 enthält Angaben über Gewebstdosen nach Radoninhalation für einen erwachsenen Mann. Sie basieren auf Berechnungen von Jacobi und Roth zur Exposition in der SDAG Wismut, dem früheren Uranabbaubetrieb in der DDR (Jacobi 1995; dort Tabelle 4-2). Für die Atemrate haben wir 1,25 m³/h angenommen, dieser Wert wird in (BEIR 1999) für Berufstätigkeit bei leichter körperlicher Belastung angegeben.

Die in Tabelle 6 aufgeführten Kompartimente des ICRP-Lungenmodells bedeuten:

- BB Bronchien
- bb Bronchiolen (kleinere Verzweigungen der Bronchien)
- AI Alveolares Interstitium
- ET2 extrathorakaler Bereich

Das Bronchialepithel BB ist der Bereich, in dem Lungenkrebs ausgelöst wird.

Die effektive Dosis wird fast ausschließlich durch die Lunge (gesamt) bestimmt, deren Wichtungsfaktor $w_T = 0,12$ beträgt (ICRP 2007). Sie ergibt sich nach Tabelle 6 pro Zeiteinheit zu $15,8 \text{ mSv/h pro MBq/m}^3$.

Die Dosisfaktoren in Tabelle 6 beruhen auf einer Modellrechnung, die Jacobi und Eisfeld 1980 entwickelt haben. Für das rote Knochenmark sind die Annahmen über die Größe und Verteilung der Fettzellen relevant. Richardson u.a. (1991) haben eine Dosisleistung von $0,8 \text{ mSv/h pro MBq/m}^3$ ermittelt.

Tab. 5: Dosisleistung in Organen und Geweben durch Inhalation von Radon-222 und Folgeprodukten in Abhängigkeit von der Radonkonzentration nach Jacobi und Roth 1995 attached fraction 0,6; Atemrate $1,25 \text{ m}^3/\text{h}$

Gewebe, Organ	$\frac{\text{mSv}}{\text{h}} / \frac{\text{MBq}}{\text{m}^3}$
Lunge –BB*	132
-bb*	248
-AI*	13,2
Lunge, gesamt	132
Mund, Rachen (ET2*)	99
Magen	0,55
Dünndarm	0,50
Kolon, Rektum	0,48
Leber	0,75
Niere	0,58
Knochenoberfläche	0,38
R. Knochenmark	0,50
Andere Gewebe	0,45

*) Erläuterung siehe Text

Im Lungenmodell der ICRP sind auch die Lymphknoten des Atemtrakts eingearbeitet, die einen großen Teil der körpereigenen weißen Blutkörperchen (Lymphozyten) enthalten. Diese sind Ausgangspunkt strahleninduzierter Lymphome, einer Krebserkrankung, die in den letzten Jahrzehnten zunehmend bei beruflich Strahlenexponierten beobachtet wurde, im Organwichtungssystem der ICRP bislang aber nicht angemessen berücksichtigt wird (Schmitz-Feuerhake 2004; Richardson 2005). Zu ihnen muss auch die sog. „Chronisch lymphatische Leukämie“ gezählt werden, die nach bisheriger Lehrmeinung als nicht strahleninduzierbar gilt.

Nach Harley und Robbins (2009) beträgt die Dosisleistung in den Lymphozyten

$$114 \text{ mSv/h pro MBq/m}^3.$$

Diese Dosisleistung ist fast so hoch wie die für das Bronchialepithel. Es ist jedoch zu beachten, dass sich nur ein Teil der Lymphozyten in der Lunge befindet. Die übrigen halten sich in den weniger exponierten Körpergeweben auf.

Zur Hautdosis, die ebenfalls in Tabelle 5 nicht gesondert betrachtet wird, siehe das folgende Kapitel III.7.

III.7 HAUTDOSIS DURCH KONTAKT MIT RADIUMFARBEN UND RADON

Als strahlenempfindliches Gewebe, in dem Hautkrebs entstehen kann, wird die Basalschicht der Epidermis (Oberhaut) angesehen. Die ICRP hat ihre dosimetrischen Betrachtungen darauf abgestellt, dass diese in einer Tiefe von 70 µm unterhalb der Oberfläche liegt. Bereits 1955 wurden jedoch von Southwood und 1973 von Whitton und Everall Messwerte vorgelegt, nach denen auch geringere Tiefen bis zu 20 µm vorkommen – im Gesicht noch darunter. Daher führt auch die ICRP einen Dickenbereich von 20-110 µm für die Epidermis auf, behält aber den Referenzwert 70 µm bei (ICRP 2002). Die Alphastrahlen der meisten Radionuklide haben eine zu geringe Energie, um eine solche Weglänge in Gewebe zu erreichen. Der ICRP-Referenzwert bietet daher Gutachtern und Berufsgenossenschaften die Handhabe, Krebsgefahren bei Hautkontaminationen mit Alphastrahlern zu negieren.

Demgegenüber liegen die häufigsten Schichtdicken nach verschiedenen Messungen bei 40 – 60 µm (Charles 2007a). An den Fingerspitzen können sie allerdings mehr als 150 µm betragen und die Handballen verfügen über besonders dicke Schichten oberhalb der empfindlichen Zellen.

Kommt es zur Berührung mit unabgedeckter Farbe oder einem entsprechenden Abrieb, sind für reines Radium-226 nur die Alphastrahlen mit Energien⁹ von 4,78 und 4,60 MeV zu beachten. Erstere haben in Gewebe eine Reichweite von 28 µm (Turner 1990). Eine derartige Hautkontamination kann in der Tat wegen der geringen in Frage kommenden Kontaktfläche und der weitgehenden Abschirmung durch die oberflächlichen Hautschichten praktisch vernachlässigt werden.

War die Farbe vor der Berührung lange Zeit abgedeckt, befinden sich auch die Folgeprodukte mit den deutlich höheren Alphaenergien darin. Da diese aber dann wegen des flüchtigen Radons nicht nachgebildet werden, spielen sie wegen der kurzen Halbwertszeiten ebenfalls keine nennenswerte Rolle.

Ein sehr viel größeres Problem stellen jedoch die Folgeprodukte in einer Radonatmosphäre dar, da sie sich an Oberflächen niederschlagen, also auch an allen offenliegenden Hautpartien. Ferner kommt es zu Kontaminationen auch bekleideter Körperpartien, da das diffusible Radon die Kleidung durchdringt. Diesem Thema widmet sich die Arbeit von Charles (2007a,b).

Relevant für die Hautdosis sind dann die Alphastrahler Polonium-218 (Po-218) und Polonium-214 (Tabelle 1). Die Beta/Gammastrahlung der Nuklide Blei-214 und Wismuth-214 erzeugt demgegenüber nur eine geringe Dosisrate. Die Reichweite der Alphastrahlen von Po-214 mit der Energie 7,7 MeV beträgt in Gewebe 66 µm, die von Po-218 mit 6 MeV beträgt 44 µm (Charles 2007a). Für eine Flächenbelegung von 1 Bq pro cm² Haut mit diesen Nukliden im Gleichgewicht zur Muttersubstanz Radon-222 berechnet der Autor die Dosisleistung:

in 40 µm Tiefe	0,07 µGy/s	s Sekunde
in 60 µm Tiefe	0,01 µGy/s	

Mit dem Strahlungswichtungsfaktor 20 für Alphastrahlen ergibt sich hieraus 1,4 µSv/s bzw. 0,2 µSv/s. Eatough (1997) hat ähnliche Werte ermittelt, er hat seine Angaben für verschiedene Körperregionen spezifiziert (Tabelle 6). Sie beruhen auf publizierten Messwerten verschiedener Autoren über die Dicke der Epidermis. Die Dosisleistungen wurden ebenfalls pro Einheit der Flächenbelegung Bq/cm² berechnet.

⁹ Die folgenden Angaben über die ausgestrahlten Energien zeigen geringe Abweichungen im Vergleich zu den Werten der ICRP in Tabelle 1

Tab. 6: Dosisleistung an der Basis der Epidermis und mittlere Dosisleistung in der Basalschicht* durch die Alphastrahlung nach Deposition von Po-218 und Po-214 (jeweils gleiche Aktivität) auf der unbedeckten Haut, nach Eatough 1997, 1999

Körperregion	Dosisleistung an der Basis $\frac{\mu\text{Sv}}{\text{s}} / \frac{\text{MBq}}{\text{m}^3}$	Mittlere Dosisleistung in der Basalschicht* $\frac{\mu\text{Sv}}{\text{s}} / \frac{\text{MBq}}{\text{m}^3}$	Mittlere Dosisleistung in der Basalschicht $\frac{\text{mSv}}{\text{h}} / \frac{\text{MBq}}{\text{m}^3}$
Handrücken	0,1	0,1	6,8
Arme und Beine**	0,3	0,4	27,2
Arme und Beine**	0,5	0,6	40,7
Oberkörper**	0,9	1,1	74,7
Oberkörper**	0,7	0,8	54,3
Gesicht	0,7	0,9	61,1
Vordere Kopfhälfte	0,5	0,7	47,5
Wangen	0,5	0,6	40,7

*) angenommene Dicke der Basalschicht 8 μm (0,88 mg/cm^2)

***) Doppelnennung nach Angaben verschiedener Autoren

In der letzten Spalte von Tabelle 6 werden Dosisleistungen pro Aktivitätskonzentration in der Luft angegeben. Diese wurden wie folgt erhalten:

Die Deposition der Radonfolgeprodukte aus der umgebenden Luft auf die Haut ist schwer zu berechnen. Die Teilchen sinken nicht nur auf Grund der Schwerkraft zu Boden, sondern es gibt auch eine Anhaftung in Folge der elektrischen Aufladung der Haut. Daher spielt die horizontale Ausrichtung der Hautflächen gegenüber der senkrechten nur eine geringe Rolle (Charles 2007b). Die entstandenen Poloniumnuklide, die sich an Staubteilchen in der Luft oder Wasserdampf anlagern können, sind ihrerseits wegen der Abstrahlung von Ladungsträgern durch das Mutternuklid elektrisch geladen. Aus diesem Grund haben Eatough und Mitarbeiter (1999) Messungen über die Depositionsrate vorgenommen. 41 berufstätige Freiwillige wurden mit Radondosimetern am Unterarm ausgestattet, die etwa über einen Monat lang die Alphastrahlung drinnen und draußen – am Arbeitsplatz und zuhause - in Abhängigkeit von dem normalen Radonlevel in der Luft registrieren sollten. Die Messung erfolgte im Sommer, damit die Haut unbedeckt bleiben konnte. Der Radonpegel der Luft wurde gleichzeitig durch einen Monitor am Körper erfasst.

Als Ergebnis erhielten sie für die Poloniumisotope 214 und 218 zusammen den Wert:

$$0,17 \pm 0,11 \text{ Zerfälle}/\text{cm}^2 \text{ pro Stunde bei der Konzentration } 1 \text{ Bq}/\text{cm}^3;$$

dieses entspricht $4,7 \cdot 10^{-5} \pm 3,0 \cdot 10^{-5} \text{ Bq}/\text{cm}^2$ bei der Konzentration $1 \text{ Bq}/\text{cm}^3$.

Die Messwerte für die Deposition zeigten eine signifikante Korrelation mit der Radonkonzentration in der Umgebung. Die Autoren weisen aber darauf hin, dass die Werte bezogen auf die gleiche registrierte Konzentration sich im Individualfall bis um den Faktor 10 unterscheiden. Sie führen das hauptsächlich auf Verluste durch Luftbewegungen im Freien zurück (Transporte zur Arbeit usw.). Im Rahmen der Messgenauigkeit zeigten die Ergebnisse jedoch Übereinstimmung mit älteren Messungen an Personen, die in Uranerzstollen durchgeführt worden waren (Sevcova 1978). Im Mittel war die von Sevcova und Mitarbeitern erhaltene Deposition pro Radonkonzentration um den Faktor 1,44 höher (nach Berechnung von Eatough u.a.).

Um diesen Faktor beaufschlagt man das oben genannte Ergebnis von Eatough u.a. zur Berechnung der Dosisleistung in Tabelle 6, letzte Spalte. Die Situation an Arbeitsplätzen der Bundeswehr, wo Personen in Cockpits oder Trailern den Ausdünstungen von Radiumfarben ausgesetzt waren, erscheint uns wegen der höheren Konzentrationen als in der normalen Umgebung und der geringeren Mobilität der Betroffenen ähnlicher.

Tabelle 6 zeigt, dass die Hautdosis durch das Radon der Radiumfarben sehr hoch werden kann. Für die durch Kleidung bedeckten Hautpartien werden von Eatough und Henshaw (1992) aber nur 5 % der Deposition gegenüber den unbedeckten Flächen abgeschätzt.

Das Problem der Diffusion von Radon durch die Haut wird von Charles (2007a,b) nicht behandelt. Eatough und Henshaw (1992) geben die Radonlöslichkeit in Gewebe unterschiedlicher Zusammensetzung zu 0,15-0,40 an (Verhältnis der Volumina Gas zu Flüssigkeit bei 37° Körpertemperatur). Sie berechnen eine Hautdosis von 12 µSv pro Jahr bei einer Umgebungskonzentration von 20 Bq/m³, daraus ergäbe sich der Zusammenhang

$$0,068 \frac{mSv}{h} / \frac{MBq}{m^3} \text{ durch Radondiffusion}$$

Dieser Wert ist mindestens 100 mal kleiner als die Werte in Tabelle 6, die Diffusion kann daher gegenüber der Deposition durch die Folgeprodukte vernachlässigt werden.

IV GESUNDHEITLICHE SCHÄDEN DURCH RADIOAKTIVITÄT

IV.1 EINFÜHRUNG

Als Maß für die Schädigung eines Gewebes durch ionisierende Strahlung, zu der Röntgen- und radioaktive Strahlung gehören, gilt die Äquivalentdosis in Sv. Alle Kenntnisse aus der Strahlenforschung am Menschen können daher im Prinzip auf den Fall der Bestrahlung durch Radium übertragen werden. Besonderheiten ergeben sich durch die spezifische Anreicherung in den Knochen und die Strahlenart.

Als Referenz für Strahlenschäden beim Menschen werden die Überlebenden der Atombombenabwürfe auf Hiroshima und Nagasaki 1945 verwendet. Etwa 100 000 Personen wurden dort über Jahrzehnte untersucht. Sie waren bei der Bombenexplosion einer sehr hochenergetischen Gammastrahlung mit sehr hoher Dosisleistung (Dosis pro Zeiteinheit) ausgesetzt, sozusagen einer „Blitzbestrahlung“. Die Spaltprodukte und anderen radioaktiven Nuklide, die bei der Atombombenexplosion entstehen (Fallout), wurden bei der Dosisbestimmung nicht betrachtet, da man sie für vernachlässigbar hält.

Im Gegensatz zu einer weit verbreiteten Meinung entstammen die Untersuchungsergebnisse nicht einem Kollektiv, das nur hohen Dosen ausgesetzt war, sondern gerade in den Niedrigdosisgruppen befinden sich die meisten Überlebenden. Das kommt daher, dass die Dosis mit dem Abstand der Person zur Explosion stark abnimmt und in den weiter weg gelegenen Bezirken sich weitaus mehr Menschen aufhielten. Die mittlere Dosis in dem untersuchten Kollektiv betrug nur etwa 200 mSv und in den Gruppen mit einer Organdosis unterhalb von 50 mSv wurden ebenfalls signifikante Effekte gefunden. Die japanischen Atombombenüberlebenden sind daher durchaus geeignet, um Aussagen über Niederdosisfolgen zu machen.

Für quantitative Dosiswirkungsangaben in anderen Bestrahlungssituationen sind die Ergebnisse jedoch nur bedingt übertragbar. Im Falle von inkorporierter Radioaktivität kommt es in den Körperzellen besonders bei Alphastrahlung zu einer sehr inhomogenen Energieübertragung, die Art und Häufigkeit der Effekte beeinflussen kann. Des Weiteren führt die langanhaltende chronische Exposition mit Alphastrahlen zu anderen Abhängigkeiten der Effekte von der Dosisleistung als bei Gammastrahlung.

Im Folgenden werden daher auch Erkenntnisse über spezifische Wirkungen des Radiums und seines Folgeprodukts Radon dargestellt.

IV.2 ALLGEMEINES

IV.2.1 DETERMINISTISCHE STRAHLENSCHÄDEN

Unter deterministischen Strahlenschäden versteht man Effekte, die sehr bald nach der Exposition zwangsläufig bei jedem auftreten. Das ereignet sich nur bei hoher Dosis von mehreren Sv und bei hoher Dosisleistung. Dazu gehören die bekannten Bestrahlungsfolgen wie Hautrötung und Haarausfall.

Kenntnisse über Wirkungen von Radium hat man vor allem durch die Zifferblattmalerinnen, die in den zwanziger Jahren des vorigen Jahrhunderts Leuchtfarben mit feinen Pinseln auftrugen, um Uhren zu beschriften, des weiteren von therapeutischen Anwendungen, bei denen Radiumlösungen injiziert wurden. Deterministische Schäden bei den ersteren waren Gewebs- und Knochenzerstörungen im Mund/Rachenbereich.

Katarakte (Grauer Star), die ebenfalls durch Radium ausgelöst werden können (siehe Tabelle 9), hat man früher ebenfalls zu den deterministischen Schäden gezählt. Bis heute wurde diese Auffassung größtenteils nicht revidiert, obwohl inzwischen durch die Erfahrung an kontami-

nierten Bevölkerungen klar geworden ist, dass sie auch bei niedriger Dosis auftreten (Schmitz-Feuerhake 2006a), siehe auch Kap.IV.4.2.

IV.2.2 STOCHASTISCHE STRAHLENSCHÄDEN

Tumorbildungen durch ionisierende Strahlen gelten als „stochastische“ Schäden, die lediglich bei einer Minderheit von Exponierten auftreten. Für sie lässt sich nur eine Wahrscheinlichkeit angeben, die man aus der Erkrankungsrate in einem bestrahlten Kollektiv bei bekannter Dosis bestimmt hat. Die Dosis-Wirkungsbeziehung, also die Abhängigkeit der Erkrankungswahrscheinlichkeit von der Dosis, wird als „ohne Schwelle“ angesehen, d.h. ein unschädlicher Dosisbereich („Schwellendosis“) wird nicht angenommen. Bei abnehmender Dosis gibt es immer noch eine Erkrankungswahrscheinlichkeit oberhalb von 0.

Die strahlenbiologische Interpretation für die schwellenlose Wirkung ist die Erkenntnis, dass ein einziges Strahlenquant (Alpha-, Beta-Teilchen oder elektromagnetische Welle) eine Mutation in einer Zelle auslösen kann. Wird eine Keimzelle mutiert, kann das zu einem genetischen Defekt in einem Nachkommen führen. Eine einzelne mutierte Zelle in einem anderen Gewebe kann Ausgangsort eines Tumors sein.

IV.2.3 DAS SCHEMA DER ICRP ZUR QUANTITATIVEN BESCHREIBUNG DES STRAHLENRISIKOS

Bei gleicher Energiedosis haben die verschiedenen Strahlenarten unterschiedliche biologische Wirkungen. Alphastrahlung gehört zu der „dicht“ ionisierenden Strahlung, weil sie ihre Energie auf sehr kurzer Strecke im Gewebe abgibt. Betastrahlen und die elektromagnetischen Wellen der Röntgen- und Gammastrahlung sind „locker“ ionisierend. Um die Wirkungen der verschiedenen ionisierenden Strahlungen vergleichbar zu machen, hat die ICRP als Schadensmaß die Äquivalentdosis in Sv (Sievert) eingeführt. Sie wird bei aus der Energiedosis in Gy ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$) erhalten, in dem man sie mit dem dimensionslosen Strahlungswichtungsfaktor w_R multipliziert:

$$\text{Äquivalentdosis [Sv]} = w_R \times \text{Energiedosis [Gray]}$$

$$1 \text{ Sv} = 1000 \text{ mSv} = 1 w_R \times \text{Joule/kg}$$

Als Referenzstrahlung mit $w_R = 1$ werden alle Wellenstrahlen im Energiebereich von Röntgen und Gammaradioaktivität angesetzt. Die anderen locker ionisierenden Strahlen, wozu die Betastrahlen gehören, haben ebenfalls $w_R = 1$.

Den Alphastrahlen wird ein $w_R = 20$ zugeordnet. Dieser bedeutet, dass ein 1/20 der Energiedosis in Gy an Alphastrahlung die gleiche Wirkung im Gewebe haben soll wie 1 Gy bei Röntgenstrahlung.

Die Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung sowie die natürliche und medizinische Strahlenexposition der Bevölkerung werden als „effektive“ Dosis in mSv angegeben. Dabei handelt es sich um eine gewichtete Größe, die bei ungleichmäßiger Bestrahlung des Körpers alle Teilkörperdosen vergleichbar machen soll.

Zur Gewinnung der „effektiven“ Dosis wird die jeweilige Organ- oder Gewebesdosis je nach Strahlenempfindlichkeit mit einem Gewebewichtungsfaktor versehen, und die Summe aller so gewichteten Teilkörperdosen ergibt die effektive Dosis (ICRP 1991, § 27).

Die Bezugsgröße bei den Gewebewichtungsfaktoren war früher die Krebsmortalität zusammen mit den erzeugten Erbkrankheiten (ICRP 1991), ab 2007 ist es die Krebsinzidenz zusammen mit den erzeugten Erbkrankheiten (ICRP 2007). Das Krebsrisiko wird dabei wie

schon vorher nach Schweregrad und Überlebensdauer gewichtet. Die Wichtung erfolgt als Mittelung über eine Standardbevölkerung aller Altersklassen. Die Werte für die einzelnen Organe und Gewebe sind im Anhang E Tabelle 17 wiedergegeben.

Nach den Erfahrungen in Hiroshima und Nagasaki sind die Dosis-Wirkungsbeziehungen für solide Tumore dosisproportional (linear ohne Schwelle). Das gilt allerdings nur für einen Dosisbereich unterhalb von 2 bis 4 Sv, oberhalb davon kommt es durch den Strahleneffekt der Zellabtötung zu einer relativen Abnahme der Karzinogenese. Auch für Leukämie kann man bei sehr niedriger Dosis Proportionalität annehmen.

Unter einer „niedrigen“ Dosis verstehen wir - abweichend von Angaben in der Strahlentherapie – Werte unterhalb von 1 Sv, die meistens in mSv angegeben werden.

Wegen der angenommenen Proportionalität zwischen Dosis und Effekt im Niederdosisbereich lassen sich Dosis-Wirkungsangaben aus der Literatur auf andere Bestrahlungssituationen übertragen. Unter dem relativen Risiko RR versteht man das Verhältnis der Erkrankungsrate in der exponierten Gruppe zur Erkrankungsrate in der Kontrollgruppe ohne Exposition. Das „Strahlenrisiko“, d.h. die Wahrscheinlichkeit einer Erkrankung aufgrund einer bestimmten Strahlendosis, wird in der Literatur entweder als „RR pro Sv“ = $RR \text{ Sv}^{-1}$ angegeben, oder als „absolutes Risiko“ entsprechend der strahlenbedingten Erkrankungsrate pro Sv, d.h. in Fällen pro Anzahl Personen und Sv. Das absolute Risiko bezieht sich nur auf die zusätzlich erzeugten Fälle, die Spontanrate oder anderweitig gewonnene Kontrollwerte werden entsprechend vorher abgezogen.

Als Wahrscheinlichkeit für einen Strahlenschaden bei exponierten Personen wird von der ICRP ein absolutes Risiko von 5,5 % pro Sv – entsprechend $5,5 \cdot 10^{-2} \text{ Sv}^{-1} = 5,5 \cdot 10^{-5} \text{ mSv}^{-1}$ – angegeben. Das ist ebenfalls ein Mittelwert, der geschlechts- und altersspezifische Unterschiede nicht berücksichtigt. Als Schaden gilt der Krebstod sowie geschätzte Fälle von Krebserkrankungen, die nicht zum Tode führen, aber gravierend sind. Der Zahlenwert bedeutet, dass, wenn eine Bevölkerung mit 1 Sv effektiver Dosis exponiert wird, 5,5 % davon einen strahlenbedingten Krebstod oder einen gleichwertigen Gesundheitsschaden erleiden werden (ICRP 1991). Als Individualrisiko betrachtet hat eine Person, die eine effektive Dosis von 1 Sv erhält, ein zusätzliches Risiko von 5,5 %, einen Krebstod oder Äquivalentes zu erleiden.

Kinder gelten als strahlenempfindlicher als Erwachsene. Für Personen, die sich ausschließlich im Erwachsenenalter befinden, gibt die ICRP ein Risiko von 4,1 % pro Sv an.

Hinzu kommen Erbkrankheiten, die aufgrund einer Exposition der Gonaden bei den Nachkommen erzeugt werden. Diesen Anteil beziffert die ICRP auf 0,2 % pro Sv. (Die Verwendung der effektiven Dosis ist in diesem Zusammenhang natürlich unsinnig, da nur die Exposition der Gonaden zu einer Erbkrankheit führen kann.)

IV.3 SPEZIFISCHE BEFUNDE NACH RADIUM- ODER RADONINKORPORATION

IV.3.1 KNOCHENTUMORE DURCH RADIUM

Wie die Tabelle 4 zeigt, werden sehr viele Körpergewebe durch Radium bestrahlt, so dass im Prinzip in allen diesen stochastische Schäden entstehen können. Beobachtet wurden in den Kollektiven mit hoher Radiuminkorporation (Zifferblattmalerinnen und Strahlentherapie) vor allem Knochen- und Weichteiltumore.

Knochentumore sind normalerweise sehr selten auftretende Erkrankungen. Im Bericht der Radarkommission von 2003 werden auf Seite 76 Knochentumore unter „selten mit ionisierender Strahlung assoziierte Tumoren“ aufgeführt. Diese Aussage gilt dort für Röntgen- und

Gammastrahlung, also die das Gewebe von außen durchdringende elektromagnetische Wellenstrahlung.

Der Grund ist, dass als Referenzkollektiv üblicherweise die japanischen Atombombenüberlebenden dienen. Wegen der allgemeinen Seltenheit der Knochentumore sind auch die strahleninduzierten bei niedriger Dosis selten, so dass sich aus den japanischen Überlebenden mangels ausreichender Fallzahlen aus statistischen Gründen keine Dosiswirkungsbeziehungen für diesen Effekt herleiten ließen. Die Strahleninduzierbarkeit ist jedoch aus den genannten anderen Bestrahlungssituationen bekannt, auch aus der Strahlentherapie mit Röntgen- oder Gammastrahlung, nach der sich Knochentumore als Sekundärerkrankung zeigten.

Auch die Radarkommission hat darauf hingewiesen, dass die Radium-226-Inkorporation bei Zifferblattmalerinnen typischerweise zu Knochensarkomen geführt hat. Diese bösartigen Folgeerkrankungen gliedern sich in zwei überwiegend auftretende Formen: Osteosarkome, die von knochenbildenden Zellen ausgehen, und Histiozytome, die Bindegewebszellen in den Knochen entstammen (Gössner 1995).

Die Latenzzeiten – d.h. die Zeiten zwischen Induktion und Auftreten der Erkrankung – sind bei strahleninduzierten Knochensarkomen ungewöhnlich kurz, sie stellen sich ähnlich dar wie für Leukämie bei den Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki, d.h. sie liegen bei bestrahlten Erwachsenen am häufigsten bei etwa 5 Jahren (Mays 1980).

Über die Abhängigkeit des Effektes von der Dosis bei Radiuminkorporation gibt es eine jahrzehntelange Diskussion in der Literatur. Auch das therapeutisch eingesetzte kurzlebige Radiumisotop 224 (Halbwertszeit 3,66 Tage) sendet eine Alphastrahlung aus. Alphateilchen verändern auf Grund ihrer dichtungisierenden Eigenschaft Körperzellen nachhaltiger als Röntgen- oder Gammastrahlung. Etliche Autoren haben postuliert, dass es für radiuminduzierte Knochentumore einen wirkungslosen Dosisbereich gibt und es einer Schwellendosis bedarf, um diese Tumore zu erzeugen.

