



STRAHLUNG | STRAHLENSCHUTZ

Eine Information des Bundesamtes für Strahlenschutz



Bundesamt für Strahlenschutz

Herausgeber: Bundesamt für Strahlenschutz
Öffentlichkeitsarbeit
Postfach 10 01 49
38201 Salzgitter
Tel.: 030 18333-0
Fax: 030 18333-1885
E-Mail: info@bfs.de
Internet: <http://www.bfs.de>

Redaktion: Arthur Junkert

Fotos: BfS, Klaus Menkhaus, Melanie Quandt, dpa, TUI,
Arthur Junkert, Uwe Schöppler, ETH Zürich
Fa. Geckoline Sportswear GmbH
Krankenhaus Salzdahlumer Str., Braunschweig

Grafik: BfS, Werbeagentur Linie, IMST, CONCEPT-ART

Satz u. Druck: MAREIS Druck GmbH
Zeissstrasse 8
89264 Weißenhorn
© 2008 Bundesamt für Strahlenschutz, 4. Auflage
Gedruckt auf Recyclingpapier

VORWORT



LIEBE LESERIN, LIEBER LESER,

mit „Strahlung und Strahlenschutz“ halten Sie die 4. Auflage unserer am meisten nachgefragten Broschüre in der Hand. Vielfältiges Lob für die bisherigen Ausgaben, aber auch konstruktive Kritik waren uns Ansporn, die Informationsschrift zu aktualisieren, zu verbessern und noch leichter verständlich zu machen.

Unser Ziel ist es, Sie kurz und prägnant und ohne zu sehr ins Detail zu gehen darüber zu informieren, wodurch Menschen in ihrer Umwelt Strahlung ausgesetzt sind, d. h. welche natürlichen und künstlichen Strahlenquellen es gibt, was man darüber wissen sollte und wie man sich schützen kann.

Dazu gibt es zunächst eine kurze Einführung in die Grundlagen: Was versteht man unter Radioaktivität? Was ist eigentlich Strahlung? Was ist eine Dosis? Wie wirkt Strahlung? Weitere Abschnitte beschäftigen sich mit dem, was uns vor allem am Herzen liegt, dem Schutz von Mensch und Umwelt vor möglichen schädlichen Wirkungen der Strahlung.

Dass öffentliche Wahrnehmung und wissenschaftliche Forschung nicht immer deckungsgleich sind, kann man am Beispiel des Sonnenbadens sehen. Viele Menschen fahren jährlich in Urlaubsgebiete mit hoher Sonneneinstrahlung, um braungebrannt heimzukehren. Oft wird braune Haut gleichgesetzt mit Fitness und Gesundheit. In Wirklichkeit trifft das leider nicht zu. Hautärzte registrieren jährlich rund 140 000 Neuerkrankungen an Hautkrebs. Das sind doppelt so viele wie noch vor zehn Jahren. Aus diesem Grund sollten Empfehlungen für ein verantwortungsbewusstes Verhalten beim Sonnenbaden dringend befolgt werden!

Hier will die Broschüre eine Brücke spannen von aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen zur persönlichen Verantwortung.

Um komplizierte Zusammenhänge verständlich darzustellen, sind die Texte mit anschaulichen Grafiken oder Bildern illustriert. Ergänzt wird die Informationsschrift schließlich durch ein kleines physikalisches Lexikon, dem Sie die wichtigsten Begriffsdefinitionen zum Strahlenschutz entnehmen können.

Ich hoffe, dass Ihnen die Lektüre wertvolle Informationen bietet und freue mich auf Ihre Anregungen.

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Wolfram König'.

Wolfram König
Präsident des Bundesamtes für Strahlenschutz

INHALTSVERZEICHNIS

VORWORT

DER MENSCH IM FELD NATÜRLICHER UND KÜNSTLICHER STRAHLENQUELLEN.....	5
IONISIERENDE STRAHLUNG	7
RADIOAKTIVITÄT UND STRAHLUNG	7
STRAHLENEXPOSITION UND DOSIS	9
MESSUNG IONISIERENDER STRAHLUNG	11
NATÜRLICHE STRAHLENQUELLEN	14
KÜNSTLICHE STRAHLENQUELLEN	20
WIRKUNG IONISIERENDER STRAHLUNG AUF DEN MENSCHEN	24
ANGEWANDTER STRAHLENSCHUTZ	26
STRAHLENEXPOSITION DER BEVÖLKERUNG IN DEUTSCHLAND	29
NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG.....	30
NIEDERFREQUENTE ELEKTRISCHE UND MAGNETISCHE FELDER.....	32
RADIO- UND MIKROWELLEN.....	42
GRENZWERTE FÜR HOCHFREQUENTE FELDER UND VORSORGE MASSNAHMEN	43
HOCHFREQUENTE FELDER IM ALLTAG	45
ULTRAVIOLETTE STRAHLUNG	51
KLEINES PHYSIKALISCHES LEXIKON.....	56

DER MENSCH IM FELD NATÜRLICHER UND KÜNSTLICHER STRAHLENQUELLEN



Die Sonne ist eine intensive Quelle von Strahlung in Form von Teilchen und elektromagnetischen Wellen.

Der Mensch ist von vielerlei Arten Strahlung umgeben. Das Licht und die Wärme der Sonne, die der Mensch zum Leben benötigt, werden als Strahlung zur Erde gesandt. Eine andere Art von Strahlung empfängt die Antenne unseres Rundfunk- oder Fernsehgerätes, eine weitere Strahlungsart bringt Wasser in Mikrowellengeräten zum Kochen. Strahlung gehört also zur Umwelt des Menschen. Sie kann natürlicher Herkunft sein wie das Sonnenlicht oder künstlich erzeugt werden wie Radio- oder Mikrowellen und wird von vielen Menschen als etwas Selbstverständliches empfunden.

Was also ist Strahlung, die in so verschiedenen Erscheinungsformen auftritt?

Strahlung ist eine Energieform, die sich als elektromagnetische Welle – oder als Teilchenstrom – durch Raum und Materie ausbreitet.

Und was unterscheidet die einzelnen Strahlungsarten voneinander?

Es ist die Energie, die die elektromagnetische Welle gleichsam mit sich trägt. Die infrarote Wärmestrahlung eines Kachelofens, die UV-Strahlung, die Sonnenbrand auf der Haut verursacht oder die Röntgenstrahlung, die unseren Körper durchdringen kann und die Abbildung innerer Organe möglich macht, unterscheiden sich in ihrer grundsätzlichen physikalischen Natur nicht voneinander, wohl aber durch die mitgeführte Energie und damit auch durch ihre Wirkung.

Die Strahlungsarten werden nach ihrer Energie in zwei große Gruppen unterteilt. Ist die Energie der Strahlung so hoch, dass sie bei der Durchdringung von Stoffen an Atomen und Molekülen Ionisationsvorgänge auslöst, spricht man von **ionisierender Strahlung**. Zu dieser Kategorie gehören z. B. die Röntgen- und Gammastrahlung. Reicht die Energie der Strahlung nicht aus, um Atome und Moleküle zu ionisieren, handelt es sich um **nichtionisierende Strahlung**. Sie umfasst den Bereich der Radio- und Mikrowellen sowie elektrische und magnetische Felder und Licht.



Eine der verbreitetsten Anwendungen ionisierender Strahlung ist die medizinische Röntgendiagnostik.

Eine eigene Familie ist die Teilchenstrahlung. Teilchenstrahlung wird, wie auch die Gammastrahlung, von radioaktiven Stoffen ausgesendet. Sie ist sehr energiereich und hat wie Gammastrahlung die Eigenschaft, Atome und Moleküle bei der Durchdringung von Stoffen zu ionisieren. Sie wird deshalb ebenfalls der Gruppe der ionisierenden Strahlung zugeordnet.

Ionisierende Strahlung ist sowohl Teil der Natur seit der Entstehung der Erde als auch ein Resultat menschlicher Tätigkeit. Radioaktive Stoffe und ionisierende Strahlung umgeben uns – bildlich gesprochen – überall. Natürliche radioaktive Stoffe sind in den Böden und Gesteinen der Erdkruste vorhanden. Durch Medizin, Forschung, Technik und Nutzung der Kernenergie in Reaktoren sind künstlich erzeugte radioaktive Stoffe und die von ihnen ausgehende Strahlung in unsere Lebenssphäre gerückt. Grundsätzlich kann ionisierende Strahlung für den Menschen schädlich sein.

Die nichtionisierende Strahlung ist in Form des Sonnenlichtes, des Erdmagnetfeldes oder elektrischer Aufladungen der Atmosphäre vor Gewittern schon immer als natürliche Erscheinung vorhanden gewesen. Durch Einrichtungen der Stromversorgung, der Radio- und Funktechnik, durch Haushaltsgeräte u. a., die heute zu einem nicht mehr wegzudenkenden Bestandteil des modernen Lebens geworden sind, ist auch die künstlich erzeugte nichtionisierende Strahlung Teil unserer Umgebung. Nichtionisierende Strahlung übt auf das menschliche Gewebe eine Wirkung aus, die sowohl nützlich als auch schädigend sein kann – ein Beispiel hierfür ist die ultraviolette Komponente des Sonnenlichtes.

Der Mensch kann die meisten Strahlungsarten mit seinen Sinnesorganen nicht wahrnehmen. Das mag mit

ein Grund dafür sein, warum es für viele Menschen schwierig ist, Strahlenrisiken richtig zu beurteilen.

Die zentrale Aufgabe des Strahlenschutzes ist es, Mensch und Umwelt vor der schädlichen Wirkung durch ionisierende Strahlung oder radioaktive Stoffe zu schützen. Basierend auf der Annahme einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwelle wurde das System des Strahlenschutzes mit den Grundsätzen Rechtfertigung, Minimierung/Optimierung und Dosisbegrenzung aufgebaut (siehe dazu Abschnitt „Angewandter Strahlenschutz“). Die Strahlenschutzgrundsätze sind in der Strahlenschutzverordnung verankert.

Im Bereich der nichtionisierenden Strahlung sind Strahlenschutzgrundsätze weniger weit entwickelt. Da Dosis-Wirkungs-Beziehungen bislang nicht bekannt sind, beruht die Diskussion auf der plausiblen Annahme, dass eine Reduzierung der Exposition auch zu einer Reduzierung eines möglicherweise bestehenden Risikos führt. Auch im Bereich der UV-Strahlung existiert der Dosisbegriff bisher nur ansatzweise. Hier besteht wissenschaftlich allerdings kein Zweifel daran, dass ultraviolette Strahlung eine der Hauptursachen für Hautkrebserkrankungen ist. Vorsorge und Minimierung werden national und international kontrovers diskutiert.

In der vorliegenden Broschüre werden die wichtigsten Arten ionisierender und nichtionisierender Strahlung, ihre Quellen, ihre Wirkungen und ihre Risiken beschrieben. Zudem werden die Maßnahmen erläutert, die möglich und notwendig sind, um im Sinn der Vorsorge und der Abwehr von Schäden die Risiken beim Umgang mit Strahlung so gering wie möglich zu halten und die Strahlung zum Wohle des Menschen – zum Beispiel in der Medizin – einsetzen zu können.



Beim schnurlosen Telefonieren wird die Information durch elektromagnetische Wellen übertragen.

IONISIERENDE STRAHLUNG

RADIOAKTIVITÄT UND STRAHLUNG



Der französische Physiker Antoine-Henri Becquerel entdeckte im Jahre 1896 die Radioaktivität.

Als der französische Physiker *Antoine-Henri Becquerel* im Jahre 1896 mit uranhaltigem Gestein experimentierte, stellte er fest, dass in der Nähe befindliche Photoplatten trotz lichtdichter Verpackung geschwärzt waren. Die Ursache dafür konnten nur die Präparate in seinem Labor sein, von denen offensichtlich eine durchdringende Strahlung ausging. Die Wissenschaftlerin *Marie Curie* prägte später für die Erscheinung, dass bestimmte Stoffe ohne erkennbare äußere Einwirkung unsichtbare, mit

technischen Mitteln wie Photoplatten jedoch nachweisbare Strahlung aussenden, den Begriff der **Radioaktivität**.

Die von Becquerel gefundene Strahlung wies die gleichen Eigenschaften auf wie die so genannten „X-Strahlen“, die *Wilhelm Conrad Röntgen* ein Jahr zuvor entdeckt hatte und die später nach ihm benannt wurden – sie konnten Materie durchdringen und diese dabei ionisieren.

Heute bezeichnen wir als Radioaktivität die Eigenschaft bestimmter Atomkerne, sich ohne äußere Einwirkung von selbst in andere Kerne umzuwandeln und dabei energiereiche Strahlung auszusenden. Der Prozess der Kernumwandlung wird in der Regel als Kernzerfall und die abgegebene Strahlung – wegen ihrer bereits erwähnten Eigenschaft – als ionisierende Strahlung bezeichnet. Abhängig vom Ausgangsmaterial entstehen beim Kernzerfall stabile und/oder radioaktive Zerfallsprodukte, welche ihrerseits weiter zerfallen können.

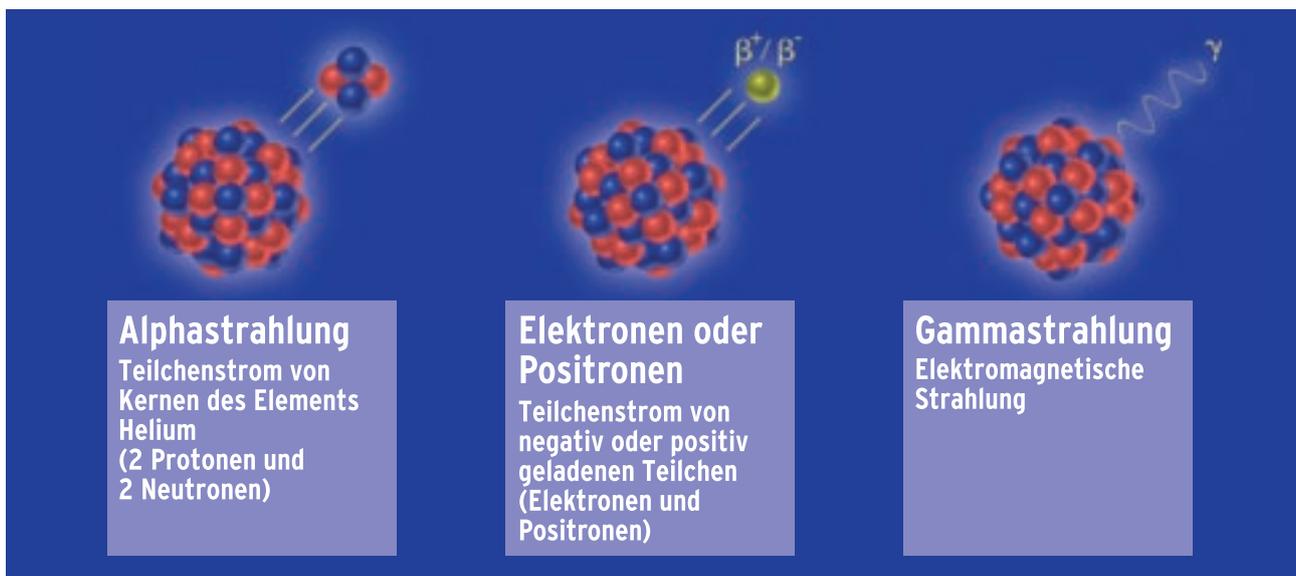
Beim Kernzerfall können folgende Arten ionisierender Strahlung emittiert werden:

Alphastrahlung

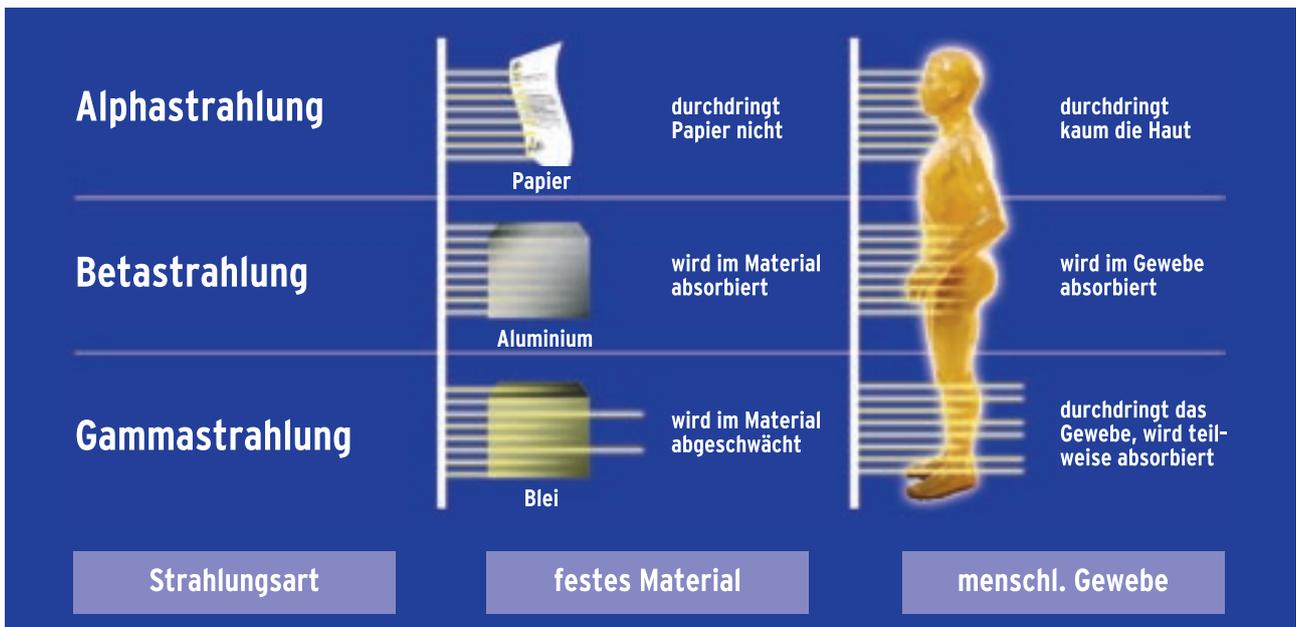
Alphastrahlung ist eine Teilchenstrahlung in Form von Kernen des Elements Helium (Alphateilchen). Alphateilchen werden durch wenige Zentimeter Luft bereits absorbiert und können weder ein Blatt Papier noch die Haut des Menschen durchdringen.

Betastrahlung

Betastrahlung ist eine Teilchenstrahlung in Form von Elektronen oder Positronen (Betateilchen). Das Durchdringungsvermögen von Betateilchen beträgt in Luft



Arten ionisierender Strahlung.



Durchdringungsvermögen der verschiedenen Strahlungsarten in festen Materialien und in menschlichem Gewebe.

einige Zentimeter bis Meter, in Weichteilgewebe oder Kunststoff wenige Millimeter bis Zentimeter.

Gammastrahlung

Gammastrahlung ist eine elektromagnetische Strahlung. Sie ist von gleicher physikalischer Natur wie das sichtbare Licht, allerdings erheblich energiereicher und mit hohem Durchdringungsvermögen in Materie. Zur Abschirmung von Gammastrahlung müssen deshalb schwere Materialien wie beispielsweise Blei und Beton verwendet werden. Abgesehen von der Art der Entstehung ist Gammastrahlung mit der Röntgenstrahlung vergleichbar.

Neutronenstrahlung

Neutronen sind elektrisch neutrale Elementarteilchen. Sie werden insbesondere bei der Kernspaltung – einer

speziellen Form der Kernumwandlung – freigesetzt. Die Kernspaltung ist nur für schwere Atomkerne – wie z. B. vom Element Uran – charakteristisch und findet z. B. in Kernreaktoren statt. Das Maß für die Aktivität eines Stoffes ist die Anzahl der pro Zeiteinheit in diesem Stoff ablaufenden Kernzerfälle. Die Maßeinheit der Aktivität eines radioaktiven Stoffes ist das **Becquerel** (Kurzzeichen: Bq).

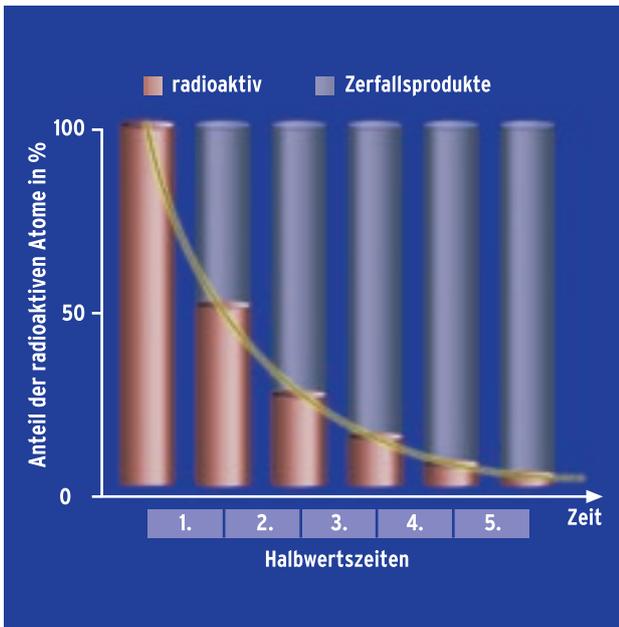
$$1 \text{ Bq} = \frac{1 \text{ Kernzerfall}}{\text{Sekunde}}$$

Mit der Aktivität wird also angegeben, wie viele Kernzerfälle in einem bestimmten radioaktiven Stoff pro Sekunde stattfinden.

Die Aktivität 1 Bq ist sehr klein. Versuchen wir uns einmal vorzustellen, dass ein Gramm Wasser etwa 10^{23} Atome enthält (das ist eine Zahl mit 23 Nullen). Wenn



Durchdringungsvermögen der verschiedenen Strahlungsarten in festen Materialien und in menschlichem Gewebe.



Die Anzahl der radioaktiven Atome eines bestimmten Nuklids nimmt während jeder Halbwertszeit um die Hälfte der jeweiligen Ausgangsmenge ab.

darunter so viele radioaktive Atome sind, dass jede Sekunde eines davon zerfällt, dann hat dieses Gramm Wasser eine Aktivität von einem Becquerel.

Beim Zerfall radioaktiver Atome entstehen so genannte Zerfallsprodukte, also andere Atome, die stabil oder radioaktiv sein können. Die Zeit, die vergeht, bis nur noch die Hälfte der ursprünglich vorhandenen radioaktiven Atomkerne vorhanden ist, nennt man die **Halbwertszeit**. Diese ist auch das Maß für die Zeit, in der die Intensität der von dem radioaktiven Stoff ausgesandten ionisierenden Strahlung auf die Hälfte des Ausgangswertes absinkt. Nach zehn Halbwertszeiten beträgt die Aktivität des Stoffes und demnach auch die Intensität der Strahlung etwa ein Tausendstel des Anfangswertes. Jedes Radionuklid hat eine charakteristische, individuelle Halbwertszeit. Für die verschiedenen Radionuklide reichen die jeweiligen Halbwertszeiten von Sekundenbruchteilen bis zu mehreren Milliarden Jahren.

Röntgenstrahlung

Die Röntgenstrahlung zählt zur ionisierenden Strahlung und unterscheidet sich in ihrer physikalischen Natur nicht von der Gammastrahlung. Röntgenstrahlung wird technisch beim Abbremsen von energiereichen Elektronen an der Anode einer Röntgenröhre erzeugt. Die sehr kurzwellige Strahlung ist um so durchdringender, je höher die anliegende Röhrenspannung ist, mit der die Elektronen beschleunigt werden.

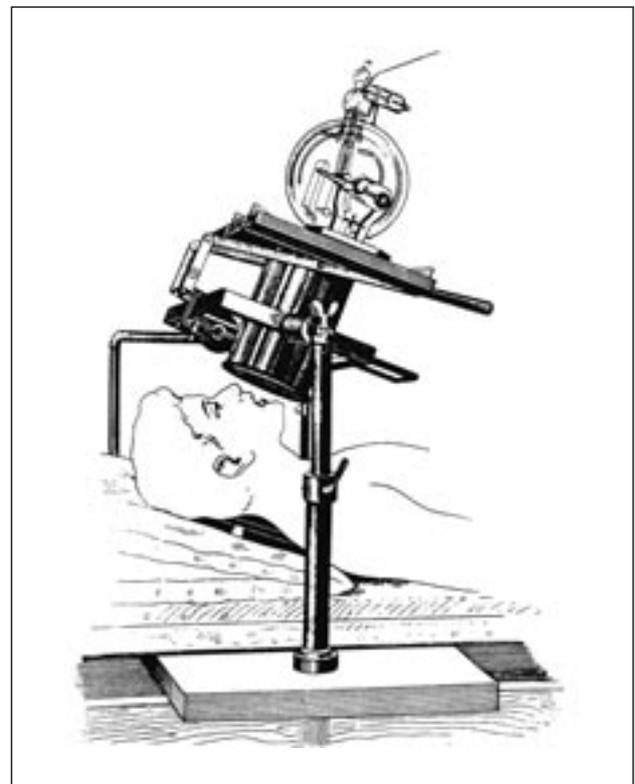
Im Unterschied zur Kernstrahlung, die in ihrer Existenz an Radionuklide gebunden ist und so lange ausgesandt wird, bis auch das „letzte“ Radionuklid zerfallen ist,

wird keine Röntgenstrahlung mehr erzeugt, sobald das Röntgengerät abgeschaltet ist.

STRAHLENEXPOSITION UND DOSIS

Zur Bemessung der Strahlenwirkung dient der Begriff **Dosis**. Strahlung überträgt – wie wir bereits erfahren haben – Energie. Deshalb bemisst man die Strahlungsdosis an der Energiemenge (Maßeinheit: Joule), die durch die Strahlung an eine bestimmte Materiemenge (Maßeinheit : Kilogramm) abgegeben wird. Die Dosis wird in diesem Zusammenhang als **Energiedosis** bezeichnet. Die Maßeinheit der Energiedosis ist das Gray; Kurzzeichen Gy. Ein Gray entspricht dabei einem Joule pro Kilogramm ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$).

Trifft ionisierende Strahlung auf den menschlichen Körper, erfolgt eine **Strahlenexposition**. Das bedeutet, dass die Strahlung mit dem Körpergewebe in Wechselwirkung tritt und in unterschiedlichem Maße absorbiert wird. Auch die „Menge“ der vom Körper aufgenommenen Strahlung wird durch die Angabe einer Dosis ausgedrückt. Die verschiedenen Strahlungsarten verursachen im Körpergewebe jedoch unterschiedlich starke biologische Wirkungen. Wird z. B. ein Gewebe einer Exposition ausgesetzt, die bei gleicher Energiedosis ein-



Historischer Röntgenapparat. Röntgenstrahlung wird beim Abbremsen der von der Kathode zur Anode beschleunigten Elektronen erzeugt; deren Bewegungsenergie wird teilweise in elektromagnetische Strahlung umgewandelt.

mal von Alphastrahlung und ein anderes Mal von Betastrahlung herrührt, ist die biologische Wirkung der Alphastrahlung etwa 20 mal größer. Mit der Angabe allein der Energiedosis kann demzufolge die biologische Wirkung der Strahlung im menschlichen Körper nicht ausreichend beschrieben werden.

Die Energiedosis wird deshalb mit Hilfe so genannter Strahlungs-Wichtungsfaktoren präzisiert, die die biologischen Unterschiede der Strahlungswirkung berücksichtigen. Die Zahlenwerte dieser Faktoren für die verschiedenen Strahlungsarten sind dabei so ausgewählt, dass sie ein Maß für deren biologische Wirksamkeit bei niedrigen Dosen darstellen. Der Wichtungsfaktor für Strahlung mit geringer Ionisationsdichte in Gewebe, wie z. B. Röntgen-, Gamma- und Betastrahlung, wird mit 1 angenommen. Für Strahlung mit hoher Ionisationsdichte wie Alpha- und Neutronenstrahlung werden

höhere Werte angenommen. In der Strahlenschutzverordnung der Bundesrepublik Deutschland (Anlage VI zur StrlSchV) werden zur Bewertung der biologischen Wirksamkeit Strahlungs-Wichtungsfaktoren der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) angegeben, wie sie in der Tabelle (s. unten) aufgeführt sind.

Die Dosis, welche die biologische Wirksamkeit der Strahlung „wichtet“, wird als **Organdosis** bezeichnet. Man erhält sie durch Multiplikation der Energiedosis, angegeben in Gray (Gy), mit dem Strahlungs-Wichtungsfaktor. Die Maßeinheit der Äquivalentdosis ist das **Sievert (Sv)**.

Strahlungswirkungen werden eingeteilt in **deterministische** Wirkungen, die bei einer Exposition oberhalb bestimmter Dosiswellenwerte eintreten und **stochastische** Wirkungen, die nach Ablauf einer längeren

Strahlungsart	Faktor
Röntgen- und Gammastrahlung	1
Betastrahlung	1
Neutronen je nach Energie	5 ... 20
Alphastrahlung	20

Strahlungs-Wichtungsfaktoren für verschiedene Arten ionisierender Strahlung.

Organe und Gewebe	Faktor
Keimdrüsen	0,20
Knochenmark (rot)	0,12
Dickdarm	0,12
Lunge	0,12
Magen	0,12
Blase	0,05
Brust	0,05
Leber	0,05
Speiseröhre	0,05
Schilddrüse	0,05
Haut	0,01
Knochenoberfläche	0,01
übrige Organe und Gewebe	0,05

Gewebe-Wichtungsfaktoren für verschiedene Organe und Gewebe.



Zusammenhang zwischen Energiedosis, Organdosis und effektiver Dosis zur Bewertung des Strahlenrisikos.

Latenzzeit mit einer bestimmten, dosisabhängigen Wahrscheinlichkeit auftreten können. (Im Abschnitt „Wirkung ionisierender Strahlung“ wird darauf näher eingegangen.)

Die Wahrscheinlichkeit, mit der im niedrigen Dosisbereich stochastische Wirkungen ausgelöst werden, ist bei gleicher Organdosis für die verschiedenen Organe und Gewebe unterschiedlich. Die Haut des Menschen ist z. B. weit weniger empfindlich gegenüber einer Strahlenexposition als verschiedene innere Organe. Um diese Unterschiede zu berücksichtigen, wird durch die Bestimmung einer effektiven Dosis das Risiko für das Auftreten möglicher stochastischer Wirkungen bei Exposition einzelner Organe und Gewebe oder des gesamten Körpers bewertet. Die Organdosen der exponierten Organe und Gewebe werden dazu mit Gewebe-Wichtungsfaktoren (s. Tab. S. 10 unten) multipliziert, die ein Maß für den Beitrag des exponierten Organs zum Schadensrisiko des gesamten Körpers darstellen.

