



Strahlung und Strahlenschutz



Impressum

Herausgeber:

Bundesamt für Strahlenschutz
Öffentlichkeitsarbeit
Postfach 10 01 49
D-38201 Salzgitter
Telefon: +49 (0)3018 333-0
Telefax: +49 (0)3018 333-1885
E-Mail: ePost@bfs.de
De-Mail: epost@bfs.de-mail.de
Internet: www.bfs.de

Redaktion:

Melanie Bartholomäus

Gestaltung:

Quermedia GmbH, Kassel

Druck:

Bonifatius GmbH, Paderborn

Fotos:

BfS und genannte Quellen

Stand:

April 2019

Bundesamt für Strahlenschutz



Vorwort

Die Broschüre „Strahlung und Strahlenschutz“ ist die aktualisierte Neuauflage der am meisten nachgefragten Publikation des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS). Das große Interesse und der vielfältige Einsatz der Publikation in unterschiedlichen Bildungseinrichtungen sind Anlass, eine grundlegend überarbeitete Version in neuem Erscheinungsbild aufzulegen.

Die Broschüre soll kurz und prägnant darüber informieren, wodurch Menschen in ihrer Umwelt Strahlung ausgesetzt sind, welche natürlichen und künstlichen Strahlenquellen es gibt und was man über sie wissen sollte. Im Sinne des vorsorgenden Verbraucher- und Gesundheitsschutzes klärt sie zudem darüber auf, wie man sich schützen kann.

Ziel der Broschüre ist zugleich, das Bewusstsein der Leserinnen und Leser für verschiedene Risiken, die mit der Strahlung einhergehen und oft nicht wahrgenommen werden, zu schärfen. Dass öffentliche Wahrnehmung und wissenschaftliche Forschung nicht immer deckungsgleich sind, zeigt das Beispiel UV-Schutz. Häufig wird gebräunte Haut mit Fitness und Gesundheit gleichgesetzt, obwohl alleine in Deutschland jährlich rund 2.500 Menschen an schwarzem Hautkrebs sterben.

Die Publikation wendet sich an alle, die sich mit dem Thema Strahlung beschäftigen wollen. Komplizierte Zusammenhänge werden verständlich erläutert und durch anschauliche Grafiken und Bilder illustriert. Die ausklappbare Übersicht der Einheiten am Ende der Broschüre ermöglicht ein besseres Verständnis der physikalischen Größen, das Glossar bietet eine Übersicht über die wichtigsten Begriffe rund um das Thema Strahlung.

6

Der Mensch
im Feld
natürlicher und
künstlicher
Strahlenquellen

10

Ionisierende Strahlung

12 Radioaktivität und Strahlung

16 Strahlenexposition und Dosis

18 Messung ionisierender Strahlung

21 Natürliche Strahlenquellen

28 Künstliche Strahlenquellen

36 Wirkung ionisierender Strahlung auf den Menschen

38 Angewandter Strahlenschutz

42 Strahlenexposition der Bevölkerung in Deutschland

44 Strahlendosen im Vergleich

46

Nichtionisierende Strahlung

**50 Niederfrequente elektrische
und magnetische Felder**

62 Hochfrequente elektromagnetische Felder

**66 Anwendungen von hoch- und
niederfrequenten Feldern im Alltag**

75 Optische Strahlung

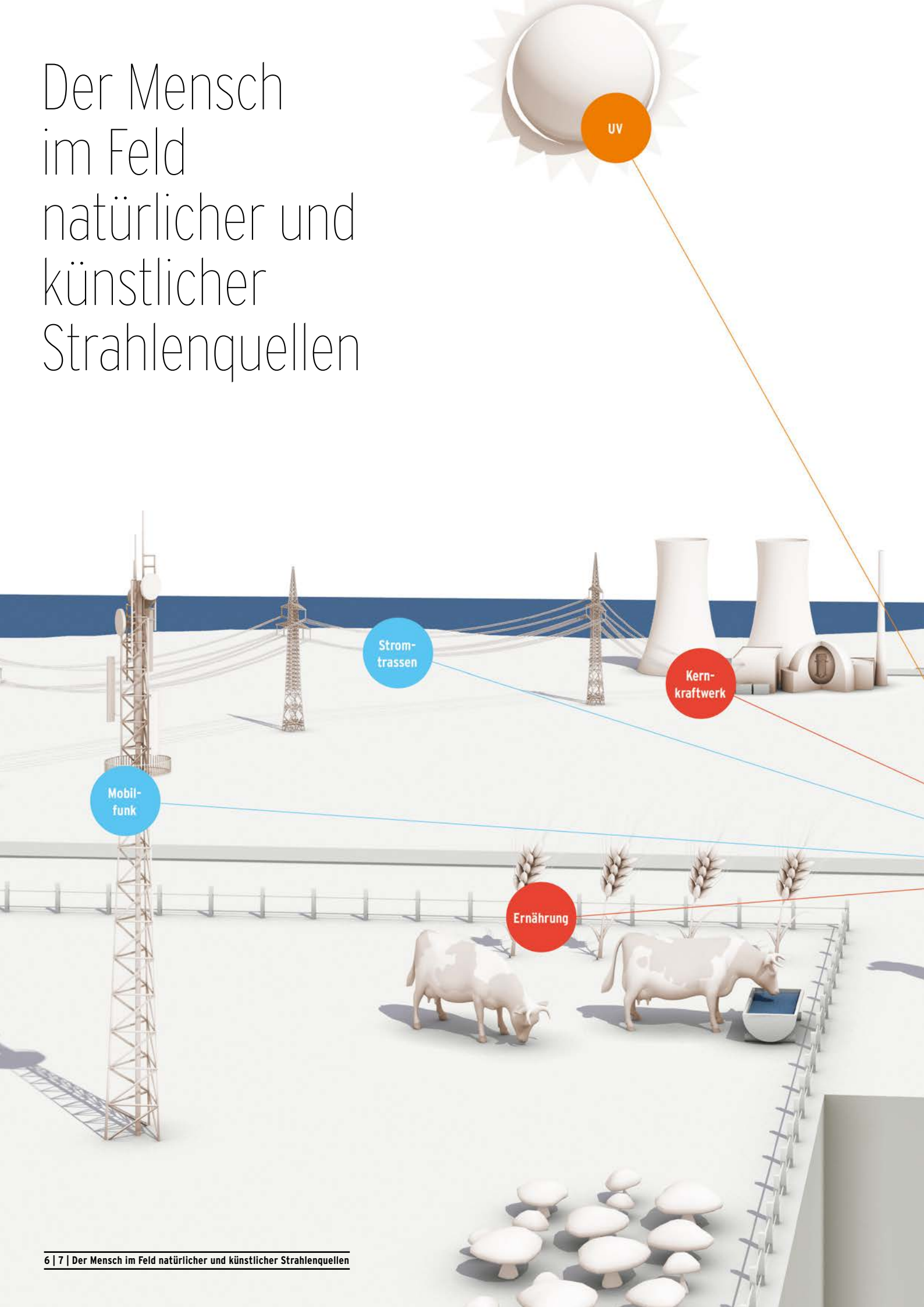
84

Glossar

89

Maßeinheiten und Umrechnung

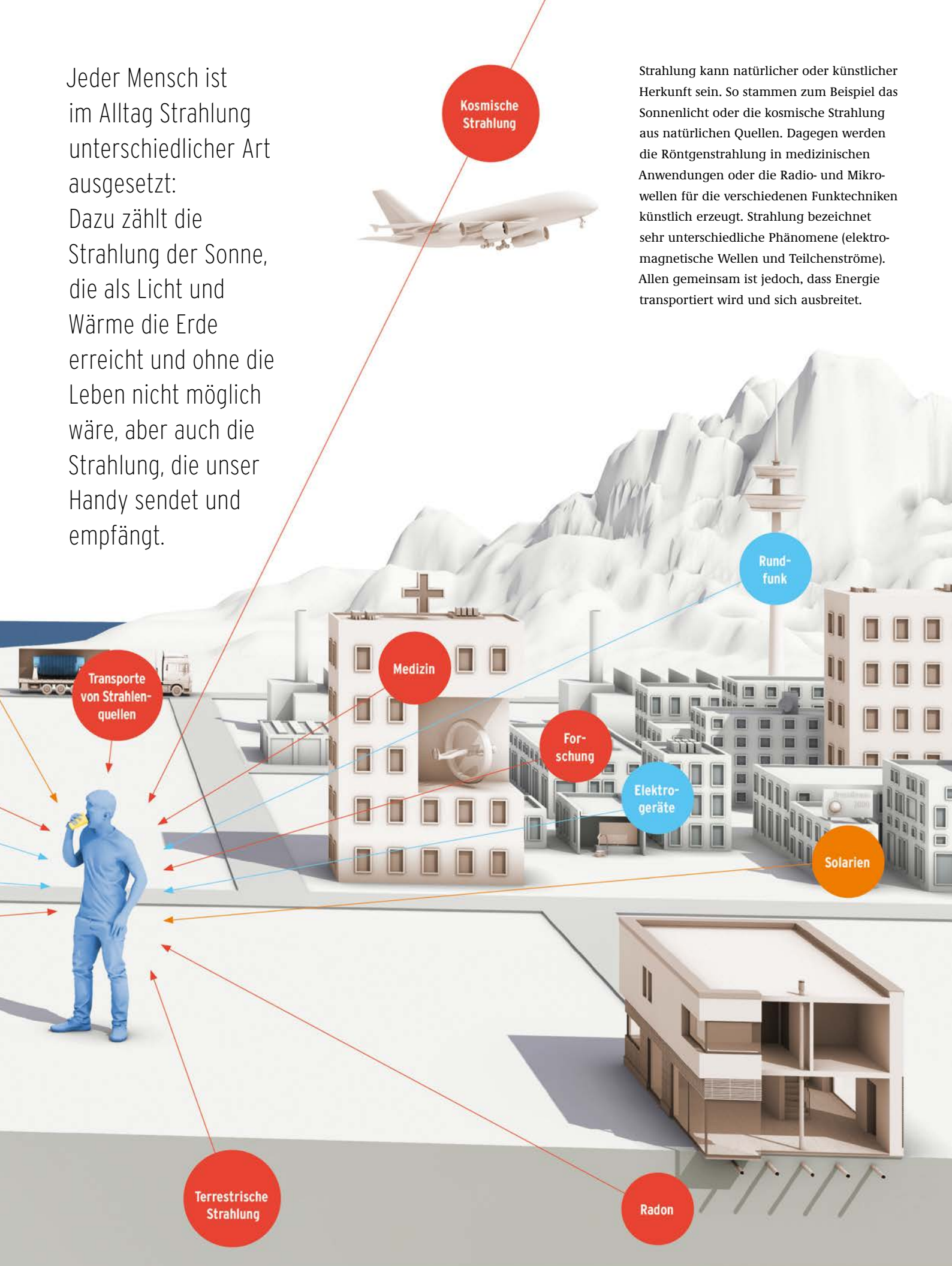
Der Mensch im Feld natürlicher und künstlicher Strahlenquellen



Jeder Mensch ist im Alltag Strahlung unterschiedlicher Art ausgesetzt:

Dazu zählt die Strahlung der Sonne, die als Licht und Wärme die Erde erreicht und ohne die Leben nicht möglich wäre, aber auch die Strahlung, die unser Handy sendet und empfängt.

Strahlung kann natürlicher oder künstlicher Herkunft sein. So stammen zum Beispiel das Sonnenlicht oder die kosmische Strahlung aus natürlichen Quellen. Dagegen werden die Röntgenstrahlung in medizinischen Anwendungen oder die Radio- und Mikrowellen für die verschiedenen Funktechniken künstlich erzeugt. Strahlung bezeichnet sehr unterschiedliche Phänomene (elektromagnetische Wellen und Teilchenströme). Allen gemeinsam ist jedoch, dass Energie transportiert wird und sich ausbreitet.



Der Mensch kann die meisten Strahlungsarten mit seinen Sinnesorganen nicht wahrnehmen. Deswegen ist es für viele Menschen schwierig, Strahlenrisiken richtig zu beurteilen.

Strahlungsarten

Was unterscheidet die einzelnen Strahlungsarten voneinander? 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 Wechselwirkung mit Stoffen an Atomen und Molekülen Ionisationsvorgänge auslöst, spricht man von ionisierender Strahlung. Zu dieser Kategorie gehören die Röntgen- und Gammastrahlung. Reicht die Energie der Strahlung nicht aus, um Atome und Moleküle zu ionisieren, handelt es sich um nichtionisierende Strahlung. Beispiele sind Radio- und Mikrowellen oder Licht. Eine eigene Kategorie ist die Teilchenstrahlung. Teilchenstrahlung wird von radioaktiven Stoffen und künstlichen Quellen erzeugt. Im Gegensatz zu elektromagnetischer Strahlung besteht sie aus Teilchen (wie zum Beispiel Elektronen oder Nukleonen, also Bausteinen des Atomkerns). Teilchenstrahlung, die im Alltag auftritt, ist der ionisierenden Strahlung zuzuordnen.

Ionisierende Strahlung

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

Nichtionisierende Strahlung

Auch nichtionisierende Strahlung ist schon immer als natürliche Erscheinung vorhanden gewesen, zum Beispiel in Form des Sonnenlichtes. Unter anderem durch Einrichtungen der Stromversorgung, der Radio- und Funktechnik, durch Haushaltsgeräte, 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.

Grundsätze des Strahlenschutzes

Die zentrale Aufgabe des Strahlenschutzes ist es, Mensch und Umwelt vor der schädlichen Wirkung durch ionisierende und nichtionisierende Strahlung zu schützen.

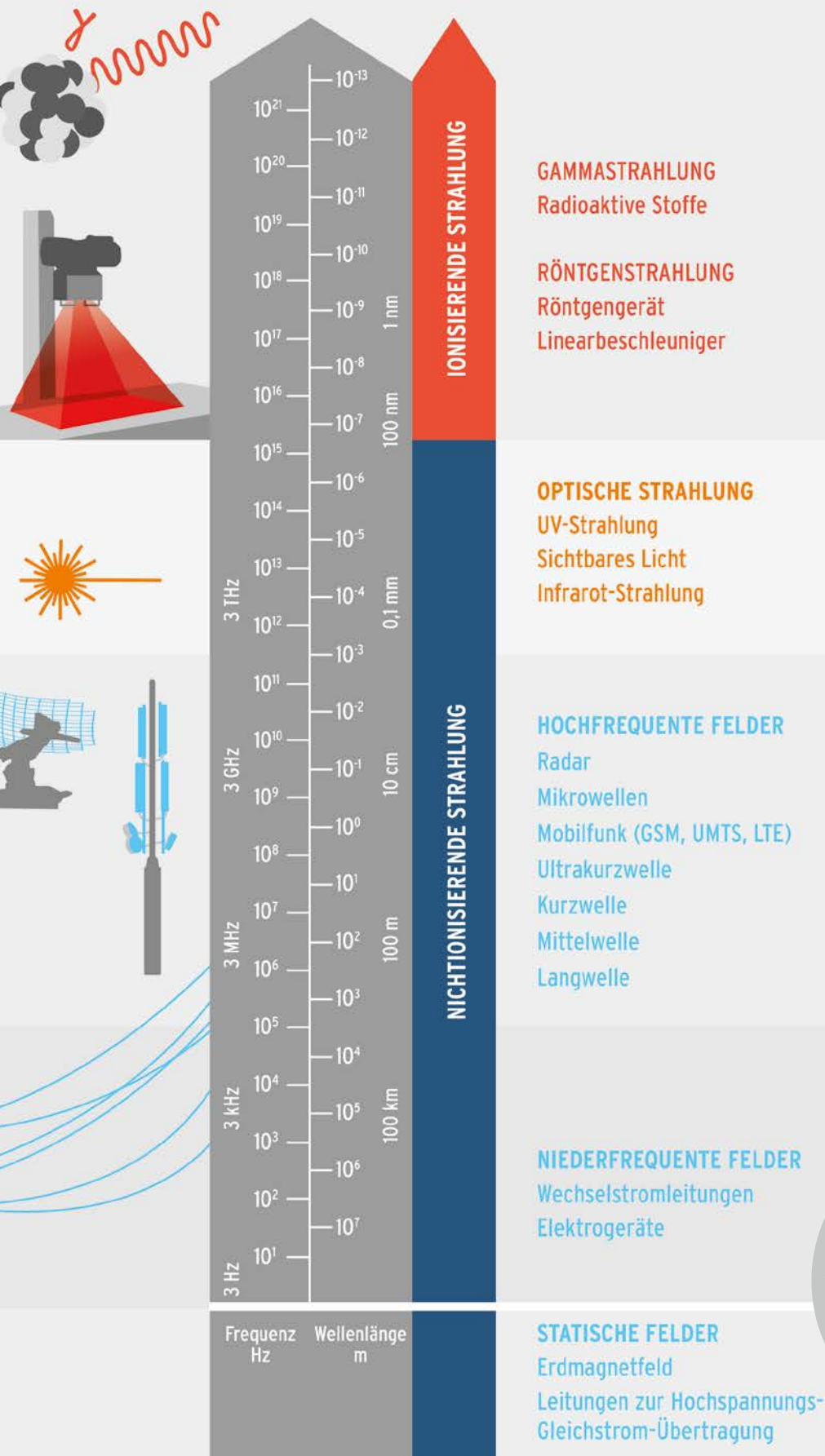
Für den Bereich der ionisierenden Strahlung wurde das System des Strahlenschutzes basierend auf der Annahme einer linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwelle und den Grundsätzen Rechtfertigung, Minimierung/Optimierung und Dosisbegrenzung aufgebaut (siehe dazu den Abschnitt „Angewandter Strahlenschutz“, Seite 38). Die Strahlenschutzgrundsätze sind in der Strahlenschutzverordnung verankert.

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

**Frequenz
(Anzahl der Schwingungen pro Sekunde) und Wellenlänge sind fest miteinander verbunden. Bei hohen Frequenzen ist die Wellenlänge der Strahlung klein, bei geringen Frequenzen ist sie groß. Je höher die Frequenz, desto energiereicher ist die Strahlung.**



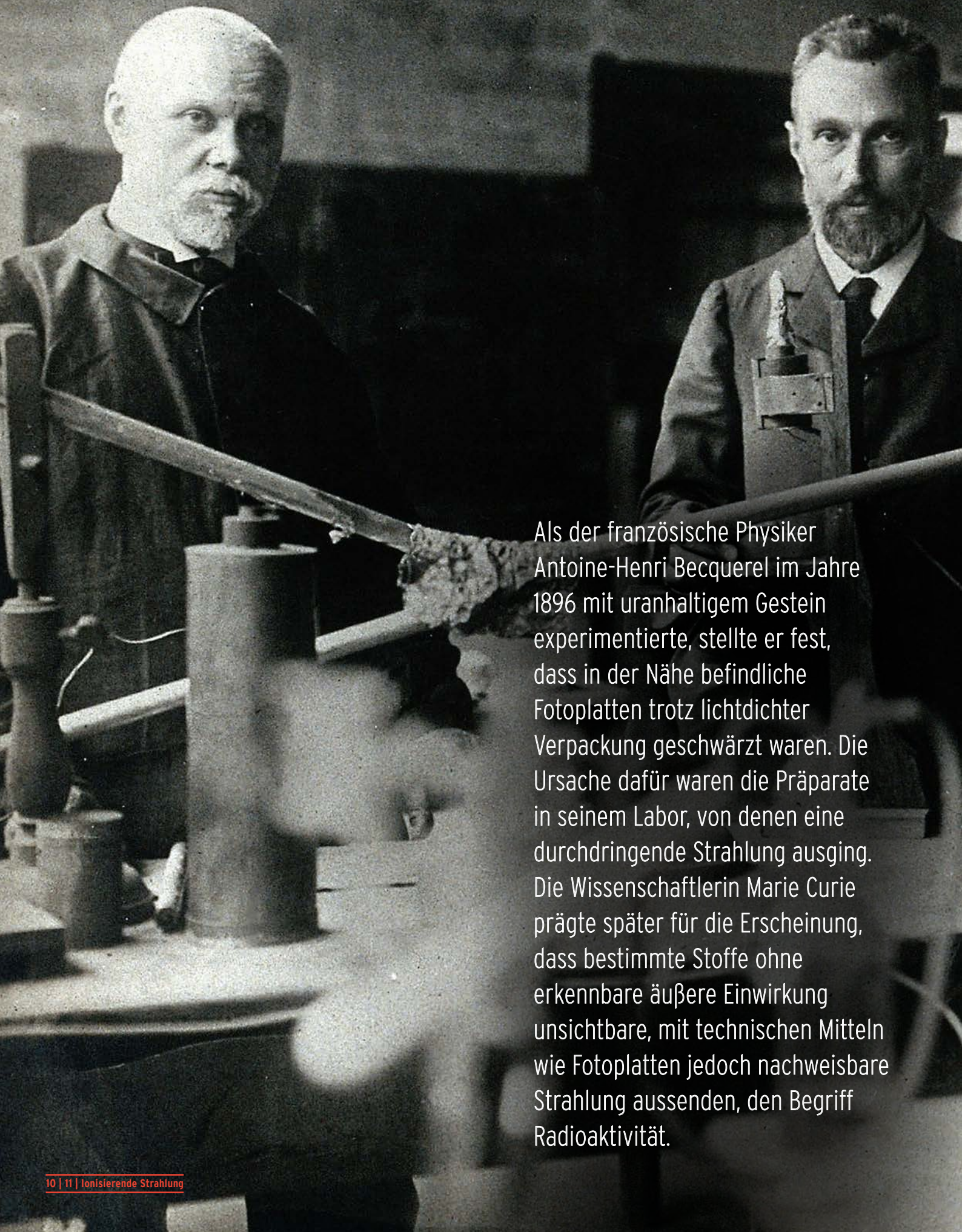
Elektromagnetische Strahlung und Felder



Für die Anwendung ionisierender Strahlung orientiert sich der Strahlenschutz an den Grundsätzen von Rechtfertigung, Dosisbegrenzung und Minimierung/Optimierung: Jede Anwendung ionisierender Strahlung muss durch ihren gesellschaftlichen Nutzen gerechtfertigt sein. Grenzwerte müssen festgelegt und eingehalten werden. Jede unnötige Strahlenbelastung ist zu vermeiden.

Das elektromagnetische Spektrum kann anhand der Frequenz oder der Wellenlänge in verschiedene Bereiche unterteilt werden. Die Einteilung orientiert sich an den physikalischen Eigenschaften der Strahlung.

Ionisierende Strahlung



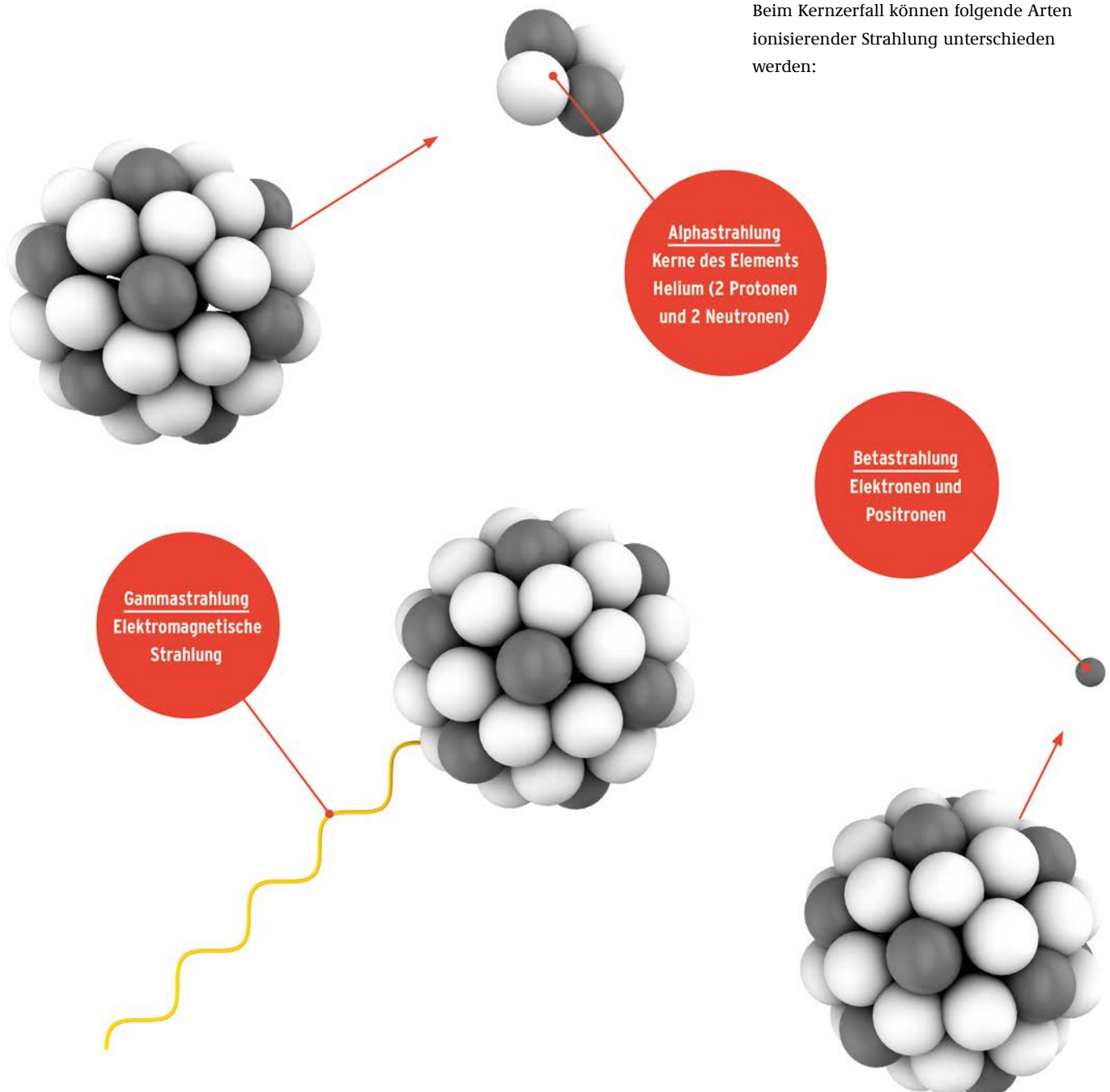
Als der französische Physiker Antoine-Henri Becquerel im Jahre 1896 mit uranhaltigem Gestein experimentierte, stellte er fest, dass in der Nähe befindliche Fotoplatten trotz lichtdichter Verpackung geschwärzt waren. Die Ursache dafür waren die Präparate in seinem Labor, von denen eine durchdringende Strahlung ausging. Die Wissenschaftlerin Marie Curie prägte später für die Erscheinung, dass bestimmte Stoffe ohne erkennbare äußere Einwirkung unsichtbare, mit technischen Mitteln wie Fotoplatten jedoch nachweisbare Strahlung aussenden, den Begriff Radioaktivität.



V. R. N. L. MARIE UND PIERRE CURIE MIT MITARBEITER IM LABORATORIUM, CA. 1904 © UNBEKANNT / WIKIPEDIA

Radioaktivität und Strahlung

Schematische Darstellung der Entstehung ionisierender Strahlung bei Kernzerfällen



Radioaktivität

Radioaktivität bezeichnet die Eigenschaft bestimmter Atomkerne, Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung oder Teilchenstrahlung auszusenden. Dabei wandeln sich in den meisten Fällen die Atomkerne in andere Kerne um. Die Kernumwandlung wird in der Regel als Kernzerfall bezeichnet, die abgegebene Strahlung zählt zur ionisierenden Strahlung. Beim Kernzerfall entstehen stabile und/oder radioaktive Zerfallsprodukte, welche ihrerseits weiter zerfallen können.

Beim Kernzerfall können folgende Arten ionisierender Strahlung unterschieden werden:

Alphastrahlung

Alphastrahlung ist Teilchenstrahlung und besteht aus 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 Teilchenstrahlung und besteht aus Elektronen oder Positronen. Das Durchdringungsvermögen von Betateilchen beträgt in Luft einige Zentimeter bis Meter, in Weichteilgewebe oder Kunststoff wenige Millimeter bis Zentimeter.

Bei Inkorporation von Radionukliden, also der Aufnahme über Luft, Wasser und Nahrung, können Alpha- und Betastrahler erheblich höhere Schäden im Körper bewirken als über den Kontakt mit der Haut.

Gammastrahlung

Gammastrahlung ist 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 werden schwere Materialien wie beispielsweise Blei und Beton verwendet.

Neutronenstrahlung

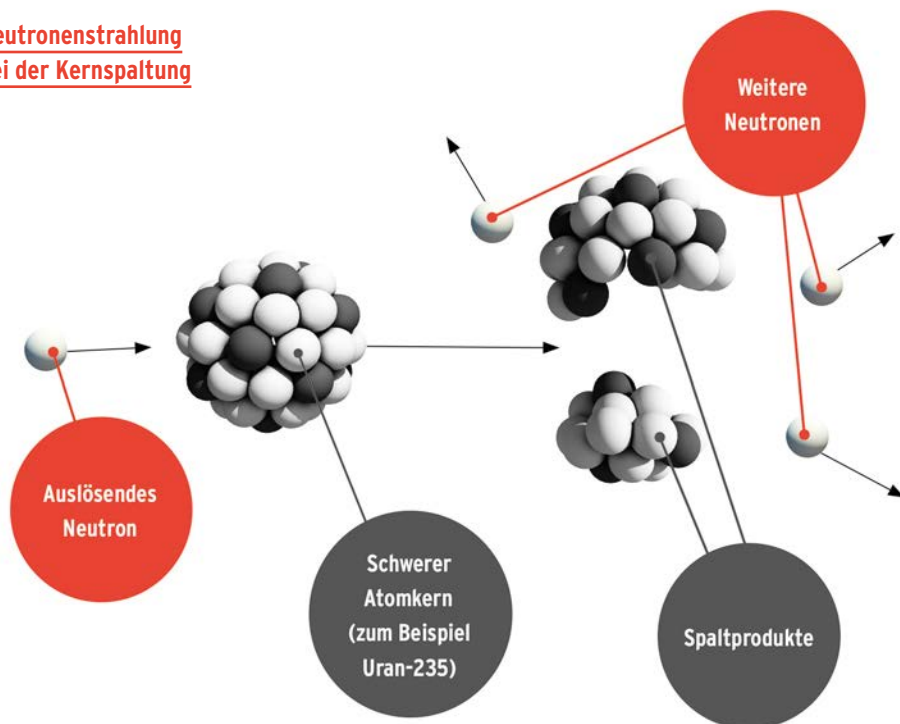
Neutronen sind elektrisch neutrale Elementarteilchen. Sie werden insbesondere bei der Kernspaltung freigesetzt. Die Kernspaltung ist für schwere Atomkerne wie zum Beispiel des Elements Uran charakteristisch und findet in Kernreaktoren statt.

Becquerel

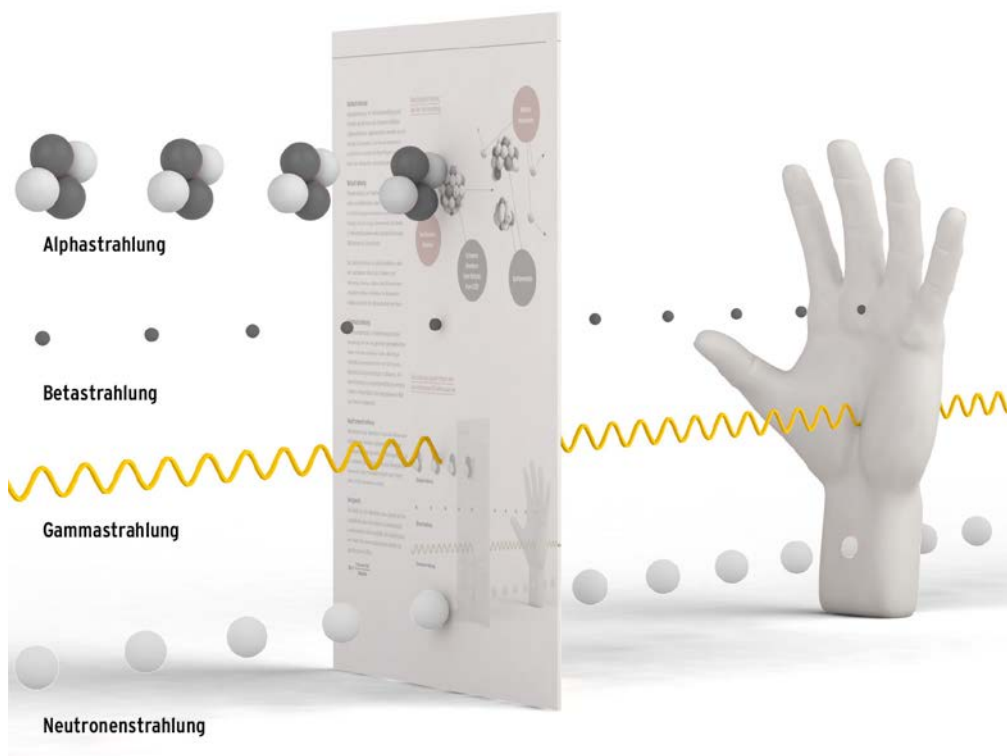
Das Maß für die Aktivität eines Stoffes ist die Anzahl der pro Zeiteinheit in diesem Stoff stattfindenden Kernzerfälle. Die Maßeinheit der Aktivität eines radioaktiven Stoffes ist das Becquerel (Bq).