Dieses widerspricht aber den Erfahrungen, die man sonst mit strahleninduzierten Tumoren in anderen Geweben hat. Vielmehr ist das Fehlen von Effekten im Niederdosisbereich auf den zu geringen Umfang der untersuchten Kollektive aus dem Berufsmilieu und von Patienten nach Strahlentherapie zurückzuführen, die aus statistischen Gründen keine gesicherten Aussagen zulassen. Diese Auffassung wird gestützt durch den Befund, dass in einer Gegend mit erhöhtem Radiumgehalt im Trinkwasser auch mehr Knochentumore in der Bevölkerung registriert wurden (Finkelstein 1996).

Tabelle 7 enthält Angaben aus der Literatur über abgeleitete Dosiswirkungsbeziehungen für Knochensarkome nach Radiuminkorporation bei niedriger Dosis.

Tab. 7: Angaben über die Wahrscheinlichkeit der Strahleninduktion für Knochensarkome durch Radium in Abhängigkeit von der Dosis

Autoren	Bestrahltes Kollektiv	Absolutes Lebenszeitrisiko für strahleninduziertes Knochensarkom
Mays u. Rowland 1985	Medizinische und berufliche Exposition mit Radium-226 und Radium-228	9 Fälle auf 1 Million Personen bei Ingestion von 0,185 Bq Ra-226 pro Tag
Nekolla et al. 2000	Patienten nach Strahlen-therapie mit Radium-224	1,98 x 10 ⁻⁴ /Sv bei Bestr. im Alter von 15 J. 0,89 x 10 ⁻⁴ /Sv bei Bestr. im Alter von 30 J.

Aus den Angaben in Tabelle 7 lässt sich jeweils ein absolutes Risiko pro Jahr ableiten:

Nach Mays und Rowland würden bei einer chronischen Aufnahme von Radium-226 durch Ingestion in einer Lebenszeit von 70 Jahren pro Jahr 0,129 Knochensarkome in 1 Million Exponierten induziert, bei einer jährlichen Radiumzufuhr von $0,185 \times 365 = 67,5$ Bq. Bei einer einmaligen Zufuhr von 67,5 Bq würden daher in 70 Jahren nur insgesamt 0,129 Knochensarkome in 1 Million Personen erzeugt. Relevant ist in diesem Fall die Dosis der Knochenoberflächen, die durch diese Radioaktivitätsmenge entsteht.

Mit dem Dosiskoeffizienten für Ingestion nach Tabelle 3 von $1,2 \cdot 10^{-5}$ Sv/Bq ergeben 67,5 Bq eine Dosis von $8,1 \cdot 10^{-4}$ Sv. Damit leitet sich ein Risiko pro Jahr von $0,129 \cdot 10^{-6} / 8,1 \cdot 10^{-4} = 1,59 \cdot 10^{-4} \text{Sv}^{-1} \text{a}^{-1}$ ab. Dieser Wert nach Mays und Rowland gilt für eine Bevölkerung mit gemitteltem Alter.

Die Ergebnisse von Nekolla et al. in Tabelle 7 sind für verschiedene Lebensalter bei Exposition berechnet (5-15-30-45-60 Jahre). Das absolute Risiko pro Jahr ergibt sich daraus bei einer Lebensdauer von 75 Jahren zu $0,33 \times 10^{-5} \text{Sv}^{-1} \text{a}^{-1}$ bei Bestrahlung im Alter von 15 Jahren und zu $0,20 \cdot 10^{-5} \text{Sv}^{-1} \text{a}^{-1}$ bei einer Bestrahlung im Alter von 30 Jahren.

Diese Werte sind um den Faktor 48 bzw. 80 kleiner als die nach Mays und Rowland, d.h. die Wahrscheinlichkeit der Induktion eines Knochensarkoms durch eine Standarddosis wird entsprechend geringer abgeleitet.

Interessant ist im Falle berufsbedingter Erkrankungen die sog. Verdopplungsdosis, das ist diejenige Dosis, die eine gleich hohe Wahrscheinlichkeit der Strahleninduktion bewirkt, wie dem Spontanaufreten entspricht. Im Schadensfall würde jede höhere Dosis eine mehr als 50%-ige Wahrscheinlichkeit bedeuten, dass der Schaden strahlenbedingt ist. Letzteres ist üblicherweise das Kriterium zur Anerkennung der Berufsbedingtheit.

Mays und Rowland gehen von einer Spontanwahrscheinlichkeit für Knochensarkome von $1 \times 10^{-5} \text{a}^{-1}$ (1 Fall auf 100000 Personen pro Jahr) aus. Damit ergibt sich bei ihnen eine Verdopplungsdosis von $0,063 \text{ Sv} = 63 \text{ mSv}$ (!). Nekolla und Mitarbeiter geben ein relatives Risiko von 1,235 pro Sv an, daraus würde eine Verdopplungsdosis von 4,25 Sv folgen. Letztere Autoren halten ihre Risikoangaben für konservativ, d.h. für Niederdosisexpositionen sollen sie auf der sicheren Seite liegen. Das erscheint uns als unbewiesen angesichts der sehr hohen therapeutischen Dosen von 400-1200 Sv für die Knochenoberfläche.

Wesentlich geringere Dosen erhielten die Zifferblattmalerinnen, die Radiumfarben auftrugen. Als Folge wurden bei ihnen neben Knochensarkomen auch gutartige Knochentumore beobachtet sowie (bösartige) Knochenkarzinome vor allem im Schädelbereich (Rowland 1994).

IV.3.2 LUNGENKREBS DURCH RADON

Die Bronchien gehören zu den strahlenempfindlichsten Geweben beim Menschen, nach ICRP wird die Lunge daher in die Gruppe der Organe mit dem höchsten Gewebewichtungsfaktor von $w_T = 0,12$ eingeordnet (ICRP 2007).

Lungenkrebs ist die einzige anerkannte Strahlenfolge nach beruflicher Exposition durch Radoninhalation, vergl. Kap.III.6.

IV.3.3 LEUKÄMIE UND WEITERE STOCHASTISCHE ERKRANKUNGEN

In Tabelle 8 sind weitere Untersuchungen zusammengefasst, in denen ein Zusammenhang zwischen Radium- oder Radoninkorporation und Krebserkrankungen gefunden wurden. Fer-

ner sind Ergebnisse über Geburtsfehler – in diesem Fall Lippen/Gaumenspalten bei Neugeborenen – sowie über Katarakte aufgeführt.

Nicht enthalten sind Befunde bei Uranbergarbeitern, deren Erkrankungen ebenfalls häufig auf die erhöhten Radonkonzentrationen in den Uranstollen zurückgeführt werden. Sie sind aber generell auch durch das Einatmen von Uranerzstaub exponiert, in dem sich sämtliche radioaktiven Folgeprodukte des Urans befinden, sowie durch die nicht unerhebliche Gammastrahlung aus dem Erz. Die Folgen können daher nicht in eindeutiger Weise auf einen einzigen radioaktiven Strahler zurückgeführt werden.

Tab. 8: Befunde über Erkrankungen durch Radium (außer Knochentumore) und Radon (außer Lungenkrebs)

Strahleninduzierte Erkrankung	Exponiertes Kollektiv	Referenz
Leukämie	Radium im Grundwasser, Florida Abraumhalde Uranerz (Radium) Morbus Hodgkin-Patienten, Therapie mit Ra-224 Radon in Häusern Frankreich Radon in Häusern Dänemark Radon in der Umgebung, international Radon in der Umgebung, Italien	Lyman 1985 Hoffmann 1993 Wick 2009 Viel 1993; Evrard 2006 Raaschou-Nielsen 2008 Henshaw 1990 Forastiere 1992
Nierenkrebs	Morbus Hodgkin-Patienten, Therapie mit Ra-224 Radon in der Umgebung, international Radon in der Umgebung, Italien	Nekolla 2010 Henshaw 1990 Forastiere 1992
Hautkrebs	Radon in der Umgebung, international Radon in der Umgebung, Italien	Henshaw 1990 Forastiere 1992
Weichteiltumore	Morbus Hodgkin-Patienten, Therapie mit Ra-224 Radon in der Umgebung, international	Nekolla 2010 Henshaw 1990
Krebs Reproduktionsorgane	Morbus Hodgkin-Patienten, Therapie mit Ra-224 Radon im Trinkwasser, Maine, USA	Nekolla 2010 Hess 1983
Blasenkrebs	Morbus Hodgkin-Patienten, Therapie mit Ra-224 Radium im Trinkwasser, Iowa	Nekolla 2010 Bean 1982
Brustkrebs	Morbus Hodgkin-Patienten, Therapie mit Ra-224	Spiess 2010; Nekolla 2010
Lungenkrebs	Radium im Trinkwasser, Iowa	Bean 1982
Prostatakrebs	Radon in der Umgebung, Großbritannien	Eatough 1990
Non Hodgkin-Lymphom	Beschäftigte in Radiumindustrie	Karunanayake 2008
Schilddrüsenkrebs Leberkrebs Pankreaskarzinom	Morbus Hodgkin-Patienten, Therapie mit Ra-224	Nekolla 2010
Magenkrebs Darmkrebs	Radon in Eisenerzstollen	Darby 1995
Knochenkrebs	Radon in der Umgebung, international	Henshaw 1990
Geburtsfehler	Radium im Trinkwasser, Texas	Cech 2007, 2008
Katarakte	Berufsmäßiger Umgang mit Radiumleuchtfarbe Morbus Hodgkin-Patienten, Therapie mit Ra-224	Adams 1983 Chmelevsky 1988

Radium bildet leicht wasserlösliche Verbindungen. In manchen Gegenden mit hohem Urangehalt in den Mineralien kann es daher in das Grundwasser und Trinkwasser gelangen und da auch sein Folgeprodukt Radon liefern.

Das Knochenmark als Entstehungsort für Leukämie hat für Radium nach Tabelle 2 den zweithöchsten Dosisfaktor nach den Knochen selbst. Auf den Fettgehalt des Knochenmarks und die hohe Fettlöslichkeit von Radon wurde in Kap.III.4 hingewiesen.

IV.4 STRAHLENBEDINGTE ERKRANKUNGEN AUßER KREBS

IV.4.1 GUTARTIGE TUMORE, INSBESONDERE HIRNTUMORE

Bei den erkrankten Soldaten und Beschäftigten des Radarbereichs sind Tumore des Zentralnervensystems (ZNS) aufgefallen. Dieses besteht aus dem Gehirn und dem Rückenmark. Es enthält in der grauen und weißen Substanz Nervenzellen und Nervenfasern. Die Nervenzellen teilen sich beim Erwachsenen nicht mehr, die zu beobachtenden Tumore des ZNS gehen daher ausschließlich von den Hüll- und Stützgeweben der Nerven und den Häuten des Hirns und des Rückenmarks (Meningen) aus.

Die ZNS-Tumore treten vielfach in „gutartiger“ (benigner) Form auf, d.h. sie bilden keine Metastasen. Dennoch können sie natürlich auch dann verheerende oder sogar tödliche Folgen haben.

Von der Bundeswehr und ihren Gutachtern wurde bis in das Jahr 2010 behauptet, eine Verursachung gutartiger Tumore durch ionisierende Strahlung entspräche nicht der derzeit anerkannten „medizinisch-wissenschaftlichen Lehrmeinung“.

Diese irrije Auffassung beruht auf der Tatsache, dass die ICRP als Schadensmass ausschließlich den Krebstod des Individuums betrachtet (Kap.IV.2.3) und das historisch verbürgte Auftreten strahleninduzierter benigner Tumore vernachlässigt.

Die Tumorentstehung durch Bestrahlung auf zellulärer Ebene wird durch den Strahlenbiophysiker Kiefer, Mitglied der deutschen Strahlenschutzkommission von 1999 bis 2006, wie folgt geschildert: Die Hauptstadien sind „Initiation“ (= Induktion), „Promotion“ und „Progression“. Im ersten Stadium erfolgt aufgrund einer genetischen Veränderung eine „neoplastische Transformation“ einer einzigen Zelle. Im zweiten Schritt kommt es durch Ausfall von Gewebefaktoren, die die Zellteilung regulieren, zu einer unkontrollierten Zellwucherung, eben einem Tumor, der noch nicht maligne ist. Erst in der Phase der Progression setzt die Absiedelung von Tochtergeschwülsten (Metastasen) über Blut und Lymphbahnen in entfernte Gewebe ein (Kiefer 2007).

Diese Stufenschritttheorie entspricht der herrschenden strahlenbiologischen Lehrmeinung. Der international bekannte zeitgenössische Strahlenbiologe Eric J. Hall, schreibt in seinem Lehrbuch „Radiobiology for the Radiologist“ (3. Aufl. 1988) auf Seite 390: „There is a delay before the initially „transformed“ cell or cells start to divide and form a tumor, and there may be a further delay before the tumor assumes the „malignant“ characteristics of growth and spread. The processes of *initiation*, *promotion*, and *progression* take time.“ (Es besteht eine verzögernde Zeitspanne, bevor die anfänglich „transformierte“ Zelle beginnt oder die Zellen beginnen, sich zu teilen und einen Tumor zu bilden, und dann kann es eine weitere Verzögerung geben, bis der Tumor den „malignen“ Charakter des Wachstums und der Streuung annimmt.“)

Das bedeutet, dass der benigne Tumor als eine Vorstufe des malignen auftritt. Er kann aber auch als Endform der Zellvermehrung bestehen bleiben, wie zahlreiche empirische Befunde zeigen. Bereits in den Frühzeiten des Einsatzes von Röntgenstrahlen und Radium in der Medizin hatten sich gutartige Tumore infolge von Strahlentherapien bei Patienten gezeigt.

Die ICRP benötigte quantitative Angaben über den Zusammenhang zwischen Dosis und Wahrscheinlichkeit des Effektes, um den Schaden zu beziffern. Nur für den Krebstod konnte man ursprünglich Werte für das Strahlenrisiko ableiten, da die ersten Studien über Dosiswirkungszusammenhänge Mortalitätsstudien waren, d.h. sie beruhten auf den Angaben der Todesursachen im Totenschein. Benigne Tumore führen aber meistens nicht zum Tod.

Der ICRP war jedoch die Strahleninduzierbarkeit benigner Tumore ebenfalls bekannt. In ihrer Publikation Nr. 14 von 1969 heisst es im Abschnitt „Tumour Induction“ (Seite 14): “The distinction between benign tumours and malignant tumours (cancers and leukaemias) is convenient but not absolute.*.....The unqualified phrase „tumour induction“ will be taken to refer to induction of benign as well as malignant tumours.” (Die Unterscheidung zwischen gutartigen und bösartigen Tumoren (Krebs und Leukämien) ist möglich aber nicht absolut gegeben.*.....Die unbestimmte Bezeichnung „Tumorinduktion“ wird hier im Folgenden benutzt für gutartige als auch bösartige Tumoren.“) Im folgenden Text wird dann erklärt, dass die Tumorbildung bei niedriger Strahlendosis mit der Dosis zunimmt und einen Dosiswirkungsverlauf ohne Schwelle zeigt. Somit wird auch die Induktion benigner Tumore als stochastischer Schaden aufgefasst.

In den folgenden Jahrzehnten stützte sich die Anpassung der Grenzwerte ausschließlich auf neue Erkenntnisse über maligne Tumore nach Bestrahlung und benigne Tumore in den diesbezüglichen Empfehlungen der ICRP wurden nicht mehr erwähnt, da deren Auswirkungen im Vergleich zum Krebstod vernachlässigbar erschienen. Hinzu kommt, dass bis heute die Überlebenden der Atombombenabwürfe von 1945 auf Hiroshima und Nagasaki von der ICRP als das entscheidende Referenzkollektiv für Strahlenschäden beim Menschen benutzt werden. Die Daten werden von einem japanisch-amerikanischen Forschungsinstitut in Hiroshima erhoben (Radiation Effects Research Foundation). Dieses hat seit 1950 zunächst über Jahrzehnte hinweg nur Mortalitätsdaten in Abhängigkeit von der Dosis geliefert, in denen benigne Tumore nicht erscheinen. Umso bedeutungsvoller ist, dass seit etlichen Jahren auch von dort Befunde über strahleninduzierte benigne Tumore publiziert werden, siehe unten.

Es gibt zwei andere international besetzte Gremien, die sich regelmäßig zum Strahlenrisiko äußern und deren Erhebungen international Beachtung finden. Das eine ist das Strahlenschutzkomitee der Vereinten Nationen UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations) und das zweite das BEIR¹⁰-Komitee der U.S.-amerikanischen Academy of Sciences. Diese haben gelegentlich auch über Befunde berichtet, die ab den 70-er Jahren an menschlichen Kollektiven über strahleninduzierte benigne Tumore vorlagen.

Sie haben sich aber bezüglich der Folgenabschätzung von zivilisatorischen Strahlenexpositionen dem Bewertungskonzept der ICRP angeschlossen und ausschließlich den Krebstod als den entscheidenden somatischen – d.h. bei dem Exponierten selbst auftretenden - Effekt betrachtet.

Im letzten Bericht des BEIR-Komitees von 2006 werden jedoch in einem Kapitel „Benign Neoplasms“ mehrere große Studien ab 1992 zitiert, u.a. die Ergebnisse über Tumore des Zentralnervensystems bei den japanischen Atombombenüberlebenden. In einer Zusammenfassung für die Öffentlichkeit heisst es dazu (BEIR VII): „*Radiation exposure has also been shown to increase risks of some benign tumors, but data are inadequate to quantify this risk.*“ Vom BEIR-Komitee ist somit im Jahr 2006 der Tatbestand der Strahleninduzierbarkeit benigner Tumore bestätigt worden.

Von den japanischen Atombombenüberlebenden sind diesbezügliche Dosiswirkungszusammenhänge seit 1991 publiziert worden (Takeichi 1991, Land 1996, Yonehara 2004, Inai

¹⁰ Biological Effects of Ionising Radiation

2006). Von besonderem Interesse sind natürlich wegen ihres Schweregrades die Tumore des ZNS. Da diese normalerweise nur selten auftreten, sind sie auch als Strahlenfolge selten. Die Latenzzeiten – d.h. die Zeiten zwischen Exposition und Diagnose des Tumors – sind lang, sie können mehrere Jahrzehnte betragen. Durch das genannte Hiroshima-Institut wurde ihr Vorkommen erst ab 1958 – also 13 Jahre nach der Exposition – in 80000 Überlebenden untersucht (Preston 2002). Es zeigten sich erhöhte Raten für die ZNS-Tumore insgesamt und für die gutartigen Tumorgruppen Meningiome und Neurinome. Die Dosiswirkungsbeziehungen ergaben sich als linear und die Autoren weisen darauf hin, dass signifikante Effekte bei niedrigen Dosen unterhalb von 1 Sv auftreten. Daraus folgt, dass auch die gutartigen Tumore als stochastische Effekte angesehen werden. Von 193 histologisch abgeklärten ZNS-Tumoren waren 128 benigne, also 66 % (Yonehara 2004). 23 (12 %) von allen Tumoren waren spinal, d.h. in der Wirbelsäule gelegen.

In Tabelle 9 sind quantitative Angaben aus der Literatur über Dosiswirkungszusammenhänge bei benignen ZNS-Tumoren eingetragen.

Tab. 9: Dosiswirkungsangaben für benigne ZNS-Tumore

Studie	Mittlere Beobachtungszeit	Induzierte Tumorart	Mittlere Organ-Dosis	Rel. Risiko pro Sv	Abs.Risiko $10^{-4} \text{a}^{-1} \text{Sv}^{-1}$	Referenz
Japan. Atombombenüberlebende	24,8 J.	Meningiome Neurinome	circa 0,2 Sv	1,6 ns* 5,5		Preston 2002 (Tabelle 4)
Röntgentherapie bei Tinea capitis Alter b. Exp. < 16 J.	40 J. 26,4 J.	Meningiome Neurinome	1,5 Sv	5,63 12,5	0,48	Sadetzki 2005 Ron 1988
Röntgentherapie bei Tinea capitis Alter b. Exp. ≤ 20 J.	39 J.	Meningiome +Neurinome	1,4 Sv	5,7		Shore 2003
Strahlentherapie Hämangiom, Alter bei Exp. 0,1-4 J.	34,9 J.	Meningiome Neurinome	70 mSv		2.92 1,31	Karlsson 1998

*) ns nicht signifikant

Weitere Befunde über strahleninduzierte benigne Tumore, und zwar nach Strahlentherapie, sind in Tabelle 10 aufgeführt. Die Daten entstammen Zusammenstellungen aus (Schmitz-Feuerhake 2009, 2010).

IV.4.2 KATARAKTE (GRAUER STAR)

Linsentrübungen als Folge einer Exposition durch ionisierende Strahlung sind ein altbekannter Strahlenschaden. In der älteren Literatur werden diese als deterministische Effekte geführt. Auch die Radarkommission hat in ihrem Bericht von 2003 noch diese Auffassung vertreten. Als Mindestdosis für deterministische Effekte nennt sie 100 mSv Organdosis.

Nach Erfahrungen in radioaktiv kontaminierten Gegenden wie nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl 1986, wo sie schon bei Kindern und Jugendlichen auffällig wurden, werden Katarakte auch durch chronische Niederdosisbestrahlung erzeugt. Worgul und Mitarbeiter haben daher bereits 1996 vorgeschlagen, Katarakte als stochastischen Schaden anzusehen. Diese Auffassung wird durch neuere Übersichtsarbeiten bestätigt (Ainsbury 2009, Shore 2010).

Bei den japanischen Atombombenüberlebenden stellen sich die Dosiswirkungskurven ebenfalls als vereinbar mit einem Verlauf ohne Schwelle dar. Als absolutes Risiko pro Jahr wird für sie ein Wert von $8 \cdot 10^{-4} \text{Sv}^{-1} \text{a}^{-1}$ abgeleitet (Yamada 2004).

Tab. 10: Benigne Tumore als Spätschaden nach Strahlentherapie gutartiger und bösartiger Erkrankungen

Bestrahlungsgrund Primärerkrankung	Größe der Kohorte	Zeitraum Therapie	Alter bei Exposition	Beobachtungs- zeitraum	Mittlere Organdosis	Befunde benigne Tumore	Bemerkungen	Referenz
Thymus- Vergrößerung	2870	1926-1951	im allg. <1 J.	ca. 25 J.	1,2 Sv*	Schilddrüse* Nebenschilddrüse Knochen, Gonaden ZNS, Brust, Haut Speicheldrüsen	2,6 mal mehr benigne als maligne Tumore	Hempelmann 1975
Tinea capitis	11000	1948-1960	Kinder und Ju- gendliche	Mittel 40 J.	1,5 Sv 780 mSv 90 mSv	Meningiome Speicheldrüse Schilddrüse		Modan 1974 Modan 1998 Sadetzky 2005
Tinea capitis	2200	1940-1959	Mittel 7,8 J.	Mittel 39 J.	1,4 Sv 60 mSv	Hirntumore Schilddrüse		Shore 2003
Hämangiome der Haut	12000 28000	1930-1965 1920-1965	0,1 bis 20 J. Mittel 0,5 J.	Mittel 34 J. "	70 mSv 200 mSv	Meningiome Nebenschilddrüse		Karlsson 1997 Holmberg 2002
Hals-Kopfbereich oberer Brustkorb	3250	1938-1960	Mittel 3,5 J.	ca. 25 J.	7,9 Sv	Schilddrüse, Haut Speicheldrüsen ZNS, Brust, diverse	2,3 mal mehr benigne als maligne T.	Colman 1978
Hals-Kopfbereich	2945	1939-1962	<16 J.	1974-1993	4,2 Sv	Speicheldrüsen	3 mal mehr benigne	Schneider 1989
Akne	408 Fälle	1929-1975	Mittel 17 J.	1976-1984		Speicheldrüsen	Fall-Kontroll Studie	Presfon-Martin 1989
Hals-Kopfbereich	269 Fälle		Erwachsene	1976-1984		Ohrspeicheldrüse	Fall-Kontroll Studie	Pogoda 1996
Morbus Hodgkin	1380	1955-1986	Mittel 11,7 J.	Mittel 17 J.		Schilddrüse, Brust Knochen, diverse	40 benigne/ 171 maligne	Bhatia 2003
Akute lymphatische Leu- kämie	1612	1967-1988	≤ 18 J.	Mittel 15,9 J.	ca 24 Sv	Hirntumore	12 benigne/ 10 ma- ligne	Walter 1998
Krebs im Kindesalter	4200		Mittel 6,0 J.	Mittel 15 J.	6,2 Sv	Hirntumore	benigne hö-heres Risiko	Littlé 1998
Krebs im Kindesalter	14400	1970-1986	≤ 20 J.		12-55 Sv	ZNS	mehr benigne als maligne	Neglia 2006
Arthrose und Wirbelent- zündung	8144	1950-1964	Mittel 48,9 J.	Mittel 26 J.	1 Sv	Nebenschilddrüse		Rasmussen 2002
Hypophysen-adenome	426	1962-1994	15-78 J.	Mittel 12 J.	einige 10 Sv	Hirntumore	6 benigne/ 5 maligne	Minniti 2004

IV.4.3 WEITERE ERKRANKUNGEN AUßER TUMORE

Uns ist bekannt, dass zahlreiche Soldaten und andere Beschäftigte unter Gesundheitsschäden leiden, die sie auf ihre Tätigkeit an Radaranlagen zurückführen, und die nicht zu der Gruppe der Tumorerkrankungen gehören. Auch David hat in seiner Aufstellung von Radarpatienten für das Bundesministerium für Verteidigung 30 % Fälle von Nicht-Tumorerkrankungen erfasst.

Nach dem Tschernobylunfall 1986 wurde ein Anstieg zahlreicher Nicht-Tumor-Erkrankungen beobachtet, die offensichtlich als Folge der chronischen Radioaktivitätsbelastung in den Anrainerstaaten aufgetreten sind. Diese Effekte wurden bislang von der ICRP nicht zur Kenntnis genommen, wohl aber die Tatsache, dass auch in ihrem bevorzugten Referenzkollektiv, den japanischen Atombombenüberlebenden, in neuerer Zeit einige strahlenbedingte Krankheitsformen außer Krebs festgestellt wurden (Preston 2003, Shimizu 2010). Diese betreffen vornehmlich Kreislaufleiden, Erkrankungen des Magen/Darm-Trakts und des Atemtrakts. Da sie es aber nicht für gesichert hält, dass diese Erkrankungen auch unterhalb von 0,5 Sv auftreten, hält sie es vorläufig nicht für zulässig, diese Ergebnisse in ihre Risikoberechnungen einzubeziehen (ICRP 2007).

Ähnlich argumentieren auch die Strahlenkomitees der UNSCEAR (2008) und BEIR (2006). Es ist daher nicht verwunderlich, dass die Radarkommission 2003 keine Veranlassung sah, nicht-karzinogene Erkrankungen durch ionisierende Strahlung zu bedenken.

Über die wissenschaftlichen Ergebnisse an Tschernobylexponierten haben Autoren der IPPNW¹¹ Deutschland und der Gesellschaft für Strahlenschutz e.V. eine Metaanalyse vorgelegt (Pflugbeil 2006). Bei ihnen wurden Anstiege in folgenden Krankheitsgruppen registriert:

- Endokrines System
- Psychische Störungen
- Nervensystem
- Kreislaufsystem
- Verdauungsorgane
- Haut- und Unterhautgewebe
- Knochen-Muskel-System.

Viele der Krankheitserscheinungen werden als Folge des Immunsystems angesehen. Diese galt schon früher als strahlenempfindlich, allerdings nur bei hoher Dosis.

Eine Zusammenstellung von weiteren Befunden über strahlenbedingte Nicht-Krebserkrankungen, die von der BzUR-Arbeitsgruppe erarbeitet wurde, befindet sich im Anhang A.

IV.4.4 SCHÄDEN BEI DEN NACHKOMMEN

IV.4.4.1 Die derzeitige offizielle Einschätzung des genetischen Strahlenrisikos

Eine der bedeutendsten medizinischen Entdeckungen in den 30-er Jahren war, dass Röntgenstrahlen Mutationen erzeugen, d.h. wenn männliche und/oder weibliche Keimzellen bestrahlt werden, weisen die Nachkommen Krankheiten oder Missbildungen auf, die sich ihrerseits weiter vererben. Dies wurde allerdings von dem späteren Nobelpreisträger Herman J. Muller zunächst an der Taupflanze studiert.