Die Summe der derart gewichteten Organdosen ist die **effektive Dosis**. Eine gleichmäßige Exposition des ganzen Körpers oder eine Exposition einzelner Organe und Gewebe ergeben das gleiche stochastische Risiko, wenn die effektiven Dosen übereinstimmen. Die effektive Dosis wird ebenfalls in **Sievert (Sv)** angegeben.

Organdosis und effektive Dosis sind Größen, die nur im Strahlenschutz und unterhalb der Schwellenwerte für deterministische Wirkungen verwendet werden. Da diese Schutzgrößen nicht direkt gemessen werden können, definiert die Strahlenschutzverordnung die Äquivalentdosis weiterhin als Messgröße.

Bezieht man die Dosis auf eine bestimmte Zeiteinheit, spricht man von der **Dosisleistung**. Die Dosisleistung wird in der Regel auf eine Stunde bezogen und z. B. in Gray oder Sievert pro Stunde (Gy/h; Sv/h) angegeben.

Organdosis und effektive Dosis werden als Körperdosen bezeichnet. Sie dienen zur Definition der Ziele, die im Strahlenschutz erreicht werden müssen. So ist z. B. bei beruflich strahlenexponierten Personen die effektive Dosis pro Jahr auf 20 mSv beschränkt. Die Körperdosen sind Schutzgrößen, die nur in den seltensten Fällen direkt im Körper eines Menschen gemessen werden können. Ihre Einhaltung wird deshalb mit den Messgrößen überwacht. Die Äquivalentdosen sind also Dosisgrößen, die messbar oder berechenbar sind. Liegen die Messwerte dieser Größen unterhalb der Grenzwerte, dann liegen auch die Schutzgrößen im zulässigen Bereich.

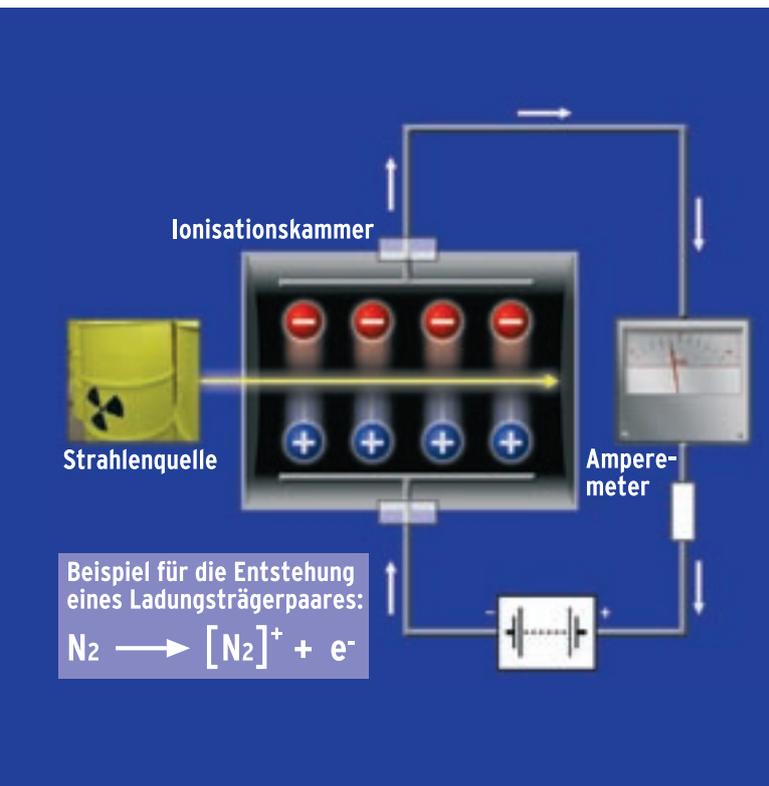
Die Strahlenschutzverordnung definiert zum Zwecke der Messung die Personendosis als Äquivalentdosis (gemessen an einer repräsentativen Stelle der Oberfläche einer Person).

MESSUNG IONISIERENDER STRAHLUNG

Der sichere Umgang mit ionisierender Strahlung setzt voraus, dass diese zuverlässig gemessen werden kann. Das ist schon allein deswegen erforderlich, weil der Mensch kein Sinnesorgan besitzt, das ihm die Wahrnehmung ionisierender Strahlung ermöglicht. Ionisierende Strahlung lässt sich sehr gut messen. Das Prinzip der Strahlungsmessung beruht auf der Nutzung der ionisierenden Wirkung der Strahlung in Materie, beispielsweise in einem Gas, einem Kristall oder einem Filmmaterial.

Das klassische Anwendungsbeispiel hierfür ist die **Ionisationskammer**. Diese besteht aus einem gasgefüllten Behälter, in dem sich zwei Elektroden befinden, an denen eine Gleichspannung anliegt. Die in das Messvolumen einfallende Strahlung ionisiert einen Teil der Gasmoleküle. Die Häufigkeit der Ionisationsvorgänge hängt von der Intensität der Strahlung ab. Im Gas werden Ladungsträgerpaare gebildet: positiv geladene Ionen und negative Elektronen.

Durch die angelegte Spannung werden die Ladungsträger zu der jeweils entgegengesetzt geladenen Elektrode hin angezogen. Es fließt ein Strom, dessen Stärke gemessen werden kann. Die Stromstärke ist ein



Schematische Darstellung der Funktionsweise einer Ionisationskammer.



Strahlungsmessgerät mit Geiger-Müller-Zählrohr (in Kombination mit einem Szintillationsdetektor).

Maß für die Intensität der Strahlung. Mit einer Ionisationskammer kann je nach Messbedingung sowohl die Dosis als auch die Dosisleistung bestimmt werden.

Wird zwischen den Elektroden der Messkammer eine Hochspannung angelegt, wird jeder einzelne Ionisationsvorgang im Messvolumen lawinenartig verstärkt. An den Elektroden entstehen Spannungsimpulse, die elektronisch gezählt werden. Deshalb werden diese Geräte als **Zählrohre** bezeichnet. Eines der bekanntesten Geräte ist das Geiger-Müller-Zählrohr, das umgangssprachlich auch als „Geigerzähler“ bekannt ist.

Zählrohre sind vielseitig verwendbar. Bei der Messung von Gammastrahlung werden sie zur Bestimmung der Dosis und Dosisleistung eingesetzt. Ein weiteres Anwendungsgebiet ist die Bestimmung des Aktivitätsgehaltes von Radionukliden in Substanzen, z. B. Pflanzen- und Bodenproben. Die zumeist sehr geringen Aktivitätskonzentrationen in diesen Proben können nur dann zuverlässig bestimmt werden, wenn die Messanordnung mit geeigneten Materialien (z. B. Blei) von der natürlichen Umgebungstrahlung abgeschirmt wird.

Andere Arten von Strahlungsmessgeräten verwenden als Detektormaterial feste Stoffe in Kristallform, Gläser, Kunststoff oder andere spezielle Materialien. Die Wahl des geeigneten Messgerätes einschließlich des Detektors hängt in hohem Maße von der Messaufgabe ab. Bevor man sich für ein bestimmtes Messgerät entscheidet, muss geklärt sein, welcher Art die Strahlenquelle ist, welche Strahlung oder welches Strahlungsgemisch gemessen werden soll und in welchem Dosisleistungsbereich die Intensität der Strahlung erwartet wird. Letzteres ist von entscheidender Bedeutung bei der Wahl der Empfindlichkeit des Messgerätes. Das bedeutet, dass z. B. mit einem Gerät, das zur Überwachung von Arbeiten im Kernkraftwerk geeignet ist, keine verlässlichen Messwerte gewonnen werden können, wenn man versucht, damit die Aktivitätskonzentration von Radionukliden in Umweltmedien zu bestimmen. Mit einem Strahlungsmessgerät können nur dann zuverlässige Messergebnisse erzielt werden, wenn es gemäß den Messbedingungen verwendet wird, für die es konzipiert wurde.

Eine wichtige Messaufgabe in der Praxis des Strahlenschutzes besteht darin, die Dosis zu ermitteln, die von Personen beim beruflichen Umgang mit radioaktiven Stoffen und ionisierender Strahlung aufgenommen wird. Die dazu verwendeten Strahlungsmessgeräte werden als **Personendosimeter** bezeichnet. In der Regel werden die Dosimeter an der Arbeits- oder Schutzkleidung befestigt und registrieren auf diese Weise die Personendosis in einem sich örtlich und zeitlich ändernden Strahlungsfeld.

Eines der gebräuchlichsten Personendosimeter beruht auf der Schwärzung fotografischer Filme. Dieses Dosimeter wird deshalb als **Filmdosimeter** bezeichnet.

Nach Ablauf der Einsatzzeit eines Filmdosimeters, die in der Regel einen Monat beträgt, werden die Filme ent-



Abgeschirmte Messanordnung mit Halbleiterdetektor zur Bestimmung geringer Aktivitätskonzentrationen in Proben.

wickelt, das Schwärzungsmuster optisch ausgewertet und daraus die Dosis bestimmt. Da die Filmschwärzung über viele Jahre erhalten bleibt, können die Dosimeterfilme archiviert werden.

Wie alle Materie sind auch wir Menschen immer und überall ionisierender Strahlung ausgesetzt. Die Ursache

dafür sind natürliche Strahlenquellen, die unabhängig vom Menschen entstanden sind und existieren. Sie sind damit Bestandteil unseres täglichen Lebens und sind gegenwärtig, wo immer wir uns befinden.



Verschiedene Strahlungsmessgeräte und Personendosimeter; vorn ein Film-dosimeter.

NATÜRLICHE STRAHLENQUELLEN



Der Mensch ist der Einwirkung von Strahlung aus natürlichen Radionukliden und aus dem Weltall ausgesetzt.

Aus der Sonne und den Tiefen des Weltalls gelangt **kosmische Strahlung** auf die Erde. Sie besteht im Wesentlichen aus energiereichen Teilchen und aus Gammastrahlung. Auf ihrem Weg durch die Lufthülle wird die kosmische Strahlung teilweise absorbiert. Das bedeutet, dass die Dosisleistung der kosmischen Strahlung von der Höhenlage abhängt. Sie ist auf Meeresebene am niedrigsten und beträgt hier ca. 32 Nano-gray pro Stunde (nGy/h). Mit der Höhe nimmt die Dosisleistung der kosmischen Strahlung zu und ist z. B. auf der Zugspitze viermal höher als an der Küste. Im Durchschnitt führt die kosmische Strahlung in Deutschland jährlich zu einer effektiven Dosis von ca. 0,3 Millisievert pro Jahr (mSv/a).

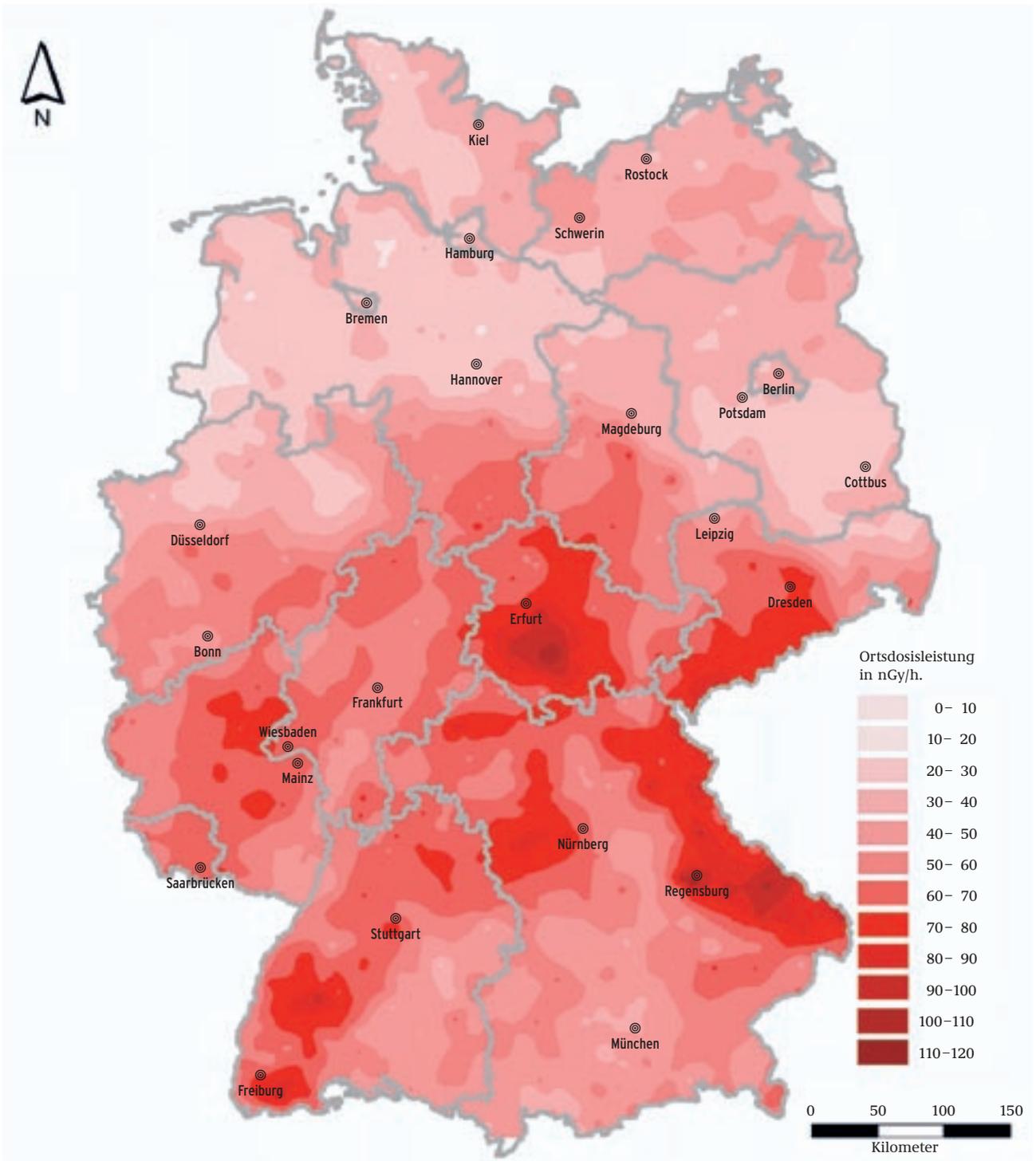
Mit der Entstehung der Materie, aus der die Erde gebildet wurde, entstanden auch zahlreiche Radionuklide. Von diesen sind heute nur noch die Radionuklide vorhanden, deren Halbwertszeiten in der Größenordnung des geschätzten Alters der Erde liegen.

Diese natürlichen Radionuklide und deren Zerfallsprodukte sind in unterschiedlichen Konzentrationen in den Böden und Gesteinen der Erdkruste vorhanden; die von ihnen ausgehende Strahlung wird deshalb als **terrestrische Strahlung** bezeichnet. Die wichtigsten Elemente, die einen Beitrag zur terrestrischen Strahlung leisten, sind Kalium, Uran mit seinem Zerfallsprodukt Radium und in bestimmten Regionen Thorium.

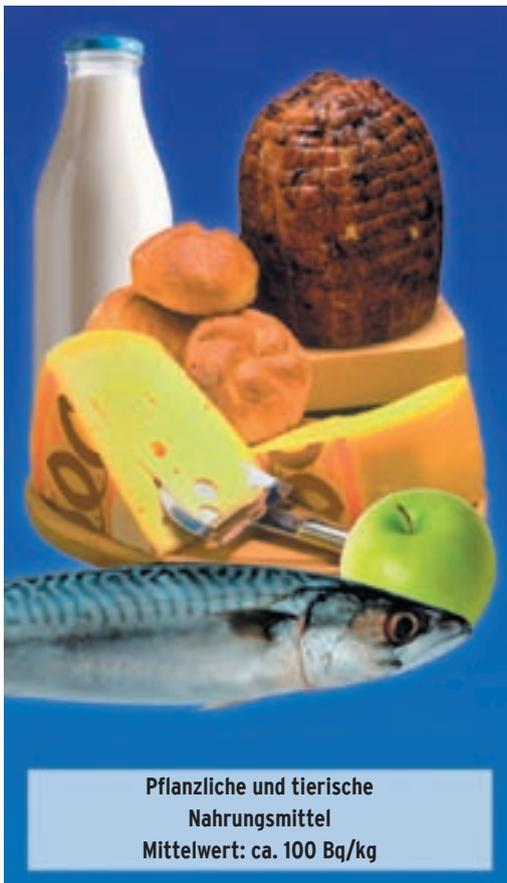
Die abgebildete Karte (S. 15) zeigt die Dosisleistungsverteilung der terrestrischen Strahlung in der Bundesrepublik Deutschland. Deutlich ist die Abhängigkeit der Dosisleistung von der Region und damit den geologischen Gegebenheiten zu erkennen. Während im Flachland Norddeutschlands Dosisleistungen im Bereich von 10 bis 50 nGy/h vorherrschen, kann das Niveau der terrestrischen Strahlung in Gebirgsregionen mit Granitformationen, die einen erhöhten Gehalt an Uran und Radium aufweisen, Werte bis 120 nGy/h und lokal darüber erreichen. Der Mittelwert der effektiven Dosis durch terrestrische Strahlung für die Bevölkerung in Deutschland liegt bei ca. 0,4 Millisievert pro Jahr (mSv/a).

Nuklid	Halbwertszeit
Thorium-232	14 Milliarden Jahre
Uran-238	4,4 Milliarden Jahre
Uran-235	700 Millionen Jahre
Kalium-40	1,3 Milliarden Jahre

Halbwertszeiten einiger natürlicher radioaktiver Nuklide.



Dosisleistung der terrestrischen Strahlung in Deutschland.



Natürliche Radionuklide in Nahrungsmitteln.



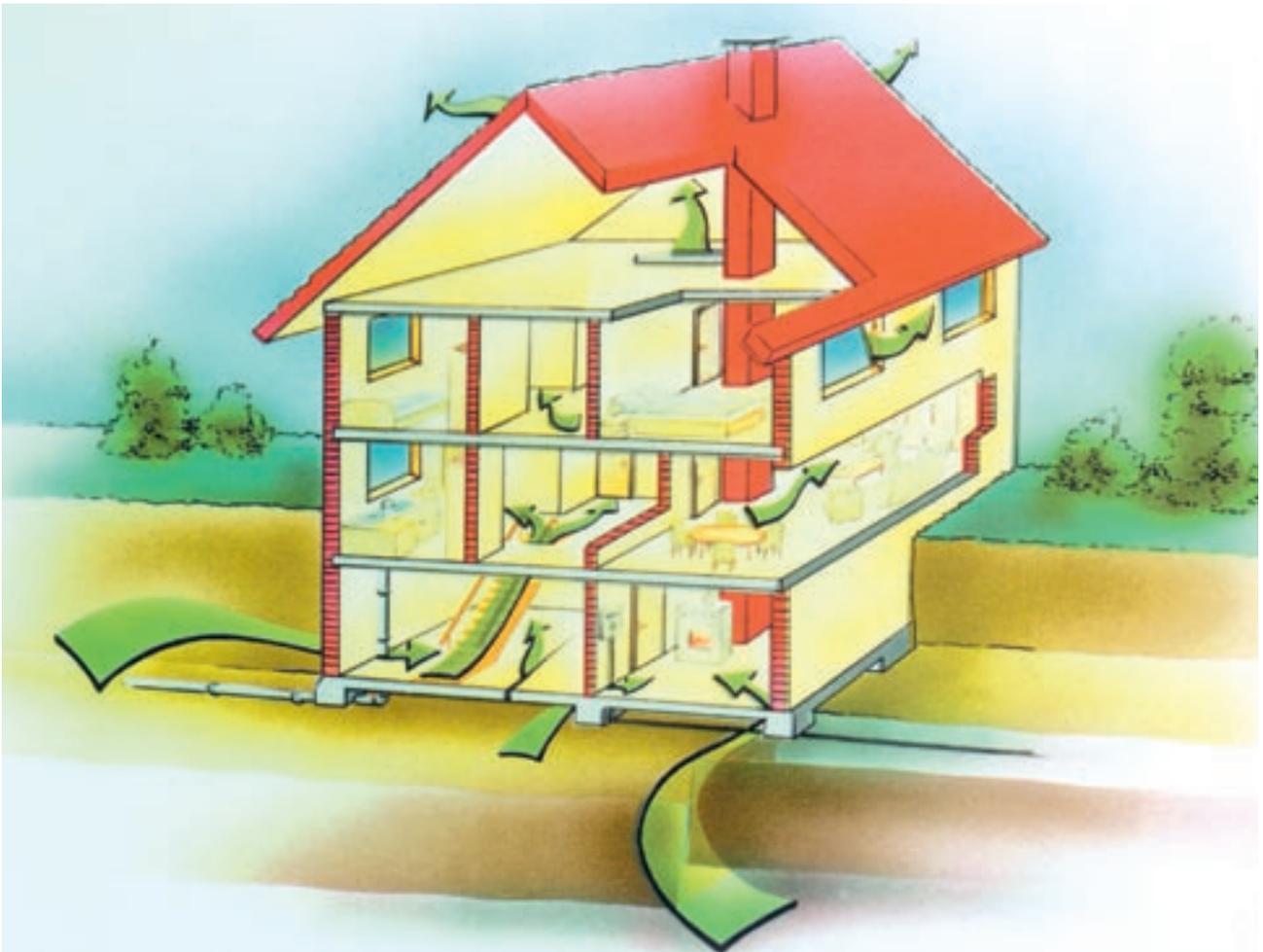
Natürliche Radionuklide im menschlichen Körper.

Aus dem Boden gelangen die **natürlichen Radionuklide** in Wasser, Pflanzen und Tiere und damit in die Nahrung des Menschen. Alle unsere pflanzlichen und tierischen Nahrungsmittel sowie das Wasser enthalten geringe Konzentrationen natürlicher Radionuklide. Dabei überwiegt das radioaktive Kalium-40, das im natürlich vorkommenden Element Kalium mit 0,012 % enthalten ist. Mit jedem Kilogramm unserer pflanzlichen und tierischen Nahrung nehmen wir im Mittel etwa 100 Bq an natürlichen Radionukliden auf. Diese werden zum Teil in den Stoffwechsel einbezogen und verbleiben über bestimmte Zeitspannen hinweg im menschlichen Körper. Das bedeutet, dass der Mensch selbst eine gewisse Menge natürlicher Radionuklide enthält.

Die Gesamtaktivität natürlicher Radionuklide im Körper eines erwachsenen Menschen beträgt etwa 8000 bis 9000 Bq. Das dabei wesentliche Nuklid ist wiederum Kalium-40, da das Element Kalium ein unverzichtbarer, lebenswichtiger Baustein des menschlichen Körpers ist. Das bedeutet, dass in unserem Körper jede Sekunde acht- bis neuntausend Kernzerfälle stattfinden, fast 800 Millionen pro Tag. Die daraus resultierende effektive Dosis beträgt im Mittel ca. 0,3 mSv pro Jahr.

Eine besondere Stellung unter den natürlichen Radionukliden nimmt das **Radon** ein. Radon-222 ist ein radioaktives Edelgas mit einer Halbwertszeit von 3,8 Tagen, das in geringer Aktivitätskonzentration praktisch überall in unserer Lebenssphäre vorhanden ist und durch Einatmen eine Strahlenexposition des Atemtraktes verursacht. Radon entsteht aus Uran, das in geringen, jedoch messbaren Konzentrationen in den Böden und Gesteinen der Erdkruste vorhanden ist und somit auch in mineralischen Baustoffen auftritt. Uran wandelt sich durch radioaktiven Zerfall in Radium-226 um, das weiter zu Radon-222 zerfällt. Aufgrund seiner Mobilität kann das Radon-222 in die freie Atmosphäre und in Häuser gelangen. Sowohl in der bodennahen Atmosphäre als auch in Gebäuden ist die Radonkonzentration erheblichen Schwankungen unterworfen, die von der Jahreszeit, der Wetterlage und anderen Bedingungen abhängen.

In der bodennahen Atmosphäre wird das Radon rasch verteilt. Die Radonkonzentration ist deshalb im Freien wesentlich niedriger als in Gebäuden. In Gebäude gelangt das Radon im Wesentlichen auf zwei Wegen: Aus dem Erdboden durch Risse und Undichtigkeiten im Fundament und aus Baustoffen, die je nach Material und Herkunft unterschiedliche Konzentrationen an Radium enthalten können. Der Beitrag der Baustoffe zur Radonkonzentration in Häusern ist in Deutschland von untergeordneter Bedeutung. Der Mittelwert der Radonkonzentration in Wohnungen beträgt in Deutschland rund 50 Bq/m³. Es werden Jahresmittelwerte zwischen 10 und einigen tausend Bq/m³ gemessen. Jahresmittelwerte über 1000 Bq/m³ in Aufenthaltsräumen sind jedoch



Eintrittspfade des Radons in Gebäude.

selten. Die Häufigkeit, mit der erhöhte Radonkonzentrationen auftreten, ist regional unterschiedlich. Die Radonkonzentrationen in einem Haus weisen oft starke zeitliche Veränderungen auf, die auf die Witterungsverhältnisse und Lüftungsgewohnheiten der Nutzer zurückzuführen sind.

Neuere Untersuchungen zeigen, dass bei langjährigem Aufenthalt in Räumen das zusätzliche Risiko an Lungenerkrankungen um ca. 10 % pro Anstieg der Radonkonzentration um 100 Bq/m^3 zunimmt. Das Bundesamt für Strahlenschutz empfiehlt, Maßnahmen zur Senkung der Strahlenexposition durch Radon dann in Betracht zu ziehen, wenn im Jahresmittel der Wert von 100 Bq/m^3 überschritten wird. Eine Absenkung kann oft schon mit einfachen Mitteln erreicht werden, z. B. durch

- häufige und intensive Lüftung,
- Abdichtung offensichtlicher Radon-Eintrittspfade im bodenberührenden Hausbereich (Risse, Fugen, Rohrdurchführungen),
- Abdichtung von Kellertüren.

Bei Konzentrationen deutlich über 100 Bq/m^3 können auch aufwändigere Maßnahmen erforderlich werden. Dabei sollen der Aufwand für Radonschutzmaßnahmen

und der Zeitraum bis zu deren Realisierung in Relation zur Höhe der gemessenen Radonkonzentration stehen. Da die Radonmenge, die durch Luftaustausch mit der Außenluft in das Gebäude gelangt und aus Baumaterialien freigesetzt wird, kaum reduziert werden kann, ist eine generelle Verringerung der Radonkonzentration in Bereichen deutlich unter 100 Bq/m^3 in Deutschland praktisch nicht realisierbar. Neu zu errichtende Gebäude sollen so geplant werden, dass in Aufenthaltsräumen Radonkonzentrationen von mehr als 100 Bq/m^3 im Jahresmittel vermieden werden. Dies ist mit einem relativ geringen zusätzlichen Mitteleinsatz möglich. Eine Übersicht über mögliche Radonschutzmaßnahmen und deren Effizienz gibt das Radonhandbuch Deutschland (Hrsg. BMU/BfS).

In der Raumluft von Gebäuden ist im Durchschnitt etwa fünfmal soviel Radon enthalten wie in der Außenluft. Das spiegelt sich auch in den Mittelwerten der jährlichen effektiven Dosis der Bevölkerung durch Radon und seine Zerfallsprodukte wider. Während jeder Bundesbürger im statistischen Mittel während des Aufenthaltes in Häusern durch Radon eine Exposition von ca. $0,9 \text{ mSv}$ pro Jahr erfährt, beträgt dieser Wert für den Aufenthalt im Freien ca. $0,2 \text{ mSv}$ pro Jahr. Das bedeutet, dass die jährliche Exposition durch Radon mehr als 50 % der jährlichen Exposition durch alle



Althalde des mittelalterlichen Bergbaus mit Bebauung.

natürlichen Radionuklide zusammen ausmacht. Die durch alle Komponenten natürlicher Strahlenquellen bedingte Strahlenexposition des Menschen beträgt in Deutschland durchschnittlich etwa 2,1 mSv pro Jahr. Aufgrund natürlicher Gegebenheiten, zu denen z. B. die geologischen Bedingungen an einem bestimmten Aufenthaltsort oder dessen Höhenlage gehören, können erhebliche Abweichungen von dem Durchschnittswert auftreten.

Die **natürliche Strahlenexposition** kann deshalb sehr unterschiedlich sein **und in Deutschland zwischen ca. 1 und 10 mSv pro Jahr** liegen.

Die ursprüngliche Verteilung der Radionuklide in der Natur und die Höhe der natürlichen Strahlenexposition kann durch die Tätigkeit des Menschen beeinflusst werden. Diese **zivilisatorischen Einwirkungen** können unter Umständen erheblich sein.

Ein klassisches Beispiel dafür ist der Bergbau. In verschiedenen Regionen Deutschlands wurde bereits seit dem Mittelalter Erz abgebaut. Dies kam häufig zusammen mit Uranerz vor, das damals keine Beachtung fand und mit dem Nebengestein als Abraum in der Umgebung aufgehaldet wurde. In Häusern, die auf diesen Halden errichtet wurden, konnten erhöhte Radonkonzentrationen auftreten. Diese Zusammenhänge wurden erst in jüngster Vergangenheit erkannt. Sie sind der Grund zur Einleitung von Maßnahmen zur Verringerung der Radonkonzentration in Häusern.

Nach dem zweiten Weltkrieg hat die ehemalige Sowjetunion in Sachsen und Thüringen Uranerz in großem Umfang abgebaut und verarbeitet. Dies führte zu weiteren radiologischen Umweltbelastungen. Als Abraum aufgehaldete Materialien sowie Rückstände aus der Erzverarbeitung mit erhöhten Konzentrationen natürlicher Radionuklide sind Ursache lokaler Veränderungen der Strahlensituation. Diese Veränderungen sind jedoch zu meist auf bergbauliche Objekte und deren unmittelbare Umgebung beschränkt. Dies wurde in umfangreichen und detaillierten Untersuchungen nachgewiesen. Seit 1991 wurden in großem Umfang Sanierungsarbeiten durchgeführt, durch die die Umweltauswirkungen der bergbaulichen Objekte und mögliche Strahlenbelastungen für die in deren Umfeld lebende Bevölkerung deutlich reduziert wurden.

