

# Strahlentelex

## mit ElektromogReport

Unabhängiger Informationsdienst zu Radioaktivität, Strahlung und Gesundheit

ISSN 0931-4288

[www.strahlentelex.de](http://www.strahlentelex.de)

Nr. 658-659 / 28. Jahrgang, 5. Juni 2014

**Atommüll-Lagerung:**  
Millionen Tonnen von radioaktivem Wismut-Schotter fanden in Ostthüringen und Westsachsen Verwendung im Straßen-, Landschafts- und Hausbau. Ein Beitrag von Frank Lange.

Seite 8

**Atommüll-Lagerung:**  
Am 22. Mai 2014 tagte erstmals die Kommission, die dem Standortsuchgesetz zufolge bis 2016 ein Konzept für die Suche nach einem Endlager für hochaktiven Müll erarbeiten soll.

Seite 12

**Folgen von Fukushima:**  
Nach Auffassung japanischer Behörden hat nichts, was an gesundheitlichen Beschwerden und Krankheiten in Japan beobachtet wird, mit der Reaktorkatastrophe von Fukushima Dai'ichi zu tun.

Seite 13

**Atommüll-Lagerung:**  
Die Betreibergesellschaft der havarierten Atomreaktoren von Fukushima hat im April 2014 damit begonnen, verseuchtes Grundwasser direkt in den Pazifischen Ozean zu leiten.

Seite 14

Strahlenfolgen

## Ionisierende Strahlung und Hautkrebs

Von Inge Schmitz-Feuerhake\*

**Angesichts ständig steigender Hautkrebsraten in der Bevölkerung warnen Ärzte regelmäßig vor Sonnenbädern und Solarien. Ionisierende Strahlen sind bislang ein unbeachteter Risikofaktor. Ihr Beitrag muss jedoch als nennenswert angesehen werden, seitdem die große australische Studie an Patienten nach CT-Untersuchungen (Mathews et al. 2013) einen beachtlichen Anteil an malignen Melanomen gezeigt hat. Zahlreiche Befunde an beruflich strahlenexponierten Arbeitnehmern bestätigen die Strahlenempfindlichkeit der Haut.**

### Einleitung

Hautkrebs bei strahlenexponierten Arbeitnehmern inner-

halb des zulässigen Dosisgrenzwerts wird bislang von den Berufsgenossenschaften nicht als berufsbedingt aner-

kannt. Als Vergleichsgruppe für Strahlenfolgen wurden dabei stets die Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki bemüht. Da die Hautkrebsempfindlichkeit aber bekanntermaßen von der Pigmentierung der Haut abhängt, ist zu bedenken, dass Japaner nicht das geeignete Referenzkollektiv für weiße Europäer sein können.

Inzwischen hat sich die offizielle Einschätzung zu Hautkrebsen außer Melanomen gewandelt. Das Epithel der Haut wird zu den Geweben mit hoher Strahlenempfindlichkeit gezählt, wie in der Bekanntmachung des Bundesministers für Arbeit und Soziales vom 24.10.2011 – IVa 4-45222-2402 zur Berufskrankheitenverordnung nachzulesen ist (Anlage). Bezüglich maligner Melanome gilt die Haut dort aber immer noch als von „niedriger“ Empfindlichkeit. Diese Einschätzung entspricht jedoch nicht mehr dem Stand der Wissenschaft.

### Strahlenbedingte maligne Melanome

Maligne Melanome der Haut sind immer noch verhältnismäßig seltene Krebserkrankungen. Sie gehen von den pigmentbildenden Zellen (Melanozyten) in der Basalschicht der Oberhaut (Epidermis) aus. Strahleninduzierte Fälle haben gewöhnlich sehr lange Latenzzeiten – d.h. die Zeit zwischen Bestrahlung und Auftreten der Erkrankung kann Jahrzehnte betragen. Daher benötigt man sehr große Untersuchungskollektive und sehr lange Beobachtungszeiten, um einen Strahleneffekt statistisch sicher nachzuweisen.

Die Überlebenden der Atombombenabwürfe in Japan 1945 stellen ein solches Kollektiv dar. Sie waren daher sehr lange das wesentliche Referenzkollektiv zur Ermittlung von Strahlenschäden in Abhängigkeit von der Dosis für die internationalen Strahlenschutzgremien und die deutsche Strahlenschutzkommission.

Die erste Untersuchung an Atombombenüberlebenden zu Hauteffekten erfolgte 20 Jahre

Strahlentelex, Th. Dersee, Waldstr. 49, 15566 Schöneiche b.Bln.  
Postvertriebsstück, DPAG, „Entgelt bezahlt“ A 10161 E

\* Prof. Dr. Inge Schmitz-Feuerhake, [ingesf@uni-bremen.de](mailto:ingesf@uni-bremen.de)

Tabelle 1: Erhöhte Raten maligner Melanome nach Strahlenexposition bei niedriger Dosis