¹¹ International Physicians for the Prevention of Nuclear War

Nach Angaben von Genetikern muss man aufgrund von Befunden aus Tierversuchen und Beobachtungen am Menschen grundsätzlich folgende Arten von Erbschäden nach Bestrahlung erwarten (Vorobtsova 1989, Friedler 1996):

- 1) Schwerwiegende Entwicklungsstörungen (Absterben der Frucht, Totgeburt, frühkindliche Sterblichkeit, Fehlbildungen, chromosomale und genomische Erbkrankheiten, Unfruchtbarkeit)
- 2) Krebserkrankungen im Kindes- und Erwachsenenalter
- 3) Degenerationserscheinungen, die sich in Form von verminderter Widerstandskraft und Fitness zeigen

Die ICRP hat ihre Risikoschätzungen für genetische Effekte gegenüber ihrer früheren Empfehlung von 1,3 auf 0,2 % pro Sv gesenkt (ICRP 2007). Analog zur Risikoangabe über Krebserkrankungen bedeutet dieses, dass bei der Bestrahlung einer Bevölkerung mit 1 Sv zusätzliche 0,2 % an Erbkrankheiten im Vergleich zum Spontanvorkommen in der 1. Generation danach ausgelöst werden.

Sie sieht keinen direkten wissenschaftlichen Nachweis dafür vorliegen, dass Kinder von bestrahlten Eltern Erbkrankheiten haben. Wegen der Evidenzen in Tierversuchen hält sie es aber für notwendig, ein reales Risiko anzunehmen. Sie entwickelt ihre Abschätzung analog zu Vorgaben von UNSCEAR (2001) und des BEIR-Komitees (2006) anhand von dominanten Effekten bei Mäusen in der ersten Generation.

Die Schätzung im UNSCEAR-Report 2001 ergab 0,3-0,5 % pro Sv. Dies soll einer Verdopplungsdosis¹² von – aufgerundet – 1 Sv entsprechen. Diese ist dann nach ICRP mit 2 Sv anzusetzen. Sie gilt wiederum nur für dominante Erbschäden und die Folgen in der 1. Generation. Rezessive Mutationen und polygenisch beeinflusste Schädigungen werden nicht berücksichtigt.

Die Komitees sehen sich in ihrer niedrigen Einschätzung des genetischen Risikos dadurch bestätigt, dass bei den japanischen Atombombenüberlebenden keine signifikant erhöhten Erbschäden bei den Kindern gefunden wurden. Bei ihnen wurden zunächst folgende Effekte untersucht (Neel 1990): Geburtsfehler (Totgeburten, Säuglingssterblichkeit, Fehlbildungen), Kindersterblichkeit außer Krebs, Krebserkrankungen, strukturelle Chromosomenveränderungen, Vermehrung von Geschlechtschromosomen, Proteinmutationen als Indikator für rezessive Erbschäden, Geschlechtsverhältnis der Geburten, Wachstums- und Entwicklungsstörungen. Nur bei den ersten beiden ergaben sich (nicht signifikante) Erhöhungen in der exponierten Gruppe.

Anhand der Befunde haben die Autoren aus Hiroshima eine Verdopplungsdosis bestimmt, die ihrer Meinung nach überschritten werden müsste, um genetische Folgen real nachzuweisen. Sie liegt bei 1,7 bis 2,2 Sv für akute (einmalige) Bestrahlung und 3,4 bis 4,5 Sv für chronische Bestrahlung. In neuerer Zeit wurden die Nachkommen auf Krankheiten untersucht, die in Folge von multifaktoriellen genetischen Veränderungen erwartet werden können wie Hochdruck, Diabetes, Hypercholesterinämie, Durchblutungsstörungen im Herzen, Schlaganfall. Es ergaben sich keine Anzeichen für einen Strahleneffekt (Fujiwara 2008).

Im Gegensatz dazu stehen Befunde aus dem Berufsmilieu sowie durch Röntgendiagnostik. Zudem gibt es ein großes Spektrum von genetischen Schäden, die nach dem Tschernobylunfall beobachtet wurden.

Kritiker haben immer wieder darauf hingewiesen, dass die Datenerhebung in Hiroshima und Nagasaki in Bezug auf die Nachkommen der Bestrahlten besonders unzuverlässig war, weil

¹² Die Verdopplungsdosis ist diejenige Dosis, die genau so viel Effekt erzeugt wie der Spontanrate entspricht.

letztere eine gesellschaftlich ausgestoßene und geächtete Population darstellten. Um die Heiratschancen ihrer Kinder nicht zu gefährden, wurde ihre Herkunft möglichst verschwiegen und die potentiellen Schädigungen wurden von den Eltern nicht angegeben (Yamasaki 1990).

IV.4.4.2 Befunde über genetisch bedingte Entwicklungsstörungen

Sever und Mitarbeiter publizierten 1988 die Ergebnisse einer Fall-Kontroll-Studie über Fehlbildungen bei Kindern von Beschäftigten in der Nuklearindustrie (Hanford im Staat Washington). Die Rate der Neuralrohrdefekte wie Offener Rücken und Missbildungen des Gehirns war signifikant um das Doppelte erhöht. Es bestand ein Zusammenhang der Rate mit der Höhe der elterlichen Dosis, die nur in wenigen Fällen 100 mSv überschritt. Neuralrohrdefekte sind ebenfalls bei den Kindern von Frauen vermehrt aufgetreten, die im Säuglingsalter eine Röntgentherapie wegen Blutschwamm erhalten hatten (Källén 1998). Die mittlere Dosis der Eierstöcke wurde zu 60 mSv ermittelt.

Neuralrohrdefekte waren nach dem Tschernobylunfall auffällig in besonders kontaminierten Gebieten der Türkei (Akar 1988, Caglayan 1990, Mocan 1990). Da ihre Häufigkeit danach wieder abfiel, wurden sie zunächst als Folge einer Exposition im Mutterleib interpretiert. Es zeigte sich aber ein weiterer Effekt über 9 Monate nach dem Unfall hinaus, so dass für diese Fälle nur eine Zeugung durch bestrahlte Eltern in Frage kommt (Güvenc 1993). Der spätere Rückgang der Schäden kann darauf beruhen, dass beim Mann die Keimzellen in der kurzen Zeitspanne von etwa 90 Tagen vor Konzeption besonders strahlenempfindlich sind.

Überhaupt liegen zahlreiche Untersuchungsergebnisse aus den betroffenen und Anrainerländern von Tschernobyl sowie weiter entfernten Ländern Europas vor, die Fehlbildungen und perinatale Sterblichkeit in Folge des Unfalls nachweisen, ohne dass immer eine klare Trennung möglich ist in solche, die durch Exposition im Mutterleib entstanden sind, oder solche durch präkonzeptionelle Bestrahlung (Pflugbeil 2006; Yablokov 2006, 2007; Busby 2009).

Bei Kindern von Liquidatoren, d.h. von Personen, die Strahlenschutzmassnahmen am Reaktor direkt nach dem Unfall durchführten und dabei relativ hohe Dosen erhielten, wurden Fehlbildungen eindeutig als genetische Folge der väterlichen Bestrahlung festgestellt (Pflugbeil 2006).

IV.4.4.3 Befunde über Krebs bei Nachkommen bestrahlter Eltern

Im Jahr 1984 war eine sehr auffällige Erhöhung der Leukämieerkrankungen von Kindern und Jugendlichen bei der britischen Wiederaufarbeitungsanlage von Kernbrennstoffen Sellafield bekannt geworden. Diese war im Folgenden von Gardner und Mitarbeitern als genetischer Effekt gedeutet worden, da sich zeigte, dass die betroffenen Patienten Väter hatten, die in der Anlage gearbeitet hatten (Gardner 1990). Das Ergebnis ist über Jahre in zahlreichen Abhandlungen diskutiert und vielen Folgestudien bestätigt oder auch angeblich widerlegt worden. Dabei waren derartige Effekte prinzipiell aus Tierversuchen bekannt und bereits nach beruflicher Exposition und diagnostischem Röntgen gefunden worden (Tabelle 11).

Aus den Untersuchungen über Krebserkrankungen bei Kindern, deren Väter oder Mütter eine diagnostische Röntgenbestrahlung der Keimdrüsen vor der Zeugung erfahren hatten, sind sehr viel geringere Verdopplungsdosen als von der ICRP angenommen ableitbar.

Von besonderem Interesse sind in unserem Zusammenhang die Befunde nach berufsmäßiger chronischer Exposition. McKinney und Mitarbeiter fanden dreifach erhöhte Raten von Leukämie und Lymphomen bei beruflich strahlenexponierten Männern aus drei britischen Regio-

nen in einer Fall-Kontrollstudie (1991). Das Ergebnis von Hicks und Mitarbeitern (1984) bezieht sich auf exponierte Soldaten bei der Luftwaffe.

Tab. 11: Strahleninduzierte Krebserkrankungen im Kindesalter nach präkonzeptioneller beruflicher oder diagnostischer Niederdosisbestrahlung

Bestrahtetes Kollektiv	Krankheit	Gonaden-dosis mSv	Relatives Risiko
Sellafield			
Seascale Väter (Gardner 1990)	Leukämie+Lymphome	200	7
alle Stadien der Spermatogenese	“	10	7
6 Monate vor Konzeption	“		1,9
Sellafield Arbeiter (Dickinson 2002)			
Berufliche Exposition			
Väter W.Cumbria (McKinney 1991)	Leukämie+Lymphome		3,1
Exposition beim Militär (Hicks 1984)	Krebs		2,7
Präkonzeptionelle Röntgendiagnostik			
Väter (Graham 1966)	Leukämie		1,3
Väter (Shu 1988)	Leukämie	3-30	1,4-3,9
Väter (Shu 1994)	Leukämie		3,8
Mütter (Stewart 1958)	Leukämie		1,7
Mütter (Graham 1966)	Leukämie		1,7
Mütter (Natarajan 1973)	Leukämie		1,4
Mütter (Shiono 1980)	Krebs		2,6

Statistische Erhebungen in Weißrussland und anderen hoch kontaminierten Regionen in den Anrainerstaaten von Tschernobyl haben Anstiege der Krebsmortalität bei Kindern ergeben, die Jahre nach dem Unfall geboren wurden (Pflugbeil 2006; Yablokov 2006, 2007).

Kinder von Liquidatoren litten ebenfalls vermehrt an Leukämie und anderen Krebserkrankungen (Pflugbeil 2006).

IV.4.4.4 Schlussfolgerungen zum Erkenntnisstand über das genetische Risiko

Die Reduzierung der Risikoeinschätzung der ICRP auf dominante Effekte bedeutet, dass sie rezessive und polygenisch bedingte Erbkrankheiten demgegenüber quantitativ als vernachlässigbar ansieht. Die Einschränkung auf die Betrachtung nur der ersten Generation ist sicherlich problematisch in ihrer Gewichtung gegenüber Krebserkrankungen der Bestrahlten selbst, weil Erbschäden, sofern sie nicht mit früher Sterblichkeit oder Unfruchtbarkeit einhergehen, eben in die nachfolgenden Generationen weitervererbt werden.

Die Nichtbeachtung von geringen Schädigungen einzelner Gene, die aber in ihrer Gesamtheit erhebliche Beeinträchtigungen der Gesundheit zur Folge haben können, muss man angesichts der Beobachtungen an den Nachkommen der Tschernobylexponierten als zu optimistisch ansehen. Bei den Kindern der Liquidatoren wurden nicht nur die klassischen genetischen Effekte wie Fehlbildungen und Krebs nachgewiesen sondern auch andere Erkrankungen wie endokrinologische und metabolische Erkrankungen sowie psychische Störungen (Pflugbeil 2006; Yablokov 2007).

ICRP und die anderen genannten Strahlenkomitees begründen die bisher geübte Leugnung anderer Erkrankungen als Schilddrüsenkrebs durch den Tschernobylfallout damit, dass die

notwendige Dosis zur Erreichung statistisch nachweisbarer Schäden nicht erreicht worden sei. Solche Befunde müssten daher andere – nicht genau bekannte – Ursachen haben.

Bei der Dosisbestimmung beruft man sich auf Abschätzungen von UNSCEAR (1988). Die dort gemachten Annahmen über die Verbreitung der Radionuklide führt zu sehr kleinen Mittelwerten. Außer für die Schilddrüse sollen die hauptsächlichen Beiträge durch die Cäsiumisotope 137 und 134 erzeugt worden sein. Dosisrelevante Nuklide wie Strontium-90 und Plutonium-239 sollen in größeren Entfernungen als 100 km vom Unfallort so gut wie keine Rolle gespielt haben. Selbst für die hochkontaminierten Regionen außerhalb der Evakuierungszone ergab sich danach nur eine mittlere effektive Dosis von etwa 10 mSv. Für das Nachbarland Türkei und die weiter entfernt liegenden mitteleuropäischen Länder bleiben die Dosisangaben unter 1,2 mSv (effektive Dosis).

Es lässt sich leicht nachweisen, dass die Dosisangaben von UNSCEAR stark unterschätzt sind. Verschiedene Forschungsgruppen untersuchten strahlenspezifische zytogenetische Veränderungen in den Lymphozyten von Personen aus den kontaminierten Gegenden direkt nach dem Unfall oder einige Jahre später, die eine „Biologische Dosimetrie“ darstellen. In der Mehrheit der Untersuchungen waren Chromosomenaberrationen erheblich zahlreicher – und zwar um bis zu 1 bis 3 Größenordnungen – als anhand der physikalischen Dosisabschätzungen erwartet werden konnte (Pflugbeil 2006; Busby 2009). Des Weiteren wird in etlichen Studien über das Auftreten multiaberranter Zellen berichtet. Dies weist auf einen bedeutsamen Beitrag von inkorporierter Alphastrahlung hin und spricht dafür, dass die Dosisbeiträge von emittiertem Kernbrennstoff und seinen Bestrahlungsprodukten bei der physikalischen Dosisberechnung nicht vernachlässigt werden dürfen (Schmitz-Feuerhake 2006b).

Die Ergebnisse an den Kindern der Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki sind auf den Fall inkorporierten Radiums oder niederenergetischer Röntgenstrahlung nicht nur wegen der wahrscheinlich unvollständigen Erfassung nicht direkt übertragbar, sondern auch wegen der wesentlich höheren Energie der Strahlung. Die Atombombenstrahlung war eine sehr hochenergetische Gammastrahlung mit einer mittleren Energie von etwa 3 MeV. Eine solche Strahlung ist strahlenbiologisch als deutlich weniger wirksam einzuschätzen als eine niederenergetische Röntgenstrahlung (Straume 1995).

Zudem sind die erfassten Merkmale in der 1. Generation sicherlich nicht vollständig (Neel 1990; Fujiwara 2008), da bis heute das gesamte Spektrum mutationsbedingter Schädigungen nicht bekannt ist. Diskutiert werden in neuerer Zeit die Auswirkungen zweier Strahleneffekte, die erst vor einigen Jahren entdeckt und auf zellulärer Ebene inzwischen vielfach bestätigt wurden. Es handelt sich um den „Bystander“-Effekt und die „Genomische Instabilität“ (Averbeck 2010; Baverstock 2010). Während früher davon ausgegangen wurde, dass die stochastischen Effekte durch ionisierende Strahlung Folge einer direkten Wechselwirkung eines Strahlenquants mit dem Erbmaterial einer getroffenen Zelle sind, zeigt der Bystander-Effekt eine mutagene Wirkung in einer von dem „Einschlag“ entfernten Zelle. Genomische Instabilität bedeutet, dass sich Strahlenwirkungen nicht in der unmittelbaren Tochterzelle der bestrahlten zeigen, wohl aber in einer späteren Generation der Zellteilung.

Chromosomenveränderungen wurden bei Kindern von Liquidatoren und durch den Tschernobylfallout exponierten Eltern nachgewiesen und als Genomische Instabilität gedeutet (Pflugbeil 2006; Weinberg 2001; Yablokov 2007; Agadzhanian 2010). Die Beachtung solcher Phänomene bei der Bewertung des genetischen Risikos und ihre weitere Erforschung erscheint daher dringend geboten.

IV.5 KOMBINATIONSWIRKUNGEN VON IONISIERENDER UND HF-STRAHLUNG

Radarstrahlen sind eine elektromagnetische Wellenstrahlung von hoher Frequenz (Mikrowellen), die energetisch unterhalb von ionisierender Strahlung liegen, so dass lange Zeit angenommen wurde, dass sie nicht zu Zellmutationen und daher auch nicht zu Tumorbildungen führen können.

In der Wissenschaft gibt es darüber seit den 90-er Jahren eine Diskussion, nachdem verschiedene Befunde am Menschen Hinweise auf eine kanzerogene Wirkung von nicht-ionisierenden elektromagnetischen Wellen – im Bericht der Radarkommission als EMF (elektromagnetische Felder) bezeichnet - gegeben hatten. Insbesondere verstärkten sich die Besorgnisse über mögliche Wirkungen, nachdem Hardell und Mitarbeiter 2001 einen Zusammenhang zwischen dem Gebrauch von Mobiltelefonen und dem Auftreten von Hirntumoren gefunden hatten. Die Frequenzen des Mobilfunks liegen ebenfalls im Bereich der Mikrowellen. Die Radarkommission nimmt in ihrem Bericht von 2003 eine Bewertung der bis dahin vorliegenden Untersuchungen vor. Sie diskutiert u.a. Studien, die eine Erhöhung von malignen ZNS-Tumoren durch EMF angeben und auch von benignen Hirntumoren durch Mobiltelefone. Sie zweifelt diese Befunde nicht grundsätzlich an, hält sie jedoch offensichtlich nicht für ausreichend bestätigt oder aus methodischen Gründen belastbar, da ihre Empfehlung zu Hochfrequenzstrahlung 9.3.3 lautet: "Als Qualifizierende Krankheit sind nur Katarakte anzusehen".

Im Jahr 2009 veröffentlichten Degraeve und Mitarbeiter die Ergebnisse einer Mortalitätsstudie an belgischen Berufssoldaten, die zwischen 1963 und 1994 zum Personal von 2 HAWK-Flugabwehrsystemen in Nordrhein-Westfalen gehörten (Degraeve 2009). Es handelte sich um 4417 Männer, die dort im Mittel für 6,1 Jahre an den Radaranlagen beschäftigt waren.

Als Kontrolle wurden belgische Berufssoldaten eingesetzt, die im gleichen Zeitraum in Deutschland arbeiteten und nicht strahlenexponiert waren. Erkrankungen in dem Untersuchungskollektiv wurden nur von den bereits Verstorbenen erhoben. Man verwendete dazu die amtliche belgische Sterbestatistik und verschickte Fragebögen an Verwandte von Verstorbenen. Trotz dieser Einschränkung ergaben sich signifikante Erhöhungen für Tumorerkrankungen insgesamt und speziell für Leukämien und Lymphome.

Leukämien haben im Unterschied zu den meisten anderen strahlenbedingten Tumorerkrankungen relativ kurze Latenzzeiten und führen beim Erwachsenen mit hoher Wahrscheinlichkeit zum Tod. Trotz der Seltenheit der Erkrankungen in der normalen Bevölkerung und der geringen Größe des untersuchten belgischen Kollektivs wurde bei den Radarsoldaten eine hohe Todesrate an Leukämien und Lymphomen gefunden - um den Faktor 7,22 erhöht gegenüber der Kontrollgruppe. Der statistische Vertrauensbereich dieses Ergebnisses war allerdings ebenfalls groß, er reichte von 1,09 bis 47,9. Als mögliche Dosis an ionisierender Strahlung wurde 15 mSv pro Jahr genannt. (Die Dosisabschätzung entstammt dem Bericht des Arbeitsstabes Dr. Sommer für die Bundeswehr von 2001.)

Wegen der relativ geringen Größe des Kollektivs, einer mittleren Beobachtungszeit von nur 27 Jahren nach Exposition und der Beschränkung auf Todesursachen, durch die alle therapierbaren Tumorerkrankungen nicht erfasst werden, kann es nicht verwundern, dass für andere Tumore keine signifikanten Ergebnisse erhalten werden. Bei Augen- und ZNS-Tumoren zeigten sich immerhin 8 Fälle gegenüber 2 in der Kontrolle und damit eine Erhöhung um den Faktor 2,7 (Tabelle IV der Studie). 5 der 8 Fälle waren Hirntumore, davon einer ein (benignes) Meningeom.

Die Autoren diskutieren, ob die ionisierende Strahlung ausschlaggebend war oder die Radarstrahlung. Letztere wird so eingeschätzt, dass es in der ersten Zeit bis Ende der 70-er Jahre zu hohen Mikrowellenbelastungen gekommen sein kann, die die empfohlenen Grenzwerte überschritten.

Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass sich derzeit nicht klären lässt, welche Strahlenart für den Leukämieeffekt ursächlich war. Sie weisen aber darauf hin, dass die Exposition durch ionisierende Strahlung nach dem Dr. Sommer-Bericht und niederländischen Untersuchungen eigentlich als gering angesehen werden muss. Demgegenüber waren 4 der Personen mit Leukämie/Lymphomen als Ingenieure mit der Instandhaltung der Radargeräte betraut gewesen und mehr mit den Radaremissionen in Kontakt gekommen als die meisten anderen der Untersuchungsgruppe. Außerdem waren sie in dem Zeitraum vor Ende der 70-er Jahre dort beschäftigt, bevor technischen Verbesserungen an den Radargeräten vorgenommen wurden, die auch verbesserte Abschirmung der Radarstrahlung beinhalten.

Mögliche radioaktive Bestrahlungen durch Leuchtfarben werden in der belgischen Studie nicht betrachtet.

Die Befunde wurden in der Zeitschrift der Internationalen Vereinigung gegen Krebs UICC veröffentlicht. In einem Brief an den Herausgeber von 2010 wird die Frage der Strahlenart erneut aufgeworfen (Telle-Lamberton 2009). Eine Mitarbeiterin des Instituts für Strahlenschutz des französischen Amtes für Nukleare Sicherheit stellt fest, dass ein so hoher Leukämieeffekt wie beobachtet bei so niedrigen Dosen durch ionisierende Strahlung im Widerspruch steht zu den Befunden an anderen beruflich strahlenexponierten Kollektiven ohne Radar, und dass die Verursachung allein durch erstere daher nicht plausibel ist.

Die Autoren der belgischen Studie antworten daraufhin, dass die untere Grenze des Vertrauensbereichs für die Leukämieerhöhung so niedrig liegt, dass es sich mit den Ergebnissen aus anderen Kollektiven überlappt und daher kein Widerspruch vorliegt. Sie fügen aber ein weiteres Argument dafür an, dass die ionisierende Strahlung nicht hauptverantwortlich ist: wenn letztere die Leukämierate beeinflusst hätte, müsste sich der Effekt auf diejenigen Personen beschränken, die (wegen der geringen Reichweite der Röntgenstrahlung) in der unmittelbaren Nähe der Radarstrahlungserzeugerröhren gewirkt haben. Dies sei aber nicht der Fall gewesen (Degrave 2010).

Die Leserbriefschreiberin macht geltend, dass die belgische Studie bereits die dritte sei, die eine ungewöhnlich hohe Erhöhung von Leukämie/Lymphomen bei Radarsoldaten gefunden habe, die durch ionisierende Strahlung allein nicht zu erklären sei.

Bei den weiteren Befunden aus den letzten Jahren, die in dieser Frage zu berücksichtigen sind, handelt es sich um Ergebnisse der Gruppe Hardell über den Zusammenhang zwischen Mobilfunk und Tumorerkrankungen von 2009 und 2010. Dabei muss beachtet werden, dass die Strahlungsleistung bei Benutzern von Mobiltelefonen für das Gehirn wesentlich geringer ist, als es an Radararbeitsplätzen möglich ist.

Hardell und Carlberg berichteten 2009 über die Ergebnisse von 2 Fall-Kontrollstudien, deren Ausgangskohorten Personen mit malignen und benignen Hirntumoren waren. Erhoben wurde der Gebrauch von Mobiltelefonen und schnurlosen Telefonen. Es ergaben sich je nach Alter bei Exposition und langjährigem Gebrauch erhöhte Risiken für Astrozytome (maligne) bis zum 5,2-fachen und für Akustikusneurinome (benigner Tumor im Kleinhirnbrückenwinkel) bis zum 3,0-fachen, und zwar jeweils auf der Seite des Kopfes gelegen, an der üblicherweise telefoniert wurde.

In einer Analyse von Daten aus mehreren vorangegangenen Fall-Kontrollstudien fanden Hardell u.a. (2009), dass sich die Rate der Hirntumoren bei Patienten nach langjähriger Benutzung von schnurlosen Telefonen signifikant erhöht hatte, sofern die Exposition mehr als 10 Jahre zurücklag. Das höchste Risiko – nahezu eine Verdopplung – ergab sich für Tumore auf der Hörerseite. Signifikant erhöht waren die Raten für die Tumortypen Gliome (maligne) und Akustikusneurinome, Meningeome waren nicht signifikant erhöht. Eine Metaanalyse von 11

epidemiologischen Langzeitstudien ergab für Mobiltelefonbenutzung ganz ähnliche Resultate (Khurana 2009).

Eine kürzlich vorgestellte Metaanalyse befasste sich mit 10 epidemiologischen Studien, die mögliche Effekte durch Mobilfunksender untersucht haben (Khurana 2010). Als Maß für die Höhe der Exposition wurde der Abstand des Wohnorts vom Sender betrachtet. In 8 von den Studien wurden signifikant erhöhte Raten von neurologischen Beschwerden oder Krebserkrankungen in der Bevölkerung gefunden, die in geringerem Abstand als 500 m lebte.

Nach dem heutigen Stand der Erkenntnis müssen daher die HF-Strahlungen oder Kombinationswirkungen zwischen EMF und ionisierender Strahlung bei den exponierten Radarsoldaten als Ursache für Tumorerkrankungen angenommen werden.

V NACHWEIS VON RADIUM MIT DEM GANZKÖRPERZÄHLER

Die Radarkommission hat darauf hingewiesen, dass im Falle des Verdachts auf Radiuminkorporation eine Messung im Ganzkörperzähler möglich ist. Allerdings hat sie hinzugefügt, dass diese Nachweismethode relativ unempfindlich ist.

Im Ganzkörperzähler kann nur die aus dem Körper nach außen dringende Gammastrahlung registriert werden, die bei Radium-226 eben nur von relativ geringer Intensität ist, weil messbare Energien nur durch die Folgeprodukte Blei-214 und Wismut-214 ausgesandt werden (Tabelle 1), die wiederum dadurch geschwächt sind, dass das gasförmige Mutternuklid Radon-222 den Körper zum Teil verlässt.

Das weitere Problem besteht darin, dass wie bereits erwähnt das Radium wieder aus dem Körper abgebaut wird und zwischen Inkorporation und Messung unter Umständen sehr viel Zeit vergangen ist.

Im früheren Kernforschungszentrum Karlsruhe – jetzt „Forschungszentrum Karlsruhe“ - steht ein Ganzkörperzähler zur Verfügung, der schon mehrfach bei Angehörigen der Bundeswehr zum Einsatz kam. Ausgewertet wird die Messung von Dr. H. Doerfel, Mitarbeiter der Hauptabteilung Sicherheit, Abteilung Überwachung und Messtechnik. Die Begutachtung des vermuteten Strahlenschadens wird von Dr. med. Volker List vorgenommen, Leiter der Medizinischen Abteilung, der auch Mitglied der Radarkommission gewesen ist

Die Nachweisgrenze für die im Körper zum Zeitpunkt der Messung vorhandene Aktivität wird bei einer Messdauer von 20 Minuten zu 300 Bq Ra-226 angegeben. Diese dort übliche Messdauer ist nicht optimal, da die Nachweisempfindlichkeit durch längere Messungen erhöht wird. Messdauern in Ganzkörperzählern bis zu einer Stunde sind daher durchaus gebräuchlich.

Da die Messung im Allgemeinen erst etliche Jahre bis Jahrzehnte nach der vermuteten Inkorporation erfolgt, hat Herr Doerfel eine Retentionskurve für Radium angegeben, nach der er die anfänglich aufgenommene Ra-Menge aus der zum Messzeitpunkt festgestellten Aktivität berechnet, s. Abbildung 7.

