

Eine kleine Dosis Strahlung
oder
Eine Einführung in die Toxikologie der
Strahlung

Ein Buchkapitel aus
Eine kleine Dosis Toxikologie – Strahlung
von
Steven G. Gilbert, PhD, DABT
Institute of Neurotoxicology & Neurological Disorders (INND)
Seattle, WA 98115

E-mail: sgilbert@innd.org

Supporting web sites
web: www.asmalldoseof.org - "A Small Dose of Toxicology"
web: www.toxipedia.org - Connecting Science and People

Dossier

Name: Nicht-ionisierende Strahlung

Verwendung: Energieübertragung, Kommunikation, LEDs, Glühlampen, Heizung, Küche, Mikrowelle, Bildschirme, Laser, Fotosynthese (Sonnenlicht), Mobiltelefone, Funknetze etc.

Quelle: UV Licht, sichtbares Licht, Infrarotstrahlung, Mikrowelle, Radio und Fernsehen, Mobiltelefone, Energieübertragung

Empfohlene Tagesdosis: verschieden, hängt von der Quelle ab, zum Beispiel kann Sonnenlicht Hautschäden verursachen

Aufnahme: abhängig von der Quelle

Empfindliche Personen: variabel, zum Beispiel hellhäutige Kinder (Sonnenbrand)

Toxizität/Symptome: je nach Quelle. Sonnenstrahlung: Sonnenbrand grauer Star, Krebs; Mikrowellenstrahlung: Erwärmung der Haut oder der inneren Organe; kontroverse Meinungen bezüglich der Exposition niederfrequenter Strahlung, wie beispielsweise Wechselstromleitungen

Grenzwerte: behördlich festgelegte Exposition: FDA und FCC (amerikanische Regulierungsbehörden) bestimmen eine spezifische Absorptionsgrenze von 1,6 W/kg für Mobiltelefone

Generelles: wird seit langem angewendet

Umwelt: unsere Energieabhängigkeit zieht eine Reihe Konsequenzen nach sich, zum Beispiel Ölbohrungen und Kohleabbau für Kraftwerke, die wiederum Quecksilber in die Atmosphäre bei der Kohleverbrennung freisetzen

Empfehlungen: je nach individueller Empfindlichkeit; Begrenzung der Exposition gegenüber Sonnenstrahlung (UV-Strahlung); Energieverbrauch senken

Name: Ionisierende Strahlung

Verwendung: Kernkraftwerke, Röntgenstrahlung, medizinische Diagnostik, wissenschaftliche Forschung, Krebsbehandlung, Kathodenstrahlröhren

Quelle: Radon, Röntgenstrahlen, radioaktives Material produziert Alpha-, Beta- und Gammastrahlung, kosmische Strahlung von Sonne und Weltraum

Empfohlene Tagesdosis: keine (nicht essenziell)

Aufnahme: Wechselwirkung zwischen den Atomen des Gewebes

Empfindliche Personen: Kinder, sich entwickelnden Organismen

Toxizität/Symptome: DNA-Schäden führen zu Krebs

Grenzwerte: streng reguliert

Generelles: lange Geschichte einer Exposition mit niedrigen Werten

Umwelt: viele Wiederaufbereitungsanlagen besitzen radioaktive Abfälle, die nicht bewegt werden dürfen, um ein Auslaufen zu verhindern.

Empfehlungen: begrenzte Exposition, Expositionsüberwachung am Arbeitsplatz, wenn erforderlich

Fallstudien

Radiummädchen

„Keine Sorge“, sagte Ihnen Ihr Chef, „wenn Sie Radium schlucken, sieht ihre Wange rosig aus.“

Die Frauen von ‚Radium Dial‘ bemalten ihre Zähne und Gesichter, dann schalteten sie das Licht aus und amüsierten sich.

Aus: 'Radium Girls' By Martha Irvine, Associated Press, Buffalo News, 1998

1898 entdeckte Marie Curie in Ihrem Labor in Paris das Radium. Die einzigartigen Eigenschaften dieses natürlich vorkommenden radioaktiven Elementes legten viele therapeutische Anwendungen nahe. In den frühen 1900er Jahren wurde die Radiotherapie von der American Medical Association anerkannt. Von Radium wurde behauptet, dass es eine Reihe Krankheiten, wie Arthritis, Magenbeschwerden und Krebs heilen könne. Radium stand als Stärkungsmittel zur oralen Einnahme zur Verfügung, um „die Sonne in den Magen zu bringen“, auch konnte es injiziert werden. Tatsächlich lösten die von Radium ausgesandten Alphateilchen eher Krebs aus als dass sie ihn heilten.

Diese krebserregende Wirkung wurde bekannt, nach den tragischen Schicksalen junger Frauen einer Uhrenfabrik, die die Zifferblätter der Uhren bemalten. Die Verwendung von Radium, um Zifferblätter zu beleuchten, bekannt vor dem Ersten Weltkrieg, setzte sich in den 1920er Jahren fort. Die amerikanische Radiumgesellschaft beschäftigte junge Frauen, um Zifferblätter mit Radium zu bemalen. Um die Pinselhaare aufzurichten, verwendeten die Frauen ihre Lippen. Jedes Mal, wenn sie die Haare des Pinsels aufrichteten, verschluckten sie eine kleine Menge Radium. Das Radium wanderte zu den Knochen, wo es Alphastrahlung aussendete. Die Alpha-Strahlung beschädigte die Zellen in der Nähe des Radiumteilchens. Als Ergebnis diese Exposition litten viele dieser Frauen an schmerzhaftem Knochenschwund und starben an Krebs. Die lange Halbwertszeit von Radium Verbindungen mit seiner Festsetzung in den Knochen führte zu einer lebenslangen Strahlenbelastung. In den 1920 er Jahren verklagte eine Gruppe dieser Frauen die Radiumgesellschaft. Viele von ihnen waren erfolgreich vor Gericht, erhielten eine kleine Entschädigung und waren somit die ersten, die eine Entschädigung aufgrund einer Arbeitsplatzbelastung empfangen. Man schätzte, dass 4000 Menschen, meist Frauen, Radium beim Bemalen von Zifferblättern ausgesetzt waren. Dieser Bevölkerungsteil bildete die Grundlage mehrere Studien über die langfristigen Auswirkungen der Strahlung. Ihre Geschichte wurde in dem Film „Radium-Stadt“ (1987, engl. Radium City) und in späteren Filmen dargestellt. Auch erschien ein hervorragendes Buch mit dem Titel „Radium Mädchen: Frauen und die industrielle Gesundheitsreform, 1910-1935“ (engl. Radium Girls: Women and industrial Health Reform, 1910-1935) von Claudia Clark.