Exponierte Gruppe und Zeitraum der Exposition	Inzidenz Mortalität	Beob. Fälle	Erw. Fälle	Mittl. Dosis mSv	Relatives Risiko	Bemerkungen
(1) Soldaten Atomtest „Smoky“ 1957-1979 (Caldwell 1983)	Inzidenz	6	4,5		1,71	nicht signifikant
(2) Atomtestfallout Süd-Utah 1951-1980 (Johnson 1984)	Mortalität	12	4,5		1,67	
(3) Beschäftigte Lawrence Livermore Nat. Lab. (Atomwaffen) 1969-1980	Inzidenz	31			10,8	Fall-Kontroll-Studie überarbeitet (Schwartzbaum 1994)
(4) Kanada: Berufl.Strahlenexponierte 191.000 Pers. 1969-1988 (Sont 2001)	Inzidenz m f	117 105	97 94,3	11,5 1,8	1,21 1,11 ns	Zentrales Register Mittl. Untersuchungsdauer nur 14 Jahre
(5) <b>Nukleararbeiter Frankreich</b> CEA <sup>1</sup> 44.755 Männer 1946-1994 (Telle-Lamberton 2004)	Mortalität	24	16		1,50	Mittl. Untersuchungsdauer 23 Jahre
CEA+ AREVA Nuclear Cycle 36.800 Pers. 1968-2004 (Metz-Flamant 2011)	Mortalität	39		12,1	1,64	Mittl. Untersuchungsdauer 27,6 Jahre
CEA+AREVA Nuclear Cycle 29200 Pers. in 2 Gruppen 1968-1994 (Samson 2011)	Mortalität	4 12		3,7 12,9+	1,30 ns 2,41	2. Gruppe potentielle Inkorporation, 15,2 u. 20,4 Jahre untersucht
(6) Ärzte u. medizin. Personal mit Röntgenexposition USA (Pion 1995)	Mortalität				1,37	Fall-Kontrollstudie an 2780 Arbeitnehmern mit Melanom
(7) Radiologieassistenten USA 90300 Pers. 1926-1982 (Sigurdson 2003)	Inzidenz	237	149		1,59	
(8) Männliches Flugpersonal 11.000 Pers. (Buja 2005) Metaanalyse	Inzidenz	15 67 58		2-6 pro J.	3,42 2,18 1,43	Bei Flugbegleitern Bei Zivilpiloten Bei Militärpiloten
(9) Weibliches Flugpersonal 16.635 Pers. 1959-1996 (Buja 2006)	Inzidenz	54			2,15	Metaanalyse v. 7 Studien, mittl. Untersuchungsdauer 19,3 Jahre
(10) Weibliches Flugpersonal 15.433 Pers. 1957-2000 (Tokumara 2006)	Inzidenz	42			2,13	Metaanalyse v. Studien wie (9), mittl. Expositionszeit >9,6 Jahre
(11) Diagnostisches Röntgen CT <sup>2</sup> bei 680000 Kindern u. Jugendlichen Australien (Mathews 2013)	Inzidenz	809	722	4,5	1,12	Mittl. Untersuchungsdauer nur 9,5 Jahre
(12) Tschechische Uranbergarbeiter 4320 Pers. 1948-1959 (Tomáček 1993)	Mortalität	6	3,4		1,75	Nicht signifikant Mittl. Untersuchungsdauer 25 Jahre
(13) Tschechische Uranbergarbeiter 22800 Pers. 1949-1975 (Kulich 2011)	Inzidenz	23	7,8		2,92	Häufigste Untersuchungsdauer 16,5 Jahre

\*) Das relative Risiko gibt an, um welchen Faktor sich die Inzidenz gegenüber dem Kontrollwert erhöht.

\*\*) ns nicht signifikant

nach der Exposition (Johnson 1969). In 10.650 lebenden Personen aller Altersklassen wurde nur 1 Fall eines malignen Hauttumors beobachtet, das entspricht einer Erkrankungsrate von unter 0,5 Fällen pro 100.000 Personen pro Jahr. Dieser negative Befund war Ausgangspunkt der früheren Lehrmeinung, dass Hautkrebs bei mittleren und niedrigen Strahlendosen nicht zu erwarten ist. Man kannte Fälle

von Hautkrebs in Folge therapeutischer Bestrahlungen mit sehr hoher Dosis und hielt die Beobachtungszeit von 20 Jahren für ausreichend, um einen Strahleneffekt in dem japanischen Kollektiv zu finden.

Die nächste Untersuchung fand erst etwa 20 Jahre später

<sup>1</sup> Commissariat à l'Énergie Atomique

<sup>2</sup> Computertomographie

statt. In Nagasaki wurden bis 1985 bei 25.942 Personen 4 maligne Melanome gefunden, womit sich eine Erkrankungsrate von 0,57 Fällen pro 100.000 pro Jahr ergab (Sadamori 1991). Eine Untersuchung an 80.000 Personen anhand der Tumoregister von Hiroshima und Nagasaki – über den Zeitraum bis 1987 – ergab 10 maligne Melanome (Erkrankungsrate 1,3 Fälle auf 100.000 pro Jahr) und eine

Erhöhung gegenüber der Kontrolle, die aber nicht signifikant ist (Ron 1998). In einer Studie an 120.000 Überlebenden, ebenfalls bis 1987, ergaben sich 17 Melanome und eine Erkrankungsrate von 1,6 Fällen auf 100.000 Personen pro Jahr (Preston 2007).

Diese Zahlen zeigen, dass Melanome in der japanischen Bevölkerung besonders selten vorkommen. Für 2002 wird

die altersstandardisierte Inzidenz dort zu 0,2-0,5 Fälle auf 100.000 Personen pro Jahr angegeben (Kishikawa 2005).

Da die Melanombildung mit der Pigmentierung der Haut zusammenhängt (Gloster 2006), muss man davon ausgehen, dass genetische Unterschiede gegenüber der europäischen und nordamerikanischen Bevölkerung bestehen, die auch die Strahlenempfindlichkeit beeinflussen können. Denn die Melanomraten sind bei den Menschen europäischer Herkunft wesentlich höher.

Nach dem Saarländischen Krebsregister<sup>3</sup> hatte sie in Deutschland von 1967 bis 1974 eine Höhe von 3,0 Fällen auf 100.000 pro Jahr. Das entspricht einer etwa 8-fach höheren Rate als in Japan. Die Melanome der Haut sind seitdem bei uns und in anderen europäischen Ländern sowie den USA ständig angestiegen. Im Jahr 2010 lag die Inzidenz in Gesamtdeutschland bei 18 Fällen und damit dem 6-fachen gegenüber früher (www.gekid.de)<sup>4</sup>.