Weitere Beispiele für eine *zivilisatorisch bedingte Erhöhung der natürlichen Strahlenexposition* werden nachstehend kurz angeführt.

Viele Reisen werden heute mit dem **Flugzeug** in großen Höhen absolviert. Wegen der bereits erwähnten Abhängigkeit der Intensität der kosmischen Strahlung von der Höhe über dem Meeresspiegel werden Flugpas-



Haldenlandschaft als Folge des Uranerzbergbaus in Thüringen (Aufnahme aus dem Jahr 1990).



In großen Flughöhen sind Passagiere und Besatzung einer erhöhten Strahlenexposition durch kosmische Strahlung ausgesetzt.

sagiere und Besatzung dabei einer erhöhten kosmischen Strahlung ausgesetzt. Auf einer Flughöhe von 12 000 m bei interkontinentalen Flügen beträgt die Dosisleistung auf der Nordpolarroute etwa 0,007 mSv/h. Das bedeutet, dass Flugpassagiere, die auf dieser Route mehrmals im Jahr fliegen, bei insgesamt rund 25 Flugstunden eine zusätzliche Strahlenexposition von ca. 0,2 mSv erhalten. Dies entspricht etwa einem Zehntel der jährlichen natürlichen Strahlendosis.

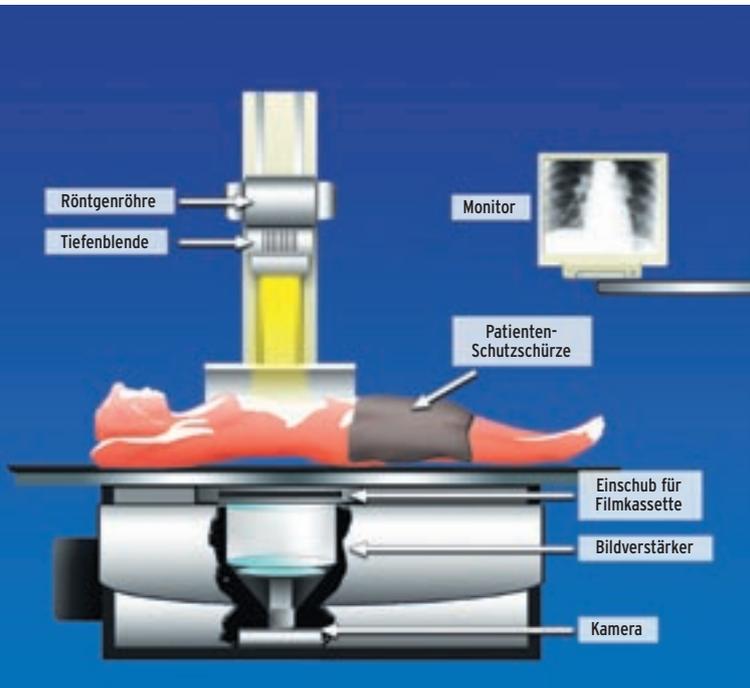
Geringfügige Erhöhungen der natürlichen Strahlenexposition werden auch durch **Kohlekraftwerke** verursacht. Die in der Kohle enthaltenen natürlichen Radionuklide werden bei der Verfeuerung in der Asche angereichert, gelangen in die Atmosphäre und lagern sich auf dem Boden ab. Die dadurch zustande kommende effektive Dosis für die Bevölkerung liegt zwischen 0,001 und 0,01 mSv pro Jahr. Sie ist damit – bezogen auf die gleiche Kraftwerksleistung – etwa gleich groß wie die Jahresdosis der Bevölkerung durch Emission künstlicher Radionuklide aus Atomkraftwerken.



Kohlekraftwerke tragen – wenngleich nur geringfügig – durch Emission natürlicher Radionuklide zur Strahlenexposition der Bevölkerung bei.

KÜNSTLICHE STRAHLENQUELLEN

Mit der Entwicklung von Industrie, Forschung und Medizin hat sich der Mensch in zunehmendem Maße radioaktive Stoffe und ionisierende Strahlung nutzbar gemacht. Dadurch wurde den natürlichen Strahlenquellen eine Reihe künstlicher Strahlenquellen hinzugefügt. Diese sind Ursache einer zivilisatorischen Strahlenexposition.



Prinzipdarstellung einer röntgendiagnostischen Anordnung.

Der weitaus größte Anteil an der zivilisatorischen Strahlenexposition ist auf die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung in der **Medizin** zurückzuführen. Durch die Medizin, im Wesentlichen durch die diagnostische Anwendung der Röntgenstrahlung, kommt in den Industriestaaten zur durchschnittlichen natürlichen Strahlenexposition noch einmal so viel dazu. Dies sind statistische Durchschnittswerte, d. h. die meisten Menschen erhalten durch medizinische Maßnahmen nur eine relativ geringe Dosis, einige können aber einer medizinisch bedingten Strahlenexposition ausgesetzt sein, die durchaus ein Vielfaches der natürlichen Exposition beträgt.

Röntgenuntersuchungen sind nach Sonographien (Ultraschalluntersuchungen) die am zweithäufigsten eingesetzten Verfahren der bildgebenden Diagnostik in der Medizin. Die Verfahren der Röntgendiagnostik erfuhren einen ständigen Entwicklungsprozess, der die Zahl der Röntgenuntersuchungen in den Industriestaaten stetig zunehmen ließ. In den zurückliegenden 10 Jahren hat die Anzahl der Röntgenuntersuchungen in Deutschland jedoch abgenommen. Heute werden schätzungsweise 130 Millionen Röntgenuntersuchungen pro Jahr durchgeführt.

Die Fortschritte in der Röntgentechnik haben in den letzten Jahrzehnten die Möglichkeit geschaffen, die Strahlendosis bei einzelnen Untersuchungsverfahren deutlich herabzusetzen. Andererseits wurden Untersuchungsverfahren entwickelt, die mit deutlich höherer Dosis verbunden sind, aber eine wesentlich höhere Aussagekraft besitzen, wie z. B. die Computertomographie (CT). In der Tabelle (unten) sind die Mittelwerte der effektiven Dosis bei einigen häufig durchgeführten Untersuchungsarten angegeben.

Die gelegentlich anzutreffende Auffassung, Röntgenstrahlung sammelt sich im Körper des Patienten an, ist nicht richtig. Durchdringt während einer Röntgenuntersuchung die Strahlung den menschlichen Körper, wird ein Teil der Strahlung im Gewebe absorbiert und kann zu biologischen Veränderungen in den Zellen führen. Bei den meisten Röntgenuntersuchungsarten treten Dosen auf, die deutlich niedriger sind als diejenigen, die der Mensch seit jeher durch natürliche Strahlenquellen aufnimmt. Bei einigen Untersuchungen, insbesondere Darstellungen des Magens und Darms, der Blutgefäße und bei CT-Untersuchungen, liegt die Dosis jedoch z. T. deutlich darüber.

Die Entscheidung, ob eine Röntgenuntersuchung durchgeführt werden soll, liegt bei dem Arzt, der hierfür die spezielle Fachkunde besitzt. Er hat zwischen dem diagnostischen Nutzen für Patientin und Patienten und dem möglicherweise damit verbundenen Strahlenrisiko abzuwägen. In dieser kritischen Abwägung, der so genannten rechtfertigenden Indikation, die auch zu einer Ablehnung der Röntgenuntersuchung führen kann, liegt das größte Potential zur Einsparung von Dosis. Bei diesem Rechtfertigungsprozess ist in jedem

Untersuchungsart	Effektive Dosis [mSv]
Zahnaufnahme	≤ 0,01
Gliedmaßen (Extremitäten)	< 0,01 – 0,1
Schädel	0,03 – 0,1
Brustkorb (Thorax), 1 Aufnahme	0,02 – 0,08
Mammographie beidseits in 2 Ebenen	0,2 – 0,6
Lendenwirbelsäule (2 Ebenen)	0,8 – 1,8
Becken	0,5 – 1,0
Magen und Darm	6 – 18
Schlagadern (Arteriographie)	10 – 20
CT Kopf	2 – 4
CT Brustkorb (Thorax)	6 – 10
CT Bauchraum (Abdomen)	10 – 25

Mittlere Dosiswerte bei Röntgenuntersuchungen (an Standard-Patienten mit ca. 70 kg Körpergewicht).

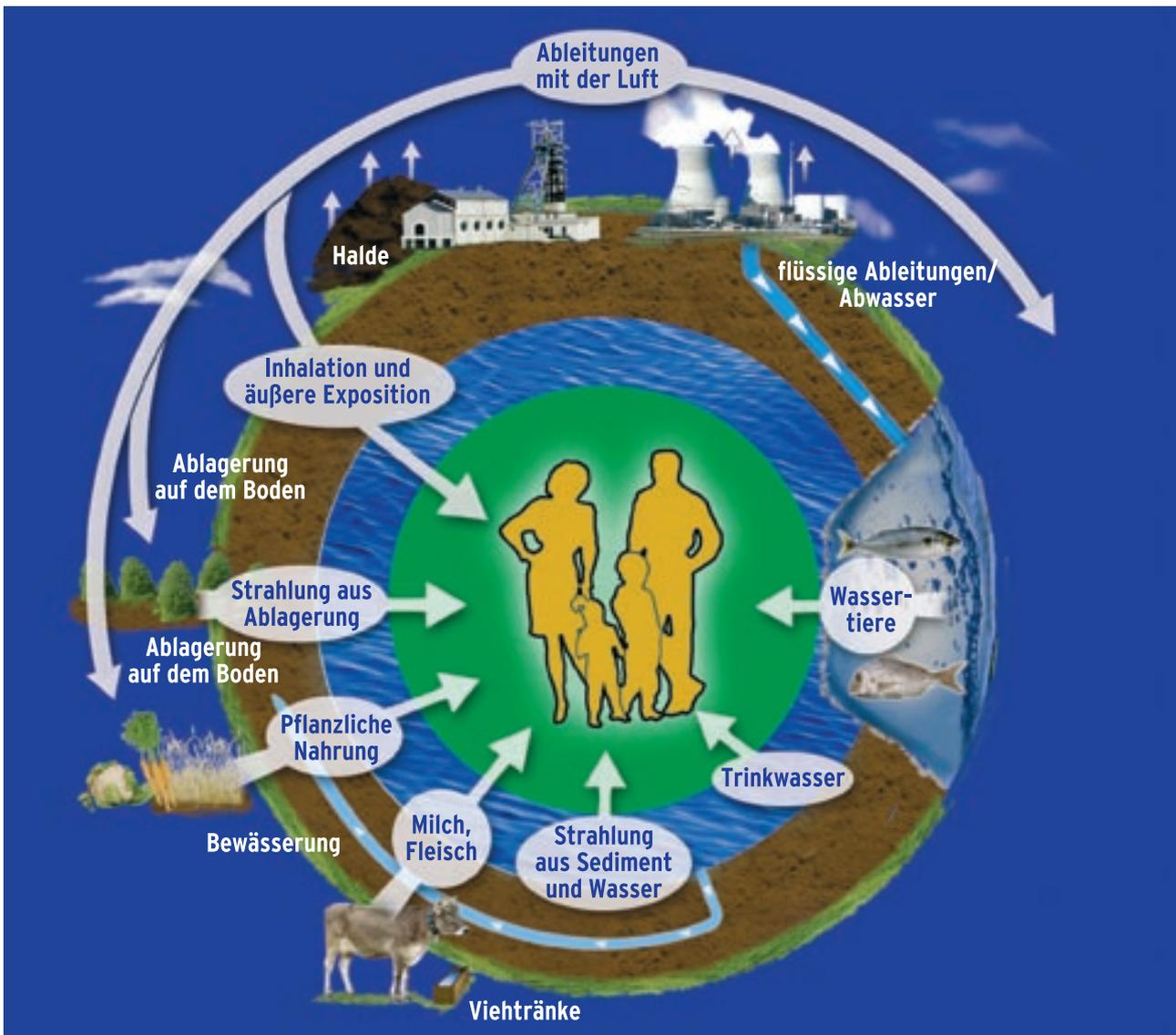
Fall zu fragen, welche Informationen über die Patientin oder den Patienten bereits vorliegen, welche zusätzlichen Informationen benötigt werden und mit welcher Untersuchungsmethode diese Informationen zu erhalten sind. Zugleich muss aber auch folgende Kontrollfrage gestellt werden: Ist die gleiche oder eine gleichwertige Information auch mit einer anderen Untersuchungsmethode – ohne die Anwendung von Röntgenstrahlen – zu erhalten?

Dabei sind so genannte alternative Untersuchungsverfahren ohne die Anwendung von Röntgenstrahlen, wie z. B. die Endoskopie, die Magnetresonanztomographie und die Ultraschalluntersuchung, zu berücksichtigen.

Ist die rechtfertigende Indikation im Einzelfall gestellt, obliegt es dem fachkundigen Arzt, für eine optimierte Durchführung der Untersuchung zu sorgen, d. h. die Dosis so gering zu halten, wie dies mit den Erfordernissen der medizinischen Wissenschaft zu vereinbaren ist.

In der nuklearmedizinischen Diagnostik werden den Patientinnen oder Patienten radioaktive Stoffe verabreicht, die sich je nach ihren chemischen Eigenschaften unterschiedlich im Körper des Menschen verteilen. Aufgrund ihrer radioaktiven Markierung können sie mit geeigneten Messgeräten, z. B. einer Gammakamera oder einem Positronen-Emissions-Tomographen (PET) von außen in ihrer zeitlichen und räumlichen Verteilung im Patienten nachgewiesen und bildlich dargestellt werden. Die diagnostische Anwendung von Radiopharmaka ermöglicht die Untersuchung nahezu sämtlicher Organsysteme des Menschen. Sie liefert Aussagen zur Funktion von Organsystemen sowohl hinsichtlich allgemeiner Stoffwechselstörungen als auch örtlich umschriebener Krankheitsherde in einzelnen Organen und ist daher eine wichtige Ergänzung zur vorwiegend morphologisch ausgerichteten sonstigen bildgebenden Diagnostik.

In Deutschland werden in der nuklearmedizinischen Diagnostik jährlich rund 3,6 Millionen Radionuklidap-



Expositionspfade radioaktiver Stoffe in der Umgebung eines Kernkraftwerkes.

pplikationen bei ambulanten und stationären Patientinnen und Patienten durchgeführt, was einer Anwendungshäufigkeit von 44 Untersuchungen pro 1 000 Einwohner entspricht.

Die nuklearmedizinischen Untersuchungen verursachen eine jährliche effektive Dosis pro Einwohner von rund 0,1 mSv. Diese Dosis liegt deutlich niedriger als die durch Röntgendiagnostik verursachte jährliche effektive Dosis von rund 1,8 mSv pro Person.



Messung der auf dem Boden abgelagerten Radionuklide aus dem Reaktorunfall von Tschernobyl.

Bei der friedlichen Nutzung der **Kernenergie** muss den Sicherheitsaspekten absoluter Vorrang vor wirtschaftlichen Erwägungen eingeräumt werden. Ziel aller Sicherheitsmaßnahmen ist es, die bei der Kernspaltung entstehenden radioaktiven Stoffe weitgehend im Atomkraftwerk eingeschlossen zu halten, gleichgültig ob im Normalbetrieb oder bei Störfällen.

Kein Atomkraftwerk kann jedoch ohne Auswirkungen auf die Umwelt betrieben werden. Technologisch bedingt gelangen radioaktive Stoffe über den Kamin in die Luft oder werden über das Abwasser an die Umgebung abgegeben. Die unterschiedlichen Wege – so genannte Expositionspfade –, über die radioaktive Stoffe zu einer Strahlenexposition des Menschen führen können, sind in der Abbildung (S. 21) dargestellt. Die Begrenzung der radioaktiven Ableitungen aus Atomkraftwerken an die Umwelt wird durch nationale Gesetze und Verordnungen geregelt. Dabei wird von einem zulässigen Wert für die Strahlenexposition der Bevölkerung durch den Betrieb von Atomkraftwerken ausgegangen, der innerhalb der Schwankungsbreite des natürlichen Strahlungsniveaus liegt.

Die Strahlenschutzverordnung schreibt vor, dass die Strahlenexposition der Bevölkerung durch die Ableitung

radioaktiver Stoffe aus Atomkraftwerken im Normalbetrieb über die Luft oder das Wasser jeweils den Wert von 0,3 mSv pro Jahr nicht überschreiten darf. Dieser Grenzwert soll jedoch nicht ausgeschöpft werden. Die Praxis zeigt, dass diese Obergrenze auch bei weitem nicht erreicht wird. Die rechnerisch ermittelte Strahlenexposition der Bevölkerung in der Bundesrepublik durch Kernkraftwerke beträgt im Mittel weniger als 0,01 mSv pro Jahr.

Bei der Planung baulicher und sonstiger Schutzmaßnahmen gegen Störfälle in einem Atomkraftwerk ist nachzuweisen, dass die Strahlenbelastung einer unbeteiligten Person außerhalb der Anlage 50 mSv für den ganzen Körper und z. B. 150 mSv für die Schilddrüse – jeweils pro Ereignis – nicht übersteigt. Auch hier zeigt die Erfahrung, dass diese Werte in der Praxis nur zu einem kleinen Bruchteil ausgeschöpft werden. Für Unfälle in kerntechnischen Anlagen können naturgemäß keine radiologischen Festlegungen getroffen werden.

Bei der Kernenergienutzung, aber auch im Rahmen der Anwendung radioaktiver Stoffe in Medizin, Forschung und Technik, sind Transporte radioaktiver Stoffe unerlässlich. In der Bundesrepublik Deutschland werden jährlich etwa 450 000 Versandstücke mit radioaktivem Material befördert.

Im Mittelpunkt öffentlichen Interesses stehen seit einigen Jahren Transporte von hochradioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung und von Brennelementen aus deutschen Atomkraftwerken, die in Behältern der höchsten Sicherheitskategorie, den so genannten CASTOR-Behältern, durchgeführt werden. Messungen haben ergeben, dass Personen, die sich z. B. in 10 m Abstand von dem Gleis aufhalten, auf dem ein solcher Behälter mit einer Geschwindigkeit von etwa 20 km/h per Bahntransport vorbeigeführt wird, durch diese Begegnung einer Strahlenexposition von 0,0001 mSv ausgesetzt sind.



Transport bestrahlter Brennelemente.

Am 26. April 1986 ereignete sich im Kernkraftwerk Tschernobyl in der damaligen Sowjetunion die in der Geschichte der friedlichen Nutzung der Kernenergie folgenschwerste Reaktorkatastrophe. Sie führte zu vielen Opfern und brachte großes Leid über die Bevölkerung. Mehr als hunderttausend Menschen wurden aus den unmittelbar betroffenen Gebieten evakuiert.

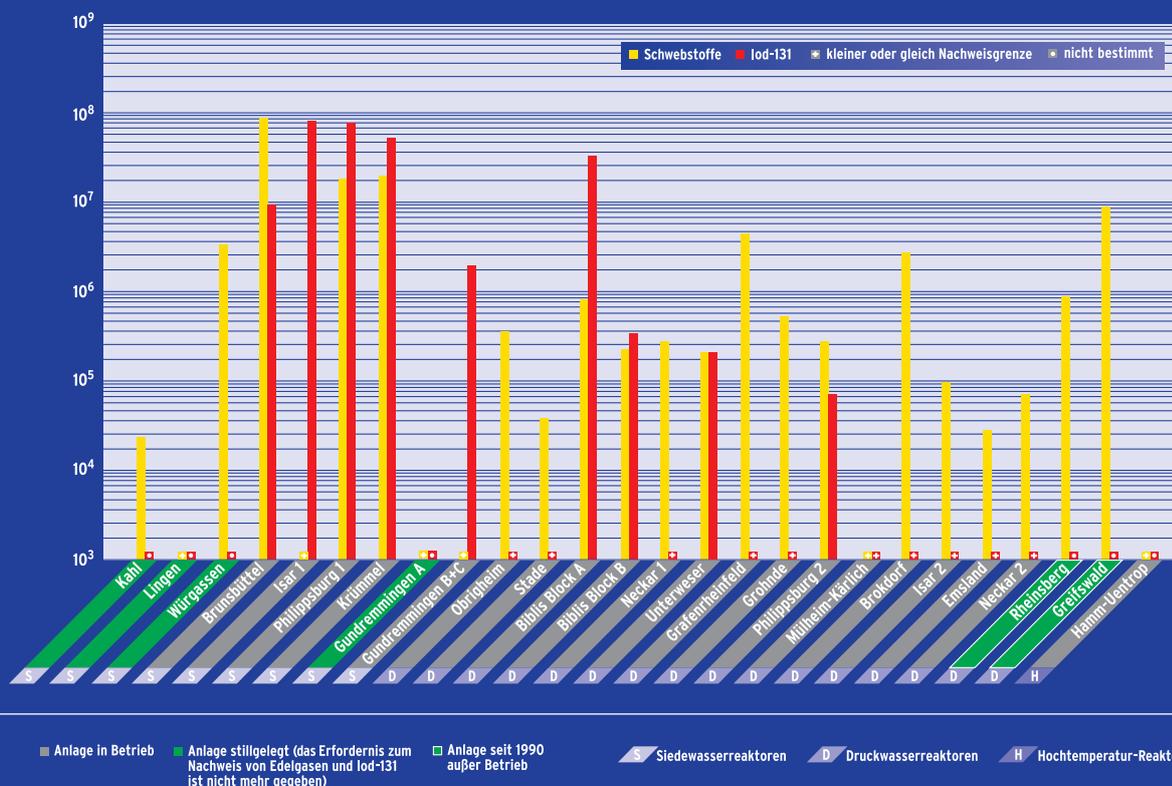
Durch die Katastrophe wurden radioaktive Stoffe in eine Höhe von mehreren Kilometern getragen und mit den Luftströmungen nicht nur über die Ukraine, Weißrussland und Russland, sondern weiträumig über ganz Europa verteilt. Auch in Deutschland waren deutliche Auswirkungen auf das Strahlungsniveau messbar. Bedingt durch heftige lokale Niederschläge wurde der Süden Deutschlands deutlich höher kontaminiert als der Norden. Lokal wurden im Bayerischen Wald und südlich der Donau bis zu 100 000 Bq/m² Cäsium-137 (Cs-137) abgelagert. In der norddeutschen Tiefebene betrug die Aktivitätsablagerung dagegen selten mehr als 4 000 Bq/m².

Die Nuklidzusammensetzung in den radioaktiven Wolken änderte sich mit der Entfernung zum Katastrophenreaktor. In der unmittelbaren Nähe wurden die weniger flüchtigen Elemente wie Strontium-90 oder Plutonium-

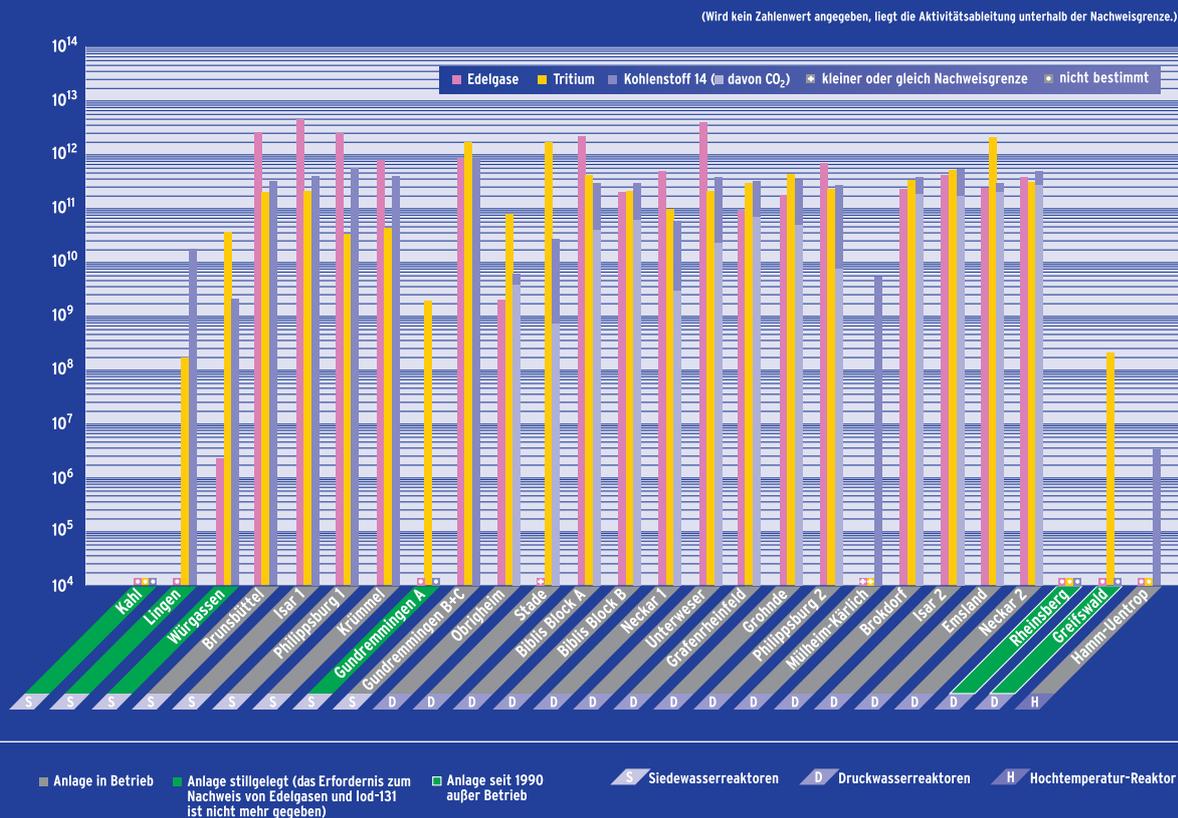
239 abgelagert. Vor allem Radiocäsium und Iodisotope wurden über weite Strecken transportiert. Für die Strahlenexposition mehr als 20 Jahre nach der Katastrophe von Tschernobyl ist in Europa nur noch das langlebige Cs-137 von Bedeutung.

Die Cs-137-Kontamination von landwirtschaftlichen Erzeugnissen liegt heute im Allgemeinen im Bereich von weniger als einem Bq/kg Frischmasse. Im Vergleich zu landwirtschaftlichen Produkten sind wild wachsende Pilze, Beeren und Wildbret noch höher kontaminiert. Wegen des sehr wirksamen Nährstoffkreislaufs in Wald-Ökosystemen ist zu erwarten, dass die Aktivitäten auch in Zukunft nur sehr langsam zurückgehen.

Wichtig für die Beurteilung möglicher gesundheitlicher Folgen ist die Strahlenexposition, die sich aus dem Verzehr kontaminierter Lebensmittel ergibt. Als Faustregel gilt, dass die Aufnahme von etwa 80 000 Bq Cs-137 einer Strahlenexposition von rund einem mSv entspricht. Eine Pilzmahlzeit von 200 g höher kontaminierter Maronenröhrlinge aus Südbayern mit etwa 4 000 Bq/kg Cs-137 hätte beispielsweise eine Exposition von 0,01 mSv zur Folge. Bei weniger kontaminierten Pilzen wird dieser Wert erst nach mehreren Mahlzeiten erreicht.



Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Fortluft aus Kernkraftwerken im Jahr 2006 in Becquerel; an Schwebstoffen gebundene Aerosole und Iod-131.



Ableitung radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser aus Kernkraftwerken im Jahr 2006 in Becquerel (Summenwerte) Alphastrahler, Spalt- u. Aktivierungsprodukte und Tritium.

Wer für sich persönlich die Strahlenbelastung so gering wie möglich halten möchte, sollte auf den Verzehr von vergleichsweise hoch kontaminierten Pilzen und Wildbret, insbesondere Wildschweinen, verzichten. Landwirtschaftliche Erzeugnisse sind nur gering kontaminiert und können bedenkenlos verzehrt werden.

Fall-out durch Kernwaffenversuche

Der allgemeine Pegel der Umweltradioaktivität durch Kernwaffenversuche ist seit Inkrafttreten des internationalen „Vertrags über die Einstellung von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre, im Weltraum und unter Wasser“ im Jahr 1963 ständig zurückgegangen. Dennoch sind langlebige Radionuklide wie Strontium-90 und Cäsium-137 auch heute noch in der Umwelt vorhanden. Die mittlere effektive Dosis durch den Fall-out der Kernwaffenversuche lag im Jahr 2000 unter 0,01 Millisievert.

WIRKUNG IONISIERENDER STRAHLUNG AUF DEN MENSCHEN

Alles Leben hat sich unter dem Einfluss natürlicher Radioaktivität entwickelt. Heute wissen wir, dass ionisierende Strahlung, unabhängig davon, ob sie natürlichen oder künstlichen Ursprungs ist, eine schädigende Wirkung auf die Zelle als kleinste biologische Einheit ausüben kann, indem sie die Erbsubstanz (DNS) der lebenden Zelle verändert oder zerstört. Zellverluste oder Veränderungen in den Zellen sind jedoch nicht gleichbedeutend mit der Entstehung eines gesundheitlichen Schadens. Der Organismus besitzt die Fähigkeit, Zellverluste auszugleichen sowie geschädigte Zellen zu erkennen und durch Reparaturmechanismen, Absterben der Zelle sowie Immunabwehr den Normalzustand wieder herzustellen.

Die Abwehr- und Reparatursysteme können jedoch versagen oder überfordert sein. Der ausschlaggebende Faktor dafür ist die Höhe der Dosis.

Die biologische Wirkung der ionisierenden Strahlung auf den Menschen kann auf zwei Wegen auftreten:

1. Deterministische Strahlenwirkungen können direkt auf eine bestimmte Strahlenexposition zurückgeführt werden. Sie setzen relativ hohe Strahlungs Dosen voraus und treten sofort oder innerhalb weniger Wochen nach der Exposition auf. So zum Beispiel bei den Mitarbeitern des verunglückten Reaktors von Tschernobyl oder in der Atomanlage in Tokaimura (Japan). Sie machen sich erst bemerkbar, wenn ein bestimmtes Maß zerstörter oder geschädigter Zellen überschritten wird. Daher tritt diese Art von Schäden erst oberhalb einer Mindestdosis – dem *Schwellenwert* – auf. Dieser liegt beim Menschen bei akuter Exposition des ganzen Körpers bei rund *500 Millisievert (mSv)*. Dann können sich bereits kurzzeitige, nur vom Arzt feststellbare Veränderungen des Blutbildes zeigen. Je höher die Strahlungsdosis ist, desto schwerer wird die Erkrankung sein. Betroffen sind in erster Linie die Blutbildungsorgane, die Schleimhäute des Magen-Darm-Traktes und der Atemwege sowie die Keimdrüsen. Eine akute Exposition des ganzen Körpers, die den Schwellenwert um mehr als das Zehnfache überschreitet, führt beim Menschen in der Regel zum Tod.