Sonnenstrahlung – Sonnenlicht von der Wärme zum Sonnenbrand

Sonnenlicht ist lebensnotwendig, aber wie bei den meisten Dingen, kann auch zu viel schädlich sein. Die Weltgesundheitsorganisation schätzt, dass 2-3 Millionen nicht-malignen Hautkrebsarten und 130.000 maligne Melanome jedes Jahr global auftreten. Ultraviolette (UV) Strahlung ist die Hauptursache von Hautkrebs, sowie für weitere akute Fälle beim Sonnenbrand. Durch das Schrumpfen der Ozonschicht in der Atmosphäre, welche die meisten der UV Strahlung filtert, stiegen die schädlichen Effekte aufgrund der gestiegenen UV Exposition. Eine UV Exposition führt zu einer erhöhten Inzidenz des grauen Stars (Katarakt: Trübung der Augenlinse), verringerte Effektivität des Immunsystems und zu einer beschleunigten Alterung. Hautschäden sind üblich, besonders bei den heutigen Menschen, die zu viel UV-Strahlung ausgesetzt sind. Andererseits ist Sonnenlicht wichtig, weil es die Vitamin B -Synthese anregt, die für den Calciummetabolismus notwendig ist.

Das Sonnenlicht ist ein Teil des elektromagnetischen Strahlungsspektrums. Die Wellenlängen des sichtbaren Lichts liegen zwischen 400-760 nm. Wellenlängen unter 400 nm ist die ultraviolette (UV) Strahlung und Wellenlänge über 760 nm bezeichnet man als Infrarotstrahlung, die Wärmestrahlung u.a. der Sonne. Unsere Haut, das größte Organ des Körpers, hat sich entwickelt, um uns vor UV-Strahlung zu schützen. Die UV-Strahlung regt die Produktion von Melanin an. Dieses Pigment absorbiert UV-Strahlung und schützt dadurch die Hautzellen vor Schäden. In dunkelhäutigen Menschen findet ständig eine Melaninproduktion statt und dadurch sind diese besser geschützt als Menschen hellerer Hautfarbe. Es gibt beträchtliche genetische Unterschiede in der Melaninproduktion. Sonnenbrand entsteht, wenn UV-Strahlung eine Zelle beschädigt und der Körper mit einer Erhöhung des Blutflusses reagiert, was zu einer Rötung führt. Die UV-Strahlung schädigt die zelluläre DNA. Obwohl die Zellen Reparaturmechanismen besitzen, können wiederholte DNA-Schäden zu Hautkrebs führen.

Komponenten in Sonnenschutzmitteln funktionieren ähnlich wie Melanin, indem sie UV-Strahlung absorbieren. Eine dieser Substanzen ist para-Aminobenzoensäure oder PABA, aber es gibt noch andere. Die meisten Gläser, nicht aber klarer Kunststoff, absorbieren UV-Strahlung. Durch relativ einfache Maßnahmen, wie Kopfbedeckung und Kleidung, reduziert sich die Exposition erheblich. Etwa 90 % der UV Strahlung wird durch Schnee reflektiert, was zur Schneeblindheit führen kann.

Durch die UV-Strahlung wird am besten das Prinzip der Toxikologie illustriert, weil die individuelle Sensitivität stark variiert und es einfach ist, die Exposition durch Kontrolle zu begrenzen und die Reaktion zu bestimmen. Die Herausforderung besteht darin, die Risiken und Vorteile der individuellen Exposition und der akuten und chronischen Effekte zu verstehen und abzuwägen.

Mikrowellenstrahlung, Kommunikation und Mobiltelefone

Mobiltelefone oder Handys sind heutzutage essenzielle Geräte mit über 4 Milliarden Teilnehmern. Diese Geräte werden immer anspruchsvoller mit Funktionen, die weit über dem einfachen Telefonanruf liegen. Sie stellen einen leistungsfähiger Computer dar mit Internetzugang über WLAN, GPS und vielen anderen Möglichkeiten. Aus toxikologischer Sicht gibt es zwei wesentliche Punkte:

1. Gefahren die bei der Entsorgung des Materials entstehen
2. die möglichen Auswirkungen auf die Gesundheit im Zusammenhang mit der Datenübertragung mittels nicht-ionisierender Strahlung

Milliarden Handys stellen eine ernsthafte Quelle zur Verschmutzung mit einer Reihe von gefährlichen Stoffen wie Blei, Quecksilber, Cadmium, PBDE (Benzo(a)pyrendiolepid) und anderen Materialien dar. Während die Gefahr für den Benutzer minimal ist, sind die Materialien Umweltschadstoffe und stellen eine Gefahr für den Menschen dar, wenn sie nicht ordnungsgemäß entsorgt werden.