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

Neutronenstrahlung bei der Kernspaltung

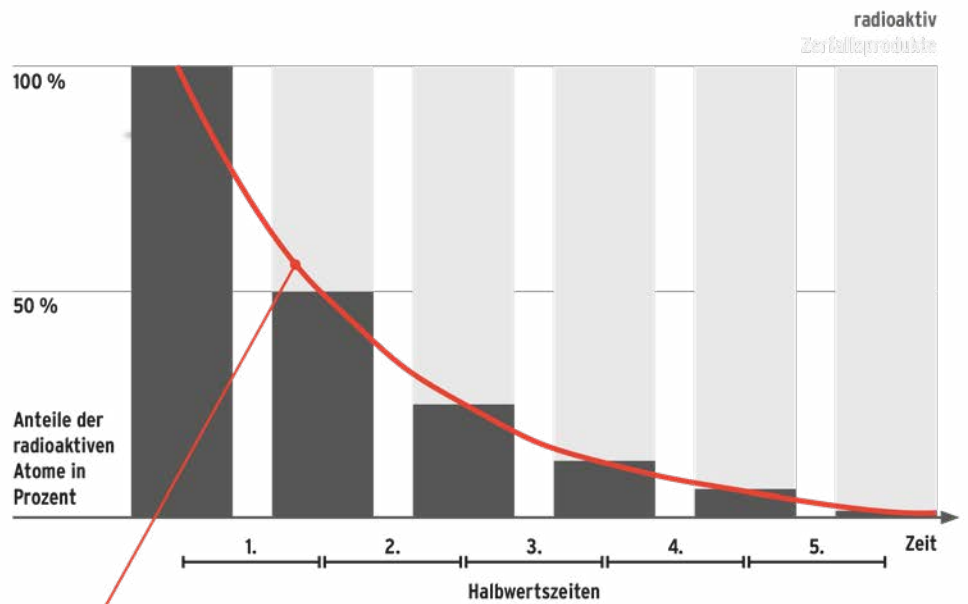


Durchdringungsvermögen der verschiedenen Strahlungsarten

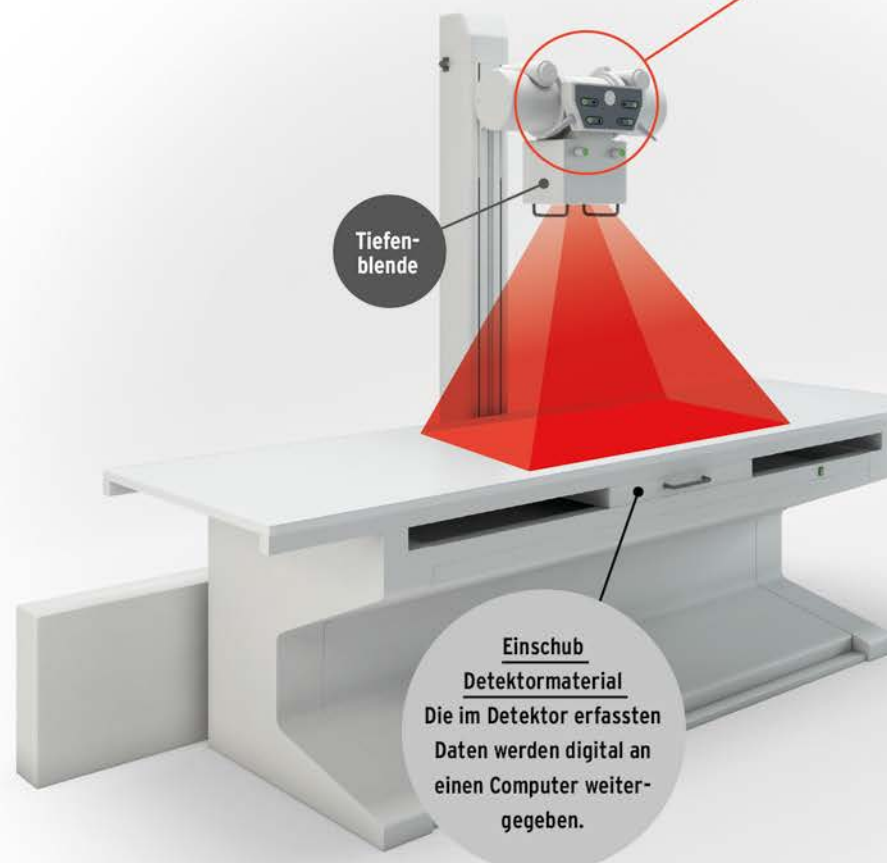


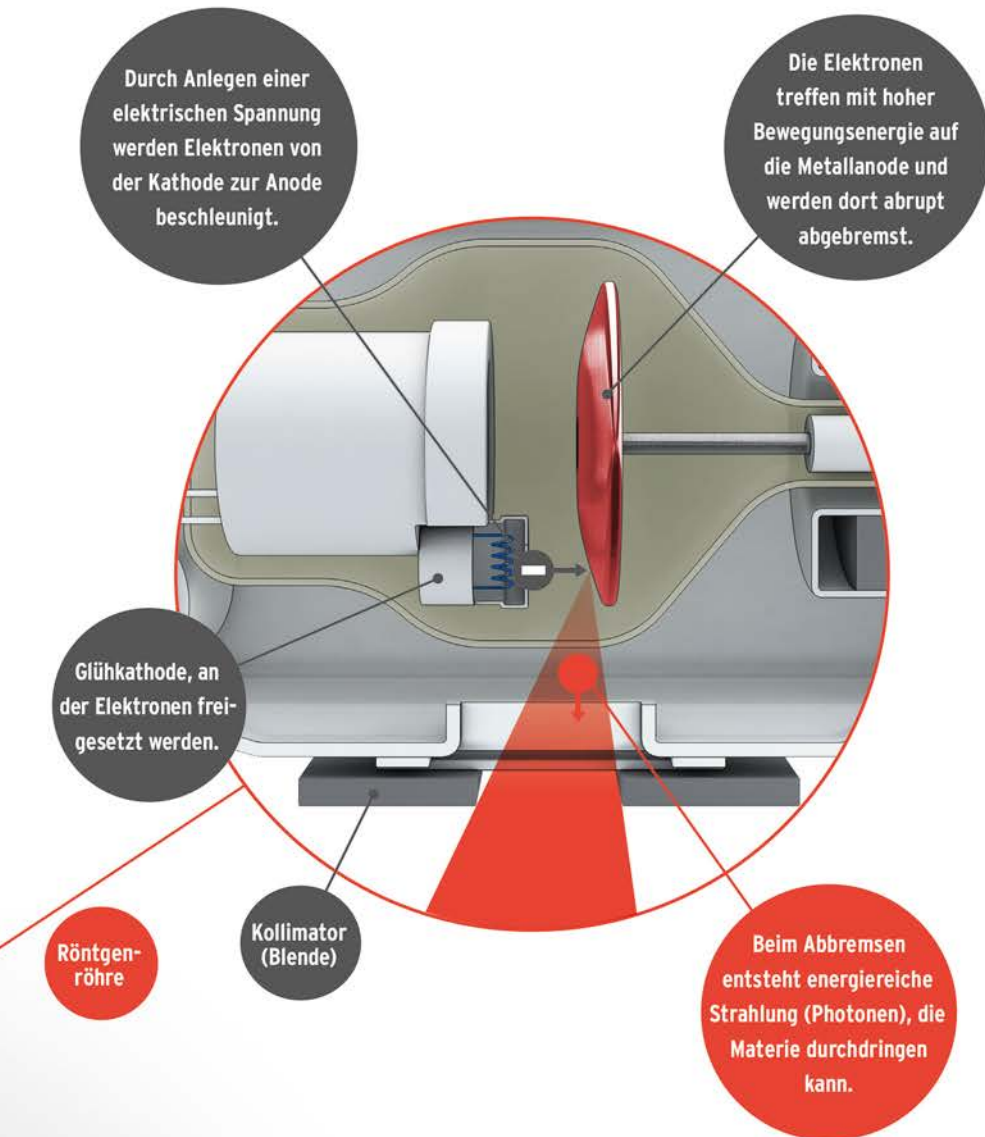
Halbwertszeit

Die Zeit, die vergeht, bis nur noch die Hälfte der ursprünglich vorhandenen radioaktiven Atomkerne vorhanden ist, nennt man Halbwertszeit. Nach dieser Zeit ist auch die Intensität der von dem radioaktiven Stoff ausgesandten ionisierenden Strahlung auf die Hälfte des Ausgangswertes abgesunken. 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 verschiedene Radionuklide reichen die jeweiligen Halbwertszeiten von Sekundenbruchteilen bis zu mehreren Milliarden Jahren.



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





Röntgenstrahlung

Die von Antoine-Henri Becquerel im Jahr 1896 gefundene Strahlung wies die gleichen Eigenschaften auf wie die sogenannten „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. 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 (zum Beispiel in der Medizin) erzeugt. Man bezeichnet sie genauer als Röntgenbremsstrahlung. Die Röntgenbremsstrahlung ist umso 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 der „letzte“ Atomkern zerfallen ist, wird keine Röntgenstrahlung mehr erzeugt, sobald das Röntgengerät abgeschaltet ist.



Strahlenexposition und Dosis

Strahlenexposition und Dosis

Trifft ionisierende Strahlung auf den menschlichen Körper, erfolgt eine Strahlenexposition. Das bedeutet, dass die Strahlung mit dem Körpergewebe in Wechselwirkung tritt und in einem bestimmten Maß aufgenommen wird. Die Wirkung der vom Körper aufgenommenen Strahlung wird durch die Angabe einer Dosis ausgedrückt.

Energiedosis

Strahlung überträgt Energie. Unter der Energiedosis versteht man die Energiemenge (in Joule), die von einer bestimmten Menge an Materie (in Kilogramm) aufgenommen wird. Die Maßeinheit der Energiedosis ist Gray (Gy). Ein Gray entspricht dabei einem Joule pro Kilogramm ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$).

Die verschiedenen Strahlungsarten verursachen im Körpergewebe unterschiedlich starke biologische Wirkungen. Wird zum Beispiel Gewebe Alphastrahlung und ein anderes Mal Betastrahlung ausgesetzt, ist die biologische Wirkung der Alphastrahlung (für stochastische Effekte) bei gleicher Energiedosis etwa 20-mal größer als die biologische Wirkung der Betastrahlung. Mit der Angabe der Energiedosis kann demzufolge die biologische Wirkung der Strahlung im menschlichen Körper nicht ausreichend beschrieben werden.

Organdosis (Organ-Äquivalentdosis)

Die Organ-Energiedosis wird deshalb mit Hilfe sogenannter Strahlungs-Wichtungsfaktoren, die die Unterschiede der Strahlungswirkung berücksichtigen, in die Organdosis (im Strahlenschutzgesetz als Organ-Äquivalentdosis bezeichnet) umgerechnet. 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 (Zahl der Ionisationsvorgänge auf einer bestimmten Wegstrecke) in Gewebe, wie zum Beispiel 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 18 zur Strahlenschutzverordnung, Teil C, Punkt 1) werden zur Bewertung der biologischen Wirksamkeit Strahlungs-Wichtungsfaktoren der Internationalen Strahlenschutzkommission (International Commission on Radiological Protection; ICRP) angegeben, wie sie in der Darstellung unten aufgeführt sind.

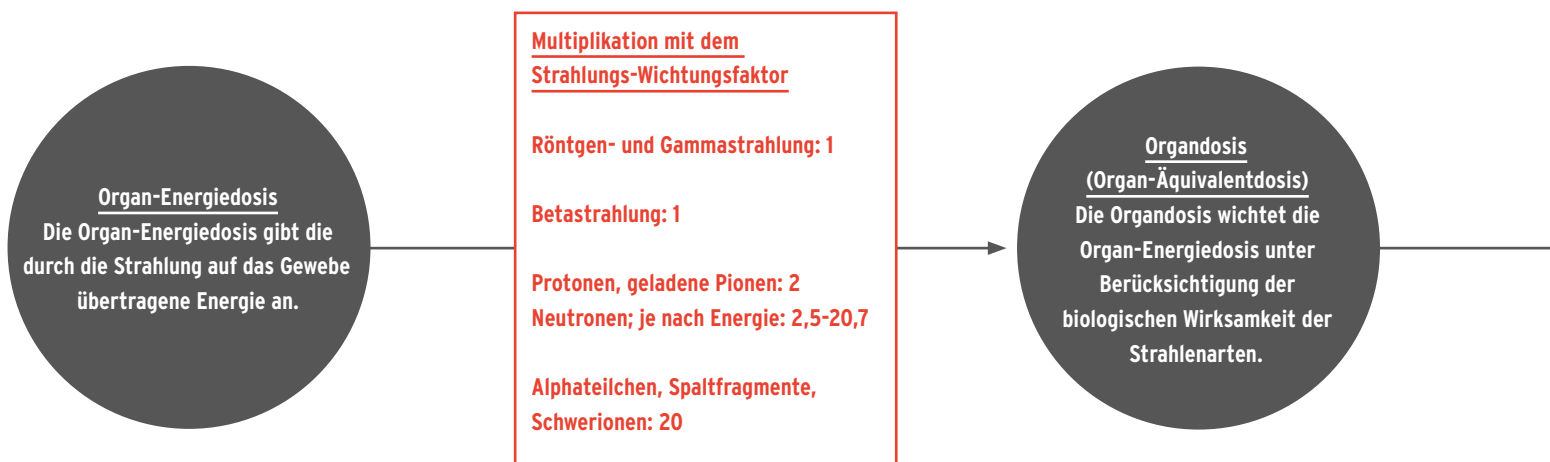
Die Organdosis erhält man also durch Multiplikation der Organ-Energiedosis, angegeben in Gray, mit dem jeweiligen Strahlungs-Wichtungsfaktor. Die Maßeinheit der Organdosis ist das Sievert (Sv).

Kurzfristige und langfristige Wirkungen

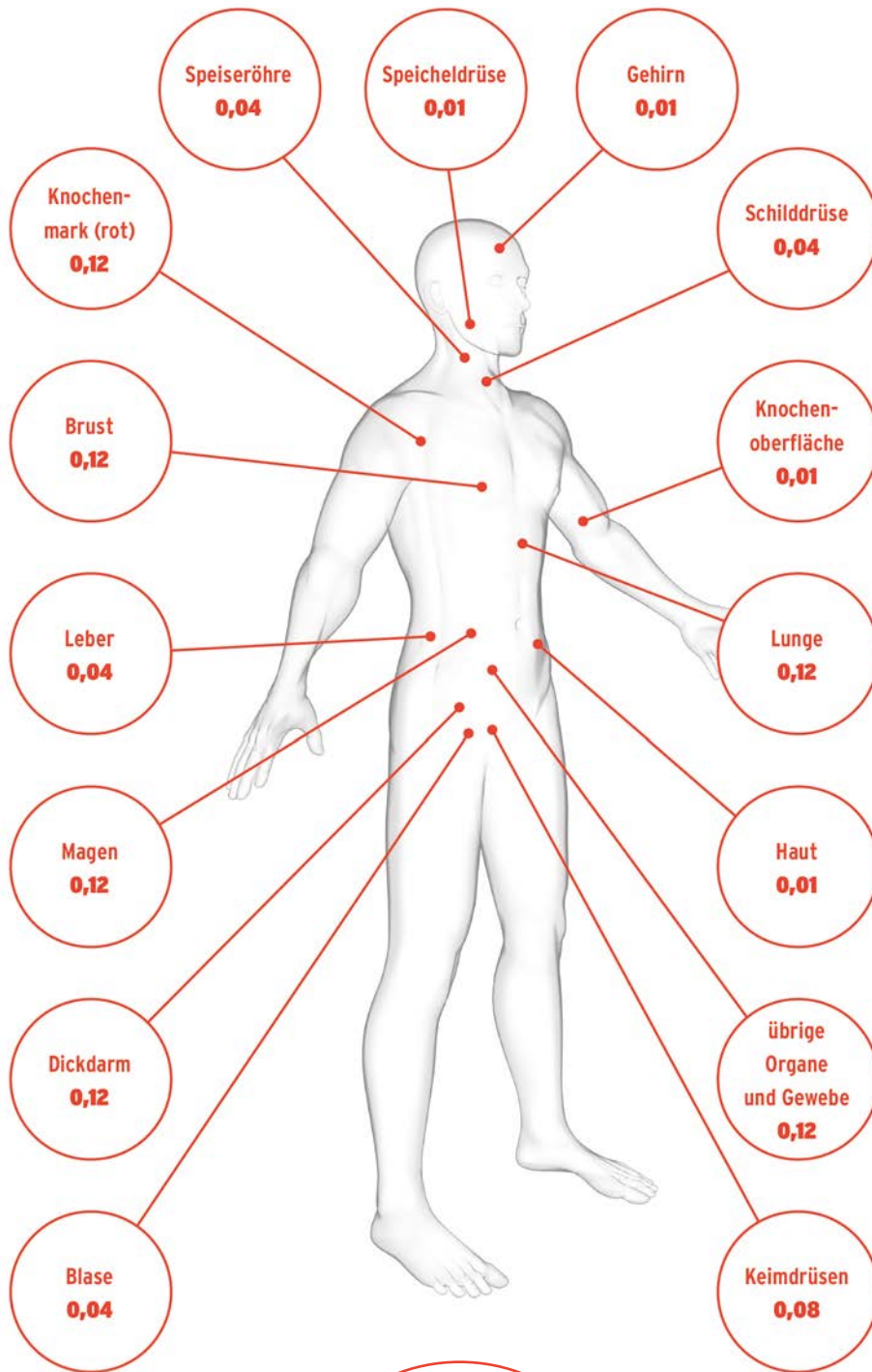
Strahlungswirkungen werden eingeteilt in deterministische und stochastische Wirkungen. Deterministische Wirkungen treten bei einer Exposition oberhalb bestimmter Dosis-Schwellenwerte unmittelbar auf. Mit der Dosis steigt die Schwere des Schadens. Stochastische Wirkungen können nach Ablauf einer längeren Latenzzeit mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit auftreten. Je höher die Strahldosis ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Strahlenschaden eintritt.

Bei gleicher Organdosis ist die Wahrscheinlichkeit, mit der im niedrigen Dosisbereich stochastische Wirkungen ausgelöst werden, für die verschiedenen Organe und Gewebe unterschiedlich. Die sogenannte effektive Dosis berücksichtigt solche Unterschiede. Die Organdosen der exponierten Organe und Gewebe werden dazu mit Gewebe-Wichtungsfaktoren (siehe nebenstehende Grafik) multipliziert. Diese stellen ein Maß für den Beitrag des exponierten Organs zum Schadensrisiko des gesamten Körpers dar.

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



Gewebe-Wichtungsfaktoren für verschiedene Organe und Gewebe



Aufsummierung
der Organdosen, die mit
den zugehörigen
Gewebe-Wichtungsfaktoren
multipliziert wurden.

Effektive Dosis

Die effektive Dosis ist die Summe der mit den Gewebe-Wichtungsfaktoren gewichteten Organdosen. 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 angegeben. Organdosis und effektive Dosis sind Größen, die nur im Strahlenschutz und unterhalb der Schwellenwerte für deterministische Wirkungen verwendet werden.

Organdosis und effektive Dosis werden als Körperdosen bezeichnet. Sie dienen zur Definition der Ziele, die im Strahlenschutz erreicht werden müssen. So ist zum Beispiel die effektive Dosis zum Schutz von Einzelpersonen der Bevölkerung auf 1 Millisievert (mSv) im Kalenderjahr beschränkt, bei beruflich strahlenexponierten Personen beträgt der Grenzwert 20 mSv pro Jahr. Die Körperdosen sind Schutzgrößen, die nicht direkt im Körper eines Menschen gemessen werden können. Für ihre Einhaltung werden als Äquivalenzdosen Messgrößen definiert, 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).

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

Effektive Dosis
Die effektive Dosis ist ein Maß für die Gesamtkörperdosis unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Strahlenempfindlichkeit der Organe und Gewebe für stochastische Strahlenwirkungen.

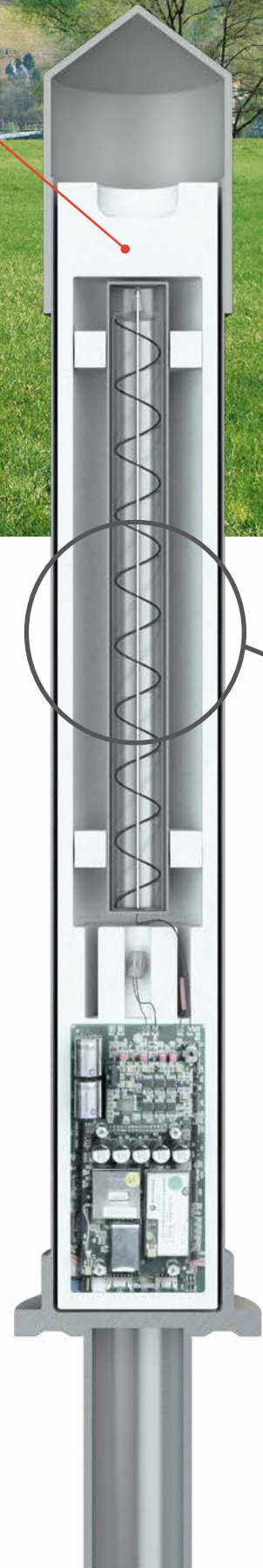
Messung ionisierender Strahlung



ODL-Sonde
Eine ODL-Sonde enthält zwei Geiger-Müller-Zählrohre. Die Sonde misst die Ortsdosisleistung (ODL) und dient zur Kontrolle der Umwelt-radioaktivität.

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. Eines der bekanntesten Geräte, das umgangssprachlich auch „Geigerzähler“ genannt wird, ist das Geiger-Müller-Zählrohr. Es ist vielseitig verwendbar und wird beispielsweise bei der Messung von Gammastrahlung zur Bestimmung der Dosis und Dosisleistung eingesetzt.

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.



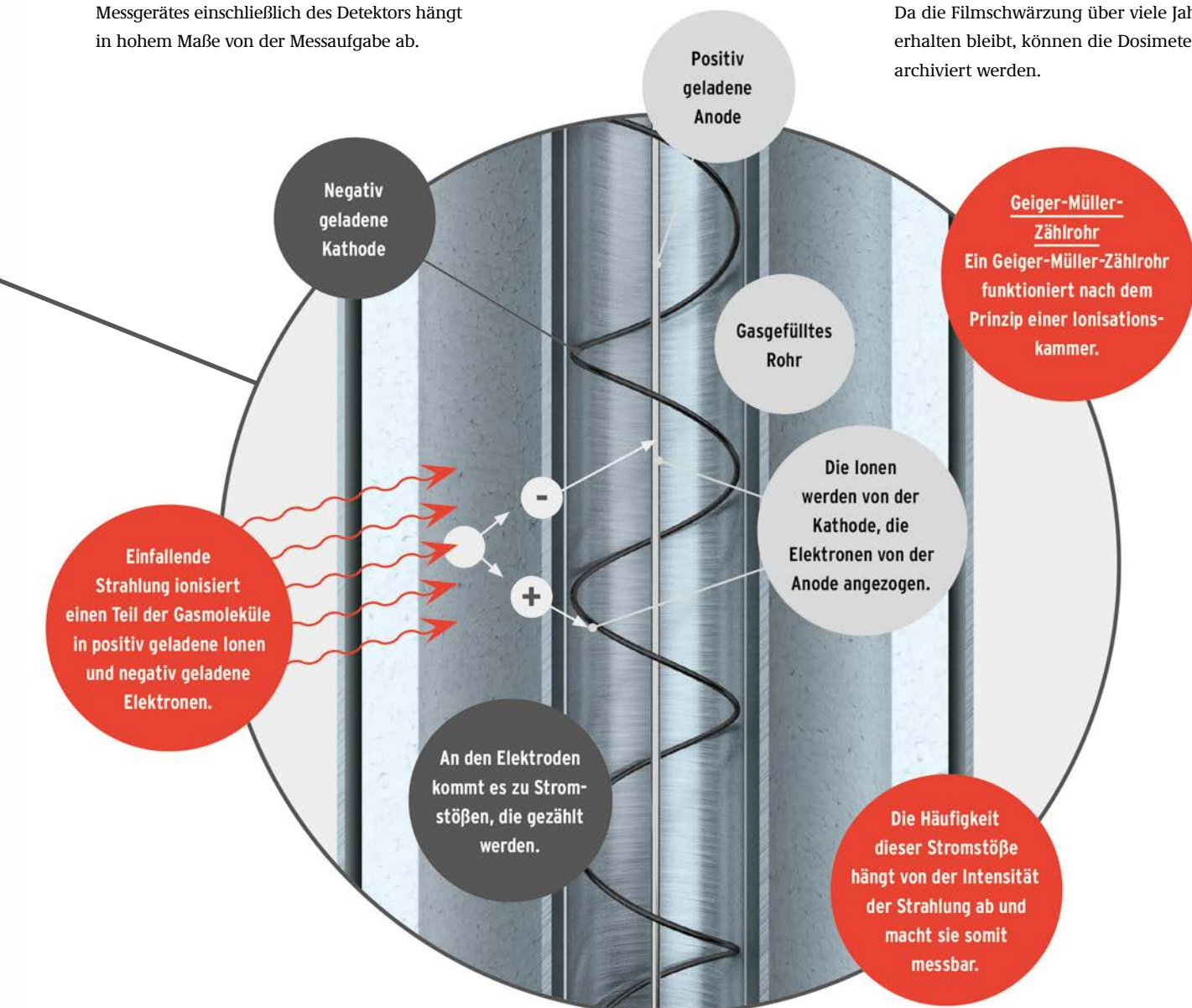
Ein weiteres Anwendungsgebiet ist die Bestimmung des Aktivitätsgehaltes von Radionukliden in Substanzen, zum Beispiel Pflanzen- und Bodenproben. Die zumeist sehr geringen Aktivitätskonzentrationen in diesen Proben können nur dann zuverlässig bestimmt werden, wenn die Messanordnung mit geeigneten Materialien (zum Beispiel Blei) von der natürlichen Umgebungsstrahlung abgeschirmt wird. Als Detektoren kommen dann in der Regel Halbleiterdetektoren zur Anwendung, die sehr genau die Energie der Strahlung bestimmen können. Daraus lässt sich dann erkennen, aus welchen Radionukliden sich der Aktivitätsgehalt zusammensetzt.

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 zum Beispiel 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 der Umwelt zu bestimmen. Mit einem Strahlungsmessgerät können nur dann zuverlässige Messergebnisse erzielt werden, wenn es gemäß den Messbedingungen verwendet wird, für die es konzipiert wurde.

Personendosimeter

Eine wichtige Messaufgabe in der Praxis des Strahlenschutzes besteht darin, die Dosis zu ermitteln, der Personen beim beruflichen Umgang mit radioaktiven Stoffen und ionisierender Strahlung ausgesetzt sind. 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 Film dosimeter bezeichnet. Nach Ablauf der Einsatzzeit eines Film dosimeters, die in der Regel einen Monat beträgt, werden die Filme entwickelt, das Schwärzungsmuster optisch ausgewertet und daraus die Dosis bestimmt. Da die Filmschwärzung über viele Jahre erhalten bleibt, können die Dosimeterfilme archiviert werden.



Mit jedem Kilogramm unserer pflanzlichen und tierischen Nahrung nehmen wir im Mittel etwa 100 Bq an natürlichen Radionukliden, hauptsächlich Kalium-40, auf. Die Radionuklide werden zum Teil in den Stoffwechsel einbezogen und verbleiben für bestimmte Zeitspannen im menschlichen Körper. Das bedeutet, dass der Mensch selbst etwa 8.000 bis 9.000 Bq an natürlichen Radionukliden enthält.

Natürliche Strahlenquellen

Wasser, Pflanzen, Tiere, Menschen

Aus dem Boden gelangen natürliche 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. Das wichtigste in der Nahrung vorkommende Radionuklid ist Kalium-40. 0,012 Prozent des Kaliums auf der Erde ist Kalium-40. Die Ernährung bewirkt einen Dosisbeitrag von etwa 0,3 Millisievert pro Jahr (mSv/a).

Kosmische Strahlung

Von der Sonne und aus dem Weltall gelangt kosmische Strahlung auf die Erde. Sie besteht im Wesentlichen aus energiereichen Teilchen und aus Gammastrahlung. Auf ihrem Weg durch die Atmosphäre wird die kosmische Strahlung teilweise absorbiert. Das bedeutet, dass die Dosisleistung der kosmischen Strahlung von der Höhenlage abhängt. Im Durchschnitt führt die kosmische Strahlung in Deutschland jährlich zu einer effektiven Dosis von ebenfalls circa 0,3 mSv.

Terrestrische Strahlung

Seit ihrer Entstehung gibt es auf der Erde zahlreiche Radionuklide. Davon sind heute nur noch diejenigen vorhanden, deren Halbwertszeiten sehr groß sind. Hinzu kommen die radioaktiven Zerfallsprodukte dieser Radionuklide, die ständig neu gebildet werden.

Diese natürlichen Radionuklide 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 sowie Uran und Thorium mit ihren Zerfallsprodukten, darunter insbesondere Radium.

Halbwertszeiten einiger natürlicher radioaktiver Nuklide

Thorium-232
14 Milliarden Jahre

Uran-238
4,5 Milliarden Jahre

Uran-235
700 Millionen Jahre

Kalium-40
1,3 Milliarden Jahre

Alter der Erde:
4,5 Milliarden Jahre



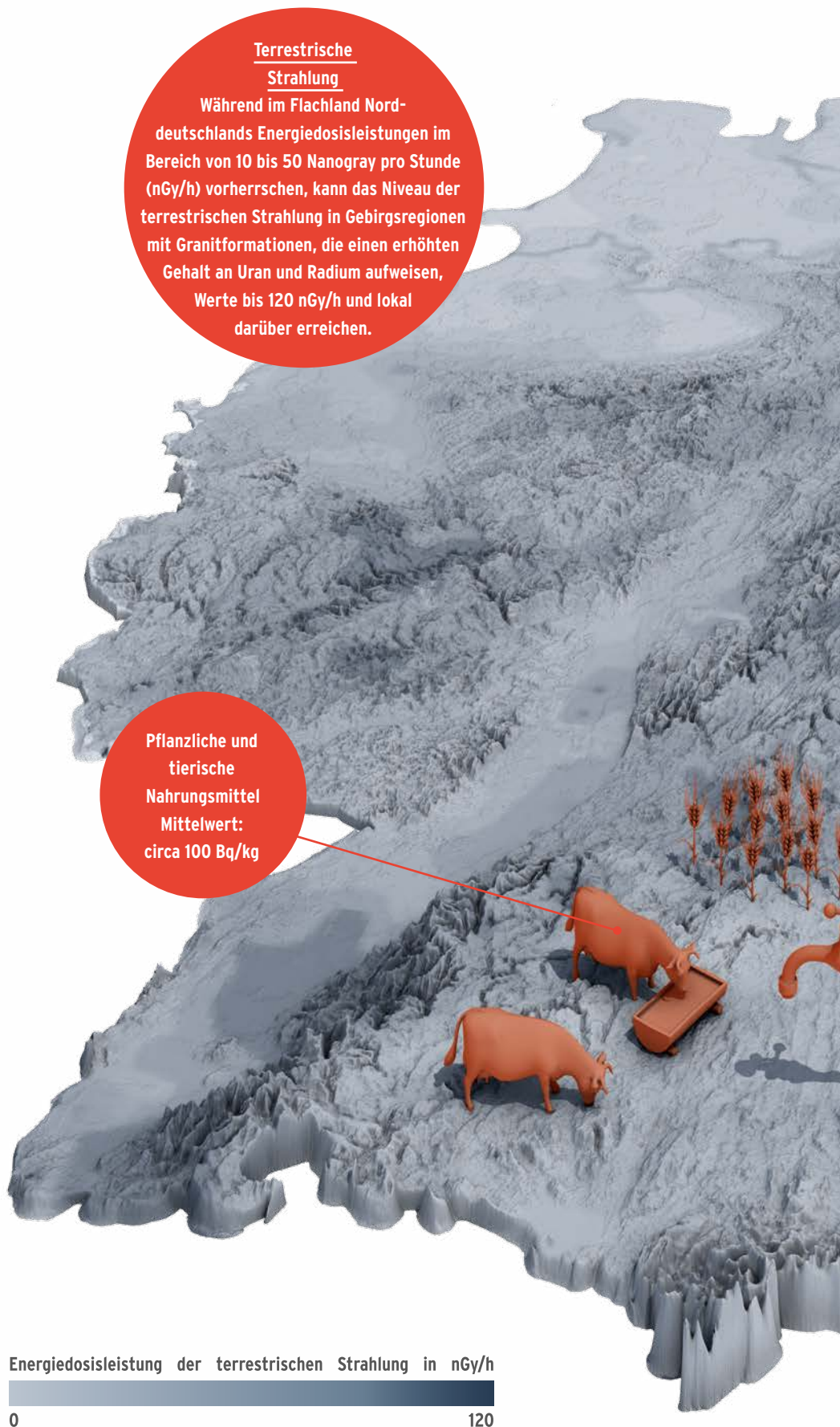
Terrestrische Strahlung

Während im Flachland Norddeutschlands Energiedosisleistungen im Bereich von 10 bis 50 Nanogray pro Stunde (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.

Pflanzliche und tierische Nahrungsmittel
Mittelwert:
circa 100 Bq/kg

Energiedosisleistung der terrestrischen Strahlung in nGy/h

0 120





Die kosmische Strahlung ist auf Meeresniveau am niedrigsten und beträgt hier circa 32 Nanogray pro Stunde (nGy/h). Mit der Höhe nimmt die Energiedosisleistung der kosmischen Strahlung zu und ist zum Beispiel auf der Zugspitze viermal höher als an der Küste.

Die abgebildete Karte 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. Der Mittelwert der effektiven Dosis durch terrestrische Strahlung für die Bevölkerung in Deutschland liegt bei circa 0,4 mSv/a.

Standardmensch
20-30 Jahre, 70 kg,
circa 9.000 Bq
Mittelwert: circa 130
Bq/kg

Die Gesamtaktivität natürlicher Radionuklide im Körper eines erwachsenen Menschen beträgt etwa 8.000 bis 9.000 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 circa 0,3 mSv/a.

Radon

Eine besondere Stellung unter den natürlichen Radionukliden nimmt das Edelgas Radon ein. Radon-222 ist radioaktiv und besitzt eine Halbwertszeit von 3,8 Tagen. In geringer Konzentration kommt es praktisch überall vor. Gelangt Radon über einen langen Zeitraum durch die Atmung in Bronchien und Lunge, kann es das Gewebe schädigen und Lungenkrebs verursachen.

Radon-222 entsteht durch den Zerfall von Uran-238. Uran-238 kommt gering konzentriert, jedoch messbar in den Böden und Gesteinen der Erdkruste sowie in mineralischen Baustoffen vor. Durch mehrere radioaktive Zerfälle wandelt sich Uran-238 in Radium-226 um, das weiter zu Radon-222 zerfällt. Als Gas kann das Radon-222 sich in der Atmosphäre ausbreiten und in Häuser gelangen. Die Radon-Konzentration schwankt stark sowohl in der bodennahen Atmosphäre als auch in Gebäuden. Einfluss nehmen die Jahreszeiten, die Wetterlage und andere Bedingungen.

Radon in Gebäuden

Durchschnittlich 50 Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m^3) Radon kommen in Wohnungen in Deutschland vor. Messbar sind Jahresmittelwerte zwischen 10 und einigen $1.000 \text{ Bq}/\text{m}^3$. Jahresmittelwerte über $1.000 \text{ Bq}/\text{m}^3$ in Aufenthaltsräumen sind jedoch selten. Radon kommt regional in unterschiedlicher Konzentration vor. Besonders häufig ist es in bergigen Gebieten anzutreffen.

