
Einfluss der natürlichen Strahlenexposition auf die Krebsentstehung

Stellungnahme der Strahlenschutzkommission

Inhalt

1	Einleitung	5
2	Biologische Wirkungsmechanismen nach Strahlenexposition	5
3	Möglichkeiten und Grenzen epidemiologischer Studien zur natürlichen Strahlenexposition	7
4	Radon und Lungenkrebs	8
5	Exposition in Deutschland mit ionisierender Strahlung aus natürlichen Quellen (außer Radon)	9
6	Studien in Gebieten anderer Länder mit hoher terrestrischer Strahlung	9
7	Ultraviolette Strahlung und Hautkrebs	10
8	Zusammenfassung	11
	Literatur	13

1 Einleitung

Die Frage nach der gesundheitlichen Bedeutung natürlicher Strahlung wird in der Öffentlichkeit immer wieder und zum Teil kontrovers diskutiert. Aus diesem Grund hat die Strahlenschutzkommission die folgende Stellungnahme erarbeitet, die sich mit verschiedenen Quellen natürlicher Strahlung befasst und den Wissensstand zur Bedeutung dieser Strahlung für die Krebsentstehung in der deutschen Bevölkerung darstellt. Berufliche Expositionen bleiben dabei unberücksichtigt. Auf die mögliche Bedeutung anderer elektromagnetischer Felder für die Krebsentstehung wird im Text nicht eingegangen, da die Datenlage in diesem Bereich unzureichend ist.

Für das Verständnis der biologischen Effekte ionisierender Strahlung, vor allem in Bezug auf Exposition mit niedrigen Dosen, wird zuerst ein Überblick über strahleninduzierte Schäden in Zellen und die zellulären Reaktionen darauf gegeben. Da die meisten Daten zur gesundheitlichen Bedeutung natürlicher Strahlenexposition aus epidemiologischen Studien stammen, werden dann die Werkzeuge der Epidemiologie und die Möglichkeiten und Grenzen epidemiologischer Studien dargestellt. Als erste und wichtige natürliche Quelle ionisierender Strahlung werden die Exposition durch Radon und Radonfolgeprodukte und das damit verbundene Lungenkrebsrisiko behandelt. Es folgt eine Abschätzung der Exposition in Deutschland mit ionisierender Strahlung aus anderen natürlichen Quellen als Radon. Die Expositionswerte bilden eine Grundlage zur Bewertung der Möglichkeiten und Grenzen epidemiologischer Studien der Krebsentstehung durch natürliche Strahlenexpositionen in Deutschland. Da Gebiete in anderen Ländern mit hoher terrestrischer Strahlung für die Krebsentstehung besonders aufschlussreich sein könnten, werden Studien in diesen Gebieten separat dargestellt. Schließlich wird wegen ihrer Bedeutung für die Entstehung von Hautkrebs die natürliche ultraviolette (UV-) Strahlung behandelt. In diesem Zusammenhang werden die strahlenbiologischen und epidemiologischen Hintergründe näher beleuchtet.

2 Biologische Wirkungsmechanismen nach Strahlenexposition

Ionisierende und UV-Strahlen leiten durch Wechselwirkung mit nahezu allen Bestandteilen von Zellen chemische Reaktionen ein, die zu Schädigungen aller Biomoleküle führen können. Schäden der Desoxyribonukleinsäure (DNA) sind besonders schwerwiegend, da sie die Integrität der Struktur und Funktion der Erbsubstanz gefährden.

Durch ionisierende Strahlung werden eine Vielzahl von Basenschäden, sehr viele Einzelstrangbrüche sowie eine vergleichsweise geringe Zahl von einfachen und komplexen Doppelstrangbrüchen gebildet. Komplexe Doppelstrangbrüche sind durch nahe beieinander liegende Brüche beider DNA-Stränge (weniger als 10 Basenpaare Abstand) und durch zusätzliche Basenschäden in der Umgebung der Brüche gekennzeichnet. Sie sind gering an der Zahl und sie gelten als strahlenspezifische Schäden. Insbesondere ist bei Expositionen mit Alphastrahlung, wie sie beim radioaktiven Zerfall von Radon und einiger seiner Tochterprodukte entsteht, der Anteil von Doppelstrangbrüchen an den zellulären Primärschäden deutlich höher als bei den anderen Strahlenquellen, die für die natürliche Exposition relevant sind. Die Möglichkeit einer fehlerhaften Reparatur von Doppelstrangbrüchen gilt als besonders hoch, sodass diese ein höheres Potential haben, zur Schädigung der betroffenen Zellen und Gewebe zu führen.