2. Stochastische Strahlenwirkungen treten mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit erst Jahre oder Jahrzehnte nach einer Exposition auf. Je nachdem, ob es sich um eine Keimzelle oder eine Körperzelle handelt, kann es sich um eine Veränderung der Erbanlagen handeln oder es können Krebserkrankungen entstehen, beispielsweise Leukämie. Die Höhe der Dosis beeinflusst dabei nicht die Schwere zu erwartender Strahlenschäden, sondern die Wahrscheinlichkeit, dass diese auftreten. Stochastische Strahlenwirkungen beruhen auf Vorgängen zufälliger Art: Wurde durch Strahleneinwirkung im Zellkern der Informationsgehalt einer Zelle verändert und anschließend vom Organismus nicht ausreichend repariert und bleibt die Zelle als solche aber lebensfähig, kann die Veränderung an nachfolgende Zellgenerationen weitergegeben werden.

Die Wahrscheinlichkeit einer stochastischen Strahlenwirkung wird auch durch den Begriff des *Schadensrisikos* zum Ausdruck gebracht. Dieses Risiko wird auf der Grundlage von Modellen und Extrapolationen für den niedrigen Dosisbereich berechnet (für wenige zehn Millisievert). Dabei wird auf grundsätzliche strahlenbiologische Überlegungen zurückgegangen und angenom-



Eine stochastische Strahlenwirkung lässt sich nur für große Personengruppen als statistischer Wert abschätzen. Für den Einzelnen kann daraus lediglich die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Strahlenschadens abgeleitet werden.

men, dass auch die kleinste Strahlendosis eine stochastische Wirkung haben kann und ihr ein bestimmtes Schadensrisiko zuzuordnen ist.

Deshalb kann selbst für kleinste Schadensrisiken, denen große Personengruppen ausgesetzt sind, eine geringe Anzahl von Spätschäden, z. B. Krebserkrankungen, abgeschätzt werden. Diese Zahl der rechnerisch ermittelten Fälle wird häufig als gesicherte biologische Realität dargestellt. Ihr Auftreten kann jedoch nicht nachgewiesen werden, denn sie kann nicht von spontanen Krebserkrankungen unterschieden werden, die in vergleichbaren unbestrahlten Bevölkerungsgruppen auftreten. Die medizinische Statistik gibt an, dass in Deutschland etwa jeder vierte Todesfall auf eine spontan auftretende Krebserkrankung zurückzuführen ist. Strahlenbedingte Krebsfälle können nur mit statistischen Methoden in großen Personengruppen, nicht jedoch bei Einzelpersonen, am Krankheitsbild festgestellt werden.

ANGEWANDTER STRAHLENSCHUTZ

In Medizin, Industrie, bei der Energieerzeugung und im Bereich der Forschung werden radioaktive Stoffe und ionisierende Strahlung auf vielfältige Weise angewendet. Jede Anwendung fügt zu der ohnehin vorhandenen natürlichen Strahlenexposition eine zivilisatorisch bedingte Strahlenexposition hinzu oder erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass diese auftritt. Auf diese Anwendungen richten sich die Maßnahmen des Strahlenschutzes;

sie haben das Ziel, den Schutz des Menschen vor der schädigenden Wirkung der ionisierenden Strahlung zu gewährleisten, ohne die Anwendungen, die der Anlass für die Strahlenexposition sind, mehr als notwendig einzuschränken. Das System des Strahlenschutzes beruht dabei auf folgenden allgemeinen Prinzipien:

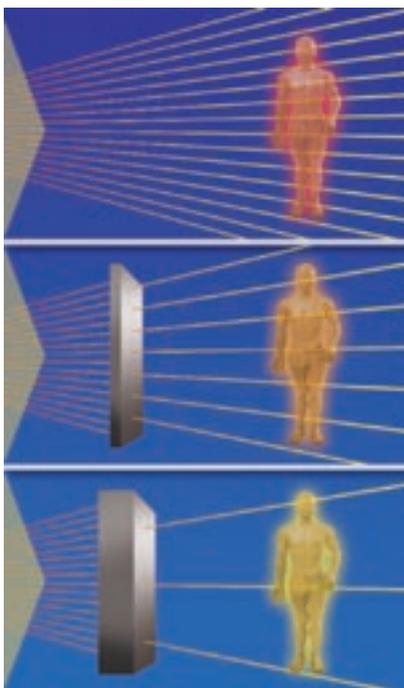
Jede Anwendung radioaktiver Stoffe oder ionisierender Strahlung oder jede Anlage, die eine Strahlenexposition verursacht, muss **gerechtfertigt** sein. Das bedeutet, die Anwendung oder der Betrieb der Anlage muss einen Nutzen für den Einzelnen oder die Gesellschaft erbringen, der auf anderem Wege nicht zu erlangen ist und der das Risiko, dadurch einen Schaden zu verursachen, mehr als aufwiegt.

Ist eine Anwendung gerechtfertigt, muss ihre Durchführung **optimiert** werden. Dabei wird gefordert, dass alle dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechenden Maßnahmen ausgeschöpft werden, um das Schadensrisiko für den Einzelnen und die Bevölkerung zu minimieren.

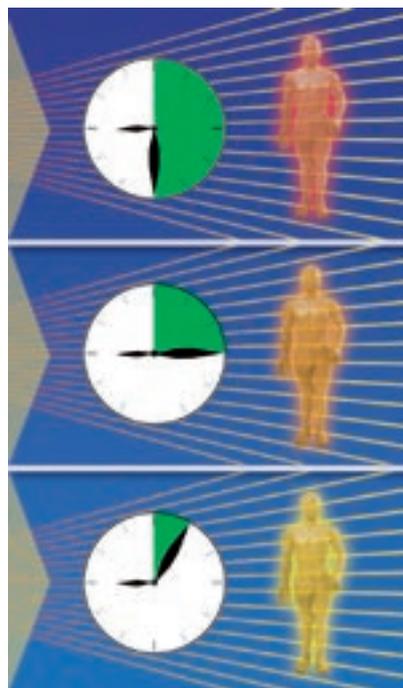
Der Strahlenschutz geht dabei weltweit nach dem „ALARA-Prinzip“ vor. ALARA steht für „As Low As Reasonably Achievable“ – dies bedeutet, durch Maßnahmen, die ergriffen werden, die Strahlenexposition so gering wie möglich zu halten.

Eine Möglichkeit zur Minimierung ist die Beachtung der folgenden vier Grundregeln des Strahlenschutzes:

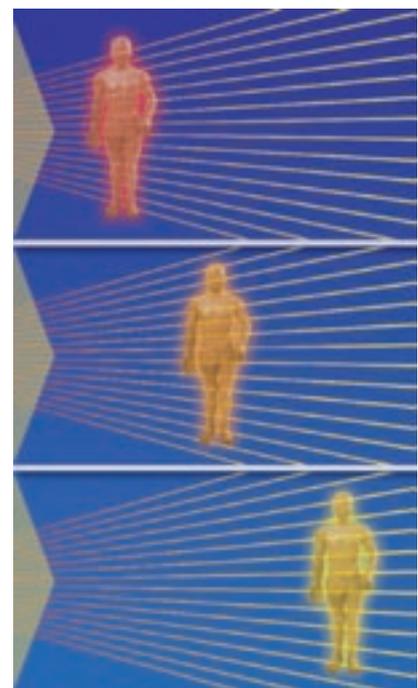
Grundregeln des Strahlenschutzes



Abschirmung der Strahlung durch geeignete Materialien.



Beschränkung der Aufenthaltsdauer in einem Strahlungsfeld.



Einhaltung eines sicheren Abstands zur Strahlenquelle.



Kernkraftwerke gehören zu den künstlichen Strahlenquellen. Sie geben im Normalbetrieb und bei Störfällen radioaktive Stoffe über die Abluft und das Abwasser an die Umwelt ab.

1. **Abschirmung** der Strahlung durch geeignete Materialien.
2. **Beschränkung der Aufenthaltsdauer** in einem Strahlungsfeld.
3. Einhaltung eines **sicheren Abstandes** zur Strahlenquelle.
4. Verwendung einer möglichst **geringen Aktivität** der Strahlenquelle bei einer bestimmten Anwendung.

Der Mensch kann einer Strahlenexposition auf unterschiedliche Weise ausgesetzt sein. Befindet sich eine Strahlenquelle außerhalb des menschlichen Körpers, wie z. B. das Röntgengerät bei einer röntgendiagnostischen Untersuchung, erfolgt eine äußere Strahlenexposition. Wurden jedoch Radionuklide mit der Nahrung oder über die Atemluft in den Körper aufgenommen – der Fachmann spricht von einer Inkorporation bzw. Inhalation – erfolgt eine innere Strahlenexposition.

Je nach konkretem Fall werden unterschiedliche Varianten der Optimierung angewendet. Die Röntgenassistenz schützt sich beispielsweise vor äußerer Strahlung, indem sie beim Röntgen den Raum verlässt oder sich hinter

eine abschirmende Wand begibt. Zur Vermeidung einer unzulässigen inneren Strahlenexposition muss hingegen durch eine Reihe anderer Maßnahmen dafür Sorge getragen werden, dass die Aktivität von Radionukliden in der Umwelt des Menschen ein bestimmtes Maß nicht übersteigt – so z. B. in Luft, Wasser oder Nahrungsmitteln.

Die Wirksamkeit der Strahlenschutzmaßnahmen wird sichergestellt, indem die Einhaltung festgelegter **Dosisgrenzwerte** für die Exposition von Personen kontrolliert wird. Dosisgrenzwerte werden oft fälschlicherweise wie eine Trennlinie zwischen „gefährlicher“ und „ungefährlicher“ Strahlenexposition angesehen. Es wird dabei angenommen, dass bei Einhaltung des Grenzwertes die aufgenommene Dosis hinnehmbar sei, bei Überschreitung des Grenzwertes jedoch gefährlich.

Eine Überschreitung des Grenzwertes bedeutet, dass diese – bei fortdauernder Exposition – für den Einzelnen mit einem radiologischen Risiko verknüpft ist, das unter normalen Umständen nicht mehr akzeptiert werden kann. Unterhalb der Dosisgrenzwerte geht der Strahlenschutz von der Hypothese der Existenz eines

geringen radiologischen Risikos aus. Nach dem ALARA-Prinzip ist es deshalb nicht ausreichend, einfach den Dosisgrenzwert einzuhalten, sondern es müssen alle vernünftigen und sinnvollen Maßnahmen ergriffen werden, um die Strahlenexposition auch unterhalb des Grenzwertes so niedrig wie möglich zu halten. In der Praxis liegen deswegen die tatsächlichen Jahresdosen beruflich strahlenexponierter Personen weit unter den Grenzwerten.

Die Maßnahmen zum Schutz vor der schädigenden Wirkung der ionisierenden Strahlung sind in speziellen Gesetzen und Verordnungen geregelt. Diese stützen sich wesentlich auf Empfehlungen der internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP). Die wichtigsten gesetzlichen Regelungen für den Strahlenschutz in der Bundesrepublik Deutschland sind:

1. Das Atomgesetz (AtG)

Das AtG regelt die Nutzung der Atomenergie zu friedlichen Zwecken. Es enthält die wesentlichen Vorschriften, die zur Gewährleistung der Sicherheit bei der Nutzung der Atomenergie einzuhalten sind und legt die internationalen Verpflichtungen der Bundesrepublik auf dem Gebiet der Atomenergie und des Strahlenschutzes fest. Es regelt weiterhin die Maßnahmen, die zum Schutz von Leben und Gesundheit des Menschen sowie von Sachgütern gegen die Gefahren der Atomenergie und gegen die schädigende Wirkung ionisierender Strahlung zu ergreifen sind. Es bildet damit die Grundlage des Strahlenschutzrechtes.

2. Die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)

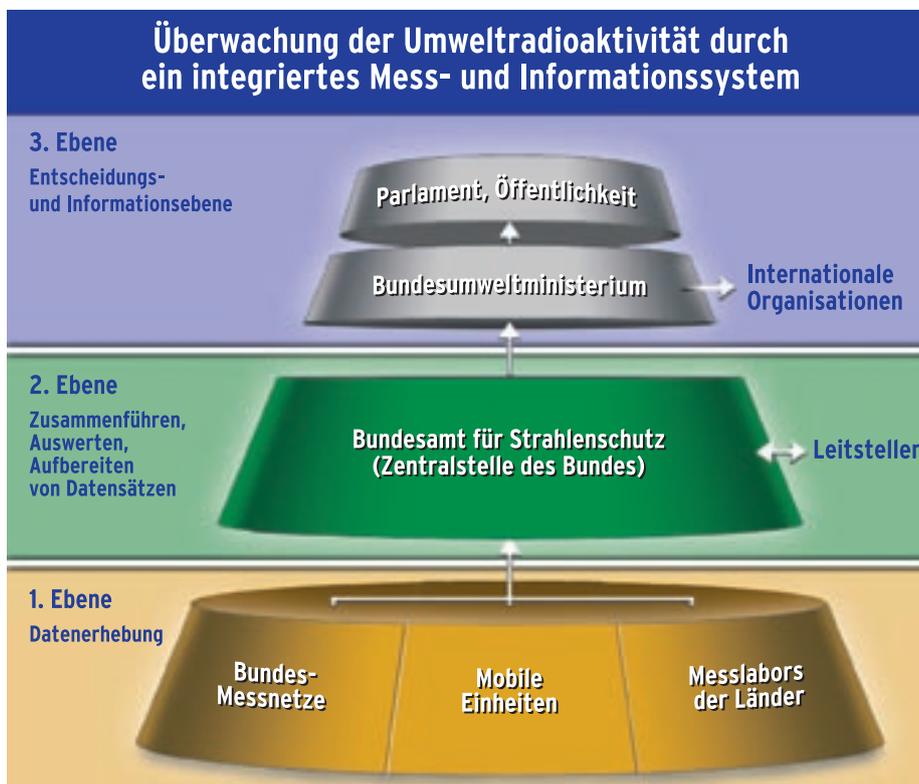
Sie basiert auf dem Atomgesetz und legt nähere Regelungen des Strahlenschutzes auf allen hierfür relevanten Gebieten fest. Ihr Ziel ist es, sowohl Personen beim beruflichen Umgang mit radioaktiven Stoffen und ionisierender Strahlung als auch die Bevölkerung vor der schädigenden Wirkung der Strahlung zu schützen. Dazu wird das Konzept der Rechtfertigung und Optimierung jeder Strahlenanwendung in ein System von Regeln umgesetzt und das Schutzziel in Form von Dosisgrenzwerten kontrollierbar festgelegt. Die Prinzipien des Strahlenschutzes bei der medizinischen Strahlenanwendung werden ebenfalls geregelt.

3. Die Röntgenverordnung (RöV)

Sie basiert ebenfalls auf dem Atomgesetz und regelt den Strahlenschutz auf dem speziellen Gebiet des Betriebes von Röntgeneinrichtungen.

4. Das Strahlenschutzvorsorgegesetz (StrVG)

Es dient dem Schutz der Bevölkerung vor Strahlenexpositionen infolge von Ereignissen mit erheblichen radiologischen Auswirkungen. Es wurde nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl verabschiedet. Wesentlicher Regelungsinhalt des Gesetzes ist die ständige Überwachung der Umweltradioaktivität nach einheitlichen Kriterien. Zur Erfüllung dieser Aufgabe wurde das Integrierte Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS) aufgebaut. Die landesweit gewonnenen Messdaten des Systems werden im Bundesamt für Strahlenschutz zusammengeführt



Struktur des Integrierten Mess- und Informationssystems zur Überwachung der Umweltradioaktivität.

und nach einer Bewertung dem Bundesumweltministerium zugeleitet. IMIS soll vor allem sicherstellen, dass Unfälle in kerntechnischen Anlagen des In- und Auslandes mit Auswirkungen auf Deutschland rechtzeitig erkannt werden und dass ein rascher Informationsfluss zwischen den verantwortlichen Stellen eine exakte Lagebeurteilung sowie die Information der Öffentlichkeit ermöglicht.

STRAHLENEXPOSITION DER BEVÖLKERUNG IN DEUTSCHLAND

Natürliche und zivilisatorisch bedingte Strahlenquellen sind Ursache einer Strahlenexposition, der jeder Mensch ausgesetzt ist. Die dabei aufgenommene effektive Dosis pro Jahr kann für den Einzelnen sehr unterschiedlich sein. Die Höhe der natürlichen Strahlenexposition ist vom Aufenthaltsort und von den individuellen Lebensgewohnheiten abhängig, die Höhe der zivilisatorischen Strahlenexposition wird maßgeblich durch die Inanspruchnahme medizinischer Maßnahmen unter Verwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung bestimmt. Die Strahlungsdosis der Bevölkerung wird in Werten angegeben, die über das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland und über ein Jahr gemittelt sind.

Die effektive Dosis, die aus allen *natürlichen* Strahlenquellen resultiert, beträgt im Mittel etwa 2,1 Millisievert (mSv) pro Jahr. Neben der kosmischen Komponente von 0,3 mSv und der terrestrischen Komponente von 0,4 mSv trägt die Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit der Nahrung 0,3 mSv zur Strahlenexposition bei. Auch ein Teil der Exposition durch die radioaktiven Edelgase

Radon und Thoron sowie ihre kurzlebigen Folgeprodukte von etwa 1,1 mSv ist unvermeidbar.

Die effektive Dosis der *zivilisatorischen* Strahlenexposition liegt in Deutschland bei etwa 1,9 mSv pro Einwohner und Jahr. Der größte Beitrag wird durch die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlen in der Medizin, insbesondere durch die Röntgendiagnostik, verursacht.

Der Beitrag der Strahlenexposition durch Atomkraftwerke und sonstige kerntechnische Anlagen zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung liegt unter 1 % der zivilisatorischen Strahlenexposition.

Alle beruflich strahlenexponierten Personen, bei denen die Möglichkeit einer erhöhten Strahlenexposition von außen besteht, werden mit Personendosimetern überwacht. Die Zahl der überwachten Personen liegt in Deutschland bei rund 310 000, davon in der Medizin rund 240 000. Der größte Teil der überwachten Personen (87 %) weist keine zusätzliche Strahlenexposition auf. Bei den verbleibenden Personen ergibt sich eine mittlere Jahrespersonendosis von rund 0,8 mSv. Dies ist weniger als 5 % des Grenzwertes von 20 mSv pro Jahr für beruflich strahlenexponierte Personen.

Seit dem 1. August 2003 ist Luftfahrtpersonal, das in einem Beschäftigungsverhältnis gemäß deutschem Arbeitsrecht steht und während des Fluges durch kosmische Strahlung eine effektive Dosis von mindestens 1 mSv im Kalenderjahr erhalten kann, überwachungspflichtig. Davon sind ca. 32.000 Personen betroffen. Die mittlere Jahresdosis beträgt rund 2,0 mSv.

Die einzelnen Beiträge der verschiedenen Strahlenquellen sind zum Vergleich in der Grafik dargestellt.



Mittlere effektive Dosis der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland durch natürliche und künstliche Strahlenquellen.

NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

Der Strahlenschutz betrifft neben der ionisierenden Strahlung auch die nichtionisierende Strahlung – damit ist die ultraviolette Strahlung und der große Bereich der elektromagnetischen Felder gemeint. Zwar reicht deren Energie nicht aus, um Atome oder Moleküle in einen elektrisch geladenen Zustand zu versetzen – zu ionisieren –, dennoch kann auch diese Strahlung Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben, vor denen man sich schützen muss. Dazu wird auf ganz unterschiedliche Strahlenschutzkonzepte zurückgegriffen.

Im Bereich der nichtionisierenden Strahlung sind Strahlenschutzgrundsätze bisher nicht in gleichem Maße entwickelt wie im Bereich ionisierender Strahlung. Hier gilt es, bekannte gesundheitsrelevante Schwellenwerte sicher zu unterschreiten. Eine sinnvolle Weiterentwicklung der allgemeinen Strahlenschutzgrundsätze muss zusätzlich zur Einführung von Grenzwerten auch eine Optimierung der Anwendung im Sinne einer Verminderung der Exposition und der Rechtfertigung für die Anwendung nichtionisierender Strahlung, zumindest bei der Anwendung am Menschen, enthalten.

Natürliche Strahlenquellen wie die Sonne oder das elektrische Feld bei Gewittern lassen sich kaum gezielt beeinflussen. Die wichtigste Möglichkeit, schädliche Wirkungen zu begrenzen, besteht im persönlichen *Verhalten* und durch die Beachtung von Vorsorgemaßnahmen. Strahlenschutzempfehlungen können hierbei Hilfestellungen leisten. Beispielsweise können sie Antwort auf die Frage geben, wie ein Sonnenbrand zu vermeiden ist.

Seit dem Ende des 19. Jahrhunderts wird elektrische Energie mit technischen Hilfsmitteln erzeugt und weltweit angewendet. Stets treten in der Umgebung elektrischer Leitungen auch elektrische und, wenn Strom fließt, auch magnetische Felder auf. Ob sich diese Felder im Haushalt oder in der Umgebung von Hochspannungsleitungen auf die Gesundheit der Anwohnerinnen und Anwohner auswirken, wird jedoch erst seit etwa 1980 stärker diskutiert. Ein Jahr zuvor wurde von Wertheimer und Leeper die erste Studie veröffentlicht, die den Zusammenhang zwischen Magnetfeldbelastungen und Erkrankungsrisiko – speziell dem Leukämierisiko bei Kindern – untersuchte. Eine Bestätigung dieser Ergebnisse erfolgte im Jahr 2000 durch die so genannte „Michaelisstudie“, gefolgt durch eine gemeinsame Auswertung von mehreren weltweit durchgeführten Studien zu dieser Thematik. Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) hat im Jahre 2001 die niederfrequenten Magnetfelder als ein mögliches Karzinogen für Menschen eingestuft. Die IARC erachtet es demnach als möglich, wenn auch nicht als wahrscheinlich oder als bewiesen, dass schwache, niederfrequente Magnetfelder ein Krebsrisiko darstellen. Diese Einstufung wurde in einer Bewertung durch die Weltgesundheitsorganisation (WHO) im Jahr 2008 bestätigt.



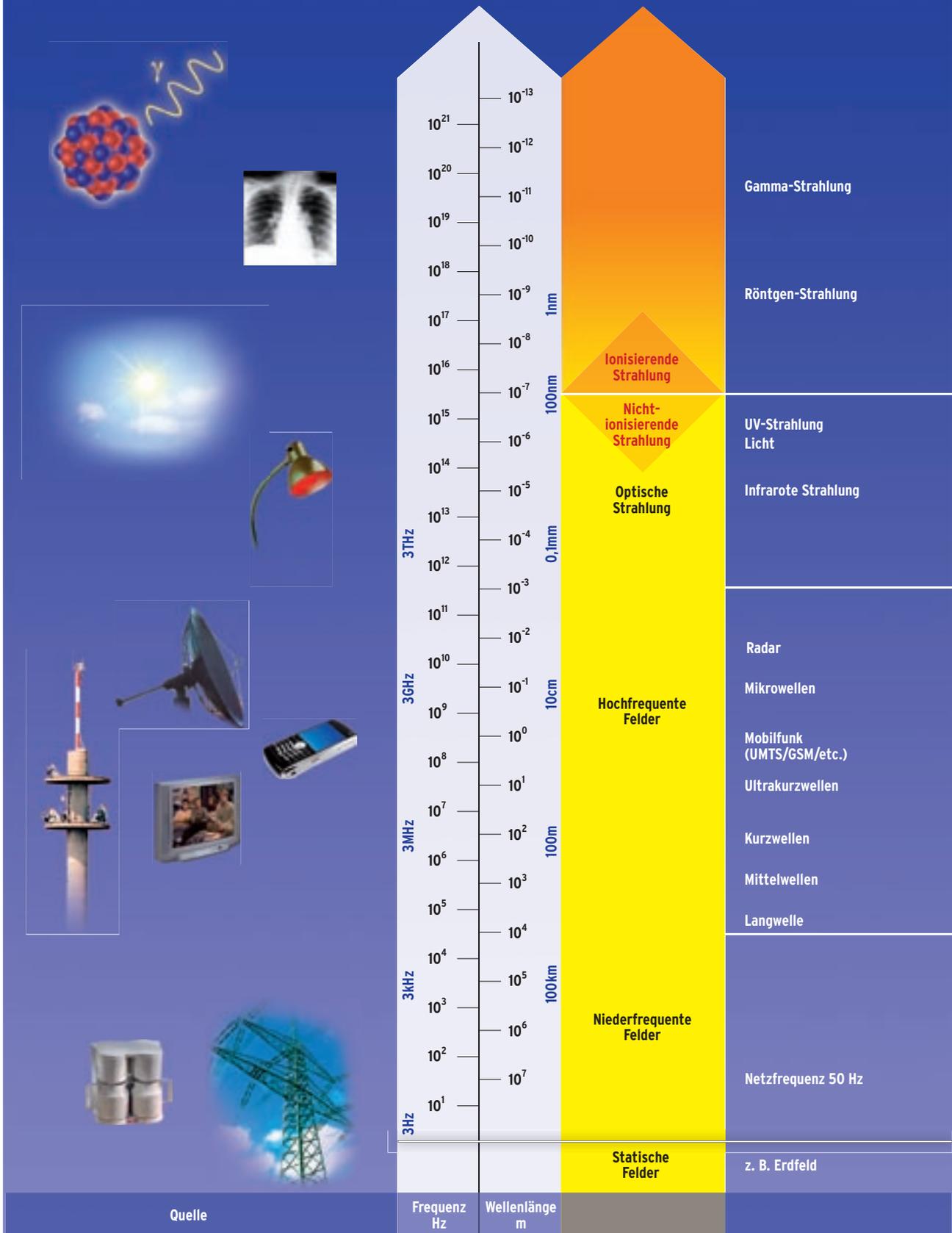
Natürliche nichtionisierende Strahlung umgibt den Menschen in Form von Licht, UV-Licht, elektrischen und magnetischen Feldern.

Geradezu stürmisch entwickeln sich Nachrichtenübertragung und Funktechnik in der Gegenwart. Ganz gezielt werden dazu hochfrequente elektromagnetische Felder erzeugt und ihre Eigenschaften ausgenutzt. Die Grenzwerte müssen so festgelegt werden, dass niemand durch die Anwendung moderner Kommunikationsmittel gesundheitlichen Schaden erleidet.

Aus dem Blickwinkel des Strahlenschutzes sind die verschiedenen Typen nichtionisierender Strahlung, ihre Eigenschaften und unterschiedlichen Wirkungen jeweils gesondert zu betrachten. Zur Unterscheidung der verschiedenen Strahlungsarten dient wie bei der ionisierenden Strahlung die Energie, ausgedrückt durch Wellenlänge oder Frequenz. Frequenz – das ist die Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde – und Wellenlänge sind fest miteinander verbunden und beschreiben den Energietransport der Strahlung. Bei hohen Frequenzen ist die Wellenlänge der Strahlung klein, während geringe Frequenzen mit großen Wellenlängen einhergehen. Strahlungsarten mit hoher Frequenz sind energiereich. Man kann sich bildlich vorstellen, dass hier dichter gepackte „Energiebündel“ transportiert werden.

Die nichtionisierende Strahlung lässt sich im so genannten „elektromagnetischen Spektrum“ in drei Hauptbereiche einteilen, die jedoch fließende Übergänge aufweisen: Zu den statischen Feldern, wie z. B. dem Erdmagnetfeld, kommen die niederfrequenten Felder hinzu.

Strahlungsarten und ihre Quellen. Darstellung im EM-Spektrum in Abhängigkeit von der Wellenlänge.



Im elektromagnetischen Spektrum werden Strahlungsarten und ihre Quellen abhängig von ihrer Wellenlänge oder Frequenz anschaulich dargestellt.

NIEDERFREQUENTE ELEKTRISCHE UND MAGNETISCHE FELDER



In den letzten Jahrzehnten hat der Mensch seine elektromagnetische Umwelt verändert.

Niederfrequente Felder treten überall dort auf, wo elektrische Energie erzeugt, transportiert oder angewendet wird. Daran schließt sich der *hochfrequente Strahlungsbereich* an, der u. a. den Mobilfunkbereich oder die Strahlungsfelder der Rundfunk- und Fernsehtechnik enthält. Die optische Strahlung umfasst die ultraviolette Strahlung, das Licht und die infrarote Wärmestrahlung. Im Weiteren werden die Hauptbereiche der nichtionisierenden Strahlung näher vorgestellt und die grundlegenden Festlegungen im Strahlenschutz begründet.

Seit Werner von Siemens in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts das Prinzip des Elektrodynamos entwickelte, ist die Elektrizität in alle Lebensbereiche des Menschen vorgedrungen. In Industrie, Verkehr, Forschung und Medizin und natürlich in jedem Haushalt finden wir elektrisch betriebene Maschinen und Geräte.

Die meisten dieser Geräte nutzen die elektrische Energie, die uns mit Spannungen von 230 bzw. 400 Volt (V) und einer Frequenz von 50 Hertz (Hz) zur Verfügung steht. Dieser Bereich zählt zu den *niederfrequenten Feldern*. Die Leitungen und Geräte, durch die der Strom

fließt, sind dabei stets von niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern umgeben.

Viele Menschen beunruhigt die Tatsache, dass sie die Wirkung elektrischer und magnetischer Felder auf die Gesundheit nicht abschätzen können. Verschiedentlich tragen Berichte in den Medien zu einer Verunsicherung bei. Der häufig verwendete Begriff „Elektrosmog“ kann Raum für Spekulationen schaffen. Die Wirkung niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder ist jedoch nicht mit einem alles überlagernden „Smog“ zu vergleichen. Die Werte der elektrischen und magnetischen Feldstärke von Radioweckern, Fernsehern und den meisten Haushaltgeräten sind im Allgemeinen so gering, dass davon bei normalen Gebrauchsdauern und üblichen Gebrauchsabständen keine Beeinträchtigungen der Gesundheit zu erwarten sind. In diesem Zusammenhang werden häufig Mobilfunkanlagen, Hochspannungsleitungen oder Haushaltgeräte in einem Atemzug genannt – das ist nicht korrekt. Hoch- und niederfrequente Felder wirken unterschiedlich auf den menschlichen Körper ein, ihre Wirkungen sind deshalb getrennt voneinander zu betrachten. Welche grundlegenden

Ursachen, Eigenschaften und Wirkungen der niederfrequenten Felder entsprechende Grenzwertfestlegungen begründen und welche praktischen Messergebnisse vorliegen, wird im Folgenden näher beschrieben.