Hält man sich über Jahre in Räumen mit erhöhter Radonkonzentration auf, steigt das Risiko, an Lungenkrebs zu erkranken. Europaweite Untersuchungen zeigen: Steigt die Radonkonzentration um $100 \text{ Bq}/\text{m}^3$, nimmt das Krebsrisiko um 16 Prozent zu. Nach dem Rauchen ist Radon die zweithäufigste Ursache für Lungenkrebs.

Einfache Schutzmaßnahmen sind zum Beispiel häufige und intensive Lüftung, Abdichtung offensichtlicher Radon-Eintrittspfade im bodenberührenden Hausbereich (Risse, Fugen, Rohrdurchführungen) und die Abdichtung von Kellertüren.

In Gebäude gelangt das Radon aus dem Erdboden durch Risse und Undichtigkeiten im Fundament und kann sich dort anreichern.

Witterungsverhältnisse und Lüftungsgewohnheiten beeinflussen die Radonkonzentration.

Über undichte Kellertüren kann Radon in obere Geschosse gelangen.

Schutzmaßnahmen

Der Schutz vor Radon ist im Strahlenschutzgesetz geregelt. Es sieht verschiedene Maßnahmen vor, um die Gesundheit von Menschen in Gebieten mit hohem Radonvorkommen zu schützen. Als Richtschnur für eine erhöhte Konzentration von Radon in Innenräumen ist im Gesetz ein Wert von 300 Bq/m^3 festgelegt. Wird dieser sogenannte Referenzwert überschritten, sollen Maßnahmen ergriffen werden, um die Radonkonzentration im Gebäude zu senken. Das Bundesamt für Strahlenschutz empfiehlt unabhängig davon, bereits ab einem Jahresmittel von 100 Bq/m^3 Schutzmaßnahmen zu erwägen. Die Mittel reichen von regelmäßigem Lüften, dem Abdichten von Rissen und Undichtigkeiten, dem Einbau automatischer Belüftungssysteme bis hin zum Absaugen radonhaltiger Luft unterhalb des Gebäudes. Radonkonzentrationen deutlich unter 100 Bq/m^3 können praktisch kaum weiter reduziert werden. Eine gewisse Radonmenge gelangt immer durch Lüften oder Freisetzung aus Baumaterialien ins Gebäude. Neubauten sollten so geplant werden, dass in Aufenthaltsräumen Radonkonzentrationen von mehr als 100 Bq/m^3 im Jahresmittel vermieden werden. Dies ist mit geringem zusätzlichem Aufwand machbar. Eine Übersicht über mögliche Radonschutzmaßnahmen gibt das Radon-Handbuch Deutschland des BfS.

Radongebiete

Die Bundesländer ermitteln gemäß Strahlenschutzgesetz, in welchen Gebieten eine hohe Radonkonzentration in vielen Gebäuden zu erwarten ist. In diesen Gebieten besteht für Bauherren die Pflicht, in privaten Neubauten durch bauliche Maßnahmen weitgehend zu verhindern, dass Radon in das Gebäude eindringen kann. Zudem müssen in den Gebieten an allen Arbeitsplätzen in Keller- und Erdgeschossflächen die Radonwerte gemessen werden. Beträgt die Konzentration von Radon an Arbeitsplätzen mehr als $300 \text{ Becquerel pro Kubikmeter}$, müssen Maßnahmen zur Reduzierung eingeleitet werden.

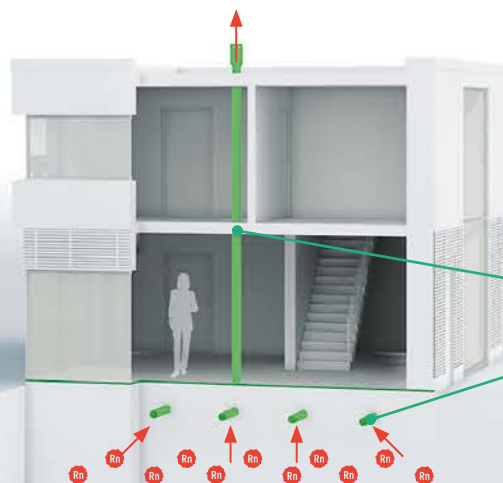
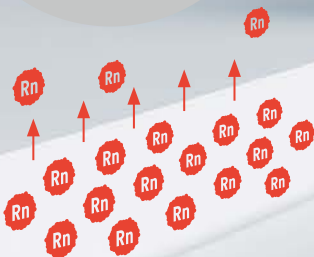
Anteil von Radon an der Jahresdosis durch natürliche Radioaktivität

Raumluft enthält durchschnittlich etwa fünfmal so viel Radon wie die Außenluft. Das spiegelt sich auch in den Mittelwerten der jährlichen effektiven Dosis der Bevölkerung durch Radon und seine Zerfallsprodukte wider. Jeder Mensch in Deutschland ist Strahlung ausgesetzt. Durch natürliche Strahlungsquellen ergibt sich eine Belastung von durchschnittlich $2,1 \text{ mSv pro Jahr}$. Im statistischen Mittel trägt Radon circa $0,9 \text{ mSv/a}$ dazu bei, wenn sich eine Person im Haus aufhält, und circa $0,2 \text{ mSv/a}$, wenn sie sich im Freien aufhält. Die jährliche Belastung durch Radon macht also rund die Hälfte der jährlichen Belastung durch natürliche Radioaktivität aus. Aufgrund natürlicher Gegebenheiten, zu denen zum Beispiel die geologischen Bedingungen an einem bestimmten Aufenthaltsort oder dessen Höhenlage gehören, ist die natürliche Strahlenbelastung einer Einzelperson sehr unterschiedlich und liegt in Deutschland zwischen circa 1 und 10 mSv/a .

Auch Baustoffe können je nach Material und Herkunft unterschiedliche Konzentrationen an Radium enthalten und Radon absondern. Der Beitrag der Baustoffe zur Radonkonzentration in Häusern ist in Deutschland von untergeordneter Bedeutung.

In der bodennahen Atmosphäre wird das Radon rasch verteilt. Die Radonkonzentration ist deshalb im Freien wesentlich niedriger als in Gebäuden.

Radondrainagen und Abdichtung der Bodenplatte schützen in Neubauten vor erhöhter Radonkonzentration und sollten vor allem in Gebieten mit erhöhtem Radonpotenzial zum Einsatz kommen.



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

Bergbau

Ein klassisches Beispiel für zivilisatorische Einwirkungen ist der Bergbau. In verschiedenen Regionen Deutschlands wurden bereits seit dem Mittelalter Erze wie zum Beispiel Silber abgebaut. Uranhaltiger Abraum wurde in Unkenntnis der Folgen in der Umgebung auf Halden gelagert.

Uranabbau

Nach dem zweiten Weltkrieg hat die ehemalige Sowjetunion in Sachsen und Thüringen Uranerz 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 zumeist auf bergbauliche Objekte und deren unmittelbare Umgebung beschränkt. Dies wurde in detaillierten Untersuchungen nachgewiesen. Seit 1991 werden 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.

Kohlekraftwerke

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 resultierende 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 Kernkraftwerken.

Dosis durch Höhenstrahlung auf ausgewählten Flugrouten in Millisievert

...New York 0,03 - 0,08



Flugreisen

Viele Reisen werden heute mit dem Flugzeug absolviert. Wegen der Abhängigkeit der Intensität der kosmischen Strahlung von der Höhe über dem Meeresspiegel werden Flugpassagiere und Besatzung einer erhöhten kosmischen Strahlung ausgesetzt. Diese hängt erheblich von der Flugroute und dem Zeitpunkt des Fluges ab. Da das Magnetfeld der Erde die kosmische Strahlung teilweise ablenkt, ist die Höhenstrahlung am Äquator geringer als über den Polen. Zusätzlich ändert sich die Höhenstrahlung mehr oder weniger regelmäßig mit dem etwa 11-jährigen Sonnenzyklus. Bei interkontinentalen Flügen auf einer Flughöhe von 12.000 m beträgt die Dosisleistung auf der Nordpolroute etwa 0,006 – 0,010 mSv/h, je nach Phase des Sonnenzyklus. Ein Flugpassagier erhält bei einem Flug von Frankfurt nach New York (9 Stunden Flugdauer, davon 8 Stunden in Reiseflughöhe) eine effektive Dosis von 30 – 80 µSv. Das bedeutet, dass Flugpassagiere, die auf dieser Route einmal im Jahr nach Nordamerika und zurück fliegen, eine zusätzliche Strahlenexposition von 5 bis 8 Prozent der mittleren jährlichen natürlichen Strahlendosis erhalten.

Hin- und Rückflug auf dieser Route bedeuten eine zusätzliche Strahlenexposition von circa 5 bis 8 Prozent der mittleren jährlichen natürlichen Strahlendosis.

Frankfurt...

...Rom < 0,01

...Gran Canaria
0,01 - 0,02

...Tokyo 0,05 - 0,11

...Rio de Janeiro 0,02 - 0,03

Die Schwankungsbreite geht hauptsächlich auf die Einflüsse von Sonnenzyklus und Flughöhe zurück.

Künstliche Strahlenquellen

Mit den Entwicklungen in Industrie, Forschung und Medizin hat sich der Mensch in zunehmendem Maße radioaktive Stoffe und ionisierende Strahlung nutzbar gemacht. Dadurch sind zu den natürlichen auch eine Reihe künstlicher Strahlenquellen hinzugekommen. Die Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung in der Medizin trägt den größten Anteil zur zivilisatorischen Strahlenexposition bei.





Medizin

Durch die Medizin, im Wesentlichen durch die diagnostische Anwendung der Röntgenstrahlung, kommt in den Industriestaaten zur durchschnittlichen natürlichen Strahlenexposition noch einmal ein ähnlich hoher Betrag hinzu. Dies sind statistische Durchschnittswerte, das heißt 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. Dabei handelt es sich insbesondere um ältere Personen und Patienten mit schweren Erkrankungen.

Röntgen

Röntgenuntersuchungen sind neben Sonographien (Ultraschalluntersuchungen) die am häufigsten eingesetzten Verfahren der bildgebenden Diagnostik in der Medizin. Die Verfahren der Röntgendiagnostik erfahren einen ständigen Entwicklungsprozess, der die Zahl der Röntgenuntersuchungen in den Industriestaaten stetig zunehmen lässt. In den zurückliegenden 10 Jahren ist die Anzahl der Röntgenuntersuchungen in Deutschland jedoch weitgehend unverändert. Heute werden hier schätzungsweise 135 Millionen Röntgenuntersuchungen pro Jahr durchgeführt, das heißt im Mittel etwa 1,7 Untersuchungen pro Einwohner.

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 zum Beispiel die Computertomographie (CT). In der Darstellung auf den folgenden Seiten sind typische Werte für die effektive Dosis bei einigen häufig durchgeführten Untersuchungsarten angegeben.

Die gelegentlich anzutreffende Auffassung, Röntgenstrahlung sammle 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 zum Teil deutlich darüber.

Nuklearmedizin

In der nuklearmedizinischen Diagnostik werden den Patientinnen und 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, zum Beispiel 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 sonstigen bildgebenden Diagnostik.

In Deutschland finden in der nuklearmedizinischen Diagnostik jährlich rund 3 Millionen Anwendungen bei ambulanten und stationären Patientinnen und Patienten statt, was einer Häufigkeit von etwa 35 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 1,7 mSv pro Person.

Früherkennung von Brustkrebs

Brustkrebs ist in Deutschland die fünft-häufigste Todesursache bei Frauen. Wird Brustkrebs frühzeitig erkannt, kann dies den Erfolg einer Therapie und damit die Überlebenswahrscheinlichkeit der Betroffenen erhöhen. Die Röntgenuntersuchung der Brust (Mammographie) gilt als effektive Methode zur Früherkennung von Brustkrebs. Daher wurde zwischen 2004 und 2009 in Deutschland bundesweit ein qualitätsgesichertes Mammographie-Screening-Programm (MSP) eingeführt. Frauen zwischen 50 und 69 Jahren erhalten hierzu alle zwei Jahre eine Einladung. Das übergeordnete Ziel eines MSP ist die nachhaltige Verringerung der Brustkrebsmortalität.

Kopf
0,03–0,06

Zahnaufnahme
< 0,01

Brustkorb (Thorax)
0,02–0,04

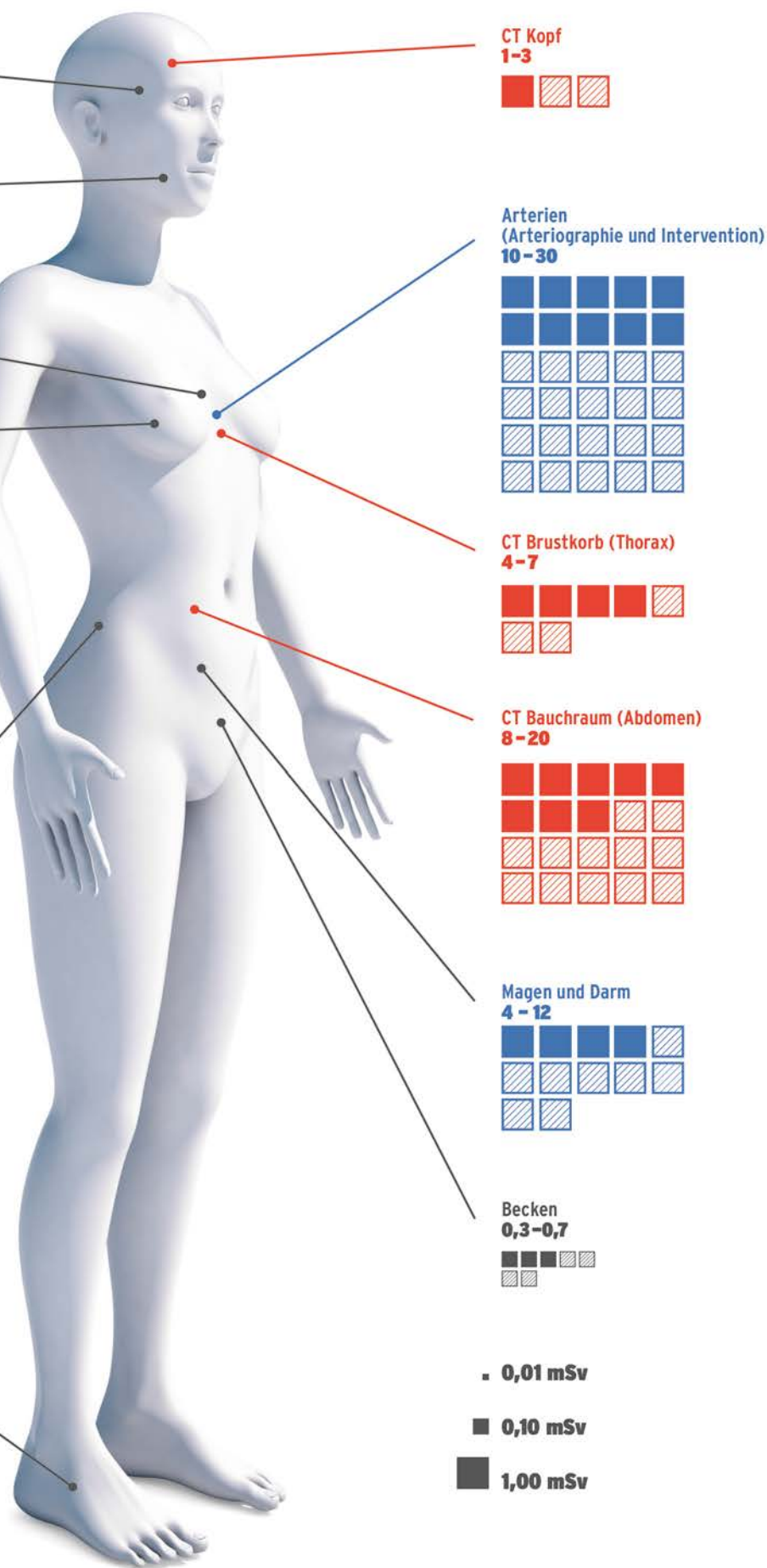
Mammographie
beidseits
in 2 Ebenen
0,2–0,4

Lendenwirbelsäule
in 2 Ebenen
0,6–1,1

Gliedmaßen
(Extremitäten)
< 0,01–0,1

■ Röntgenaufnahme
■ CT
■ Röntgenaufnahme und Durchleuchtung

**Typische Werte für die effektive Dosis bei Röntgenanwendungen
in mSv an Standard-Patienten mit circa 70 kg Körpergewicht**



Die Entscheidung, ob eine Röntgenuntersuchung durchgeführt werden soll, liegt bei der Ärztin und dem Arzt, die hierfür die spezielle Fachkunde besitzen. Sie haben zwischen dem diagnostischen Nutzen für Patientin oder Patient und dem möglicherweise damit verbundenen Strahlenrisiko abzuwägen.

Nutzen und Risiko

In dieser kritischen Abwägung, der sogenannten rechtfertigenden Indikation, die auch zu einer Ablehnung der Röntgenuntersuchung führen kann, liegt das größte Potenzial zur Einsparung von Röntgenuntersuchungen. Bei diesem Rechtfertigungsprozess ist in jedem 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. Dies beinhaltet auch die Frage, ob die gleiche oder eine gleichwertige Information auch mit einer sogenannten alternativen Untersuchungsmethode ohne die Anwendung von Röntgenstrahlen zu erhalten ist, wie zum Beispiel mit der Endoskopie, der Magnetresonanztomographie oder der Sonographie (Ultraschall).

Ist die rechtfertigende Indikation im Einzelfall gestellt, obliegt es dem fachkundigen medizinischem Personal, für eine optimierte Durchführung der Untersuchung zu sorgen. Das heißt, die Dosis wird so gering gehalten, wie dies mit den Erfordernissen der medizinischen Wissenschaft zu vereinbaren ist.

Kernenergie

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

Grenzwerte

Die Begrenzung der radioaktiven Ableitungen aus Kernkraftwerken 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 Kernkraftwerken ausgegangen, der innerhalb der Schwankungsbreite des natürlichen Strahlenspiegels liegt.

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

Notfallschutz

Bei schweren Unfällen mit gravierenden Folgen für Mensch und Umwelt können die strengen Grenzwerte für den bestimmungsgemäßen Betrieb einer Anlage nicht eingehalten werden. Durch geeignete Schutzmaßnahmen wie zum Beispiel Evakuierungen, das Verbleiben in Häusern oder die Einnahme von Jodtabletten ist dann die Dosis soweit zu begrenzen, dass akute Strahlenschäden sicher vermieden werden und das statistische Risiko von Spätfolgen (Krebserkrankungen) so niedrig wie möglich gehalten wird. Dabei ist aber immer auch abzuwägen, dass die Schutzmaßnahmen, wie im Falle einer Evakuierung, gravierende Eingriffe in das Leben der betroffenen Menschen darstellen oder, wie im Fall der Einnahme von Jodtabletten, auch gesundheitliche Nebenwirkungen haben.

Um alle diese Aspekte vorsorgend abzuwägen, entwickeln die zuständigen Behörden szenarienspezifische Schutzstrategien. Diese stellen sicher, dass die Exposition der Bevölkerung über alle Expositionswege unterhalb eines definierten Referenzwertes liegt. Dieser Referenzwert ist höher als der oben dargestellte Grenzwert für den Routinebetrieb, weil er immer eine Abwägung zwischen Nutzen und Schaden von Gegenmaßnahmen darstellt. Auch hier gilt das Minimierungsgebot. Referenzwerte müssen im Verlauf eines Unfalles immer der Situation angepasst werden und so niedrig sein, wie es vernünftigerweise möglich ist.

Transporte

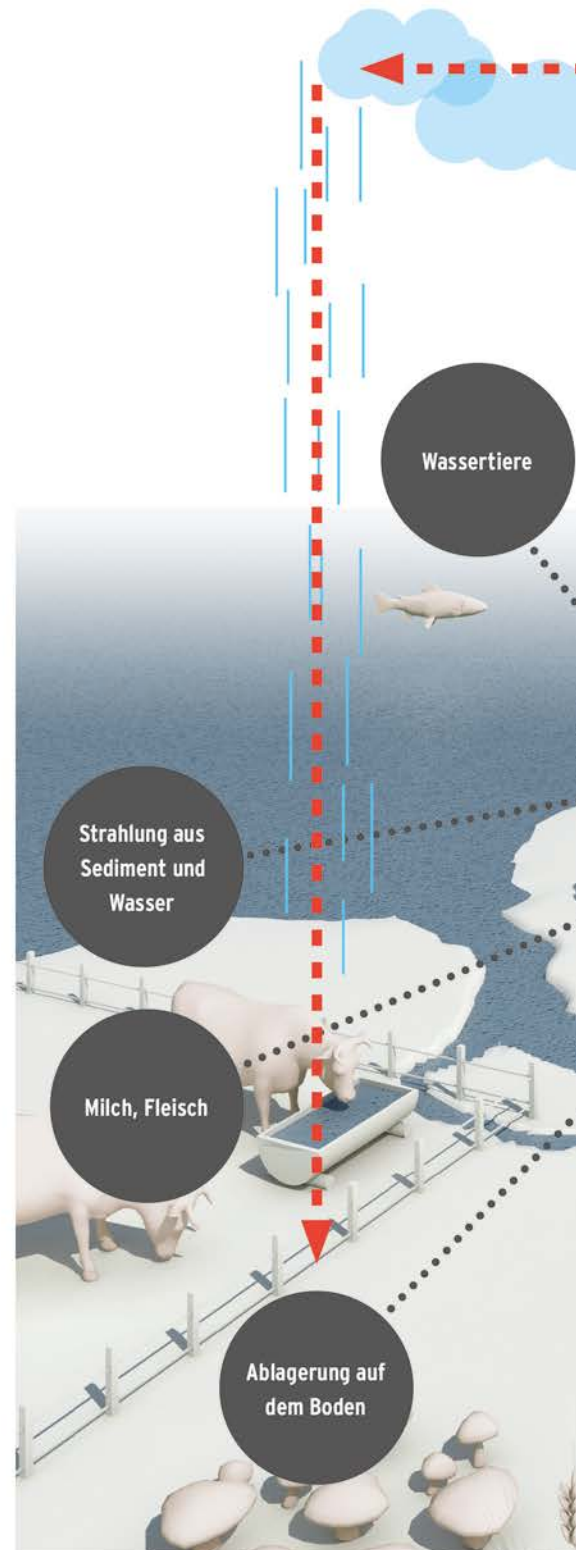
Bei der Kernenergienutzung, aber auch im Rahmen der Anwendung radioaktiver Stoffe in Medizin, Forschung und Technik sind Transporte radioaktiver Stoffe unerlässlich. In der Bundesrepublik Deutschland werden jährlich etwa 450.000 Versandstücke mit radioaktivem Material befördert.

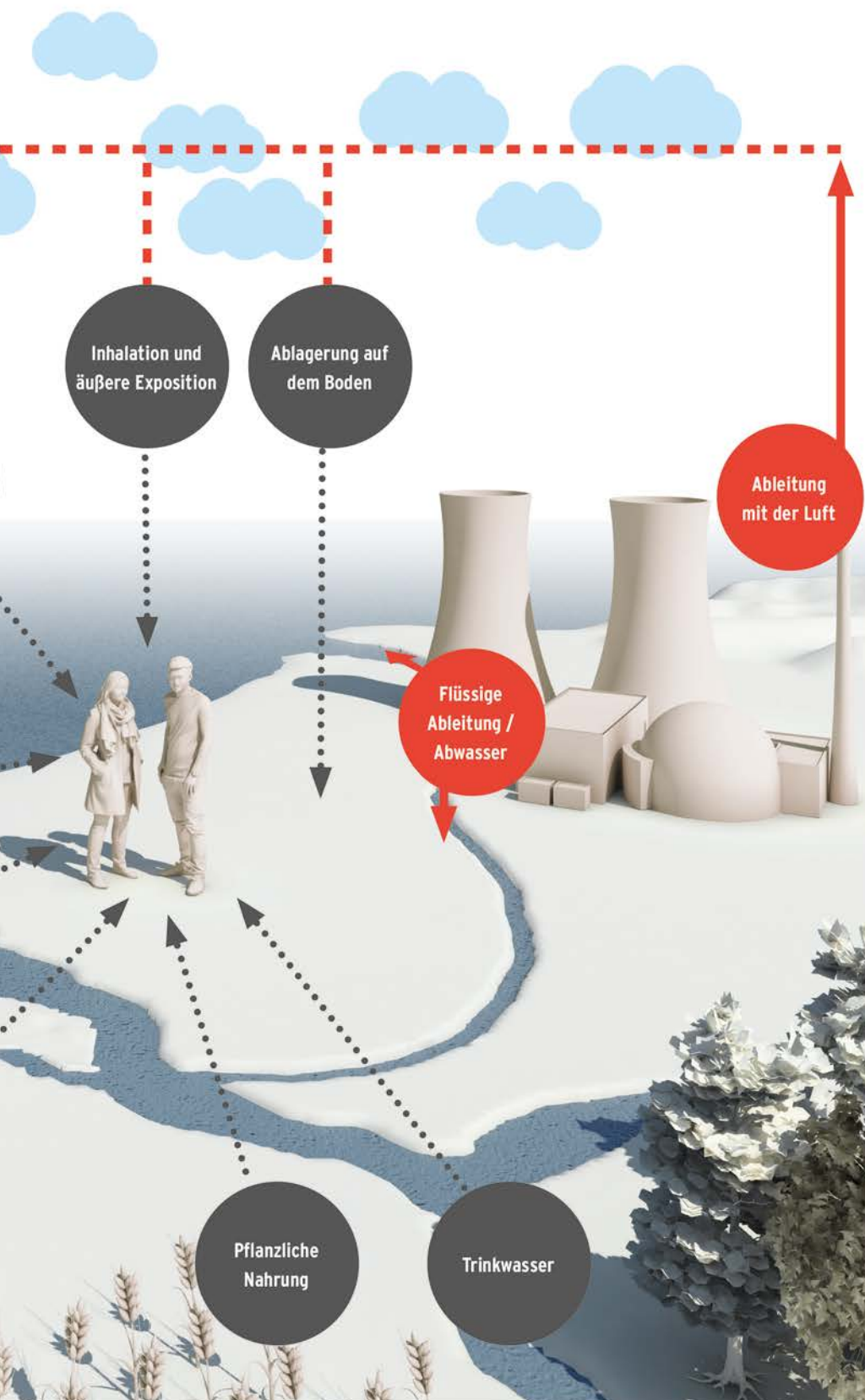
Im Mittelpunkt öffentlichen Interesses stehen seit einigen Jahren Transporte von hochradioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung und von Brennelementen aus deutschen Kernkraftwerken, die in Behältern der höchsten Sicherheitskategorie, den sogenannten CASTOR-Behältern, durchgeführt werden. Messungen haben ergeben, dass Personen, die sich zum Beispiel 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 zusätzlichen Strahlenexposition von 0,0001 mSv ausgesetzt sind.

Fallout 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 (Sr-90) und Cäsium-137 (Cs-137) auch heute noch in der Umwelt vorhanden. Die mittlere effektive Dosis durch den Fallout der Kernwaffenversuche lag im Jahr 2015 unter 0,01 mSv.

Expositionspfade radioaktiver Stoffe in der Umgebung eines Kernkraftwerkes





Kein Kernkraftwerk kann ohne Auswirkungen auf die Umwelt betrieben werden. Technologisch bedingt gelangen geringe Mengen radioaktiver Stoffe über den Kamin in die Luft oder werden über das Abwasser an die Umgebung abgegeben. Die unterschiedlichen Wege, sogenannte Expositionspfade, über die radioaktive Stoffe zu einer Strahlenexposition des Menschen führen können, sind in der Abbildung dargestellt.

Tschernobyl

Am 26. April 1986 ereignete sich im Kernkraftwerk Tschernobyl in der damaligen Sowjetunion die in der Geschichte der 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.

Auswirkungen in Deutschland

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 Becquerel pro Quadratmeter (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 (Sr-90) oder Plutonium-239 (Pu-239) abgelagert. Vor allem Radiocäsium und Jodisotope wurden über weite Strecken transportiert. Für die auf die Katastrophe von Tschernobyl zurückzuführende Strahlenexposition ist in Europa heute nur noch das langlebige Cäsium-137 von Bedeutung.

Panorama der verlassenen Stadt Prypjat in der Region Tschernobyl. Rechts im Hintergrund das Kernkraftwerk.



Der Unfall 2011 im japanischen Fukushima hatte hingegen keine Auswirkungen auf das Strahlungsniveau in Deutschland. Nach diesem Unfall in einem Kernkraftwerk westlicher Bauart wurden in Deutschland der nukleare Notfallschutz umfassend überprüft und Verbesserungen eingeleitet. Wichtige Erkenntnis war, dass auch nach Abschalten der deutschen Kernkraftwerke der Bedarf für einen effektiven Notfallschutz in Deutschland fortbesteht, zum Beispiel aufgrund der Vielzahl von Kernkraftwerken im benachbarten Ausland.

Kontamination in Lebensmitteln

Die Cäsium-137-Kontamination von landwirtschaftlichen Erzeugnissen liegt heute im Allgemeinen im Bereich von weniger als einem Becquerel pro Kilogramm (Bq/kg) Frischmasse. Im Vergleich zu landwirtschaftlichen Produkten sind wild wachsende Pilze, Beeren und Wildbret höher kontaminiert. Wegen des spezifischen Nährstoffkreislaufs in Waldökosystemen 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 Cäsium-137 einer Strahlen-

exposition von rund einem Millisievert entspricht. Eine Pilzmahlzeit von 200 Gramm höher kontaminierter Maronnröhrlinge aus Südbayern mit etwa 4.000 Bq/kg Cäsium-137 hätte beispielsweise eine Dosis von 0,01 mSv zur Folge. Bei weniger kontaminierten Pilzen wird dieser Wert erst nach mehreren Mahlzeiten erreicht. 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.



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 (DNA) der lebenden Zelle verändert oder zerstört. Zellverluste oder Veränderungen in einzelnen 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, durch Absterben der Zelle sowie durch 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:

Deterministische Strahlenwirkungen

Sie können direkt auf eine bestimmte Strahlenexposition zurückgeführt werden. Deterministische Strahlenwirkungen setzen relativ hohe Strahlungs Dosen voraus und treten sofort oder innerhalb weniger Wochen nach der Exposition auf. So zum Beispiel bei den Mitarbeitern der verunglückten Reaktoren von Tschernobyl oder Fukushima. 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 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.

Dosisschwellenwert:

Mindestdosis, oberhalb derer ein deterministischer Strahlenschaden auftreten kann.

Stochastische Strahlenwirkungen

Sie 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.

Dosisgrenzwert:

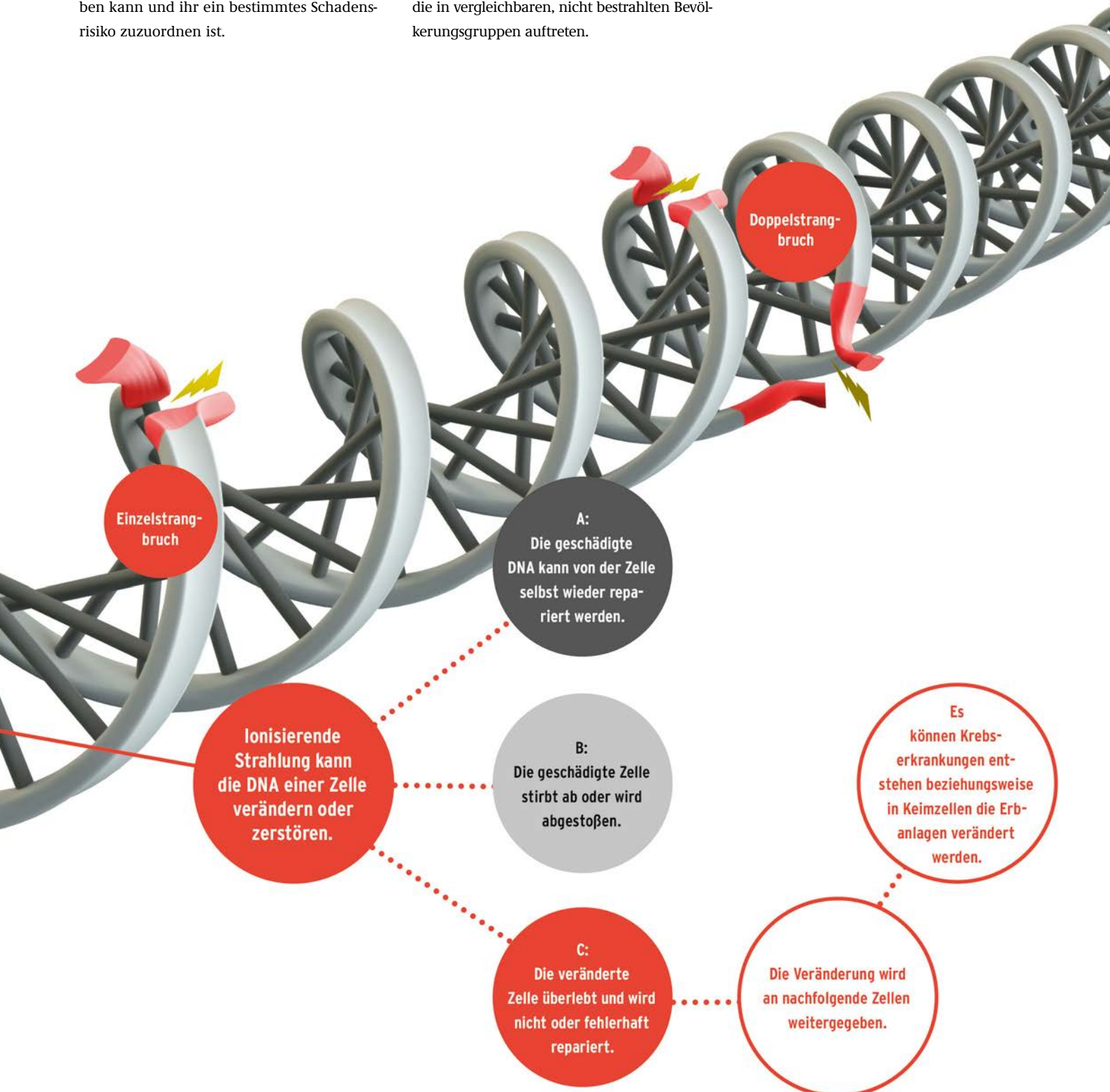
Für den Strahlenschutz festgelegter Höchstwert einer Dosis, der nicht überschritten werden darf.