Die direkte Nutzung von Mobiltelefonen steht im Zusammenhang mit gesundheitlichem Risiko, da zur Datenübertragung nicht-ionisierender Strahlung verwendet wird. Diese Geräte verwenden Funk- oder Mikrowellen, um Informationen zu senden und zu empfangen (elektromagnetische Wellen mit einem Wellenlängenbereich zwischen 1 mm und 1 m oder Frequenzen zwischen 0,3 GHz und 300 GHz). Nicht ionisierender Strahlung wird vom Körper aufgenommen und wird als spezifische Absorptionsrate (SAR) angegeben. In den Vereinigten Staaten sind sowohl die Food and Drug Administration (FDA) als auch die Federal Communications Commission (FCC) als Kontrollbehörde für diese Geräte zuständig und sie legten einen SAR-Grenzwert von 1,6 W/Kilogramm gemittelt über ein Volumen von 1 g Gewebe fest. Im allgemeinen glauben sowohl nationale, als auch internationale Regierungsbehörden nicht, dass die Strahlenbelastung aufgrund der Nutzung von Mobiltelefonen eine gesundheitliche Gefährdung darstellt. Allerdings gibt es laufende Forschungen über mögliche Auswirkungen auf die Gesundheit, insbesondere im Zusammenhang mit Krebs. Als Vorsichtsmaßnahmen können verschiedene Zusatzgeräte verwendet werden, um den Sender während eines längeren Zeitraumes vom Kopf weg zu halten. Es gibt auch zunehmende Gesetze in Bezug auf die Nutzung von Mobiltelefonen während des Führens eines Fahrzeuges, da durch die Ablenkung die Konzentration und Reaktionsfähigkeit beeinträchtigt ist.

Einführung und Geschichte

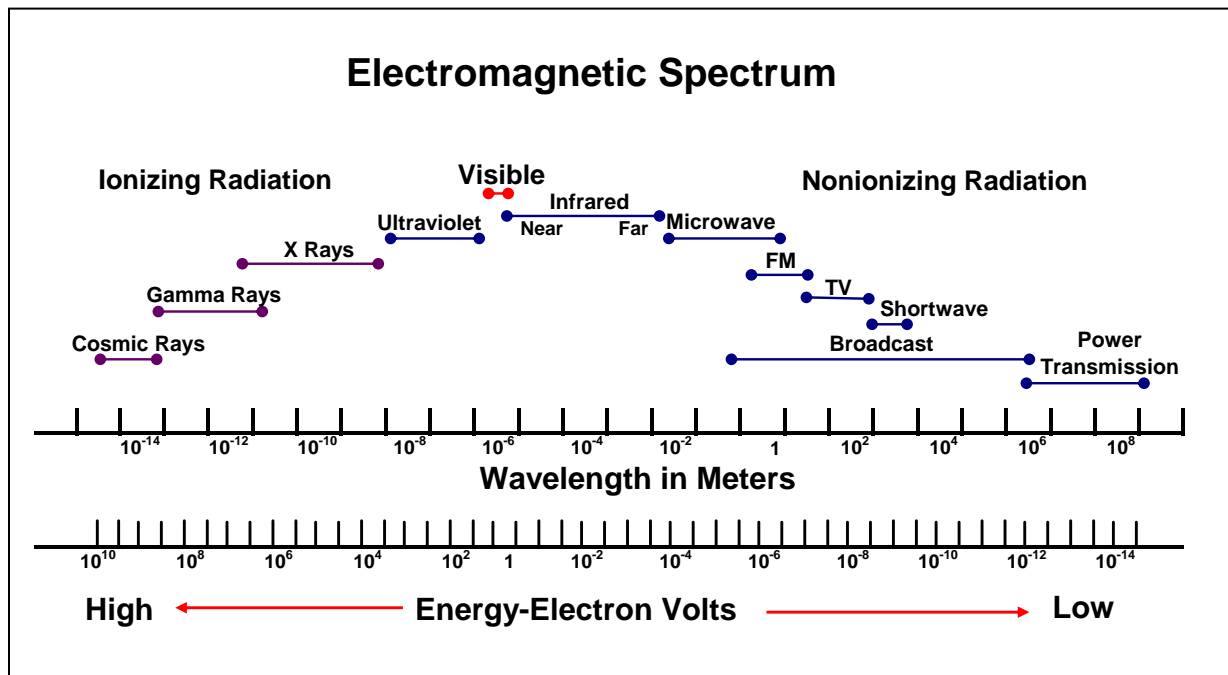
Alles Leben ist abhängig von kleinen Dosen der magnetischen Strahlung. Pflanzen benutzen die Energie der Strahlung, um in der Fotosynthese Nährstoffe zu erzeugen, die auch für Tiere notwendig sind. Wir sind von einer Reihe strahlungsfreisetzender Geräte umgeben, wie Handys und Radios, zusätzlich noch Röntgenstrahlen und schließlich die Strahlung der Sonne. Es gibt viele Vorteile strahlungsemitterender Geräte und wir sind

immer noch dabei, etwas über deren Auswirkungen auf die Gesundheit zu lernen. Um diese Auswirkungen der Strahlenbelastungen zu verstehen, ist es zunächst notwendig, die Physik der Strahlung zu untersuchen.