In den letzten zwei Jahrzehnten haben umfangreiche internationale Studien nachgewiesen, dass bei beruflich strahlenexponierten Arbeitnehmern innerhalb der zulässigen Dosisgrenzwerte die Krebserkrankungen signifikant erhöht sind. In früheren Studien ist das zum Teil nicht aufgefallen, weil diese überwiegend Mortalitätsstudien waren, d.h. die Befunde wurden anhand der Todesursachen erhoben. Dadurch ergibt sich eine Untererfassung bei solchen malignen Erkrankungen, die in nennenswerter Weise therapierbar sind, nicht zum Tode führen und daher im Totenschein nicht aufgeführt werden.

<sup>3</sup> das erste in Westdeutschland geführte Register

<sup>4</sup> Robert Koch-Institut u. Gesellschaft der epidemiol. Krebsregister in Deutschland e.V.; Gesundheitsberichterstattung des Bundes

Bei Melanomen der Haut führen etwa 75 Prozent der Erkrankungen nicht zum Tod, so dass die Feststellung einer Erkrankungsrate in Mortalitätsstudien nicht möglich ist (www.gekid.de). Daher sind zur Bestimmung des Strahlenrisikos für Melanome Inzidenzstudien erforderlich.

In Tabelle 1 sind Untersuchungen aufgeführt, die eine erhöhte Rate an malignen Melanomen bei Kollektiven gezeigt haben, die niedrigen Strahlendosen ausgesetzt waren. (Wenn nicht anders angegeben, waren die Erhöhungen signifikant.)

1981 wurde erstmals über einen sehr auffälligen Befund an malignen Melanomen bei etwa 5.000 Beschäftigten des nationalen Instituts Lawrence Livermore für Nuklearforschung (LLNL) berichtet (Austin 1981). In weiteren Untersuchungen bestätigte sich das erhöhte Vorkommen und löste eine Debatte in der Fachwelt aus, bei der verschiedene andere Ursachen als ionisierende Strahlung favorisiert wurden. In einer Analyse der Daten, in denen diese anderen Risikofaktoren genauer überprüft wurden, kamen die Autoren zu dem Schluss, dass die Strahlenursache nicht anderweitig zu widerlegen sei (Schwartzbaum 1994), s. Nr. 3 in Tabelle 1.

Aufgrund der LLNL-Befunde beauftragte die Nationale Behörde für Arbeitsschutz und Berufskrankheiten der USA NIOSH<sup>5</sup> den Epidemiologen Wilkinson, eine Bewertung im Zusammenhang mit dem übrigen Erkenntnisstand vorzunehmen.

Dieser wies darauf hin, dass aufgrund der notwendigen Größe der Untersuchungskollektive und langen Beobachtungszeiten, der Nichtbeachtung von genetischen Unterschieden in der Bevölkerung und der besonders schlechten

<sup>5</sup> National Institute for Occupational Safety and Health

Erfassung der Erkrankung in Mortalitätsstudien eine Widerlegung eines Strahleneffektes durch die vielen Negativbefunde in der Literatur nicht gegeben sei (Wilkinson 1997). Er listete eine Reihe bis dahin vorliegender Befunde auf, die auf einen Effekt hinwiesen, und forderte weitere Beobachtungen im Berufsmilieu.

Solche liegen nun vor. Bei den Untersuchungen Nr. 4 und 5 in Tabelle 1 handelt es sich um Beschäftigte, deren persönliche Dosis mit Dosimetern überwacht wurde. Es zeigte sich eine hohe relative Strahlenempfindlichkeit für Melanome, da die meisten Überwachten nur weit unterhalb der zulässigen Dosisgrenzwerte exponiert waren. Sofern keine relevante Inkorporation radioaktiver Nuklide am Arbeitsplatz erfolgt, gibt die am Körper gemessene Gamma- oder Röntgendosis die Hautdosis annähernd wieder.

Aus dem kanadischen Zentralregister für beruflich Strahlenexponierte (Nr.4) ergibt sich für Männer (m) unter dieser Voraussetzung eine Verdopplungsdosis<sup>6</sup> von nur 55 Millisievert (mSv) für maligne Melanome.

In Frankreich wurden mehrere Untersuchungen an Kollektiven aus kerntechnischen Anlagen vom staatlichen Institut für Strahlenschutz und Reaktorsicherheit durchgeführt (Nr.5). Durchweg zeigte sich für Krebserkrankungen eine geringere Sterblichkeit als in der normalen Bevölkerung. Dieses wird dem „Healthy worker“-Effekt zugerechnet, nämlich der Erfahrung, dass bei den Arbeitnehmern, die vor Eintritt in die Tätigkeit einen zufriedenstellenden Gesundheitszustand nachweisen müssen, ohne Strahlenbelastung ein geringeres Erkan-

<sup>6</sup> Die Verdopplungsdosis ist diejenige Dosis, die zu einer gleich großen Erkrankungswahrscheinlichkeit führt, wie sie in der Kontrollgruppe vorliegt.

kungsrisiko besteht als normalerweise zu erwarten. Maligne Melanome der Haut bilden jedoch dazu eine Ausnahme, sie waren in solchen berufsmäßig bestrahlten Kohorten auch gegenüber der Normalbevölkerung signifikant erhöht, wobei sich das sogar in Mortalitätsstudien zeigte. Legt man wiederum nur eine externe Bestrahlung zu Grunde, ergeben sich ebenfalls Verdopplungsdosen von unter 100 mSv Hautdosis.