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 mSv). Dabei greift man auf grundsätzliche strahlenbiologische Überlegungen zurück und nimmt an, dass auch die kleinste Strahlendosis eine stochastische Wirkung haben kann und ihr ein bestimmtes Schadensrisiko zuzuordnen ist.

Deshalb wird selbst für kleinste Schadensrisiken, denen große Personengruppen ausgesetzt sind, eine geringe Anzahl von Spätschäden, zum Beispiel Krebserkrankungen, abgeschätzt. 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 spontan auftretenden Krebserkrankungen unterschieden werden, die in vergleichbaren, nicht bestrahlten Bevölkerungsgruppen auftreten.

Die medizinische Statistik gibt an, dass in Deutschland etwa jeder vierte Todesfall auf eine spontan auftretende Krebserkrankung zurückzuführen ist. Das Auftreten von strahlenbedingten Krebsfällen kann nur mit statistischen Methoden in großen Personengruppen festgestellt werden, nicht jedoch bei Einzelpersonen am Krankheitsbild.



Angewandter Strahlenschutz

In der Medizin, der Industrie, bei der Energieerzeugung und im Bereich der Forschung werden radioaktive Stoffe und ionisierende Strahlung auf vielfältige Weise angewendet. Jede Anwendung kann der vorhandenen natürlichen Strahlenexposition eine zivilisatorisch bedingte Strahlenexposition hinzufügen. Die Maßnahmen des Strahlenschutzes haben das Ziel, den Schutz des Menschen vor der schädigenden Wirkung der ionisierenden Strahlung zu gewährleisten, ohne dass Anwendungen, die zu einer Strahlenexposition führen könnten, mehr als notwendig eingeschränkt werden. Das System des Strahlenschutzes beruht dabei auf folgenden allgemeinen Prinzipien, die im neuen Strahlenschutzgesetz verankert sind:

Rechtfertigung

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.

Optimierung und Minimierung

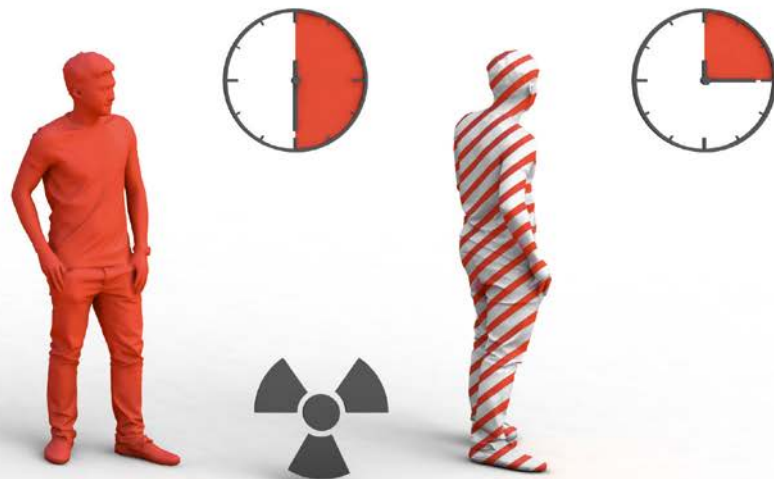
Ist eine Anwendung gerechtfertigt, muss ihre Durchführung optimiert werden. Dabei wird gefordert, dass alle dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechenden Maßnahmen ausgeschöpft werden, um das Schadensrisiko für den Einzelnen und die Bevölkerung zu minimieren. Der Strahlenschutz geht dabei weltweit nach dem „ALARA-Prinzip“ vor. ALARA steht für „As Low As Reasonably Achievable“. Dies bedeutet, die Strahlenexposition muss durch sinnvolle und vernünftige Maßnahmen so gering wie möglich gehalten werden.

Der Mensch kann einer Strahlenexposition auf unterschiedliche Weise ausgesetzt sein. Befindet sich eine Strahlenquelle außerhalb des menschlichen Körpers, wie zum Beispiel das Röntgengerät bei einer röntgendiagnostischen Untersuchung, erfolgt eine äußere Strahlenexposition.

Wurden jedoch Radionuklide mit der Nahrung oder über die Atemluft in den Körper aufgenommen, man spricht dann von einer Inkorporation, erfolgt eine innere Strahlenexposition. Je nach konkretem Fall werden unterschiedliche Varianten der Optimierung angewendet. Die Röntgenassistentin 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 durch eine Reihe von Maßnahmen dafür Sorge getragen werden, dass die Aktivität von Radionukliden in der Umwelt des Menschen ein bestimmtes Maß nicht übersteigt, so zum Beispiel in Luft, Wasser oder Nahrungsmitteln.

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

1. Beschränkung der Aufenthaltsdauer in einem Strahlungsfeld
Halbe Aufenthaltszeit reduziert die Strahlenbelastung auf die Hälfte.



AUFENTHALTSDAUER

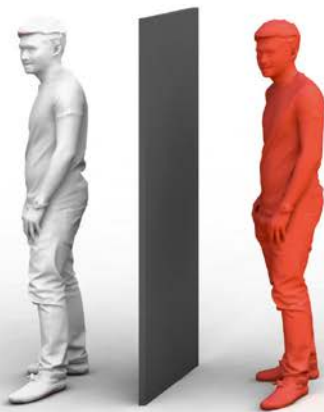
3. Verwendung einer möglichst geringen Aktivität der Strahlenquelle bei einer bestimmten Anwendung



AKTIVITÄT

2.
Abschirmung der
Strahlung durch geeignete
Materialien

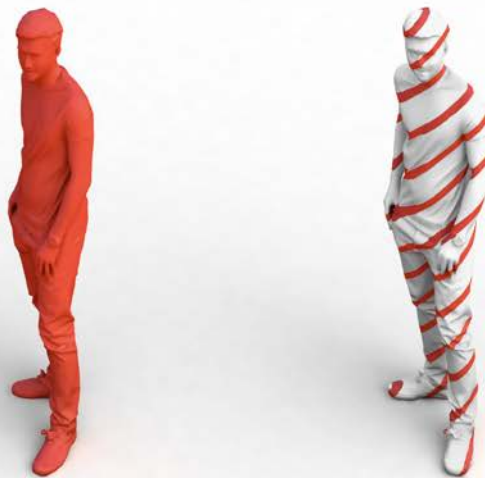
Alphastrahlung kann Papier nicht durchdringen, Betastrahlung wird durch Metall vollständig abgeschirmt. Gammastrahlung lässt sich zum Beispiel durch Blei abschirmen.



ABSCHIRMUNG

4.
Einhaltung eines
sicheren Abstandes zur
Strahlenquelle

Doppelter Abstand reduziert die Strahlenbelastung auf ein Viertel.



ABSTAND

Dosisgrenzwerte werden oft fälschlicherweise als Trennlinie zwischen „gefährlicher“ und „ungefährlicher“ Strahlenexposition angesehen.

Im Strahlenschutz wird jedoch davon ausgegangen, dass jede Strahlendosis gesundheitsgefährdend sein kann. So treffen Grenzwerte lediglich eine Aussage darüber, welches Risiko die Gesellschaft für einen bestimmten Nutzen in Kauf nimmt.

Bedeutung der Grenzwerte

Die Wirksamkeit der Strahlenschutzmaßnahmen wird sichergestellt, indem die Einhaltung festgelegter Dosisgrenzwerte für die Exposition von Personen kontrolliert wird. Eine Überschreitung des Grenzwertes bedeutet, dass das radiologische Risiko bei fortdauernder Exposition für den Betroffenen unter normalen Umständen nicht mehr akzeptiert werden kann. Der Strahlenschutz geht auch unterhalb der Dosisgrenzwerte von der Annahme aus, dass ein geringes radiologisches Risiko für den Einzelnen besteht. Nach dem ALARA-Prinzip ist es deshalb nicht ausreichend, 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.

Gesetze und Verordnungen im Strahlenschutz

Im Zuge der Umsetzung der Richtlinie 2013/59/Euratom wurde das deutsche Strahlenschutzrecht umfassend novelliert. Alle Bereiche zum Schutz vor ionisierender Strahlung sind jetzt systematisch in einem Strahlenschutzgesetz sowie in konkretisierenden Regelungen auf Verordnungsebene zusammengefasst. Die wichtigsten gesetzlichen Regelungen für den Schutz vor ionisierender Strahlung in der Bundesrepublik Deutschland sind:

Das Strahlenschutzgesetz (StrlSchG)

Das Strahlenschutzgesetz regelt die wesentlichen und grundrechtsrelevanten Aspekte des Strahlenschutzes zum Schutz des Menschen und, soweit es um den langfristigen Schutz der menschlichen Gesundheit geht, der Umwelt vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung. Um jede unnötige Strahlenexposition zu vermeiden, enthält das Strahlenschutzgesetz unter anderem die Strahlenschutzgrundsätze, Genehmigungs- und Anzeigatbestände und Grenz- und Referenzwerte.

Werden in Folge eines Notfalls erhöhte Radionuklidkonzentrationen freigesetzt, trifft das Gesetz Regelungen mit dem Ziel eines wirksamen und koordinierten Schutzes der Bevölkerung und der Einsatzkräfte im In- und Ausland. Bei den sogenannten bestehenden Expositionssituationen erfasst das Strahlenschutzgesetz unter anderem die Radon-Problematik und trifft erstmals Regelungen, die den Menschen vor Radon in Innenräumen schützen.

Die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV)

Die Strahlenschutzverordnung ergänzt und konkretisiert die Vorgaben des Strahlenschutzgesetzes.

Mit Inkrafttreten der neuen Strahlenschutzverordnung am 31.12.2018 sind die bis dahin geltende Strahlenschutzverordnung sowie die Röntgenverordnung nicht mehr gültig.

Überwachung
der Umweltradioaktivität
durch ein integriertes
Mess- und Informationssystem
(IMIS-Messnetz)

3. EBENE
Entscheidungs-
und Informations-
ebene

Parlament, Öffentlichkeit

Bundesumweltministerium

Internationale
Organisationen

2. EBENE
Zusammenführen,
Auswerten,
Aufbereiten
von Datensätzen

Bundesamt für Strahlenschutz
(Zentralstelle des Bundes)

Leitstellen

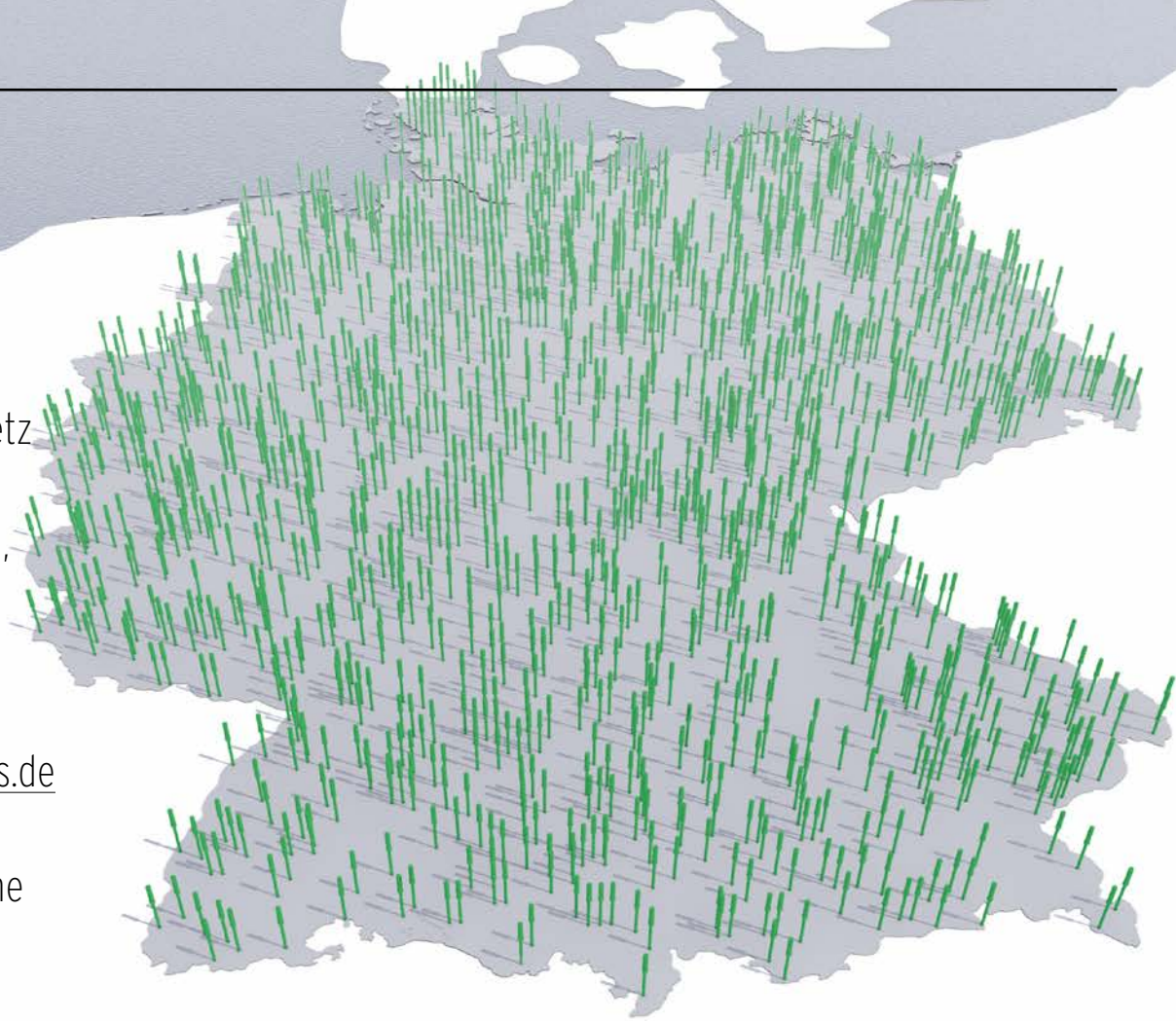
1. EBENE
Datenerhebung

Bundes-Messnetze

Mobile Einheiten

Messlabors der Länder

Das ODL-Messnetz besteht aus 1.800 ortsfesten, automatisch arbeitenden Messstellen. Unter odlinfo.bfs.de lassen sich die Messdaten online abrufen.



Serviceangebote zur Überwachung der Strahlenexposition

Für Institutionen, für Einzelpersonen der Bevölkerung und für beruflich strahlenexponierte Personen bietet das Bundesamt für Strahlenschutz neben Auskunft und Beratung verschiedene Serviceleistungen an.

1. Biologische Dosimetrie

Biologische Dosimetrie ist eine international anerkannte Methode, um nach einer vermuteten erhöhten Strahlenexposition eine Dosis abzuschätzen. Im Gegensatz zur physikalischen erfasst man bei der biologischen Dosimetrie nicht die Dosis selbst. Stattdessen wird untersucht, wie diese Dosis auf Zellebene wirkt. Die individuelle Strahlenempfindlichkeit wird hierbei berücksichtigt. Im zytogenetischen Labor des Bundesamts für Strahlenschutz in Neuherberg können Personen, die tatsächlich oder vermutlich einer erhöhten Dosis ausgesetzt waren, unter bestimmten Gegebenheiten diese Dosis mithilfe der biologischen Dosimetrie abschätzen lassen.

2. Inkorporationsüberwachung

Die Aufgabe der Inkorporationsüberwachung ist es, nachträglich festzustellen, ob von den in einem Strahlenschutzbereich Beschäftigten radioaktive Stoffe inkorporiert worden sind. Anhand der Überwachungsdaten werden die Aktivitätszufuhr und die daraus resultierende Körperdosis ermittelt. Das Informations- und Beratungsspektrum umfasst dabei sowohl die Aktivitätsbestimmung im jeweiligen Medium (Körper, Urin, Stuhl usw.) als auch die zugehörige Dosisermittlung. Die für die Ermittlung der Körperdosis bei innerer Strahlenexposition üblichen Überwachungsverfahren zur Bestimmung der zugeführten Aktivität sind:

In-vivo-Verfahren: Bestimmung der Aktivität im Körper oder in den Organen; In-vitro-Verfahren: Bestimmung der Aktivitätskonzentration in den Ausscheidungen; Raumluft-Messungen: Bestimmung der Aktivitätskonzentration in der Luft am Arbeitsplatz.

3. ODL-Messung

Als eine der wichtigsten Messeinrichtungen betreibt das Bundesamt für Strahlenschutz auf Grundlage des Strahlenschutzvorsorgegesetzes (StrVG) ein bundesweites Messnetz zur großräumigen Ermittlung der äußeren Strahlenbelastung durch kontinuierliche Messung der Gamma-Ortsdosisleistung (ODL). Das ODL-Messnetz besteht aus 1.800 ortsfesten, automatisch arbeitenden Messstellen, die flächendeckend in einem Grundraster von rund 20 km x 20 km über Deutschland verteilt sind. In einem Radius von 25 Kilometern beziehungsweise 100 Kilometern um kerntechnische Anlagen ist das Netz dichter angelegt. Die Messdaten lassen sich unter odlinfo.bfs.de online abrufen. Das ODL-Messnetz besitzt eine wichtige Frühwarnfunktion, um erhöhte radioaktive Kontaminationen in der Luft in Deutschland schnell zu erkennen. Die Sonden können bei Bedarf alle 10 Minuten abgefragt werden. Dadurch können die Fachleute des Bundesamtes für Strahlenschutz bei einem Unfall die Ausbreitung von radioaktiven Schadstoffen nahezu in Echtzeit verfolgen und dadurch rechtzeitig gezielte Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung einleiten.



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 mehrere Jahre gemittelt sind.

Natürliche Strahlenquellen

Die effektive Dosis, die aus allen natürlichen Strahlenquellen resultiert, beträgt im Mittel etwa 2,1 mSv/a. Neben der kosmischen Komponente von 0,3 mSv/a und der terrestrischen Komponente von 0,4 mSv/a trägt die Aufnahme natürlicher radioaktiver Stoffe mit der Nahrung 0,3 mSv/a zur Strahlenexposition bei. Auch ein Teil der Exposition durch die radioaktiven Edelgase Radon und Thoron sowie ihre kurzlebigen Folgeprodukte von etwa 1,1 mSv/a ist unvermeidbar.

Künstliche Strahlenquellen

Die effektive Dosis der zivilisatorischen Strahlenexposition liegt in Deutschland bei etwa 1,8 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 Kernkraftwerke und sonstige kerntechnische Anlagen zur mittleren effektiven Dosis der Bevölkerung liegt unter einem Prozent der zivilisatorischen Strahlenexposition.

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





In Deutschland gibt es circa 440.000 beruflich strahlenexponierte Personen, von denen etwa 290.000 im medizinischen Bereich tätig sind (2016).

Berufliche Strahlenexposition

Personen, bei denen aus beruflichen Gründen die Möglichkeit einer erhöhten Strahlenexposition durch äußere Bestrahlung besteht, werden in der Regel mit Personendosimetern überwacht.

Der größte Teil dieser überwachten Personen (85 Prozent) erhält keine messbare Strahledosis. Bei den verbleibenden Personen beträgt die mittlere Jahrespersonendosis rund 0,5 mSv. Dies ist weniger als 3 Prozent 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. Dies gilt für circa 40.000 Personen, deren Jahresdosis anhand der geflogenen Routen mit speziellen Rechenprogrammen für die Flugdosimetrie ermittelt wird. 2014 betrug die mittlere Jahresdosis des Cockpit- und Kabinenpersonals 1,9 mSv.

Strahlendosen im Vergleich

0,0001 mSv

Im Jahr:
Falsche Zähne
oder Kronen



Pro Tag:
Aufenthalt in
Gebäuden



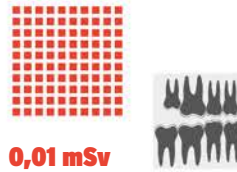
0,0022 mSv

Pro Tag:
Zusätzliche
Belastung auf
der Zugspitze



0,0024 mSv

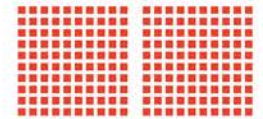
Pro Tag:
Natürlicher
Strahlungshintergrund
in Deutsch-
land auf
Meeresniveau



0,01 mSv

Eine Röntgenauf-
nahme der Zähne

Im Jahr:
Rechnerisch ermit-
telte Größenord-
nung der jährlichen
Höchstdosis der
Bevölkerung in
Deutschland durch
Kernkraftwerke im
Normalbetrieb



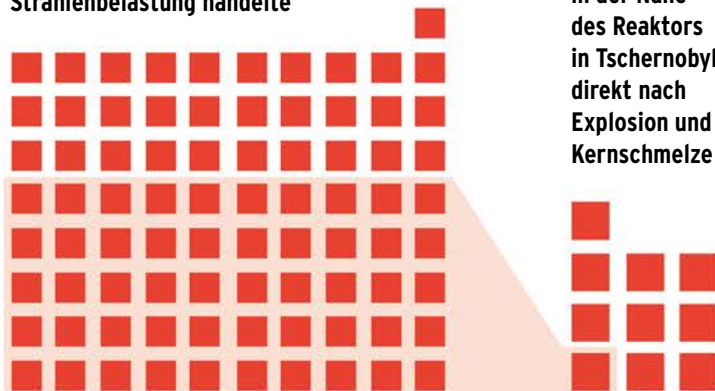
0,02 mSv

Im Jahr:
Neben einem
Partner
schlafen



>8.000 mSv

Ohne entsprechende medizinische
Behandlung bestehen nur geringe
Überlebenschancen, wenn es sich
um eine in kurzer Zeit erfahrene
Strahlenbelastung handelte



50.000 mSv

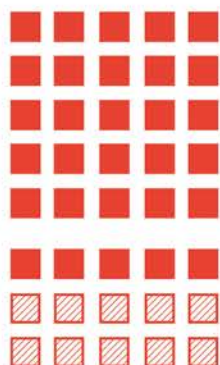
Zehn Minuten
in der Nähe
des Reaktors
in Tschernobyl
direkt nach
Explosion und
Kernschmelze



0,0001 mSv 0,1 mSv 100 mSv 5.000 mSv

3.000 – 4.000 mSv

Ohne medizinisches Eingreifen
sterben bei dieser Dosis
50 Prozent der exponierten
Personen nach 3-6 Wochen,
wenn es sich um eine in kurzer
Zeit erfahrene Strahlen-
belastung handelte (LD50)



500 mSv

Bei akuter Exposition
treten ab dieser
Schwellendosis Haut-
rötungen auf



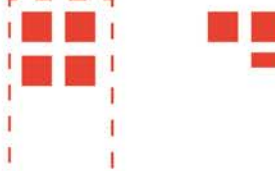
1.000 mSv

Bei dieser Dosis treten
in einer Bevölkerungs-
gruppe etwa 10 Prozent
zusätzliche Krebs- und
Leukämiefälle auf



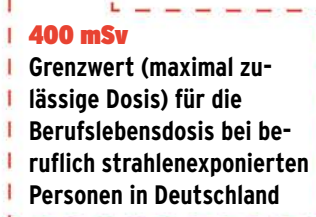
250 mSv

Beim Einsatz lebensrettender Maßnahmen
oder zur Vermeidung großer Katastrophen in
Deutschland sollte die Dosis für eine Person
diesen Wert nicht überschreiten.



400 mSv

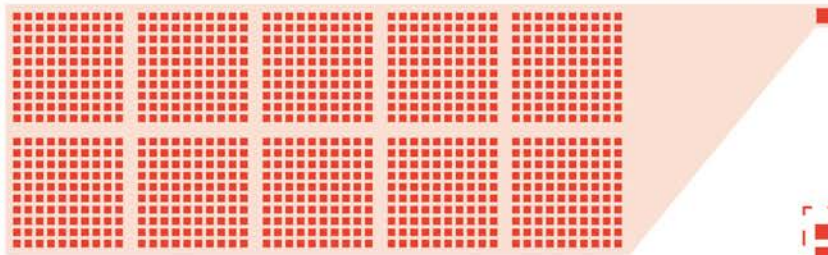
Grenzwert (maximal zu-
lässige Dosis) für die
Berufslbensdosis bei be-
ruflich strahlenexponierten
Personen in Deutschland



100 mSv

Bei dieser Dosis treten
in einer Bevölkerungs-
gruppe etwa 1 Prozent
zusätzliche Krebs- und
Leukämiefälle auf





bis zu 0,1 mSv

Dosis durch Höhenstrahlung bei einem Flug von München nach Japan



0,11 mSv

Im Jahr:
Rauchen von
20 Zigaretten
täglich.



1 mSv

Grenzwert (maximal zulässige Dosis) für die jährliche Strahlenexposition einer Person der Normalbevölkerung aus Tätigkeiten, unter anderem aus dem Betrieb kerntechnischer Anlagen in Deutschland



1,4 mSv

Tagesdosis am Rand der 20-km-Sperrzone um das Kraftwerk Fukushima (5.4.2011)

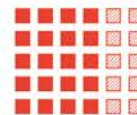


1,9 mSv

Durchschnittliche jährliche Dosis einer Person in Deutschland aus künstlichen Quellen, vornehmlich Medizin

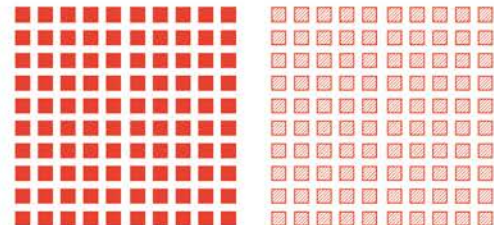
2-3 mSv

Durchschnittliche jährliche Strahlenexposition der Bevölkerung in Deutschland aus natürlichen Quellen



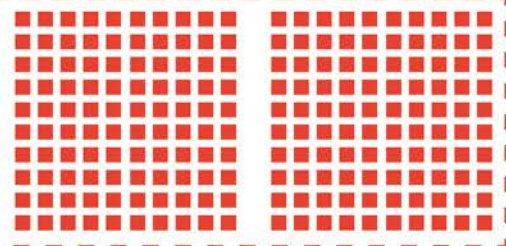
10-20 mSv

Dosisbereich für eine Ganzkörper-Computertomographie eines Erwachsenen



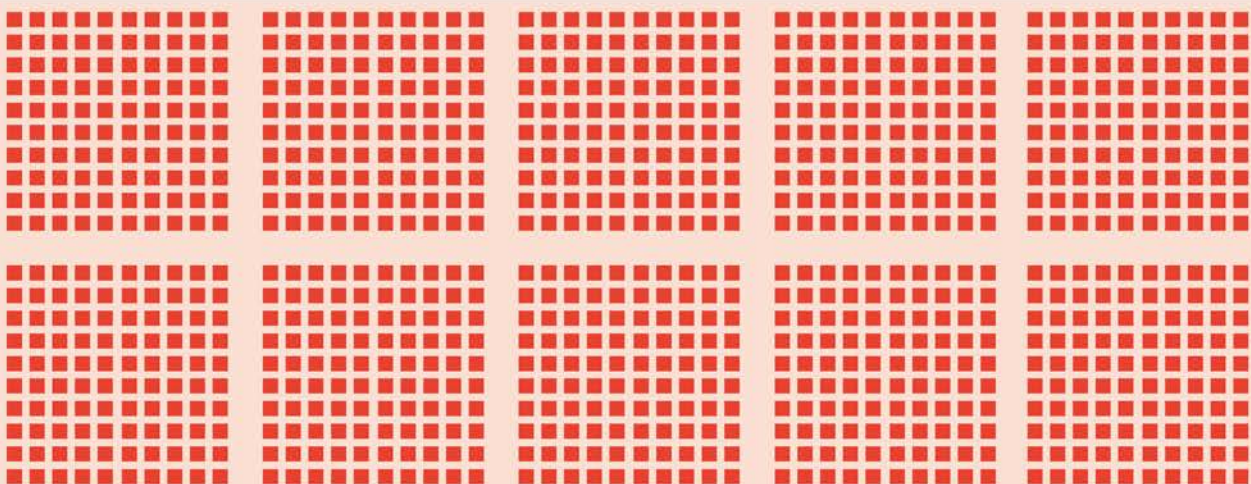
20 mSv

Grenzwert (maximal zulässige Dosis) der jährlichen Strahlenexposition für beruflich strahlenexponierte Personen in Deutschland



100 mSv

Unterer Schätzwert Schwellendosis für Schädigungen des Ungeborenen



Nichtionisierende Strahlung

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



Der Strahlenschutz betrifft neben der ionisierenden Strahlung auch die nichtionisierende Strahlung, insbesondere die ultraviolette Strahlung und den großen Bereich der elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Felder. 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 Weiterentwicklung der Strahlenschutzgrundsätze im Bereich der optischen Strahlung sollte Grenzwerte einführen und die Grundsätze Rechtfertigung, Minimierung/Optimierung, ähnlich wie im Bereich der ionisierenden Strahlung, 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 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 einen möglichen Zusammenhang zwischen Magnetfeldbelastungen und

dem Risiko für bestimmte Erkrankungen – speziell dem Risiko für Leukämie bei Kindern – untersuchte. Eine Bestätigung dieser Ergebnisse erfolgte im Jahr 2000 durch die sogenannte „Michaelisstudie“, gefolgt durch eine gemeinsame Auswertung von mehreren weltweit durchgeführten Studien zu dieser Thematik.

Die Internationale Agentur für Krebsforschung (International Agency for Research on Cancer; 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 geringfügiges Krebsrisiko darstellen. Diese Einstufung wurde in einer Bewertung durch die Weltgesundheitsorganisation (World Health Organization; WHO) im Jahr 2008 bestätigt.

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.

Beispiel Mobilfunk

Im Jahr 1992 begann in Deutschland die rasante Ausbreitung des Mobilfunks. Heutzutage nutzt fast jeder ein oder sogar mehrere Handys. Das Bundesamt für Strahlenschutz hat in den Jahren 2001–2008 das Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm (DMF) durchgeführt, um mögliche gesundheitliche Auswirkungen des Mobilfunks zu untersuchen. Es wurde festgestellt, dass nach dem aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch hochfrequente Felder des Mobilfunks zu erwarten sind, solange Grenzwerte eingehalten werden. Allerdings gibt es weiterhin noch Unsicherheiten hinsichtlich möglicher langfristiger Wirkungen. Aufgrund von Hinweisen aus Beobachtungsstudien an Menschen auf einen möglichen Zusammenhang zwischen Hirntumoren und einer langjährigen sehr intensiven Handynutzung hat die IARC im Jahr 2011 hochfrequente elektromagnetische Felder ebenfalls als möglicherweise krebserregend eingestuft. Im wissenschaftlichen Sinn nachgewiesen ist dies aber nicht, da nicht klar ist, ob es sich um einen ursächlichen Zusammenhang handelt.

Strahlungsarten

Aus dem Blickwinkel des Strahlenschutzes sind die verschiedenen Typen nicht-ionisierender 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 sogenannten „elektromagnetischen Spektrum“ in drei Hauptbereiche einteilen, die jedoch fließende Übergänge aufweisen. Statische Felder, wie zum Beispiel das Erdmagnetfeld, werden oft zusammen mit niederfrequenten Feldern betrachtet. Niederfrequente Felder treten überall dort auf, wo elektrische Energie erzeugt, transportiert oder angewendet wird. Daran schließt sich der hochfrequente Strahlungsbereich an, der unter anderem den Mobilfunkbereich oder die Funkfelder der Rundfunk- und Fernsehtechnik enthält. Die optische Strahlung umfasst die ultraviolette Strahlung, das Licht und die Infrarot-Strahlung (Wärmestrahlung). Im Weiteren werden die Hauptbereiche der nichtionisierenden Strahlung näher vorgestellt und die grundlegenden Festlegungen im Strahlenschutz begründet.

Im hochfrequenten Strahlungsbereich befinden sich der Mobilfunk und die Funkfelder der Rundfunk- und Fernsehtechnik.

Statische Felder umgeben uns in Form von elektrischen Feldern und dem Erdmagnetfeld.

Die optische Strahlung umfasst die ultraviolette Strahlung, das Licht und die Infrarot-Strahlung (Wärmestrahlung).

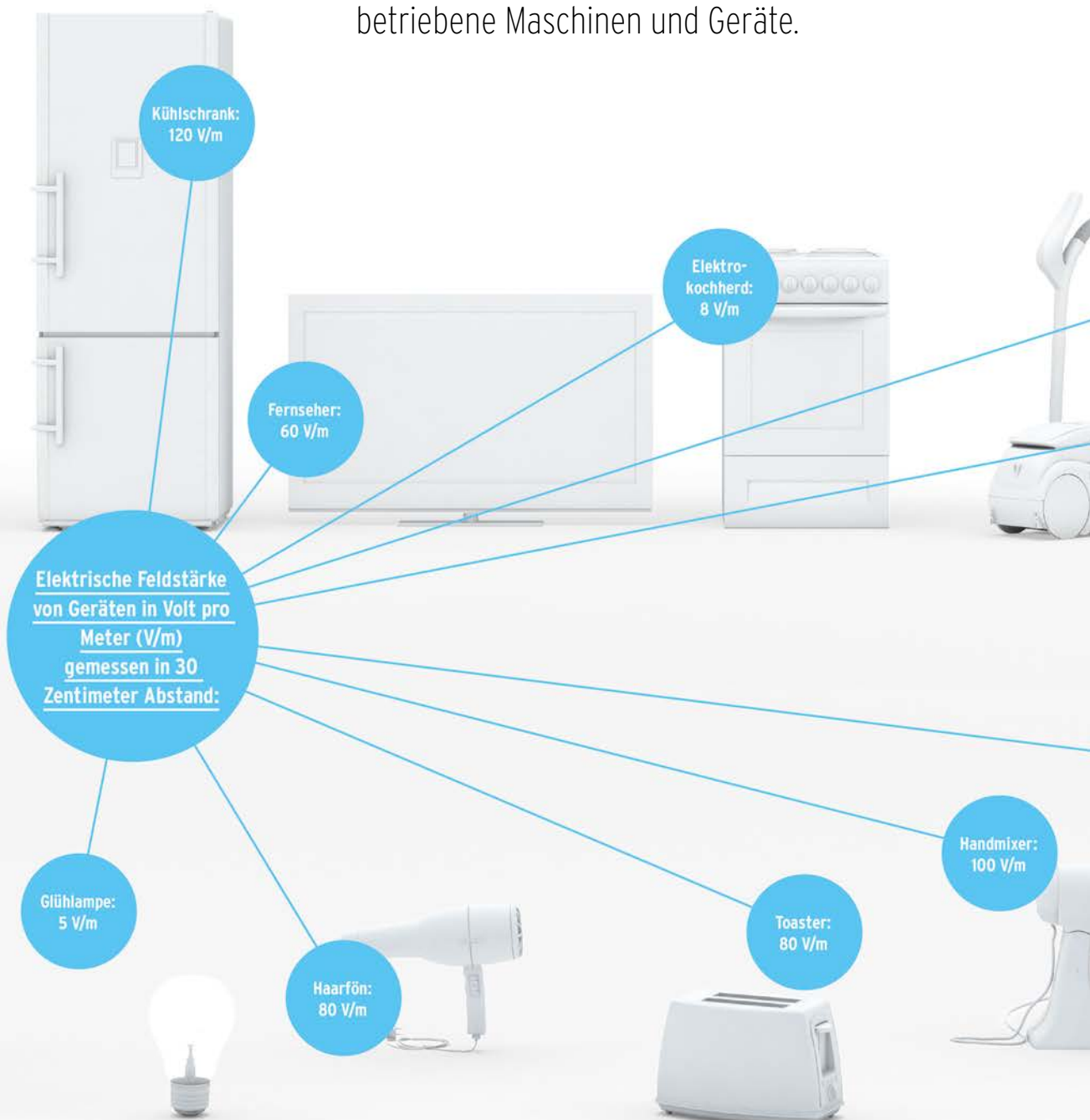


Niederfrequente Felder treten überall dort auf, wo elektrische Energie erzeugt, transportiert oder angewendet wird.