Das elektrische Feld

Elektrische Ladungen üben Kräfte aufeinander aus. Schon Schülerinnen und Schülern ist aus Schulexperimenten bekannt, dass sich gleichnamige Ladungen abstoßen, ungleichnamige Ladungen – also Plus und Minus – sich dagegen anziehen. Zwischen unterschiedlich geladenen Körpern baut sich ein elektrisches Kraftfeld auf, dessen Stärke in der Maßeinheit Volt pro Meter (V/m) angegeben wird. Die Stärke des Kraftfeldes hängt von der anliegenden *Spannung* ab, außerdem von den Eigenschaften des Materials zwischen den Körpern und vom Abstand.

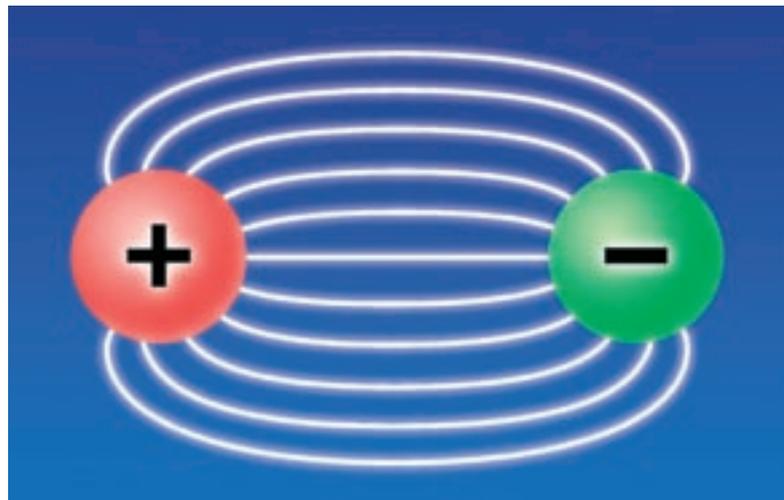
Wirken Feldkräfte auf leitfähige Materialien ein, so verschieben sich unter ihrem Einfluss elektrische Ladungen an der Oberfläche dieser Körper. Diesen Vorgang nennt man *Influenz*. Dabei wird die Oberfläche aufgeladen, das Innere der Körper ist dagegen praktisch feldfrei. In der Praxis wird dieser Effekt ausgenutzt, um von außen wirkende Felder abzuschirmen (Prinzip des Faradayschen Käfigs).

Ähnliche Vorgänge laufen ab, wenn auf den Menschen starke elektrische Felder von außen einwirken: Seine Körperoberfläche wird infolge der Influenz elektrisch aufgeladen – das ist die Hauptwirkung. Dabei fließen geringe Ausgleichsströme im Körperinneren – so genannte *Körperströme*. Bei Wechselfeldern wiederholt sich dieser Vorgang ständig mit der Frequenz. Körperströme wechseln dabei im gleichen Rhythmus periodisch ihre Richtung.

Ab einer bestimmten, von Mensch zu Mensch unterschiedlich ausgeprägten Schwelle werden elektrische Felder wahrgenommen. Im elektrischen Wechselfeld vibrieren beispielsweise die Härchen auf der Körperoberfläche. Im Takt der angelegten Frequenz werden sie gleichartig aufgeladen und stoßen sich gegenseitig ab. Bei empfindlichen Menschen können dadurch Hautrötungen oder Jucken verursacht werden.

Neben diesen direkten Wirkungen gibt es auch indirekte Wirkungen elektrischer Felder wie z. B. Ableitströme oder Elektrisierung. Ursache dafür sind Ladungsunterschiede zwischen unterschiedlich aufgeladenen Objekten und den betroffenen Personen. Sobald der Mensch mit dem unterschiedlich aufgeladenen Objekt elektrisch leitend verbunden wird, fließt ein Ableitstrom.

Viele Menschen haben schon erlebt, dass es beim Anfasen einer Türklinke oder beim Gehen über bestimmte Teppichböden zu einem Schlag kam. Die Teppichböden oder die Türklinke waren anders aufgeladen als die Hautoberfläche – es kam zum Spannungsausgleich, dabei floss ein geringer Ableitstrom. Vom Knistern bis



Das elektrische Feld lässt sich durch Kraftlinien zwischen den Polen veranschaulichen.

zum kräftigen Schlag können solche Ableitströme wahrgenommen werden. Meist sind sie in ihrer Wirkung harmlos und weisen nur geringe Stromstärken auf. Unter dem Einfluss sehr starker elektrischer Felder kann es allerdings in seltenen Fällen zu so genannten Elektrisierungen kommen – beispielsweise bei großen Metallflächen unter Hochspannungsleitungen. Dabei können Ableitströme auftreten, die teilweise durch das Körperinnere fließen und durchaus schmerzhaft sind.

Bei den üblichen in unserer Umgebung vorhandenen elektrischen Feldern stellen jedoch Ableitströme, Kribbeln auf der Haut oder auch das Vibrieren der Haare, auch bei langandauernder Wirkung, keine Gesundheitsgefahr dar.

Elektrische Feldstärke von Geräten in V/m; gemessen in 30 cm Abstand

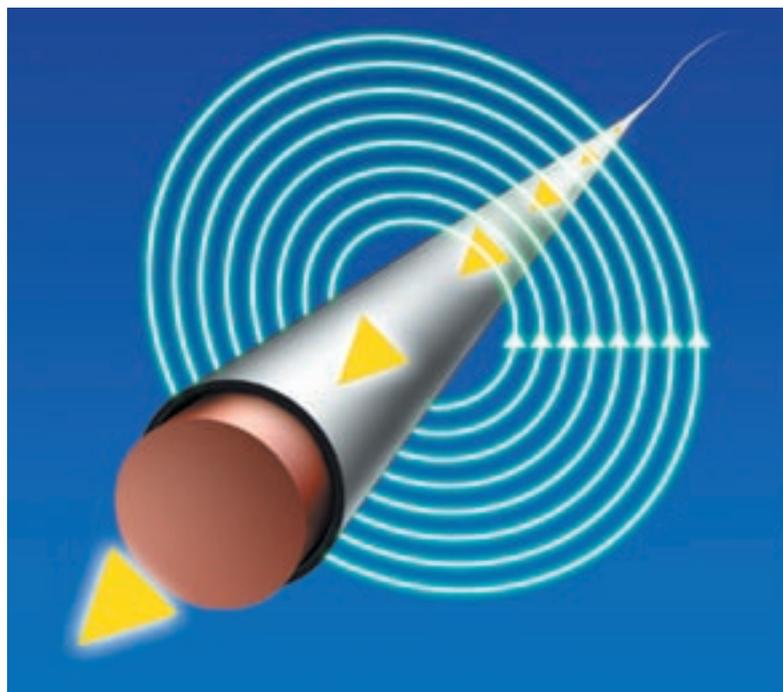
	V/m
Boiler	260
Stereoempfänger	180
Bügeleisen	120
Kühlschrank	120
Handmixer	100
Toaster	80
Haarfön	80
Fernseher	60
Kaffeemaschine	60
Staubsauger	50
Elektrokochherd	8
Glühlampe	5
Von außen in das Haus wirkende Felder bei Gebäudeüberspannung (z. B. bei Hochspannungsleitungen über dem Haus)	20
<i>Grenzwert für Dauerbelastung</i>	<i>5000</i>

Das magnetische Feld

Ursache von Magnetfeldern sind bewegte elektrische Ladungen. Elektrische und magnetische Wechselfelder bilden stets eine untrennbare Einheit. Überall, wo ein veränderliches elektrisches Feld auftritt, bildet sich senkrecht dazu ein Magnetfeld aus. Jedes veränderliche Magnetfeld bewirkt um sich herum wiederum ein veränderliches elektrisches Feld.

Immer, wenn elektrische Ladungen durch die Leitungen bewegt werden, das heißt, wenn *Strom* fließt, entsteht um den Leiter herum ein Magnetfeld. Ändert der Strom fortlaufend seine Richtung wie beim 50-Hz-Wechselstrom, so wird auch das Magnetfeld im gleichen Rhythmus umgepolt – wir haben es mit einem magnetischen Wechselfeld der gleichen Frequenz zu tun. Je größer die Stromstärke wird, desto höher ist auch die *magnetische Feldstärke*. Diese wird in Ampere pro Meter (A/m) gemessen. Oft wird statt dieser Größe die so genannte *magnetische Flussdichte* in der Einheit Tesla (T) angegeben. Beide Größen lassen sich in der Praxis leicht ineinander umrechnen, da die magnetischen Eigenschaften vieler Stoffe ähnlich sind. 80 A/m entsprechen rund 100 Mikrottesla, das sind 0,0001 T.

Etwa 40 Mikrottesla beträgt das statische Magnetfeld der Erde in unseren Breiten. Es verändert sich nur geringfügig zwischen den Polen und dem Äquator, schwankt jedoch in größeren Zeiträumen einiger tausend Jahre erheblich. Einige Zugvögel und Fische nutzen es zu



Wenn Strom durch einen elektrischen Leiter fließt, ist er stets von einem Magnetfeld umgeben. Bei Wechselstrom ändert das Magnetfeld ständig mit der Frequenz seine Richtung.

ihrer Orientierung. Sie haben spezialisierte Sinneszellen dafür. Der Mensch kann dieses Feld mit seinen Sinnen jedoch nicht wahrnehmen, er kann es aber nachweisen. Bereits seit etwa 1000 Jahren werden dazu magnetische Materialien genutzt – meist Metalle –, die sich als Kompassnadel oder Pfeilzeiger konstant in Richtung der magnetischen Pole der Erde ausrichten.

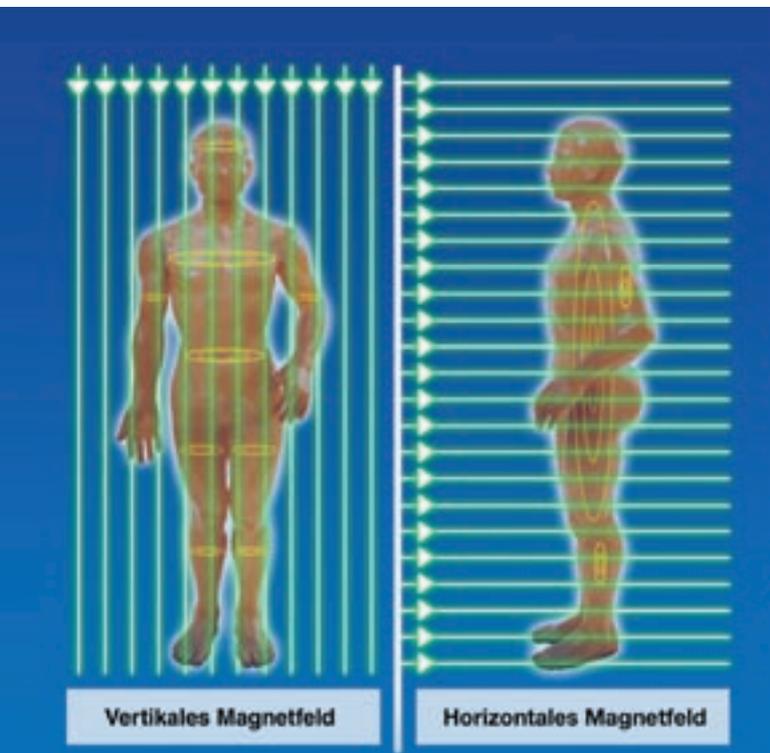
Das statische Magnetfeld der Erde wird bereits seit etwa dem 11. Jh. mit Hilfe von Kompassen angezeigt.

Die Magnetfelder in der Umgebung elektrischer Leiter sind jedoch nicht statisch. Bei 50-Hz-Wechselfeldern ändern sie hundertmal in der Sekunde ihre Richtung.

Magnetische Wechselfelder verursachen Wirbelströme in benachbarten leitfähigen Körpern.

Dies ist auch ihre Wirkung auf den menschlichen Körper. Je nachdem, aus welcher Richtung das magnetische Wechselfeld auf den Körper wirkt, unterscheidet sich auch die Ausrichtung der Wirbelströme.

Magnetfelder sind im Gegensatz zu elektrischen Feldern nicht so leicht abzuschirmen. Sie sind in der Lage, Hauswände zu durchdringen, ebenso organische Gewebe oder den menschlichen Körper. Metallische Abschirmungen halten sie nur bedingt zurück. Bei haushaltsüblichen Stromstärken sind die Intensitäten auftretender Magnetfelder allerdings nur gering und die Felder besitzen nur eine geringe Reichweite.



Mehr oder weniger stark ausgeprägte Wirbelströme im Inneren des Körpers sind die Hauptwirkung magnetischer Wechselfelder auf den Menschen.



Das statische Magnetfeld der Erde wird bereits seit etwa dem 11. Jh. mit Hilfe von Kompassen angezeigt.

Grenzwerte für niederfrequente Felder

Während beim elektrischen Wechselfeld Aufladungen der Körperoberfläche die Hauptwirkung darstellen und innere Körperströme nur in geringem Maße als Ausgleichströme daraus folgen, werden vom magnetischen Wechselfeld Wirbelströme im Inneren des Körpers – als Folge der magnetischen Induktion – direkt erzeugt.

Die *Dichte dieser Körperströme* ist für eine gesundheitliche Bewertung letztendlich die entscheidende Größe; sie wird in Milliampere pro Quadratmeter (mA/m^2) angegeben.

Körperströme sind ohne äußere Felder bereits beim Menschen vorhanden. Nerven übertragen ihre Signale, indem sie elektrische Impulse weiterleiten. Selbst das Herz ist elektrisch aktiv. Der Arzt kann dies im Elektrokardiogramm (EKG) nachweisen. Fast alle Stoffwechselfvorgänge gehen mit der Verschiebung geladener Teilchen (Ionen) einher. Die natürlichen Hintergrund-Stromdichten liegen im Bereich von 1 bis $10 \text{ mA}/\text{m}^2$. Die Forderung des Strahlenschutzes lautet daher: Die zulässige Höhe innerer Körperstromdichten, die durch niederfrequente Felder induziert werden, muss sich an den Schwellenwerten der biologischen Wirkungen orientieren. Bei der Ableitung von Grenzwerten sind darüber hinaus die natürlichen Körperstromdichten zu berücksichtigen.

Auf dieses Vorgehen haben sich internationale Expertengremien bei der Festlegung der Grenzwerte geeinigt, allen voran die Internationale Strahlenschutzkommission für nichtionisierende Strahlung (ICNIRP), die eng mit der Weltgesundheitsorganisation (WHO) zusammenarbeitet. Der so genannte „Basiswert“ für zusätzlich zumutbare Körperstromdichten wurde mit $2 \text{ mA}/\text{m}^2$ festgelegt – das gilt selbst bei Dauereinwirkung als gesundheitlich unbedenklich.

Körperstromdichten im Inneren des Körpers zu ermitteln, ist aufwendig. In der Praxis behilft man sich mit abgeleiteten physikalischen Größen, die einfacher zu ermitteln sind, wie der elektrischen Feldstärke oder der magnetischen Flussdichte. In umfangreichen Experimenten und Berechnungen wurde für bestimmte Frequenzen der Zusammenhang zwischen äußeren Feldern und den dadurch erzeugten inneren Körperstromdichten ermittelt. **Elektrische Feldstärken unterhalb von 5 Kilovolt pro Meter und magnetische Flussdichten unter 100 Mikrottesla** gewährleisten, dass Körperstromdichten von 1 bis $2 \text{ mA}/\text{m}^2$ nicht überschritten werden. Akute Wirkungen, zum Beispiel Stimulationen von Nerven, wie sie beim elektrischen Schlag auftreten können, sind nicht zu erwarten. Diese Werte wurden als **Grenzwerte** in die Verordnung über elektromagnetische Felder aufgenommen. (26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, kurz 26. BImSchV). Sie gelten für Dauereinwirkungen bei bestimmten Anlagen.

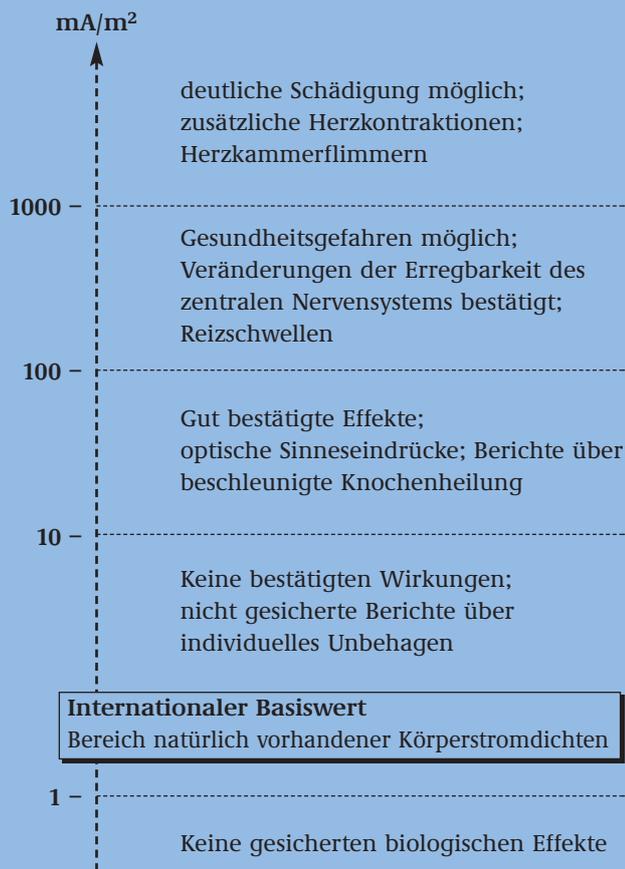
Elektrische Feldstärken in der Umgebung von Haushaltsgeräten sind vom Grenzwert meist weit entfernt. Lediglich unmittelbar an der Oberfläche einiger Geräte mit Motoren können hohe Feldstärkewerte auftreten – beispielsweise bei verschiedenen Rasierapparaten oder Fönen. Das Feld verteilt sich allerdings sehr ungleichmäßig, so dass auch hier insgesamt die Basiswerte für die induzierten Körperstromdichten eingehalten werden. Mit jedem Zentimeter Entfernung vom Gerät nehmen die Feldstärken erheblich ab.

Das ist auch bei magnetischen Flussdichten zu beobachten: Im Gebrauchsabstand von rund 30 cm sind die magnetischen Flussdichten der meisten Haushaltsgeräte verschwindend gering und spielen für die gesundheitliche Bewertung keine Rolle. Bei vereinzelt höheren Fluss-



In der medizinischen Diagnostik werden innere Ströme im Gehirn mit dem Elektroenzephalogramm (EEG) erfasst.

Körperstromdichte



Nehmen die Körperstromdichten zu, werden auch die Wirkungen schwerwiegender. Erst beim Hundert- bis Tausendfachen des Grenzwertes sind Gesundheitsschäden nachgewiesen.



dichten, wie sie beim Betrieb von Staubsauger oder Fön auftreten, handelt es sich meist nicht um Dauerbelastungen. Als mittlerer Grundpegel in den meisten Haushalten wurden Werte der magnetischen Flussdichte um 0,1 Mikrottesla ermittelt.

Elektrische und magnetische Felder der Energieversorgung

Bevor elektrischer Strom in die Haushalte gelangt, hat er einen langen Weg zurückgelegt. Im Kraftwerk wird er erzeugt, in Transformatorstationen auf geeignete Übertragungsspannungen gebracht. Über verschiedene Verteilernetze wird er in Hochspannungsfreileitungen über weite Strecken transportiert. Transformatoren in Verteilerstationen verbinden die unterschiedlichen Netze miteinander. Über sie gelangt der Strom schließlich zum Verbraucher.

Stets treten auch beim Transport elektrischer Energie elektrische und magnetische Felder in der Umgebung von Hochspannungsleitungen und Transformatoren auf. Je höher dabei die Übertragungsspannung ist, desto höher ist die *elektrische Feldstärke*, die sich zwischen Leiterseil und dem Untergrund ausbilden kann. Bei Freileitungen mit hohen Masten ist das elektrische Feld am Boden geringer. In der Umgebung der Hochspannungsleitungen verringert sich das elektrische Feld deutlich mit jedem Meter Entfernung von den Leitungen.

Bäume, Sträucher, Unebenheiten im Gelände oder Häuser verzerren das elektrische Feld unter Hochspan-

Repräsentative Werte magnetischer Flussdichten von Haushaltgeräten in unterschiedlichen Abständen

gemessen in Mikrottesla, Gebrauchsabstände hervorgehoben

Gerät	3 cm	30 cm	1 m
Haarfön	6 – 2000	0,01 – 7	0,01 – 0,3
Rasierapparat	15 – 1500	0,08 – 9	0,01 – 0,3
Bohrmaschine	400 – 800	2 – 3,5	0,08 – 0,2
Staubsauger	200 – 800	2 – 20	0,13 – 2
Leuchtstofflampe	40 – 400	0,5 – 2	0,02 – 0,25
Mikrowellengerät	73 – 200	4 – 8	0,25 – 0,6
Radio (tragbar)	16 – 56	1	< 0,01
Küchenherd	1 – 50	0,15 – 0,5	0,01 – 0,04
Waschmaschine	0,8 – 50	0,15 – 3	0,01 – 0,15
Bügeleisen	8 – 30	0,12 – 0,3	0,01 – 0,03
Geschirrspüler	3,5 – 20	0,6 – 3	0,07 – 0,3
Computer	0,5 – 30	< 0,01	
Kühlschrank	0,5 – 1,7	0,01 – 0,25	< 0,01
Fernsehgerät	2,5 – 50	0,04 – 2	0,01 – 0,15

Bereits in 30 cm Abstand von den meisten Geräten wird der Grenzwert von 100 µT deutlich unterschritten.

nungsleitungen. Spitzenwerte sind deshalb nur an einigen Stellen anzutreffen. In unmittelbarer Nähe von Hochspannungsleitungen wird der Grenzwert für die elektrische Feldstärke von 5 kV/m nicht in jedem Einzelfall eingehalten. Beispiele dafür sind vereinzelt dort anzutreffen, wo die Freileitungen in kleinräumigen Bereichen am stärksten durchhängen. Diese Bereiche sind in der Regel nicht bebaut. Nur Messungen vor Ort liefern jedoch Klarheit darüber, wie hoch die elektrische Feldstärke im Einzelfall tatsächlich ist. Wissenswert in diesem Zusammenhang: Das Baumaterial der Hauswände schirmt bis zu 90 Prozent des von außen wirkenden Feldes nach innen ab.

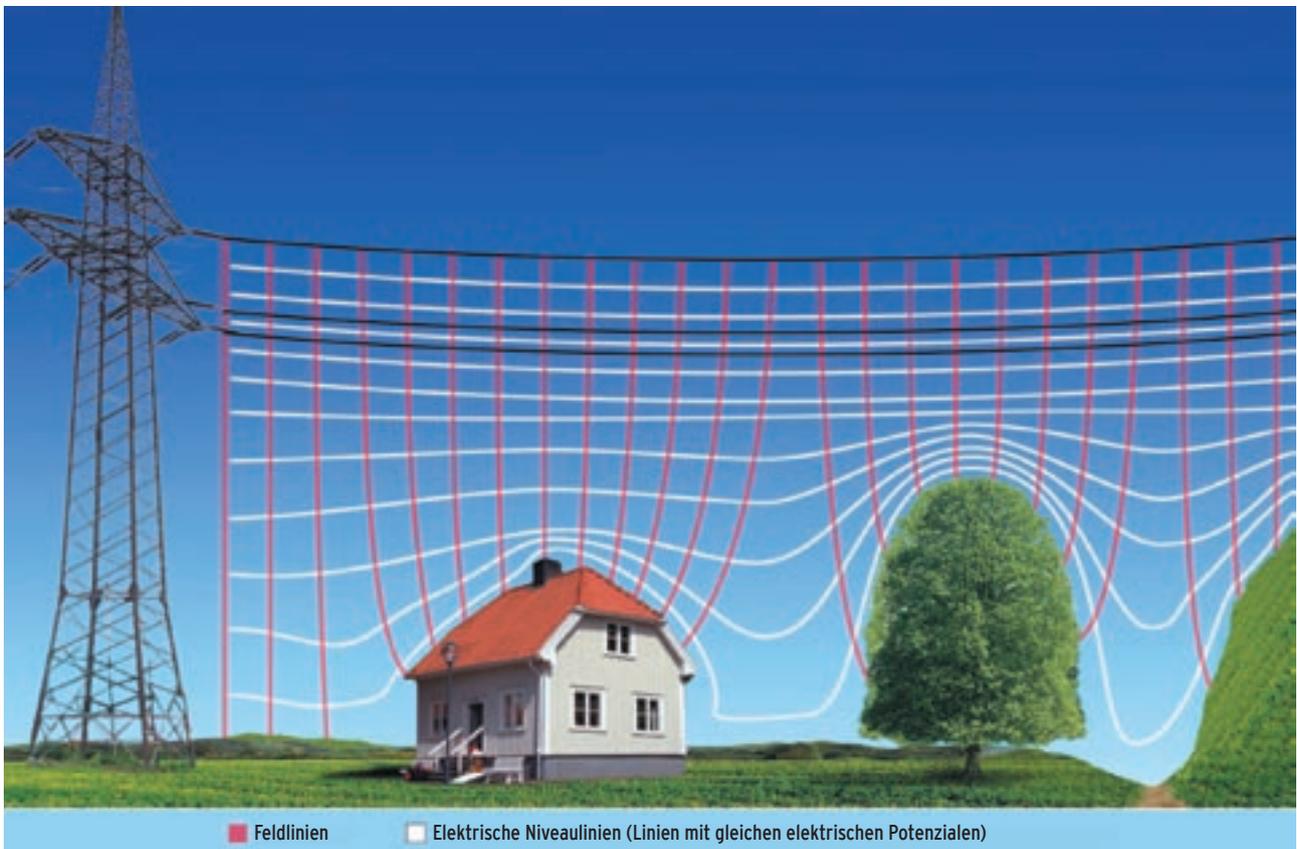
Die *magnetischen Flussdichten* in der Umgebung von Hochspannungsleitungen und Transformatorstationen sind dann am höchsten, wenn der meiste Strom – zu den Spitzenzeiten des Energieverbrauchs – verbraucht wird. Selbst dabei treten jedoch äußerst selten Magnetfelder auf, die in die Nähe des Grenzwertes gelangen. Auch die magnetischen Flussdichten verringern sich deutlich mit jedem Meter Entfernung von den Hochspannungsleitungen.

Magnetfelder in der Umgebung technischer Geräte und Anlagen sind verhältnismäßig einfach zu bestimmen und im Allgemeinen bekannt. Im technisierten Alltag bewegen sich die Menschen heute inmitten einer Vielzahl unterschiedlicher Quellen von Magnetfeldern. Dazu

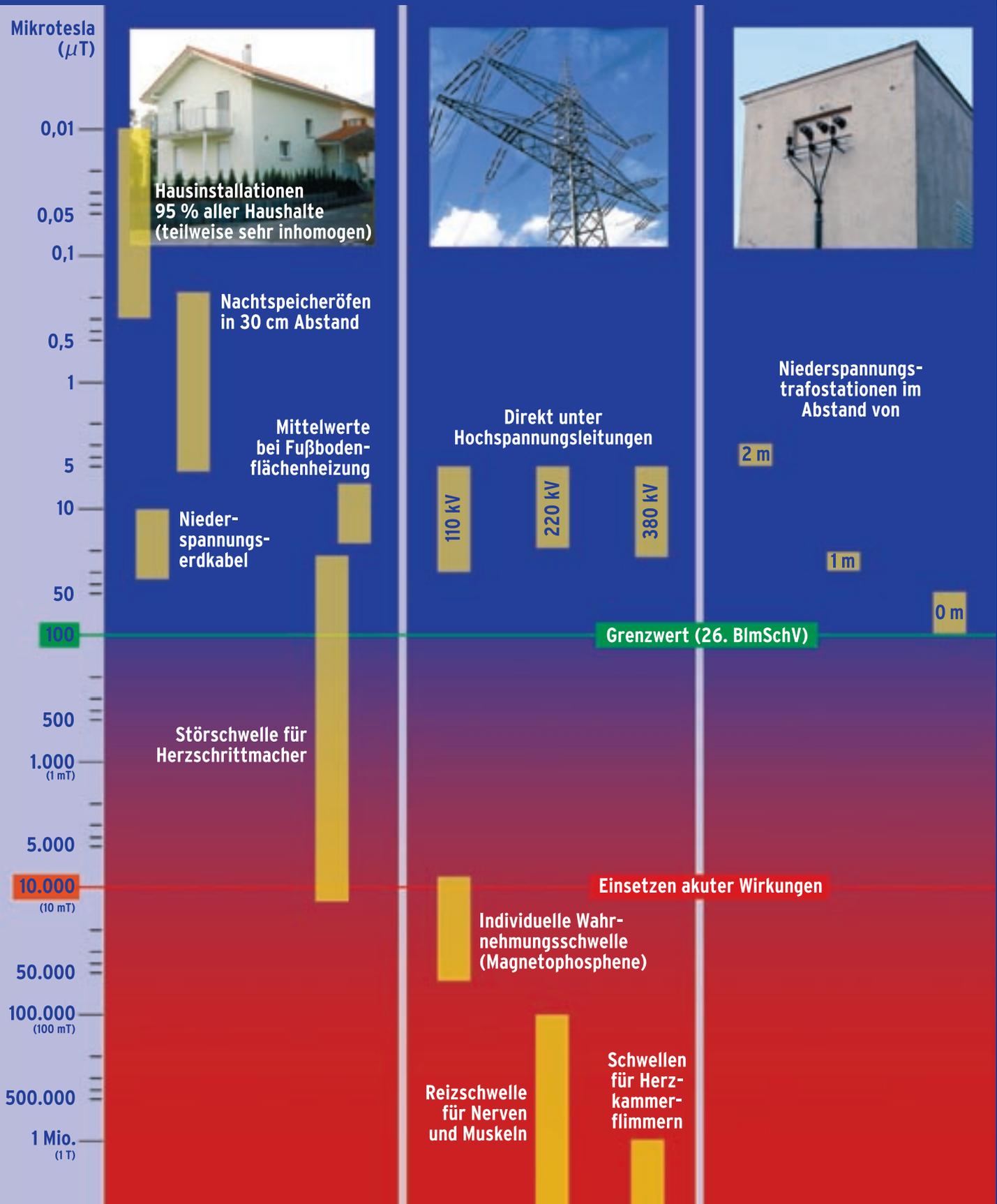


Magnetflussdichten in der Umgebung von Hochspannungsleitungen ändern sich ständig entsprechend der jeweils fließenden Stromstärke.

zählen in den Wohnungen elektrische Haushaltsgeräte, elektrisch betriebene Verkehrsmittel sowie an Arbeitsplätzen elektrische Maschinen oder Computer. In der Umgebung von Hochspannungsleitungen ändern sich die Magnetfelder noch dazu mit dem Stromverbrauch zwischen Tag und Nacht.