In der dritten der aufgeführten Studien (Samson 2011) wurden die Beschäftigten zu etwa gleichen Teilen in solche aufgeteilt, die keine Inkorporationen am Arbeitsplatz zu befürchten hatten, und solche mit potentiellen Inkorporationen von unbekannter Größe (die in Tabelle 1 angeführte mittlere Dosis von 12,9 mSv entspricht wiederum der Exposition von außen). In dieser Kohorte zeigte sich mehr als eine Verdopplung des Effektes (141 Prozent Erhöhung). Wenn die Verdopplungsdosis größer als 100 mSv wäre, müssten die Exponierten im Mittel eine Gesamtdosis von mehr als 141 mSv erhalten haben. Das ist sehr unwahrscheinlich.

Eine umfangreiche Studie an Radiologieassistenten in den USA, die über einen großen Zeitraum beobachtet wurden, ergab ebenfalls einen relativ großen Effekt für Melanome (Nr.7). Es zeigte sich, dass dieser besonders hoch war in den früheren Zeiten der Radiologie, in denen auch die Exposition der Beschäftigten höher war (Freedman 2003).

Das Flugpersonal wird insbesondere bei Interkontinentalverbindungen durch Höhenstrahlung exponiert und wird bei uns seit 2001 nach Strahlenschutzverordnung ebenfalls zu den beruflich strahlenexponierten Personen gezählt. Die Höhenstrahlung enthält eine durchdringende Komponente aus Neutronen, die wie Alphastrahlen zu den dicht io-

Tabelle 2: Inzidenz strahleninduzierter nicht-melanotischer Hautkrebskrankungen im Niederdosisbereich

Exponierte Gruppe und Zeitraum der Exposition	Beob. Fälle	Mittl. Dosis mSv	Relatives Risiko	Verdopplungsdosis in mSv	Bemerkungen
(1) Jap. Atombombenüberlebende (aus UNSCEAR 2006)					
Männer	66	330	2,27 Sv <sup>-1</sup>	790	Hier ist das relative Risiko bei 1 Sv Hautdosis angegeben
Frauen	101	320	2,37 Sv <sup>-1</sup>	730	
Alter bei Exposition < 20 J.	41	320	6,69 Sv <sup>-1</sup>	176	
20-40 J.	67	330	1,90 Sv <sup>-1</sup>	1111	
> 40 J.	10	330	< 1 Sv <sup>-1</sup>		
Zeit nach Exposition 12-15 J.	36	330	1,90 Sv <sup>-1</sup>	1111	
15-30 J.	121	310	2,53 Sv <sup>-1</sup>	654	
< 30 J.	167	320	2,33 Sv <sup>-1</sup>	752	
(2) Radiologieassistenten USA 65.000 weiße Personen (Yoshinaga 2005)					Untersucht 1983-1989 und 1994-1998 Vergleichsgruppe entsprechend nach 1960 Plattenepithelkarzinome nicht signifikant erhöht
nur Basaliome					
Exposition 1950-1959	303		1,42		
1940-1949	131		2,04		
vor 1940	18		2,16		
(3) Ärzte u. med. Personal China mit Röntgenexposition, 27.000 Pers., 1950-1980 (Wang 2002)	16		4,3		Untersucht 1950-1995
(4) Männl. Flugpersonal 11.000 Pers. (Buja 2005)	13	2-6 pro Jahr	7,5		Bei Flugbegleitern Bei Zivilpiloten Bei Militärpiloten
Metaanalyse	115		1,9		
	58		1,8		
(5) Piloten Zivilflug 10.032 Pers. (Pukkala 2002)					Enthalten in Untersuchung (4) Untersuchungsdauer 17 J.
Basaliome	61		2,5		
andere nicht-melanotische	27		2,1		
(6) Tschechische Uranbergarbeiter 3.800 Pers. 1968-1972 (Sevcova 1975, Sevc 1988)					Kontrolle andere Bergarbeiter und Bevölkerung
Basaliome	14		ca. 2		
andere nicht-melanotische	4				
1968-1975, nur Uranbergarbeiter mit mehr als 10 J. Exposition (Sevcova 1978)					Kontrolle Bevölkerung
Basaliome			4,5		

nisierenden Strahlenarten gehört und im Gewebe biologisch besonders wirksam ist. Ab den 1990er Jahren hatten verschiedene Untersuchungen erhöhte Raten an Melanomen gezeigt. Eine zusammenfassende Analyse wurde von Buja und Mitarbeitern durchgeführt und bestätigte eine hohe relative Strahlenwirkung für maligne Melanome bei Männern (Nr.8).

Im Jahr 2006 erschienen zwei zusammenfassende Analysen für weibliches Flugpersonal von verschiedenen Autoren (Nr.9 und Nr.10), die auf den gleichen Einzeluntersuchungen basieren. Offensichtlich wurden etwas unterschiedliche Auswahlkriterien für die Metaanalyse gewählt, die Ergebnisse für Melanome sind aber gleich hoch.

Die Angaben für Nr.10 erlauben eine grobe Abschätzung der Verdopplungsdosis, da die mittlere Expositionsdauer mit größer als 9,6 Jahre angegeben wird. Rechnet man 10 Jahre Exposition und die maximale Jahresdosis nach Buja et al. (Nr.8) mit 6 mSv, erhält man aus der Erhöhung der Melanominzidenz um 113 Prozent eine Verdopplungsdosis von 53 mSv.