Unter den natürlichen nichtionisierenden Strahlen ist die von der Sonne auf die Erde treffende UV-Strahlung von besonderer Bedeutung für die Krebsentstehung. Diese Strahlung besteht aus der energieärmeren UVA-Strahlung (315 – 400 nm), die sich im elektromagnetischen Spektrum an den Bereich des sichtbaren Lichtes anschließt, und der energiereicheren UVB-Strahlung (280 – 315 nm), die zum größten Teil durch die Ozonschicht absorbiert wird. Die UVB-Photonen, welche die Erdoberfläche erreichen und in die Haut eindringen können, werden bevorzugt von Pyrimidinen (den beiden DNA-Basen Thymin und Cytosin) absorbiert, und es entstehen verschiedene Pyrimidinaddukte und im Falle benachbarter Pyrimidine so genannte Pyrimidindimere. Pyrimidindimere bilden sich im Gegensatz zu vielen anderen DNA-Schäden nicht spontan, so dass sie als „fingerprint“ von UVB-Strahlung angesehen werden können. Die Schädigung der DNA durch UVA-Photonen ist indirekt, da UVA nur in sehr geringem Maße von der DNA selbst absorbiert wird. Die Absorption erfolgt vielmehr bevorzugt durch endogene zelluläre Chromophore, d.h. Farbstoffe, in denen anregbare Elektronen verfügbar sind, wie z. B. Riboflavin. Durch Wechselwirkung der angeregten Chromophore mit molekularem Sauerstoff können reaktive Sauerstoffspezies entstehen, die ihrerseits die DNA schädigen können.

Zellen antworten auf die Schädigung von DNA, Membranen und verschiedenen Zellorganellen (wie z. B. Mitochondrien) durch ionisierende Strahlung mit einem Netzwerk koordinierter Antworten in Form von Signalketten und vielfältigen Reparatur- und Toleranzmechanismen. Auch die Beeinflussung von Prozessen wie Zellzyklus und Proliferation, Genexpression und – im Falle starker, nicht reparabler Schädigung – der Zelltod gehört zu dieser komplexen Reaktion. „Bystander-Effekte“ weisen darauf hin, dass die Auswirkungen der Strahlenexposition einer Zelle nicht nur die bestrahlte Zelle, sondern auch Nachbarzellen betreffen. Es ist davon auszugehen, dass Zellen in Organismen

auf Strahlenexpositionen nicht als Einzelzellen reagieren, sondern dass jeweils ein Netzwerk von Zellen betroffen ist. Nicht oder falsch reparierte DNA-Schäden führen zu Änderungen der genetischen Information, wie z. B. Mutationen und Chromosomenaberrationen. Unter Umständen entstehen genomische Instabilitäten, die über viele Zellgenerationen erhalten bleiben und die wie Mutationen eine mögliche Ursache für die Krebsentstehung oder eine beschleunigte Krebsentwicklung sein können.

Tumoren entstehen und entwickeln sich durch eine Ansammlung von somatischen Mutationen. Es ist im Allgemeinen nicht bekannt wie viele Mutationsereignisse für die Tumorentwicklung nötig sind. Auf Grund von experimentellen Studien und Modellierungen wird angenommen, dass hierfür eine kleine Anzahl von funktionalen Wirkungsketten in der Zelle gestört sein muss. Obwohl strahleninduzierte DNA Schäden zu Mutationen führen können, ist bis heute kein überzeugender Nachweis einer Signatur für die Induktion eines Tumors durch eine Strahlenexposition gefunden worden.

Die Karzinogenese nach Strahlenexposition kann in Tierversuchen unter kontrollierten Bedingungen untersucht werden. Es konnte in Tierversuchen kein karzinogenes Potenzial von akuten Expositionen unterhalb von 100 mGy und keine Lebenszeitverkürzung durch chronische Expositionen mit Dosisleistungen unterhalb von 1 mGy pro Tag nachgewiesen werden.

Viele der strahlenbiologischen Effekte auf molekularer, zellulärer oder geweblicher Ebene und im gesamten Organismus weisen nicht-lineare Dosis-Wirkungs-Beziehungen auf. Wie diese Einzeleffekte allerdings in ihren Zusammenhängen und Wechselwirkungen im Niedrigdosisbereich zu einer Dosis-Wirkungs-Beziehung für den Gesamtprozess der Krebsentstehung beitragen, ist noch weitgehend ungeklärt.