Das elektromagnetische Spektrum lässt sich grob in ionisierende und nicht ionisierende Strahlung unterteilen (Abbildung 12.1). Der Unterschied liegt in der Energiemenge der Strahlung, die direkt proportional der Schwingungsfrequenz der elektrischen und magnetischen Felder ist. Ist die Frequenz hoch genug (und somit auch die Energie), so kann die Strahlung Elektronen aus den Atomen schlagen, was zur Ionisierung der durchstrahlten Materie führt. Nicht-ionisierende Strahlung ist ultraviolettes, sichtbares, infrarotes Licht, Mikrowellen, Radio- und TV-Strahlung. Wir sind von der Sonnenstrahlung abhängig, dass sie die Photosynthese ermöglicht und Wärme liefert. Ionisierende Strahlung umfasst energiereiche Strahlung, wie kosmische Strahlung, Röntgenstrahlen oder Gammastrahlen, die beim Kernzerfall entstehen kann. Auch verschiedene Arten subatomarer Teilchen, die Betastrahlen (Elektronen hoher Energie) und Alpha-Strahlung (Helium-Ionen) und andere. Röntgenstrahlen sind ein gutes Beispiel für den Nutzen ionisierender Strahlung. Kernstrahlung wird verwendet, um Strom zu erzeugen und Krankheiten zu heilen, aber sie wird auch in militärischen Waffen benutzt. Die Nutzung der Kernstrahlung wirft ernsthafte Probleme zur Exposition von Menschen sowie zur Umweltverschmutzung auf.

Das Verständnis und die Verwendung der verschiedenen Strahlungsformen geben einen faszinierenden Einblick in die menschliche Zivilisation. Die Höhlenbewohner waren wahrscheinlich die ersten, die lernten mit Strahlung umzugehen, als sie lernten Feuer zu machen und zu verwenden. Die Nutzung und Kontrolle der Elektrizität war ein weiterer großer Schritt nach vorne. Die Wende zum 20. Jahrhundert war geprägt von raschen Fortschritten in dem Verständnis und der Nutzbarmachung von Strahlung. In diesen Zeitraum fällt auch das wachsende Verständnis für mögliche negative Auswirkungen einer Strahlungsexposition. 1903 wurden Marie Curie und Pierre Curie, zusammen mit Henri Becquerel mit dem Nobelpreis für Physik für ihre Beiträge zum Verständnis der Radioaktivität, einschließlich der Eigenschaften von Uran, ausgezeichnet. Bis heute werden "Curie" und die "Becquerel" als Maßeinheiten zur Beschreibung von Strahlung verwendet. 1895 entdeckte Wilhelm Conrad Röntgen die nach ihm benannten Röntgenstrahlen, und im Jahre 1901 wurde er dafür mit dem ersten Nobelpreis für Physik ausgezeichnet. Diese Entdeckungen führten zu großen Fortschritten in der Medizin. Arbeiten von Enrico Fermi und anderen führten am 2. Dezember 1942 zur ersten andauernden nuklearen Kettenreaktion in einem Labor unter dem Fußball-Stadion der Universität von Chicago. Dieses Wissen wurde anschließend verwendet, um Atombomben auf Japan abzuwerfen, in dem Bestreben den Zweiten Weltkrieg zu beenden. Die japanische Opfer und die vielen Arbeiter in den Uranminen trugen viel zu dem Verständnis zu Auswirkungen nuklearer Strahlenbelastungen bei.

Abb.12.1 Elektromagnetisches Spektrum



Biologische Eigenschaften

Nicht-ionisierende Strahlung

Nicht-ionisierende Strahlung hat weniger Energie und wechselwirkt generell weniger mit biologischem Material als ionisierende Strahlen. Wir sind umgeben von Energie, die von Geräten und Produkten in Form nicht-ionisierender Strahlung abgegeben werden. Beispielsweise sind wir umgeben von Radio- und TV-Wellen, die aber nicht wesentlich mit dem Körper interagieren. Glühlampen wandeln elektrische Energie in sichtbares Licht und Wärme um, welches Formen nicht-ionisierender Strahlung darstellen.

Andererseits ist ein Mikrowellenherd darauf ausgelegt, mit biologischem Material in Wechselwirkung zu treten, um Wärme zu erzeugen. Mikrowellen gelangen leicht durch Papier, Glas und Kunststoff, aber sie werden durch Wassermoleküle in der Nahrung absorbiert, wodurch diese vibrieren somit das Material erwärmt wird. Der Mikrowellenherd erzeugt genügend Energie, die ohne entsprechenden Schutz schädlich sein kann. Vorschriften sollen einen Energieaustritt aus dem Mikrowellenherd durch Grenzwerte verhindern. Man beachte, dass die Wechselwirkung von Mikrowellen mit menschlichem Gewebe nicht durch Ionisation schädlich wirkt, sondern durch Erhitzen.

Rund um das Haus sind wir vielfältigen Strahlungsarten ausgesetzt. Haushaltsgeräte, wie Haartrockner, emittieren elektromagnetische Strahlung. TV-Geräte und Monitore erzeugen zusätzliche elektromagnetische Strahlung, wie Handys und Radiogeräte.

Tab. 12.1 Produkte, die auf nichtionisierender Strahlung beruhen

- Funktelefone/Handys
- Handy-/Funktelefonstationen
- Funktürme
- Sendemasten
- Laser (einschließlich Laserzeigergeräte)
- Magnetic Resonance Imaging (MRI)
- Radioübertragung (Amplituden- oder Frequenzmodulation)
- Fernsehübertragung
- Kurzwellenübertragung
- Satellitenübertragung
- Elektrische Deckenbeleuchtung
- Haushaltsgeräte
- Glühbirne
- Computer und TV Monitore
- Mikrowellenherde
- Power lines (both large and small)
- Sichtbares Licht
- Ultraviolette Strahlung
- Radar
- Computerfunknetze

Ionisierende Strahlung

Ionisierender Strahlung hat genügend Energie, um beim Durchtritt durch Materie Ionen zu erzeugen, die beim Freisetzen der Elektronen aus den Atomen entstehen diese positiv geladen zurücklassen. Mit anderen Worten, die Energie ist groß genug, um ein Elektron aus dem Atom zu entfernen. Die freigesetzte Energie ist auch groß genug um DNA-Bindungen zu brechen, was zu erheblichen Zellschäden durch Krebs führen kann. Die gesundheitlichen Auswirkungen, sowie die Dosis-Wirkung-Beziehungen einer Strahlenexposition sind durch menschliche Strahlenbelastung und anderes gut belegt. Die vier Arten ionisierender Strahlen sind: Alphastrahlen, Betastrahlen (Elektronen), Gammastrahlen und Röntgenstrahlen.