Etliche Forscher haben wiederum andere Ursachen für den Effekt bei Flugpersonal vermutet, wie eben doch UV-Strahlung, Zeitzonwechsel etc.. Rafnsson und Mitarbeiter, die ihrerseits zur Krebsinzidenz bei isländischen Piloten und Stewardessen geforscht hatten, veröffentlichten Untersuchungsergebnisse zur Frage des UV-Einflusses,

der Pigmentierung, des Hauttyps und einer eventuellen familiären Disposition (Rafnsson 2003). Tatsächlich ergaben sich etwas höhere Sonnenexpositionen durch Urlaube im Vergleich zur Kontrollgruppe aus der isländischen Bevölkerung, jedoch können diese den Effekt nur geringfügig erklären. Die anderen untersuchten Faktoren ergaben keine Hinweise auf einen selektiven Effekt in dem Flugpersonal Kollektiv.

Die bisher größte Untersuchung über die Strahlenfolgen von diagnostischem Röntgen wurde 2013 aus Australien publiziert (Nr.11). Die Computertomographie (CT) ist eine Röntgenuntersuchung mit vergleichsweise hoher Strahlenexposition, eine CT verursacht im Mittel etwa eine 20-

fach höhere Dosis als eine normale Röntgenaufnahme. Bei 680.000 über Tumorregister nachverfolgten Kindern und Jugendlichen, die eine CT erhalten hatten, ergab sich eine signifikant erhöhte Melanomrate um 12 Prozent bei einer mittleren effektiven Dosis von nur 4,5 mSv (die effektive Dosis entspricht jedoch nicht der Hautdosis, die aus diesem Wert nicht abgeleitet werden kann). Nach Angabe der Internationalen Strahlenschutzkommission sind Kinder bezüglich des Krebsrisikos etwa 3-mal so strahlenempfindlich wie Erwachsene (ICRP 2007). Da aber der Nachuntersuchungszeitraum im Mittel nur 9,5 Jahre betrug, sind bei den Exponierten noch weitere strahleninduzierte Fälle zu erwarten.

In zwei Studien an Uranbergarbeitern wurden Erhöhungen an malignen Melanomen festgestellt (Nrn. 12, 13). Bemerkungen zu den Befunden und den Problemen der Dosimetrie durch die Radonbelastung untertage siehe unten.

### **Strahleninduzierte Hautkrebskrankungen außer Melanomen**

Die nicht-melanotischen Hautkrebsformen in Deutschland verteilen sich überwiegend auf Basaliome und Plattenepithelkarzinome, die beide vor allem im höheren Lebensalter auftreten (www.gekid.de). Für beide gilt ebenfalls ultraviolettes Licht als wichtigster Risikofaktor.

Basaliome entstehen in den Basalzellen, d.h. in der untersten Zellschicht der Epidermis, von der aus diese ständig neu gebildet wird. Ihre in Deutschland registrierte Häufigkeit war im Jahr 2010 etwa 8 mal höher als die der malignen Melanome (www.gekid.de). Plattenepithelkarzinome waren entsprechend etwa doppelt so häufig wie Melanome. Das Plattenepithel bedeckt die Oberhaut.

In der wissenschaftlichen Stellungnahme zur Berufskrankheitenverordnung (Anlage) bezüglich der hohen Strahlenempfindlichkeit von Epithelkarzinomen wird Bezug genommen auf den Bericht des Strahlenkomitees der Vereinten Nationen von 2006 (UNSCEAR 2008).

Das Komitee beruft sich in seiner Einschätzung auf Befunde über Hautkrebs bei den Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki, nach verschiedenen Bestrahlungen zu therapeutischen Zwecken und an Patienten, denen ein thoriumhaltiges Kontrastmittel („Thorotrast“) zur besseren Gefäßdarstellung beim Röntgen appliziert wurde.

Die Angaben über das Risiko nicht melanotischen Hautkrebses in dem japanischen

Kollektiv in Tabelle 2 entstammen der Tabelle 32 im Annex des Komiteeberichtes. Die japanischen Atombombenüberlebenden können zu den Niederdosisgruppen gerechnet werden, da die meisten von ihnen aufgrund der Entfernung vom Explosionsort nur eine geringe Dosis erhalten haben, die mittlere Organdosis beträgt nur etwa 200 mSv. Die Hautdosis ist wegen der Bestrahlung von außen höher. Bei ihnen konnten quantitative Angaben über das Strahlenrisiko für Hautkrebs gemacht werden. Das höchste Risiko ergab sich für die Altersgruppe, die bei Exposition jünger als 20 Jahre war. Die Untersucher weisen aber darauf hin, dass die Ergebnisse auf weiße Europäer nicht übertragbar sind, u.a. wegen der unterschiedlichen Pigmentierung der Haut (Ron 1998).

Aus dem starken Anstieg der Karzinomrate noch nach 15 Jahren Untersuchungsdauer lasse sich aber auf die langen Latenzzeiten bei strahlenbedingten nicht-melanotischen Hautkrebsen schließen.

Die Untersuchungsergebnisse nach Strahlentherapie sind ebenfalls nicht geeignet, um das Strahlenrisiko für Niederdosisexpositionen abzuleiten, da bei sehr hohen Dosen viele Zellen abgetötet werden und deshalb keine Wucherungen auslösen können. Entsprechend ergaben sich in dem UNSCEAR-Bericht von 2006 auch niedrigere Risikowerte als für die Atombombenüberlebenden.

Die in Tabelle 2 aufgeführten Untersuchungen Nr. 2 bis 6 zeigen aber, dass signifikante Effekte auch bei beruflich strahlenexponierten Personen auftreten. Allerdings fehlen Dosisangaben, um das Risiko im Niederdosisbereich und bei chronischer Exposition zu bestimmen.

Bei den tschechischen Uranbergarbeitern (Nr.6) wurden schon früh signifikante Erhö-

hungen nicht-melanotischer Hautkrebskrankungen festgestellt. Die Autoren befassen sich auch mit der Frage der Hautdosis durch den Aufenthalt in der Radonatmosphäre untertage, die als Hauptursache der Strahlenbelastung angesehen wird.