Man sieht, dass danach in 100 Tagen die Ra-Aktivität schon um das Hundertfache und in 30 Jahren (11000 Tage) etwa um das Tausendfache abgesunken ist. Doerfel und List hatten – zumindest bis zum Jahr 2004 - keine Hemmungen, auch nach Jahrzehnten noch die Anfangsaktivität zu bestimmen, obwohl das natürlich wegen der individuellen Stoffwechselverhältnisse absolut unseriös ist.

Zum Vergleich zeigt Abbildung 8 Messwerte verschiedener Autoren, aus denen die ICRP ihre Annahmen herausmittelt. Man sieht, dass erhebliche Abweichungen zwischen den einzelnen Retentionskurven bestehen (logarithmische Skala!). Eine verlässliche Rückextrapolation ist nach Jahren nicht mehr möglich.

Stattdessen kommen sie aber bei 300 Bq Nachweisgrenze ohne weiteres auf einige Sv (!) Organdosis, die bei Fehlen einer Anzeige nicht mehr nachweisbar war. Trotz solcher hohen nicht mehr nachweisbaren Dosen schlussfolgern sie, dass eine „nennenswerte“ Radiuminkorporation bei dem betreffenden Bundeswehrbeschäftigten nicht vorliegt und eine Schädigung durch Radium ausgeschlossen werden kann.

Uns ist bekannt, dass die Gutachten von Doerfel/List zumindest bis zum Jahr 2009 eine Rolle bei Klagen vor den Sozialgerichten gespielt haben. Sie versteigen sich darin sogar zu Aussagen derart, dass auf Grund der Messung im Ganzkörperzähler ein „eindeutiger Ausschluss von Leuchtfarben“ erfolgen kann.

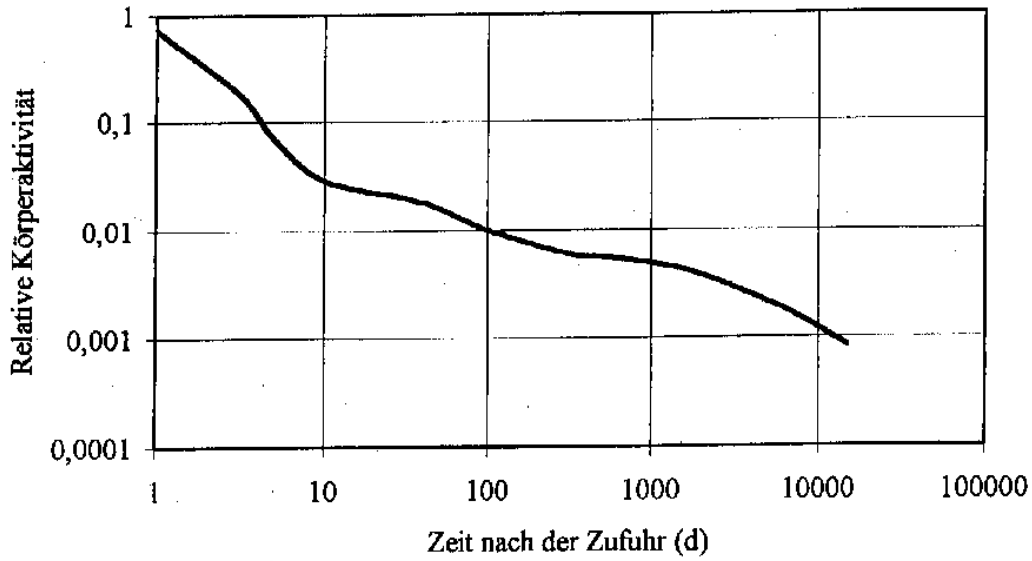


Abb. 7: Angabe von Doerfel, Karlsruhe, nach Modellierung von ICRP: Zeitlicher Verlauf der Aktivität von Ra-226 im Körper nach einmaliger Zufuhr von 1 Bq Ra-226 durch Ingestion (Zeitraum 1-10000 Tage nach der Zufuhr); d Tage

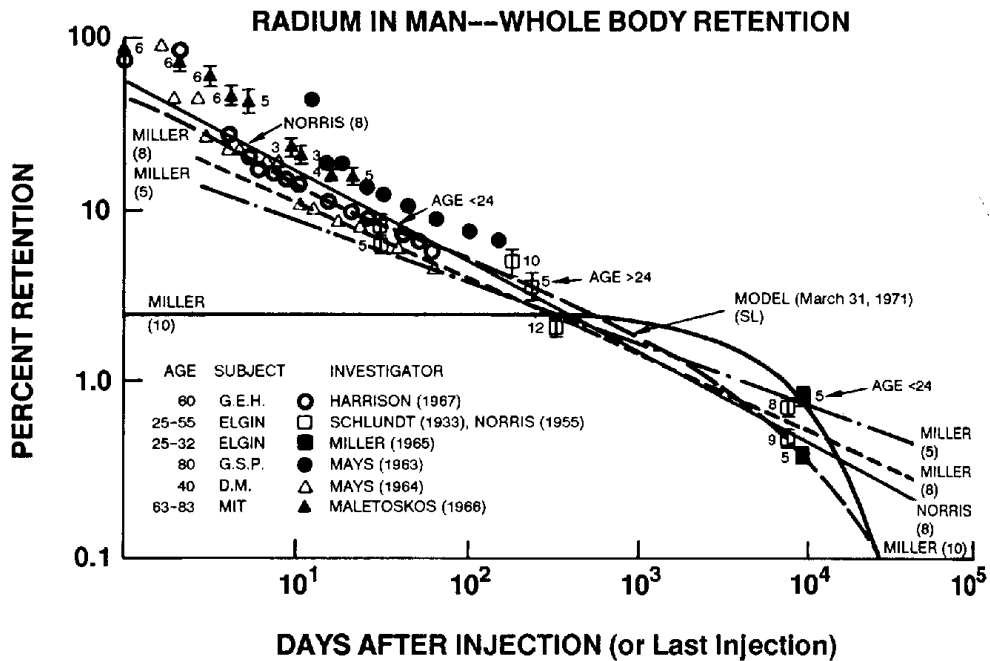


Abb. 8: Messwerte über den zeitlichen Verlauf der Radiumaktivität nach einmaliger Zufuhr in erwachsenen Männern nach Angaben aus der Literatur (ICRPFehler! Textmarke nicht definiert. 1973)

ANHANG A LITERATURRECHERCHE

Literaturrecherche des Arbeitskreises Dosimetrie und Aufklärung des Bundes zur Unterstützung Radargeschädigter e.V.. Stand: 12. März 2010

A.1 NACHWEIS NICHTKARZINOGENER ERKRANKUNGEN

Nachfolgend eine Liste von Studien und Gutachten.

Prof. Dr. Dale Preston und andere mit einem epidemiologischen Gutachten bzw. Studie über die Mortalität der Atombombenüberlebenden als 13. Bericht über Krebs- und Nichtkrebskrankungen in der Zeit von 1950 – 1997, veröffentlicht in 2003. Insbesondere im 4. Kapitel ab Seite 395 in den Tabellen 10 und 13.

Aufgeführt werden folgende Sterbefälle aus strahleninduzierten Nichtkrebs-Erkrankungen:

- Herzerkrankungen,
- Schlaganfälle,
- Atemwege,
- Verdauungssysteme,
- Zirrhosen,
- Nieren- und Harnwege,
- Andere.

Die vorangegangenen Berichte von Dale Preston und anderen vor 2003 waren von der Radar-Kommission als Grundlage für ihre Analysen benutzt worden. Bestätigt und klinisch unterstützt werden diese Ergebnisse durch:

Profs. Drs. M. Yamada's et al klinische Studie bei 10.000 erwachsenen Atombombenüberlebenden mit folgenden Erkenntnissen in der Symptomatik nicht karzinogener:

- Schilddrüsenerkrankungen,
- Chronischer Lebererkrankungen und Zirrhosen,
- Gebärmuttermyome,
- Hypertonie,
- Harnleiter- Nieren- und Blasenerkrankungen bei Männern.

WHO-Kollaborationszentrum für Strahlenunfallmanagement der Universität Ulm, Prof. Dr. T. M. Fliedner in der Pilotstudie zu chronisch strahlenexponierten Anwohnern am Tetsch-River in 2001 zu nicht-neoplastischen Strahlenwirkungen. Von Seite 27 bis 44 lässt Prof. Fliedner sehr ausführlich zu den strahlenbiologischen Grundlagen Stellung nehmen und für nahezu jeden verständlich die Wirkungskette darstellen. Im Übrigen geht Prof. Fliedner sogar von einer nachweisbaren deterministischen Einwirkung bereits ab 50 mSv/a Organdosis aus. Er lässt zunächst folgende Erkrankungen in der Zusammenfassung auf Seite 151/152 beschreiben:

- der Gefäße,
- des Herzens und des Kreislaufs,
- der Verdauungsorgane,
- vegetative Dystonie,
- Immunsystemveränderungen,
- neurologische Abweichungen,
- Ostealgien,

- Befindlichkeitsstörungen,
- verschiedene Krebserkrankungen.

Prof. Dr. Fliedner bezeichnet diese Studie als Grundlage zur Erfassung von strahleninduzierten Spät- und Frühschäden. Seine Ergebnisse sind nahezu identisch mit denen von Prof. Dr. Karl Hecht.

Profs. Drs. Young-Su Ju et al vom Ministerium für Umweltmedizin bzw. der Akademie der med. Wissenschaften Seoul/Süd-Korea 2005 in einer klinischen Studie an 223 überlebenden Personen und einer Kontrollgruppe mit 372 Personen zu den koreanischen Atombombenopfern in der Region Hapcheon. Auch in dieser selbst ausgeführten Studie werden folgende nicht karzinogene Erkrankungen durch Strahleneinwirkungen mit signifikanter Erhöhung festgestellt:

- Bluthochdruck,
- Chronische Lebererkrankungen,
- Herzinfarkte,
- Hypercholesterinämie,
- Nierenfunktionsanomalien.

In dieser 10-seitigen Zusammenfassung wird vor allen Dingen sehr verständlich beschrieben, nach welchen Kriterien und Methoden welche Untersuchungen vorgenommen worden sind.

Profs. Drs. Wolfgang-Ulrich Müller von der (SSK) Strahlenschutzkommission des Bundesumweltministeriums und **Christian Streffer von der Universität Essen** in einem Bericht zu den Folgen von Chernobyl nach 20 Jahren im März 2006. Dort werden folgende strahleninduzierte nicht kanzerogene Gesundheitseffekte im III. Abschnitt ab Seite 107 durch Expositionen von 50 – 150 mSv in signifikanter Erhöhung festgestellt und beschrieben:

- Katarakte der Augenlinsen,
- Erkrankungen des Herzens und des Gefäßsystem,
- Hirninfarkte,
- Erkrankungen der Atemwege,
- Endokrine und metabolische Erkrankungen,
- Verdauungstrakt,
- Erkrankungen des Nervensystems und der Sinnesorgane,
- Veränderungen des Immunsystems,
- Genital- und Harnsystem.

Die **häufigsten** Erkrankungen wurden im Kreislaufsystem mit **Bluthochdruck und Ischämien** des Herzens gefunden. Es wird speziell darauf hingewiesen, dass die Risikofaktoren bei den Aufräumarbeitern erheblich höher als bei den Atombombenopfern sind. Herausgestellt wurde insbesondere auch die hohe Strahlenempfindlichkeit des Immunsystems, welche sich aus den Studien am Techa-River in einem Dosisbereich von 0 – 334 mSv ergeben haben. Unter III. 4. auf Seite 110 wird ausführlich über das deutlich erhöhte Risiko für Anomalien der Neugeborenen bei Strahlen-Einwirkungen von 100 - 250 mSv im 3 – 4. Schwangerschaftsmonat berichtet. Auf Seite 112 findet sich dazu eine aussagefähige Tabelle von Prof. Dr. Streffer.

Bewertung der Strahlenschutzkommission beim Bundesumweltministerium zur EMF im Zusammenhang mit neurodegenerativen Erkrankungen am 22. 02. 2008 in der 221. Sitzung unter 2.2.1 auf Seite 16. Bezüglich der Exposition gegenüber niederfrequenten elektrischen

und magnetischen Feldern wird bemerkt, dass lediglich in der Frage der kindlichen Leukämie und bei neurodegenerativen Erkrankungen ein wissenschaftlich begründeter Verdacht auf eine mögliche Beeinflussung besteht. Dieser Verdacht stützt sich allerdings primär auf Ergebnisse epidemiologischer Studien. In der Zwischenzeit sind weitere epidemiologische Studien veröffentlicht worden. Insgesamt wurde dieser Verdacht nicht entkräftet. Er besteht daher weiter. Es wurden 229 Laborstudien ausgewertet.

Prof. Dr. Karl Hecht, Charite Berlin in einer Stellungnahme zur gesundheitsschädigenden Wirkung radioaktiver Leuchtfarbe mit Ra 226 am 30. April 2010. Er beschreibt sehr verständlich und für medizinische Laien auch nachvollziehbar den Verlauf der Einwirkung und daraus entstehender Gesundheitsfolgen wie zum Beispiel:

- Systemische Sklerodermien und andere Kollagenosen,
- Befall des Verdauungssystem daraus,
- Dysbalancen im vegetativen Nervensystems,
- Autoimmunerkrankungen,
- Herz-Kreislaufferkrankungen,
- Atemwegerkrankungen.

Der Behauptung des BMVg bzw. deren Verwaltungen, dass externe Strahlung ohne Hautkontakt keine Gefährdung verursachen könne und das durch Inkorporationen nur Sarkome von Knochen und umliegendem Bindegewebe entstehen könnten, weist er mit der Feststellung zurück, dass diese Annahme nicht dem gegenwärtigen Stand der medizinischen Wissenschaft entspricht.

Prof. Dr. Karl Hecht, Charite Berlin, in der gutachtlichen Stellungnahme zur gesundheitlichen Schädigung durch ionisierende und nichtionisierende Radarstrahlen vom 01. 09. 2006. Stellungnahme insbesondere zu nicht karzinogene Erkrankungen. Er beschreibt folgende pathologische Erscheinungen:

- neurologische Störungen,
- asthenisches vegetatives Syndrom,
- Sklerotisierung des Bindegewebes mit Folgeerscheinungen an allen Organsystemen,
- Atemwege,
- Magen- Darmsystem,
- Blutgefäße,
- Harnwegsystem,
- Haut,
- Knorpelgewebe,
- Knochen,
- Gehirn,
- Unfruchtbarkeit,
- Genschädigungen,
- bösartige Geschwulste,
- Leukämien.

Zusammenfassend beschreibt Prof. Dr. Hecht die multimorbide Symptomatik, verursacht auch aus relativ niedrigen Strahlendosen, bei den Bundeswehrosoldaten im Radardienst, die nach seiner Auffassung mit allergrößter Wahrscheinlichkeit auf die verschiedenen Strahlungsarten zurück zu führen ist. Diese Aussagen seien auch keine neuen Erkenntnisse, sie stehen nach seiner Auffassung in völliger Übereinstimmung mit den im medizinisch-

wissenschaftlichen Schrifttum seit 75 Jahren international vielfach und wiederholt beschriebenen Bildern der Strahlenkrankheit.

Dr. Cornelia Baldermann vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) zu Gesundheitseffekten aus Einwirkungen elektromagnetischer Felder in einer Veröffentlichung am 05. 11. 2009 zur Risikobewertung hochfrequenter Felder auf Grundlage von über 5.000 wissenschaftlichen Veröffentlichungen:

- Nach dem heutigen Kenntnisstand sind bei Einhaltung der Grenzwerte keine biologischen und damit gesundheitlichen Wirkungen hochfrequenter Felder nachgewiesen.
- **Aber** wissenschaftliche Studien zeigen Hinweise auf biologische Wirkungen von hochfrequenten Feldern bei Intensität unterhalb der Grenzwerte wie zum Beispiel:
 - Änderung von Schlafparametern,
 - Melatonin-Hypothese,
 - Genschädigende Wirkungen usw..

Zur Risikobewertung niederfrequenter Felder wird folgende zusammenfassende Aussage gemacht:

- Nach dem heutigen Kenntnisstand sind bei Einhaltung der geltenden Grenzwerte keine biologischen Wirkungen und damit keine Auswirkungen auf die Gesundheit nachgewiesen.
- Aber epidemiologische Untersuchungen zeigen einen statistischen Zusammenhang von Krankheitsbildern und Expositionen mit niederfrequenten Feldern bei Intensitäten unterhalb der Grenzwerte wie zum Beispiel für:
 - zweifach erhöhtes Kinderleukämie-Risiko,
 - Erhöhtes Auftreten neurodegenerativer Krankheiten bei starker beruflicher Exposition,
 - Signifikanz bei beruflicher Exposition.

Profs. Drs. Christian Behl und Albrecht Clement, Universität Mainz in einer Literaturübersicht im Auftrag des Bundesumweltministeriums im Jahr 2008 zu elektromagnetischen Feldern und nicht karzinogenen neurodegenerativen Erkrankungen. In der Zusammenfassung auf Seite 21/22 dieser Übersicht werden einige epidemiologische Studien, auch mit großen Kohorten und kleineren Fall-Kontroll-Studien bezüglich folgender Erkrankungen beschreiben:

- Alzheimer Demenz,
- Amyotrophe Lateralsklerose.

bei niederfrequenten elektromagnetischen Feldern. Selbst wenn die EMF keine direkte Schädigung bewirken sollte, wird darauf verwiesen, dass durch sekundäre Stressentwicklung eine Krankheit ausgelöst werden kann.

Bundesamt für Strahlenschutz in einer Veröffentlichung am 08. 06. 2009 zur Meta-Analyse von 14 ausgewerteten Kohorten- und Fall-Kontrollstudien von **Prof. Dr. Garcia et al** zum Auftreten neurodegenerativer Erkrankungen durch niederfrequente elektrische und magnetische Felder auf Grund von Zell- und Enzymstörungen durch eben diese Felder.

Profs. Drs. D. McGeoghegan, Keith Binks et al, Westlakes Scientific Consulting Cumbria / UK mit einer Studie über rund 65.000 Arbeitnehmer in der britischen Atomwirtschaft. In dieser zeigte sich, dass der sozio-ökonomische Status einen größeren Einfluss auf die Arbeitnehmer hatte, als die Strahleneinwirkungen. Allerdings zeigte sich auch hier bei männlichen

Arbeitnehmern ein deutlicher Zusammenhang zwischen Strahleneinwirkungen und Kreislauf-Erkrankungen bei kumulativen Dosen über 300 mSv. Es zeigten sich Beweise für:

- Durchblutungsstörungen,
- Systemerkrankungen.

im Zusammenhang mit ionisierender Strahlung.

Prof. Dr. David, Universität Witten/Herdecke in einem von der Bundeswehr in Auftrag gegebenen Gutachten im WDB-Fall des Hptsekr. R. am OVG Schleswig-Holstein zu den bei R. festgestellten nicht karzinogenen Gesundheitsstörungen wie:

- elektromagnetische Hypersensibilität mit
- neurovegetativen Syndromen,
- Augenbeschwerden,
- Herzrhythmusstörungen,
- Infektionskrankheiten, Immunsystemdefekten,
- Allergien,
- Konzentrationsstörungen,
- starke Kopfschmerzen u. a..

Bestätigt wurden diese Schädigungsfolgen im Grad mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit durch:

- Dr. Bartsch vom MDK in Schleswig,
- Dr. med. Schwarz, Breakspear Hospital in London,
- Gesundheitsamt Flensburg im amtsärztlichen Gutachten,
- Prof. Dr. Karl Hecht,
- Prof. Dr. L. Klitzing,
- Prof. Dr. med. Frentzel-Beyme.

Interessant ist aber auch hier so ganz nebenbei die Feststellung, dass für das NASARR ein Messergebnis von 280 mSv/h vorliegen soll. Also eine 56fache Grenzwertüberschreitung. Das Messergebnis befindet sich auf Seite 72 des o. a. David-Gutachtens. Die Begutachtung könnte bei Hr. R. bei Bedarf angefordert werden.

Dr. Sebastian Pflugbeil et al in der Metaanalyse von April 2006 zu den gesundheitlichen Folgen des Atomunfalls in Tschernobyl in Studien mehrerer internationaler Wissenschaftler. Die Analyse enthält auf 76 Seiten in sehr großem Umfang nachvollziehbares epidemiologisch und klinisch erworbenes hochgradig belastbares und aussagefähiges Datenmaterial, soweit sich anders denkende aus Grundsatz nicht darauf berufen, dass osteuropäische Wissenschaftler grundsätzlich von diesen Dingen nichts verstehen, obwohl gerade diese, auch bereits vor 1986, die meisten Untersuchungen und Studien in der Strahlenforschung erstellt haben.

Die Gruppe um Dr. Pflugbeil hat bereits im Vorwort zusammenfassend die Daten des zuständigen Ministeriums der Ukraine mit folgenden Ergebnissen der nicht an Krebs erkrankten Bevölkerung in einer Entfernung mindestens 30 km von Tschernobyl mit einer mittleren Dosisbelastung von rd. 7 mSv, nicht der Aufräumarbeiter, des Zeitraums 1987 – 1992 angeführt:

- Erkrankungen des endokrinen Systems 25-fach erhöht,
- Erkrankungen des Nervensystems 6-fach erhöht,
- Erkrankungen des Kreislaufsystems 44-fach erhöht,
- Erkrankungen der Verdauungsorgane 60-fach erhöht,

- Erkrankungen des Haut- und Unterhautfettgewebes 50-fach erhöht,
- Erkrankungen des Knochen-Muskelsystems und der Psyche 53-fach erhöht,

Weiter wird berichtet, dass die vorgenannten Erkrankungen die spektakulären Leukämie und Krebserkrankungen bei weitem überwiegen. Der strahlenbedingte Zusammenhang ergibt sich aus dem Zahlenmaterial von 1987 – 1992. Eine recht aussagefähige Tabelle der Inzidenz bei Aufräumarbeitern des Zeitraums 1986 – 1993 findet sich auf Seite 21 der Analyse. Selbst die sehr kritisch eingestellte WHO stellte eine signifikante Erhöhung von Herz-Kreislaufkrankungen bei den Aufräumarbeitern fest. Ab Seite 29 findet sich eine sehr aufwändige Darstellung der teratogenen und genetischen Schädigungsfolgen. Als mittlere Dosis hat die Gruppe um Pflugbeil folgende Dosen ermittelt:

Aufräumarbeiter	rd. 100 mSv
Kontrollzone	rd. 50 mSv
Andere kontaminierten Gebiete	rd. 7 mSv

Diese Arbeit endet mit dem Zitat von B. Brecht: Galileo Galilei

„Wer die Wahrheit nicht weiß, ist nur ein Dummkopf.
Aber wer sie kennt und sie eine Lüge nennt, der ist ein Verbrecher.“

A.2 WISSENSCHAFTLICH BEGRÜNDETE AUSSAGEN ZU NICHTKARZINOGENEN ERKRANKUNGEN

Folgend eine Liste vorhandener Aussagen/Studien/Veröffentlichungen zu strahlenbedingten Nichtkrebserkrankungen.

Institut/Autoren/Datum	Titel	Erkrankungshinweise auf
Forschungsauftrag des BMVg an DGON/ Ausschuss für Funkortung unter Nr. 3054/59 Prof. Dr. H. Broocks.		Radioaktive Bestrahlung zerstört Gewebe und verursacht Mutationen. Röntgenstrahlung durchdringt das Gewebe nicht, sondern wird darin absorbiert und bewirkt Schäden des Gewebes. Es findet sich im ganzen Gutachten keine Beschränkung auf Krebserkrankungen.
Radiation Effects Research Foundation Dale L. Preston, Y. Shimizu et. al. (2003).	Study of Mortality of Atomic Bomb Survivors	Herz-Kreislaufkrankungen Endokrine, psychische Nerven- Erkrankungen, Sinnesorgane, Verdauungs- und Ausscheidungsorgane und Lebererkrankungen.
Strahlenschutzkommission beim Bundesumweltminister, Prof. Dr. Streffer (2006).	20 Jahre nach Tschernobyl	Veränderungen am Herzen und Gefäßsystem, Hirninfarkte, Atemwege, Nervensystem, Verdauungsorgane, Nierenbecken und Blase, Leber, genetische u. weitere.
Metaanalyse der IPPNW / Ministerium der Ukraine	Gesundheitliche Folgen von Tschernobyl	Signifikante Erhöhungen für Erkrankungen des endokrinen Systems 25-

(2006), GSS, Dr. Sebastian Pflugbeil et. al.		fach, des Nervensystems 6-fach, des Kreislauf und des Herzens 44-fach, der Verdauungsorgane 60-fach, der Haut- und Unterhaut 50-fach, des Knochen- und Muskelsystem und der Psyche 53-fach.
Schreiben des BMVg an den Bundestag am 01. 12. 2009 unter 1680021-V53.	Stellungnahme zu einem WDB-Antrag	Zu den immer wieder auf Strahleneinwirkungen zurückgeführten gutartigen Tumoren (damit auch gutartigen Erkrankungen insgesamt) stellt Herr Dr. Gehrcke fest, dass die Radarkommission eine Strahleninduzierbarkeit nicht ausdrücklich verneine. D. h. grundsätzlich können auch Erkrankungen als WDB anerkannt werden, die im Bericht der Radarkommission nicht als qualifizierende Erkrankung bewertet worden sind. (Wörtliches Zitat !)
Schreiben des BMVg vom 10. 11. 2010 an MdB Höger.	WDB-Anerkennung anderer Erkrankungen als Krebs	<u>Originalzitat:</u> Es ist unstrittig, dass ionisierende Strahlung neben Krebs auch andere Krankheiten, wie z. B. Blutgerinnungsstörungen, Sterilität oder Schäden an den Zellerneuerungssystemen hervorrufen können.
Koreanische Akademie der Wissenschaften (2. 11. 2005) Prof. Drs. Young-Su Ju et al.	Epidemiologische Studie zu koreanischen Atombombenopfer	Zitiert werden folgende Schäden: Signifikant höher für Herz- und Kreislauf, chronische Leber, Schilddrüsen und Hypercholestrinämie.
Radiation Effects Foundation wie oben.	Epidemiologische Studie Epidemiologische Studie für Exponierte unter 1 Gy	Zitiert werden als Strahlenfolgen: Schilddrüsen, Nieren und Blase, Leber, auch Zirrhosen, Nerven, Herzen incl. Infarkte und Rhythmusstörungen, Bluthochdruck, Magen und Darmgeschwüre.
International Journal of Epidemiology British Nuclear Fuels plc Profs. Drs. McGeoghan et al 14. 01. 2008.	Untersuchung der Sterblichkeit bei 65.000 Nukleararbeitern	Signifikante Erhöhungen für ischämische Herzkrankheit Durchblutungsstörungen Systemerkrankungen, auch des Immunsystems
Weissrussisches Tschernobyl- Komitee (1995).	Offizielle Stellungnahme	Signifikante Erhöhungen bei den Aufräumarbeitern für Ischämische Herzkrankheit. 9,5x Kreislauferkrankungen, 7,4x Verdauungsorgane, 6,4x Nervensystemerkrankungen,

		3,2x Gutartige Geschwülste, 2,0x bösartige Geschwülste 2,5x.
Strahlenschutzkommission beim Bundesministerium für Umwelt 22. 01. 2008.	Biologische Studie als Empfehlung der SSK	Bestätigt wird jetzt der in der Empfehlung der SSK -Bericht 2001- zitierte Verdacht auf neurodegenerative Erkrankungen durch Magnetfeldexpositionen. Wörtliches Zitat: Insgesamt wurde dieser Verdacht nicht entkräftet. Er besteht daher weiter.
Bundesministerium der Verteidigung am 21. 07. 2004.	Ergebnisvermerk zum Runden Tisch am 22. 06. 2004	Prof. Kirchner vom BfS berichtet bereits am 1. Runden Tisch im Januar 2004, dass auch andere Erkrankungen als Krebs durch Strahlung verursacht werden können.
Bundesregierung in der BT- Drucksache 17/3137 vom 01. 10. 2010.	Kleine Anfrage	In der Antwort zur 9. Frage im 2. Absatz räumt man wie folgt ein: Ansprüche mit Bezug auf andere Erkrankungsformen (als Krebs) können nur im Rahmen eines herkömmlichen WDB-Verfahrens mit den entsprechenden Beweisanforderungen gestellt werden. (Also ohne Beweiserleichterung, jedoch unter Berücksichtigung des § 15 KOVerwVerfG).
Bundesamt für Strahlenschutz mit E-Mail vom 04. 03. 2008 an das BMVg.	Antwort auf Anfrage des BMVg wegen der Wahrscheinlichkeit gutartiger Tumore	Dr. Gehrcke berichtet in einer E-Mail, dass im Radarbericht Erkrankungen ausgeschlossen worden sind, obwohl kein Zweifel besteht, dass diese auch strahleninduzierbar sind.
Bundesamt für Strahlenschutz in der Pressemitteilung vom 02. 07. 2003.	Breiter wissenschaftlicher Konsens erzielt im Radarbericht	Zitat: Bei Expositionen gegenüber ionisierender Strahlung empfiehlt die Kommission zunächst alle bösartigen Neubildungen, mit Ausnahme der CLL als qualifizierend zu betrachten und darauf aufbauend die Anerkennungsverfahren auf berufsbedingte Erkrankungen durchzuführen.
Präsident des Bundesamts für Strahlenschutz Dipl. Ing. König (Mitglied der Radarkommission) am 18. 06. 2009 im Schreiben an BzUR.	Zu gutartigen Erkrankungen	Grundsätzlich kann, wie bei bösartigen Tumoren davon ausgegangen werden, dass in allen Zellen bzw. Geweben durch ionisierende Strahlung somatische Mutationen hervorgerufen werden können mit der Möglichkeit, eine unkontrollierte Zellvermehrung in Gang zu setzen.