Alphastrahlen sind Schwergewichte mit relativ niedriger Energie, die aus dem Zellkern des radioaktiven Materials stammen. Sie wirken nur über eine kurze Entfernung von ca.

10 cm in der Luft. Ein Stück Papier oder eine Hautschichten genügt, um Alphateilchen zu stoppen. Die Hauptgefahr besteht, wenn solches radioaktives Material aufgenommen wird, denn dann können Zellen in der Nähe der Alphateilchen beschädigt werden. Speicherorte solchen radioaktiven Materials sind Knochen, Niere, Leber, Lunge und Milz. Radium ist ein Alphastrahler, der sich im Knochen abgelagert und zu Knochensarkome führt.

Flugreisen erhöhen die Belastung durch kosmische und solare Strahlung, die normalerweise durch die Atmosphäre abgehalten wird. Die Strahlungsintensität ist an den Erdpolen und in höheren Lagen größer und somit hängt die individuelle Strahlenbelastung von der jeweiligen Reiseroute ab. Sonnenstürme können Sonneneruptionen auslösen, die größere Mengen an Strahlung freisetzen. Für die gelegentliche Flugreisende liegt die Strahlenexposition deutlich unter dem behördlich empfohlenen Grenzwert. Vielflieger und Flugpersonal können jedoch höheren Strahlungen ausgesetzt sein, die die Grenzwerte überschreiten.

Quellen ionisierender Strahlung exponierter Personen:

- Röntgengeräte (Patienten, medizinisches Personal)
- Radioaktive Stoffe, die Alpha-, Beta- und Gammastrahlung produzieren (Laborarbeiter, Krankenhausangestellte, Patienten)
- Kosmische Strahlen der Sonne und des Weltalls

Strahlungseinheiten

Die Einheit zur Beschreibung der Dosis und Exposition ionisierender Strahlung auf biologisches Material sind verwirrend. Erstens wurden die Einheiten des Internationalen Systems der Einheiten (SI: Systeme Internationale) geändert. Wir werden das SI-System verwenden, aber in der nachfolgenden Tabelle sind auch die älteren Einheiten aufgelistet.

Die fundamentale Einheit zur Beschreibung ionisierender Strahlung ist die Energiemenge ausgedrückt in Coulomb pro Kilogramm Luft und dies ist auch die Einheit für die Exposition in Luft. Die absorbierte Dosis gibt die absorbierte Energiemenge durch ein bestimmtes Material, wie beispielsweise den menschlichen Körper, an. Sie wird durch Gray (Gy) angegeben, welches die alte Einheit rad ablöst. Die Energieübertragung unterscheidet sich je nach Strahlungsart. Ein Gewichtungsfaktor erlaubt einen Vergleich zwischen den unterschiedlichen Energieübertragungen. Die Einheit für die Äquivalenzdosis ist das Sievert (Sv). Weitere Verbesserungen sind durch Gewichtungsfaktoren je nach Gewebeart möglich. Empfohlene Grenzwerte für die Strahlenbelastung in Sv sind in Tab12.2 wiedergegeben.

Tab. 12.2 Messung der Strahlungsenergie

Item	Alte Einheit	SI- Einheit	Umrechnung
Aktivität (z.B. Zerfall)	Curie (Ci)	Bequerel(Bq)	1 Ci = 3.7×10^{10} Bq 1 mCi = 37 MBq 1 μ Ci = 37 KBq
Exposition	Röntgen (R)	X (Coul/kg)	1 R = 2.58×10^{-4} coul/kg
Aufgenommene Dosis	Rad	Gray (Gy) Gy = 1 J/kg	1 Gy = 100 rad 1 rad = 10 mGy
Äquivalenzdosis	Rem	Sievert (Sv)	1 Sv = 100 Rem 1 rem = 10 mSv

m = milli = 1/1000

SI = Internationales System der Einheiten (Systeme Internationale)

Auswirkungen auf die Gesundheit

Wir sind sowohl, ständig ionisierender und nicht-ionisierender Strahlung aus natürlich vorkommenden Quellen, als auch durch die Gesellschaft künstlich erzeugten Strahlungsarten ausgesetzt. Das Problem besteht darin, die Risiken und Vorteile zu verstehen und die individuelle abzuwägen Exposition.

Nicht-ionisierende Strahlung

Wir sind von nicht-ionisierender Strahlung umgeben, wovon der größte Teil harmlos ist. Das sichtbare Licht der Sonne, die Innenbeleuchtungen, Radio- und TV-Strahlungen und elektrische Geräte tragen zu einer Hintergrundbelastung nicht-ionisierender Strahlung bei. Die meisten Studien zeigen, dass diese Strahlung harmlos ist, aber es gibt auch gegenteilige Studien. Bei höherer und längerer Exposition kann auch nicht-ionisierende Strahlung schädlich sein.