### **Bemerkungen zu den Befunden bei Uranbergarbeitern und den Problemen der Hautdosisbestimmung**

Die deutschen Berufsgenossenschaften haben geltend gemacht, dass Studien an strahlenbelasteten Bergarbeitern keine Überhäufung an Melanomen nachgewiesen haben. Nach Tabelle 1 wurde in der früheren tschechischen Bergarbeiterstudie (Nr.12) eine Überhäufung gefunden, die aber in der Mortalitätsstudie mit sehr geringen Fallzahlen nicht signifikant war. In einer späteren Inzidenzstudie von Kulich u.a. (Nr.13) ergab sich eine fast dreifache signifikante Erhöhung. Der Befund wird von den Autoren dennoch nicht für eindeutig gehalten, weil keine signifikante Korrelation zur Radonbelastung gefunden wurde. Diese Schlussfolgerung ist unverständlich, weil bekanntlich unter Tage bei den Bergleuten noch andere Dosiskomponenten berücksichtigt werden müssen, nämlich die durch Inhalation von radioaktivem Staub und externe Gammabestrahlung.

Es trifft zu, dass in der Deutschen Uranbergarbeiterstudie an fast 59.000 ehemaligen Beschäftigten der SDAG Wismut keine erhöhte Melanomrate festgestellt wurde (Kreuzer 2008). Diese Studie leidet jedoch wiederum unter dem Problem, dass nur die Mortalität untersucht wurde. Es ist außerdem fraglich, ob in den Totenscheinen für Wismutarbeiter zu DDR-Zeiten korrekte Angaben über Krebstode gemacht wurden.

Zudem ist die Auswahl der Kontrolle unzureichend, für die die Raten in der Bevölke-

rung der DDR gewählt wurden. 33 Melanome wurden bei den Uranbergarbeitern beobachtet und in die Studie aufgenommen, 46 weitere Fälle wurden nicht aufgenommen, weil die Vergleichsdaten aus der entsprechenden Epoche fehlten.

Dieses Ergebnis ist nicht geeignet, die Unempfindlichkeit der deutschen Uranbergleute gegenüber strahlenbedingtem Hautkrebs zu belegen. Wenn der Effekt prinzipiell in anderen Untersuchungen von niedriger Dosisleistung und niedriger Dosis nachgewiesen wurde, dann kann er bei Uranbergarbeitern bei gleicher „Äquivalentdosis“ in mSv nicht ausgeschlossen werden.

Bei der Wismut waren bis 1988 fünf Fälle von Basaliom als Berufskrankheit anerkannt worden, die in gleicher Weise der Exposition gegenüber Radioaktivität und Arsen angelastet wurden (Fritzche 1988). In der Bundesrepublik Deutschland werden Basaliome und Melanome bei Wismutarbeitern auch mit dem Argument als berufsbedingt abgelehnt, dass die Alphastrahlen des Radons und seiner Folgeprodukte die Basalschicht der Epidermis von außen nicht erreichen. Die Dicke der Epidermis wird nach Angabe der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP mit 70 Mikrometer ( $\mu\text{m}$ ) angesetzt, das übertrifft gerade der Reichweite der Alphastrahlen mit der höchsten Energie. Obwohl es sich dabei um einen Mittelwert handelt, wurde diese Dicke als fixer Referenzwert beibehalten (ICRP 2002). Als Dosiskomponente gilt dann nur noch ein geringer Beitrag durch Betastrahlung der Folgeprodukte.

Als die Behandlung berufsbedingter Erkrankungen bei der Wismut 1991 auf die bundesrepublikanischen Berufsgenossenschaften übergang, beauftragten diese den Physiker Jacobi mit der Erstellung von Gutachten zur Beurteilung des

Strahlenrisikos für Wismutbeschäftigte. Für die externe Bestrahlung der Haut wurde darin ein Beitrag der Alphastrahlen entsprechend ICRP nicht berücksichtigt (Jacobi 1995).

Bereits 1971 machte Harvey darauf aufmerksam, dass die früheren Annahmen über die Dicke der Epidermis auf Artefakten bei der Präparation beruhen. Dies wurde auch von der ICRP zur Kenntnis genommen (ICRP 1975). Am Kopf liegt die durchschnittliche Dicke bei 50 µm, am Rumpf nur bei 43 µm. An Armen und Beinen ist sie größer, im Mittel bei 60 µm (Charles 2007a).

Die radioaktiven Folgeprodukte des gasförmigen Radons sind Feststoffe. Relevant für die Hautdosis sind die Alphastrahler Polonium-218 (Po-218) und Polonium-214. Ihre Deposition 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 Alphabestrahlung 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 Radonpe-

gel der Luft wurde gleichzeitig durch einen Monitor am Körper erfasst.

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 unterschieden. 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 den älteren Messungen von Sevcova und Mitarbeitern (1978) an Personen in Uranerzstollen. Im Mittel war deren erhaltene Deposition pro Radonkonzentration um den Faktor 1,44 höher (nach Berechnung von Eatough u.a. 1999).

Aus den Messergebnissen von Eatough u.a. errechnet Charles (2007b) eine jährliche Dosis als Mittelwert für die Haut von 22 mSv in der Basalschicht bei einer Radonkonzentration in der Luft von 20 Becquerel (Bq) pro Kubikmeter. Entsprechend ergäbe sich für Uranbergarbeiter bei einer Arbeitszeit von 2.000 Stunden im Jahr in einer Radon Atmosphäre von 1 kBq (1.000 Bq) pro Kubikmeter eine Jahresdosis von 251 mSv. Diese Dosis ist mehr als um den Faktor 50 größer als der in dem Gutachten von Jacobi und Roth (1995) angesetzte Wert für die Betabestrahlung der Haut durch Radonfolgeprodukte.