E-Mail des Prof. Dr. Greiser, Mitglied der Radarkommission (2008).	Stellungnahme zu anderen Erkrankungen außer Krebs Strahleneinwirkungen	Prof. Greiser zitiert folgende weitere Schädigungsfolgen: Erkrankungen des Herzens und des Kreislaufs, endokrine Erkrankungen, Verdauungssystem der Sinnesorgane, der Psyche und des Nervensystems und gutartigen Neubildungen.
Schreiben Prof. Dr. Kiefer Mitglied der Radar-kommission am 21. 02. 2007.	Stellungnahme zur Entstehung anderer Erkrankungen außer Krebs	Er bestätigt insbesondere Berichte in der Literatur über Herz-Kreislauf-erkrankungen bei Ganzkörperstrahlenexposition.
Prof. Dr. Rodemann Universität Tübingen am 26. 03. 2009.	Gutachten zu einem Antrag auf Anerkennung einer WDB	Es wird auf den Seiten 36 – 38 verständlich über die Nichtkrebsschädigungsfolgen der Hyper-Radiosensitivität berichtet.
Prof. Dr. Karl Hecht ehem. Charite Berlin am 01. 09. 2006.	Gutachten zur Unterstützung eines WDB-Antrages	Hier wird von folgenden weiteren Erkrankungen aus Strahlenexposition berichtet: Neurophysiologischen, Bindegewebsklerotisierung, Atmungssystem, Autoimmunerkrankungen, Verdauungsorganen Blutgefäßen, Gehirn u. Nerven, Ausscheidungsorganen, Haut- und Knorpelgewebe, Neurodegenerativen Unfruchtbarkeit, Genetik.
Prof. Dr. Karl Hecht, wie vorher am 30. 04. 2010.	Stellungnahme zu Leuchtfarben mit Ra 226	Neben soliden Krebserkrankungen, vorzeitige Alterung, Störung der Enzymregulation, oxydativer Stress, Strahlungsendotoxikose, Kollagenosen, unspezifische Immunreaktion, daraus sekundär folgend: Sklerodermie, Dysbalance im Nervensystem, Autoimmunerkrankungen, bakteriell ausgelöste Erkrankungen des Verdauungs,- des respiratorischen, des Nerven,- und des Herzkreislaufsystems, Acidose,
Prof. Dr. Jürgen Kiefer ehem. Mitglied der Radarkommission am 01. 11. 2007.	Sozialgerichtliches Gutachten zu gutartigen Tumoren	Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass auch gutartige Tumore, entgegen dem Inhalt des Radarberichts, als strahleninduzierbar anzusehen sind. Prof. Kiefer bestätigt ausdrücklich auch die diesbezügliche gutachterliche Aussage des ehemaligen Mitgliedes der Radarkommission

		Dr. Brüggemeyer im gleichen Verfahren.
Prof. Dr. Thomas Hermann Universität Dresden am 22. Januar 2004.	Epidemiologische Stellungnahme zur Vorbereitung eines Gerichtsverfahrens	Es wird ausdrücklich darauf verwiesen, dass gutartige Tumore durchaus strahleninduzierbar sind. Es fehlen lediglich statistische Daten der Morbidität, weil in der Epidemiologie in erster Linie die Sterbefälle bewertet werden. Diese sind bei gutartigen Erkrankungen recht gering.
Prof. Dr. med. G. Oberfeld Landessanitätsdirektion des Bundeslandes Salzburg. insbesondere zu EMF.	Zusammenfassung einer umweltmedizinischen Beurteilung	Der Gutachter berichtet von folgenden Schädigungsfolgen: Zelluläre Schäden, Immunschwächung, Bluthochdruck Herzrhythmusstörungen/Infarkte, neurologische Störungen, genetische Schäden.
David Sumner, GB im TORCH/The other Report on Chernobyl Prof. Ian Fairley und Auftrag der Grünen im europäischen Parlament.	Unabhängige wissenschaftliche Einschätzung	Auf Seite 6 des Reports werden als strahlenbedingte Erkrankungen auch Grauer Star und Herz-Kreislaufkrankungen angeführt.
Arbeitsgruppe der Uni Ulm Strahlenmedizinische Forschung unter Leitung Prof. Dr. Dr. h.c. Fliedner im Januar 2001.	Morbidität seit 1949 am Techa-River und in Mayak	Neben Krebs- und Bluterkrankungen fanden sich unter anderem auch nicht Krebserkrankungen der Verdauungsorgane, der Gefäße, der Sinnesorgane, der Durchblutung, des Herzkreislaufs, der Atmungs- und Ausscheidungsorgane, der Augen und des Unterhautzellgewebes, sowie des Bindegewebes, des Skeletts und der Muskulatur.
Bundesamt für Strahlenschutz Gesundheitsstörungen durch elektromagnetische Felder am 08. 06. 2009.	Publikation	Hier wird über die Meta-Analyse von Garcia (2008) berichtet, die das erhöhte nachgewiesene Risiko über neurodegenerative Erkrankungen, insbesondere der ALS und bspw. Alzheimer unter Dosen im mTesla – Bereich beschreibt.
Prof. Dr. Frentzel-Beyme, Uni Bremen, Epi-Institut im Auftrag des BzUR.	Sozialmedizinische Stellungnahme zu EMF	Auf Seite 9 wird unter anderem berichtet von Genotoxizität, Elektrosensibilität, Störungen der Blut-Hirnschranke und Zellproliferation. Unterhalb einer Dosis von 0,3 µT muss mit Krebs, neurodegenerativer

		Schädigung und Herz-Kreislauf-krankung gerechnet werden.
Nationales Krebsinstitut in Bethesda/USA (2006) Prof. Dr. Paul F. Pinski.	Strahlenbedingte Sterblichkeit aus Nicht-krebserkrankungen	Folgende signifikante Erhöhungen wurden festgestellt, Herz-Kreislauf 2,7-fach, Narbenbildungen 1,4-fach, Pleuraerguss 2,5-fach. Andere Nichtkrebs- Befunde 1,3-fach, Krebsbefunde 1,4-fach
Chinesische Akademie für Strahlenmedizin in Peking Profs. Drs. JX Wang et. al.	Nichtkrebserkrankungen bei chinesischen Röntgendiagnostikern in der Zeit von 1950 – 1995	Folgende signifikante Erhöhungen gegenüber der Normalbevölkerung wurden festgestellt bei: Bis 3,7-fach für Aplastische Anämie, Kreislauf-erkrankungen, insbesondere koronare, Erkrankungen des Nervensystems und Schlaganfall.
Bundesamt für Strahlenschutz Dr. Cornelia Baldermann am 05. 11. 2009. Risikobeurteilung zu EMF.	Elektromagnetische Felder. Wie gefährlich sind sie wirklich?	Festgestellt wird: Zu NF bei Intensitäten unterhalb der Grenzwerte sind keine biologischen Wirkungen und damit keine Auswirkungen auf die Gesundheit nachgewiesen. Aber: Epidemiologische Untersuchungen zeigen einen statistischen Zusammenhang von Krankheitsbildern und Expositionen mit NF- Feldern bei Intensitäten unterhalb der Grenzwerte: -zweifaches Kinderleukämierisiko. -erhöhtes Auftreten neurodegenerativer Krankheiten bei starker beruflicher Exposition, -Signifikanz bei beruflicher Exposition. Wissenschaftlichen Studien über HF zeigen Hinweise auf biologische Wirkungen von hochfrequenten Feldern bei Intensitäten unterhalb der Grenzwerte.
Prof. Drs. Steve Jones und Mark Little vom Imperial College bzw. dem Westlake College.	Zum Herzzisiko bei nur niedriger Strahlendosis über längere Zeit	Epidemiologen haben bei AKW-Mitarbeitern in UK/GB, Research Institut London, festgestellt, dass ein klarer Zusammenhang zwischen niedriger Strahlendosis und kardiovaskulären Erkrankungen besteht.

Die vorgenannten Angaben können zusätzlich durch rd. 500 vorhandene weitere, weit überwiegend wissenschaftliche Veröffentlichungen und Begutachtungen untermauert bzw. nachgewiesen werden.

ANHANG B
MESSUNGEN VON AKTIVITÄTEN UND ORTSDOSEN

B.1 MESSUNGEN VON ORTSDOSISLEISTUNGEN AN RADIUMBESCHRIFTUNGEN

Tab. 12: Reale Messwerte der Ortsdosisleistung

Jahr	Durchführung der Messung	Objekt	Messwert	Abstand
1957	Teilbericht NASARR F-104, Protokoll Erprobungsstelle vom 7.5.1974 Radarbericht Seite 22	Luftfahrzeug F-104	300 µSv/h	5 cm
1958	21.08.1958, Prüfbericht Fernmeldetechnisches Zentralamt der Post	Beschriftungen an Messgeräten	100 µSv/h	Ca. 1cm
1958	26.08. und 23.12.1958 Fernmeldetechnisches Zentralamt der Post	Oszillograf (Messgerät)	100 µSv/h	Direkt
1958	24.12.1958, Prüfbericht Fernmeldetechnisches Zentralamt der Post	Gemessen: Strahlungspegel im Kontrollraum	10 µSv/h	Photonenstrahlung im gesamten Raum verteilt
1984	Strahlenmessstelle Süd der Bundeswehr	Radar Scope, Leuchtfarbenbeschriftungen an Kompassrose AN/FPN-33/36	60 µSv/h 20 µSv/h 10 µSv/h 7,5 µSv/h	Auflage Auflage Mitte Bildröhre 50 cm Mitte 40 cm Mitte
1992	27.11.1992 Prüfbericht der Strahlenmessstelle Süd der Bundeswehr	Luftfahrzeuge: Glostar-Metor, Noratlas Mirage. Alle Messungen im Cockpit	250 µSv/h 500 µSv/h 300 µSv/h	Keine Angabe 5 cm Keine Angabe
2001	11.09.2001 Strahlenmessstelle Süd der Bundeswehr	Anzeigekonsole AN/FPN-33/36 Messung: 1984	10 µSv/h	50 cm
2003	16.01.2003 Teilbericht AN/FPN-33/36 Flugsicherungsradar	Anzeigekonsole	7,5 µSv/h	30 cm
2006	01.06.2006 Prüfbericht an Flugzeugen u. Flugzeuginstrumenten-Nr. 075/06	Künstl.Horizont-Ra-226 Pneum.Wendezeiger,Ra-226, Fahrtmesser, Ra-226	135 µSv/h 240 µSv/h 48 µSv/h	Auflage Auflage Auflage

B.2 AKTIVITÄTEN VON RADIOAKTIVEN BAUTEILEN AUS DER DATENBANK AU76

Tab. 13: Radioaktive Bauteile AU76¹³

Objekt	Leuchtfarbe	Aktivität	Zustand
Compass Rose Assembly	Radium-226	1,3 MBq	Abgedeckt
DIAL SCALE	Radium-226	1,4 MBq	Abgedeckt
Circuit Breaker	Radium-226	2,2 MBq	Abgedeckt
Regulator	Radium-226	270 MBq	Nicht abgedeckt
Circuit Breaker	Radium-226	670 kBq	Nicht abgedeckt
Dial, Scale Assembly	Radium-226	370 kBq	Nicht abgedeckt
Höhenmesser	Radium- 226	190 kBq	
Künst. Horizont	Radium-226	190 kBq	
Regulator Oxygen	H-3	1,3 GBq	Abgedeckt
Armbanduhr	Radium-226	930 Bq	
Diverse Schalter, CB , AU 76-1998	Radium-226	500 kBq	Nicht abgedeckt
Schalter, CB AU 76-1998	Radium-226	2,2 MBq	Nicht abgedeckt
Armbanduhr, AU 76-1998	Radium-226	19 kBq	Nicht abgedeckt
Diverse Toggle Switch Aus AU 76-1998	Radium-226	5,6 kBq u. 12 kBq	Nicht abgedeckt
Connector, Receptacl – 1998	Radium-226	890 kBq	nicht abgedeckt
Indicator Instr. Aus AU 76-1998	Radium-226	56 kBq	Nicht abgedeckt

¹³ Quelle BzUR: Bundeswehr März 2004, Datenbank Allgemeiner Umdruck 76,.

ANHANG C GRUNDLAGEN DER DOSIMETRIE

C.1 ALLGEMEINES

Die Anwendung von Dosisgrößen im Verlauf der Radarstrahlenproblematik von 1956 bis heute erstreckt sich insgesamt auf einen Zeitraum von über 50 Jahre. Während des Zeitraums der Expositionen von 1956 bis 1976 an Waffensystemen wurden die alten Größen Curie (Ci) für die Aktivität, Röntgen (R) für die Ionendosis, Rad (rd) für die Energiedosis und Rem (rem) für die Äquivalentdosis benutzt. Entsprechend der Entwicklung des Strahlenschutzes wurden im Laufe der Zeit die Messgrößen Energiedosis (D), Äquivalentdosis (H), Organdosis (H_T), effektive Dosis (E) und Photonen-Äquivalentdosis (H_x) verwendet. Heute benutzt man die Größen Umgebungsäquivalentdosis $H^*(10)$, Richtungsäquivalentdosis $H'(0,07)$, Tiefen-Personendosis $H_P(10)$ und Oberflächen-Personendosis $H_P(0,07)$. Welche Größen angewendet wurden hängt vom Zeitpunkt der Expositionsermittlung ab.

Die Messgrößen für die Ortsdosis und Personendosis ist die Äquivalentdosis (H). Für die Organdosis verwendet man die Äquivalentdosis (H_T), Die effektive Dosis ist E.

C.2 DAS GRÖßENSYSTEM DES STRAHLENSCHUTZES

Die Dosis ist ein Maß für die Strahlenwirkung ionisierender Strahlung auf Materie. Sie kennzeichnet:

- die in Luft erzeugten Ionen eines Vorzeichens (**Ionendosis**),
- die von einer Masse absorbierte Energie (**Energiedosis**) und
- die biologische Wirkung auf Zellen, Organe und Gewebe des Körpers (**Äquivalentdosis**).

Die Dosisleistung ist die in einer Zeiteinheit (Stunde h, Jahr a) von der Strahlung auf die Materie übertragene Energie.

Wegen der großen Variabilität der Dosisgrößen im Zeitraum der Expositionen an Waffensystemen und zur Bewertung der von der Bundeswehr und anderen Stellen an Waffensystemen ermittelten Orts- und Personendosen benötigt man das Größensystems des Strahlenschutzes, das insgesamt aus folgenden alten und neuen Größen besteht:

- **Physikalische Basisgrößen** beschreiben die physikalischen Eigenschaften des Strahlenfeldes.
- **Operative Größen nach ICRU¹⁴** werden bei Strahlenschutzmessungen verwendet. Mit **Ortsdosimetern** misst man die Ortsdosisleistung an Punkten im Strahlungsfeld. Die **Personendosis** wird mit am Körper getragenen **Personendosimetern** gemessen und/oder aus den Größen des Strahlenfeldes ermittelt.
- **Strahlenschutzgrößen nach ICRP¹⁵** werden als Maß für die biologische Wirkung der Strahlung verwendet. Sie werden aus der Ortsdosis- und/oder Personendosis berechnet und mit den gültigen Grenzwerten verglichen. Überschreiten diese Größen Grenzwerte, dann müssen Strahlenschutzmaßnahmen durchgeführt werden.

Sämtliche Größen können der Tabelle 14 entnommen werden. Welche Messgrößen benutzt wurden, ergibt sich aus den Dokumenten der Expositionsermittlungen.

¹⁴ International Commission for Radiation Units

¹⁵ International Commission on Radiological Protection

Tab. 14: Arten von Messgrößen des Strahlenschutzes

Das Größensystem des Strahlenschutzes		
Physikalische Basisgrößen	Operative Größen	Strahlenschutzgrößen
<ul style="list-style-type: none"> • Aktivität • Fluenz • Ionendosis • Röntgen (1928) • Energiedosis (1950) • Rad 	<ul style="list-style-type: none"> • Rem • H: Äquivalentdosis (1960) • H_x: Photonen-Äquivalentdosis (1980) • H*(10): Umgebungs-Äquivalentdosis • H'(0,07, Ω): Richtungs-Äquivalentdosis • H_p(10): Tiefen-Personendosis • H_p(0,07): Oberflächen-Personendosis 	<ul style="list-style-type: none"> • H_T: Äquivalentdosis für Teilkörperbestrahlung • E: Effektivdosis für Ganzkörperbestrahlung

C.2.1 PHYSIKALISCHE BASISGRÖßEN

Die biologische Wirkung ionisierender Strahlung hängt von der Art der Strahlung (elektromagnetische Wellen, Teilchenstrahlung), ihrer Energie, der Energieübertragung an Materie, der Dauer der Exposition und von der Art des bestrahlten Gewebes ab. Zur quantitativen Beurteilung radioaktiver Strahlenquellen wurden und werden die folgend beschriebenen radio-metrische Größen und Einheiten angewendet.

Aktivität

Die **Aktivität** bezeichnet die Anzahl der Kernzerfälle eines Nuklids pro Zeiteinheit. Die Maßeinheit ist das **Becquerel (Bq)**. Es gilt:

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ Zerfall / Sekunde [1/s]}$$

Die frühere Einheit der Aktivität war das Curie (Ci), es entspricht der Anzahl der Zerfälle pro Sekunde von 1 Gramm Radium-226.

Umrechnungen:

$$1 \text{ Ci} = 3,7 * 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ mCi} = 3,7 * 10^7 \text{ Bq}$$

$$1 \mu \text{ Ci} = 3,7 * 10^4 \text{ Bq}$$

$$1 \text{ Bq} = 27 * 10^{-12} \text{ Ci} = 27 \text{ pCi}$$

Über die Wirkung auf Materie, insbesondere der lebenden Materie, sagt die Aktivität nichts aus. Auch unterscheidet sie nicht zwischen den drei Strahlungsarten Alpha-, Beta- und Gammastrahlen.

Fluenz (Φ)

Die Fluenz beschreibt die Anzahl N der Teilchen, die eine Fläche A durchdringen. Es gilt

$$\Phi = \frac{N}{A} \quad [1/m^2]$$

Ionendosis (I)

Die Ionendosis kann relativ einfach gemessen und als realistisch ermittelter Wert benutzt werden. Die Ionendosis ist der Quotient aus der elektrischen Ladung C der Ionen eines Vorzeichens, die in Luft durch Röntgen- oder Gammastrahlung erzeugt werden und der Masse m des Luftvolumens. Es gilt:

$$I = \frac{C}{m} \quad [\text{C/kg}]$$

Die alte Einheit der Ionendosis ist das Röntgen R.

Umrechnung: 1 R = 2,58 * 10⁻⁴ C/kg und 1 C/kg = 3879 R.

Röntgen (R)

Die Einheit Röntgen wird in vielen Dokumenten, die sich mit der Radarstrahlenproblematik beschäftigen, verwendet. Das Röntgen beschreibt die Ladungsmenge (esu), die in einem cm³ Luft erzeugt wird. Es gilt:

$$1R = \frac{\text{Elektrostatische Ladungseinheit}}{\text{cm}^3 \text{Luft}}$$

Mit 1 esu = 3.33 • 10⁻¹⁰ C erhält man $R = \frac{3,33 \cdot 10^{-10} \text{ C}}{\text{cm}^3 \text{Luft}}$.

1 cm³ Luft entspricht 1.239 * 10⁻⁶ kg Luft. Daraus folgt

$$R = \frac{3.33 \cdot 10^{-10} \text{ C}}{\text{cm}^3 \text{Luft}} = \frac{3.33 \cdot 10^{-10} \text{ C}}{1.239 \cdot 10^{-6} \text{ kg}} = 2,58 \cdot 10^{-4} \frac{\text{C}}{\text{kg}}$$

Die Einheit Röntgen gilt nur für Photonenstrahlung im Energiebereich bis 3 MeV.

Energiedosis (D)

Die Energiedosis ist das Maß für physikalische Wirkungen der Energie durch ionisierende Strahlung in Materie wie beispielsweise Luft, Wasser, Gewebe und anderen Materialien.

Die Energiedosis ist das Grundmaß in der Dosimetrie. Durchstrahlt ionisierende Strahlung den Stoff einer Masse, dann wird von dieser Masse Strahlungsenergie absorbiert.

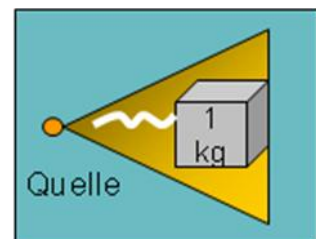


Abb. 9: Absorption durch Materie

Es gilt: $\text{Energiedosis} = \frac{\text{absorbierte Strahlungsenergie}}{\text{Masse}}$; $1 D = \frac{W}{m}$

Die Einheit der Energiedosis ist der Quotient Joule/kg. Dafür wird der besondere Einheitenname Gray [Gy] verwendet. Die Energiedosis

$$1\text{Gy} = 1 \frac{\text{Joule}}{\text{kg}}$$

ist nicht direkt messbar.

Die alte Einheit der Energiedosis ist das Rad¹⁶. Für die Umrechnung der Dosis Rad in die Energiedosis D gilt

$$1 \text{ rd} = 0,01 \text{ Gy und } 1 \text{ Gy} = 100 \text{ rd.}$$

Photonen-Äquivalentdosis (H_x)

Seit etwa 1980 wird für Photonenstrahlung die Photonen-Äquivalent-Dosis H_x für die Ortsdosis und Personendosis verwendet. Sie ist frei in Luft definiert und berücksichtigt nicht die Veränderungen des Strahlenfeldes durch biologische Materie des menschlichen Körpers. Die Einheit ist das Sievert [Sv]. Die Umrechnung der alten Messgröße Röntgen in H_x erfolgt bei Energien kleiner oder gleich 3 MeV mit der Beziehung:

$$H_x = 0,01 * \frac{S_v}{R} * J = 38.67 Sv * \frac{Sv * kg}{C * j}$$

Der Zusammenhang zwischen der alten Einheit H_x und den neuen Einheiten H*(10) und H'(0,07) kann der Abbildung 14 entnommen werden.

Im Strahlenschutz werden die Dosis-Messgrößen Ortsdosis und Personendosis als Äquivalentdosis zur Überwachung von Personen und Strahlenschutzbereichen verwendet.

C.2.2 OPERATIVE GRÖßEN

Äquivalentdosis (H)

Wird ionisierende Strahlung von biologischem Gewebe absorbiert, dann kann mit der Energiedosis D die biologische Wirkung auf Organe und Gewebe nicht umfassend beurteilt werden. Bei gleichen Energiedosen ist die Wirkung der verschiedenen Strahlenarten unterschiedlich stark.

Die internationale Strahlenschutzkommission ICRP hat einen Strahlungswichtungsfaktor w_R entwickelt, der die biologische Wirkung der verschiedenen Strahlungsarten berücksichtigt. Der Strahlungswichtungsfaktor für Röntgen- und Gammastrahlung wird gleich 1 gesetzt. Der Tabelle 15 entnimmt man beispielsweise für die Strahlenwirkung der Alphastrahlung einen Wert von W_R = 20.

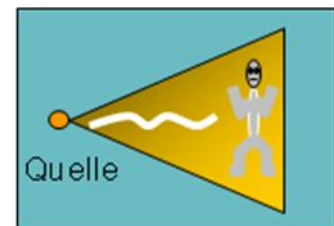


Abb. 10: Absorption durch Gewebe

Das Produkt aus der Energiedosis D und dem Strahlungswichtungsfaktor w_R wird Äquivalentdosis genannt.

Es gilt:

$$1 Sv = 1 Gy * w_R = 1 \frac{J}{kg} * w_R$$

Zur Unterscheidung der Äquivalentdosis von der Energiedosis wird der besondere Einheitenname Sievert (Sv) verwendet. Die dimensionslosen Strahlungswichtungsfaktoren sind für alle Strahlenarten in der Tabelle 15 aufgeführt.

¹⁶ Radiation absorbed dose

Die alte Einheit der Äquivalentdosis ist das Rem¹⁷. Für die Umrechnung von Rem in die Äquivalentdosis H gilt:

$$1 \text{ rem} = 0,01 \text{ Sv und } 1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem.}$$

Tab. 15: Strahlungswichtungsfaktoren

Strahlungsart und Strahlenenergie	Strahlungs- Wichtungsfaktor w_R
Photonen (Gamma- u. Röntgenstrahlung)	1
Elektronen und Myonen	5–20
Neutronen (je nach Energie) Protonen (> 2 MeV)	5
Alphateilchen, Spaltfragmente, schwere Kerne	20

C.2.3 SCHUTZGRÖßEN

Die Strahlenschutzgrößen werden in der Regel aus der Orts- oder Personendosis berechnet.

Organdosis (H_T)

Die Organdosis ist das Produkt aus der mittleren Energiedosis in einem Organ, Gewebe oder Körperteil und dem Strahlungswichtungsfaktor w_R . Für die Organdosis durch die Strahlung R und dem Strahlungswichtungsfaktor w_R gilt:

$$H_{T,R} = w_R * D_{T,R}$$

$D_{T,R}$ ist die Energie-Organndosis eines Organs, die durch eine bestimmte Strahlungsart R erzeugt wird. Der Index T steht für tissue, englisch Gewebe. Die Organdosis für mehrere Strahlungsarten erhält man mit:

$$H_T = \sum_R w_R * D_{T,R}$$

Die Einheit für $D_{T,R}$ ist das Gy in [J/kg] und für die Organdosis H_T das Sv in [J/kg].

Effektive Dosis (E)

Die einzelnen Organe und Gewebe des menschlichen Körpers tragen wegen ihrer verschiedenen Strahlenempfindlichkeit mit unterschiedlichen Beiträgen zum strahlenbedingten Gesamtrisiko bei. Um die verschiedenen Dosisbeiträge bei einer Teilkörperbestrahlung vergleichbar zu machen, hat die ICRP die „effektive“ Dosis definiert.

Die effektive Dosis erhält man durch Summierung der Produkte aus Organdosis H_T und Gewebewichtungsfaktor W_T (Tabelle 16, 17).

¹⁷ roentgen equivalent man

Es gilt:

$$E = \sum_T H_T * W_T \quad .$$

Mit Berücksichtigung der Strahlungswichtungsfaktoren erhält man:

$$E = \sum_T W_T * H_T = \sum_T W_T * \sum_D W_R * H_{T,R}$$

Die Einheit der effektiven Dosis E ist das Sv.