Das klassische Beispiel ist Sonnenlicht oder Sonneneinstrahlung. Ultraviolette Strahlung der Sonne ist ein Teil des elektromagnetischen Spektrums mit einer Wellenlänge weniger als 400 nm, die die Haut schädigen. Sonnenbrand (Erythem) ist die Folge einer übermäßigen Exposition gegenüber UV-Strahlung, wenn der Schutz des UV-absorbierenden Melanins nicht ausreichend ist (siehe Fallstudie oben). Akute Zellschäden verursachen eine entzündliche Reaktion und erhöhen die Gefäßdurchblutung direkt unter der Haut (Vasodilatation). Diese erhöhte Durchblutung ist verantwortlich für die Rötung und das Hitzegefühl auf der Haut. Leichter Druck auf die Haut drückt das Blut weg und es erscheint ein weißer Fleck. Dunkelhäutige produzieren laufend Melanin, die sie zu einem gewissen Grad vor UV-Strahlung schützt. Bei hellhäutigen Menschen regt die UV-Strahlung die Melaninproduktion an und die entstehende Bräune schützt die Haut vor weiterer UV-Strahlung. Extreme Exposition kann zu Blasenbildung und schwerer Haut-

schädigung führen. Es können auch Schäden in der zellulären DNA auftreten. Wiederholt auftretende Schäden können die DNA Reparaturmechanismen lahmlegen, was zu Hautkrebs führt. Dieser macht etwa ein Drittel aller diagnostizierten Krebserkrankungen pro Jahr aus. Das Abnehmen der atmosphärischen Ozonschicht, die die UV-Strahlung filtert, wird für den Hautkrebsanstieg verantwortlich gemacht. Das Tragen von Schutzkleidung kann die Strahlenexposition reduzieren. Sonnenschutzcremes enthalten Substanzen, die wie Melanin die UV-Strahlung absorbieren. Die Sonnenstrahlung ist ein klassisches Beispiel für das Prinzip der Toxikologie: Vorsicht bei individueller Empfindlichkeit und eine Dosierung, die nachteilige Auswirkungen begrenzt.

Die Verwendung von Mikro- und Radiowellengeräte ist in den letzten 20 Jahren gestiegen. Die beliebtesten Produkte sind Handys und Mobiltelefone. Diese Strahlungsart wird auch in Radar, Schweißgeräte, Trocknungsanlagen und anderen verwendet. In biologischen Geweben erzeugen Mikrowellen Wärme. Ein Wärmegefühl auf der Haut oder sogar der inneren Organe, sowie eine Erhöhung der Körpertemperatur können die Folge sein. Mikrowellengeräten müssen staatlichen Anforderungen entsprechen, um die Exposition zu minimieren. Handys benutzen geringe Energien die deutlich unterhalb den Werten liegen, welche Gewebe erwärmen würden, aber über Langzeitauswirkungen sind die Studien noch nicht abgeschlossen. In den Vereinigten Staaten ist die Food and Drug Administration (FDA) für den Schutz der Bevölkerung vor Strahlung, die von Mikrowellenherde, Fernsehgeräte, Computermonitore und Handys stammen, verantwortlich. Die FDA und die Federal Communications Commission (FCC) teilen sich diese Aufgabe setzten einen SAR (spezifische Absorptionsrate)-Grenzwert von 1,6 W/kg fest.

Ionisierende Strahlung

Ionisierende Strahlung ist schädlicher als nicht-ionisierende Strahlung, weil sie genügend Energie besitzt, Elektronen aus einem Atom zu entfernen und so direkt biologisches Material schädigen kann. Diese Energie ist ausreichend, um die DNA zu schädigen, was zum Zelltod oder Krebs führen. Studien über ionisierender Strahlung ist ein großes Gebiet der klassischen Toxikologie, die zu einem großen Verständnis der Dosis Wirkung Beziehungen bei einer Exposition führte. Die Hauptwirkung der ionisierenden Strahlung ist Krebs Sie können aber auch den sich entwickelnden Fötus im Mutterleib während der Schwangerschaft schädigen. Die Strahlenbelastung lässt sich auf eine direkte Dosis Wirkung Beziehung zurückführen: je höher die empfangene Strahlung, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit für einen Krebs.

Unser Wissen über radioaktive Strahlung stieg erst allmählich durch die tragischen Erfahrungen des letzten Jahrhunderts. Anfang des Jahrhunderts starben Forscher wie Marie Curie an Krebs, wahrscheinlich wegen der hohen Strahlen Exposition. Zu dieser Zeit priesen einige Autoren das Sterben für die Wissenschaft als Tugend. Arbeitsplatzexpositionen waren ebenfalls ein weiterer tragischer Punkt. Junge Frauen, die zum Bemalen von Zifferblättern mit Radium eingesetzt wurden, starben in den 1920er

und 1930er Jahren (siehe Fallstudie oben). Zu dieser Zeit wurde das Radium als Heilmittel vieler Krankheiten verwendet und sogar von der American Medical Association anerkannt. Wir hatten eine Menge zu lernen.

Durch Uranbergarbeiter wurden wir auf die Gefahren bei einer Radonexposition aufmerksam. Radon ist ein radioaktives Gas, welches in Uranbergwerken vorkommt, als auch mit hoher Konzentration an einigen Stellen im Boden. Eine Radonexposition kann zu Lungen- und Speiseröhrekrebs führen. Die eigentliche Karzinogene sind Spaltprodukte des Radons die im Körpergewebe verbleiben und dort Alphateilchen emittieren. Während das häufige Krebsvorkommen bei Mienenarbeiter bekannt ist, gibt es erhebliche Bedenken über die Auswirkungen bei niedriger, chronischer Exposition, wie sie in Häusern, insbesondere in den Kellerräumen, vorkommt (vgl. das Kapitel über Krebs und genetische Krankheiten).