Diese Abschätzungen können eine Erklärung dafür liefern, dass Henshaw und Mitarbeiter eine signifikante Korrelation zwischen der Melanomrate in Ländern Europas und Nordamerikas sowie Japans und der Radonkonzentration in Häusern gefunden haben (1990).

Die Dosis in der Basalschicht ist das Maß für Melanome und

Basaliome. Für Plattenepithelkarzinome muss die Dosis an der Oberfläche der Epidermis herangezogen werden. Diese liegt nach Charles (2007a) um den Faktor 10 höher, also 2,5 Sv jährlich bei einer Radonkonzentration von 1 kBq pro Kubikmeter.

### Schlussfolgerungen

Neuere Studien an beruflich strahlenexponierten Personen haben bestätigt, dass Krebserkrankungen der Haut durch niedrige Dosen ionisierender Strahlung messbar erhöht werden und auch diese Strahlenquelle bei den Präventionsbemühungen wegen der steigenden Erkrankungsraten beachtet werden muss.

Auch wenn für die beruflichen Kollektive keine genauen oder gar keine quantitativen Dosisbestimmungen vorliegen, lässt sich für maligne Melanome aussagen, dass die Verdopplungsdosen nach Exposition im Erwachsenenalter unterhalb von 100 mSv Hautdosis liegen.

Strahleninduzierte nicht-melanotische Hautkrebserkrankungen treten in den gleichen Kollektiven – sofern beide Erkrankungsarten studiert wurden – absolut und relativ zum Kontrollwert häufiger auf als Melanome, wie bei dem Flugpersonal und bei den Uranbergarbeitern erkennbar ist. Daher muss man auch für diese Verdopplungsdosen unterhalb von 100 mSv annehmen.

Austin, D.F., Reynolds, P.J., Snyder, M.A., Biggs, M.W., Stubbs, H.A.: Malignant melanoma among employees of Lawrence Livermore National Laboratory. *Lancet* Oct. 3;2(8249), 1981, 712-716  
 Buja, A., Lange, J.H., Perissinotto, E., Rausa, G. et al.: Cancer incidence among military and civil pilots and flight attendants: an analysis on published data. *Toxicol. Ind. Health* 21 (2005) 273-282  
 Buja, A., Mastrangelo, G., Perissinotto, E., Grigoletto, F. et al.: Cancer incidence among female flight attendants: a metaanalysis

of published data. *J. Women's Health* 15 (2006) 98-105  
 Caldwell, G.G., Kelley, D., Zack, M. et al.: Mortality and cancer frequency among military nuclear test (Smoky) participants, 1957 through 1979. *JAMA* 250 (1983) 48-61  
 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)  
 Eatough, J.P., Worley, A., Moss, A.R.: Personal monitoring of <sup>218</sup>Po and <sup>214</sup>Po radionuclide deposition onto individuals under normal environmental exposure conditions. *Phys. Med. Biol.* 44 (1999) 2227-2239  
 Freedman, D.M., Sigurdson, A., Rao, R.S., Hauptmann, M. et al.: Risk of melanoma among radiologic technologists in the United States. *Int. J. Cancer* 103 (2003) 556-562  
 Fritzsche, C.: Zwischenbericht des Arbeitshygienischen Zentrums Niederdorf vom 09.05.1988 über die arbeitsmedizinische Bewertung der Arsenexposition. Wismut GmbH, Unternehmensarchiv (UA), in Chronik der Wismut, CD ROM, Chemnitz 1999  
 Gloster, H.M., Neal, K.: Skin cancer in skin of color. *J. Am. Acad. Dermatol.* 55 (2006) 741-760; quiz 761-4  
 Harvey, J.R.: Alpha radiation, an external radiation hazard? *Health Phys.* 21 (1971) 866-869  
 Henshaw, D.L., Eatough, J., Richardson, R.B.: Radon as a causative factor in induction of myeloid leukaemia and other cancers. *Lancet* 335, April 28 (1990) 1008-1012  
 ICRP, International Commission on Radiological Protection: Reference man: anatomical, physiological and metabolic characteristics. ICRP Publication 23, 1975, Pergamon Oxford  
 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)  
 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.)

Johnson, C.J.: Cancer incidence in an area of radioactive fallout downwind from the Nevada Test Site. JAMA 251 (1984) 230-236

Johnson, M., Land, C.E., Gregory, P.B., Taura, T., Milton, R.C.: Effects of ionizing radiation on the skin, Hiroshima and Nagasaki. Atomic Bomb Casualty Commission Report ABCC TR 20-69, 1969, Hiroshima

Kishikawa, M., Koyama, K., Iseki, M., Kobuke, T. et al.: Histologic characteristics of skin cancer in Hiroshima and Nagasaki: Background incidence and radiation effects. Int. J. Cancer 117 (2005) 363-369

Kreuzer, M., Walsh, L., Schnelzer, M., Tschense, A., Grosche, B.: Radon and risk of extrapulmonary cancers – results from the German uranium miners cohort study, 1960-2003. Br. J. Cancer 99 (2008) 1946-1953

Kulich, M., Rericha, V., Rericha, R., Shore, D.L., Sandler, D.P.: Incidence of nonlung solid cancers in Czech uranium miners: a case-cohort study. Environ. Res. 111 (2011) 400-405

Mathews, J.D. et al.: Cancer risk in 680 000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians. Brit. Med. J. 346 (2013)