In die effektive Dosis gehen alle Organe ein, die einer externen und internen Exposition und ausgesetzt waren.

Tab. 16: Gewebewichtungsfaktoren vor 2007

Gewebe oder Organe	Gewebe- Wichtungsfaktoren W_T
Keimdrüsen	0,20
Knochenmark, Dickdarm, Lunge, Magen	0,12
Blasé, Brust, Leber, Speiseröhre, Schilddrüse	0,05
Haut, Knochenoberfläche	0,01
Andere Organe oder Gewebe 1,2	0,05

Tab. 17: Gewebewichtungsfaktoren nach ICRP 2007

Gewebe oder Organe	Gewebe- Wichtungsfaktoren W_T
Keimdrüsen	0,08
Knochenmark, Dickdarm, Lunge, Magen, Brust, verbleibende Organe	0,12
Blasé, Leber, Speiseröhre, Schilddrüse	0,04
Haut, Knochenoberfläche	0,01

Die Summe der Gewebewichtungsfaktoren ist 1. Für Berechnungszwecke setzen sich andere Organe oder Gewebe wie folgt zusammen: Nebennieren, Gehirn, Dünndarm, Niere, Muskel, Bauchspeicheldrüse, Milz, Thymusdrüse und Gebärmutter.

In den außergewöhnlichen Fällen, in denen ein einziges der anderen Organe oder Gewebe eine Äquivalentdosis erhält, die über der höchsten Dosis in einem der 12 Organe oder Gewebe liegt, für die ein Wichtungsfaktor angegeben ist, sollte ein Wichtungsfaktor von 0,025 für dieses Organ oder Gewebe und ein Wichtungsfaktor von 0,025 für die mittlere Organdosis der restlichen Organe oder Gewebe gesetzt werden.

Nach ICRP sind die Gewebewichtungsfaktoren W_T über die Bevölkerung (alle Altersstufen, alle Länder) und beide Geschlechter gemittelte Werte. Die effektive Dosis spiegelt nicht die Altersabhängigkeit des Strahlenrisikos wieder - auch nicht genetische, geschlechtsspezifische und andere personenbezogene Faktoren, die das individuelle Strahlenrisiko beeinflussen. Die effektive Dosis ist deshalb nur näherungsweise ein Maß für das individuelle Risiko.

Die Grenzwerte für die Bevölkerung und für beruflich strahlenexponierte Personen werden in der Strahlenschutzverordnung als effektive Dosis oder Organdosis in Sv angegeben.

In Tabelle 18 sind die alten Messgrößen und die heute gültige Messgröße H_x aufgeführt.

Tab. 18: Messgrößen und Umrechnungen

Größen	Bezeichnungen	Einheiten		Umrechnungen
Ionendosis	I	Röntgen (R)	C/kg	1 Röntgen (R) = 0,258 mC/kg
Energiedosis	D	Gray (Gy)	J/kg	100 rad* (rd) = 1Gy
Äquivalentdosis	H	Sievert (Sv)	J/kg	100 rem** = 1Sv
Organdosis	H_T	Sievert (Sv)		$H_{T,R} = W_R * D_{T,R}$
Effektive Dosis	E	Sievert (Sv)	J/kg	$E = \sum_T H_T * W_T$
Photonen-Äquivalentdosis	H_x	Sievert (Sv)	J/kg	

* Rad für Radiation absorbed dose ** Rem für Röntgen equivalent man

C.2.4 BERÜCKSICHTIGUNG DES PHYSIKALISCHEN STRAHLENFELDES:

ICUR-Kugel

Die ICUR-Kugel wird in der neuen Dosimetrie als Phantom zur Kalibrierung von Ortsdosimetern benutzt. Das Dosimeter simuliert den Einfluss des Phantoms. Die ICUR-Kugel hat einen Durchmesser von 30 cm und repräsentiert das ICUR-Weichteilgewebe (gewebeäquivalentes Material) mit einer Dichte von 1 g/cm^3 und den relativen Masseanteilen 76.2% Sauerstoff, 11.1% Kohlenstoff, 10.1% Wasserstoff, 2.6% Stickstoff. Damit wird der Bezug zum menschlichen Gewebe hergestellt. Des Weiteren werden charakteristische Eigenschaften der Strahlungsfelder berücksichtigt.

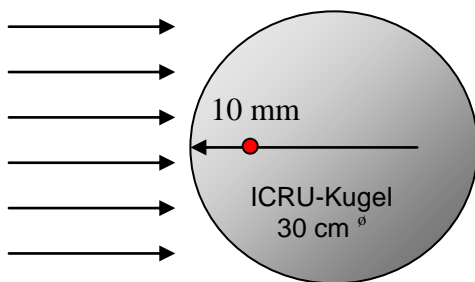


Abb. 11: Ausgezeichnetes und aufgeweitetes Strahlungsfeld

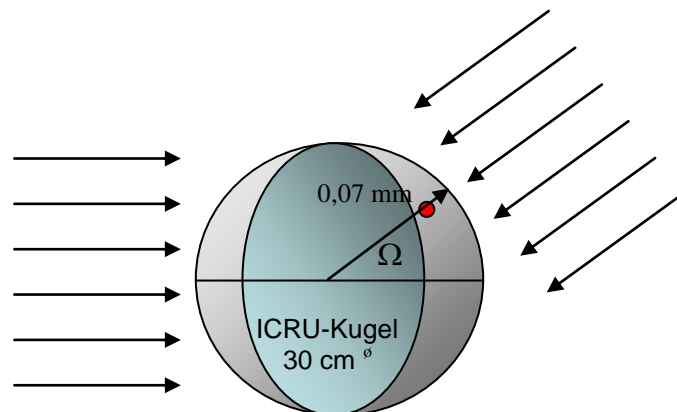


Abb. 12: Aufgeweitetes Strahlungsfeld

Ein aufgeweitetes Strahlungsfeld ist ein idealisiertes Strahlungsfeld, in dem die Teilchenflussdichte und die Energie und Richtungsverteilung der Strahlung an allen Punkten eines ausreichend großen Volumens die gleichen Werte aufweisen wie das tatsächliche Strahlungsfeld am interessierenden Punkt.

Ein aufgeweitetes und ausgerichtetes Strahlungsfeld ist ein idealisiertes Strahlungsfeld, in dem die Strahlung zusätzlich in eine Richtung ausgerichtet ist.

C.2.5 GELTENDE MESSGRÖßEN DER ORTSDOSIS

Die **Ortsdosis**, gemessen als Äquivalentdosis an einem Punkt im Strahlungsfeld, ist ein Maß für die Stärke eines Strahlungsfeldes. Die Bundeswehr hat die neuen Messgrößen in Expositionsermittlungen nicht verwendet, sondern erst während der Berechnung der Körperdosen aus den Photonen-Äquivalentdosen.

Die aktuellen Messgrößen der Ortsdosis sind:

- **Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$**
 $H^*(10)$ ist die Umgebungs-Äquivalentdosis bei durchdringender Strahlung am interessierenden Punkt im tatsächlichen Strahlungsfeld. Sie entspricht der Dosis, die in einem aufgeweiteten und ausgerichtetem Strahlungsfeld an einem Punkt in 10 mm Tiefe der ICUR-Kugel erzeugt würde.
- **Richtungs-Äquivalentdosis $H'(0,07, \Omega)$**
 $H'(0,07, \Omega)$ ist die Richtungs-Äquivalentdosis bei Strahlung geringer Eindringtiefe am interessierenden Punkt im tatsächlichen Strahlungsfeld. Sie entspricht der Dosis, die im zu-

gehörigen aufgeweiteten Strahlungsfeld in 0,07 mm Tiefe auf einem in festgelegter Richtung Ω orientierten Radius der ICUR-Kugel erzeugt würde. Sie wird für Strahlung geringer Eindringtiefe zur Bestimmung der Augen- und Hautdosis benutzt.

C.2.6 GELTENDE MESSGRÖßEN DER PERSONENDOSIS

Die Personendosis wird mit einem am Körper getragenen Personendosimeter gemessen. Sie kann als Schätzwert bei einer externen Exposition für die Körperdosis verwendet werden, wenn das Dosimeter an einer für das Strahlungsfeld repräsentativen Stelle des Körpers getragen wurde. Bei einer Ganzkörperbestrahlung ist dies der Brustbereich. Die **Messgrößen der Personendosis sind:**

- **Tiefen-Personendosis $H_P(10)$**
 $H_P(10)$ ist die Äquivalentdosis für ICUR-Weichteilgewebe in 10 mm Tiefe im Körper an der Tragestelle des Personendosimeters. Sie ist die Dosis bei durchdringender Strahlung wie beispielsweise bei Gammastrahlung durch radioaktive Leuchtfarben. Ihr Wert gilt als Schätzwert für die effektive Dosis.
- **Oberflächen-Personendosis $H_P(0,07)$**
 $H_P(0,07)$ ist die Äquivalentdosis für ICUR-Weichteilgewebe in 0,07 mm Tiefe im Körper an der Tragestelle des Personendosimeters. Sie ist die Personendosis bei Strahlung geringer Eindringtiefe wie bei Alpha- und Betastrahlung. Ihr Wert gilt als Schätzwert für die lokale Hautdosis und Extremitätendosis.

In Tabelle 19 sind zusammenfassend die Messgröße H_x und die Messgrößen $H^*(10)$ und $H'(0,07)$ aufgeführt.

Tab. 19: Frühere und geltende Messgrößen

	Ortsdosis	Personendosis
<u>Alte Messgröße</u>	Photonen-Äquivalentdosis H_x	
<u>Neue Messgrößen</u>	$H^*(10)$	$H_P(10)$
Für durchdringende Strahlung	Umgebungs-Äquivalentdosis	Tiefen-Personendosis
Für Strahlung geringer Eindringtiefe	$H'(0,07,\Omega)$	$H_P(0,07)$
	Richtungs-Äquivalentdosis	Oberflächen-Personendosis

C.3 UMRECHNUNG DER FRÜHEREN DOSEN IN DIE GÜLTIGEN DOSEN

Die Ortsdosis H_x wird wie in Abbildung 13 dargestellt an einem Punkt im Strahlungsfeld mit einem Ortsdosimeter gemessen, das in Luft kalibriert ist. Die Personendosis wird mit einem am Körper getragenen Personendosimeter gemessen.

Die an einem Ort in einem Strahlungsfeld in Luft mit einem Ortsdosimeter gemessene Dosis ist geringer als die

Dosis, die am gleichen Ort, an dem sich eine Person

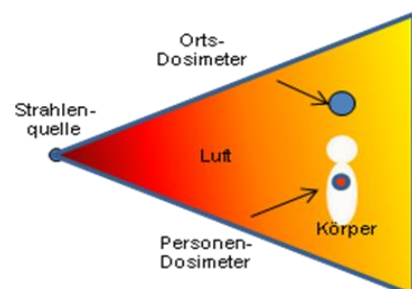


Abb. 13: Dosismessungen an einer Radiumfarbe

aufhält, mit einem am Körper getragenen Personendosimeter gemessen wurde. Dies ist auf Rückstreuung und Absorption im Gewebe zurückzuführen. Die Ortsdosis unterschätzt die Personendosis. Um dies zu beseitigen, wird das Ortsdosimeter mittels der ICUR-Kugel auf das Weichteilgewebe des Körpers kalibriert. Der Einfluss des Kugel-Phantoms hängt von der Energie der Strahlung und den Strahlungseigenschaften ab.

Liegt das Ergebnis der Ortsdosis als Photonen-Äquivalentdosis¹⁸ H_x vor, dann wird die Ortsdosis in die neuen Messgrößen Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ und Richtungs-Äquivalentdosis $H'(0,07)$ umgerechnet. Der Einfluss des Gewebes wird durch die Quotienten $H^*(10) / H_x$ und $H'(0,07) / H_x$ bei der Umrechnung berücksichtigt.

Die von der Energie der Photonenstrahlung abhängigen Faktoren können der Abbildung 14 entnommen werden.

Für praktische Anwendungen kann der Umrechnungsfaktor der Tabelle 20 entnommen werden.

Wenn keine Kenntnisse über die spektrale Verteilung des Röntgen- oder Gammastrahlenfeldes vorliegt, dann ist immer der Umrechnungsfaktor $H^*(10) / H_x = 1,3$ zu verwenden. Weil die Bundeswehr die spektrale Verteilung der Photonenfelder bei der Expositionsermittlung nicht ermittelt hat, muss sie in der Berechnung der Körperdosis (Angang D) an Stelle des Faktors 1,05 den Faktor 1,3 verwenden.

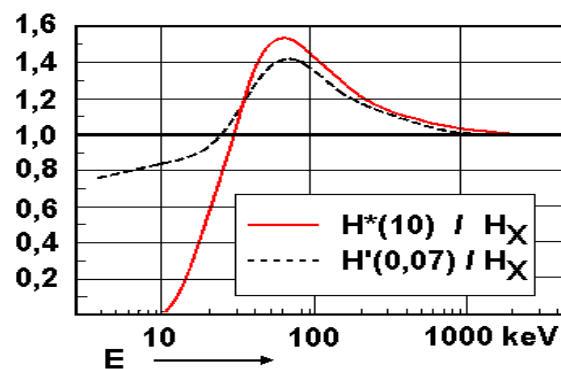


Abb. 14: Umrechnungsfaktoren für Photonenstrahlung

Tab. 20: Umrechnungsfaktoren für die Praxis

Strahlungsfeld	$H^*(10) / H_x$	$H'(0,07) / H_x$
Photonenstrahlung > 400 MeV	1,0	1,0
Photonenstrahlung 50 < MeV < 400	1,3	1,3
Photonenstrahlung MeV < 50	1,0	1,0

¹⁸ Wenn die Ortsdosis in Röntgen, rad oder rem vorlag, wurde diese in H_x umgerechnet.

ANHANG D KONZEPT DER BUNDESWEHR ZUR BERECHNUNG DER KÖRPERDOSIS

D.1 EINLEITUNG

Expositionsermittlung der Wehrbereichsverwaltung Süd für das Radarsystem AN/CPN-4.

Der Ausgangspunkt für die Berechnung der Organdosen und der effektiven Dosis sind messtechnisch oder rechnerisch ermittelte Ortsdosen an den Waffensystemen. Die gemessene Photonen-Äquivalentdosis kann als Schätzwert für die effektive Dosis verwendet werden.

D.2 METHODE DER WBV SÜD ZUR BERECHNUNG DER KÖRPERDOSIS

Aus dem Zeitraum von 1956 bis 1976 liegen keine Messwerte über die erhaltenen Dosen der Soldaten an den Waffensystemen vor. Erst in der Aufklärungsphase ab 1976 wurden retrospektiv Ortsdosen ermittelt, die größtenteils nicht von den Originalen sondern von den inzwischen ersetzten Waffensystemen oder von Exponaten stammen. Die nachträglich ermittelten Ortsdosen wurden den Soldaten, wenn sie einen Versorgungsantrag gestellt haben, als erhaltene Dosen zugeordnet. Sie wurden von der Bundeswehr zur Berechnung¹⁹ der Körperdosis verwendet. Im Teilbericht AN/FPN-33/36 beschreibt die AG Radar (im Auftrag des BMVg), dass am Kompassring der Sichtkonsole Ortsdosisleistungen in Höhe von 10,5 mR/h (105,0 µSv/h) im Abstand von 5 cm und 0,75 mR/h (7,5 µSv/h) im Abstand von 30 cm gemessen wurden. Diese Werte wurden dem Radarsystem AN/CPN-4 zugeordnet. Folgend analysieren wir die von der WBV Süd benutzte Berechnungsmethode am Beispiel der Radarsystems AN/CPN-4.

Die AG Radar hat unter der Annahme, dass an den sechs Sichtgeräten des AN/CPN-4 Fluglotsen²⁰ und Radarmechniker 10 Monate im Jahr eingesetzt wurden, folgende jährliche Aufenthaltsdauern an Sichtkonsolen angesetzt:

- **Fluglotse:** 80 Stunden/Monat * 10 Monate/Jahr = 800 Stunden / Jahr.
- **Radarmechniker:** 20 Stunden/Monat * 10 Monate/Jahr = 200 Stunden / Jahr.

In der Tabelle 21 sind die von der WBV Süd berechneten Organdosen und effektiven Dosen für den Fluglotsen und in Tabelle 22 für den Radarmechniker aufgeführt.

¹⁹ SSK Band 43 ist Berechnungsgrundlagen für die Ermittlung von Körperdosen bei äußerer Strahlenexposition

²⁰ Die Bezeichnungen Fluglotse (in diesem Dokument) und Operator (im Teilbericht der AG Radar) werden synonym benutzt

Tab. 21: Berechnung der Körperdosis für einen Fluglotsen

Spalte 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kopf, Oberkörper Strahlenfeld ap) für RA 226 als Operator									
	Photonen-Äquivalenz-Dosisleistung Messwert	Expositionsdauer pro Jahr	Photonen-Äquivalentdosis pro Jahr	Konversionsfaktor aus SSK Band 43 abb. 3.1	Umgebungs Äquivalentdosis pro Jahr	Konversionsfaktor aus SSK Band 43 Abb. 3.8-3.3,1	Gewebe-wichtungsfaktor (R&V Anlage 3)	Organdosis pro Jah (gewichtet)	Organdosis pro Jahr
	H_x	T	$H_x = H_x \times t$	$H^*(10)/H_x$	$H^*(10)=H_x \times H^*(10)/H_x$	f_k	W_T	$H_T = H_T \times W_T$	$H_T = H^*(10) \times f_k$
	[uSv/h]	[Std]	[uSv]		[uSv]			[uSv]	[uSv]
rotes Knochenmark	7,5	800,0	6000,0	1,05	6300,00	0,75	0,12	567,000	4725,000
Dickdarm	7,5	800,0	6000,0	1,05	6300,00	0,87	0,12	657,720	5481,000
Lunge	7,5	800,0	6000,0	1,05	6300,00	0,88	0,12	665,280	5544,000
Magen	7,5	800,0	6000,0	1,05	6300,00	0,97	0,12	733,320	6111,000
Blase	7,5	800,0	6000,0	1,05	6300,00	0,96	0,05	302,400	6048,000
Speiseröhre	7,5	800,0	6000,0	1,05	6300,00	0,77	0,05	242,550	4851,000
Leber	7,5	800,0	6000,0	1,05	6300,00	0,89	0,05	280,350	5607,000
Schilddrüse	7,5	800,0	6000,0	1,05	6300,00	1,10	0,05	346,500	6930,000
Haut	7,5	800,0	6000,0	1,05	6300,00	0,88	0,01	55,440	5544,000
Knochenoberfläche	7,5	800,0	6000,0	1,05	6300,00	0,88	0,01	55,440	5544,000
Hx für Tkd Hand	105,0	800,0	84000,0	1,05	88200,00				
						effektive Dosis in uSv/a		3906,000	

Im Folgenden bewerten wir die Berechnungsmethode der WBV Süd für Fluglotsen und Radarmechniker.

Spalte 1

Nur 10 Organe von insgesamt 13 Organen des Fluglotsen wurden von der Bundeswehr als bestrahlt ausgewählt. Unter der Bedingung, dass eine Ganzkörperbestrahlung vorlag, wird dadurch die Summe der Gewebewichtungsfaktoren durch den Ausschluss von Organen von 1,0 auf 0,7 reduziert. Hierdurch wird die effektive Dosis im Ergebnis um 30 % verringert ausgewiesen. Insbesondere fehlen auch die Gonaden, die für potenzielle Schädigungen an den Nachkommen zu beachten sind.

Spalte 2

Enthält für alle ausgewählten Organe und der Hand die an einer Kompassrose (Abbildung 18) des Radargerätes AN/FPN-33/36 gemessenen Ortsdosisleistungen. Nicht berücksichtigt wird der tatsächliche Abstand der Organe zu den Radiumquellen im Radartrailer des AN/CPN-4.

Spalte 3

Enthält die Aufenthaltsdauer des Fluglotsen an der Sichtkonsole von 800 Stunden / Jahr.

Spalte 4

Für jedes ausgewählte Organ wird die jährlich erhaltene Ortsdosisleistung berechnet.

Spalte 5

Enthält den Faktor $H^*(10)/H_x$. Dieser berücksichtigt Strahlenfeldveränderungen, die durch Rückstreuung und Absorption im Gewebe entstehen. Hier hätte anstelle des Wertes 1,05 der Wert von 1,3 (Abbildung 14) berücksichtigt werden müssen. Daraus folgt eine Unterschätzung der Organdosen und der effektiven Dosis um ca. 20%.

Spalte 6

Hier wird die Photonen-Äquivalentdosis H_x in die die Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ umgerechnet. Multipliziert werden die Werte in Spalte 4 mit dem Konversionsfaktor $H^*(10) / H_x$.

Spalte 7

Der Konversionsfaktor $f_k = H_k(\text{PAR}) / H_o(\text{PAR})$ - PAR steht für ein paralleles Strahlenbündel - beschreibt für jedes Organ einen Radiumquelle-Hautabstand $> 2,5$ m mit $H_k = H_T$ und $K_o = H^*(10)^{21}$. Diese Berechnung wird zur Korrektur der Feldgeometrie einer Photonenquelle angewendet. Der Faktor f_k berücksichtigt das Verhältnis der Organdosis zur Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ in Abhängigkeit von der Energie der Photonen für eine monoenergetische Bestrahlungsgometrie.

Bemerkung zur Organauswahl

Die WBV Süd ist sicherlich nach dem Teilbericht AN/CPN-4 der AG Radar davon ausgegangen, dass im Radartrailer des AN/CPN-4 nur eine einzige Radiumfarbe mit den angegebenen Ortsdosisleistungen vorhanden war und dass von dieser Quelle ein homogenes Photonenfeld ausgegangen ist. Unter dieser stark vereinfachten Annahme wurde der Aufenthaltsort bezogen auf eine einzige Radiumquelle bestimmt. Für alle Organe des Fluglotsen wurde der gleiche Abstand angenommen. Nicht berücksichtigt wurde, dass im Radartrailer des AN/CPN-4 Radiumquellen an sechs Sichtgeräten und an weiteren ca. 200 Radarkomponenten verteilt angeordnet waren.

Spalte 8

In dieser Spalte werden die den ausgewählten Organen zugewiesenen Gewebewichtungsfaktoren W_T aufgeführt (Tabelle 17).

Spalte 10

Die Umgebungsäquivalentdosen der Organe werden mit dem Faktor f_k multipliziert. Mit dieser Berechnung werden die Organdosen und die effektive Dosis ein weiteres Mal reduziert.

Spalte 9

In dieser Spalte sind die ermittelten Organdosen aufgeführt. Die Werte in Spalte 10 wurden für jedes ausgewählte Organ mit dem entsprechenden Gewebewichtungsfaktor W_T multipliziert.

Die Summierung der ausgewählten Organdosen in Spalte 9 ergibt die **effektive Dosis $E = 3.9$ mSv/a**, die der Fluglotse nach dieser Berechnung in einem Jahr erhalten hat. Die Fünf-Jahresdosis und die Lebenszeitdosis betragen 19,6 mSv. Die Teilkörperbestrahlung der Hand wurde bei der Berechnung der effektiven Dosis nicht berücksichtigt.

In Tabelle 22 wurden für den Radarmechniker unter Berücksichtigung der Aufenthaltsdauer am Sichtgerät und der erhaltenen Ortsdosisleistung die Organdosen und die effektive Dosis berechnet.

²¹ H_k ist die Körperdosis (Sammelbegriff für H_T und E), H_o ist die Ortsdosis (Sammelbegriff für $H^*(10)$ und $H^*(0,07)$)

Tab. 22: Körperberechnung für den Radarmechaniker

Spalte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Radioaktive Leuchtfarbe an Bildschirmanzeigegeräten (0,19 MeV - 2,4 MeV) Strahlenfeld ap als Radarmechaniker										
	Photonen-Äquivalenz-Dosisleistung Messwert	Expositionsdauer pro Jahr	Photonen-Äquivalentdosis pro Jahr	Konversionsfaktor aus SSK Band 43 abb. 3.1	Umgebungs-Äquivalentdosis pro Jahr	Konversionsfaktor aus SSK Band 43 Abb. 3.8-3.3,1	Gewebe-wichtungsfaktor (R _{0V} -Anlage 3)	Organdosis pro Jahr (gewichtet)	Organdosis pro Jahr	
	H _x	T	H _x = H _x x t	H*(10)/H _x	H*(10)=H _x x H*(10)/H _x	f _k	W _T	H _T = H _T xW _T	H _T = H*(10)x f _k	
	[uSv/h]	[Std]	[uSv]		[uSv]			[uSv]	[uSv]	
Gonaden (Testes)	0,0	200,0	0,0	1,05	0,00	1,08	0,2	0,00	0,00	
rotes Knochenmark	105,0	200,0	21000,0	1,05	22050,00	0,75	0,12	1984,50	16537,50	
Dickdarm	0,0	200,0	0,0	1,05	0,00	0,86	0,12	0,00	0,00	
Lunge	7,5	200,0	1500,0	1,05	1575,00	0,88	0,12	166,32	1386,00	
Magen	7,5	200,0	1500,0	1,05	1575,00	0,97	0,12	183,33	1527,75	
Blase	0,0	200,0	0,0	1,05	0,00	0,96	0,05	0,00	0,00	
Brust	7,5	200,0	1500,0	1,05	1575,00	0,98	0,05	77,18	1543,50	
Leber	0,0	200,0	0,0	1,05	0,00	0,88	0,05	0,00	0,00	
Speiseröhre	7,5	200,0	1500,0	1,05	1575,00	0,77	0,05	60,64	1212,75	
Schilddrüse	7,5	200,0	1500,0	1,05	1575,00	1,10	0,05	86,63	1732,50	
Haut	105,0	200,0	21000,0	1,05	22050,00	0,88	0,01	194,04	19404,00	
Knochenoberfläche	105,0	200,0	21000,0	1,05	22050,00	0,78	0,01	171,99	17199,00	
andere wie										
— Nebennieren	0,0	200,0	0,0	1,05	0,00	0,70	0,00625	0,00	0,00	
- Gehirn	7,5	200,0	1500,0	1,05	1575,00	0,79	0,00625	7,78	1244,25	
— Dünndarm	0,0	200,0	0,0	1,05	0,00	0,86	0,00625	0,00	0,00	
— Niere	0,0	200,0	0,0	1,05	0,00	0,70	0,00625	0,00	0,00	
- Muskel	105,0	200,0	21000,0	1,05	22050,00	0,85	0,00625	117,14	18742,50	
- Bauchspeicheldrüse	7,5	200,0	1500,0	1,05	1575,00	0,84	0,00625	8,27	1323,00	
— Milz	0,0	200,0	0,0	1,05	0,00	0,78	0,00625	0,00	0,00	
- Thymusdrüse	7,5	200,0	1500,0	1,05	1575,00	1,08	0,00625	10,63	1701,00	
						Effektive Dosis in uSv/a		3068,43		

Für den Radarmechaniker wird das gleiche Berechnungsschema wie für den Fluglotsen angewendet. Auffällig am Inhalt dieser Tabelle ist, dass sie sich bezüglich der bestrahlten Organe und Berücksichtigung der Ortsdosisleistung von 105 µSv/h stark von Tabelle 21 unterscheidet. Warum für Fluglotsen und Radarmechaniker, die am selben Sichtgerät eingesetzt wurden, eine derart unterschiedliche Körperbestrahlung unterstellt wurde, wird nicht begründet. Auch der Unterschied in der Berücksichtigung der Ortsdosisleistung von 105 µSv/h ist auffällig. In dieser Berechnung wurden ebenfalls nicht alle Radiumbeschriftungen berücksichtigt.

Im Fall des Radarmechanikers wurde die Summe der Gewebewichtungsfaktoren durch den Ausschluss von Organen von 1,0 auf 0,56 reduziert. Hierdurch wird die effektive Dosis im Ergebnis um 44 % verringert. Die Summierung der ausgewählten Organdosen in Spalte 9 ergibt eine **effektive Dosis von E = 3068,43 µSv/h = 3,07 mSv/a**, die der Radarmechaniker nach dieser Berechnung in einem Jahr erhalten hat. Die Fünf-Jahresdosis und die Lebenszeitdosis betragen **15,3 mSv**.