3 Möglichkeiten und Grenzen epidemiologischer Studien zur natürlichen Strahlenexposition

Zu den wichtigsten epidemiologischen Studientypen gehören Fall-Kontroll- und Kohortenstudien, für die gute individuelle Daten zur Exposition, zu den gesundheitlichen Daten und zu möglichen anderen Risikofaktoren als der Strahlenexposition vorliegen (analytische Studien). Ökologische Studien basieren demgegenüber wesentlich auf Daten für Bevölkerungsgruppen. Ökologische Studien sind insbesondere deshalb für die Untersuchung von Strahlenrisiken durch natürliche Strahlenexposition ungeeignet, da sie die Kontrolle anderer bedeutsamer Risikofaktoren (Confounding) meist nicht erlauben.

Zur Beantwortung der Frage, ob eine sinnvolle analytische Kohortenstudie zum Zusammenhang zwischen der terrestrischen Strahlenexposition und dem Krebsrisiko in Deutschland durchführbar ist, wird im fachlichen Begründungsteil zu dieser Stellungnahme die dafür notwendige Studiengröße abgeschätzt. Unter Annahme von Risikokoeffizienten, wie sie unter den Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki beobachtet wurden, ergibt sich, dass der benötigte Studenumfang mehrere Millionen Studienteilnehmer umfassen und damit so groß sein würde, dass eine solche Studie praktisch nicht durchführbar ist. Dies trifft nicht für die Untersuchung von Radon und Lungenkrebs sowie von UV-Strahlung und Hautkrebs zu, da hier die Strahlenrisiken wesentlich höher sind.

4 Radon und Lungenkrebs

Radon ist ein natürlich und ubiquitär vorkommendes radioaktives Edelgas, das innerhalb der Zerfallsreihen langlebiger, in Gesteinen und Böden enthaltener, Uran- und Thoriumnuklide entsteht. Der radioaktive Zerfall führt zur Freisetzung von Alphastrahlen. Hohe Aktivitätskonzentrationen von Radon und seinen Zerfallsprodukten sind im Uranbergbau und in bestimmten Bereichen des Untertagebergbaus, bei den Verarbeitungsstufen der Uranerzgewinnung, in Heilstollen und Radonbädern zu finden. Durch Übertritt des Radongases aus dem Untergrund sowie bautechnisch-, baustoff- und lüftungsbedingt kann es zu Konzentrationserhöhungen auch in Innenräumen kommen. Demgegenüber ist die Konzentration in der Außenluft deutlich geringer.

Die Inhalation von Radon und seiner Zerfallsprodukte führt zu einer Exposition des Bronchialepithels insbesondere durch die freigesetzte Alphastrahlung. Die Dosen für die anderen Organe und Gewebe sind demgegenüber gering. Dies steht im Einklang mit dem Nachweis eines erhöhten Lungenkrebsrisikos durch die Exposition gegenüber Radon und seinen Zerfallsprodukten bei Bergarbeitern. Eindeutige Hinweise für eine kanzerogene Wirkung auf extrapulmonale Organe und Gewebe liegen nicht vor. Teratogene und genetische Wirkungen sind nicht belegt. Allerdings wurde eine Häufung von Chromosomenaberrationen bei exponierten Menschen beobachtet.

Die europäische Pooling-Studie zum Lungenkrebsrisiko durch Radon in Wohnräumen hat den Kenntnisstand wesentlich verbessert. Die Gesamtbetrachtung der vorhandenen Studien ergibt keine Hinweise auf einen Schwellenwert oder eine Abweichung von einer linearen Konzentrations-Wirkungs-Beziehung. Die europäische Pooling-Studie ergab für einen um 100 Bq/m^3 höheren Wert der Radonkonzentration einen Anstieg des relativen Lungenkrebsrisikos um ca. 10%. In einer Studie wurde unter Annahme einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung abgeschätzt, dass bei ca. 37 700 Personen, die pro Jahr in Deutsch-

land an Lungenkrebs sterben, ca. 5 % dieser Todesfälle oder jährlich ca. 1 900 Verstorbene auf Radon in Wohnungen zurückzuführen sind. Dieser Anteil kann durch Maßnahmen zur Senkung der Radonexposition in Wohnungen reduziert werden.