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder

Von außen in das Haus wirkende Felder bei Gebäudeüberspannung (zum Beispiel bei Hochspannungsleitungen über dem Haus): 20 V/m

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.



Grenzwert für
Dauerbelastung:
5000 V/m

Boiler:
260 V/m

Staubsauger:
50 V/m

Bügeleisen:
120 V/m

Haushaltsgeräte

Die meisten elektrisch betriebenen Geräte nutzen die elektrische Energie, die uns mit Spannungen von 230 beziehungsweise 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.

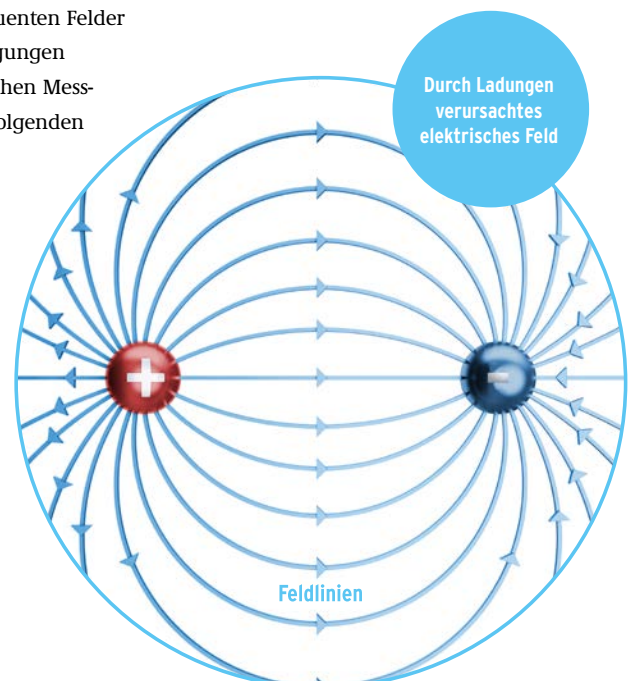
Viele Menschen beunruhigt die Tatsache, dass sie die Wirkung elektrischer und magnetischer Felder auf die Gesundheit nicht abschätzen können. Verschiedentlich tragen Berichte in den Medien zu einer Verunsicherung bei. Der häufig verwendete Begriff „Elektrosmog“ kann Raum für Spekulationen schaffen. Die Wirkung niederfrequenter elektrischer und magnetischer Felder ist jedoch nicht mit einem alles überlagernden „Smog“ zu vergleichen. Die Werte der elektrischen und magnetischen Feldstärke der meisten Haushaltsgeräte 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 Haushaltsgeräte 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.

Wirkung auf den Körper

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, sogenannte Körperströme. Bei Wechselfeldern wiederholt sich dieser Vorgang ständig mit der Frequenz. Körperströme wechseln dabei im gleichen Rhythmus periodisch ihre Richtung.



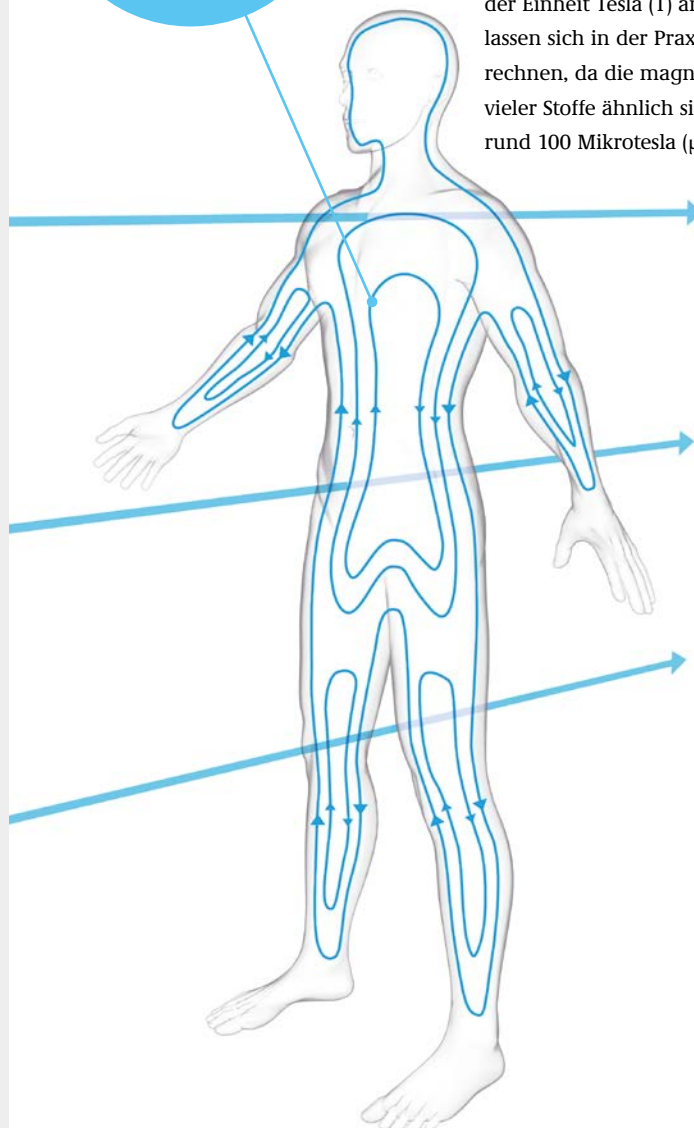
Wahrnehmung durch den Menschen

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 zum Beispiel 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 Anfassen einer Türklinke oder beim Gehen über bestimmte Teppichböden zu einem Schlag kam. Die Teppichböden oder die Türklinke waren anders aufgeladen als die Hautoberfläche und es kam zum Spannungsausgleich, dabei floss ein geringer Ableitstrom. Vom Knistern bis 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 sogenannten 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.

Die Hauptwirkung magnetischer Wechselfelder sind mehr oder weniger ausgeprägte Wirbelfelder im Inneren des menschlichen Körpers.



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.

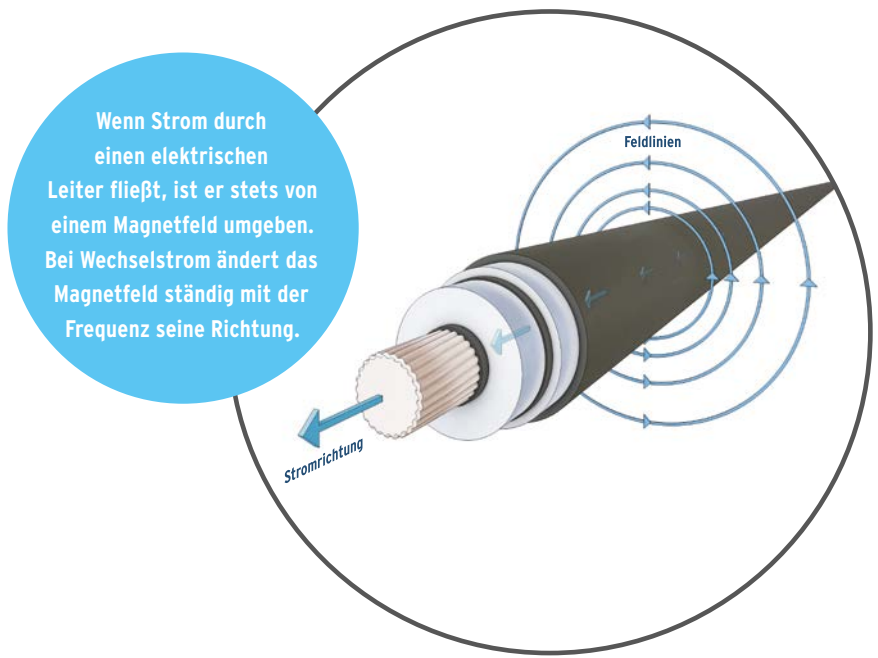
Immer wenn elektrische Ladungen durch die Leitungen bewegt werden, das heißt, wenn Strom fließt, entsteht um den Leiter herum ein Magnetfeld. Ändert der Strom fortlaufend seine Richtung wie beim 50-Hz-Wechselstrom, so wird auch das Magnetfeld im gleichen Rhythmus umgepolt – wir haben es mit einem magnetischen 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 sogenannte 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 (μT), das sind 0,0001 T.

Magnetische Wechselfelder

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 und Wirbelfelder 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 und Felder.

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 gering und die Felder besitzen nur eine geringe Reichweite.



Das Magnetfeld der Erde

Etwa $40 \mu\text{T}$ 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 ihrer Orientierung. Sie haben spezialisierte

Sinnesorgane dafür. Der Mensch kann das Magnetfeld 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. Jahrhundert mit Hilfe von Kompassen angezeigt.



Grenzwerte für niederfrequente Felder

Beim elektrischen Wechselfeld stellen Aufladungen der Körperoberfläche die Hauptwirkung dar, innere Körperströme folgen nur in geringem Maße als Ausgleichströme daraus. Hingegen werden vom magnetischen Wechselfeld als Folge der magnetischen Induktion Wirbelströme und Wirbelfelder im Inneren des Körpers direkt erzeugt.

Die dadurch entstandene elektrische Feldstärke im Körper ist für eine gesundheitliche Bewertung letztendlich die entscheidende Größe. Sie wird in Millivolt pro Meter (mV/m) angegeben.

Körpereigene elektrische Felder und Ströme sind auch ohne Einfluss äußerer Felder bereits beim Menschen vorhanden. Nerven übertragen ihre Signale, indem sie elektrische Impulse weiterleiten. Das Herz und das Gehirn sind elektrisch aktiv. Der Arzt kann dies im Elektrokardiogramm (EKG) und im Elektroenzephalogramm (EEG) nachweisen.

Fast alle Stoffwechselforgänge gehen mit der Verschiebung geladener Teilchen (Ionen) einher. Die natürlichen körpereigenen elektrischen Feldstärken liegen im Bereich von 5 bis 50 mV/m.

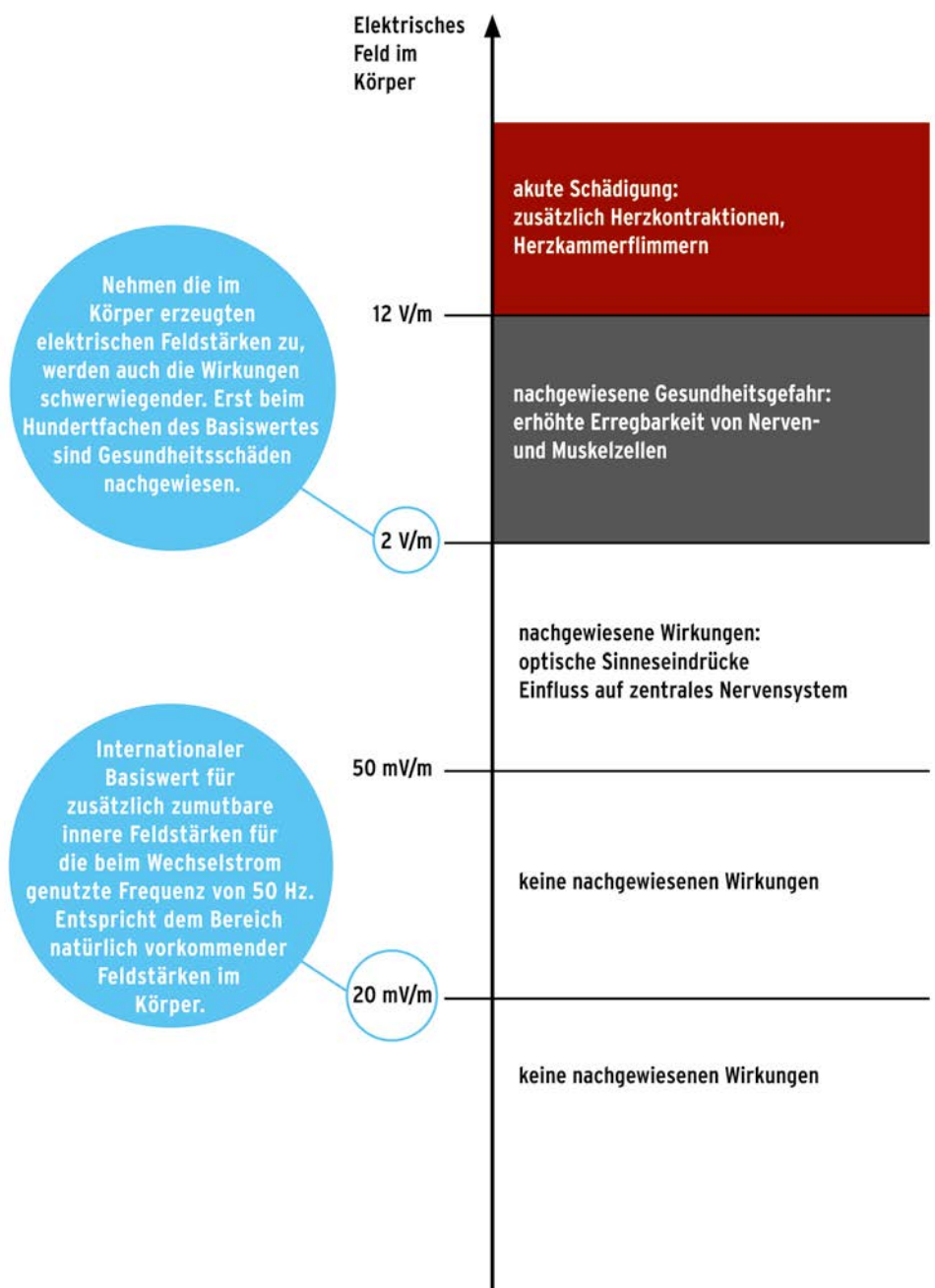
Herleitung der Grenzwerte

Die Forderung des Strahlenschutzes lautet daher: Die zulässige Stärke zusätzlicher innerer Felder, die durch äußere niederfrequente Felder induziert werden, muss sich an den Schwellenwerten der biologischen Wirkungen orientieren. Bei der Ableitung von Grenzwerten sind darüber hinaus die natürlichen elektrischen Feldstärken zu berücksichtigen.

Auf dieses Vorgehen haben sich internationale Expertengremien bei der Festlegung der Grenzwerte geeinigt, allen voran die Internationale Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP), die eng mit der Weltgesundheitsorganisation zusammenarbeitet. Der sogenannte „Basiswert“ für zusätzlich zumutbare innere Feldstärken wurde mit 20 mV/m festgelegt. Diese Feldstärken gelten selbst bei Dauerwirkung als gesundheitlich unbedenklich.

Feldstärken 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 der Luft. In umfangreichen Experimenten und Berechnungen wurde der Zusammenhang zwischen äußeren Feldern und den dadurch erzeugten inneren Feldstärken frequenzabhängig ermittelt. Elektrische Feldstärken unterhalb von 5 kV/m und magnetische Flussdichten kleiner als 200 μT gewährleisten bei der Netzfrequenz von 50 Hz, dass im Körper Feldstärken von 20 mV/m 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. Niederfrequenzanlagen mit einer Frequenz von 50 Hz (das heißt Anlagen der öffentlichen Elektrizitätsversorgung) dürfen die Hälfte des Grenzwerts der magnetischen Flussdichte, also 100 μT , nicht überschreiten.



Abstand

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 Haarföhen. Das Feld verteilt sich allerdings sehr ungleichmäßig, so dass auch hier insgesamt die Basiswerte für die induzierten Feldstärken im Körper 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 Zentimeter sind die magnetischen Flussdichten der meisten Haushaltsgeräte verschwindend gering und spielen für die gesundheitliche Bewertung keine Rolle. Bei vereinzelt höheren Flussdichten, wie sie beim Betrieb von Staubsauger oder Haarfön auftreten, handelt es sich meist nicht um Dauerbelastungen. Als mittlerer Grundpegel in den meisten Haushalten wurden Werte der magnetischen Flussdichte um 0,1 μT ermittelt.

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

Repräsentative Werte magnetischer Flussdichten von Haushaltgeräten in unterschiedlichen Abständen gemessen in Mikrottesla, Gebrauchsabstände blau hervorgehoben

Gerät	3 cm	30 cm	100 cm
Haarfön	6 - 2.000	0,01 - 7	0,01 - 0,3
Rasierapparat	15 - 1.500	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

Elektrische und magnetische Felder der Energieversorgung

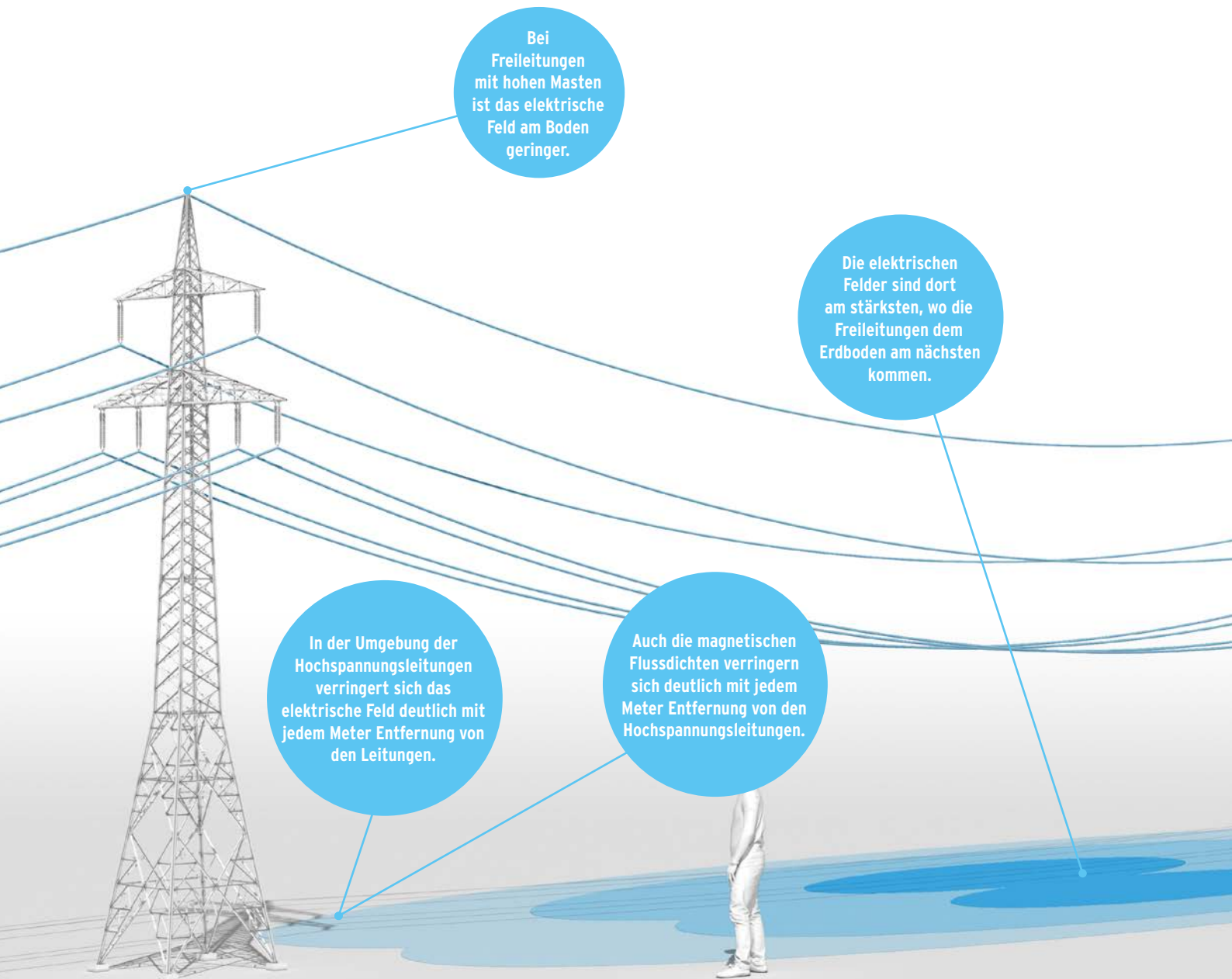
Bevor elektrischer Strom in die Haushalte gelangt, hat er einen langen Weg zurückgelegt. Im Kraftwerk wird er erzeugt, in Transformatorstationen auf geeignete Übertragungsspannungen gebracht. Über verschiedene Verteilernetze wird er in Hochspannungsfreileitungen über weite Strecken transportiert. Transformatoren 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 Hochspannungsfreileitungen 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 Hochspannungsfreileitungen 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 Hochspannungsfreileitungen. Spitzenwerte sind deshalb nur an einigen Stellen anzutreffen.



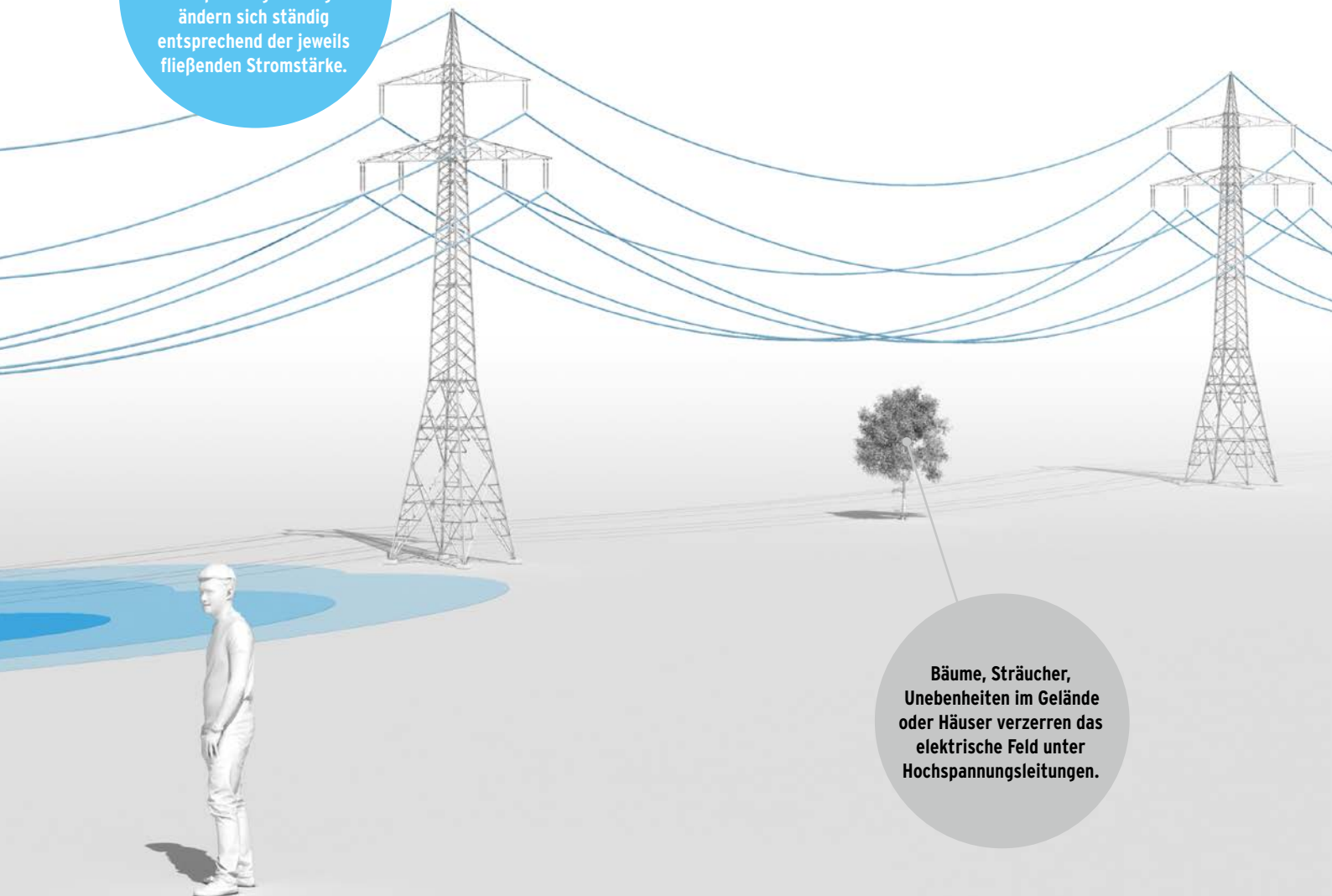
In unmittelbarer Nähe von Hochspannungsleitungen wird der Grenzwert für die elektrische Feldstärke von 5 kV/m nicht in jedem Einzelfall eingehalten. Beispiele dafür sind vereinzelt dort anzutreffen, wo die Freileitungen in kleinräumigen Bereichen am stärksten durchhängen. Diese Bereiche sind in der Regel 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 elektrischen 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 Energiebedarfs - 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.

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

Bäume, Sträucher, Unebenheiten im Gelände oder Häuser verzerren das elektrische Feld unter 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 zählen in den Wohnungen elektrische Haushaltsgeräte, elektrisch betriebene Verkehrsmittel sowie an Arbeitsplätzen elektrische Maschinen oder Computer.

In der Umgebung von Hochspannungsleitungen ändert sich die Stärke der Magnetfelder noch dazu mit dem Stromverbrauch zwischen Tag und Nacht.

Individuelle Exposition durch Magnetfelder

In einer repräsentativen Untersuchung hat das Bundesamt für Strahlenschutz 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 Hz sowie bei $16 \frac{2}{3}$ Hz in der Umgebung von Bahnstromanlagen.

2.000 Testpersonen

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 beziehungsweise $16 \frac{2}{3}$ Hz in jeder Sekunde körpfernah gemessen und die Ergebnisse gespeichert werden. Der Messbereich reichte von $170 \mu\text{T}$ bis zu wenigen Nanotesla (nT; 1 Nanotesla = $0,001 \mu\text{T}$). Zusätzlich protokollierten die Teilnehmer stichpunktartig ihren Tagesablauf.

Ergebnisse

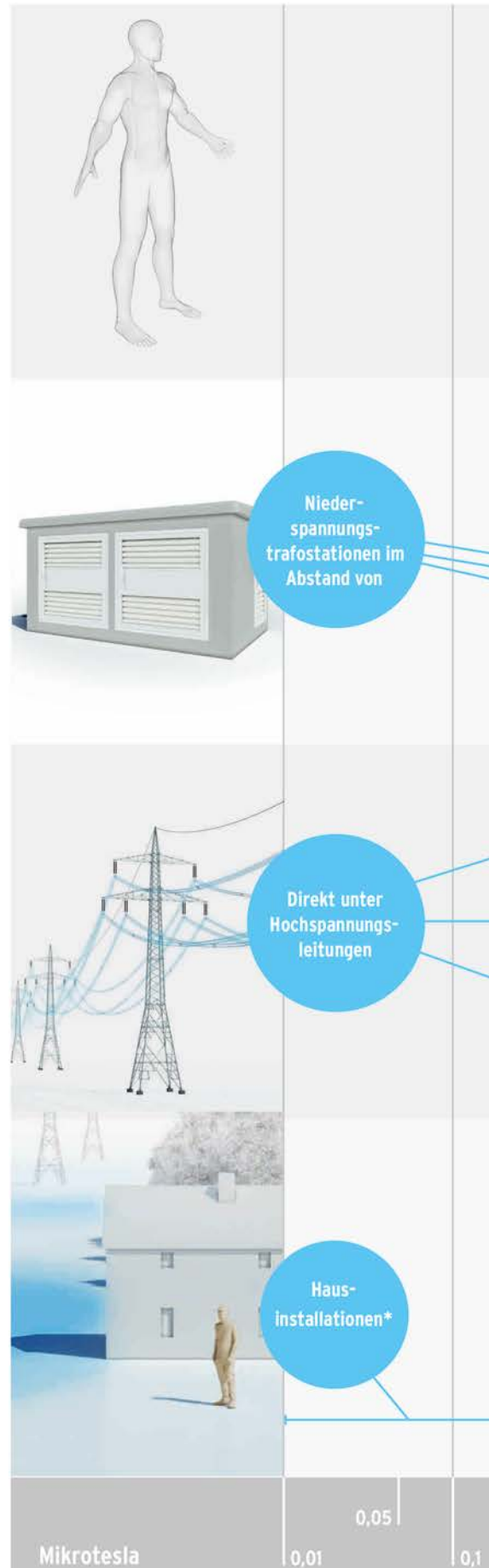
Statistische Auswertungen der Daten zeigten, dass sich für Bürgerinnen und Bürger in den Zentren der Städte geringfügig höhere Werte ergaben ($0,12 \mu\text{T}$), als für Bewohner ländlicher Gebiete (unter $0,1 \mu\text{T}$). Selbst bei Personen, die in der Umgebung von Hochspannungsleitungen wohnen, ergaben sich kaum Unterschiede. Auch bei ihnen wurde nur eine mittlere Exposition von $0,11 \mu\text{T}$ 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 (einzelne Nachtspeicheröfen) zeigten keinen wesentlichen Einfluss dieser Feldquelle auf die Tagesaufzeichnungen. Allerdings können (groß) flächige Fußbodenheizungen zu höheren Flussdichten führen.

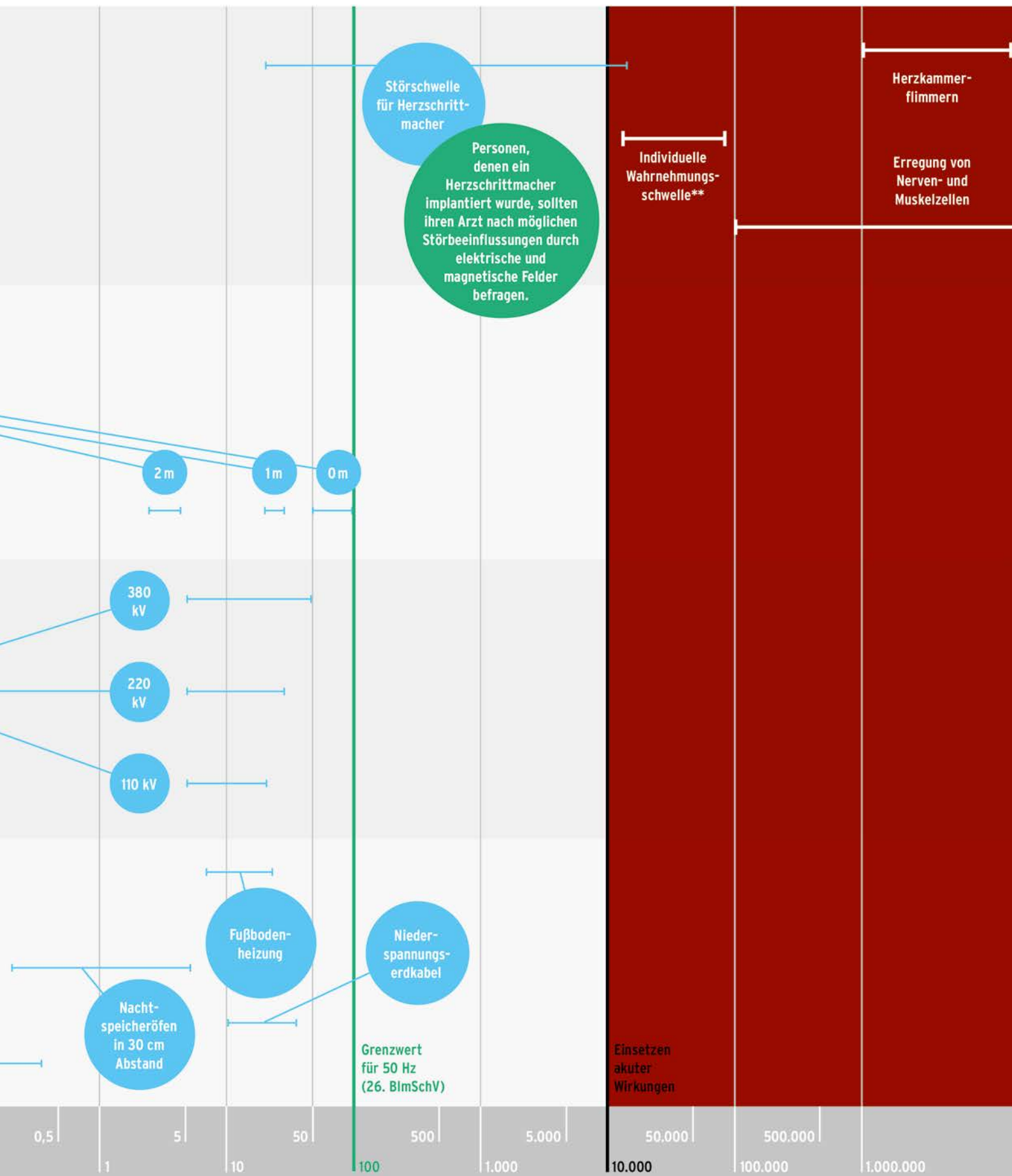
Träger von elektronischen Körperhilfen

Träger von Herzschrittmachern, Defibrillatoren, Neurostimulatoren oder Insulinpumpen schützen sich am besten vor möglichen Funktionsbeeinflussungen, indem sie von technischen Geräten Abstand halten.

Bekannt ist beispielsweise, dass einige Herzschrittmacher älterer Bauart bereits unterhalb des Grenzwertes beeinflusst werden können.