Ein großer Teil der Auswirkungen von Radioaktivität wurde durch Atombombenüberlebenden bekannt. Das US Militär war die erste Atombombe auf Hiroshima in Japan am 6. August 1940 und eine zweite auf Nagasaki, ebenfalls in Japan, drei Tage später. Die Bomben bestanden aus zwei verschiedenen Arten von radioaktivem Material ^{235}U in der erste und ^{239}Pu in der zweiten Bombe. Es wird angenommen, dass 64.000 Menschen aufgrund der Explosion und der Strahlenbelastung starben. Etwa 100.000 Überlebende waren an Folgestudien beteiligt, die eine erhöhte Inzidenz von Krebs bestätigten.

Röntgenstrahlen wurden verwendet, um Krankheiten zu behandeln. Von 1905-1960 wurden sie verwendet, um den Bandwurm bei Kindern zu behandeln. 1950 benutzte man sie zur Behandlung einer degenerativen Knochenkrankheit, die Morbus Bechterew (Spondylitis ankylosans) genannt wird.

Das hauptsächliche Lernziel all dieser Daten besteht darin, dass je größer die Dosis, desto höher die Wahrscheinlichkeit der Entwicklung von Krebs ist. Die zweite Lehre ist, dass sehr viel Zeit (10-40 Jahren) bis zur Entstehung von Krebs vergehen kann. Es sei daran erinnert, dass wir ständig einer natürlichen Hintergrundstrahlungsbelastung an ionisierender Strahlung ausgesetzt sind. Es wird geschätzt, dass eine von 100 Krebserkrankungen auf diese Exposition zurückzuführen ist.

Expositionsreduzierung

Drei Arten, eine Strahlungsexposition zu verringern sind:

- **Zeit**
Begrenzen Sie die Zeit, die Sie in der Nähe von der Strahlungsquelle verbringen.
Ein einfacher Weg besteht darin, die Zeit in der prallen Sonne in großer Höhe zu

vermeiden. Das gleiche Prinzip gilt für ionisierende Strahlung, wie beispielsweise bei radioaktivem Material.

- **Entfernung**
Halten Sie ausreichend Abstand von der Strahlungsquelle. Die Intensität der Strahlungsquelle nimmt mit zunehmender Entfernung rasch ab.
- **Abschirmung**
Die Wirksamkeit der Abschirmung hängt von der Art der Strahlung und des Abschirmungsmaterial ab, aber im Allgemeinen sollte der Schutzschirm zwischen Ihnen und der Strahlungsquelle sich befinden. Dies kann z.B. ein Hut sein, den man trägt, um das Gesicht vor der Sonne zu schützen oder auch einer Bleischürze beim Zahnarzt, um andere Körperteile von den Röntgenstrahlen abzuschirmen.

Gesetzliche Grenzwerte

der erste organisierte Versuch, Menschen vor Strahlenbelastungen zu schützen, begann im Jahre 1915, als die British Roentgen Society eine Resolution verabschiedet, um Menschen vor Röntgenstrahlen zu schützen.

1922 übernahmen die Vereinigten Staaten die britischen Vorschriften und verschiedenen staatlichen und nichtstaatlichen Gruppen bildeten sich, um Menschen vor Strahlung zu schützen. 1959 wurde das Federal Radiation Council gebildet, um den Präsidenten zu beraten und Empfehlungen auszusprechen. 1970 wurde die US Environmental Protection Agency gegründet, die diese Aufgaben übernahm.

Inzwischen gibt es mehrere Behörden, die für den Schutz der Menschen vor strahlungsemitierenden Geräten verantwortlich sind.

Regelungen für Strahlenbelastung

Die Grenzwerte werden von der U.S. National Council on Radiation Protection (NCRP) und weltweit durch die International Council on Radiation Protection (ICRP) festgelegt. Die Belastungen am Arbeitsplatz werden von der Richtlinie mit 100 mSv für 5 Jahre (durchschnittlich 20 mSv pro Jahr) mit einem Grenzwert von 50 mSv für jedes Jahr festgelegt. Für die breite Öffentlichkeit gibt es entsprechende Grenzwerte. Dabei muss die natürliche Strahlungsbelastung, die - je nach Lage (z.B. Höhe) und anderen Faktoren - ungefähr bei 3 mSv beträgt.

Empfehlungen und Konsequenzen

Wir sind von natürlicher Strahlungen der Sonne und radioaktive Elemente umgeben. Strahlung kann mithilfe des elektromagnetischen Spektrums anhand der Wellenlänge und Frequenz beschrieben werden. Eine weitere Unterscheidung besteht darin, sie in ionische und nicht-ionische Strahlung aufzuteilen. Ionisierender Strahlung hat genügend Energie, um Elektronen zu entfernen und somit biologische Gewebe direkt zu schädigen. Während des letzten Jahrhunderts lernten wir, das elektromagnetische Spektrum für viele nützliche (und einige nicht so nützliche) Zwecke einzusetzen und die Gefahren einer Strahlenexposition einzuschätzen.

Einige Strahlen sind hilfreich und notwendig, wie im Fall des Sonnenlichts, um die Welt zu sehen. Die nichtionisierende Strahlung der Sonne wärmt uns, aber zu viel UV-Licht verursacht je nach individueller Sensitivität Sonnenbrand und Krebs. Es gibt eine klare Dosis/Wirkung-Beziehung zwischen Exposition und Wirkung, wobei die unterschiedlichen Sensitivitäten eine wichtige Rolle spielen. Mikrowellen und Radiostrahlung sind in der Wärme- und Informationsübertragungen überaus nützlich.