Häuser, Erhebungen im Gelände oder Bewuchs können zu Verzerrungen des elektrischen Feldes unter Hochspannungsleitungen führen.



Größenordnung der magnetischen Felder in der Energieversorgung.

In einer repräsentativen Untersuchung hat das BfS in den vergangenen Jahren die individuelle Exposition von 2 000 Personen durch Magnetfelder der Energieversorgung gemessen. Die Messungen erfolgten bei der haushaltsüblichen Wechselstromfrequenz von 50 Hertz sowie bei $16 \frac{2}{3}$ Hertz in der Umgebung von Bahnstromanlagen.

Die Personen wurden 24 Stunden lang mit speziellen Messgeräten ausgerüstet. Die handlichen Geräte wurden tagsüber am Gürtel getragen und nachts neben dem Kopf platziert. So konnte die Magnetfeldexposition bei den Frequenzen 50 Hz bzw. $16 \frac{2}{3}$ Hz in jeder Sekunde körpfernah gemessen und die Ergebnisse gespeichert werden. Der Messbereich reichte von 170 Mikrottesla (μ T) bis zu wenigen Nanotesla ($0,001 \mu$ T). Zusätzlich protokollierten die Teilnehmer stichpunktartig ihren Tagesablauf.

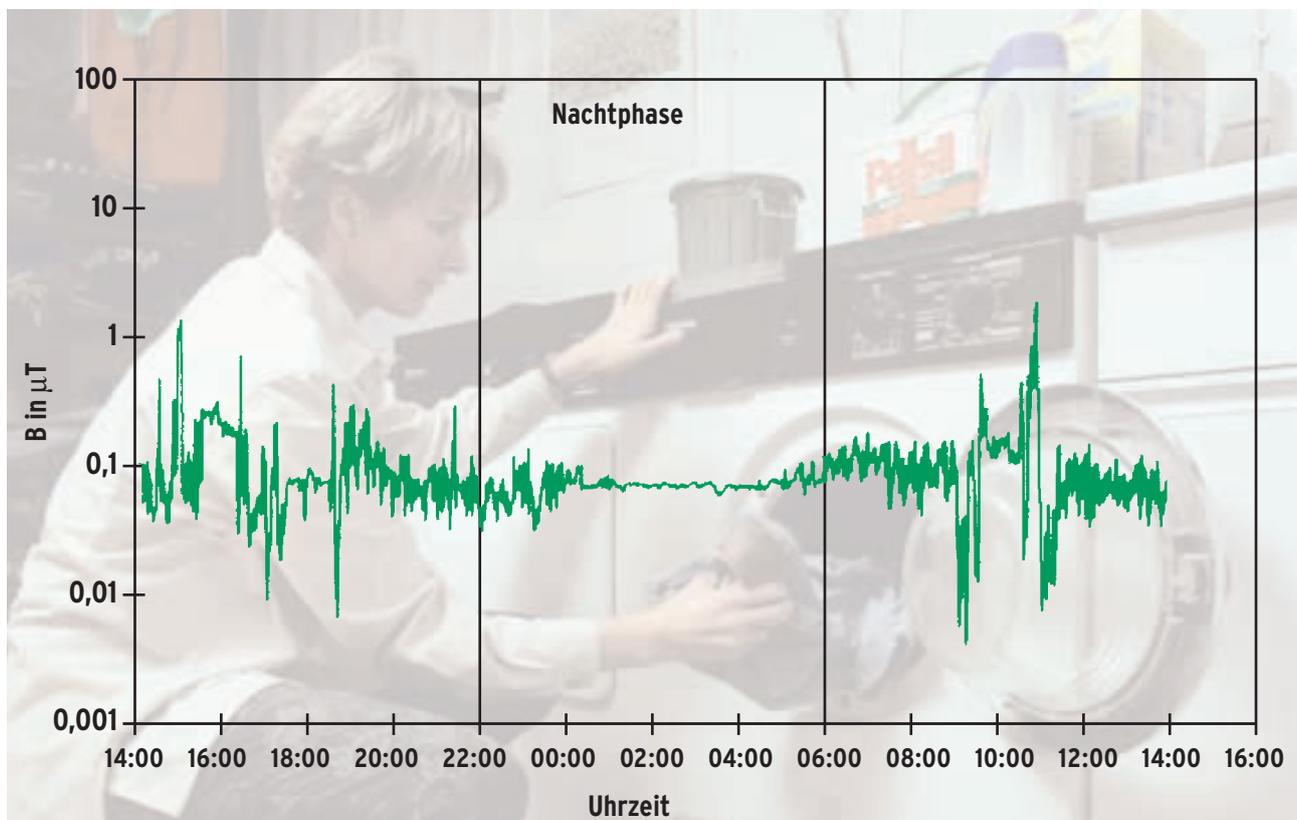
Statistische Auswertungen der Daten zeigten, dass sich für Bürgerinnen und Bürger in den Zentren der Städte geringfügig höhere Werte ergaben (0,12 Mikrottesla), als für Bewohner ländlicher Gebiete (unter 0,1 Mikrottesla). Selbst bei Personen, die in der Umgebung von Hochspannungsleitungen wohnen, ergaben sich kaum Unterschiede – auch bei ihnen wurde nur eine mittlere Expo-

sition von 0,11 Mikrottesla gemessen. Dieser Wert ist – verglichen mit dem Grenzwert der Verordnung – äußerst gering.

Für unterschiedliche Bevölkerungsgruppen ergaben sich teilweise typische Expositionsmuster. Die Exposition von Handwerkern oder Arbeitern war an den Arbeitsplätzen mit Maschinen naturgemäß höher als in Büros oder in Haushalten.

Haushalte mit *elektrischer Heizung* zeigten keinen wesentlichen Einfluss dieser Feldquelle auf die Tagesaufzeichnungen. Allerdings lieferten nächtliche Expositionen durch *Radiowecker* einen höheren Mittelwert von 0,15 Mikrottesla. Es ist aber nicht auszuschließen, dass einige Teilnehmer das Messgerät nachts sehr nahe am Wecker abgelegt hatten; wahrscheinlich näher, als sich normalerweise der Kopf am Wecker befindet.

Technische Möglichkeiten zur Verringerung der Felder bestehen unterhalb der Grenzwerte, beispielsweise durch optimale Phasenbelegung der Leiter bei der Stromübertragung. Damit wird erreicht, dass auch belästigende Wahrnehmungen unterhalb der Grenzwerte verringert werden – beispielsweise das Vibrieren der Körperhaare oder unangenehme Ableitströme.



Beispiel Hausfrau: Einzelne Tätigkeiten im Haushalt verursachten Expositionsspitzen der magnetischen Flussdichte B zwischen 0,4 und 2 Mikrottesla; zwischen 10 und 12 Uhr wurde eingekauft, gegen 15.30 Uhr Wäsche gewaschen, nach einem Abstecher in die Stadt folgten zwischen 19 und 20 Uhr Küchenarbeiten.



Personen, denen ein Herzschrittmacher implantiert wurde, sollten ihren Arzt nach möglichen Störbeeinflussungen durch elektrische und magnetische Felder befragen.

Auch die Träger von elektronischen Körperhilfen – Herzschrittmachern oder Insulinpumpen – werden auf diese Weise vor Störbeeinflussungen zuverlässig geschützt. Bekannt ist beispielsweise, dass einige Herzschrittmacher älterer Bauart bereits unterhalb der

Grenzwertschwelle gestört werden können – ab 2,5 kV/m bzw. 20 Mikrottesla. Am einfachsten vermeidet man solche Wirkungen, wenn man Abstand von den Feldquellen hält.

Das elektrische Netz der Eisenbahn

Das elektrische Bahnstromnetz wird in Deutschland über 110-kV-Leitungen mit einer Frequenz von $16 \frac{2}{3}$ Hertz betrieben, also einem Drittel der normalen Netzfrequenz. Direkt an den Fahrleitungen liegen 15 kV an. Bei $16 \frac{2}{3}$ Hertz sind höhere Grenzwerte zulässig als bei 50 Hertz: **10 kV/m** für die elektrische Feldstärke und **300 Mikrottesla** für die magnetische Flussdichte. Unmittelbar unter den Netzleitungen treten elektrische Feldstärkewerte zwischen 2 und 3 kV/m auf, in 20 Meter Abstand sind es nur noch weniger als 1 kV/m.

Die Stärke des Magnetfeldes ändert sich ständig mit dem Stromfluss; höchstens 18 Mikrottesla ergeben sich direkt unter der 110-kV-Netzleitung bei einem Stromfluss von rund 1000 Ampere (1 kA). Beim Fahrbetrieb treten in den 15-kV-Fahrleitungen kurzzeitige Stromspitzenwerte auf. Dadurch können sich bei Stromstär-



Elektrifizierte Strecke der Eisenbahn.

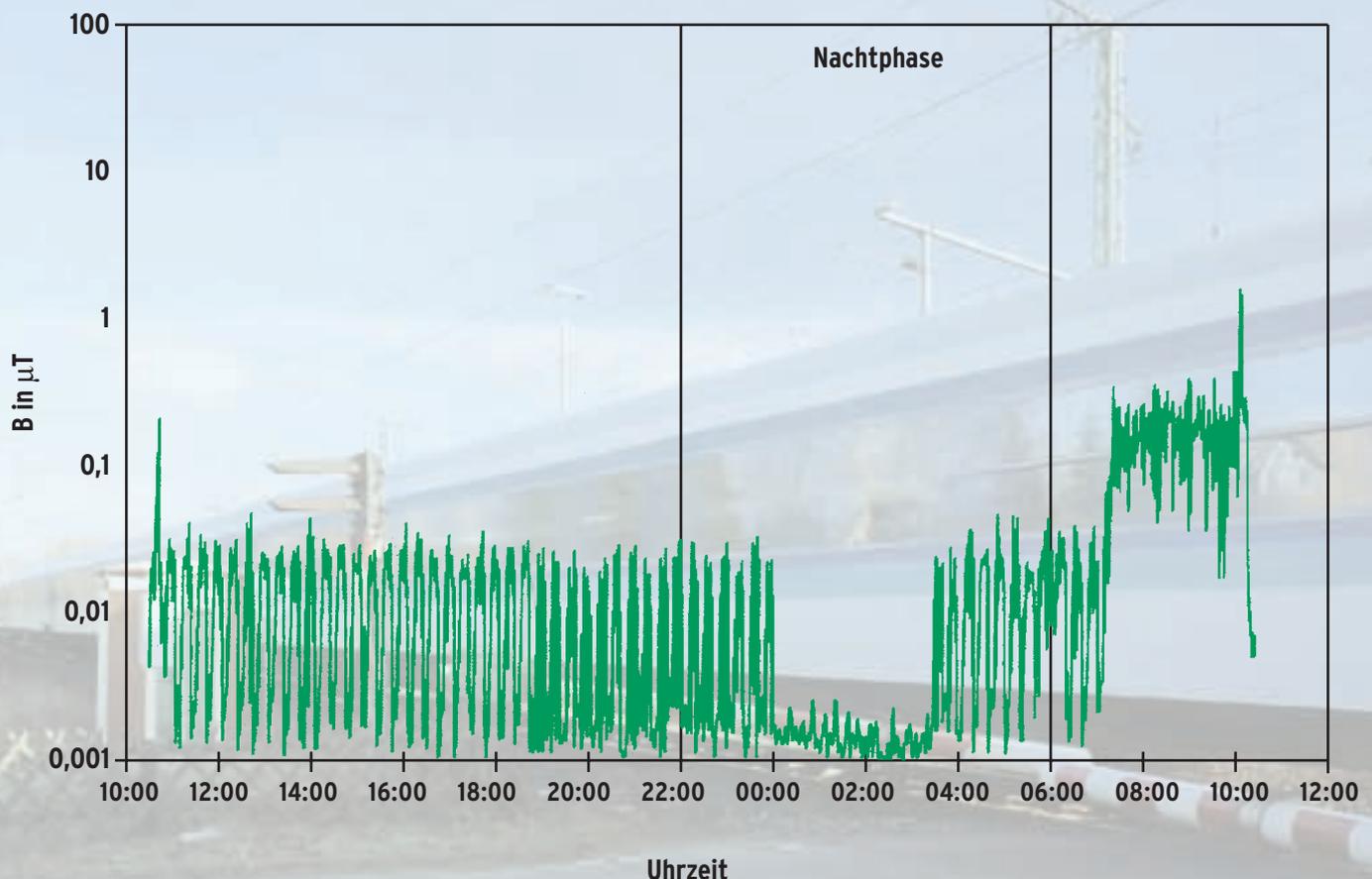
ken von 1000 Ampère Magnetflussdichten um 75 Mikrottesla ergeben. Dieser Wert stellt jedoch keine Dauerbelastung dar – weder für das Zugpersonal, noch für Passagiere, die häufig lange mit der Bahn unterwegs sind. Sämtliche auftretenden elektrischen und magnetischen Felder sind wesentlich geringer als die zulässigen Grenzwerte. Gesundheitliche Gefährdungen gehen daher nicht davon aus.

Vorsorgemaßnahmen

Für das Bundesamt für Strahlenschutz sind angesichts der noch bestehenden wissenschaftlichen Unsicherheiten hinsichtlich der möglichen Risiken durch niederfrequente elektrische und magnetische sowie hochfrequente elektromagnetische Felder Vorsorgemaßnahmen wichtig. Ein wesentlicher Aspekt der Vorsorge ist es, die Feldeinwirkung auf die Bevölkerung – soweit möglich – zu

verringern. Dies wird sowohl durch Reduzierung der Intensität der Felder als auch durch das Verkürzen der Einwirkdauer der Felder erreicht. Zu den Vorsorgemaßnahmen gehört aber auch verstärkte Forschung, um wissenschaftliche Unsicherheiten zu verringern und den aktuellen Kenntnisstand zu erweitern sowie die Information und Aufklärung der Bevölkerung.

In den meisten Fällen nimmt die Intensität sowohl niederfrequenter als auch hochfrequenter Felder mit dem Abstand von der Quelle stark ab. Daher kann durch eine Vergrößerung des Abstandes in vielen Fällen bereits in sehr einfacher Weise die Feldeinwirkung deutlich reduziert werden. Beispiele für entsprechende Maßnahmen sind: Netzbetriebene Radiowecker nicht direkt neben das Kopfende des Bettes stellen. Babyüberwachungsgeräte in mindestens einem Meter Abstand vom Kind aufstellen. Netzgeräte für die Stromversorgung so weit wie möglich vom Kind entfernt betreiben.



Beispiel Bahnstromanlagen: Tagesgang der magnetischen Flussdichte B (16 2/3 Hertz) für eine Person, die unmittelbar an einer Bahnstromanlage lebt und dort auch arbeitet. Deutlich ist der Zeittakt vorbeifahrender Züge zu erkennen, zwischen 0 und 3 Uhr fahren keine Bahnen.

RADIO- UND MIKROWELLEN



Leistungsstarke Sendeanlagen strahlen Rundfunk- und Fernsehprogramme in unterschiedlichen Frequenzbereichen ab.

Fernsehen und Rundfunk hören oder drahtlos telefonieren sind in der heutigen Zeit selbstverständliche Tätigkeiten, oft auch das Aufwärmen des Essens im Mikrowellenkochgerät. Den wenigsten ist dabei bewusst, dass sie Techniken anwenden, die mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern arbeiten.

Hochfrequente Strahlung wird im Allgemeinen von einer Antenne abgestrahlt. Sie breitet sich mit Lichtgeschwindigkeit aus und überträgt dabei Energie – teilweise über große Entfernungen. Diese Eigenschaft wird besonders für die Nachrichtenübertragung ausgenutzt – für Rundfunk, Fernsehen, Mobilfunk. Im elektromagnetischen Spektrum ist der hochfrequente Strahlungsbereich zwischen etwa 100 Kilohertz (kHz) und 300 Gigahertz (GHz) angesiedelt (siehe auch Abb. Elektromagnetisches Spektrum S. 31). Das bedeutet, dass sowohl das elektrische als auch das magnetische Feld mehrere tausend-, ja millionen- oder milliardenmal in der Sekunde ihre Richtung wechseln.

Da die elektrische und magnetische Komponente sehr eng miteinander gekoppelt sind, kann man die Wirkung dieser Strahlung kaum noch auf die Einzelwirkung der beiden Komponenten zurückführen.

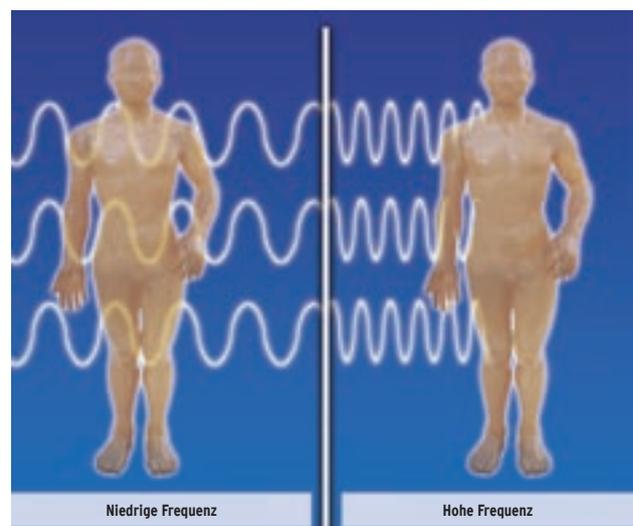
Eine Vielzahl verschiedener Sendeeinrichtungen umgibt uns. Sie strahlen mit unterschiedlicher Sendeleistung hochfrequente (HF-) Strahlungsfelder aus einem breiten Frequenzbereich in die Umgebung ab. Je weiter man von den Sendeantennen entfernt ist, desto geringer wird die Stärke des jeweiligen Strahlungsfeldes.

Wirkungen hochfrequenter Felder

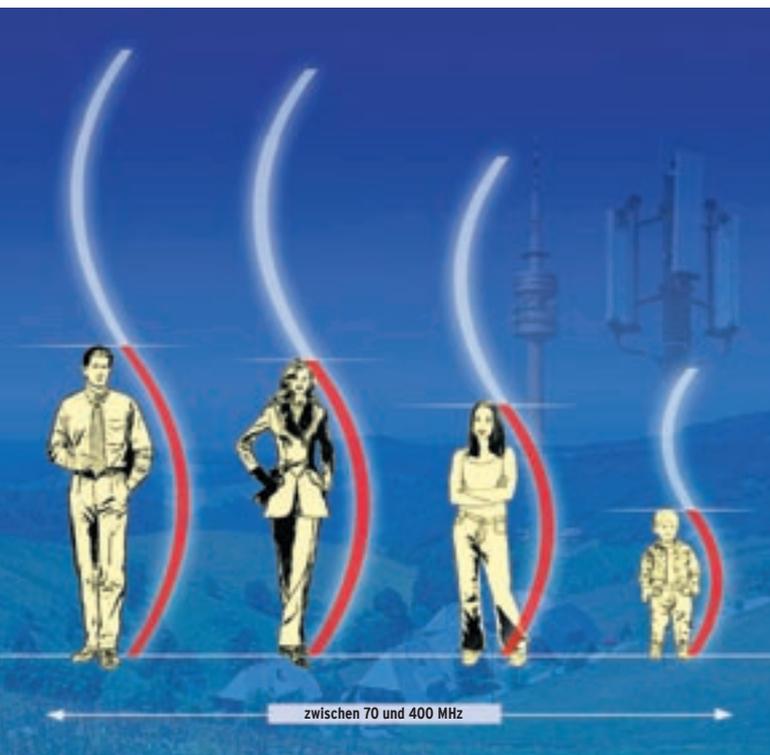
Die Wirkung der hochfrequenten Strahlung auf biologische Systeme und insbesondere auf den menschlichen Körper hängt von verschiedenen Faktoren ab.

Zunächst einmal ist die *Eindringtiefe* der Strahlung in das menschliche Gewebe unterschiedlich, sie ist stark frequenzabhängig. Elektromagnetische Felder der Rundfunk-Mittelwelle im Megahertzbereich haben Eindringtiefen von 10 bis etwa 30 cm, beim Mobilfunk mit rund tausendmal höheren Frequenzen um 1 Gigahertz (GHz) dringt die Strahlung nur wenige Zentimeter tief in das Gewebe ein.

Ein weiteres Phänomen muss beim Umgang mit hochfrequenter Strahlung berücksichtigt werden – die *Resonanz*. Die Körpergröße spielt dabei eine entscheidende Rolle – der Körper wirkt quasi als Empfangsantenne. Besitzt er eine Größe von etwa der halben Wellenlänge der Strahlung, so befindet er sich im „Resonanzbereich“ – das bedeutet, er nimmt besonders viel Strahlungsenergie auf. Dabei ist aufgrund der elektrischen Eigenschaften des Menschen der Frequenzbereich für die Resonanz breiter als beispielsweise bei einem Rundfunkempfänger. Bei einem Menschen von 1,70 Meter Größe liegt dieser Bereich bei Frequenzen um 70 bis 110 Megahertz. Dieser Frequenzbereich wird bei UKW-Sendern genutzt. Ein sechsjähriges Kind dagegen ist kleiner, es hat also eine höhere Resonanzfrequenz und nimmt im



Unterschiedliche Eindringtiefen von HF-Strahlung in das menschliche Körpergewebe.



Aus unterschiedlichen Körperhöhen ergeben sich Resonanzverhältnisse bei unterschiedlichen Wellenlängen.

Bereich zwischen 200 und 400 Megahertz (z. B. für Fernsehsender genutzt) besonders viel Energie auf. Viele Tierversuche werden mit Mäusen durchgeführt, deren Resonanzfrequenz im Bereich einiger Gigahertz liegt. Ergebnisse von Tierexperimenten lassen sich also nicht ohne weiteres auf den Menschen übertragen. Eine Maus nimmt bei ihrer Resonanzfrequenz von 2 GHz pro Gramm Körpergewicht etwa 60 Mal mehr Energie auf als ein Mensch bei der gleichen Frequenz.

Für biologische Systeme und somit auch für den Menschen ist vor allem die Wirkung von HF-Strahlung auf die im Gewebe vorhandenen Wassermoleküle zu berücksichtigen. Als so genannte elektrische Dipole versuchen diese, sich im ständig wechselnden Feld auszurichten und schwingen im Takt der angelegten hohen Frequenz. Dabei reiben sie aneinander und es entsteht Wärme.

Die Energie der hochfrequenten Strahlung wird vom menschlichen Körper hauptsächlich in Wärme umgewandelt. Der Körper hat durch die Thermoregulation die Möglichkeit, diese zusätzliche Wärme auszugleichen. Tritt die Erwärmung nur lokal begrenzt auf, so kann in der Regel das Blut die zusätzliche Wärme abführen. Wird der ganze Körper erwärmt, so wird die Haut stärker durchblutet und die Wärme wird durch Verdunstung an der Hautoberfläche abgegeben (Schwitzen). Mit Wirkungen auf die Gesundheit ist erst dann zu rechnen, wenn bestimmte Schwellenwerte überschritten werden und die Wärmeregulierung gestört wird.

Dadurch kann der gesamte Stoffwechsel oder das Nervensystem beeinträchtigt werden. Langanhaltende Überwärmung im Augenbereich begünstigt auch die Entstehung von grauem Star und anderen Augenkrankheiten. Längere und starke Einwirkungen hochfrequenter Strahlungsfelder können unter Umständen die Entwicklung des Kindes im Mutterleib stören.

Um die nachgewiesenen gesundheitlichen Risiken zu verhindern, muss die Energieaufnahme des Körpers begrenzt werden.

In der Diskussion um die Wirkungen hochfrequenter Strahlung ist man sich über die thermischen Wirkungen weitgehend einig. Die Forschungsschwerpunkte und auch die Sorgen der Bevölkerung beziehen sich zurzeit auf mögliche Wirkungen bei Intensitäten unterhalb der bestehenden Grenzwerte.

Im Bereich niedriger Intensitäten gibt es einzelne Hinweise auf biologische Wirkungen: Berichtet wird über Änderungen des Schlafverhaltens, eine Beeinflussung der Gehirnströme oder der Hormonproduktion. Bei kognitiven Leistungstests kann sich die Reaktionszeit der Probanden verändern. Experimente an Zellen ergaben u. a. geringfügige Änderungen der Konzentration verschiedener Botenstoffe wie z. B. Calcium. Eine Beeinflussung der Blut-Hirn-Schranke durch eine Exposition mit hochfrequenten Feldern wird diskutiert. Zu den aktuellen Themen der laufenden Forschung gehören auch Untersuchungen zur Aufklärung eines Zusammenhangs zwischen dem Auftreten von Krebserkrankungen und HF-Feldern. Diese Ergebnisse wurden bisher nicht unabhängig bestätigt. Insbesondere fehlt ein schlüssiger Wirkungsmechanismus, mit dem ein Einfluss hochfrequenter Felder auf die genannten biologischen Parameter erklärt werden könnte.

GRENZWERTE FÜR HOCHFREQUENTE FELDER UND VORSORGEMASSNAHMEN

Das Maß für die vom Körper aufgenommene Energie ist die „Spezifische Absorptionsrate (SAR)“. Sie gibt die Leistung (Energie pro Zeiteinheit) an, die pro Kilogramm Gewebe absorbiert wird. Die Einheit des SAR-Wertes ist Watt pro Kilogramm [W/kg].

Um die nachgewiesenen gesundheitlichen Beeinträchtigungen, die durch eine übermäßige Erwärmung des Körpers entstehen, zuverlässig auszuschließen, wird von internationalen Expertengremien eine Begrenzung des SAR-Wertes für den Gesamtkörper auf 0,08 W/kg (Basisgrenzwert) empfohlen. Für die Teilkörperbereiche Kopf und Rumpf beträgt der Basisgrenzwert der SAR 2 W/kg und für die Extremitäten 4 W/kg, jeweils gemittelt über 10 g Körpergewebe.

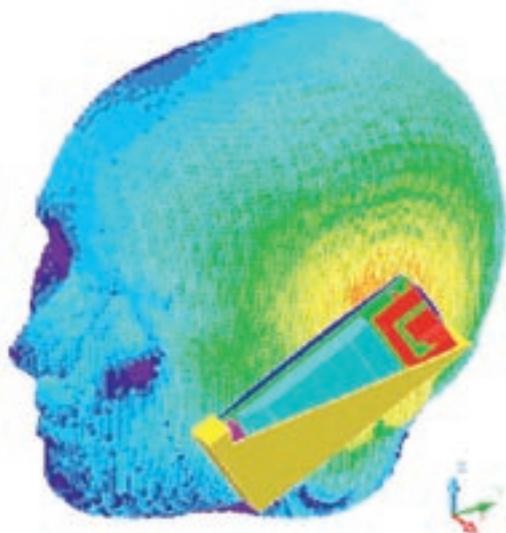
Ähnlich wie bei den niederfrequenten Feldern ist auch im Hochfrequenzbereich der Basisgrenzwert schwierig zu messen. Der SAR-Wert muss mittels komplizierter Messverfahren im Gewebe bzw. in sog. Phantomen ermittelt werden. Daher werden aus den Basisgrenzwerten leicht messbare Referenzwerte abgeleitet. Diese sind so festgelegt, dass bei ihrer Einhaltung die Basisgrenzwerte in keinem Fall überschritten werden. Als Referenzwerte werden die elektrische (gemessen in V/m) und die magnetische Feldstärke (in A/m) sowie die Leistungsflussdichte (in W/m^2) verwendet. Um spezielle Effekte, wie sie beim gepulsten Betrieb von Radar auftreten, zu vermeiden, wird zusätzlich die Spitzenleistung der Pulsenergie begrenzt.

Ziel der Grenzwerte ist es, vor den wissenschaftlich nachgewiesenen gesundheitlichen Risiken zu schützen.

Es gibt aber auch Hinweise auf biologische Wirkungen der hochfrequenten Strahlung unterhalb oder im Bereich der durch die Grenzwerte definierten Feldintensitäten, deren Bedeutung für die menschliche Gesundheit aber noch unklar ist. Die Bewertung der gesundheitlichen Risiken der elektromagnetischen Felder ist deshalb mit Unsicherheiten verbunden. Um diesen Unsicherheiten gerecht zu werden, müssen die Grenzwerte durch geeignete Maßnahmen der Vorsorge ergänzt werden.

Das vom BfS empfohlene Vorsorgepaket umfasst drei Bereiche:

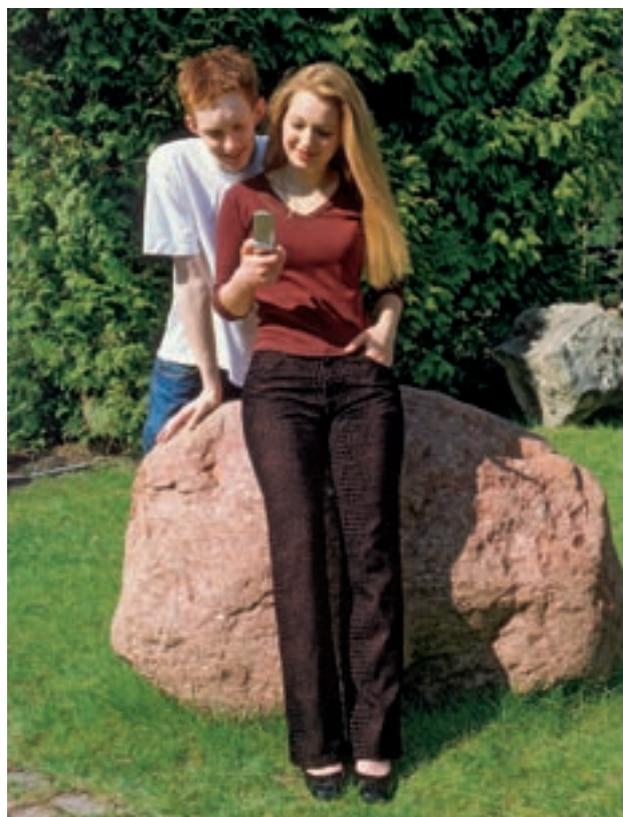
- Minimierung der Exposition der Bevölkerung
- Objektive und sachliche Information der Bürgerinnen und Bürger
- Klärung der offenen Fragen durch gezielte und koordinierte Forschung.