Metz-Flamant, C., Samson, E., Caer-Lorho, S., Acker, A., Laurier, D.: Solid cancer mortality associated with chronic external radiation exposure at the French atomic energy commission and nuclear fuel company. Radiat. Res. 176 (2011) 115-127

Pion, I.A., Rigel, D.S., Garfinkel, L., Silverman, M.K., Kopf, A.W.: Occupation and the risk of malignant melanoma. Cancer 75 Suppl. 2 (1995) 637-644

Preston, D.L., Ron, E., Tokuoka, S., Funamoto, S. et al.: Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998. Radiat. Res. 168 (2007) 1-64

Pukkala, E., Aspholm, R., Auvinen, A., Eliasch, H., Gundestrup, M. et al.: Incidence of cancer among Nordic airline pilots over five decades: occupational cohort study. Brit. Med. J. 325 (2002) 1-5

Rafnsson, V., Hrafnkelsson, J., Tulinius, H., Sigurgeirsson, B.,

**ANLAGE**

Die folgende Tabelle entstammt der Wissenschaftlichen Stellungnahme des Ärztlichen Sachverständigenbeirats „Berufskrankheiten“ beim Bundesministerium für Arbeit und Soziales zu Berufskrankheit Nr.2402, veröffentlicht in GMBI 2011 Nr.49-51, S.989-990. (Hervorhebung durch d. A.)

**Strahlenempfindlichkeit der Organe im Hinblick auf das Risiko für bösartige Tumoren**

Strahlenempfindlichkeit	Lokalisation, bzw. Tumorart
Hoch	Brustkrebs
	Kolon
	Alle Leukämien außer CLL
	Lunge
	Magen
	Knochen/Bindegewebe
	Epitheliale Hauttumoren
	Ösophagus
	Leber
	Pharynx
Mittel	Harnblase
	Hirn/ZNS
	Ovarien
	Speicheldrüse
	Schilddrüse
Niedrig	Lymphome
	Niere
	Prostata
	Rektum
	Malignes Melanom
	Dünndarm
	Uterus
	Multipl. Myelom
	CLL
	Zunge/Mundhöhle
	Gallenblase
	Larynx
Pankreas	

Hjaltalin Olafsson, J.: Risk factors for cutaneous malignant melanoma among aircrews and a random sample of the population. Occup. Environ. Med. 60 (2003) 815-820

Research Group for Population-based Cancer Registration in Japan: Cancer incidence and incidence rates in Japan in 1998: Estimates based on data from 12 populationbased cancer registries. Jpn. J. Clin. Oncol. 33 (2003) 241-245

Ron, E., Preston, D.L., Kishikawa, M., Kobuke, T. et al.: Skin tumor risk among atomicbomb survivors in Japan. Caner Causes Control 9 (1998) 393-401

Sadamori N, Mine, M., Honda, T.: Incidence of skin cancer among Nagasaki atomic bomb survivors. J. Radiat. Res. 32 (Suppl.2) 1991, 217-225

Samson, E., Telle-Lamberton, M., Caer-Lorho, S., Bard, D. et al.: Cancer mortality among different populations of French nuclear workers. Int. Arch. Occup. Environ. Health 84 (2011) 627-634

Schwartzbaum, J.A., Setzer, R.W., Kupper, L.L.: Exposure to ionizing radiation and risk of cutaneous malignant melanoma. Search for error and bias. Ann. Epidemiol. 4 (1994) 487-496

Sevc, J., Kunz, E., Tomasek, L., Placek, V., Horacek, J.: Cancer in

man after exposure to Rn daughters. Health Phys. 54 (1988) 27-46

Sevcova, M., Sevc, J., Thomas, J.: Possible development of skin basalioma as a result of external alphasradiation. Cs. Derm. 50 (1975) 129-134 (in Tschech.)

Sevcova, M., Sevc, J., Thomas, J.: Alpha irradiation of the skin and the possibility of late effects. Health Phys. 35 (1978) 803-806

Sigurdson, A.J., Morin Doody, M., Sowmya Rao, R., Freedman, D.M. et al.: Cancer incidence in the U.S. Radiologic Technologists Health Study. Cancer 97 (2003) 3080-3081

Sont, W.N., Zielinski, J.M., Ashmore, J.P., Jiang, H. et al.: First analysis of cancer incidence and occupational radiation exposure based on the National Dose Registry of Canada. Am. J. Epidemiol. 153 (2001) 309-318

Telle-Lamberton, M., Bergot, D., Gagneau, M., Samson, E. et al.: Cancer mortality among French Atomic Energy Commission workers. Am. J. Ind. Med. 45 (2004) 34-44

Tokumaru, O., Haruki, K., Bacal, K., Katagiri, T. et al.: Incidence of cancer among female flight attendants a metaanalysis. J Travel Med 2006; 13:127-132

Tomáček, L., Darby, S., Swerdlow, A.J., Placek, V., Kunz, E.: Radon exposure and cancers other than lung cancer among uranium miners in West Bohemia. Lancet 341 (1993) 919-23

UNSCEAR United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2006, Report to the General Assembly with Scientific Annexes Vol.I. United Nations, New York 2008

Wilkinson, G.S.: Invited commentary: are low radiation doses or occupational exposures really risk factors for malignant melanoma? Am. J. Epidemiol. 145 (1997) 532-535

Yoshinaga, S., Mabuchi, K., Sigurdson, A.J., Doody, M.M., Ron, E.: Cancer risks among radiologists and radio-logic technologists: review of epidemiologic studies. Radiology 233 (2004) 313-321

Yoshinaga, S., Hauptmann, M., Sigurdson, A.J., Doody, M.M. et al.: Nonmelanoma skin cancer in relation to ionizing radiation exposure among U.S. radiologic technologists. Int. J. Cancer 115 (2005) 828-834