Ionisierende Strahlung ist wesentlich gefährlicher als nicht-ionisierende Strahlung, weil sie die zelluläre DNA und Proteine direkt schädigen kann, was zu Zelltod oder möglicherweise Krebs führt. Ionisierende Strahlen sind in Alpha, Beta Gammastrahlen unterteilt. Jede hat ihre einzigartigen Eigenschaften, die unterschiedliche Sicherheitsmaßnahmen erfordern. Im Allgemeinen gilt, je höher die Bestrahlung ist, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, Krebs zu bekommen. Dieser Ansatz begrenzt die Strahlenbelastung am besten.

Weitere Informationen und Nachweise

Bilderpräsentation

A Small Dose of Radiation presentation material and references online:

<http://www.toxipedia> or <http://www.toxipedia.org/display/dose/Radiation> .

Web site contains presentation material on the health effects of radiation.

Europäische, asiatische und Internationale Behörden

- Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (ARPANSA).
Online: <<http://www.arpansa.gov.au/>> (accessed: 5 May 2009).
ARPANSA is “charged with responsibility for protecting the health and safety of people, and the environment, from the harmful effects of ionizing and non-ionizing radiation”.
- England – Health Protection Agency (HPA) - Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards. Online: < <http://www.hpa.org.uk> > (accessed: 5 May 2009).
The radiation section of HPA does research, provides information and advice on the effects of radiation on humans and the environment.
- World Health Organization (WHO) - Ultraviolet radiation. Online: <http://www.who.int/health_topics/ultraviolet_rays/en/> (accessed: 5 May 2009).
Site contains information on the global efforts to reduce UV (sun-light) radiation exposure.

Nordamerikanische Behörden

- Health Canada – Radiation Protection Bureau. Online: < <http://www.hc-sc.gc.ca/> > (accessed: 5 May 2009).
Health Canada provides information on the health effects radiation for consumer and clinical radiation protection.
- US Centers for Disease Control and Prevention (CDC) National Center for Environmental Health. Online: <<http://www.cdc.gov/nceh/>> (accessed: 5 May 2009).
This site contains information on health effects and emergency response to radiation exposure.
- US Environmental Protection Agency (EPA) - Radiation Protection. Online: <<http://www.epa.gov/radiation/>> (accessed: 5 May 2009).

This site has a tremendous amount of information on ionizing and nonionizing radiation and environmental contamination.

- US Environmental Protection Agency (EPA) - Radiation Protection - Calculate Your Radiation Dose. Online:
<<http://www.epa.gov/radiation/understand/calculate.html>> (accessed: 5 May 2009).
This site shows you how to examine your current exposure to radiation.
- US Food and Drug Administration – Center for Devices and Radiological Health. Online: <<http://www.fda.gov/cdrh/radhealth/>> (accessed: 5 May 2009).
This site contains information on the health effects and regulation of radiation emitting devices and products. The mission of the CDRH radiological health program is to protect the public from hazardous or unnecessary radiation emissions from electronic products.
- U.S. Food and Drug Administration – Cell Phones. Online:
<<http://www.fda.gov/cellphones/>> (accessed: 5 May 2009).
Site contains general and regulatory information on cell phones and related technology.
- US Federal Communications Commission (FCC) – Office of Engineering and Technology – Radio Frequency Safety. Online:
<<http://www.fcc.gov/oet/rfsafety/>> (accessed: 5 May 2009).
The FCC is required “to evaluate the effect of emissions from FCC-regulated transmitters on the quality of the human environment”.
- US Department of Labor, Occupational Safety & Health Administration (OSHA), Radiofrequency and Microwave Radiation. Online: <
<http://www.osha.gov/SLTC/radiofrequencyradiation/>> (accessed: 5 May 2009).
The OSHA site contains information on microwave and radio-frequency devices.
- US New Jersey - Nonionizing Radiation Section. Online:
<<http://www.state.nj.us/dep/rpp/>> (accessed: 5 May 2009).
New Jersey has an excellent with a wide range of information on radiation.
- US Agency for Toxic Substance Disease Registry (ATSDR). Online.
<<http://www.atsdr.cdc.gov/>> (accessed: 5 May 2009).
See fact sheets ToxFAQs™ and case studies in environmental health.
- US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Air Resources Laboratory. Online: <<http://www.arl.noaa.gov/>> (accessed: 5 May 2009).

Site contains UV radiation monitoring information for the U.S.

- US Nuclear Regulatory Commission (NRC). Online: <<http://www.nrc.gov/>> (accessed: 5 May 2009).
“The NRC regulates U.S. commercial nuclear power plants and the civilian use of nuclear materials.”

Regierungsunabhängige Organisationen

- National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP). Online: <<http://www.ncrp.com/>> (accessed: 5 May 2009).
“The NCRP seeks to formulate and widely disseminate information, guidance and recommendations on radiation protection and measurements which represent the consensus of leading scientific thinking.”
- Health Physics Society. Online: <<http://www.hps.org/>> (accessed: 5 May 2009).
Site has extensive information about the health physics and radiation protection.
- University of Michigan - Radiation & Health Physics. Online: <<http://www.umich.edu/~radinfo/>> (accessed: 5 May 2009).
Site contains information “written for three distinct groups: the General Public, Students and the Health Physics community at large.”
- Washington Nuclear Museum and Educational Center (WANMEC). Online: <<http://www.wanmec.org>> (accessed: 5 May 2009).
WANMEC provides information on the history of nuclear material use in the state of Washington.

Referenzen

Radium Girls: Women and Industrial Health Reform, 1910-1935
by Claudia Clark, Publisher: University of North Carolina Pr; ISBN: 0807823317; (June 1997). 384 pages.