Beim Telefonieren mit dem Handy kommt es zu ungleichmäßiger Leistungsaufnahme und -verteilung im Kopf: Um die Teilkörperwerte einzuhalten, werden die Abstrahlleistungen der Handys begrenzt.



Die Wirkung von HF-Strahlung wird häufig an Zellen untersucht und mikroskopisch ausgewertet.



Begrenzungen der Abstrahlleistung von Handys und Sprechfunkgeräten gewährleisten, dass die empfohlenen SAR-Werte sicher eingehalten werden.

HOCHFREQUENTE FELDER IM ALLTAG

Mobilfunk

Die für den Mobilfunk genutzten Frequenzbereiche liegen um 900 MHz für das D-Netz, um 1 800 MHz für das E-Netz und um 2 000 MHz (bzw. 2 GHz) für UMTS. In der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes (26. BImSchV) sind die Grenzwerte festgelegt, die von den Mobilfunkbasisstationen einzuhalten sind. Verantwortlich dafür sind die Netzbetreiber. Sofern eine maximale Sendeleistung von 10 Watt überschritten wird, muss bei der Bundesnetzagentur (BNetzA) eine Standortbescheinigung für die betreffende Anlage beantragt werden. In der Standortbescheinigung werden auch die Sicherheitsabstände angegeben, ab denen die Grenzwerte mit Sicherheit eingehalten werden. Für reine Mobilfunkanwendungen liegen die Sicherheitsabstände in der Regel zwischen 1 und 10 Meter in Abstrahlrichtung des Senders.

Aus Vorsorgegründen sollte die Exposition der Bevölkerung durch hochfrequente Strahlung so weit wie möglich minimiert werden. Es muss sichergestellt werden, dass eine möglichst geringe Exposition der Bevölkerung



Satellitenempfangsanlagen sind reine Empfänger; sie senden selbst keine HF-Strahlung aus und sind deshalb gesundheitlich unbedenklich für die Anwohner.

sowohl bei der Netzplanung als auch bei der Errichtung einzelner Basisstationen ein allgemeines Qualitätsziel darstellt. Besonders wichtig ist in diesem Zusammenhang auch die Information und Einbeziehung der Kommunen und der Bevölkerung bei der Standortauswahl und Errichtung von Basisstationen.

Auch von Funktelefonen werden hochfrequente elektromagnetische Felder abgestrahlt, beim Telefonieren in unmittelbarer Nähe des Kopfes. Die Felder, denen man beim Telefonieren mit dem Handy ausgesetzt sein kann, sind im Allgemeinen sehr viel stärker als die Felder, die z. B. durch Mobilfunkbasisstationen erzeugt werden.

Die Handys sind in der 26. BImSchV nicht berücksichtigt. Es besteht aber eine Empfehlung der deutschen Strahlenschutzkommission, dass der Teilkörper-SAR-Wert bei Benutzung von Handys nicht mehr als 2 W/kg betragen sollte. Diese Eigenschaft muss von den Herstellern für jeden Gerätetyp nachgewiesen werden.

Aus Gründen der Vorsorge ist es gerade auch beim Handy wichtig, die Felder, denen der Nutzer ausgesetzt ist, so gering wie möglich zu halten. Jeder Nutzer kann durch sein eigenes Verhalten dazu beitragen. Aus diesem Grund hat das Bundesamt für Strahlenschutz Empfehlungen zum umsichtigen Gebrauch von Handys veröffentlicht. Diese gelten in besonderem Maße für Kinder:

- Wann immer möglich, das Festnetztelefon verwenden.
- Telefonate per Handy kurz halten.
- Nicht bei schlechtem Empfang telefonieren.
- Gesprächsaufbau abwarten.
- Headsets verwenden.
- SMS verschicken.
- Handys mit niedrigem SAR-Wert verwenden.

Verschiedene Hersteller haben sich verpflichtet, ab Herbst 2001 die SAR-Werte der Handys in den Gebrauchsanweisungen anzugeben. Aus der Sicht des Bundesamtes für Strahlenschutz sollte die Kennzeichnung aber auf dem Handy selbst erfolgen, da Handys von verschiedenen Personen benutzt werden und die Informationen aus den Gebrauchsanweisungen verloren gehen können.

Für strahlungsarme Handys können Handyhersteller das Umweltzeichen „Blauer Engel“ beantragen. Die dazu notwendigen Vergabekriterien hat die unabhängige Jury „Umweltzeichen“ im Juni 2002 festgelegt. Ausschlaggebend für die Verleihung des Umweltzeichens ist u. a. der SAR-Wert. Der international empfohlene maximale SAR-Wert liegt bei 2 W/kg, gemittelt über 10 g Körpergewebe. Für die Vergabe des Umweltzeichens ist im Sinne eines vorbeugenden Verbraucherschutzes eine Minimierung der Exposition anzustreben. Deswegen wird der „Blaue Engel“ nur an Handys

vergeben, deren SAR-Wert bei höchstens 0,6 Watt pro Kilogramm liegt. Gleichzeitig signalisiert dieses Zeichen, dass das Gerät umwelt- und recyclingfreundlich produziert wurde.

Elektromagnetische Verträglichkeit elektronischer Geräte

Elektronische Geräte können häufig empfindlicher auf hochfrequente Strahlung reagieren als der menschliche Körper. Unter ungünstigen Umständen können dadurch z. B. implantierte Herzschrittmacher gestört werden. Träger dieser Geräte sollten dem vorbeugen und ihre Handys nicht unmittelbar am Oberkörper betriebsbereit halten, also beispielsweise nicht im Standby-Betrieb in der Jackett-Tasche tragen. Störbeeinflussungen der Geräte beim Telefonieren wurden bis zu einem Abstand von maximal 20 cm zwischen Herzschrittmacher und Handy-Antenne beobachtet. Das bedeutet, dass bei einem üblichen Abstand von mehr als 20 cm zwischen Handy-Antenne und Herzschrittmacher das normale Telefonieren keine Auswirkungen auf den Herzschrittmacher hat.

Probleme können auch bei der Handybenutzung in Krankenhäusern auftreten, da vereinzelt empfindliche medizinische Geräte in 1 bis 2 Metern Abstand gestört werden können.

Bei Hörgeräten kann es in der Nähe von Mobilfunkgeräten zu Störgeräuschen kommen. Hier die Empfehlung: Abstand halten oder Hörgerät abschalten!



Mikrowellengeräte erhitzen die wässrigen Bestandteile der Nahrung besonders schnell.



Basisstation und Person mit schnurlosem Telefon.

Schnurlose Festnetztelefone

Schnurlose Telefone für Haus und Garten übertragen die Sprache aus dem normalen Telefonnetz per Funk zum Hörer (DECT-Standard, Reichweite bis 300 m). Die verwendeten Sendeleistungen sind dabei so gering, dass international empfohlene Grenzwerte deutlich unterschritten werden. Ein vorsorglicher Verzicht auf schnurlose Telefone trägt aber auch hier zur Minimierung der persönlichen Strahlenexposition bei.

Neben der Nachrichtenübermittlung, Rundfunk und Fernsehen gibt es noch ein Vielzahl anderer Anwendungen hochfrequenter Strahlung in unserer Umgebung.

Mikrowellenkochgeräte

In diesen Geräten wird hochfrequente Strahlung im Gigahertzbereich zum schnellen Erwärmen von Speisen verwendet. Das BfS hat umfangreiche Messungen an Mikrowellengeräten durchgeführt. Bei allen Geräten trat in der Umgebung der Sichtblende und der Türen Leckstrahlung auf, sie war jedoch stets äußerst gering. An üblichen Aufenthaltsorten in der Nähe von Mikrowellengeräten liegt die noch erfassbare Strahlung um mehr als das Tausendfache unter dem Grenzwert. Gesundheitsgefahren gehen daher von intakten Geräten nicht aus.

Bildschirmgeräte

Wie alle elektrisch betriebenen Büro- und Haushaltsgeräte sind auch Bildschirmarbeitsplätze und Fernsehgeräte von elektromagnetischen Feldern umgeben, die sich aus der Funktionsweise der Geräte ergeben. Dabei lassen sich Strahlungsarten aus dem gesamten Bereich des elektromagnetischen Spektrums bis hin zur ionisierenden Strahlung nachweisen. Messungen an Bild-

schirmgeräten haben gezeigt, dass keine dieser Strahlungsarten in einer Größenordnung auftritt, die auch nur annähernd die geltenden Grenzwerte erreicht.

Auch bei einer Häufung vieler Monitore in einem Raum ist Bildschirmarbeit aus der Sicht des Strahlenschutzes unbedenklich. Seit vielen Jahren wird aber in der Bevölkerung die Arbeit an Datensichtgeräten mit verschiedenen Gesundheitsschäden in Verbindung gebracht. Augenbelastungen, Unwohlsein, Muskelversteifungen an Hals, Schultern oder Rücken, verschiedene Stress-Reaktionen, Hautausschläge und ungünstige Auswirkungen auf den Schwangerschaftsverlauf sind die am häufigsten genannten Beschwerden. Die bisher durchgeführten Untersuchungen haben jedoch keinen ursächlichen Zusammenhang zwischen der schwachen Emission verschiedener Strahlenarten aus den Monitoren oder Fernsehgeräten und gesundheitlichen Beeinträchtigungen ergeben.

Einschränkungen bei der Bildschirmarbeit sind bisher allerdings aus ergonomischer Sicht getroffen worden, also aus Gründen der allgemeinen Arbeitshygiene. Dazu zählen beispielsweise die Dauerbelastung der

Augen, Kontraste, Farben, psychologische Effekte, Gestaltung der Arbeitsplätze bei sitzender Tätigkeit, Lichteinfall.

Beim Fernsehen zu Hause sollte vor allem auf die Ausleuchtung des Hintergrundes und auf einen ausreichenden Betrachtungsabstand geachtet werden, um Beeinträchtigungen des Sehvermögens zu vermeiden.

Warensicherungsanlagen

Einige Typen von Warensicherungsanlagen in Kaufhäusern arbeiten mit hochfrequenter Strahlung im Bereich um Hundert Kilohertz, die mit niedrigen Frequenzen von einigen Hertz moduliert werden. Diese Anlagen können die Funktion von Herzschrittmachern beeinflussen. Zwar sind lebensbedrohliche Situationen unwahrscheinlich, dennoch sollten Personen mit Herzschrittmachern die Anlagen zügig durchschreiten.

Bereits bei der Planung dieser Anlagen haben Hersteller und Betreiber dieser Geräte mögliche Gefährdungen von Personen auszuschließen.



Die Bezeichnung „strahlungsarmer Bildschirm“ wurde vom technisch Machbaren abgeleitet. Von Bildschirmgeräten ausgehende Strahlung steht in keinem unmittelbaren Zusammenhang mit gesundheitlichen Beeinträchtigungen.

Radaranlagen

Die Intensität der hochfrequenten Strahlung in der Umgebung großer Radaranlagen, z. B. an Flugplätzen, wird von den Anwohnern meist überschätzt. Die Feldeinwirkungen im Umkreis der Radaranlagen sind in öffentlich zugänglichen Bereichen so gering, dass keine Gefahren für die Gesundheit der Bevölkerung davon ausgehen. Auch übliche Verkehrs-Radargeräte auf Schiffen oder bei der Geschwindigkeitskontrolle im Straßenverkehr schöpfen bereits in geringer Entfernung von wenigen Metern den Grenzwert nur zu einem Bruchteil aus. Dies ist sowohl für das Bedienpersonal als auch für die Bevölkerung *gesundheitlich unbedenklich*. Als unerwünschter Nebeneffekt tritt im Inneren von leistungsstarken Radar-Sendern allerdings auch Röntgenstrahlung auf. Eine höhere Exposition durch die Röntgenstrahlung ist aber nur dann gegeben, wenn das Schutzgehäuse während des Betriebes, z. B. bei Wartungsarbeiten, geöffnet ist.

In der Tabelle (S. 49) sind für die häufigsten Quellen hochfrequenter Strahlung einige wichtige Daten wie z. B. genutzter Frequenzbereich, typische Messwerte der Exposition, Grenzwerte und Grenzwertempfehlungen angegeben.



Radaranlage

Quelle	Frequenz	Messabstand	Typ. Messwert der Exposition	Strahlenschutzrichtwert (EU)	Grenzwert (26. BImSchV)
Rundfunksender					
Mittelwelle	1,4 MHz	Bei Leistung 1,8 MW		73,5 V/m	
		50 m	450 V/m		
		300 m	90 V/m		
Richtwerte ab ca. 350 m eingehalten					
Kurzwellen	6 – 10 MHz	Bei Leistung 750 kW		27,5 – 36 V/m	
		50 m	121,5 V/m		
		220 m	27,5 V/m		
Richtwerte ab ca. 220 m eingehalten					
UKW	88 – 108 MHz	Bei Leistung ≤ 100 kW		2 W/m ²	27,5 V/m
		ca. 1,5 km	< 0,05 W/m ²		
		Grenzwert ab ca. 250 m eingehalten			
CB-Funk					
Antennenanlage*	27 MHz	Leistung wenige W	2 W/m ²	27,5 V/m	
Fernsehsender					
VHF	174 – 216 MHz	Bei Leistung ≤ 300 kW		2 W/m ²	27,5 V/m
		ca. 1,5 km	< 0,02 W/m ²		
		Grenzwert ab ca. 150 m eingehalten			
UHF	470 – 890 MHz	Leistung ≤ 5 MW		2–4 W/m ²	30 – 41 V/m
		ca. 1,5 km	< 0,005 W/m ²		
		Grenzwert ab ca. 75 m eingehalten			
Mobilfunk Basisstationen					
D-Netz*	890 – 960 MHz (GSM900)	4 Kanäle, je 15 W**		4,5 W/m ²	41 V/m
		50 m	0,06 W/m ²		
E-Netz*	1710 – 1880 MHz (GSM1800)	4 Kanäle, je 10 W**		9 W/m ²	58 V/m
		50 m	0,04 W/m ²		
UMTS*	um 2 GHz	2 Kanäle, je 20 W**		10 W/m ²	61 V/m
		50 m	0,04 W/m ²		
		Grenzwert nach wenigen Metern eingehalten			
Radargeräte					
Flugüberwachung (zivil und militärisch) ***	1 – 10 GHz	Leistung 0,2 kW – 2,5 MW		10 W/m ²	61 V/m, zusätzl. Begrenzung der Spitzenwerte (§ 2 Pkt. 2)
		100 m	10 W/m ²		
		1 km	0,1 W/m ^v		
Grenzwert in öffentlich zugänglichen Bereichen eingehalten					
Verkehrsradar	9 – 35 GHz	Leistung 0,5 – 100 mW		10 W/m ²	61 V/m
		3 m	0,25 W/m ^v		
		10 m	< 0,01 W/m ^v		
Richtwerte unmittelbar am Gerät eingehalten					
HF-Diebstahlsicherung					
	1 MHz – 10 GHz	Zugänglicher Bereich	< 0,002 W/m ²	28 – 87 V/m je nach Frequenz	

Im Alltag werden die Grenzwerte für HF-Strahlung in der Regel eingehalten, oft weit unterschritten. Aus Gründen der Vorsorge ist es dennoch zu begrüßen, wenn unmittelbare Feldeinwirkungen möglichst gering gehalten werden.

*) Für Handgeräte werden die SAR-Werte bei folgenden Leistungsbegrenzungen eingehalten:

- CB-Funk bis 4 W,
- D-Netz bis 2 W (bezogen auf den Spitzenwert), E-Netz bis 1 W (bezogen auf den Spitzenwert), UMTS bis 1 W.

**) Typische Leistungswerte, wie sie in Standortverfahren bei der BNetzA beantragt werden.

***) Die Strahlenbelastung, die bei leistungsstarken Radaranlagen durch Röntgenstrahlung entsteht, wird bei bestimmungsgemäßem Gebrauch durch Abschirmung auf ein zu vernachlässigendes Maß reduziert.

Antennen	Typischer Sicherheitsabstand		Bemerkungen	
Handy 	 0 m	kein Abstand	Sendeleistungen sind begrenzt: D-Netz bis 2 W* E-Netz bis 1 W* UMTS bis 1 W* *max. Pulsleistung	
	 0,5 m	< 0,5 m		
Richtfunk 	 0,5 m	Grenzwerte nach wenigen Metern eingehalten 0,4 - 0,5 m Sicherheitsabstand	Typische Werte: um 2000 MHz 2 Kanäle je 20 W	
	 2,3 m	Grenzwerte nach wenigen Metern eingehalten 2,3 m Sicherheitsabstand		Typische Werte: um 1800 MHz gepulst 8 Kanäle je 15 W
	 3,3 m	Grenzwerte nach wenigen Metern eingehalten 3,3 m Sicherheitsabstand		
Mobilfunkbasisstation 	 2 - 140 m	Anlagenbedingt zwischen 2 und 140 m	Sendeleistungen unterscheiden sich je nach Versorgungsbereich 20 W bis 100 kW	
	 1,2 - 270 m	Anlagenbedingt zwischen 1,2 und 270 m		Sendeleistungen unterscheiden sich je nach Versorgungsbereich 10 W bis 500 kW
UKW 	 1,2 - 315 m	Anlagenbedingt zwischen 1,2 und 315 m		

Typische Sicherheitsabstände für spezielle Funkanwendungen in Abstrahlrichtung von der Sendeanlage. Bei Anwendung auf hohen Funktürmen ist am Boden meist kein Abstand erforderlich.

Quelle: BNetzA

ULTRAVIOLETTE STRAHLUNG



Pro Sekunde verwandelt die Sonne vier Millionen Tonnen ihrer Materie in Energie, die hauptsächlich als Licht, Wärme und zu etwa 4 Prozent als ultraviolette Strahlung die Erde erreicht.

In der Freizeit, im Urlaub, bei der Arbeit und im normalen Alltag ist die Bevölkerung der natürlichen UV-Exposition durch die Sonne ausgesetzt. Viele Menschen fahren jährlich in die Schönwettergebiete der Erde, um braungebrannt aus dem Urlaub heimzukehren. Oft wird braune Haut gleichgesetzt mit Fitness und Gesundheit.

In Maßen genossen, fördert das Sonnenlicht die Durchblutung und den Kreislauf, es regt die Vitamin-D-Bildung an und steigert das Wohlbefinden. Leider hat Sonnenbaden aber auch erhebliche "Schattenseiten".

Neben Licht und Wärme versendet die Sonne energiereiche ultraviolette (UV-)Strahlung. Die dramatische Zunahme von Hautkrebserkrankungen ist zum Teil auf erhöhte UV-Belastungen zurückzuführen. Gegenüber früher hat sich das Freizeit- und Sozialverhalten vieler Bürger erheblich geändert. So reist ein hoher Prozentsatz der deutschen Bevölkerung vorwiegend in Urlaubsgebiete mit hoher Sonneneinstrahlung. Hautärzte registrieren pro Jahr rund 100 000 Neuerkrankungen an Hautkrebs – das sind doppelt so hohe Erkrankungszahlen wie noch vor 10 Jahren. Verhaltensempfehlungen beim Sonnenbaden sollten auch aus diesem Grund dringend befolgt werden, um schädlichen gesundheitlichen Wirkungen rechtzeitig vorzubeugen.

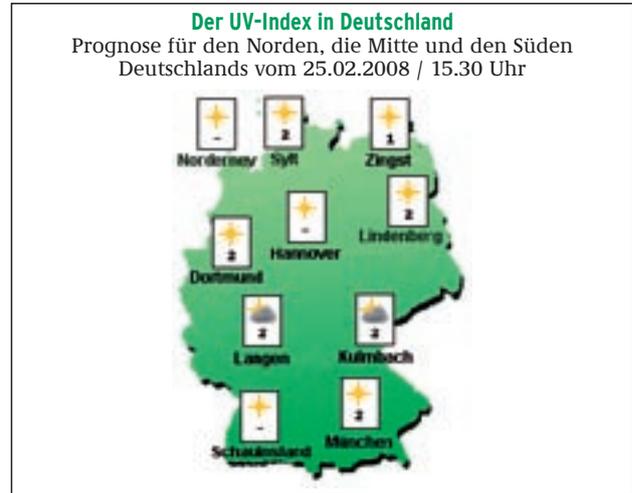
Die ultraviolette (UV-) Strahlung ist der energiereichste Teil der optischen Strahlung. Sie bildet im elektromagnetischen Spektrum nach dem Licht den Übergang zur ionisierenden Strahlung. Je kurzwelliger und damit energiereicher diese Strahlung ist, desto schädlicher wird sie für den Menschen. Besonders energiereiche Anteile der UV-Strahlung der Sonne erreichen die Erdoberfläche kaum; sie werden überwiegend im Ozon der



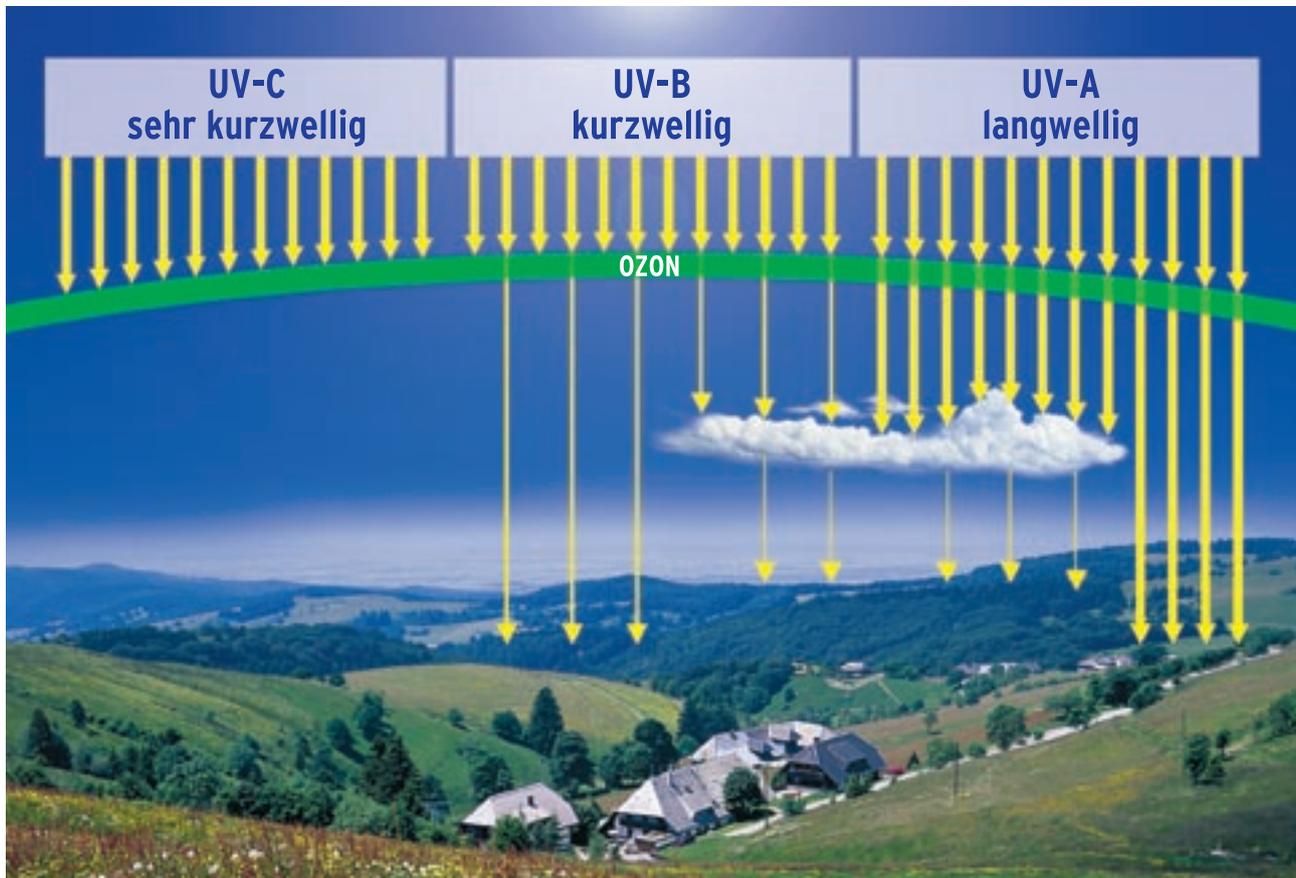
Bei aller Freude am Sonnenbaden – Vorsicht ist geboten!

UV-Bereich	Wellenlänge	UV-Durchlässigkeit der Atmosphäre
UV-A	320 - 400 nm	Gelangt fast vollständig auf die Erdoberfläche
UV-B	280 - 320 nm	Wird zu ca. 90 % durch das Ozon absorbiert
UV-C	200 - 280 nm	Wird fast vollständig in der Atmosphäre absorbiert

hohen Atmosphäre zurückgehalten – so die kurzwellige UV-C-Strahlung und große Bereiche der UV-B-Strahlung. Sinkt der Ozongehalt in der Atmosphäre, so steigt der Anteil kurzwelliger UV-Bereiche, die zur Erdoberfläche durchdringen können und deren biologische Wirksamkeit besonders groß ist. Bisher ist nicht klar vorherzusagen, wie sich diese Entwicklung in der Zukunft gestalten wird. Das BfS trägt zusammen mit dem Umweltbundesamt (UBA), dem Deutschen Wetterdienst (DWD) und weiteren assoziierten Institutionen mit einem bundesweiten UV-Messnetz dazu bei, diese Verhältnisse zu erforschen. Es misst kontinuierlich die bodennahe UV-Strahlung, die von der Sonne emittiert die Erde erreicht. Damit werden auch die Veränderungen erfasst, die mit dem Sonnenstand einhergehen – also von Sommer zu Winter und von Nord nach Süd –, ebenso der Einfluss der Bewölkung und der Ozonausdünnung in der hohen Atmosphäre.



UV-Messungen aus dem Messnetz BfS/UBA und von anderen Messstationen werden im Internet veröffentlicht.



Die UV-C-Strahlung und große Bereiche der UV-B-Strahlung werden im Ozon der hohen Atmosphäre zurückgehalten.

Wirkungen der UV-Strahlung auf den Menschen

Hauptsächlich wirkt UV-Strahlung auf die Haut des Menschen, aber auch Wirkungen auf das Auge sind bekannt. Es ist jeweils zwischen akuten und chronischen Wirkungen zu unterscheiden, die erst nach längeren Einwirkdauern auftreten.

Von den *akuten Wirkungen* ist an erster Stelle der Sonnenbrand zu nennen, der vor allem durch UV-B-Strahlung hervorgerufen wird. Die mildeste Form des Sonnenbrandes ist eine Hautrötung. Sie tritt bis zu 12 Stunden nach einer Bestrahlung auf und verschwindet erst allmählich innerhalb mehrerer Tage. Schlimmer jedoch sind Entzündungen oder Blasenbildungen sowie nachfolgendes Schälten der Haut als Folge schwerer Sonnenbrände.

Die Haut der Menschen reagiert nicht einheitlich gegenüber UV-Strahlung. Sehr blasse Menschen mit heller Haut, rötlichen oder blonden Haaren sind bedeutend empfindlicher als dunkelhaarige, brünette Menschen, die es teilweise doppelt so lange in der Sonne aushalten, ehe sie die Sonnenbrandschwelle erreichen. Diese unterschiedlichen Empfindlichkeiten werden bei der Zuordnung hellhäutiger Menschen zu vier verschiedenen Hauttypen berücksichtigt. Die Sonnenbrandschwellen der einzelnen Hauttypen sind jeweils unterschiedlich ausgeprägt. Jeder Mensch sollte nach Möglichkeit seinen persönlichen Hauttyp kennen, um sein Verhalten in der Sonne bewusst gestalten zu können. Zu beachten ist jedoch, dass eine generelle Einteilung der Menschen in verschiedene Hauttypen nicht möglich ist. Stets sind die Übergänge fließend. Die Haut von *Kindern* – ob brünett oder blond – ist generell sehr empfindlich gegenüber UV-Strahlung und daher stets besonders zu schützen.



Geeignete Kleidung ist der beste Sonnenschutz, Hut und Sonnenbrille nicht zu vergessen.

Allergische Reaktionen der Haut sind als weitere akute Wirkungen der UV-Strahlung bekannt. In vielen Fällen werden sie durch UV-A-Strahlung hervorgerufen.

Im Laufe der menschlichen Entwicklungsgeschichte haben sich in der Haut einige **Schutzmechanismen** ausgeprägt wie z. B. die sehr wirksamen Reparaturmechanismen an der geschädigten DNS. Zusätzlich verfügt die gesunde Haut durch den Aufbau eines körpereigenen UV-Schutzes über die Fähigkeit, sich gegenüber Sonneneinstrahlung zu schützen – durch Bräunung



Menschen verschiedener Hauttypen weisen unterschiedliche Empfindlichkeit gegenüber UV-Strahlung auf. Hellhäutige blasse Menschen mit rötlichen Haaren müssen sich eher als brünette Typen vor Sonnenbrand schützen.

(Pigmentierung) und Aufbau einer so genannten Lichtschwiele. Eine Sofortbräunung tritt ein, indem UV-A-Strahlung dazu unmittelbar auf vorhandene Pigmente einwirkt, die sich verfärben und damit die braune Farbe hervorrufen.