5 Exposition in Deutschland mit ionisierender Strahlung aus natürlichen Quellen (außer Radon)

Die natürliche Strahlenexposition des Menschen wird durch externe kosmische und terrestrische Strahlung, durch die Ingestion von natürlichen Radionukliden und durch die Inhalation des radioaktiven Edelgases Radon und seiner Tochter-nuklide bewirkt.

Die kosmische und die terrestrische Strahlung tragen in Deutschland im Mittel etwa gleich viel zur externen Strahlenexposition bei. Der größte Teil der Variabilität der externen Strahlenexposition ist dabei der Strahlenexposition durch primordiale Radionuklide beim Aufenthalt in Häusern zuzuschreiben. Diese beträgt ca. 0,1 bis 0,7 mSv effektive Dosis im Jahr. Insgesamt führt die externe Strahlenexposition in Deutschland für größere Bevölkerungsgruppen zu einer jährlichen effektiven Dosis im Bereich von 0,5 bis 1,2 mSv. In seltenen Fällen treten auch niedrigere oder höhere Strahlenexpositionen aus natürlichen Quellen auf. Dementsprechend könnten für eine größere epidemiologische Studie in Deutschland Personengruppen gefunden werden, deren jährliche effektive Dosis durch die externe natürliche Strahlenexposition sich maximal um 1 mSv unterscheidet. Es ist nicht zu erwarten, dass die Einbeziehung der Strahlenexposition durch die Ingestion natürlicher Radionuklide diese maximal mögliche Expositionsspanne wesentlich verändert.

6 Studien in Gebieten anderer Länder mit hoher terrestrischer Strahlung

Studien zu möglichen Gesundheitseffekten in der Bevölkerung von Gebieten mit erhöhter terrestrischer Strahlung sind eine potentielle Informationsquelle über die Wirkung natürlicher Strahlenexpositionen. Es wurden mehrere epidemiologische Studien zu dieser Thematik durchgeführt, allerdings nur sehr wenige, in denen eine genügend große Anzahl von Personen untersucht wurde, die für eine hinreichende Aussagekraft nötig ist.

Große Studienkollektive mit 50 000 und mehr Personen sind bisher in zwei Gebieten untersucht worden, in denen Ablagerungen von Thorium-Monazit-Sand zu einer erhöhten terrestrischen Strahlung führen: in der südchinesischen

Provinz Yangjiang (113 000 Personen) und im westindischen Kerala (60 000 Personen). Im Kontrollgebiet von Yangjiang liegt die jährliche mittlere effektive Dosis bei 2,4 mSv, gegenüber 6,4 mSv im Gebiet mit erhöhter terrestrischer Strahlung. Über den bisherigen Beobachtungszeitraum von 17 Jahren wurde kein Hinweis auf eine strahlenbedingte Erhöhung der Krebssterblichkeit gefunden.

Insgesamt haben die vorliegenden Studien bisher keine Hinweise auf ein erhöhtes Krebsrisiko bei höherer terrestrischer Strahlung gegeben. Die Qualitätssicherung und Fortführung der laufenden analytischen Studien mit Individualdaten in den bekannten Gebieten mit erhöhter terrestrischer Strahlung sind ein möglicher Weg, um genauere Erkenntnisse zu dieser Fragestellung zu erhalten. Durch eine Koordination der Studien untereinander und die Verwendung kompatibler Studiendesigns könnten zudem Synergieeffekte (z. B. durch gepoolte Auswertungen) genutzt werden.

7 Ultraviolette Strahlung und Hautkrebs

Mit über 120 000 Neuerkrankungen (ohne *in-situ* Karzinome) pro Jahr stellt der Hautkrebs in der Summe aus Basalzellkarzinom, Plattenepithelkarzinom und malignem Melanom die häufigste Krebserkrankung in Deutschland dar. Ca. 90 % der Hautkrebsfälle sind nicht-melanozytären Ursprungs. Die relative Häufigkeit der nicht-melanozytären Hautkrebserkrankungen hängt von ethnischer Zugehörigkeit, Zeitperiode und Geschlecht ab. In Deutschland tritt das Basalzellkarzinom im Mittel 4- bis 5-mal häufiger auf als Plattenepithelkarzinome. Die Inzidenz ist bei Männern höher als bei Frauen. Das maligne Melanom tritt jedoch bei Frauen häufiger auf als bei Männern.