Die Organdosen und die effektive Dosis berücksichtigen nur die externe Exposition. Die internen Expositionen durch Inkorporation (Inhalation und Ingestion) durch Radon und Radiumröhren wurden nicht berücksichtigt. Eine Begründung für den Ausschluss liegt uns nicht vor.

Zur Bewertung der Intensität der Strahlung wurden die effektiven Dosen des Fluglotsen und des Radarmechanikers mit den Grenzwerten verglichen. Die WBV Süd bewertet diesen Vergleich damit, dass der Grenzwert für strahlenexponiertes Personal nicht überschritten wurde und dass weder der Radarmechaniker noch der Fluglotse bei ihren Tätigkeiten die ermittelten effektiven Dosen in der Praxis erreicht haben können. In Folge führt diese Bewertung bei einer Begutachtung der Gesundheitsfolgen und bei der Entscheidung über Versorgungsanträge zu einem negativen Ergebnis.

Nicht akzeptiert werden kann die nachträgliche Einstufung des exponierten Radarpersonals in die Kategorie A für beruflich strahlenexponierte Personen. Der Grenzwert von 20 mSv/a für diesen Personenkreis ist um den Faktor 20 höher als der Grenzwert von 1 mSv/h für die Bevölkerung. Damit wurde dem Radarpersonal nachträglich ein 20-fach erhöhtes Strahlenrisiko zugemutet. Dies wäre dann begründet, wenn ihre Tätigkeiten an Radiumfarben wegen der Verteidigungslage unvermeidbar gewesen wären und wenn die exponierten Soldaten zudem durch Strahlenschutzmaßnahmen und durch eine strahlenmedizinische Betreuung während der Expositionen überwacht worden wären. Nachgewiesen ist, dass dem Radarpersonal dieser Schutz während der Strahlenunfallserie von 1956 bis 1970 am AN/CPN-4 nicht gewährt wurde. Wenn diese Einstufung erst Jahre später nachträglich nach den Expositionen des Radarpersonals erfolgt, dann muss daraus geschlossen werden, dass ein für die Ablehnung der Versorgungsanträge günstiges Ergebnis erzielt werden sollte. Denn als Individualrisiko betrachtet hat eine Person, die eine effektive Dosis von 1 mSv erhält, ein zusätzliches Risiko von $5,5 \cdot 10^{-3} \%$, einen Krebstod oder Äquivalentes zu erleiden (Kapitel IV.2). Dieses Risiko erhöht sich bei 20 mSv/h um das Zwanzigfache.

Das Berechnungskonzept zur Ermittlung der effektiven Dosis wurde von der Bundeswehr angewendet, obwohl die **Radarkommission** auf Seite 39 des Radarberichtes unter **„dosimetrische Zielgrößen“ berichtet**: *„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.“* Festzustellen ist, dass die Bundeswehr ihre Zusage, den Radarbericht eins-zu-eins anzuwenden, nicht eingehalten hat.

D.3 UNTERSCHIEDSMERKMALE DER RADARSYSTEME AN/CPN-4 UND AN/FPN-33/36

Das aus den USA stammende mobile Radarsystem **AN/CPN-4**²² (Abbildung 15) wurde Mitte der 50-er Jahre von der Bundeswehr angeschafft und bis ca. 1970 auf Flugplätzen der Bundeswehr setzt. Es bestand aus einem Powertrailer und einem Radartrailer. Der Powertrailer versorgte das System mit elektrischer Energie. Im Radartrailer waren zwei kompakte, funktional unabhängige Radargeräte installiert, das Suchradargerät CPN-4 und das Landeanflugradargerät AN/MPN-11. Das AN/CPN-4 wurde auf Flugplätzen in der Nähe der Landebahnen installiert.

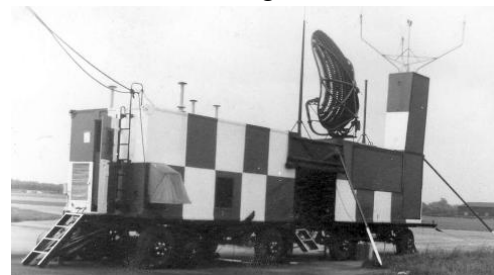


Abb. 15: Radarsystem AN/CPN-4

²² Abbildung 15 zeigt links den Powertrailer und rechts den Radartrailer.

Das ebenfalls aus den USA stammende stationäre Radarsystem AN/FPN-33 wurde ab Mitte der 60-er Jahre von der Bundeswehr angeschafft. Es löste in Phasen das Radarsystem AN/CPN-4 ab. Es bestand aus einer Radargruppe mit Sender, Empfänger und Antennen, die in der Nähe der Landebahn installiert war und aus einer Radarsichtgruppe, die abgesetzt von der Radargruppe in einem Flugsicherungsraum aufgestellt war.



Abb. 16: Radargruppe AN/FPN-33/35



Abb. 17: Sichtgruppe AN/CPN-33/36

Das AN/FPN-36 ist ein Update des AN/FPN-33. Die Fluglotsen wurden an der Radarsichtgruppe und die Radarmechaniker und Radarausbilder an der Radargruppe und der Radarsichtgruppe eingesetzt.

Die Flugsicherungsradarsysteme AN/CPN-4 und FPN-33/36 unterscheiden sich stark voneinander hinsichtlich **Alter, Aufbau, Systemtechnologie, Bauelemente, Standort, Technologie** der mechanischen und elektronischen Bauteile, **Anzahl** der radioaktiven Strahlenquellen und bezüglich der **Arbeitsplatzsituationen** des Radarpersonals.

Die Radarausbilder, Fluglotsen und Radarmechaniker wurden im geschlossenen abgedunkelten Radartrailer eingesetzt. Es war im engen geschlossenen Radartrailer ständig der ionisierenden Strahlung der Röntgenstrahler und der Strahlung der Radiumleuchtfarben ausgesetzt. Der Powertrailer diente während der Pausen als Aufenthaltsraum. Damit die Radarkomponenten und deren Beschriftungen im Dunkeln vom Radarpersonal identifiziert und bedient werden konnten, bestanden alle Beschriftungen aus radiumhaltiger Leuchtfarbe.

Nicht nachvollziehbar ist, dass die AG Radar die charakteristischen Eigenschaften des **Radarsystems** AN/CPN-4 auf eine **einzige Kompassrose** des Radargerät AN/FPN-33/36 abgebildet hat. An dieser Kompassrose wurde die Dosierermittlung durchgeführt (Abbildung 18) und nicht an den Leuchtfarbenquellen im Radartrailer des AN/CPN-4. Die Expositionsermittlung an der Kompassrose und die Messergebnisse berücksichtigt nicht die:

- Aktivitäten sämtlicher Quellen,
- Anordnungen der Quellen und deren Photonenfelder,
- systemtechnischen und funktionalen Daten und
- typischen Arbeitssituationen des Radarpersonals im engen Radartrailer des AN/CPN-4.

Expositionsermittlungen an einer Kompassrose

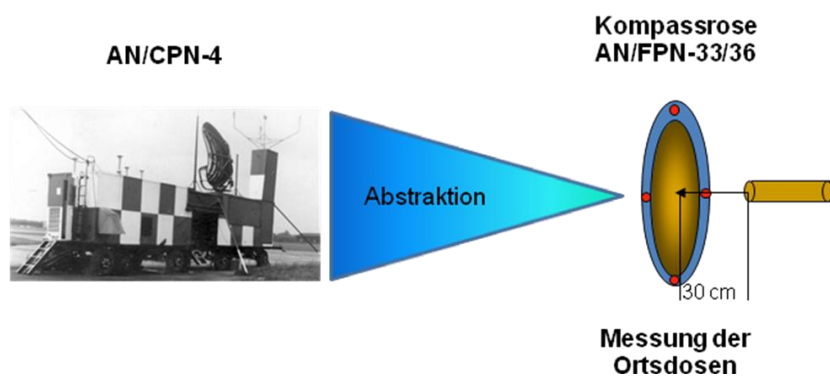


Abb. 18: Messungen erfolgten nicht im Radartrailer des AN/CPN-4, sondern an der Kompassrose des AN/FPN-33/36

D.4 ZUSAMMENFASSUNG

Die Berechnungspraxis der WBV Süd ist schon deshalb nicht begründet und insgesamt nicht haltbar, weil die unter vereinfachten Bedingungen am Radargerät AN/FPN-33/36 ermittelten Ortsdosisleistungen auf das Radarsystem AN/CPN-4 übertragen wurden. Dadurch bedingt

wurden die charakteristischen Expositionsverhältnisse des AN/CPN-4 in der Berechnung nicht berücksichtigt. Die WBV Süd bemerkt dazu, dass bei der Berechnung der effektiven Dosis insbesondere auch die Position des Beschäftigten in Relation zum Strahlenfeld und die durch Strahlung exponierten einzelnen Körperteile berücksichtigt wurden. Dem widerspricht, dass die Ortsdosis von 7,5 µSv an einem einzigen Kompassring durch eine Punktmessung im Abstand von 30 cm in der Mitte des Kompassringes ermittelt wurde. Alle anderen Radiumquellen des AN/CPN-4 und deren Feldgeometrie wurden nicht berücksichtigt.

Nicht nachvollziehbar ist die in Tabelle 23 aufgeführte unterschiedliche Organauswahl für den Radarmechniker und den Fluglotsen unter gleichen Bestrahlungsbedingungen.

Tab. 23: Der Photonenstrahlung ausgesetzte Organe

Radarpersonal	Ausgewählte Organe
Radarmechniker	Rotes Knochenmark, Lunge, Magen, Brust, Speiseröhre, Schilddrüse, Haut, Knochenoberfläche, andere wie Gehirn, Muskel, Bauchspeicheldrüse, Thymusdrüse.
Operator	Rotes Knochenmark, Dickdarm, Lunge, Magen, Blase, Speiseröhre, Leber, Schilddrüse, Haut, Knochenoberfläche.

ANHANG E
GRENZWERTE NACH STRAHLENSCHUTZVERORDNUNG

Dosisgrenzwerte²³ wurden für die Bevölkerung und für beruflich strahlenexponierte Personen festgelegt. Die vereinbarten Grenzwerte können der Tabelle 24 entnommen werden.

Tab. 24: Grenzwerte

	Kategorie A	Kategorie B	Bevölkerung
Effektive Dosis	20 mSv/a	6 mSv/a	1 mSv/h
Keimdrüsen, Gebärmutter, Knochenmark	50 mSv/a	50 mSv/a	
Gebärmutter (gebärfähige Frauen)	2 mSv/Monat	2 mSv/Monat	
Augenlinse	150 mSv/a	150 mSv/a	15 mSv/h
Haut, Hände, Unterarme, Füße	500 mSv/a	500 mSv/a	50 mSv/h
Schilddrüse, Knochenoberfläche	200 mSv/a	200 mSv/a	
Lebensarbeitszeitdosis	400 mSv/a	400 mSv/a	

E1. KATEGORIEN FÜR BERUFLICH STRAHLENEXPONIERTE PERSONEN

Personen, die einer beruflichen Strahlenexposition durch Tätigkeiten ausgesetzt sind, sind zum Zwecke der Kontrolle und arbeitsmedizinischen Vorsorge folgenden Kategorien zugeordnet:

- **Beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie B**
Personen, die einer beruflichen Strahlenexposition ausgesetzt sind, die im Kalenderjahr zu einer effektiven Dosis von mehr als 1 Millisievert oder einer höheren Organdosis als 15 Millisievert für die Augenlinse oder einer höheren Organdosis als 50 Millisievert für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße oder Knöchel führen kann, ohne in die Kategorie A zu fallen. Personen der Kategorie B halten sich in Überwachungsbereiche auf. In diesen ist die Ortsdosis oder die Ortsdosisleistung, die Konzentration radioaktiver Stoffe in der Luft und die Kontamination des Arbeitsplatzes zu messen.
- **Beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A**
Personen, die einer beruflichen Strahlenexposition ausgesetzt sind, die im Kalenderjahr zu einer effektiven Dosis von mehr als 6 Millisievert²⁴ oder einer höheren Organdosis als 45 Millisievert für die Augenlinse oder einer höheren Organdosis als 150 Millisievert für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße oder Knöchel führen kann. Personen der Kategorie A halten sich in Kontrollbereiche auf. Für diese ist die Körperdosis zu ermitteln.

Zur Schätzung des Strahlenrisikos hat die Bundeswehr die Grenzwerte für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A und nicht der Kategorie B verwendet. Eine Begründung für die nachträglich vorgenommene willkürliche Einstufung liegt nicht vor.

²³ Quelle: 2008, Artur Junkert, Strahlenschutz, Eine Information des Bundesamtes für Strahlenschutz und Strahlenschutzverordnung.

²⁴ Effektive Dosis als Anzeigewert

ANHANG F

ABGRENZUNG VON STRAHLENSCHUTZBEREICHEN

Die Räume und Umgebungen von Waffensystemen hätten bei Überschreitung von Grenzwerten zu Strahlenschutzbereichen erklärt werden müssen. Wenn Soldaten durch Waffensysteme mehr als 1 mSv/a erhalten haben, dann hätte mindestens ein Überwachungsbereich eingerichtet werden müssen.

Wenn während der Überwachung der Soldaten festgestellt worden wäre, dass sie im Kalenderjahr durch eine externe und/oder interne Exposition eine effektive Dosis von mehr als 6 mSv/a erhalten haben, hätte das Waffensystem zum Kontrollbereich erklärt werden müssen. Kontrollbereiche müssen mit dem Strahlenzeichen und der Aufschrift „Kontrollbereich“ gekennzeichnet werden. Zusatzkennzeichen sind „Vorsicht-Strahlung“, „Radioaktiv“, „Röntgen“.

Sperrbereiche hätten innerhalb von Kontrollbereichen eingerichtet werden müssen, wenn die Ortsdosisleistung am Waffensystem den Wert 1 mSv/h erreicht hätte. Das Hinweisschild wird mit „Sperrbereich – kein Zutritt“ gekennzeichnet.

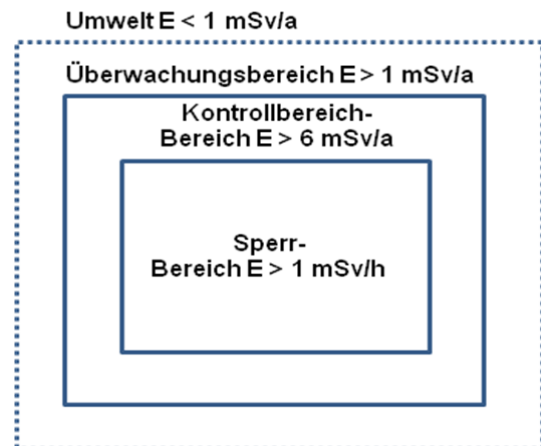


Abb. 19: Strahlenschutzbereiche

Die Bundeswehr hat keine Strahlenschutzbereiche an Waffensystemen eingerichtet.

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Radioaktiver Zerfall von Radium nach Angaben der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP (1983).....	7
Tab. 2: Leuchtfarbenbestandteile	9
Tab. 3: Dosiskoeffizienten für Radium-226 bei beruflicher Strahlenexposition nach Strahlenschutzverordnung in Sv/Bq www.bfs.de/bfs/recht/dosis.html	16
Tab. 4: Inkorporierte Farbmengen zur Erzeugung von 100 mSv Organdosis bei Radium-226-Konzentration in der Farbe von 2 MBq/g.	17
Tab. 5: Dosisleistung in Organen und Geweben durch Inhalation von Radon-222 und Folgeprodukten in Abhängigkeit von der Radonkonzentration nach Jacobi und Roth 1995 attached fraction 0,6; Atemrate 1,25 m³/h.....	20
Tab. 6: Dosisleistung an der Basis der Epidermis und mittlere Dosisleistung in der Basalschicht* durch die Alphastrahlung nach Deposition von Po-218 und Po-214 (jeweils gleiche Aktivität) auf der unbedeckten Haut, nach Eatough 1997, 1999	22
Tab. 7: Angaben über die Wahrscheinlichkeit der Strahleninduktion für Knochensarkome durch Radium in Abhängigkeit von der Dosis	27
Tab. 8: Befunde über Erkrankungen durch Radium (außer Knochentumore) und Radon (außer Lungenkrebs)	29
Tab. 9: Dosiswirkungsangaben für benigne ZNS-Tumore	32
Tab. 10: Benigne Tumore als Spätschaden nach Strahlentherapie gutartiger und bösartiger Erkrankungen	34
Tab. 11: Strahleninduzierte Krebserkrankungen im Kindesalter nach präkonzeptioneller beruflicher oder diagnostischer Niederdosisbestrahlung	38
Tab. 12: Reale Messwerte der Ortsdosisleistung	56
Tab. 13: Radioaktive Bauteile AU76	57
Tab. 14: Arten von Messgrößen des Strahlenschutzes	59
Tab. 15: Strahlungswichtungsfaktoren	62
Tab. 16: Gewebewichtungsfaktoren vor 2007	63
Tab. 17: Gewebewichtungsfaktoren nach ICRP 2007	63
Tab. 18: Messgrößen und Umrechnungen	64
Tab. 19: Frühere und geltende Messgrößen	66
Tab. 20: Umrechnungsfaktoren für die Praxis	67
Tab. 21: Berechnung der Körperdosis für einen Fluglotsen	69
Tab. 22; Körperberechnung für den Radarmechaniker	71

Tab. 23: Der Photonenstrahlung ausgesetzte Organe 74

Tab. 24: Grenzwerte 75

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<i>Abb. 1: Punktstrahler</i>	10
<i>Abb. 2: Typische Radarkomponente</i>	12
<i>Abb. 3: Linienstrahler</i>	13
<i>Abb. 4: Flächenstrahler</i>	14
<i>Abb. 5: Kompassring</i>	14
<i>Abb. 6: Abstand zum Torus</i>	14
<i>Abb. 7: Angabe von Doerfel, Karlsruhe, nach Modellierung von ICRP: Zeitlicher Verlauf der Aktivität von Ra-226 im Körper nach einmaliger Zufuhr von 1 Bq Ra-226 durch Ingestion (Zeitraum 1-10000 Tage nach der Zufuhr); d Tage</i>	44
<i>Abb. 8: Messwerte über den zeitlichen Verlauf der Radiumaktivität nach einmaliger Zufuhr in erwachsenen Männern nach Angaben aus der Literatur (ICRP 1973)</i>	44
<i>Abb. 9: Absorption durch</i>	<i>Fehler! Textmarke nicht definiert.</i>
<i>Abb. 10: Absorption durch Gewebe</i>	<i>Fehler! Textmarke nicht definiert.</i>
<i>Abb. 11: Ausgezeichnetes und aufgeweitetes Strahlungsfeld</i>	<i>Fehler! Textmarke nicht definiert.</i>
<i>Abb. 12: Aufgeweitetes Strahlungsfeld</i>	<i>Fehler! Textmarke nicht definiert.</i>
<i>Abb. 13: Dosismessungen an einer Radiumfarbe</i>	<i>Fehler! Textmarke nicht definiert.</i>
<i>Abb. 14: Umrechnungsfaktoren für Photonenstrahlung</i>	<i>Fehler! Textmarke nicht definiert.</i>
<i>Abb. 15: Radarsystem AN/CPN-4</i>	<i>Fehler! Textmarke nicht definiert.</i>
<i>Abb. 16: Radargruppe AN/FPN-33/35</i>	<i>Fehler! Textmarke nicht definiert.</i>
<i>Abb. 17: Sichtgruppe AN/CPN-33/36</i>	<i>Fehler! Textmarke nicht definiert.</i>
<i>Abb. 18: Messungen erfolgten nicht im Radartrailer des AN/CPN-4, sondern an der Kompassrose des AN/FPN-33/36</i>	<i>Fehler! Textmarke nicht definiert.</i>
<i>Abb. 19: Strahlenschutzbereiche</i>	<i>Fehler! Textmarke nicht definiert.</i>

REFERENZEN

- Adams, E.E., Brues, A.M., Anast, G.A.: Survey of ocular cataracts in radium dial workers. *Health Phys.* 44, Suppl. No 1 (1983) 73-79
- AG Radar: Arbeitsgruppe Aufklärung der Arbeitsplatzverhältnisse Radar, beauftragt durch das BMVg, Radaranlage NASARR (Starfighter F-104G)- Teilbericht, Munster 2002
- AG Radar: Arbeitsgruppe Aufklärung der Arbeitsplatzverhältnisse Radar, beauftragt durch das BMVg, Teilbericht Flugsicherungsradargerät AN/CPN-4, Munster Mai 2002
- AG Radar: Arbeitsgruppe Aufklärung der Arbeitsplatzverhältnisse Radar, beauftragt durch das BMVg, Teilbericht Flugsicherungsradargeräte AN/FPN-33 und AN/FPN-36, Munster Januar 2003
- Ainsbury, E.A., Bouffler, S.D., Dörr, W. et al.: Radiation cataractogenesis: a review of recent studies. *Radiat. Res.* 172 (2009) 1-9
- Agadzhanian, A.V., Suskov, I.: Genomic instability in children born after the Chernobyl nuclear accident (in vivo and in vitro studies). (In Russ.) *Genetika* 46 (2010) 834-843
- Akar, N., Cavdar, A.O., Arcasoy, A.: High incidence of Neural Tube defects in Bursa, Turkey. *Paediatric and Perinatal Epidemiol.* 2 (1988) 89-92
- Averbeck, D.: Non-targeted effects as a paradigm breaking evidence. *Mutat. Res.* 687 (2010) 7-12
- Bhatia, S., Yasui, Y., Robison, L.L. et al.: High risk of subsequent neoplasms continues with extended follow-up of childhood Hodgkin's disease: report from the late effects study group. *J. Clin. Oncol.* 21 (2003) 4386-4394
- Baverstock, K., Belyakov, O.V.: Some important questions connected with non-targeted effects. *Mutat. Res.* 687 (2010) 84-88
- Bean, J.A., Isacson, P., Hahne, R.M.A., Kohler, J.: Drinking water and cancer incidence in Iowa. II. Radioactivity in drinking water. *Am. J. Epidemiol.* 116 (1982) 924-932
- BEIR VI: Committee on Health Risks of Exposure to Radon, National Research Council: Health Effects of Exposure to Radon. Nat. Academy Press, Washington D.C. 1999; www.nap.edu
- BEIR VII PHASE 2: Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, Nat. Academies Press, Washington D.C. 2006, www.nap.edu
- Berger, Dieter F., Strahlenmessstelle Süd der Bundeswehr bei der Wehrbereichsverwaltung VI, Gutachten zur Wehrdienstbeschädigung durch Strahlenbelastung von Herbert Jelinek PkNr.:020340-J-60716, Sonthofen 11.09.2001
- Bundesgesundheitsamt, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene: Gutachterliche Stellungnahme zur Verwendung radioaktiver Leuchtfarben in Navigationsinstrumenten der Flugzeugkanzel. Von W. Seelentag, H. Schmier, Kossel, Berlin 13.4.1962
- Busby, C., Lengfelder, E., Pflugbeil, S., Schmitz-Feuerhake, I.: The evidence of radiation effects in embryos and fetuses exposed to Chernobyl fallout and the question of dose response. *Medicine, Conflict and Survival* 25 (2009) 20-40
- Charles, M.W. : Radon exposure of the skin: I. Biological effects. *J. Radiol. Prot.* 27 (2007) 231-252 (a)
- Charles, M.W.: Radon exposure of the skin: II. Estimation of the attributable risk for skin cancer incidence. *J. Radiol. Prot.* 27 (2007) 253-274 (b)
- Caglayan, S. Kayhan, B., Mentessoglu, S., Aksit, S.: Changing incidence of neural tube defects in Aegean Turkey. *Paediatric and Perinatal Epidemiol.* 4 (1990) 264-268
- Cech, I., Burau, K.D., Walston, J.: Spatial distribution of orofacial cleft defect births in Harris County, Texas, 1990 to 1994, and historical evidence for the presence of low-level radioactivity in tap water. *Southern Medical Ass.* 100 (2007) 560-569
- Cech, I., Patnaik, A., Burau, K.D., Smolensky, M.H.: Spatial distribution of orofacial cleft defect births in Harris County, Texas, and radium in the public water supplies: a persistent association? *Tex. Med.* 104 (2008) 56-63
- Chmelevsky, D., Mays, C.W., Spiess, H., Stefani, F.H., Kellerer, A.M.: An epidemiological assessment of lens opacifications that impaired vision in patients injected with radium-224. *Radiat. Res.* 115 (1988) 238-257

- Colman, M., Kirsch, M., Creditor, M.: Radiation induced tumors. In Int. Atomic Energy Agency: "Late Biological Effects of Ionizing Radiation" Vol.I, Wien 1978, IAEA-SM 224/706
- Darby, S.C., Radford, E.P. Whitley, E.: Radon exposure and cancers other than lung cancer in Swedish iron miners. *Environ. Health Persp.* 103 (1995) Suppl. 2, 45-47
- David, Eduard: Gesundheitliches Risiko beim Betrieb von Radareinrichtungen in der Bundeswehr. Gutachten im Auftrag des Bundesministers für Verteidigung. Universität Witten/Herdecke
- Degrave, E., Meeusen, B., Grivegnée, A.-R., Boniol, M., Autier, P.: Causes of death among Belgian professional military radar operators : A 37-year retrospective cohort study. *Int. J. Cancer* 124 (2009) 945-951
- Degrave, E., Autier, P.: Reply: causes of death among Belgian professional military radar operators: a 37-year retrospective cohort study. *Int. J. Cancer* 127 (2010) 999
- Dickinson, H.O., Parker, I.: Leukaemia and non-Hodgkin's lymphoma in children of male Sellafield radiation workers. *Int. J. Cancer* 99 (2002) 437-444
- Eatough, J.P., Henshaw, D.L.: Radon and prostate cancer. *Lancet* May 335 (1990) 1292
- Eatough, J.P., Henshaw, D.L.: Radon and thoron dose to the skin. *Phys. Med. Biol.* 37 (1992) 955-967
- Eatough, J.P.: Alpha-particle dosimetry for the basal layer of the skin and the radon progeny 218-Po and 214-Po. *Phys. Med. Biol.* 42 (1997) 1899-1911
- Eatough, J.P., Worley, A., Moss, A.R.: Personal monitoring of 218Po and 214Po radionuclide deposition onto individuals under normal environmental exposure conditions. *Phys. Med. Biol.* 44 (1999) 2227-2239
- Evrard, A.S., Hemon, D., Billon, S. et al. : Childhood leukemia incidence and exposure to indoor radon, terrestrial and cosmic gamma radiation. *Health Phys.* 90 (2006) 569-579
- Finkelstein, M.M., Kreiger, N.: Radium in drinking water and risk of bone cancer in Ontario youths: a second study and combined analysis. *Occup. Environ. Med.* 53 (1996) 305-311
- Friedler, G.: Paternal exposures: impact on reproductive and developmental outcome. An overview. *Pharmacol. Biochem. Behav.* 55 (1996) 691-700
- Forastiere, F., Quercia, A., Cavariani, F., Miceli, M., Perucci, C.A., Axelson, O.: Cancer risk and radon exposure. *Lancet* 339 (1992) 1115
- Fujiwara, S., Suyama, A., Cologne, J.B., Akajoshi, M., Yamada, M., Suzuki, G., Koyama, K. et al.: Prevalence of adult-onset multifactorial disease among offspring of atomic bomb survivors. *Radiat. Res.* 170 (2008) 451-457
- Gardner, M.J., Snee, M.P., Hall, A.J., Powell, A.J., Downes, S., Terrell, J.D.: Results of case-control study of leukaemia and lymphoma among young people near Sellafield nuclear plant in West Cumbria. *Brit. Med. J.* 300 (1990) 423-429
- Gardner, M.J., Hall, A.J., Snee, M.P., Downes, S., Powell, A.J., Terrell, J.D.: Methods and basic data of case-control study of leukaemia and lymphoma among young people near Sellafield nuclear plant in West Cumbria. *Brit. Med. J.* 300 (1990) 429-434
- Gössner, W., Wick, R.R., Spiess, H.: Histopathological review of radium-224 induced bone sarcomas. In van Kaick, G., Karaoglou, A., Kellerer, A.M. (Editors): Health effects of internally deposited radionuclides. Emphasis on radium and thorium. World Scientific, Singapore, New Jersey, London, Hong Kong 1995, p. 255-259
- Golde, G. Diplomphysiker: Umgang mit radioaktiven Leuchtfarben bei der Bundeswehr (Ra 226). Bericht für den Bund zur Unterstützung Radargeschädigter e.V. Kaufbeuren, 2005
- Graham, S., Levin, M.L., Lilienfeld, A.M. et al.: Preconception, intrauterine, and postnatal irradiation as related to leukemia. *Natl. Cancer Inst. Monogr.* 19, 1966, 347-371
- Güvenc, H., Uslu, M.A., Güvenc, M., Ozkici, U., Kocabay, K., Bektas, S.: Changing trend of neural tube defects in Eastern Turkey. *J. Epidemiol. Community Health* 47 (1993) 40-41
- Hardell, L., Mild, K.H., Pahlson, A., Hallquist, A.: Ionizing radiation, cellular telephones and the risk for brain tumours. *Eur. J. Cancer Prev.* 10 (2001) 523-529
- Hardell, L., Carlberg, M.: Mobile phones, cordless phones and the risk for brain tumours. *Int. J. Oncol.* 35 (2009) 5-17
- Hardell, L., Carlberg, M., Hansson Mild, K.: Epidemiological evidence for an association between use of wireless phones and tumour diseases. *Pathophysiology* 16 (2009) 113-122