* 95 Prozent aller Haushalte (teilweise sehr inhomogen)
** (Magnetophosphene)



Das elektrische Netz der Eisenbahn

Das elektrische Bahnstromnetz wird in Deutschland über 110-kV-Leitungen mit einer Frequenz von $16\frac{2}{3}$ Hz betrieben, also einem Drittel der normalen Netzfrequenz. Direkt an den Fahrleitungen liegen 15 kV an. Bei $16\frac{2}{3}$ Hz ist der Grenzwert für die elektrische Feldstärke wie bei 50 Hz 5 kV/m, für die magnetische Flussdichte ist ein höherer Wert von 300 μ T zulässig. Unmittelbar unter den Netzleitungen treten elektrische Feldstärkewerte zwischen 2 und 3 kV/m auf, in 20 Meter Abstand sind es bereits deutlich weniger als 1 kV/m.

Die Stärke des Magnetfeldes ändert sich ständig mit dem Stromfluss, höchstens 18 μ T ergeben sich direkt unter der 110-kV-Netzleitung bei einem Stromfluss von rund 1.000 A (1 kA = 1 Kiloampere). Beim Fahrbetrieb treten in den 15-kV-Fahrleitungen kurzzeitige Strom-Spitzenwerte auf. Dadurch können sich bei Stromstärken von 1.000 A Magnetflussdichten um 75 μ T ergeben. Dieser Wert stellt jedoch weder für das Zugpersonal noch für Passagiere, die häufig lange mit der Bahn unterwegs sind, eine Dauerbelastung dar. 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 Felder Vorsorgemaßnahmen wichtig.

Ein wesentlicher Aspekt der Vorsorge ist es, die Feldeinwirkung auf die Bevölkerung soweit wie möglich zu verringern. Dies wird sowohl durch Reduzierung der Intensität der Felder als auch durch das Verkürzen der Einwirkdauer der Felder erreicht.

Für den Stomnetzausbau als Folge der Energiewende sieht die 26. Bundesimmissionschutzverordnung daher ein Minimierungsgebot vor.

Demnach sind künftig bei Errichtung und wesentlicher Änderung von Niederfrequenzanlagen und Gleichstromanlagen die von der Anlage ausgehenden Felder so gering wie möglich zu halten.

Zu den Vorsorgemaßnahmen gehört aber auch verstärkte Forschung, um wissenschaftliche Unsicherheiten zu verringern und den aktuellen Kenntnisstand zu erweitern. Außerdem soll die Bevölkerung über die möglichen Risiken durch niederfrequente elektrische und magnetische Felder informiert und aufgeklärt werden.

Niederfrequente Felder in Gebäuden

In den meisten Fällen nimmt die Intensität niederfrequenter 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.

Was im Einzelfall möglich ist, hängt vom Stand der Technik und den Gegebenheiten im Einwirkungsbereich der jeweiligen Anlage ab. Schon bei der Planung sollte die Möglichkeit genutzt werden, durch Abstände zwischen Wohngebäuden und Hochspannungsleitungen sowie anderen Anlagen der Stromversorgung die Belastung der Bevölkerung möglichst gering zu halten. Auch durch die bauliche Gestaltung von Stromtrassen, beispielsweise optimale Phasenbelegung der Leiter, Höhe der Masten, Abstand der Leiterseile oder der in der Erde verlegten Stromleiter können die von den Anlagen ausgehenden elektrischen und magnetischen Felder verringert werden. Damit wird erreicht, dass auch belästigende Wahrnehmungen unterhalb der Grenzwerte verringert werden, beispielsweise das Vibrieren der Körperhaare oder unangenehme Ableitströme.





In den meisten Fällen nimmt die Intensität niederfrequenter 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.

Vorsorgemaßnahmen:

- Reduzierung der Intensität der Felder
- Verkürzung der Einwirkungsdauer
- Vergrößerung des Abstands
- Optimierte Leitungsführung

Hochfrequente elektromagnetische Felder

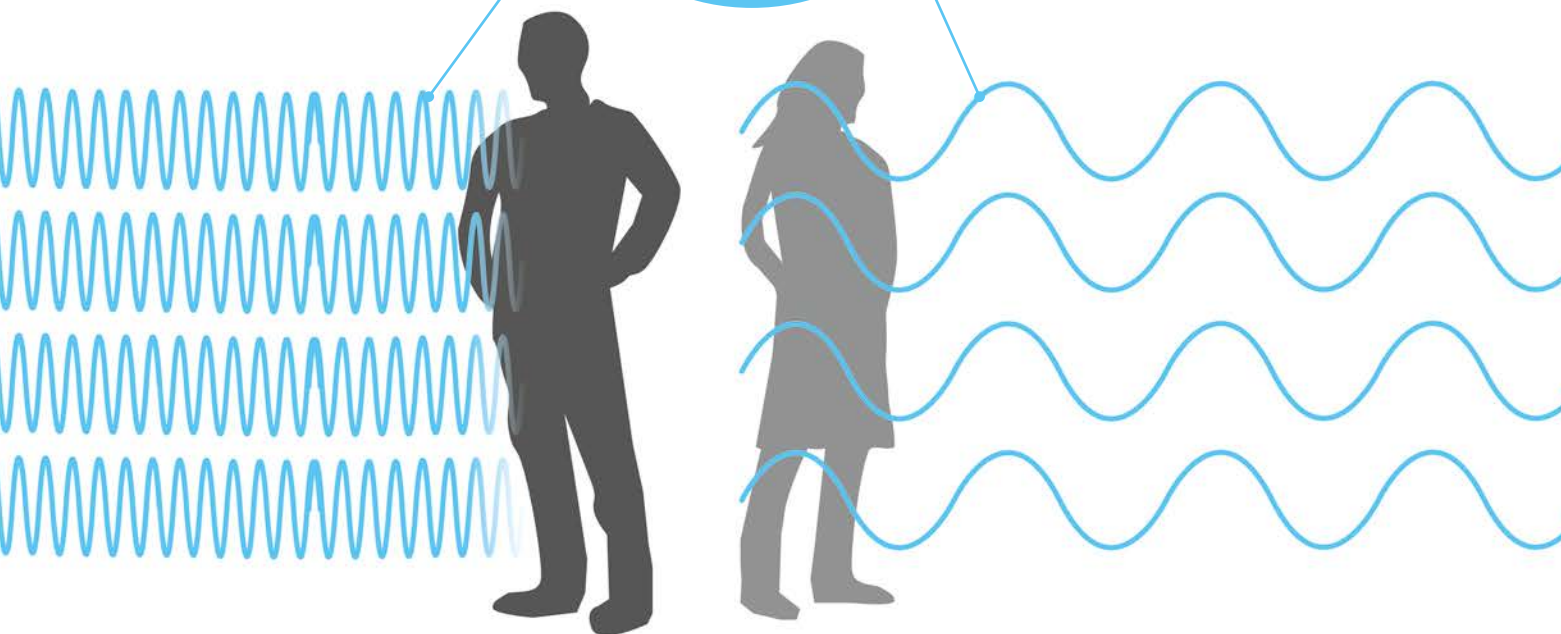
Fernsehen und Rundfunk hören oder drahtlos telefonieren und im Internet surfen sind in der heutigen Zeit selbstverständliche Tätigkeiten, wie auch das Aufwärmen des Essens im Mikrowellenherd. Den wenigsten ist dabei bewusst, dass sie Techniken anwenden, die mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern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

Hochfrequente (HF) Felder werden von einer Antenne abgestrahlt. Sie breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus und übertragen dabei Energie – teilweise über große Entfernungen. Diese Eigenschaft wird besonders für die Nachrichtenübertragung ausgenutzt: für Rundfunk, Fernsehen, Mobilfunk, schnurlose Telefone, WLAN und Bluetooth. Im elektromagnetischen Spektrum (siehe Abbildung auf Seite 9) liegt der hochfrequente Strahlungsbereich zwischen etwa 100 Kilohertz (kHz) und 300 Gigahertz (GHz). 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 und daher spricht man von elektromagnetischen Feldern.

Unterschiedliche Eindringtiefen von hochfrequenter Strahlung in das menschliche Körpergewebe

Elektromagnetische Felder der Rundfunk-Mittelwelle im Megahertzbereich haben eine Eindringtiefe 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.



Aus unterschiedlichen Körperhöhen ergeben sich Resonanzverhältnisse bei unterschiedlichen Wellenlängen

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

Wirkungen hochfrequenter Felder

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

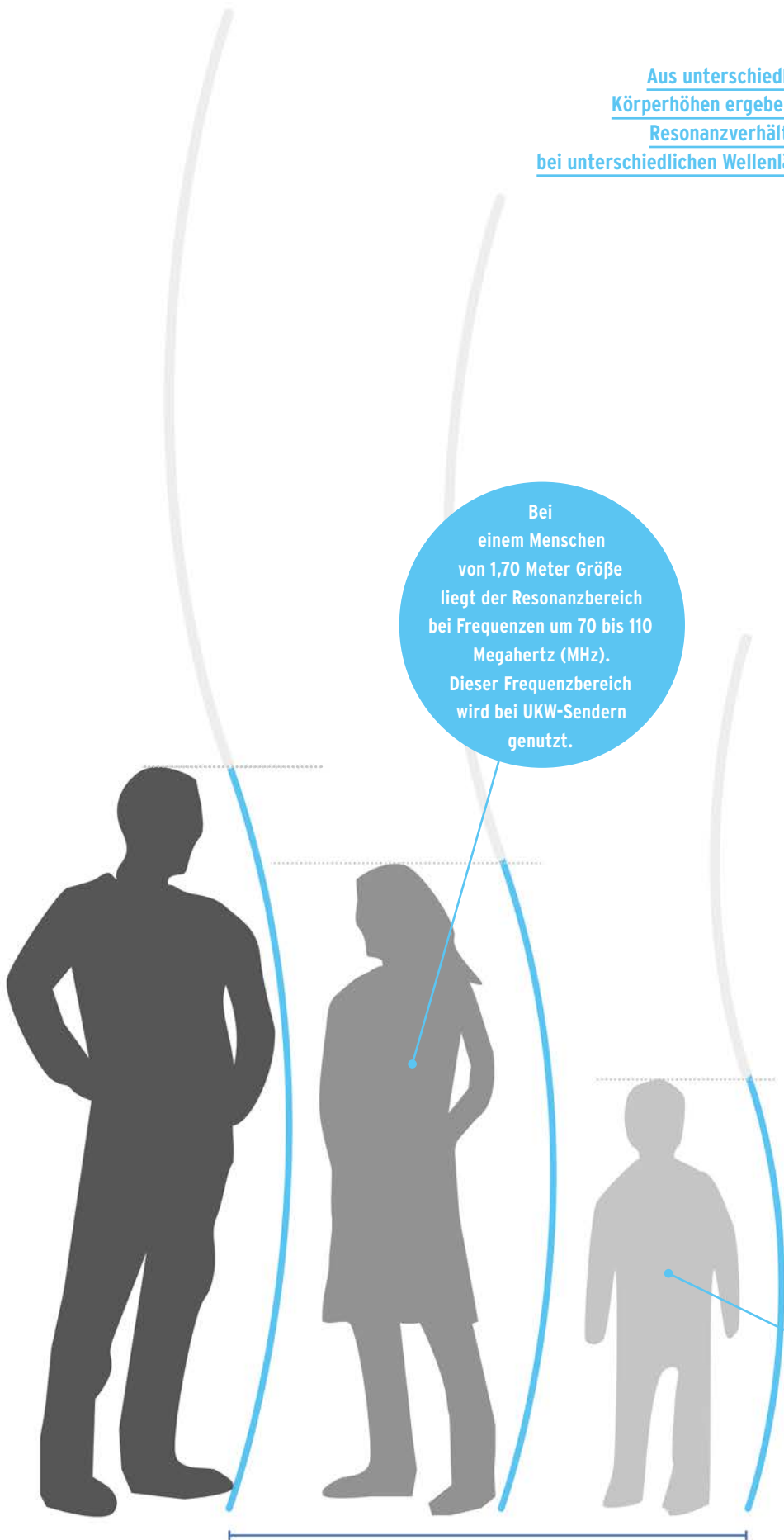
Eindringtiefe und Resonanz

Zunächst einmal ist die Eindringtiefe der Strahlung in das menschliche Gewebe unterschiedlich. Sie ist stark frequenzabhängig. Ein weiteres Phänomen muss beim Umgang mit hochfrequenten Feldern 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 Felder, so befindet er sich im „Resonanzbereich“. Das bedeutet, er nimmt besonders viel Energie auf. Dabei ist aufgrund der elektrischen Eigenschaften des Menschen der Frequenzbereich für die Resonanz breiter als beispielsweise bei einem Rundfunkempfänger. 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 und Feldstärke.

Bei einem Menschen von 1,70 Meter Größe liegt der Resonanzbereich bei Frequenzen um 70 bis 110 Megahertz (MHz). Dieser Frequenzbereich wird bei UKW-Sendern genutzt.

Ein sechsjähriges Kind dagegen ist kleiner, es hat also eine höhere Resonanzfrequenz und nimmt im Bereich zwischen 200 und 400 Megahertz (zum Beispiel für Fernsehsender genutzt) vergleichsweise viel Energie auf.

zwischen 70 und 400 MHz



Wärmewirkung

Für biologische Systeme und somit auch für den Menschen ist vor allem die Wirkung von HF-Feldern auf die im Gewebe vorhandenen Wassermoleküle zu berücksichtigen. Als sogenannte 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 Felder 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).

Nachgewiesene gesundheitliche Risiken

Mit Wirkungen auf die Gesundheit ist erst dann zu rechnen, wenn bestimmte Schwellenwerte überschritten werden und die Wärmeregulierung überfordert ist.

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 Erwärmung kann unter Umständen die Entwicklung des Kindes im Mutterleib stören. Um die nachgewiesenen gesundheitlichen Risiken zu verhindern, muss die Energieaufnahme des Körpers begrenzt werden.

Seit etwa 60 Jahren werden mögliche gesundheitliche Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder gezielt erforscht. In der Diskussion um die Wirkungen hochfrequenter Felder ist man sich über die thermischen Wirkungen seit langem weitgehend einig.

Seit den 90er Jahren hat der digitale Mobilfunk rasch zugenommen und wirkt auf die Bevölkerung ein. Dies führte zu einer verstärkten internationalen Forschung als Reaktion auf die bestehenden Wissenslücken und die steigende Besorgnis in der Bevölkerung. Sie zielt unter anderem auf die für diese Technologie relevanten Frequenzbereiche und auf mögliche Wirkungen bei Intensitäten unterhalb der bestehenden Grenzwerte ab.

Deutsches Mobilfunk Forschungsprogramm

Im Rahmen des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms wurden in den Jahren 2001 – 2008 mit einem Gesamtbudget von 17 Millionen Euro 54 Projekte durchgeführt. In den Forschungsdisziplinen Biologie, Epidemiologie, Dosimetrie und Risikokommunikation wurde in einem interdisziplinären Ansatz Hinweisen auf mögliche Wirkungen auf Mensch und Tier gezielt nachgegangen. Zusätzlich wurde die tatsächliche Strahlenbelastung im Alltag erfasst, Fragen der Risikowahrnehmung in der Gesellschaft verfolgt und die Möglichkeiten der Risikokommunikation untersucht. Zu vielen offenen Fragen konnten wesentliche Beiträge geleistet werden. Die früheren Hinweise auf gesundheitsrelevante Wirkungen hochfrequenter Felder konnten nicht bestätigt werden. Dies betrifft auch die vermuteten Einflüsse auf den Schlaf, die Hirnleistung, die Blut-Hirn-Schranke, Immunparameter, die Fortpflanzung, die Entwicklung oder Verarbeitung von äußeren Reizen oder die Verursachung von Krebserkrankungen, Tinnitus und Kopfschmerzen.

Heute stehen international vor allem Hypothesen zu möglichen altersabhängigen Wirkungen und zu möglichen Folgen einer langjährigen intensiven Handynutzung im Zentrum der wissenschaftlichen Diskussion. Im Fokus internationaler epidemiologischer Langzeitstudien an Erwachsenen und Kindern steht der mögliche Zusammenhang zwischen Handynutzung und Hirntumoren. Weiterhin werden die Auswirkungen neuer Technologien untersucht.

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 der Spezifischen Absorptionsrate ist Watt pro Kilogramm (W/kg).

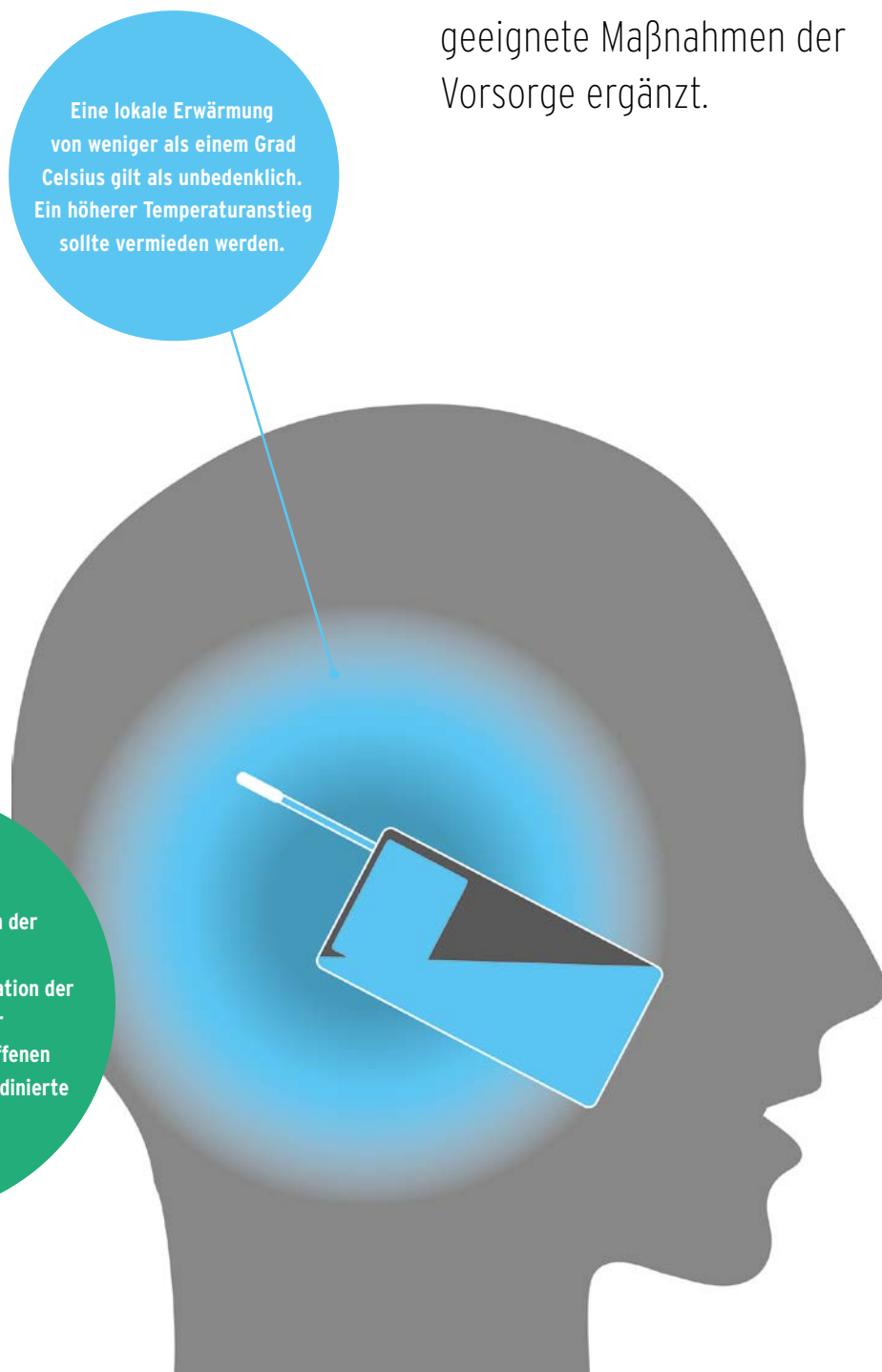
Um die nachgewiesenen gesundheitlichen Beeinträchtigungen, die durch eine übermäßige Erwärmung des Körpers entstehen, zuverlässig auszuschließen, wird von internationalen Expertengremien eine Begrenzung des SAR-Wertes für den Gesamtkörper auf 0,08 W/kg (Basisgrenzwert) empfohlen. Für die Teilkörperbereiche Kopf und Rumpf beträgt der Basisgrenzwert der SAR 2 W/kg und für die Extremitäten 4 W/kg, jeweils gemittelt über 10 Gramm 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 beziehungsweise in Modellen 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/m²) 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. Um den verbleibenden wissenschaftlichen Unsicherheiten gerecht zu werden, werden die Grenzwerte durch geeignete Maßnahmen der Vorsorge ergänzt.

Eine lokale Erwärmung von weniger als einem Grad Celsius gilt als unbedenklich. Ein höherer Temperaturanstieg sollte vermieden werden.

Vorsorgemaßnahmen:
Minimierung der Exposition der Bevölkerung
Objektive und sachliche Information der Bürgerinnen und Bürger
Klärung der verbleibenden offenen Fragen durch gezielte und koordinierte Forschung



Anwendungen von hoch- und niederfrequenten Feldern 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 (2 GHz) für UMTS. Der neue effizientere Standard LTE (long term evolution), der besonders hohe Datenmengen übertragen kann, nutzt in Deutschland die Frequenzen 800, 1.800 und 2.600 MHz.

Sendeanlagen

In der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes sind die Grenzwerte festgelegt, die von den Mobilfunkbasisstationen einzuhalten sind. Verantwortlich dafür sind die Netzbetreiber. Sofern eine maximale Sendeleistung von 10 W 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 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.

Mobiltelefone

Auch von Mobiltelefonen werden hochfrequente elektromagnetische Felder abgestrahlt, beim Telefonieren in unmittelbarer Nähe des Kopfes. Handys und Smartphones sind in der 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes nicht berücksichtigt. Es bestehen aber internationale und nationale Empfehlungen, 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 entsprechend europäischen Normen nachgewiesen werden.

Die Felder, denen man beim Telefonieren mit dem Handy ausgesetzt sein kann, sind im Allgemeinen sehr viel stärker als die Felder, die zum Beispiel durch Mobilfunkbasisstationen erzeugt 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:

Nicht bei schlechtem Empfang telefonieren.



Headsets verwenden.



Telefonate per Handy
kurz halten.



Wann immer möglich,
das Festnetztelefon
verwenden.



Textnachricht
verschicken.



Handys mit niedrigem SAR-
Wert verwenden.

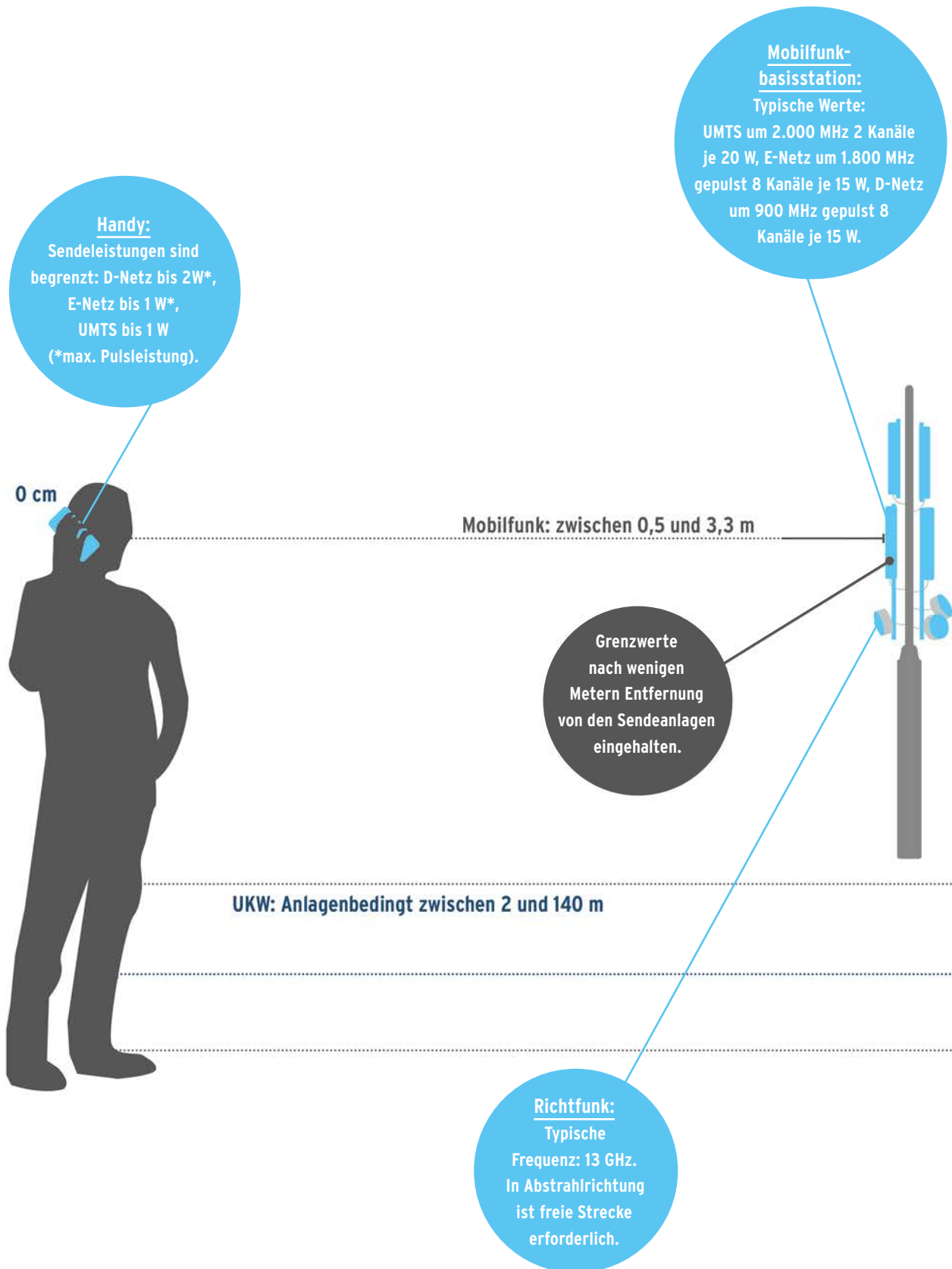
Strahlungsärmere Geräte

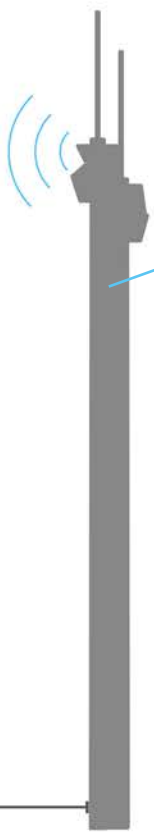
Moderne Mobilfunkendgeräte wie Smartphones und Tablets haben gegenüber älteren Modellen einen Vorteil: Sie senden oft im UMTS-Standard, neuerdings auch im LTE-Standard. Beide Standards sind beim Verbindungsaufbau strahlungsärmer als der GSM-Standard. Diese Geräte können auch WLAN nutzen. Bei WLAN ist die Sendeleistung in der Regel niedriger als bei den Mobilfunkstandards UMTS, GSM oder LTE. Zum Surfen im Internet und zum Abruf von E-Mails sollte deswegen WLAN genutzt werden. 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 unter anderem der SAR-Wert. Der international empfohlene maximale Wert der Spezifischen Absorptionsrate liegt bei 2 W/kg, gemittelt über 10 Gramm 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 Wert der Spezifischen Absorptionsrate bei höchstens 0,6 W/kg liegt. Gleichzeitig signalisiert dieses Zeichen, dass das Gerät umwelt- und recyclingfreundlich produziert wurde. Leider wird das Umweltzeichen von den Herstellern kaum genutzt.

BOS-Funk

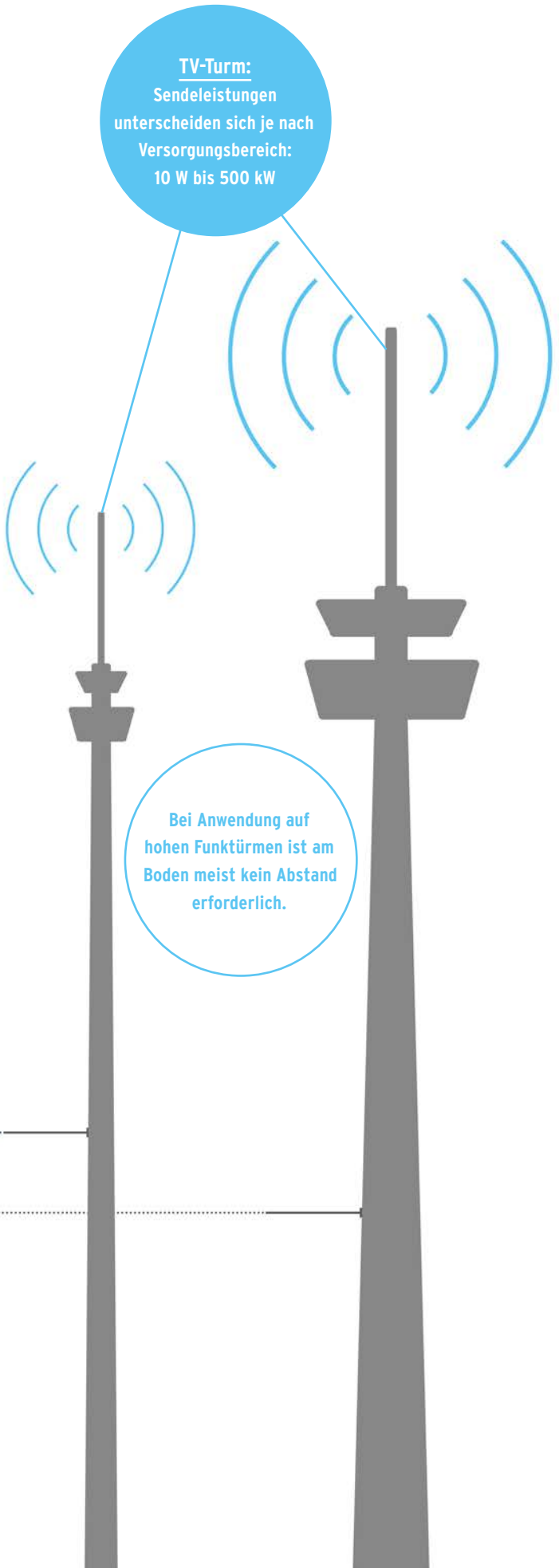
Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS), zum Beispiel Polizei, Feuerwehr und Rettungsdienst betreiben ein eigenes bundesweites digitales Funknetz (Digitalfunk BOS), das von anderen Funknetzen streng getrennt ist. Der Digitalfunk BOS basiert auf dem Technik-Standard „TETRA“ (Terrestrial Trunked Radio). Der Aufbau des BOS-Funks ist in Deutschland weitestgehend abgeschlossen. Er wurde in mehreren Ländern, auch in Deutschland, durch wissenschaftliche Untersuchungen zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen auf die Nutzerinnen und Nutzer begleitet. Es wurde festgestellt, dass von den Endgeräten des BOS-Funks kein gesundheitliches Risiko ausgeht und dass sich die Wirkungen von denen des Mobilfunks nicht unterscheiden. Die Exposition kann aus Vorsorgegründen mit denselben Maßnahmen minimiert werden wie beim kommerziellen Mobilfunk. Die Basisstationen des BOS-Funks tragen nur geringfügig zur Exposition der Bevölkerung bei.

Einige wichtige Daten für die häufigsten Quellen hochfrequenter Felder:
genutzter Frequenzbereich, typische Sendeleistung, typische
Sicherheitsabstände in Abstrahlrichtung von der Sendeantenne





UKW:
Sendeleistungen unterscheiden sich je nach Versorgungsbereich: 20 W bis 100 kW



TV-Turm:
Sendeleistungen unterscheiden sich je nach Versorgungsbereich: 10 W bis 500 kW

Bei Anwendung auf hohen Funktürmen ist am Boden meist kein Abstand erforderlich.

UHF: Anlagenbedingt zwischen 1,2 und 270 m

VHF: Anlagenbedingt zwischen 1,2 und 315 m

Elektromagnetische Verträglichkeit elektronischer Geräte

Elektronische Geräte können häufig empfindlicher auf hochfrequente Strahlung reagieren als der menschliche Körper. Unter ungünstigen Umständen können dadurch zum Beispiel 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 Zentimetern zwischen Herzschrittmacher und Handy-Antenne beobachtet. Das bedeutet, dass bei einem üblichen Abstand von mehr als 20 Zentimeter 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!



Schnurlose Festnetztelefone

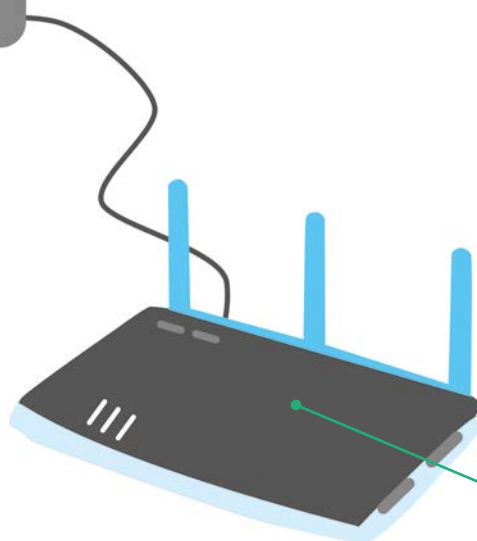
Schnurlose Telefone für Haus und Garten übertragen die Sprache aus dem normalen Telefonnetz per Funk zum Hörer (DECT-Standard, Reichweite bis 300 m im Freien und 50 m in Gebäuden). Die verwendeten Sendeleistungen sind dabei so gering, dass international empfohlene Grenzwerte deutlich unterschritten werden. Beim Kauf sollten moderne Geräte bevorzugt werden, die nicht mit der maximalen Sendeleistung senden, sondern diese dem Bedarf anpassen und deren Basisstationen im Ruhezustand keine Signale senden. Ein vorsorglicher Verzicht auf schnurlose Telefone trägt auch hier zur Minimierung der persönlichen Strahlenexposition bei.



Babyüberwachungsgeräte

Babyüberwachungsgeräte, auch Babyphone genannt, übermitteln Eltern Geräusche aus dem Kinderzimmer, um den Schlaf ihres Babys oder Kleinkinds auch aus der Entfernung zu überwachen. Dazu nutzen sie zwei verschiedene Übertragungswege: entweder den Stromkreis des Hauses oder eine Funkverbindung. Funkbetriebene Geräte nutzen hochfrequente elektromagnetische Felder, um die Geräusche zu übermitteln. Babyüberwachungsgeräte sind elektrische Geräte und erzeugen, sofern sie aus der Steckdose mit Strom versorgt werden, auch niederfrequente Felder.