Die Mortalität liegt insgesamt beim Basalzell- und Plattenepithelkarzinom unter 0,5 %, beim malignen Melanom allerdings bei ca. 25 %. In Deutschland treten pro Jahr 13 000 – 15 000 Neuerkrankungen an malignem Melanom auf und es versterben jährlich 3 000 – 4 000 Menschen an dieser Form des Hautkrebses. Trotz der geringen Mortalität der Basalzell- und Plattenepithelkarzinome verursacht ihre hohe Inzidenz neben den persönlichen Beeinträchtigungen eine enorme finanzielle Belastung des Gesundheitssystems.

Hautkrebs wird überwiegend durch UV-Strahlung der Sonne oder künstlicher Quellen (z. B. Solarien) induziert. Untersuchungen zur Ätiologie des Hautkrebses weisen UV-Strahlung eindeutig als verantwortliche Noxe aus; allerdings ist das Wissen über Dosis-Wirkungs-Beziehungen für UV-Expositionen noch unvollständig. Das Auftreten des Plattenepithelkarzinoms hängt mit der kumulativen UV-Dosis zusammen, während für das Basalzellkarzinom und noch viel

eindeutiger für das maligne Melanom intermittierende UV-Expositionen verantwortlich gemacht werden. Für die Strahlenwirkung sind die spektrale Verteilung und das Expositionsmuster von großer Bedeutung.

Da die Stärke von UV-Expositionen sehr stark vom persönlichen Verhalten abhängt, liegt eine Möglichkeit zur Risikominimierung für den Hautkrebs in der Aufklärung der Bevölkerung hinsichtlich der Risiken von UV-Expositionen (primäre Prävention). Regelmäßige Früherkennungs-Untersuchungen lassen eine Vorverlegung des Diagnosezeitpunktes für Hautkrebs erwarten.

8 Zusammenfassung

Es gibt klare Erkenntnisse zum Lungenkrebsrisiko bei hohen Expositionen mit Radon in Wohnräumen. Die SSK hat zu dieser Thematik bereits mehrere Empfehlungen und Stellungnahmen veröffentlicht [1-3]. Sie geht davon aus, dass langjährige Expositionen in Wohnräumen mit um 100 Bq/m^3 erhöhten Radonkonzentrationen zu einer Erhöhung des Lungenkrebsrisikos um 10 % führen. Der neue Kenntnisstand zum Lungenkrebs durch Radon erfordert Regelungen zur Verringerung höherer Radonkonzentrationen in bestehenden Wohnräumen und zur Vermeidung von unnötig hohen Radonkonzentrationen in neuen Gebäuden.

Die Schwankungsbreite der Exposition durch ionisierende Strahlung aus anderen natürlichen Quellen als Radon ist in Deutschland gering. Die externe Strahlenexposition durch kosmische und terrestrische Strahlung bewirkt in Deutschland typischerweise eine jährliche effektive Dosis im Bereich von 0,5 bis 1,2 mSv. Dementsprechend könnten für eine größere epidemiologische Studie in Deutschland Personengruppen gefunden werden, deren jährliche effektive Dosis durch die externe natürliche Strahlenexposition sich maximal um 1 mSv unterscheidet. Es ist nicht zu erwarten, dass die Einbeziehung der Strahlenexposition durch die Ingestion natürlicher Radionuklide diese maximal mögliche Expositionsspanne wesentlich verändert.

Unter der Annahme von bekannten Risikokoeffizienten müssten in Deutschland für mehrere Millionen Studienteilnehmer individuelle Daten erhoben werden, um eine epidemiologische Studie mit hinreichender Aussagekraft über das Krebsrisiko durch terrestrische Strahlung durchzuführen. Dies erscheint nicht durchführbar.

Es gibt keine Hinweise, dass das strahlenbedingte Krebsrisiko je Dosis durch terrestrische Strahlung deutlich höher ist als unter den Atombombenüberlebenden. So haben epidemiologische Studien in Gebieten in Indien, China und im

Iran mit hohen terrestrischen Strahlenexpositionen keine Hinweise auf ein erhöhtes Krebsrisiko ergeben. Viele der strahlenbiologischen Effekte auf molekularer, zellulärer oder geweblicher Ebene weisen im Bereich kleiner Dosen nicht-lineare Dosis-Wirkungs-Beziehungen auf. Wie diese Einzeleffekte sich in ihren Zusammenhängen und Wechselwirkungen zu einer Dosis-Wirkungs-Beziehung für den Gesamtprozess der Krebsentstehung beitragen, ist noch weitgehend ungeklärt. Es ist allerdings nicht zu erwarten, dass solche Effekte das strahlenbedingte Krebsrisiko in Niedrigdosisbereich in einem Maße erhöhen, das eine epidemiologische Studie des Krebsrisikos in der allgemeinen Bevölkerung in Deutschland durch terrestrische Strahlung als sinnvoll erscheinen lässt. Studien mit anderen genetischen Endpunkten oder an speziellen empfindlichen Bevölkerungsgruppen sind hier nicht betrachtet worden.