- Hardell, L., Carlberg, M., Hansson Mild, K.: Mobile phone use and the risk for malignant brain tumors: a case-control study on deceased cases and controls. *Neuroepidemiology* 35 (2010) 109-114
- Harley, N.H., Robbins, E.S.: Radon and leukemia in the Danish study: another source of dose. *Health Physics* 97 (2009) 343-347
- Hempelmann, L.H., Hall, W.J., Philipps, M., Cooper, R.A., Ames, W.R.: Neoplasms in persons treated with X-rays in infancy: fourth survey in 20 years. *J. Natl. Cancer Inst.* 55 (1975) 519-530
- Henshaw, D.L., Eatough, J.P., Richardson, R.B.: Radon as a causative factor in induction of myeloid leukaemia and other cancers, *Lancet* April 28 (1990) 1008-1012
- Hess, C.T., Weiffenbach, C.V., Norton, S.A.: Environmental radon and cancer correlations in Maine. *Health Phys.* 45 (1983) 339-348
- Hicks, N., Zack, M., Caldwell, G.G., Fernbach, D.J., Falletta, J.M.: Childhood cancer and occupational radiation exposure in parents. *Cancer* 53 (1984) 1637-1643
- Hoffmann, W., Kranefeld, A., Schmitz-Feuerhake, I.: Radium-226-Contaminated Drinking Water: Hypothesis on an exposure pathway in a population with elevated childhood leukemia. *Environm. Health Persp.* 101 (1993) Suppl. 3: 113-115
- Holmberg, E., Wallgren, A., Holm, L.-E., Lundell, M., Karlsson, P.: Dose-response relationship for parathyroid adenoma after exposure to ionizing radiation in infancy. *Radiat. Res.* 158 (2002) 418-423
- ICRP, Int. Commission on Radiological Protection: Radiosensitivity and spatial distribution of dose. ICRP-Publ. 14, Pergamon Press, Oxford 1969
- ICRP, International Commission on Radiological Protection: Alkaline earth metabolism in adult man. ICRP Publication 20. Oxford:Pergamon 1973
- ICRP, International Commission on Radiological Protection: Radionuclide transformations: energy and intensity of emissions. ICRP Publication 38. *Annals of the ICRP Vols.* 11-13 (1983)
- ICRP, Int. Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP-Publ.60, Ann. ICRP 1991; 21(No.1/3)
- ICRP, International Commission on Radiological Protection: Age-dependant doses to members of the public from intake of radionuclides. Part 2. Ingestion dose coefficients. ICRP Publ. 67, Ann. ICRP 23 (1993) No.3/4
- ICRP, Int. Commission on Radiological Protection: Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. ICRP-Publ.66, Ann. ICRP 24 (1994) No.1/3
- ICRP, Int. Commission on Radiological Protection: Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: Reference Values. ICRP-Publication 89, Ann. ICRP 32 (2002) No. 3-4
- ICRP, International Commission on Radiological Protection: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.) ICRP-Publication 103, Ann. ICRP 37 Nos. 2-4 (2007)
- Inai, K., Shimizu, Y., Kawai, K. et al.: A pathology study of malignant and benign ovarian tumors among atomic-bomb survivors – case series report. *J. Radiat. Res.* 47 (2006) 49-59
- IPPNW, Ges. f. Strahlenschutz e.V.: Gesundheitliche Folgen von Tschernobyl. 20 Jahre nach der Reaktorkatastrophe. Autoren S. Pflugbeil, H. Paulitz, A. Claußen, I. Schmitz-Feuerhake. Berlin, April 2006, 76 S.
- Jacobi, W., Roth, P.: Risiko und Verursachungs-Wahrscheinlichkeit von extrapulmonalen Krebserkrankungen durch die berufliche Strahlenexposition von Beschäftigten der ehemaligen WISMUT AG. Oberschleißheim 1995. Forschungsbericht im Auftrag des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften. Institut für Strahlenschutz der Berufsgenossenschaften der Feinmechanik u. Elektrotechnik sowie der chem. Industrie (Herausg.)
- Karlsson, P., Holmberg, E., Lundberg, L.M., Nordborg, C. Wallgren, A.: Intracranial tumors after radium treatment for skin hemangioma during infancy – a cohort and case-control study. *Radiat. Res.* 148 (1997) 161-167
- Karlsson, P., Holmberg, E., Lundell, M., Mattsson, A., Holm, L.E., Wallgren, A.: Intracranial tumors after exposure to ionizing radiation during infancy: a pooled analysis of two Swedish cohorts of 28,008 infants with skin hemangioma. *Radiat. Res.* 150 (1998) 357-364
- Karunanayake, C.P., McDuffie, H.H., Dosman, J.A., Spinelli, J.J., Pahwa, P.: Occupational exposures and non-Hodgkin's lymphoma: Canadian case-control study. *Environ. Health* 7 (2008) 44-54

- Källén, B., Karlsson, P., Lundell, M., Wallgren, A., Holm, L.E.: Outcome of reproduction in women irradiated for skin hemangioma in infancy. *Radiat. Res.* 149 (1998) 202-208
- Khurana, V.G., Teo, C., Kundi, M., Hardell, L., Carlberg, M.: Cell phones and brain tumors: a review including the long-term epidemiologic data. *Surg. Neurol.* 72 (2009) 205-214
- Khurana, V.G., Hardell, E., Everaert, J., Bortkiewicz, A., Carlberg, M., Ahonen, M.: Epidemiological evidence for a health risk from mobile phone base stations. *Int. J. Occup. Environ. Health* 16 (2010) 263-267
- Kiefer, Prof. Dr. Jürgen: Gutachten zur Auslösung benigner Tumore durch ionisierende Strahlung. Für das Sozialgericht Stade Az. S 21 VS 27/04, vom 1.11.2007
- Land, C.E., Saku, T., Hayashi, Y. et al.: Incidence of salivary gland tumors among atomic bomb survivors, 1950-1987. Evaluation of radiation-related risk. *Radiat. Res.* 146 (1996) 28-36
- Little, M.P., de Vathaire, F., Shamsaldin, A. et al.: Risks of brain tumour following treatment for cancer in childhood: modification by genetic factors, radiotherapy and chemotherapy. *Int. J. Cancer* 78 (1998) 269-275
- Lyman, G.H., Lyman, C.G., Johnson, W.: Association of leukemia with radium groundwater contamination. *J. Am. Med. Ass.* 254 (1985) 621-626
- Mays, C.W.: Die Wirkung von Radium-224 bei Kindern und Erwachsenen. *Monatsschr. Kinderheilk.* 128 (1980) 595-597
- Mays, C.W., Rowland, R.E.: Cancer risk from the lifetime intake of Ra and U isotopes. *Health Physics* 48 (1985) 635-647
- McKinney, P.A., Alexander, F.E., Cartwright, R.A., Parker, L.: Parental occupations of children with leukemia in west Cumbria, north Humberside, and Gateshead. *Br. Med. J.* 302 (1991) 681-687
- Minniti, G., Traish, D., Ashley, S., Gonsalves, A., Brada, M.: Risk of second brain tumor after conservative surgery and radiotherapy for pituitary adenoma: update after an additional 10 years. *J. Clin. End. & Metab.* 90 (2005) 800-804
- Mocan, H., Bozkaya, H., Mocan, Z.M., Furtun, E.M.: Changing incidence of anencephaly in the eastern Black Sea region of Turkey and Chernobyl. *Paediatric and Perinatal Epidemiol.* 4 (1990) 264-268
- Modan, B., Baidatz, D., Mart, H., Steinitz, R., Levin, S.G.: Radiation-induced head and neck tumors. *Lancet* Febr. 23 (1974) 277-279
- Modan, B., Chetrit, A., Alfandary, E. et al.: Increased risk of salivary gland tumors after low-dose irradiation. *Laryngoscope* 108 (1998) 1095-1097
- Muggenburg, B.A., Hahn, F.F., Griffith Jr., W.C.; Boecker, B.B.: The biological effects of ²²⁴Ra injected into dogs. In van Kaick, G., Karaoglou, A., Kellerer, A.M. (Editors): Health effects of internally deposited radionuclides. Emphasis on radium and thorium. World Scientific, Singapore, New Jersey, London, Hong Kong 1995, p. 299-306
- Natarajan, N., Bross, I.D.J.: Preconception radiation leukemia. *J. Med.* 4, 1973, 276-281
- Neel, J.V., Schull, W.J., Awa, A.A., Satoh, C., Kato, H., Otake, M., Yoshimoto, Y.: The children of parents exposed to atomic bombs: estimates of the genetic doubling dose of radiation for humans. *Am. J. Hum. Genet.* 46 (1990) 1053-1072
- Nekolla E.A., Kreisheimer, M., Kellerer, A.M., Kuse-Isingschulte, M., Gössner, W., Spiess, H.: Induction of malignant bone tumors in Radium-224 patients: risk estimates based on the improved dosimetry. *Radiat. Res.* 153 (2000) 93-103
- Neglia, J.P., Robison, L.L., Stovall, M. et al.: New primary neoplasms of the central nervous system in survivors of childhood cancer: a report from the Childhood Cancer Survivor Study. *J. Natl. Cancer Inst.* 98 (2006) 1528-1237
- Nekolla, E.A., Walsh, L., Spiess, H.: Incidence of malignant diseases in humans injected with radium-224. *Radiat. Res.* 174 (2010) 377-386
- Pogoda, J.M., Preston-Martin, S.: Comment on "Incidence of salivary gland tumors among atomic bomb survivors, 1950-1987. Evaluation of radiation-related risk". *Radiat. Res.* 146 (1996) 356
- Preston DL, Ron E, Yonehara S et al. Tumors of the nervous system and pituitary gland associated with atomic bomb radiation exposure. *J. Natl. Cancer Inst.* 94 (2002) 1555-1563

- Preston, D.L., Shimizu, Y., Pierce, D.A., Suyama, A., Mabuchi, K.: Studies of mortality of atomic bomb survivors, Report 13: solid cancer and noncancer disease mortality: 1950-1997. *Radiat. Res.* 160 (2003) 381-407
- Raaschou-Nielsen, O., Andersen, C.E., Andersen, H.P., Gravesen, P., Lind, M., Schüz, J., Ulbak, K.: Domestic radon and childhood cancer in Denmark. *Epidemiol.* 19 (2008) 536-543
- Rasmuson, T., Damber, L., Johansson, L., Johansson, R., Larsson, L.G.: Increased incidence of parathyroid adenomas following x-ray treatment of benign diseases in the cervical spine in adult patients. *Clin. Endocrinol.* 57 (2002) 731-734
- Radarkommission, Expertenkommission zur Frage der Gefährdung durch Strahlung in früheren Radareinrichtungen der Bundeswehr und der NVA: Bericht, Berlin, 2.Juli 2003 www.bfs.de/bfs/fue-beitraege/radar/abschlussbericht.html
- Richardson, D.B., Wing, S., Schroeder, J., Schmitz-Feuerhake, I., Hoffmann, W.: Ionizing radiation and chronic lymphocytic leukemia. *Environm. Health Persp.* 113, 2005, 1-5
- Richardson, R.B., Eatough, J.P., Henshaw, D.L.: Dose to red bone marrow from natural radon and thoron exposure. *Brit. J. Radiology* 64 (1991) 608-624
- Ron, E., Modan, B., Boice, J.D., Alfandary, E., Stovall, M., Chetrit, A., Katz, L.: Tumors of the brain and nervous system after radiotherapy in childhood. *N: Engl. J. Med.* 319 (1988) 1033-1039
- Rowland, R.E.: Dose-response relationships for female radium dial workers: a new look. In van Kaick, G. u.a. (Eds.): *Health effects of internally deposited radionuclides: emphasis on radium and thorium.* World Scientific Singapore, New Jersey, London, Hong Kong 1994, p. 135-143
- Sadetzki, S., Chetrit, A., Freedmann, L., Stovall, M., Modan, B., Novikov, I.: Long-term follow-up for brain tumor development after childhood exposure to ionizing radiation for Tinea capitis. *Radiat. Res.* 163 (2005) 424-432
- Sato, Y., Akiba, S., Kubo, O., Yamaguchi, N.: A case-control study of mobile phone use and acoustic neuroma risk in Japan. *Bioelectromagnetics* 32 (2011) 85-93
- Schmitz-Feuerhake, I.: Bewertung neuer Dosisfaktoren. In Dannheim, B. et al.: *Strahlengefahr für Mensch und Umwelt. Bewertungen der Anpassung der deutschen Strahlenschutzverordnung an die Forderungen der EU-Richtlinie 96/29/Euratom.* Berichte des Otto Hug Strahleninstituts Nr. 21-22, 2000, S. 55-74
- Schmitz-Feuerhake, I., Pflugbeil, S.: Die Strahleninduzierbarkeit der Chronisch Lymphatischen Leukämie (CLL). *Strahlentelex* Nr. 426-427 v. 7.10.04, 1-5
- Schmitz-Feuerhake, I., Pflugbeil, S.: Strahleninduzierte Katarakte (Grauer Star) als Folge berufsmäßiger Exposition und beobachtete Latenzzeiten. *Strahlentelex* Nr. 456-457 v. 5.1.2006a, S. 1-7
- Schmitz-Feuerhake, I., Hoffmann, W., Pflugbeil, S.: Wie sichhaltig sind die Dosisbestimmungen für Bevölkerungen durch den Tschernobylfallout? Vergleich der Ergebnisse durch physikalische und biologische Dosimetrie. *Int. Kongress Ges. f. Strahlenschutz: „20 Jahre nach Tschernobyl“* Berlin, 3.-5. April 2006b
- Schmitz-Feuerhake, I.: Die Induktion gutartiger Tumore durch ionisierende Strahlung – ein vernachlässigtes Kapitel von Strahlenrisikobetrachtungen. *Strahlentelex* Nr. 548-549 (2009) 1-5
- Schmitz-Feuerhake, I., Pflugbeil, S., Pflugbeil, C.: Röntgenrisiko: Abschätzung der strahlenbedingten Meningeome und anderer Spätschäden bei Exposition des Schädels. *Gesundheitswesen* 72 (2010) 246-254
- Schneider, A.B., Lubin, J.L., Ron, E., Abrahams, C., Stovall, M., Goel, A., Shore-Freedman, E., Gierlowski, C.: Salivary gland tumors after childhood radiation treatment for benign conditions of the head and neck: dose-response relationships. *Radiat. Res.* 149 (1998) 625-630
- Sever, L.E., Gilbert, E.S., Hessol, N.A., McIntyre, J.M.: A case-control study of congenital malformations and occupational exposure to low-level ionizing radiation. *Am. J. Epidemiol.* 127 (1988) 226-242
- Shimizu, Y., Kodama, K., Nishi, N., Kasagi, F., Suyama, A., Soda, M., Grant, E.J., Sugiyama, H., Sakata, R., Moriwaki, H., Hayashi, M., Konda, M., Shore, R.E.: Radiation exposure and circulatory disease risk: Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivor data, 1950-2003. *Brit. Med. J.* 340 (2010):b5349
- Shiono, P.H., Chung, C.S., Myrianthopoulos, N.C.: Preconception radiation, intrauterine diagnostic radiation, and childhood neoplasia. *J. Natl. Cancer* 65 (1980) 681-686
- Shore, R.E., Moseson, M., Harley, N., Pasternack, B.S.: Tumors and other diseases following childhood x-ray treatment for ringworm of the scalp (Tinea Capitis). *Health Phys.* 85 (2003) 404-408

- Shore, R.E., Neriishi, K., Nakshima, E.: Epidemiological studies of cataract risk at low to moderate radiation doses: (not) seeing is believing. *Radiat. Res.* 174 (2010) 889-894
- Shu, X.O., Gao, Y.T., Brinton, L.A., Linet, M.S., Tu, J.T., Zheng, W., Fraumeni, J.F.: A population-based case-control study of childhood leukemia in Shanghai. *Cancer* 62 (1988) 635-644
- Shu, X.O., Reaman, G.H., Lampkin, B., Sather, H.N., Pendergrass, T.W., Robison, L.L.: Association of paternal diagnostic x-ray exposure with risk of infant leukemia. *Cancer Epidemiol., Biomarkers & Prevention* 3 (1994) 645-653
- Spieß, H.: Life-span study on late effects of ^{224}Ra in children and adults. *Health Phys.* 99 (2010) 286-291
- Seelentag, W., Klotz, E.: Die Strahlenbelastung der Bevölkerung durch Leuchtzifferblätter und Uhren. *Strahlentherapie* 110 (1959) 606-621
- Sevcova, M., Sevc, J., Thomas, J.: Alpha irradiation of the skin and the possibility of late effects. *Health Phys.* 35 (1978) 803-806
- Southwood, W.F.W.: The thickness of the skin. *Plast. Reconstr. Surg.* 15 (1955) 423-429
- Stewart, A., Webb, J., Hewitt, D.: A survey of childhood malignancies. *Brit. Med. J.* (1958) 1495-1508
- SSK. Attributives Lungenkrebsrisiko durch Radon-Expositionen in Wohnungen. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission. 208. Sitzung der SSK am 11./12.07.2006. Bundesanzeiger Nr.81 vom 28.04.2007. www.ssk.de
- Strahlenmessstelle Nord der Bundeswehr bei der Wehrbereichsverwaltung VI: Strahlenschutzprüfung an Versorgungsartikeln auf radioaktive Leuchtfarbe. Kompassrose mit Ra-226-haltiger Leuchtfarbe. Bericht Nr.: P 455/02, Munster, Dr. Schirmer vom 16.06.2004, Az 47-04-20
- Straume, T.: High-energy gamma rays in Hiroshima and Nagasaki: implications for risk and w_R . *Health Physics* 69 (1995) 954-956
- Takeichi, N., Dohi, K., Ito, H. et al.: Parathyroid tumors in atomic bomb survivors in Hiroshima: a review. *J. Radiat. Res. Suppl.* (1991) 189-192
- Telle-Lamberton, M.: Radiofrequency devices and hemolymphatic cancer. *Int. J. Cancer* 127 (2010) 997-998
- Turner, J.E., Huston, T.E.: ALDOSE: a computer code to calculate absorbed-dose rate, dose-equivalent rate, and dose-weighted LET as function of depth in water irradiated by an α -particle disc source. *Health Physics* 60 (1991) 581-585
- UNSCEAR 2001 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Hereditary effects of radiation. Report to the General Assembly with scientific annexes, United Nations, New York, 2001
- UNSCEAR 2008 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Sources and effects of ionizing radiation. Report to the General Assembly with scientific annexes, United Nations, New York, 2010
- Viel, J.F.: Radon exposure and leukemia in adulthood. *Int. J. Epidemiol.* 22 (1993) 627-630
- Vorobtsova, I.E.: Increased cancer risk as a genetic effect of ionizing radiation. *IARC Sci. Publ.* 96 (1989) 389-401
- Vogt, H.-G., Schultz, H.: Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes. 2. Aufl. 1992, Carl Hanser Verlag München Wien
- Walter, A.W., Hancock, M.L., Pui, C.-H. et al.: Secondary brain tumors in children treated for acute lymphoblastic leukemia at St Jude Children's Research Hospital. *J. Clin. Oncol.* 16 (1998) 3761-3767
- Weinberg, H.Sh., Korol, A.B., Kirshner, V.M. et al.: Very high mutation rate in offspring of Chernobyl accident liquidators. *Proc. R. Soc. Lond. B* 268 (2001) 1001-1005
- Wick, R.R., Atkinson, M.J., Nekolla, E.A.: Incidence of leukaemia and other malignant diseases following injections of the short-lived alpha-emitter ^{224}Ra into man. *Radiat Environ. Biophys.* 48 (2009) 287-294
- Winkler-Heil, R., Hofmann, W., Marsh, J., Birchall, A.: Comparison of Radon lung dosimetry models for the estimation of dose uncertainties. *Radiat. Protection Dosimetry* 127 (2007) 27-30
- Worgul, B.V., Kundiev, Y., Likhtarev, I., Sergienko, N., Wegener, A., Medvedovsky, C.P.: Use of subjective and nonsubjective methodologies to evaluate lens radiation damage in exposed populations - an overview. *Radiat. Environ. Biophys.* 35, 1996, 137-144
- Whitton, J.T., Everall, J.D.: The thickness of the epidermis. *Br. J. Dermatology* 89 (1973) 467-476

Yablokov, A.V.: The Chernobyl catastrophe – 20 years later. In C.C. Busby, A.V. Yablokov (Eds.), European Committee on Radiation Risk, Chernobyl: 20 Years On. Verlag Green Audit 2006 www.euradcom.org

Yablokov, A.V., Nesterenko, V.B., Nesterenko, A.V.: Chernobyl– Consequences of the catastrophe for people and the environment. Ann. New York Academy of Sciences Vol.1181, Boston 2009

Yamada, M., Wong, F.L., Fujiwara, S., Akahoshi, M., Suzuki, G.: Noncancer disease incidence in atomic bomb survivors, 1958-1998. Radiat. Res. 161 (2004) 622-632

Yamasaki, J.N., Schull, W.J.: Perinatal loss and neurological abnormalities among children of the Atomic bomb. Nagasaki and Hiroshima revisited, 1949 to 1989. JAMA 264 (1990) 605-609

Yonehara, S., Brenner, A.V., Kishikawa, M. et al.: Clinical and epidemiologic characteristic of first primary tumors of the central nervous system and related organs among atomic bomb survivors in Hiroshima and Nagasaki. Cancer 101 (2004) 1644-1654

INDEX

A

Aktivität	7, 8, 57
Aktivitätsgehalte	8
Alphastrahlung	6, 22
Äquivalentdosis	61
Arbeitsstab Dr. Leo Sommer	4
Astrozytome	41

B

BEIR-Komitee	31
Betastrahlen	6
Biologische Dosimetrie.....	39
Bystander-Effekt	39

C

Chronisch lymphatische Leukämie.....	20
--------------------------------------	----

D

Dauergleichgewicht.....	18
Dosisgrenzwerte.....	75
Dosisgrößen	58

E

effektive Dosis.....	62
Elektronen.....	6
Empfehlung	
zur Beweiserleichterung.....	12
Energiedosis	60
Erbkrankheiten.....	36

F

Fehlbildungen.....	36
Flächenstrahler	14
Fluenz	59
Folgeprodukte	6, 10

G

Gammastrahlung.....	6, 43
Ganzkörperzähler.....	43
Genomische Instabilität	39
Gliome.....	41
Gutachten	45

H

Halbwertszeit	6, 15, 17
Hautdosis	20, 21, 23
Hautkontamination	21
Helligkeitsstufen.....	8
Histiozytome	27

I

ICRP	21, 44, 58
ICUR.....	65
Ingestion.....	6, 15, 17, 44
Inhalation	6, 15, 17, 20
Ionendosis	60

K

Knochensarkomen	27
Körperdosis	68
Krebserkrankungen	26

L

Lebenszeitdosis	16
Leuchtfarben	4, 8
Leuchtfarbenbeschriftungen.....	10, 12, 56
<u>Leukämie</u>	17, 19
Linienstrahler	13
Lungenmodell	19, 20

M

Messgrößen	59
Messgrößen und Umrechnungen	64
Messwerte der Ortsdosisleistung	56
Mobilfunk.....	40

N

Neuralrohrdefekte	37
Nichtkrebserkrankungen	50

O

Offener Rücken	37
Organdosis	17, 62
Organwichtungssystem.....	20
Osteosarkome.....	27

P

Photonen	13, 14
Photonen-Äquivalent	61
Photonenfluss	13, 14
Photonenstrahlung	13

R

Rad	64
Radioaktive Bauteile	57
Radium	4, 6, 7, 8, 57
Radium-224.....	27
Radiuminkorporation.....	15
Radon	7, 18, 20, 21
Radon-222.....	6, 7, 20
Rem	64
Richtungs-Äquivalentdosis.....	65
Röntgen.....	60

S

Schachtanlage Asse.....	4
Strahlenrisiko	
Genetisches	35
Strahlenschutzbereiche	76
Strahlungswichtungsfaktor	10
Strahlungswichtungsfaktoren	62

T		WLM.....	19
Torusstrahler.....	14	Working Level Months.....	19
Tragestelle des Personendosimeters.....	66	Z	
U		Zerfallsenergien.....	10
Umgebungs-Äquivalentdosis.....	65	Zerfallsgesetz.....	17
UNSCEAR.....	35	Zerfallskette.....	7, 17
W		Zerfallskonstante.....	17
Wichtungsfaktor.....	20	Zerfallsrate.....	7, 17

AUTOREN

Inge Schmitz-Feuerhake studierte Mathematik und Physik in Hannover und Würzburg und promovierte 1966 zum Dr.rer.nat. mit einer Arbeit über den radioaktiven Fallout der Atomwaffentests. Von 1966-1973 war sie Physikerin im Institut für Nuklearmedizin der Medizinischen Hochschule Hannover und dort auch Betriebsleiterin eines Forschungsreaktors. Ihre wissenschaftlichen Arbeiten lagen auf dem Gebiet der Dosimetrie und des diagnostischen Einsatzes von radioaktiven Strahlern. Von 1973-2000 hatte sie eine Professur für Experimentelle Physik an der Universität Bremen inne. Sie forschte über Nachweisverfahren für inkorporierte Radioaktivität und die gesundheitlichen Wirkungen ionisierender Strahlung. Sie ist Gründungsmitglied der seit 1990 bestehenden Gesellschaft für Strahlenschutz e.V. und Mitherausgeberin der Berichte des Otto Hug Strahleninstituts e.V. Nach ihrer Pensionierung widmete sie sich allgemeinen Fragen des Strahlenschutzes.

Adresse: Grenzstr. 20, 30627 Hannover, e-mail ingesf@uni-bremen.de

Walter Mämpel ist Diplom-Ingenieur und Diplom-Informatiker. Von 1960 bis 1972 hat er an der Technischen Schule 1 der Luftwaffe in Kaufbeuren als Fachlehrer und Hörsaalleiter für Flugsicherungsradar Wehrdienst geleistet und Flugsicherungsradarmechaniker ausgebildet. 1972 musste er aus gesundheitlichen Gründen aus der Bundeswehr ausscheiden. Von 1970 bis 1976 studierte er in Ulm Elektrotechnik und in Berlin Informatik. Danach war er bis zu seiner Pensionierung 2001 in deutschen, amerikanischen und englischen Computerfirmen als Direktor im First Line Management zuständig für Ausbildung, Programmierung, Support, Marketing und Vertrieb. Seit März 2009 ist er stellvertretender Vorsitzender des Bundes zur Unterstützung Radargeschädigter e.V..

Adresse: Brachvogelweg 7, 30917 Hannover, e-mail wmaempel@t-online.de