Babys und Kleinkinder befinden sich in der Entwicklung und könnten besonders empfindlich gegenüber elektromagnetischen Feldern sein. Deswegen wird aus Vorsorgegründen eine Minimierung der Exposition empfohlen. Besonders strahlungsarme Geräte sind mit dem Umweltzeichen „Blauer Engel“ ausgezeichnet. Auch ein möglichst großer Abstand zwischen dem Gerät und dem Kind hilft, die Exposition zu reduzieren, sofern dadurch die Funktionsfähigkeit des Gerätes nicht beeinträchtigt wird.



Sprach- und Datenübertragung per Funk: Bluetooth und WLAN

Kommunikationsstandards wie Bluetooth und WLAN ermöglichen die kabellose Verbindung von Telekommunikations- und Datenverarbeitungsgeräten. Bluetooth ist ein Standard für die kabellose Verbindung von Geräten über kurze Entfernungen. Im Büro kann Bluetooth PCs und Notebooks mit Druckern, Funktastaturen oder Funkmäusen verbinden. Sprache und Musik können zwischen Handy und Headset oder zwischen MP3-Player und Kopfhörern kabellos übertragen werden. WLAN ist ein technischer Standard, der den Aufbau lokaler PC-Netzwerke mit wenig Verkabelungsaufwand erlaubt. Auch die kabellose Anbindung anderer Endgeräte wie zum Beispiel Smartphones und Tablets an das Internet ist möglich. Abhängig von den Umgebungsbedingungen sind Reichweiten bis zu 300 Meter möglich. Die Sendeleistungen sind deutlich geringer als bei Handys. An öffentlichen Orten wie Hotels, Cafés oder Flughäfen kann mit WLAN ein drahtloser Zugang zum Internet angeboten werden.

SAR-Werte durch Funkwellen einzelner Bluetooth- oder WLAN-Geräte bleiben in der Regel und besonders bei körperfernem Betrieb deutlich unterhalb der empfohlenen Höchstwerte. In ungünstigen Situationen (zum Beispiel Laptop auf dem Schoß und Sender unmittelbar über dem Oberschenkel) können Werte in der Größenordnung des empfohlenen Höchstwerts auftreten. Bei Einhaltung der empfohlenen Höchstwerte sind nach derzeitiger Kenntnis keine gesundheitlich nachteiligen Wirkungen auf Körpergewebe nachgewiesen. Der Trend zu mobilen Funkanwendungen führt insgesamt zu einer vermehrten Belastung gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern. Das Bundesamt für Strahlenschutz empfiehlt generell, die persönliche Strahlenbelastung zu minimieren, um mögliche, aber bisher nicht erkannte gesundheitliche Risiken gering zu halten.

Vorsorgemaßnahmen:

Wenn möglich, Kabelverbindungen bevorzugen. Zentrale WLAN-Zugangspunkte nicht unmittelbar an Aufenthaltsorten von Personen aufstellen. Wenn möglich, Reichweite begrenzen und dadurch Sendeleistung reduzieren.



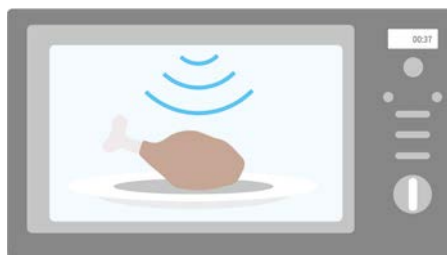
Intelligente Stromzähler - Smart Meter

Smart Meter sollen zukünftig in deutschen Haushalten die bisherigen Stromzähler ersetzen. Sie sollen eine gleichmäßigere Auslastung der Stromnetze und eine Steuerung des Verbrauches entsprechend der Verfügbarkeit erneuerbarer Energien (zum Beispiel aus Wind und Sonne) erlauben. Sie bestehen aus einem elektronischen Messgerät, das den Verbrauch sekundengenau erfasst, und einem System zur Übertragung der Daten zum Versorgungsunternehmen. Die Daten werden über Kabel oder drahtlos übermittelt.

Drahtlose Gerätetypen verwenden zur Datenübertragung hochfrequente elektromagnetische Felder. Die Strahlenbelastung durch drahtlose Smart Meter liegt weit unter den Grenzwerten. Anders als beim Mobilfunk besteht beim Betrieb drahtloser Smart Meter kein Körperkontakt zu Personen. Die Zähler werden nicht kontinuierlich ausgelesen und Funkverbindungen deshalb nur zeitweise aufgebaut. Funktionsbeeinflussungen von aktiven Körperhilfen, wie zum Beispiel Herzschrittmachern, können mit hoher Sicherheit ausgeschlossen werden. Die Gesundheit wird durch den Betrieb der Geräte nicht gefährdet.

Mikrowellenherde

In diesen Geräten wird hochfrequente Strahlung im Gigahertzbereich zum schnellen Erwärmen von Speisen verwendet. Das Bundesamt für Strahlenschutz hat umfangreiche Messungen an Mikrowellenherden durchgeführt. Bei allen Geräten trat in der Umgebung der Sichtblende und der Türen nur eine sehr geringe Leckstrahlung auf. An üblichen Aufenthaltsorten in der Nähe von Mikrowellenherden liegt die noch erfassbare Strahlung um mehr als das Tausendfache unter dem Grenzwert. Gesundheitsgefahren gehen daher von intakten Geräten nicht aus. Bei Einhaltung der Garvorschriften entsprechen die Nährwertveränderungen der erwärmten Nahrungsmittel denen bei konventioneller Erwärmung. Die Mikrowellenbehandlung von Lebensmitteln ist nicht schädlicher als konventionelle Zubereitungsverfahren.

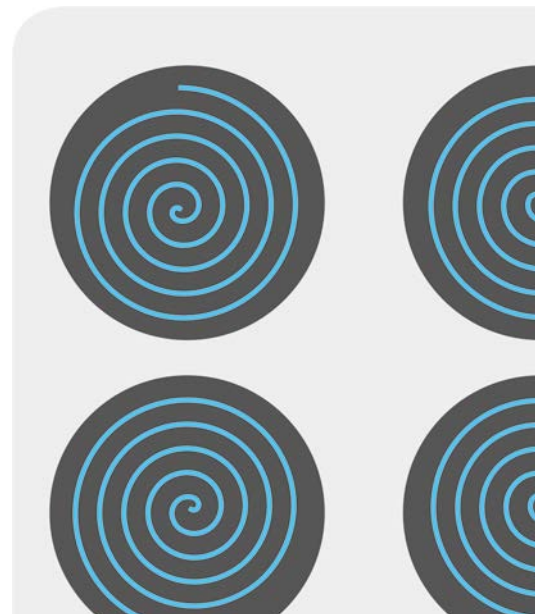


Induktionskochherde

Auf Induktionsherden werden Mahlzeiten erwärmt, indem durch ein mittelfrequentes Magnetfeld in elektrisch leitfähigen Kochtöpfen elektrische Ströme erzeugt werden. Diese führen zu einer direkten Erwärmung des Kochtopfes. Für die Töpfe werden magnetisierbare Materialien verwendet, um die Wärmeentwicklung zu verbessern.

Sobald der Topf von der Herdplatte genommen wird, wird automatisch die Stromzufuhr abgeschaltet. Es ist dann kein Magnetfeld mehr vorhanden. Wenn ein Topf auf der Herdplatte steht, wird das Magnetfeld durch den Topf aufgenommen. Steht ein von den Herstellern empfohlener Topf mit der passenden Größe zentriert auf dem Kochfeld, entstehen in der Umgebung des Herdes nur geringe Streufelder. Höhere Magnetfelder entstehen bei nicht sachgemäßem Gebrauch durch zu kleine Töpfe und Pfannen oder Töpfe, die nicht zentral auf der Kochplatte positioniert sind.

In den üblichen Gebrauchsabständen wird der für den entsprechenden Frequenzbereich empfohlene Referenzwert für die magnetische Flussdichte von $27 \mu\text{T}$ auch in ungünstigsten Fällen (ungeeigneter Topf, nicht zentriert platziert) unterschritten. Um die Exposition mit Magnetfeldern möglichst gering zu halten, sollte man geeignete Töpfe verwenden und einen Mindestabstand von 5 bis 10 Zentimeter von der Vorderkante des Herdes einhalten. Die bei Induktionsherden entstehenden Streufelder können möglicherweise die Funktion von Herzschrittmachern beeinflussen.

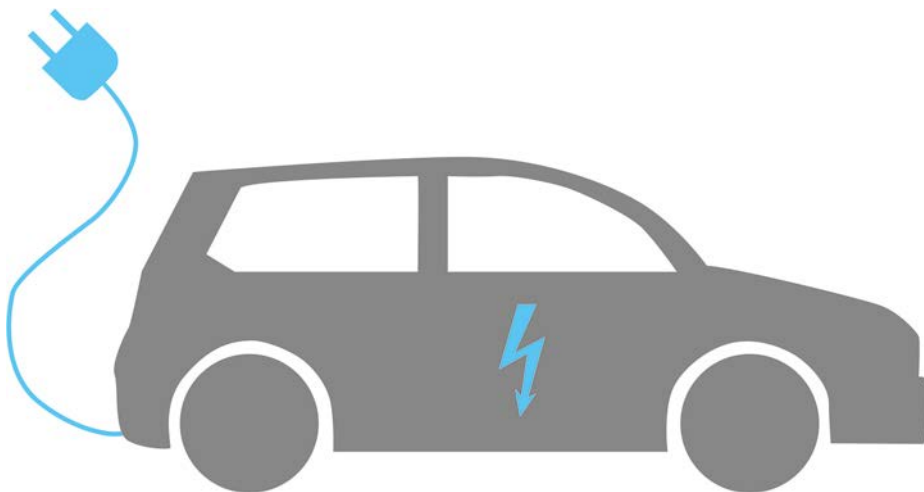


Bildschirmgeräte

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 Bildschirmgeräten haben gezeigt, dass keine dieser Strahlungsarten in einer Größenordnung auftritt, die auch nur annähernd die geltenden Grenzwerte erreicht. Bei den modernen Flachbildschirmen tritt aufgrund der Bauweise Funktionsweise (ohne Bildschirnröhre) keine ionisierende Strahlung auf, es überwiegen niederfrequente Magnetfelder, aber auch diese sind gegenüber denen von Röhrengeräten deutlich reduziert.

Auch bei einer Häufung vieler Monitore in einem Raum ist Bildschirmarbeit aus der Sicht des Strahlenschutzes unbedenklich. Einschränkungen bei der Bildschirmarbeit sind bisher 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 lang anhaltender 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.



Elektrisch angetriebene Kraftfahrzeuge

Eine vergleichsweise neue Technologie, mit deren zunehmender Verbreitung in naher Zukunft zu rechnen ist, sind elektrisch angetriebene Kraftfahrzeuge. Die Feldstärken niederfrequenter Magnetfelder in mehreren rein elektrisch angetriebenen oder mit einem Elektro-Hybridantrieb ausgestatteten Fahrzeugen wurden vom Bundesamt für Strahlenschutz gemessen und bewertet. Lokal begrenzt wurde eine Grenzwertausschöpfung von bis zu 35 Prozent vor allem während des Bremsens und Beschleunigens im Fußbereich am Fahrer- und Beifahrersitz festgestellt, in anderen Bereichen der Autos und während des normalen Fahrbetriebs waren die Magnetfelder deutlich geringer. Es ergaben sich keine Hinweise auf mögliche Störbeeinflussungen von implantierten Herzschrittmachern.

Magnetfelder von einer vergleichbaren Größenordnung treten auch im Fahrgastbereich von Eisenbahnzügen auf. Auch in konventionellen Kraftfahrzeugen können teilweise relativ hohe, vom konkreten Fahrzeug abhängige magnetische Flussdichten auftreten.

Energiesparlampen

Die Europäische Kommission hat 2009 eine Verordnung zur Verbesserung der Energieeffizienz von Haushaltslampen verabschiedet. Dies hat zu einem schrittweisen Verkaufsverbot herkömmlicher Glühlampen zugunsten energieeffizienterer Lampen geführt. Der Einsatz von Energiesparlampen (Kompaktleuchtstofflampen) für allgemeine Beleuchtungszwecke im Haushalt ist unter Strahlenschutzaspekten nicht bedenklich. Die vorliegenden Untersuchungen zu der emittierten optischen Strahlung, die auch einen UV-Anteil beinhaltet, sowie zu den auftretenden elektrischen und magnetischen Feldern bei 50 Hz und im Kilohertzbereich lassen darauf schließen, dass Personen auch bei geringen Gebrauchsabständen nur unterhalb der international zum Schutz der Gesundheit empfohlenen Grenzwerte exponiert werden.

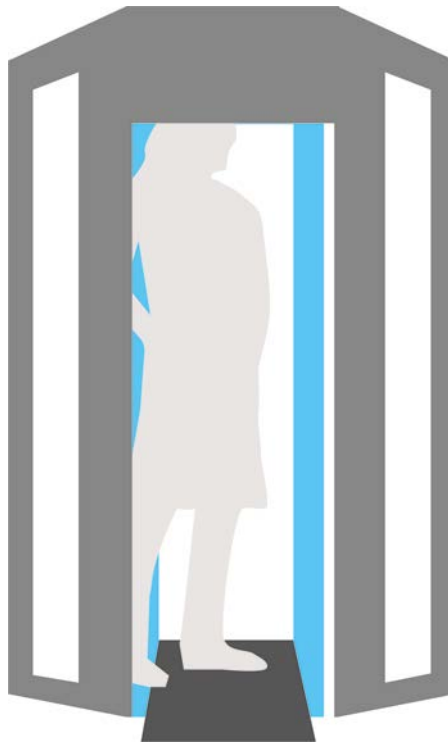


Warena sicherungsanlagen

Warena sicherungsanlagen in Kaufhäusern arbeiten entweder mit niederfrequenten Magnetfeldern oder mit hochfrequenten elektromagnetischen Felder im Bereich um 100 kHz, die mit niedrigen Frequenzen von einigen Hertz moduliert werden.

Warena sicherungsanlagen können die Funktion von Herzschrittmachern beeinflussen. Zwar sind lebensbedrohliche Situationen unwahrscheinlich, dennoch sollten Personen mit Herzschrittmachern die Anlagen zügig durchschreiten und sich nicht länger als unbedingt erforderlich zwischen den Detektoren aufhalten. Berühren oder Anlehnen an die Detektoren sollte vermieden werden.

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



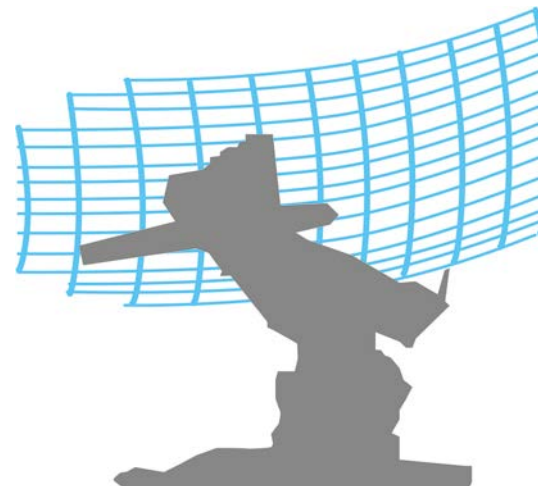
Ganzkörper scanner

Für Sicherheitskontrollen, vor allem an Flughäfen (Passagierkontrollen), werden zunehmend sogenannte Ganzkörper scanner verwendet. Die Geräte können verbotene, unter der Kleidung verborgene Gegenstände detektieren und lokalisieren. Im Unterschied zu Metalldetektoren reagieren diese Geräte auch auf nichtmetallische Objekte wie zum Beispiel Sprengstoff. Die Geräte nutzen Millimeterwellen- oder Terahertzstrahlung mit sehr hohen Frequenzen. Die Eindringtiefe dieser Strahlung in den menschlichen Körper beträgt nur wenige Millimeter. Sie kann nur die Haut und das unmittelbar darunter liegende Gewebe erreichen, nicht aber die inneren Organe.

Das Bundesamt für Strahlenschutz hat im Jahr 2010 zur Abschätzung der zu erwartenden Strahlenbelastung der kontrollierten Personen Messungen an Ganzkörper scannern durchgeführt. Die Geräte halten die international für die allgemeine Bevölkerung empfohlenen Personenschutzgrenzwerte sicher ein. Die typische Strahlenbelastung der kontrollierten Fluggäste bewegt sich zwischen 0,0001 und 0,001 Prozent des empfohlenen Grenzwerts, in ungünstigen Situationen (wiederholte Untersuchungen, längerer Aufenthalt im Scanner) kann sie 1 Prozent des Grenzwertes erreichen.

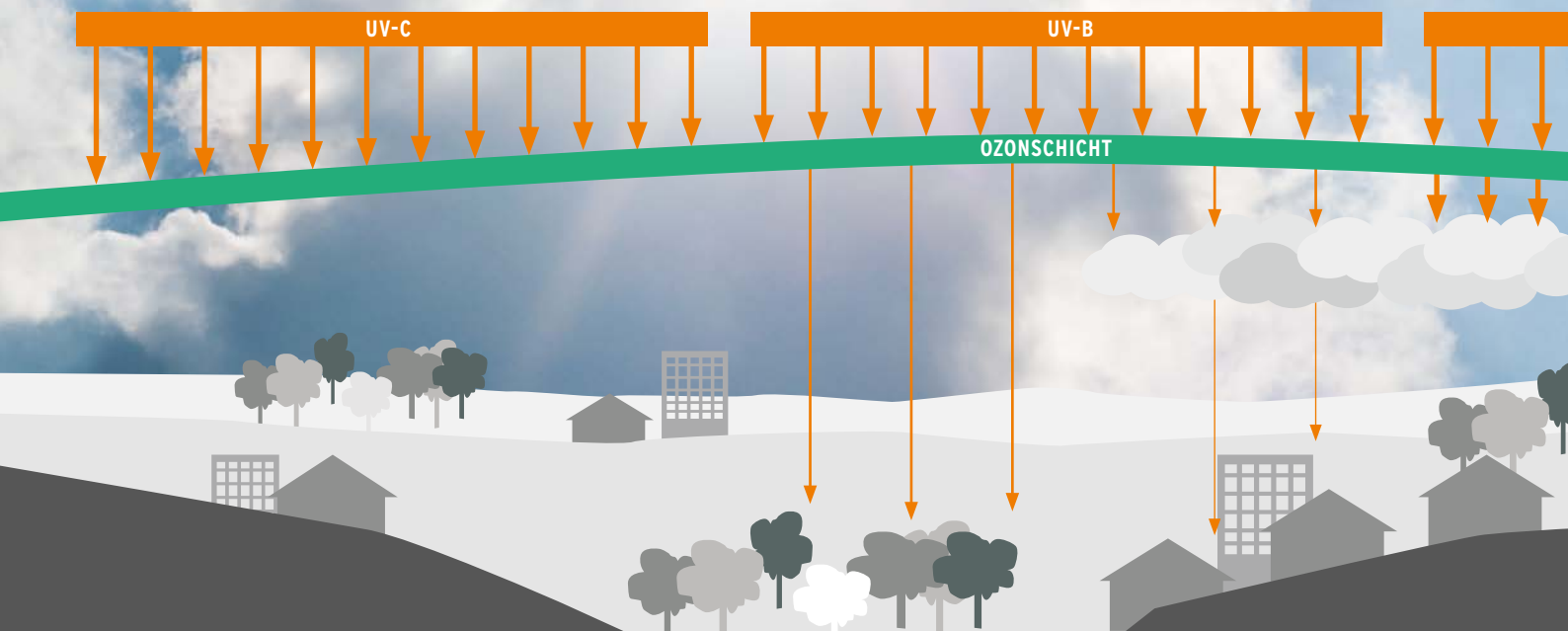
Radaranlagen

Die Intensität der hochfrequenten Strahlung in der Umgebung großer Radaranlagen, zum Beispiel 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, zum Beispiel bei Wartungsarbeiten, geöffnet ist.



Die Sonne verwandelt einen Teil ihrer Materie in Energie, die hauptsächlich als Licht, Wärme und zu etwa 8 Prozent als ultraviolette Strahlung die Erde erreicht.

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



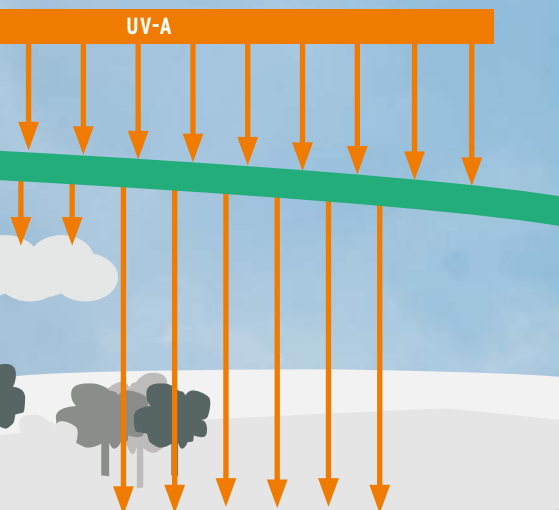
Optische Strahlung

Vor allem das sichtbare Licht und die Wärme der Sonnenstrahlung steigern das Wohlbefinden und fördern die Durchblutung und den Kreislauf. Zu viel Sonnenbaden hat aber leider auch erhebliche „Schattenseiten“. In der Freizeit, im Urlaub, bei der Arbeit und im normalen Alltag ist die Bevölkerung der natürlichen UV-Strahlung durch die Sonne ausgesetzt. Viele Menschen fahren jährlich in die Schönwettergebiete der Erde, um braun-gebrannt aus dem Urlaub heimzukehren. Oft wird braune Haut gleichgesetzt mit Fitness und Gesundheit. Um diesen kosmetischen Effekt zu erzielen, werden auch künstliche UV-Strahlenquellen wie Solarien genutzt.

Zu viel UV-Strahlung kann schaden. Sie ist der Hauptrisikofaktor für Hautkrebs. Der einzige bekannte positive Effekt der UV-Strahlung, genauer gesagt der UV-B-Strahlung, ist die Anregung der Bildung des körpereigenen Vitamin D. Hierfür sind jedoch keine langen Sonnenbäder oder gar Sonnenbrände nötig.

Abschirmung durch die Atmosphäre

Die ultraviolette (UV-)Strahlung ist der energiereichste Teil der optischen Strahlung. Sie bildet im elektromagnetischen Spektrum 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 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-B-Strahlung, der zur Erdoberfläche durchdringen kann und deren biologische Wirksamkeit besonders groß ist. Bisher ist nicht klar vorherzusagen, wie sich diese Entwicklung in der Zukunft gestalten wird. Das Bundesamt für Strahlenschutz 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 werden der Einfluss der Bewölkung und der Ozonausdünnung in der hohen Atmosphäre festgehalten.



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.

Akute Wirkungen

Zu den akuten Schäden an den Augen gehören schmerzhafte Entzündungen der Bindehaut und der Hornhaut. Die Schädigung macht sich circa sechs bis acht Stunden nach der UV-Bestrahlung bemerkbar. Da in der Hornhaut und der Bindehaut neue Zellen nachgebildet werden können, klingt die Entzündung in aller Regel nach einigen Tagen wieder ab.

Von den akuten Wirkungen an der Haut 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 Schälen der Haut als Folge schwerer Sonnenbrände. In jedem Fall sind Sonnenbrände ein sichtbares Zeichen dafür, dass die Haut geschädigt wurde. In den Zellen der Haut verursacht UV-Strahlung Schäden an der Erbsubstanz, der DNS. Zelleigene Reparatursysteme können diese Schäden meistens beseitigen. Mit der Zahl der Schäden steigt aber die Wahrscheinlichkeit, dass bleibende Erbgutveränderungen (Mutationen) entstehen, durch die sich langfristig das Risiko für die Entstehung einer Krebserkrankung erhöht.

Allergische und phototoxische Reaktionen der Haut sind als weitere akute Wirkungen der UV-Strahlung bekannt. In vielen Fällen werden sie durch UV-A-Strahlung in Verbindung mit verschiedenen in Medikamenten oder Kosmetika enthaltenen Substanzen hervorgerufen.

In gewissem Umfang kann sich die Haut vor UV-Schäden schützen, zum Beispiel durch Pigmentierung (Bräunung) oder den Aufbau einer sogenannten Lichtschwiele. Allerdings kann der Eigenschutz der Haut das Auftreten eines Sonnenbrandes nur zeitlich verzögern. Schädigungen des Erbgutes werden dadurch nicht verhindert. Vom sogenannten „Vorbräunen“ im Solarium wird abgeraten. Im Solarium wird überwiegend UV-A-Strahlung emittiert, die weder eine lang anhaltende Bräunung erzeugt, noch zur Bildung einer Lichtschwiele führt. Die Haut wird nur unnötigerweise zusätzlichen UV-Bestrahlungen ausgesetzt.

Langfristige Wirkungen

Langfristig kann die UV-Bestrahlung der Augen unter anderem zur Bildung eines Katarakts („Grauer Star“) beitragen. UV-A- und UV-B-Strahlung werden hauptsächlich von den vorderen Augenmedien (Hornhaut und Linse) aufgenommen. Ein geringer Anteil der UV-A-Strahlung kann jedoch auch bis zur Netzhaut vordringen. Daher wird UV-Strahlung auch mit Netzhautveränderungen und der Makuladegeneration (Makula = Gelber Fleck = Ort des schärfsten Sehens) in Zusammenhang gebracht.

Eine langfristige Wirkung von UV-Bestrahlung auf die Haut ist eine vorzeitige Alterung. Insbesondere durch UV-A-Strahlung wird das Bindegewebe und damit die Elastizität der Haut geschwächt. Diese chronische Wirkung ist sicherlich von vielen Sonnenanbetern nicht erwünscht.

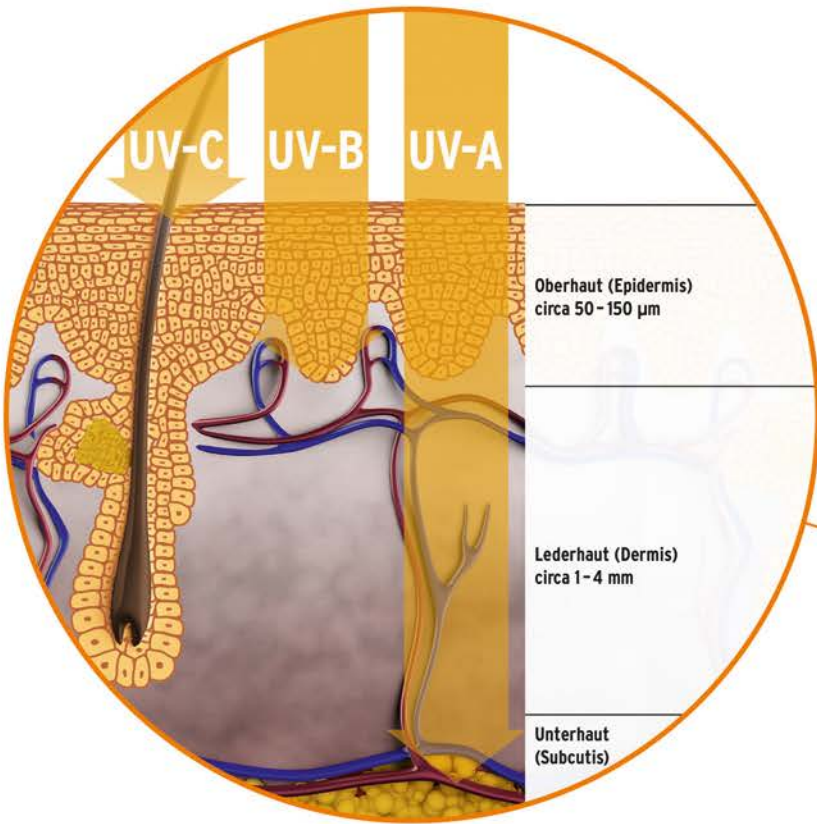
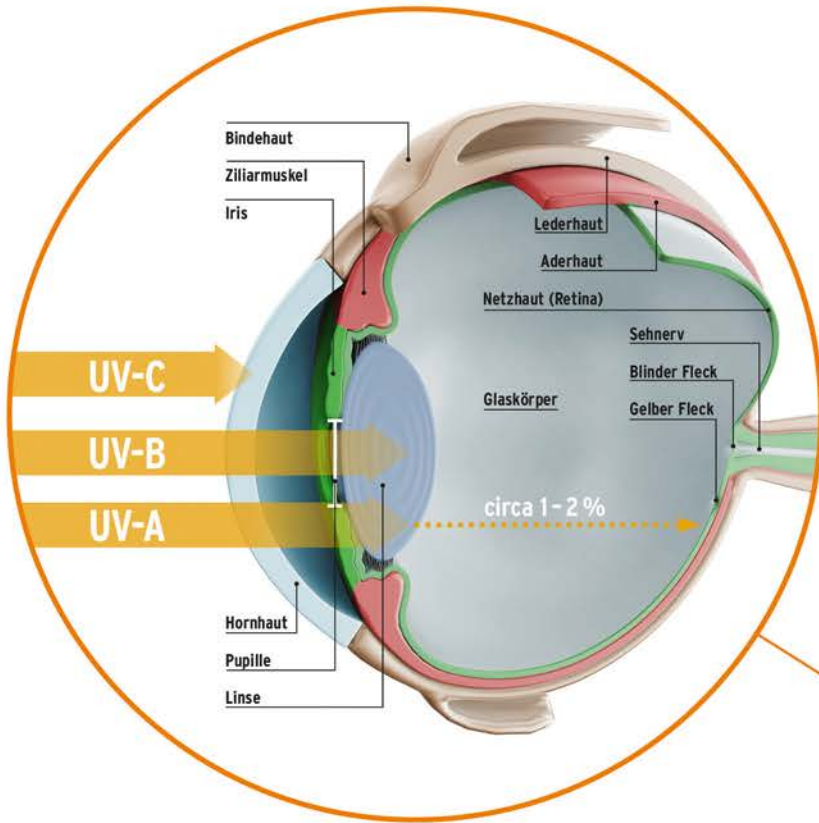
Hautkrebs

Die gefährlichste chronische Wirkung von häufigen und langandauernden UV-Bestrahlungen ist jedoch der Anstieg des Risikos für verschiedene Hautkrebsarten. Risikofaktoren hierfür sind unter anderem die im Laufe eines Lebens erhaltene UV-Dosis und Sonnenbrände. Vor allem Sonnenbrände im Kindesalter erhöhen das Risiko, später an Hautkrebs zu erkranken.

Bedeutsam wegen seiner Bösartigkeit ist vor allem der schwarze Hautkrebs, das sogenannte maligne Melanom. Daneben sind die hellen Hautkrebsarten, das Basalkarzinom und das Plattenepithelkarzinom, zu nennen.

Für die Zunahme von Hautkrebskrankungen spielt die UV-Belastung eine wichtige Rolle. Gegenüber früher hat sich das Freizeit- und Sozialverhalten vieler Menschen erheblich geändert. So reist ein hoher Prozentsatz der deutschen Bevölkerung vorwiegend in Urlaubsgebiete mit hoher Sonneneinstrahlung. Verhaltensempfehlungen beim Sonnenbaden sollten auch aus diesem Grund befolgt werden, um schädlichen gesundheitlichen Wirkungen rechtzeitig vorzubeugen.

Nach Einschätzung des Robert-Koch-Instituts haben sich die altersstandardisierten Erkrankungsrate für das maligne Melanom seit den 1980er Jahren mehr als verdreifacht. Circa 2.500 Menschen sterben jährlich in Deutschland an dieser Form des Hautkrebses.



UV Index



Hauttypen und ihre Reaktion auf die Sonne

HAUTTYP*	I	II	III	IV	V	VI
NATÜRLICHE HAUTFARBE	sehr hell	hell	hell bis hellbraun	hellbraun, oliv	dunkelbraun	dunkelbraun bis schwarz
SOMMERSPROSSEN/ SONNENBRANDFLECKEN	sehr häufig	häufig	selten	keine	keine	keine
NATÜRLICHE HAARFARBE	rötlich bis rötlich-blond	blond bis braun	dunkelblond bis braun	dunkelbraun	dunkelbraun bis schwarz	schwarz
AUGENFARBE	blau, grau	blau, grün, grau, braun	grau, braun	braun bis dunkelbraun	dunkelbraun	dunkelbraun
REAKTION AUF DIE SONNE						
SONNENBRAND	immer und schmerzhaft	fast immer, schmerzhaft	selten bis mäßig	selten	sehr selten	extrem selten
BRÄUNUNG	keine	kaum bis mäßig	fortschreitend	schnell und tief	keine	keine
ERYTHEMWIRKSAME SCHWELLENBESTRAHLUNG**	> 200 J/m ²	> 250 J/m ²	> 350 J/m ²	> 450 J/m ²	> 800 J/m ²	> 1.000 J/m ²



Jeder Sonnenbrand ist zu vermeiden! Eltern stehen dabei für ihre Kinder in besonderer Verantwortung. Aufenthalte in der Mittagssonne sind im Sommer zu vermeiden!

Hauttypen

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 wesentlich länger in der Sonne aushalten. Diese unterschiedlichen Empfindlichkeiten werden bei der Einteilung in sechs verschiedene Hauttypen berücksichtigt. Jeder Mensch sollte nach Möglichkeit wissen, zu welchem Hauttyp er gehört, um sein Verhalten in der Sonne bewusst gestalten zu können. Zu beachten ist jedoch, dass die Übergänge zwischen den Hauttypen fließend sind. Im Zweifelsfall sollte man sich dem empfindlicheren Hauttyp zuordnen. Die Haut von Kindern ist generell sehr empfindlich gegenüber UV-Strahlung und daher stets besonders zu schützen.

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 Aufenthalte in der Mittagssonne verzichtet werden. Wenn dies nicht möglich ist, sollte man sich möglichst im Schatten

aufhalten und geeignete lockere Kleidung, die den Körper bedeckt und UV-Strahlung zurückhält, tragen. Unbedeckte Körperpartien sollten ausreichend mit Sonnenschutzmitteln eingecremt werden. 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, damit die Sonnencreme in die Haut einziehen kann. Für Kinder empfiehlt das Bundesamt für Strahlenschutz mindestens den Lichtschutzfaktor 30. Säuglinge und Kleinkinder unter 2 Jahren sollten überhaupt nicht der direkten Sonnenstrahlung ausgesetzt werden. Nach Möglichkeit sollten Deodorants, Parfüms und Rasierwässer nicht angewendet werden, da die darin enthaltenen Substanzen phototoxische oder photoallergische Reaktionen der Haut auslösen können.

Auch die Augen müssen geschützt werden. Eine gute Sonnenbrille hilft, Augenschäden zu vermeiden. Sie sollte einen Hinweis auf die geltende DIN-Norm und eine Markierung wie „UV400“ oder „100%-UV-Schutz“ aufweisen, zum Schutz vor Streustrahlung über breite Bügel verfügen und gut am Gesicht anliegen. Die UV-Einstrahlung in großen Höhenlagen ist intensiver als im Flachland und Schnee re-

flektiert die UV-Strahlung zusätzlich. Im Frühjahr können deshalb beim Wintersport in den Bergen bereits erhebliche UV-Belastungen für Augen und Haut auftreten. Es gibt Menschen, 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 angeborene 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.

Diese Personen sollten besonders auf angemessenen UV-Schutz achten. Für hellhäutige Menschen sollte „vornehme Blässe“ wieder zum Ideal für gesundes Aussehen werden. Das Bundesamt für Strahlenschutz rät: Schützen Sie sich ausreichend vor den schädlichen Strahlenwirkungen der Sonne – der eigenen, gesunden Haut zuliebe!

Nutzung von Solarien

Solarien sind UV-Bestrahlungsgeräte, die für kosmetische Zwecke genutzt werden. Ein Solarium besteht aus einer künstlichen UV-Strahlenquelle, optischen Komponenten wie Filtern und Reflektoren und einem mechanischen Aufbau mit festgelegter Nutzfläche. Entscheidende Bewertungsgröße eines Solariums ist die erythemwirksame Bestrahlungsstärke auf der Nutzfläche.

Bei Nutzung von Solarien können akute und chronische Strahlenwirkungen auf Auge und Haut auftreten, wie sie von der natürlichen UV-Strahlung der Sonne her bekannt sind. Um dies zu vermeiden, sollte der Besuch von Solarien zu kosmetischen Zwecken, zur Steigerung des allgemeinen Wohlbefindens oder zur nicht-medizinischen Gesundheitsprophylaxe unterbleiben.

Gesetze und Verordnungen

Seit August 2009 gilt das „Gesetz zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen“ (NiSG) und seit 1. Januar 2012 ist die zugehörige „Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen künstlicher ultravioletter Strahlung“ (UV-Schutz-Verordnung) in Kraft. Laut Gesetz darf seit August 2009 die Benutzung von Solarien in Sonnenstudios, ähnlichen Einrichtungen oder sonst öffentlichen Räumen Minderjährigen nicht gestattet werden. Die Betreiber von Solarien sind für die Einhaltung dieses Nutzungsverbots verantwortlich.

Die UV-Schutz-Verordnung regelt:

- Anforderungen an den Betrieb von UV-Bestrahlungsgeräten;
- Einsatz, Aufgaben und Qualifikation von Fachpersonal in Solarien;
- Schulung und Fortbildung zum Fachpersonal in Solarien;
- Informationspflichten gegenüber den Nutzerinnen und Nutzern von Solarien,
- Dokumentationspflichten derjenigen, die UV-Bestrahlungsgeräte betreiben;
- Bußgeldvorschriften bei Zuwiderhandlung sowie
- Übergangsvorschriften für Altgeräte und für im Rahmen des freiwilligen Zertifizierungsverfahrens von Solarien nach den Kriterien des Bundesamts für Strahlenschutz geschultes Personal.



Das Bundesamt für Strahlenschutz empfiehlt jedem, der trotz der gesundheitlichen Risiken ein Solarium nutzen möchte, selbst zu überprüfen, ob auf den ihm zustehenden Gesundheitsschutz geachtet wird. Dazu dient eine praktikable Checkliste, der Solarien-Check.



DER CHECK FÜR IHRE GESUNDHEIT

Kann einer der aufgelisteten Punkte nicht mit „Ja“ beantwortet werden, dann sollten Sie das Solarium nicht nutzen, unabhängig davon, welches Zertifikat Sie dort vorfinden:

- Die Solarien werden durch speziell geschultes Fachpersonal beaufsichtigt.

DAS PERSONAL

- lässt keine Person unter 18 Jahren ein Solarium nutzen;
- hat auf die Gesundheitsschädlichkeit der UV-Strahlung hingewiesen;
- rät Personen mit Hauttyp I oder II von einem Solarienbesuch ab;
- hat ungefragt eine Informationsschrift über die Wirkung der UV-Strahlung ausgehändigt. Die Inhalte der Informationsschrift sind veröffentlicht in der UV-Schutz-Verordnung Bundesgesetzblatt, 2011 (im PDF auf Seite 16 und 17);

HAT SICH ERKUNDIGT, OB

- Sie Medikamente einnehmen;
- bei Ihnen häufig Sonnenbrände, vor allem in der Kindheit, aufgetreten sind;
- Sie auffällige und/oder viele Muttermale haben;
- bei Ihnen oder in Ihrer Familie Hautkrankheiten und/oder Hautkrebserkrankungen bestehen, beziehungsweise früher bestanden;
- rät vom Solarienbesuch ab, wenn mindestens eine dieser Fragen mit „Ja“ beantwortet wurde;
- fragt, wie lange der letzte Solarienbesuch zurückliegt;
- bestimmt den Hauttyp;
- erstellt einen individuellen Dosierungsplan über zehn Bestrahlungen;
- händigt ungefragt eine Schutzbrille aus;
- weist darauf hin, dass man das Solarium nur ungeschminkt und ohne Parfüm nutzen soll.

IN DEN GESCHÄFTSRÄUMEN FINDET MAN (GUT SICHT- UND LESBAR)

- den Hinweis „Benutzung von Solarien für Kinder und Jugendliche unter 18 Jahren verboten“;
- einen Aushang der Ausschlusskriterien. Die Ausschlusskriterien sind veröffentlicht in der UV-Schutz-Verordnung (im PDF auf Seite 15 und 16);

IN DER KABINE FINDET MAN (GUT SICHT- UND LESBAR)

- einen Aushang der Schutzhinweise. Die Schutzhinweise sind veröffentlicht in der UV-Schutz-Verordnung, Bundesgesetzblatt, 2011;
- Informationen über die Dauer der Erstbestrahlung spezifisch für das in der Kabine stehende Gerät;
- Informationen über die maximale Höchstbestrahlungsdauer für Hauttyp I bis IV spezifisch für das in der Kabine stehende Gerät und mit dem Hinweis, dass die Bestrahlung für Hauttyp I und II ausgeschlossen ist.

DAS SOLARIUM SELBST

- verfügt über eine Notabschaltung;
- hat eine Markierung für den einzuhaltenden Mindestabstand, falls Sie sich frei vor das Gerät stellen oder setzen können;
- ist mit dem Hinweis versehen: „Warnung!“ - „Vorsicht! UV-Strahlung kann akute Schäden an Augen und Haut verursachen, führt zu vorzeitiger Hautalterung und erhöht das Risiko, an Hautkrebs zu erkranken. Empfehlungen zum Gesundheitsschutz beachten! Schutzbrille tragen! Medikamente und Kosmetika können die UV-Empfindlichkeit der Haut erhöhen.“;
- wird vom Personal gereinigt und desinfiziert.

Der Einsatz optischer Strahlung für kosmetische Zwecke und im Wellnessbereich

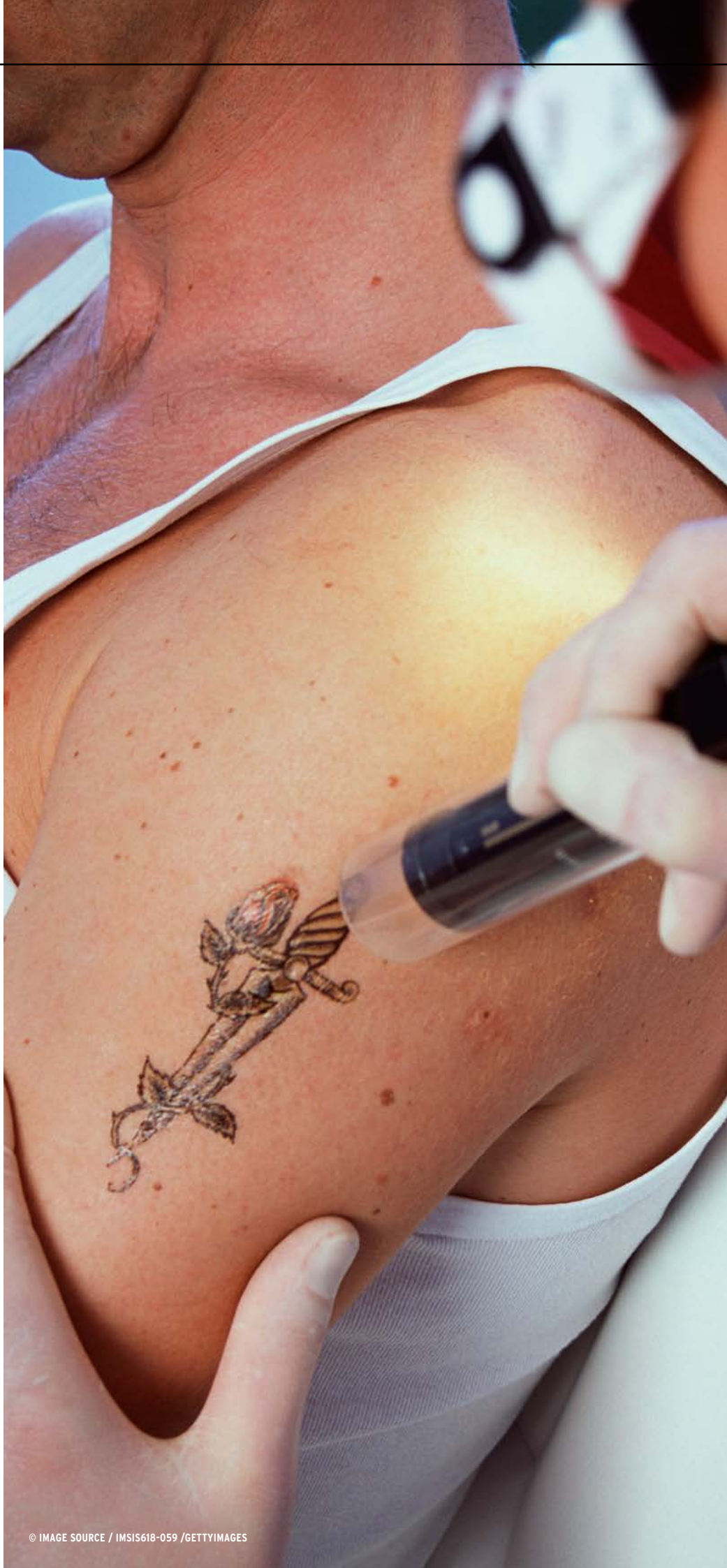
Neben dem Einsatz künstlicher UV-Strahlung im Solarium werden zunehmend sichtbares Licht und Infrarot-Strahlung (Wärmestrahlung) zu kosmetischen Zwecken eingesetzt:


- zur dauerhaften Haarentfernung,
- zur Entfernung von Tätowierungen,
- zur Reduktion von Falten,
- zur Entfernung von „Altersflecken“ und kleinen Blutgefäßen („Besenreiser“).

Eingesetzte Strahlenquellen

Im Einsatz sind meist starke Laser, IPL-Systeme (IPL = Intense pulsed light, auch „Blitzlampen“ genannt) oder Licht emittierende Dioden (LED). Laser liefern gebündelte Strahlung mit hoher Energie- und Leistungsdichte, die kontinuierlich oder gepulst abgegeben wird. Sie besteht meist nur aus einer oder wenigen Wellenlängen im ultravioletten, sichtbaren oder infraroten Bereich des elektromagnetischen Spektrums.

IPL-Systeme strahlen breitbandig (Wellenlängen von circa 250 – 1.400 nm) und gepulst, wobei der Bereich durch Filter meist auf Wellenlängen des sichtbaren Lichts und des Infrarot eingeeengt wird. Licht emittierende Dioden (LED) wandeln elektrische Energie in optische Strahlung um und strahlen gerichtet ab, allerdings nicht so fokussiert wie beim Laser. Jede einzelne LED gibt nur eine schmale Bandbreite an Wellenlängen ab. LEDs werden zum Beispiel für die sogenannte „Hautverjüngung“ oder zum Aushärten von Nagellack eingesetzt.





Tätowierungen werden entfernt, indem die Farbpigmente des Tattoos mit extrem kurzen Laserpulsen geeigneter Wellenlänge „beschossen“ und in Bruchstücke zerlegt werden.

Epilation und Entfernung von Tattoos

Unerwünschter Haarwuchs soll möglichst dauerhaft reduziert, das missglückte Tattoo entfernt werden? Wird hierfür optische Strahlung eingesetzt, ist das Wirkprinzip in beiden Fällen ähnlich. Die Energie der optischen Strahlung wird entweder vom Farbstoff Melanin oder den jeweiligen Tattoo-Farbstoffen aufgenommen und in Wärme umgewandelt.

Durch das lokale Erhitzen werden die für das Haarwachstum verantwortlichen Strukturen geschädigt oder zerstört beziehungsweise der Tattoo-Farbstoff zertrümmert. Die Anwendung muss an den individuellen Farbstoffgehalt der Haut, der Haare und an die Haardicke der zu behandelten Person angepasst werden. Enthält das Haar möglichst viel, das umgebende Gewebe möglichst wenig Melanin, werden bevorzugt die haarbildenden Strukturen und nicht die Umgebung zerstört. Ist die Haut stark pigmentiert (dunkler Hauttyp, Bräunung), steigt das Risiko für Nebenwirkungen. Da die Behandlung nur auf den Teil der Haarfollikel wirkt, in denen gerade ein Haar wächst, muss die Prozedur in zeitlichen Abständen mehrfach wiederholt werden.

Tätowierungen werden entfernt, indem die Farbpigmente des Tattoos mit extrem kurzen Laserpulsen geeigneter Wellenlänge „beschossen“ und in Bruchstücke zerlegt werden. Bei mehrfarbigen Tattoos werden gegebenenfalls unterschiedliche Laser eingesetzt. Auch diese Prozedur muss oft mehrfach wiederholt werden.

Risiken

Um die gewünschten Effekte zu erreichen, müssen Expositionsgrenzwerte überschritten werden. Bei fehlerhafter Anwendung bestehen vor allem thermische Risiken für Haut und Augen. Augenschutz ist daher erforderlich. Die Haut kann verbrannt werden oder die Pigmentierung kann sich ändern. Zu den Hauptfehlern gehören die Anwendung zu hoher Energiedichte, die Verwendung nicht geeigneter Geräte, die Behandlung stark gebräunter Personen und fehlende Kühlung.

Anwender müssen zudem wissen, wann eine Behandlung nicht angezeigt ist (Kontraindikation). Insbesondere sollen keine pigmentierten Hautveränderungen wie

„Muttermale“ oberflächlich verändert werden, da dies die rechtzeitige Diagnose von Hautkrebs erschweren oder verhindern kann. Die kommerzielle Anwendung optischer Strahlung ist nicht auf Personen mit medizinischer Ausbildung beschränkt. Verbraucherinnen und Verbraucher sollten sich über die Qualifikation der professionellen Anwenderinnen und Anwender informieren. Aus Sicht des Strahlenschutzes sollte nur qualifiziertes Personal mit der nötigen Fach- und Sachkenntnis kosmetische Behandlungen mit starken optischen Strahlungsquellen vornehmen und die Haut vorher von einem Dermatologen oder einer Dermatologin beurteilt werden.

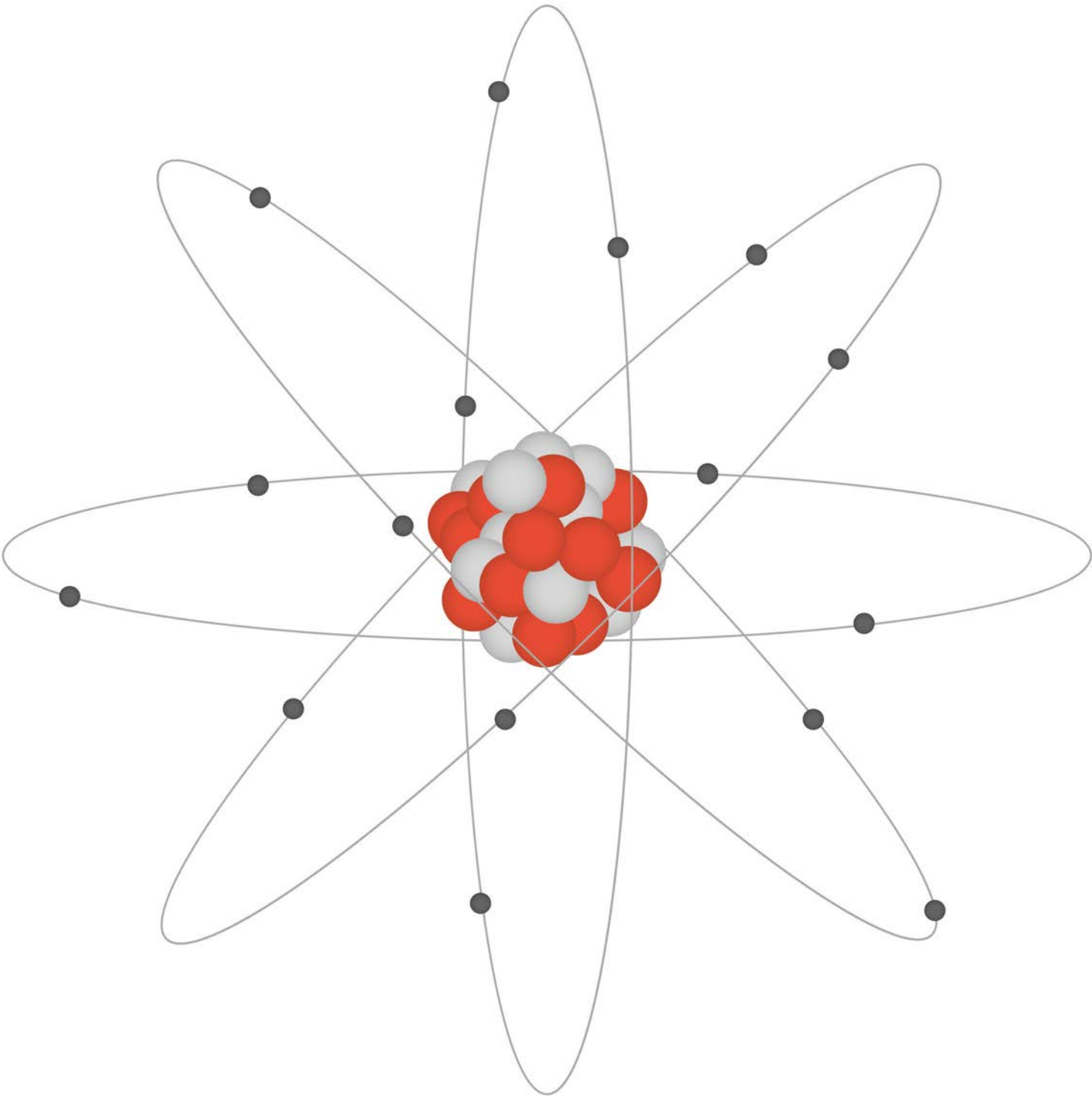
Heimgeräte

Für viele kosmetische Anwendungen gibt es mittlerweile auch Heimgeräte. Teilweise sind leistungsstarke optische Strahlungsquellen, gegebenenfalls sogar Laser der höchsten Klassen verbaut. Gemäß Herstellerangaben sorgen Kontaktsensoren dafür, dass bei Verlust des Hautkontakts keine für die Augen gefährliche Strahlung mehr aus den Geräten austritt. Trotzdem ist bei Anwendungen im Gesicht, vor allem im Bereich der Augen, bei gepulsten Strahlungsquellen wie Lasern oder IPL-Geräten besondere Vorsicht geboten! Die Herstellerinformationen und Gerätebeschreibungen sind unbedingt zu beachten.

Gesetze und Verordnungen

Die Verordnung zum Schutz vor schädlichen Wirkungen nichtionisierender Strahlung bei der Anwendung am Menschen (NiSV) basiert ebenfalls auf dem NiSG. Sie gilt für den Betrieb von Anlagen zur Anwendung nichtionisierender Strahlung am Menschen, die zu kosmetischen oder sonstigen nichtmedizinischen Zwecken gewerblich eingesetzt werden. Dazu gehören zum Beispiel die Entfernung von Tätowierungen, die Haarepilation, die Hautstraffung und die Fettreduktion. Diese Verordnung tritt grundsätzlich am 31.12.2020 in Kraft; einzelne Regelungen gelten erst ein Jahr später ab dem 31.12.2021.

Glossar



A

ABSORPTION

Aufnahme der Energie einer Teilchen- oder Wellenstrahlung 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 Radionuklide in Stoffen mit verschiedenen Aggregatzuständen enthalten sein können, wird die Aktivitätsangabe auch häufig auf diese bezogen, zum Beispiel Becquerel pro Gramm (Bq/g) in Feststoffen, Becquerel pro Liter (Bq/l) in Flüssigkeiten oder Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m³) in Luft.

ALPHATEILCHEN

Beim Kernzerfall bestimmter Radionuklide ausgesandtes, positiv geladenes Teilchen. Es besteht aus zwei Neutronen und zwei Protonen und ist der Kern eines Heliumatoms.

ATOM

Alle festen, flüssigen und gasförmigen Stoffe bestehen aus Atomen. Die Eigenschaften des Stoffes werden durch die Zusammensetzung der Atome bestimmt. Atome verschiedener Elemente unterscheiden sich in Größe, Masse und den Möglichkeiten, Verbindungen mit anderen Atomen einzugehen. 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 Anzahl dieser schweren Kernbausteine ergibt die Massenzahl, zum Beispiel 222 bei Radon-222. Die Atomhülle besteht aus negativ geladenen Elektronen.

B

BETATEILCHEN

Beim Kernzerfall bestimmter Radionuklide ausgesandtes Elektron oder Positron.

D

DOSIS

Die Dosis ist ein Maß für eine näher anzugebende Strahlenwirkung.

• **ENERGIEDOSIS:**

Sie beschreibt die Energie, die einem Volumenelement beliebiger Materie durch ionisierende Strahlung zugeführt wird, bezogen auf seine Masse. Die Maßeinheit der Energiedosis ist das Gray (Gy).

• **ÄQUIVALENTDOSIS:**

Die Äquivalentdosis berücksichtigt die unterschiedliche biologische Wirkung verschiedener Strahlenarten. Sie wird als Produkt der Energiedosis und einem Qualitätsfaktor für die jeweilige Strahlung berechnet. Die Maßeinheit der Äquivalentdosis ist das Sievert (Sv).

• **ORGANDOSIS (ORGAN-ÄQUIVALENTDOSIS)**

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

DOSISLEISTUNG

Die Dosisleistung gibt die Strahlendosis pro Zeiteinheit an, zum Beispiel Millisievert pro Stunde (mSv/h).

E

ELEKTRODE

Bauteil in der Elektrotechnik, das Elektronen abgibt oder aufnimmt oder von dem ein elektrisches Feld ausgeht.

ELEKTRON

Elementarteilchen mit einer negativen elektrischen Elementarladung.

EXPOSITION

Als Exposition bezeichnet man das Ausgesetztsein eines Organismus gegenüber bestimmten Umwelteinflüssen.

F

FELD

Räumlich abhängige physikalische Größe. Im vorliegenden Zusammenhang werden betrachtet:

• **ELEKTRISCHES FELD:**

Kraftfeld zwischen elektrisch geladenen Körpern. 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:**

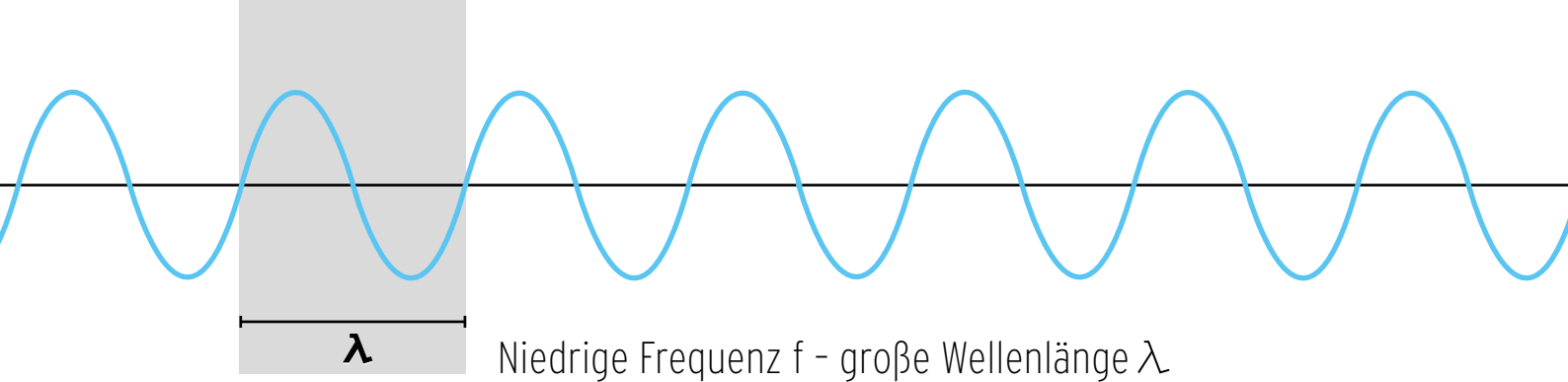
Magnetische Felder treten in der Umgebung von stromdurchflossenen Leitern und Dauermagneten auf. Die magnetische Feldstärke H kennzeichnet Stärke und Richtung des magnetischen Feldes, ihre Maßeinheit ist Ampere pro Meter (A/m). Neben der magnetischen Feldstärke beschreibt auch die magnetische Flussdichte 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 $0,8 \text{ A/m}$.

• **ELEKTROMAGNETISCHE WELLE:**

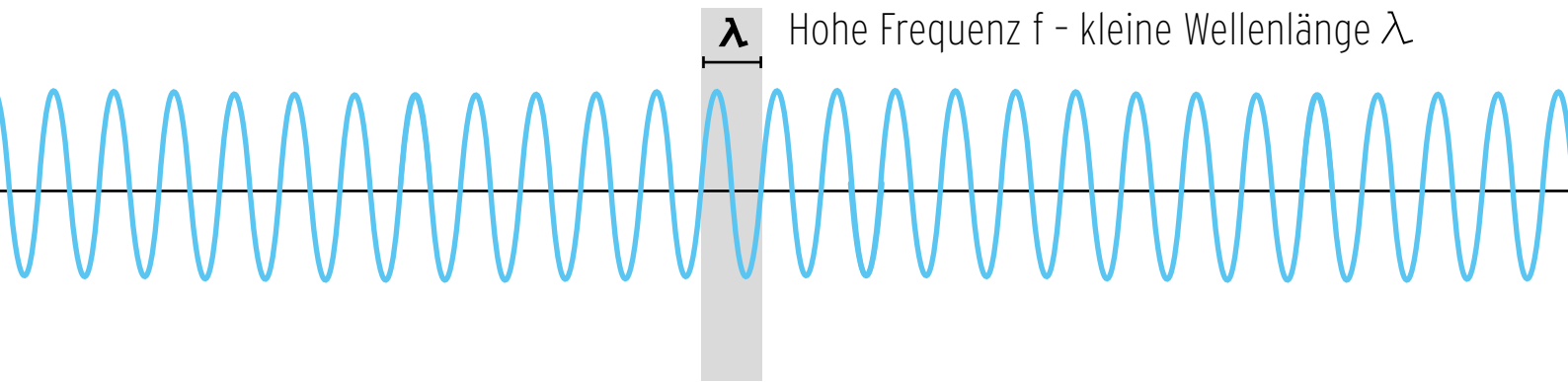
Von elektromagnetischen Wellen spricht man, wenn zeitlich veränderliche elektrische und magnetische Felder sich im Raum ausbreiten.

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.



Frequenz und Wellenlänge



H

HALBWERTSZEIT

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

I

INDUKTION

Vorgang, bei dem in einem Leiter elektrischer Strom (Wirbelstrom) erzeugt wird, wenn der magnetische Fluss innerhalb dieses Leiters geändert wird.

IONISATION

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

IONISIERENDE STRAHLUNG

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

- **ALPHA STRAHLUNG:**

Teilchenstrahlung in Form von Kernen des Elements Helium (Alpha-Teilchen).

- **BETA STRAHLUNG:**

Teilchenstrahlung in Form von Elektronen oder Positronen.

- **GAMMA STRAHLUNG:**

Hochenergetische, kurzwellige elektromagnetische Strahlung, die beim radioaktiven Zerfall eines Nuklids vom Atomkern ausgesendet wird.

- **NEUTRONEN STRAHLUNG:**

Strahlung in Form elektrisch neutraler Elementarteilchen (Neutronen).

- **RÖNTGEN STRAHLUNG:**

Hochenergetische, kurzwellige elektromagnetische Strahlung, die mit Hilfe technischer Einrichtungen (Röntgenröhre) erzeugt wird. Sie kann aber auch natürlich entstehen. 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.

K

KERNSPALTUNG

Spaltung schwerer Atomkerne durch Beschuss mit Neutronen, wobei große Energiemengen freigesetzt werden. Außerdem werden neue Neutronen frei, die weitere Kernspaltungen auslösen können.

Kernspaltung kann auch spontan, d. h. ohne Anregung von außen, auftreten.

KOLLIMATOR

Vorrichtung, mit der aus einem in einer Röntgenröhre erzeugten Strahl ein Bündel mit bestimmtem Raumwinkel ausgeblendet wird.

KONTAMINATION (RADIOAKTIV)

Verunreinigung durch radioaktive Stoffe.

KOSMISCHE STRAHLUNG

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

L

LATENZZEIT

Zeitraum zwischen der Bestrahlung und dem Auftreten der Strahlenwirkung bei einem biologischen Objekt. Diese Zeiten können sehr unterschiedlich sein und hängen von der Bestrahlungsart und -stärke ab.

LEISTUNGSFLUSSDICHTE

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 ist definiert als 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.

N

NEUTRON

Elektrisch neutrales Elementarteilchen. Neutronen sind ein Baustein von Atomkernen 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): zum Beispiel Erdmagnetfeld
- **NIEDERFREQUENTE ELEKTRISCHE UND MAGNETISCHE FELDER** (Frequenzbereich bis 100 kHz): zum Beispiel beim technischen Wechselstrom
- **HOCHFREQUENTE ELEKTROMAGNETISCHE FELDER** (Frequenzbereich 100 kHz – 300 GHz): zum Beispiel Radio und Mikrowellen
- **OPTISCHE STRAHLUNG** (Wellenlängenbereich 1 mm – 100 nm): zum Beispiel Infrarotstrahlung, Licht, UV-Strahlung.

P

PROTON

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

R

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.

RADIONUKLID

Spezifische Art instabiler (radioaktiver) Atomkerne, die durch die Anzahl ihrer Protonen und Neutronen bestimmt ist. Es gibt sowohl in der Natur vorkommende Radionuklide (wie zum Beispiel Radon-222) als auch durch kernphysikalische Prozesse erzeugte künstliche Radionuklide (wie zum Beispiel Cäsium-137). Kennzeichnend für jedes Radionuklid ist seine Halbwertszeit.

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.

S

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 (zum Beispiel bei Handybenutzung).

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.

T

TERRESTRISCHE STRAHLUNG

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

W

WELLENLÄNGE

Die Wellenlänge ist der Abstand benachbarter Schwingungszustände gleicher Phase in Ausbreitungsrichtung, zum Beispiel zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wellenbergen.

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 = $2,7 \cdot 10^{-11}$ 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

Maßeinheiten und Umrechnung

A/m Ampere pro Meter ist die Einheit der magnetischen Feldstärke. Oft wird stattdessen die 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 0,0001 T.

Bq Das Becquerel ist das Maß für die Aktivität eines Stoffes. Es ist die Anzahl der in diesem Stoff ablaufenden Kernzerfälle pro Zeiteinheit (1 Bq = 1 Kernzerfall/s). Die Aktivitätsangabe wird auch häufig auf den Zustand der jeweiligen Stoffe bezogen, zum Beispiel Becquerel pro Gramm (**Bq/g**) in Feststoffen, Becquerel pro Liter (**Bq/l**) in Flüssigkeiten oder Becquerel pro Kubikmeter (**Bq/m³**) in Luft.

Gray Das Gray ist die Maßeinheit der Energiedosis, also der Energiemenge, die durch die Strahlung an eine bestimmte Menge an Materie abgegeben wird: Ein Gray entspricht dabei einem Joule pro Kilogramm (1 Gy = 1 J/kg).

Hz Das Hertz ist die Einheit der Frequenz, also die Anzahl der Schwingungen in einer Zeiteinheit:
1 Hz = 1 Schwingung pro Sekunde = 1/s.

Sv Das Sievert ist die Einheit der effektiven Dosis und der Organ-Äquivalentdosis. In der Praxis des Strahlenschutzes werden in der Regel Bruchteile der Doseinheit verwendet, zum Beispiel: Millisievert (**mSv**), Mikrosievert (**µSv**), Nanosievert (**nSv**). Die Dosisleistung wird oft auf einen Zeitraum bezogen, also pro Jahr (**mSv/a** oder pro Stunde (**mSv/h**)).

T Das Tesla ist die Einheit der magnetischen Flussdichte. Sie beschreibt die Stärke des magnetischen Feldes. 1 T = 1 Vs/m², gebräuchlich ist die Maßeinheit Mikrottesla (**µT**). Für die Umrechnung gilt: 1 µT entspricht 0,8 A/m.

V/m Volt pro Meter ist die Einheit der elektrischen Feldstärke. Sie ist das Maß für Stärke und Richtung der Kraft, die auf einen Körper im elektrischen Feld wirkt.

Dezimalstellen - wie wird umgerechnet

10 ⁻⁹	0,000000001	ein Milliardstel	n = nano
10 ⁻⁶	0,000001	ein Millionstel	µ = micro
10 ⁻³	0,001	ein Tausendstel	m = milli
10 ³	1.000	Tausend	k = kilo
10 ⁶	1.000.000	Million	M = Mega
10 ⁹	1.000.000.000	Milliarde	G = Giga

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.