Bisher veröffentlichte epidemiologische Studien zum Krebsrisiko durch terrestrische Strahlung in Deutschland haben methodische Mängel. Ihre Aussagen haben keine ausreichende wissenschaftliche Begründung.

Auf der Basis des gegenwärtigen Kenntnisstandes ergibt sich für die Strahlenschutzkommission keine Evidenz, dass eine sinnvolle epidemiologische Studie zu Krebsrisiken in Deutschland durch terrestrische Strahlenexpositionen durchgeführt werden kann. Die großen analytischen Studien in Gebieten anderer Länder mit sehr hohen terrestrischen Strahlenexpositionen sollten allerdings mit Aufmerksamkeit weiter verfolgt werden.

Erhöhte Exposition mit UV-Strahlung ist eindeutig als verantwortliche Noxe für die Entstehung von Hautkrebs nachgewiesen. Die molekularen und zellulären Mechanismen der Hautkrebsentstehung unterliegen intensiver internationaler und nationaler Forschung. Epidemiologische Studien und Daten aus Krebsregistern zeigen, dass die Inzidenz von Hautkrebs in Deutschland in den letzten Jahrzehnten stark angestiegen ist. Diese Entwicklung wird auf ein geändertes Freizeitverhalten der Bevölkerung zurückgeführt, welches mit erhöhter UV-Exposition in der Freizeit verbunden ist. Auf diesen Trend und die damit verbundenen Risiken hat die SSK bereits in mehreren Empfehlungen hingewiesen [4-8].

Inwieweit Veränderungen der UV-Exposition in den nächsten Jahrzehnten Einfluss auf die Inzidenz von Hautkrebs in Deutschland haben könnten, müssen zukünftige Untersuchungen ergeben. Unabhängig davon empfiehlt die SSK, der Zunahme der Inzidenz von Hautkrebs verstärkt mit Maßnahmen der primären Prävention (Aufklärung, insbesondere im Kinder- und Jugendlichenalter) entgegen zu wirken.

Literatur

- [1] Strahlenschutzkommission (SSK): Auswertung der vorliegenden Gesundheitsstudien zum Radon. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission. BAnz. Nr. 141 vom 30.07.2004
- [2] Strahlenschutzkommission (SSK): Lungenkrebsrisiko durch Radonexpositionen in Wohnungen. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 59, S. 23-41. Verlag H. Hoffmann, Berlin (2007)
- [3] Strahlenschutzkommission (SSK): Attributives Lungenkrebsrisiko durch Radon-Expositionen in Wohnungen. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 61, S. 135-153. Verlag H. Hoffmann, Berlin (2007)
- [4] Strahlenschutzkommission (SSK): Schutz des Menschen vor solarer UV-Strahlung. Empfehlung der Strahlenschutzkommission. BAnz Nr. 98 vom 03.06.1997
- [5] Strahlenschutzkommission (SSK): Schutz des Menschen vor den Gefahren der UV-Strahlung in Solarien. Empfehlung der Strahlenschutzkommission. BAnz Nr. 193 vom 16.10.2001
- [6] Strahlenschutzkommission (SSK): Schutz vor solarer UV-Strahlung an Arbeitsplätzen im Freien. Stellungnahme der Strahlenschutzkommission. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 50, S. 143-145. Urban und Fischer, München (2003)
- [7] Strahlenschutzkommission (SSK): Die Klassifikation des solaren UV-Index (UVI). Empfehlung der Strahlenschutzkommission. BAnz. Nr. 221 vom 20.11.2004
- [8] Strahlenschutzkommission (SSK): Gesundheitliche Gefährdung durch UV-Exposition von Kindern und Jugendlichen. Empfehlung der Strahlenschutzkommission. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 61, S. 195-237. Verlag H. Hoffmann, Berlin (2007)