Sofortbräune bietet jedoch gegenüber UV-Strahlung nur einen geringen Schutz. UV-B-Strahlungsanteile bewirken ebenfalls eine Hautbräunung. Diese setzt allerdings verzögert ein – erst nach zwei bis drei Tagen Einwirkdauer. Gleichzeitig wird dabei eine so genannte Lichtschwiele, eine verdickte durchsichtige Hornschicht an der Hautoberfläche, als zusätzlicher Eigenschutz der Haut ausgebildet. Dieser Schutz ist wirksamer als die einfache Verfärbung der Pigmente.

Allerdings ist zu betonen, dass der Eigenschutz der Haut nur das Auftreten eines Sonnenbrandes zeitlich verzögert. Schädigungen des Erbguts werden dadurch nicht verhindert. Aus diesem Grund ist aus Sicht des Strahlenschutzes das „Vorbräunen“ in Solarien vor dem Urlaub nicht sinnvoll.

Die verschiedenen UV-Strahlungsanteile dringen unterschiedlich tief in einzelne Hautschichten ein. Starke UV-Strahlungen über längere Zeit hinweg lassen die Haut vorzeitig altern, weil das Bindegewebe und damit die Elastizität der Haut geschwächt wird. Die Haut trocknet aus und neigt eher zur Faltenbildung – diese *chronische* Wirkung ist sicherlich von vielen Sonnenanbetern nicht erwünscht. Beim Auge begünstigt langanhaltende UV-B-Strahlung das Entstehen von grauem Star oder die Verformung der Linsenkapself.



Auch im Wintersport, wenn UV-Licht vom Schnee reflektiert wird, sind Sonnenbrillen ein wirksamer Schutz – nach Möglichkeit solche, die auch vor seitlichem Streulicht schützen.

Die gefährlichste chronische Wirkung von häufigen und langandauernden UV-Strahlungen ist jedoch der Anstieg des Krebsrisikos für verschiedene Hautkrebsarten. Dazu addieren sich die Wirkungen aller UV-Strahlungen im Laufe eines Lebens. Zellschäden nach Sonnenbränden können sich bei Wiederholungen stärker ausprägen und zum Ausgangspunkt der Hautkrebs-erkrankungen werden. Bedeutsam wegen seiner Bösartigkeit ist vor allem der schwarze Hautkrebs – das so genannte maligne Melanom. Daneben sind in erster Linie das Basalkarzinom und das Plattenepithelkarzinom zu nennen. Sie zählen insgesamt zu den häufigsten malignen Tumoren beim Menschen. Deshalb ist jeder Sonnenbrand schädlich. Vor allem Sonnenbrände im Kindesalter vergrößern das Risiko erheblich, später an Hautkrebs zu erkranken.

Persönlicher Schutz vor UV-Strahlung

Vor den schädlichen Wirkungen der UV-Strahlung kann man sich schützen, indem man sein persönliches Verhalten bewusst darauf einstellt. Vor allem in den Sommermonaten oder im Urlaub sollte auf ausgiebige, langanhaltende Sonnenbäder verzichtet werden. *Jeder Sonnenbrand ist zu vermeiden!* Eltern stehen dabei für ihre Kinder in besonderer Verantwortung.

Als Faustregel gilt, die Anzahl von 50 Sonnenbädern pro Jahr nicht zu überschreiten. Mittagssonne ist im Sommer besser zu meiden!

Ist dies nicht möglich, sollte geeignete lockere Kleidung, die den Körper bedeckt und UV-Strahlung zurückhält, getragen werden. Unbedeckte Körperpartien sind bei intensiver Sonnenstrahlung mit Sonnenschutzmitteln einzureiben. Diese sollten sowohl im UV-A-Bereich als auch im UV-B-Bereich schützen, einen ausreichenden Lichtschutzfaktor aufweisen und wenigstens 30 Minuten vor dem Sonnenbad aufgetragen werden. Für Kinder ist mindestens der Lichtschutzfaktor 15 zu wählen. Nach Möglichkeit sollten Deodorants, Parfüms und Rasierwässer nicht angewendet werden; die Haut kann unter Umständen allergisch darauf reagieren und sich für immer bleibend verfärben.

Unterschätzt wird oftmals der notwendige Schutz der Augen. Niemals sollte ohne Sonnenschutz direkt in die Sonne geblickt werden. Eine gute Sonnenbrille hilft, Augenschäden zu vermeiden. Vergessen wird häufig, dass die UV-Einstrahlung in großen Höhenlagen intensiver ist als im Flachland, dazu im Süden meist über den Werten im Norden liegt. Im Frühjahr können deshalb beim Wintersport in den Bergen bereits erhebliche UV-Belastungen auftreten.

Für hellhäutige Menschen sollte „vornehme Blässe“ wieder zum Ideal für gesundes Aussehen werden. Das BfS rät: Schützen Sie sich ausreichend vor den schädlichen Strahlenwirkungen der Sonne – der eigenen gesunden Haut zuliebe!

Nutzung von Solarien

Solarien und Heimsonnen sind UV-Bestrahlungsgeräte, die für kosmetische Zwecke genutzt werden (z. B. Bräunung der Haut). Ein Solarium besteht aus einer künstlichen UV-Strahlenquelle, optischen Komponenten wie Filter und Reflektoren und einem mechanischen Aufbau mit festgelegter Nutzfläche. Entscheidende Bewertungsgröße eines Solariums ist die erythemwirksame Bestrahlungstärke auf der Nutzfläche. Mittels dieser nach DIN genormten Messgröße werden die Solarien klassifiziert.

Bei Nutzung von Solarien können akute und chronische Strahlenwirkungen auftreten, wie sie von der natürlichen Sonnenbestrahlung her bekannt sind.

Mit dem Ziel, einheitliche Kriterien für einen Mindeststandard zum Schutz der Kunden vor zu hoher UV-Bestrahlung und damit zu hohem gesundheitlichen Risiko von Solarien festzulegen, hat das BfS einen Arbeitskreis „Runder Tisch Solarien“ eingerichtet. Teilnehmer aus wissenschaftlichen und staatlichen Institutionen sowie Vertreter der Sonnenstudiotreiber und Solarienhersteller haben Einigkeit über die Kriterien und das grundsätzliche Verfahren einer Zertifizierung von Sonnenstudios erzielt.

Die wesentlichen Kriterien für eine Zertifizierung sind definierte Gerätestandards mit begrenzter Bestrahlungsstärke und Prüfungsvorschriften sowie einheitliche Betriebsabläufe bezüglich der Hygiene sowie Arbeitsschutzmaßnahmen. Weiterhin werden die fachliche Qualifikation der im Kundenkontakt stehenden Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, der Umfang der Kundeninformation und -beratung geregelt.

Um die dabei bestehenden UV-Strahlenrisiken zu vermeiden, sollte der Besuch von Solarien zu kosmetischen Zwecken, zur Steigerung des allgemeinen Wohlbefindens oder zur nicht-medizinischen Gesundheitsprophylaxe grundsätzlich unterbleiben. Für Kinder und Jugendliche ist dies aufgrund ihrer höheren Empfindlichkeit in Bezug auf mögliche UV-Strahlenschäden besonders zu beachten. Unter 18-jährige sollten in keinem Fall der Strahlung von Solarien und UV-Heimsonnen ausgesetzt werden. Eine Gesetzesinitiative zum Schutz von Kindern und Heranwachsenden wird derzeit vorbereitet. Wer dennoch ins Solarium gehen will, sollte das gesundheitliche Risiko verringern und auf jeden Fall die folgenden Aspekte berücksichtigen:

Es gibt Personen, die gegenüber der UV-Strahlung besonders empfindlich sind und damit ein höheres gesundheitliches Risiko haben als andere. Dazu gehören vor allem Personen,

- die empfindliche Haut haben,
- die immer einen Sonnenbrand bekommen und kaum eine Bräunung erreichen (Hauttyp I),
- die auffällige, besonders viele oder große angebo-

rene Pigmentmale aufweisen,

- die zu Sommersprossen neigen oder viele Sonnenbrände in der Kindheit erlitten haben,
- die an Hautkrebs oder Vorstufen davon erkrankt sind, schon einmal daran erkrankt waren oder
- die eine familiäre Veranlagung zu Hautkrebs besitzen.

Zur Beurteilung von Solarien durch die Nutzerinnen und Nutzer wurde ein einfacher Test (Solariencheck, siehe Kasten) entwickelt. Damit kann jeder schnell die Mindestkriterien, die ein Solarium erfüllen sollte, überprüfen.

Solarium-Check

Wie gut ist Ihr Solarium? Finden Sie es heraus!

Nehmen Sie Ihr Sonnenstudio, das Solarium und sich selbst unter die Lupe, bevor Sie Ihre Haut der künstlichen UV-Strahlung aussetzen – mit dem Solarium-Check.

Generell besteht in Solarien, die zertifiziert und somit den Anforderungen der Strahlenschutzkommission entsprechen, ein geringeres gesundheitliches Risiko als in anderen.

Ganz wichtig: Können Sie einen der Check-Punkte nicht abhaken, sollten Sie das Solarium auf keinen Fall benutzen.

Das Sonnenstudio

Es ist ein durch Personal beaufsichtigtes Studio

Das Personal

hat mich auf die Gesundheitsschädlichkeit der UV-Strahlung hingewiesen und mir Informationen über die Wirkung der UV-Strahlung ausgehändigt

lässt keine Personen unter 18 Jahren oder mit Hauttyp I ins Solarium

hat sich erkundigt, ob ich Medikamente genommen habe, und darauf hingewiesen, dass ich nur ungeschminkt und ohne Parfum auf die Sonnenbank sollte

hat meinen Hauttyp bestimmt

hat mich gefragt, wie lange mein letzter Solariumsbesuch zurückliegt

hat meine Anfangsbesonnungszeit errechnet

hat sich nach eventuellen Sonnenbränden und Hautkrankheiten erkundigt

hat mir (ungefragt) eine Schutzbrille gegeben

Das Bräunungsgerät

ist mit dem Hinweis versehen „Vorsicht! UV-Strahlung kann Schäden an Augen und Haut verursachen. Schutzhinweise beachten!“

gehört laut Hinweis auf dem Solarium zum Gerätetyp II oder III

ist mit Angaben zur max. Anfangsbestrahlung und max. Höchstbestrahlung versehen

schaltet sich nach der Höchstbestrahlungsdauer automatisch ab

KLEINES PHYSIKALISCHES LEXIKON

ABSORPTION

Schwächung der Intensität einer Teilchen- oder Wellenstrahlung beim Durchgang durch Materie. Die von biologischen Geweben absorbierte Energie ist Grundlage für die Berechnung der vom Organismus aufgenommenen Dosis.

AKTIVITÄT

Aktivität ist die Anzahl der pro Zeiteinheit in einem radioaktiven Stoff auftretenden Kernumwandlungen. Die Maßeinheit der Aktivität ist das Becquerel (Kurzzeichen: Bq), mit der die Anzahl der radioaktiven Kernumwandlungen pro Sekunde angegeben wird. Da die Radionuklide in Stoffmengen unterschiedlicher Konfiguration enthalten sein können, wird die Aktivitätsangabe auch häufig auf diese bezogen, z. B. Becquerel pro Gramm (Bq/g) in Feststoffen, Becquerel pro Liter (Bq/l) in Flüssigkeiten oder Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m³) in Luft.

ALARA

Abkürzung für „as low as reasonably achievable“ (so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar). Prinzip des Strahlenschutzes bei ionisierender Strahlung, nach dem immer alle vernünftigen und sinnvollen Maßnahmen ergriffen werden müssen, um die Strahlenexposition des Menschen auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten.

ALPHATEILCHEN

Beim Kernzerfall bestimmter Radionuklide ausgesandtes, positiv geladenes Teilchen. Es besteht aus zwei Neutronen und zwei Protonen und ist mit dem Kern des Heliumatoms identisch.

ATOM

Ein Atom ist das kleinste Teilchen eines Elements und chemisch nicht teilbar. Ein Atom besteht aus einem sehr dichten Kern und einer Atomhülle. Die Hauptmasse des Atoms ist in Form von Protonen (elektrisch positiv geladene Elementarteilchen) und Neutronen (elektrisch neutrale Elementarteilchen) im Kern konzentriert. Die Atomhülle besteht aus negativ geladenen Elektronen, die den Kern umkreisen. Atome sind elektrisch neutral, da die Protonenzahl im Kern und die Elektronenzahl in der Hülle gleich sind.

BETATEILCHEN

Beim Kernzerfall bestimmter Radionuklide ausgesandtes Elektron positiver oder negativer Ladung.

DOSIS

Die Dosis ist ein Maß für eine näher anzugebende Strahlenwirkung.

• Energiedosis:

Sie beschreibt die Energie, die einem Volumenelement beliebiger Materie mit einer bestimmten Masse durch ionisierende Strahlung zugeführt wird, dividiert durch diese Masse. Die Maßeinheit der Energiedosis ist das Gray (Gy).

• Äquivalentdosis:

Die Äquivalentdosis ist eine Messgröße. Sie wird an einer repräsentativen Stelle des Körpers ermittelt. Sie berücksichtigt die unterschiedliche biologische Wirksamkeit der verschiedenen Arten ionisierender Strahlung. Die Äquivalentdosis ist das Produkt aus der Energiedosis im Gewebe und einem Bewertungsfaktor (Strahlungs-Wichtungsfaktor). Die Einheit der Äquivalentdosis ist das Sievert (Sv).

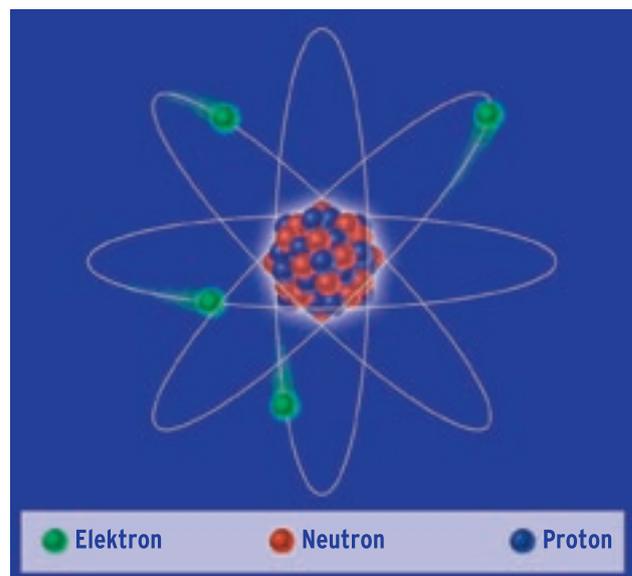
• Organdosis:

Die Organdosis ist das Produkt aus der mittleren Energiedosis in einem Organ, Gewebe oder Körperteil und dem Strahlungs-Wichtungsfaktor. Die Einheit der Organdosis ist das Sievert (Sv).

• Effektive Dosis:

Die effektive Dosis berücksichtigt die unterschiedliche Empfindlichkeit der Organe und Gewebe bezüglich der stochastischen Strahlenwirkung. Sie ist das Produkt aus der Äquivalentdosis und einem Bewertungsfaktor (Gewebe-Wichtungsfaktor). Die effektive Dosis erhält man durch Summation der gewichteten Äquivalentdosen der einzelnen bestrahlten Organe und Gewebe. Die Wichtungsfaktoren berücksichtigen die unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit der Organe und Gewebe. Die Einheit der effektiven Dosis ist das Sievert (Sv).

In der Praxis des Strahlenschutzes werden in der Regel Bruchteile der Dosiseneinheit verwendet, zum Beispiel: Millisievert (1 mSv), Mikrosievert (1 μ Sv), Nanosievert (1 nSv).



Darstellung des Bohr'schen Atommodells mit Atomkern und Atomhülle.

ELEKTRON

Elementarteilchen mit einer negativen elektrischen Elementarladung. Elektronen umkreisen den positiv geladenen Atomkern; ihre Zahl bestimmt das chemische Verhalten des Atoms.

ERYTHEMWIRKSAMKEIT

Der Begriff Erythemwirksamkeit bezeichnet die Fähigkeit ultravioletter Strahlung, in der Haut nach Überschreitung bestimmter Schwellenwerte einen Sonnenbrand hervorzurufen. Aufgrund der Abhängigkeit der Erythemempfindlichkeit der Haut von der Dosis und Wellenlänge wird die Erythemwirksamkeit einer UV-Strahlungsquelle durch ihre Spektralverteilung und durch ihre Bestrahlungsstärke bestimmt.

FELD

Zustand des Raumes, in dem jedem Raumpunkt der Wert einer physikalischen Größe, z. B. der elektrischen oder magnetischen Feldstärke, zugeordnet werden kann. In vorliegendem Zusammenhang werden betrachtet

• Elektrisches Feld:

Kraftfeld, das sich zwischen elektrisch geladenen Körpern ausbildet. Entsprechend der Größe seiner elektrischen Ladung wird auf einen Körper im elektrischen Feld eine Kraftwirkung ausgeübt. Maß für die Stärke und Richtung dieser Kraftwirkung ist die elektrische Feldstärke E , die in Volt pro Meter (V/m) angegeben wird.

• Magnetisches Feld:

Kraftfeld, das von bewegten elektrischen Ladungen hervorgerufen wird. Magnetische Felder treten in der Umgebung von stromdurchflossenen Leitern und Dauermagneten auf. Bei Dauermagneten sind inneratomare Ströme der sich bewegenden Elektronen die Ursache des Magnetfeldes. Die magnetische Feldstärke

H kennzeichnet Stärke und Richtung des magnetischen Feldes, ihre Maßeinheit ist Ampere pro Meter (A/m). Neben der magnetischen Feldstärke beschreibt auch die magnetische Flussdichte B die Stärke des magnetischen Feldes, Maßeinheit ist das Tesla (T). $1 \text{ T} = 1 \text{ Vs/m}^2$, gebräuchlich ist die Maßeinheit Mikrottesla (μT). Für die Umrechnung gilt: $1 \mu\text{T}$ entspricht $0,8 \text{ A/m}$.

• Elektromagnetisches Feld:

Vom elektromagnetischen Feld spricht man, wenn zeitlich veränderliche elektrische und magnetische Felder bei hohen Frequenzen unlösbar miteinander verknüpft sind.

FREQUENZ

Anzahl der Schwingungen in einer Zeiteinheit; die Maßeinheit der Frequenz ist das Hertz (Hz):

$1 \text{ Hz} = 1 \text{ Schwingung pro Sekunde} = 1/\text{s}$. Frequenz und Wellenlänge sind miteinander verknüpft. Die **Wellenlänge** ist der Abstand benachbarter Schwingungszustände gleicher Phase in Ausbreitungsrichtung, z. B. zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wellenbergen.

HALBWERTSZEIT

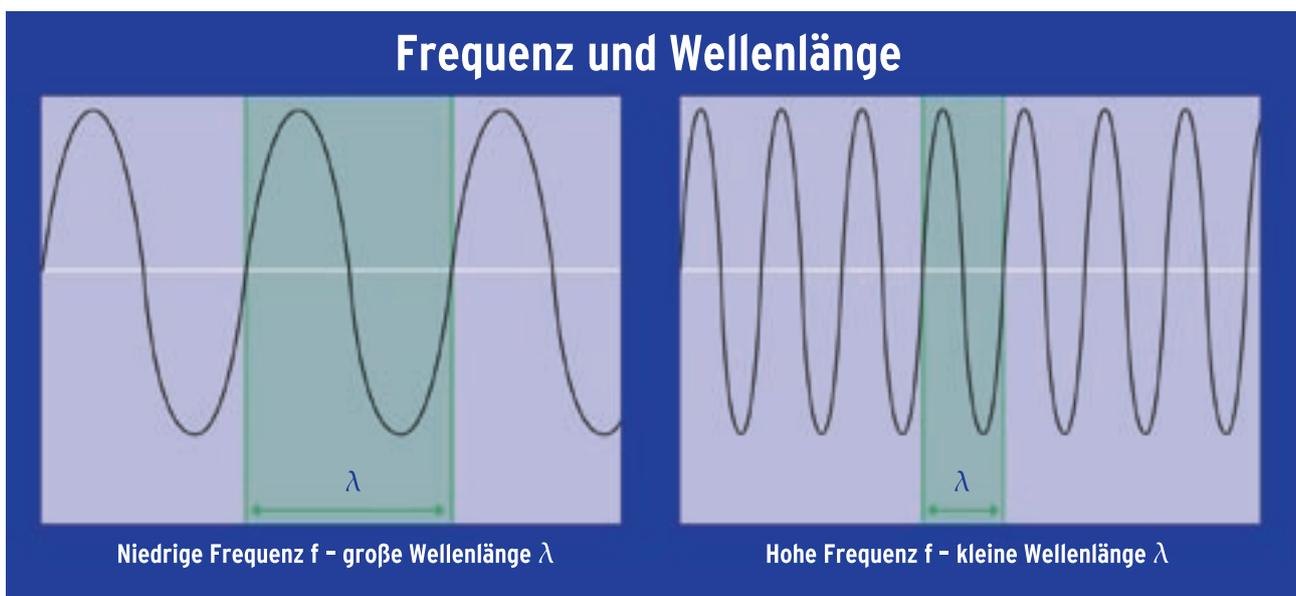
Zeitintervall, in dem die Aktivität eines radioaktiven Stoffes um die Hälfte abnimmt.

ICNIRP

Internationale Strahlenschutzkommission für nichtionisierende Strahlung (engl.: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Internationales Fachgremium auf dem Gebiet der nichtionisierenden Strahlung (gegründet 1992).

ICRP

Internationale Strahlenschutzkommission (engl.: International Commission on Radiological Protection). Internationales Fachgremium auf dem Gebiet des Schutzes vor ionisierender Strahlung (gegründet 1928).



IONISATION

Abgabe oder Aufnahme von Elektronen durch Atome oder Moleküle, die dadurch in einen elektrisch geladenen Zustand versetzt werden.

IONISIERENDE STRAHLUNG

Jede Strahlung, die in der Lage ist, Ionisationsvorgänge an Atomen und Molekülen in der von ihr durchdrungenen Materie zu bewirken.

- **Alphastrahlung:**
Teilchenstrahlung in Form von Kernen des Elements Helium (Alphaeteilchen).
- **Betastrahlung:**
Teilchenstrahlung in Form von Elektronen oder Positronen (Betateilchen).
- **Gammastrahlung:**
Hochenergetische, kurzwellige elektromagnetische Strahlung, die beim radioaktiven Zerfall eines Nuklids vom Atomkern ausgesendet wird. Sie tritt häufig zusammen mit der Alpha- und Betastrahlung auf.
- **Neutronenstrahlung:**
Strahlung in Form elektrisch neutraler Elementarteilchen (Neutronen).
- **Röntgenstrahlung:**
Hochenergetische, kurzwellige elektromagnetische Strahlung, die mit Hilfe technischer Einrichtungen (Röntgenröhre) erzeugt wird. Röntgenstrahlung und Gammastrahlung sind in ihrer grundsätzlichen physikalischen Natur identisch.

ISOTOPE

Atome ein- und desselben chemischen Elements mit gleicher Anzahl von Protonen und Elektronen, jedoch unterschiedlicher Anzahl von Neutronen. Isotope weisen deshalb die gleichen chemischen, jedoch unterschiedliche kernphysikalische Eigenschaften auf.

KERNSPALTUNG

Spaltung schwerer Atomkerne durch Beschuss mit Neutronen, wobei große Energiemengen freigesetzt werden. Bei der Kernspaltung entstehen jeweils zwei mittelgroße Kerne, die radioaktiven Spaltprodukte. Außerdem werden neue Neutronen frei, die weitere Kernspaltungen auslösen können. Kernspaltung kann auch spontan, d. h. ohne Anregung von außen, auftreten.

KOSMISCHE STRAHLUNG

Strahlung, die von Quellen außerhalb der Erde, z. B. von der Sonne und aus den Tiefen des Weltalls, auf die Erde gelangt. Kosmische Strahlung besteht aus energiereichen Teilchen und Gammastrahlung.

LEISTUNGSFLUSSDICHTEN

Im Bereich der Hochfrequenzstrahlung ist die Leistungsflussdichte das Maß für die Stärke der Strahlung im Fernfeld; ihre Maßeinheit ist Watt pro Quadratmeter (W/m^2). Sie charakterisiert die Energie, die pro Zeiteinheit eine Fläche senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der

Strahlung durchströmt. Wird die Hochfrequenzstrahlung von einer Antenne abgestrahlt, gilt: Je größer der Abstand von der Antenne ist, desto geringer ist die Leistungsflussdichte.

NEUTRON

Elektrisch neutrales Elementarteilchen. Neutronen sind Bausteine des Atomkerns und werden bei der Kernspaltung freigesetzt.

NICHTIONISIERENDE STRAHLUNG

Strahlung oder elektromagnetische Felder, deren Energie kleiner ist als die Schwellenenergie zur Auslösung von Ionisationsvorgängen an Atomen und Molekülen. Sie umfasst in der Reihenfolge zunehmender Energie:

- **statische elektrische und magnetische Felder**
(Frequenzbereich 0 Hz – 3 Hz): z. B. Erdmagnetfeld
- **niederfrequente elektromagnetische Felder**
(Frequenzbereich 3 Hz – 100 kHz): z. B. beim technischen Wechselstrom
- **hochfrequente elektromagnetische Felder**
(Frequenzbereich 100 kHz – 300 GHz): z. B. Radio- und Mikrowellen
- **optische Strahlung**
(Wellenlängenbereich 1 mm – 10 nm): z. B. Infrarotstrahlung, Licht, UV-Strahlung.

PROTON

Elektrisch positiv geladenes Elementarteilchen; bildet zusammen mit Neutronen den Atomkern.

RADIOAKTIVITÄT

Eigenschaft bestimmter Atomkerne (Radionuklide), sich ohne äußere Einwirkung in andere Atomkerne umzuwandeln und dabei ionisierende Strahlung auszusenden. Die Messgröße dieser Eigenschaft ist die Aktivität. Es gibt sowohl in der Natur vorkommende *natürliche Radionuklide* als auch durch kernphysikalische Prozesse erzeugte *künstliche Radionuklide*. Kennzeichnend für jedes Radionuklid ist seine Halbwertszeit.

RADIONUKLID

Instabiler Atomkern, der spontan unter Aussendung energiereicher (ionisierender) Strahlung zerfällt und sich dabei durch Abgabe von Kernbestandteilen in andere Atomarten umwandelt.

RADON

Radon-222 – radioaktives Edelgas, das aus dem Radionuklid Radium-226 entsteht und mit einer Halbwertszeit von 3,8 Tagen zu einer Reihe kurzlebiger radioaktiver Folgeprodukte zerfällt.

RESONANZFREQUENZ

Im Hochfrequenzfeld: Frequenz, bei der die spezifische Absorptionsrate (SAR) am größten ist, bezogen auf die gleiche einfallende Hochfrequenzenergie. Die Resonanzfrequenz ergibt sich, wenn die halbe Wellenlänge der

Strahlung etwa der Größe des bestrahlten Objekts entspricht.

SPEZIFISCHE ABSORPTIONSRATE

Die spezifische Absorptionsrate (SAR) beschreibt die Energie, die im Hochfrequenzfeld pro Kilogramm Körpergewicht in einer bestimmten Zeit vom Körper aufgenommen und vor allem in Wärme umgewandelt wird; ihre Maßeinheit ist Watt pro Kilogramm (W/kg). Die SAR wird über 6 Minuten Einwirkdauer gemittelt; danach hat sich durch körpereigene Wärmeregulierung ein Gleichgewicht zwischen Wärmezufuhr und -abgabe gebildet. Vorher wird die Erhöhung der Körpertemperatur allein von der aufgenommenen Energie bestimmt.

Außerdem wird durch Mittelungen über unterschiedliche Massenbereiche zwischen Einwirkungen auf den ganzen Körper und Einwirkungen auf kleinere Gewebereiche unterschieden. Beispielsweise wird bei der Mittelung über 10 g Körpergewebe – das entspricht der Masse des Auges – die inhomogene Energieverteilung im Nahfeldbereich von Antennen berücksichtigt (z. B. bei Handybenutzung).

SSK

Die Strahlenschutzkommission (SSK) hat den Auftrag, das Bundesumweltministerium in den Angelegenheiten des Schutzes vor den Gefahren ionisierender und nicht-ionisierender Strahlen zu beraten.

STRAHLENEXPOSITION

Als Strahlenexposition bezeichnet man die Einwirkung von Strahlung auf den menschlichen Körper. Bei der äußeren Strahlenexposition durch ionisierende Strahlung wirkt die Strahlung von außen auf den Körper ein. Als innere Strahlenexposition bezeichnet man die Einwirkung der Strahlung von Radionukliden, die in den Körper mit der Atemluft (Inhalation) und mit der Nahrung (Ingestion) aufgenommen werden. Das Maß für die Strahlenexposition durch ionisierende Strahlung ist die effektive Dosis.

TERRESTRISCHE STRAHLUNG

Strahlung, die von natürlichen Radionukliden und ihren Zerfallsprodukten ausgeht, die in den Böden und Gesteinen der Erdkruste vorhanden sind.

Zusammenhang zwischen den geltenden SI-Einheiten und den seit 1985 amtlich nicht mehr zugelassenen Einheiten im Strahlenschutz

	SI-Einheit	alte Einheit	Beziehung	
Aktivität	Becquerel (Bq); 1 Bq = 1/s	Curie (Ci)	1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq	1 Bq $\approx 2,7 \cdot 10^{-11}$ Ci
Energiedosis	Gray (Gy); 1 Gy = 1 J/kg	Rad (rd)	1 rd = 0,01 Gy	1 Gy = 100 rd
Äquivalentdosis effektive Dosis	Sievert (Sv); 1 Sv = 1 J/kg	Rem (rem)	1 rem = 0,01 Sv	1 Sv = 100 rem

Dezimalstellen - wie wird umgerechnet

Vielfaches		mathem. Zeichen	Bruchteil		mathem. Zeichen
$10^3 = 1\ 000$	Tausend	k = Kilo	$10^{-3} = 0,001$	1 Tausendstel	m = Milli
$10^6 = 1\ 000\ 000$	Million	M = Mega	$10^{-6} = 0,000\ 001$	1 Millionstel	μ = Mikro
$10^9 = 1\ 000\ 000\ 000$	Milliarde	G = Giga	$10^{-9} = 0,000\ 000\ 001$	1 Milliardstel	n = Nano

| Verantwortung für Mensch und Umwelt |

Kontakt:

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

D-38201 Salzgitter

Telefon: 030 18333-0

Telefax: 030 18333-18 85

Internet: www.bfs.de

E-Mail: ePost@bfs.de

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz