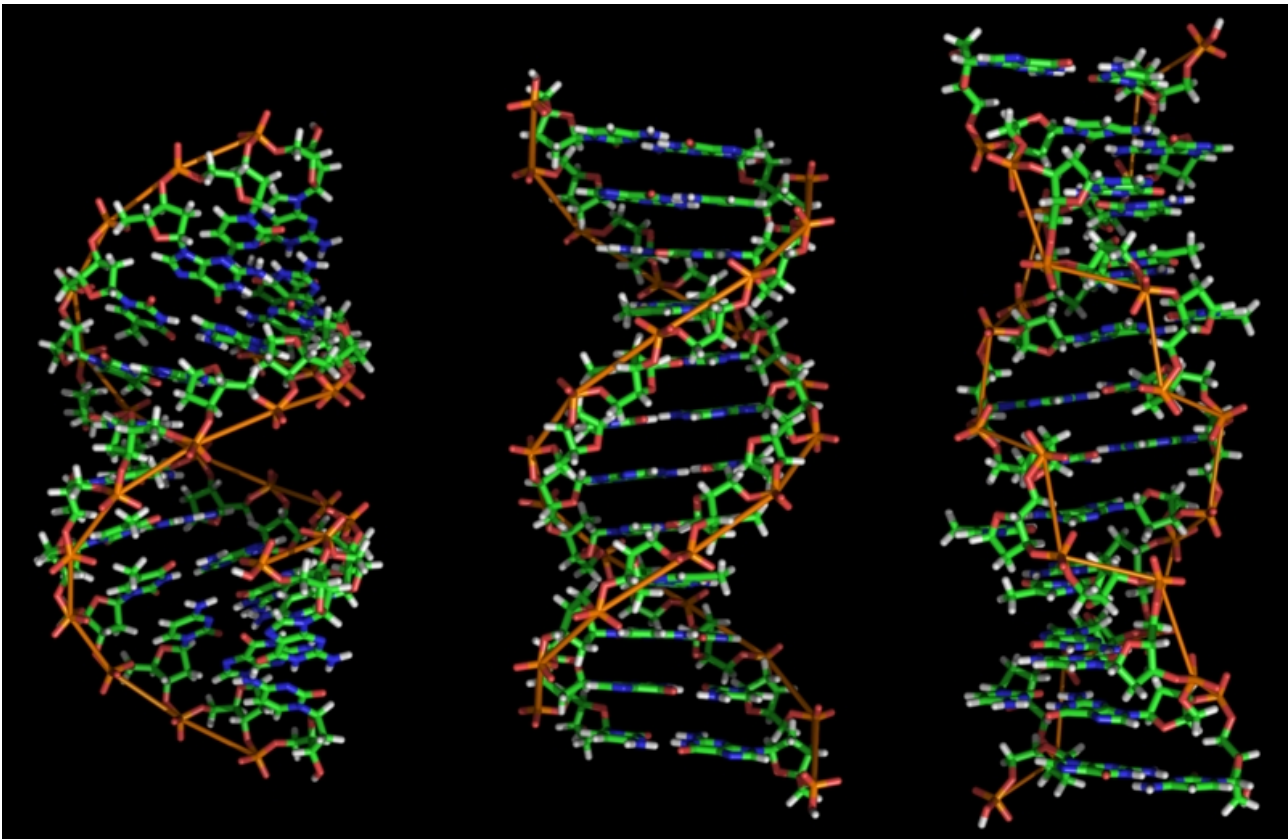


Wirkung von Strahlung auf den Menschen



A-, B- und Z-DNA in modellhafter Strukturdarstellung. Abbildung von „Zephyris“ (Wikimedia Commons), lizenziert unter „Creative Commons-Lizenz Namensnennung-Weitergabe unter gleichen Bedingungen 3.0 Unported“. Dieses Dokument steht folglich unter der gleichen Lizenz.

Inhaltsverzeichnis

Was ist Strahlung?.....	2
Wie wirkt Strahlung?.....	2
Zur Entstehung von Krebs.....	4
Gefährlichkeit der Strahlungsarten.....	5
Alpha	5
Beta	5
Gamma	5
Strahlendosis.....	5
Welche Dosis ist gefährlich?.....	6
Kann Strahlung heilen?.....	7
Beispiele für gefährliche Strahler.....	7
Strontium-90.....	7
Cäsium (versch. Isotope).....	8
Plutonium-239.....	8
Weiterführende Quellen.....	8

Was ist Strahlung?

Um zu verstehen was Strahlung ist, muss man klar zwischen der Strahlung selbst und dem Strahler unterscheiden: Der Strahler ist ein Atom, das Energie abgibt. Diese Energie gibt es entweder ab, weil es zum Beispiel durch Licht überschüssige Energie erhalten hat oder weil das Atom - wie im Falle von Uran, Plutonium usw. - instabil ist und zerfällt.

Die Strahlung dagegen ist das, was dieses Atom – die Strahler – abgibt. Dabei handelt es sich entweder um elektromagnetische Wellen, also praktisch pure Energie oder aber um kleine Teilchen wie Elektronen oder sog. Alpha-Teilchen (siehe unten).

Wie wirkt Strahlung?

Trifft Strahlung auf andere Atome, so wird die Energie der Strahlung von diesen anderen Atomen zunächst aufgenommen. Wenn die Energie der Strahlung hoch genug ist (sog. Ionisierende Strahlung), führt das dazu, dass ein getroffenes Atom ein Elektron verliert. Dieses Elektron wird dabei mit der Energie der auftreffenden Strahlung so stark beschleunigt, dass es einfach weg geschossen wird.

Dieser Vorgang nennt sich **Ionisation** und verändert die physikalischen und chemischen Eigenschaften des von der Strahlung getroffenen (nun ionisierten) Atoms. Das bedeutet im Einzelnen, dass das Atom zunächst positiv geladen ist – aber auch dass ein Molekül, zu dem das Atom gehörte, sich verändert oder gar zerlegt wird.

Auf diese Weise kann nun die Erbinformation menschlicher Zellen Schaden nehmen.

Die DNA, die diese genetischen Informationen enthält, besteht letztlich aus Molekülen, deren Zerstörung auch die Erbinformation zerstört. Weiterhin führt ankommende Strahlung in menschlichen Zellen auch zur Ionisation von in der Zelle vorhandenen Sauerstoff-Verbindungen, die dadurch zu sogenannten „reaktiven Sauerstoffspezies“ (Peroxide u. ä.) werden können. Diese „reaktiven Sauerstoffspezies“ sind hoch aggressiv und zerstören ihrerseits auch die DNA. Der letztgenannte, indirekte Effekt macht übrigens etwa 60-70% der DNA-Schäden durch Strahlung aus – nur 30-40% der Schäden sind also direkte DNA-Schäden.

Der menschliche Organismus hat nun natürlich verschiedene Abwehr- und Schutzmechanismen, denn ionisierende Strahlung kommt in unserer natürlichen Umgebung ja durchaus vor. Dazu gehört zum Beispiel ein System verschiedener Enzyme und Vitamine (Vitamin E & C), die „reaktive Sauerstoffspezies“ unschädlich machen können. Natürlich sind die Kapazitäten dieses Systems aber begrenzt. Außerdem gibt es hier relativ große Unterschiede zwischen den einzelnen Menschen; die Toleranz bzgl. „reakt. Sauerstoffspezies“ ist erblich bedingt beim einzelnen Menschen höher oder auch geringer als im Bevölkerungsdurchschnitt.

Was machen DNA-Schäden eigentlich aus?

Zunächst muss man verschiedene Arten von DNA-Schäden unterscheiden: Es gibt Einzelstrangbrüche, Doppelstrangbrüche und Basenveränderungen. Die DNA besteht aus zwei Strängen, die jeweils aus einem Grundgerüst und vielen Informations-Bausteinen bestehen. Diese Informationsbausteine sind chemisch gesehen Basen (pH-Wert größer als 7) und je drei von Ihnen machen die Information für eine Aminosäure aus. Die Aminosäuren sind wiederum die Grundbausteine unseres Organismus.

Im Prinzip ist es nun so, dass jeder einzelne DNA-Strang schon die komplette Erbinformation enthält. Der zweite Strang ist sozusagen nur das Gegenstück und kann damit als „Sicherungskopie“ angesehen werden. Somit ist ein Einzelstrangbruch theoretisch reparierbar.

Außerdem bilden je drei Basen erst eine Information, während es nur etwa 20 Aminosäuren gibt. Dadurch ergibt sich, dass jeweils mehrere verschiedene Basenkombinationen für die selbe Aminosäure – also für die selbe Information stehen. Damit sind auch einzelne Basenveränderungen theoretisch reparierbar.

Liegt jedoch ein Doppelstrangbruch vor, so ist die Information an dieser Stelle unwiederbringlich verloren.

Doch was passiert nun, wenn die DNA geschädigt wurde?

Für einige Arten von DNA-Schäden hat die menschliche Zelle tatsächlich Reparaturmechanismen. So können Einzelstrangbrüche oft anhand des anderen DNA-Strangs wiederhergestellt werden. Auch können einzelne Basenveränderungen oft anhand der Nachbarschaftsbeziehungen der Basen wieder repariert werden. Die Voraussetzung für eine Reparatur ist aber auch, dass die Zelle den Schaden überhaupt erkennt. Das geschieht durch ein System von Enzymen wie zum Beispiel dem sog. P53.

Das P53-System erkennt oft, wenn die DNA geschädigt wurde und leitet dann entweder eine Reparatur ein oder schickt die Zelle in eine Art Selbstmord, wenn eine Reparatur nicht möglich ist. Dieser Selbstmord der Zelle kann verschiedene Gesichter haben. Da wäre die Möglichkeit der Apoptose, die tatsächlich einen kontrollierten Untergang der Zelle (ohne Entzündungsreaktion) darstellt. Außerdem kann die Zelle auch in einen „Zyklusarrest“ gehen und damit aufhören, sich zu teilen. Dadurch wird die Zelle einfach irgendwann aufgrund ihres Alters untergehen. Weitere Möglichkeiten wie z. B. Die Senescence sind noch nicht hinreichend erforscht.

Wenn nun aber ein System wie das P53-System den DNA-Schaden nicht erkennt, so wird die betroffene Zelle wie gewohnt arbeiten und sich auch teilen. Dabei kann es nun aufgrund der defekten DNA, die bei der Teilung (Mitose) kopiert und auf die beiden entstehenden Tochterzellen aufgeteilt werden muss, zu Problemen kommen. Entweder es kommt zur „mitotischen Katastrophe“, weil die Tochterzellen keine ausreichend funktionsfähigen Teile der DNA erhalten. Dabei stirbt die Zelle also ab. Andernfalls kann es aber auch dazu kommen, dass die Tochterzellen zwar funktionsfähige DNA-Kopien erhalten, diese aber nicht wie vorgesehen gleichmäßig auf die Tochterzellen verteilt werden. Diese sog. Aneuploidie führt dann zu Tochterzellen mit verändertem Erbmateriale, welches sie auch so jeweils bei ihren eigenen Zellteilungen weitergeben.

Zusammenfassend bleiben also drei grundsätzliche Möglichkeiten: Wenn die Zelle den DNA-Schaden erkennt, kann er repariert werden und die Strahlungsaussetzung hat keine Folgen. Andererseits kann die Zelle aber auch zu Grunde gehen (entweder beabsichtigt, weil der Schaden erkannt wird oder aber unbeabsichtigt, weil DNA-Veränderung keine korrekte Zellteilung mehr möglich macht) oder aber – und das ist das größte Risiko – die DNA der Zelle bleibt verändert und wird auch bei jeder Zellteilung so weiter gegeben.

Diese DNA-Veränderungen können nun weitreichende Folgen haben. Die DNA steuert letztendlich alle Funktionen der Zelle. Betrifft die DNA-Veränderung nun Gene, die das Wachstum einer Zelle steuern, so kann das zu unkontrolliertem Wachstum führen (Krebs). Außerdem kann eine Veränderung in den Genen für das P53-System zum Beispiel dazu führen, dass die betroffene Zelle DNA-Schäden nicht mehr erkennt und repariert, sodass sich im Laufe der Zeit immer mehr DNA-Schäden ansammeln können.

Strahlung führt also zu DNA-Schäden und damit sowohl zu Zellverlust (erklärt akute Strahlenschäden) als auch zu Entartungspotential (Krebs).

Neben den bekannten Problemen Krebs (langfristig) und Strahlenkrankheit (kurzfristig) gibt es auch übrigens noch andere Symptome von Verstrahlung (beispielsweise eine Linsentrübung des Auges), auf die hier nicht näher eingegangen wird.

Zur Entstehung von Krebs

Es entstehen ständig DNA-Schäden in allen Zellen. Durch natürliche Strahlung (UV-Licht), Abschreibfehler bei der Zellteilung oder durch reakt. Sauerstoffspezies.

DNA-Schäden werden zum Teil repariert, können sich aber anhäufen. Ist einmal zufällig ein Schaden in einem Gen entstanden, das das Zellwachstum steuert oder für die DNA-Reparatur nötig ist, so wächst die Zelle unkontrolliert und teilt sich ständig. Dabei unterscheidet man Gene, die normalerweise für Zellwachstum sorgen (Protoonkogene) und solche Gene, die normalerweise das Zellwachstum hemmen oder DNA-Schäden erkennen (Tumorsuppressorgene). Der Unterschied besteht vor allem darin, dass Tumorsuppressorgene immer dann zum Problem werden, wenn sie aufgrund eines DNA-Schadens nicht mehr funktionieren, während Protoonkogene immer dann zum Problem werden, wenn sie aufgrund eines DNA-Schadens zu „gut“ funktionieren.

Neben der Tatsache, dass eine Zelle allein durch ihr unkontrolliertes Wachstum zu Krebs führt, ist auch die schnelle Zellteilung dieser Zellen an sich ein Problem. Sie verdrängen damit nämlich ihre Nachbarzellen und sind damit in immer größerer Zahl vorhanden. Damit nimmt auch die Wahrscheinlichkeit zu, dass diese schon veränderten Zellen wieder einmal von Strahlung getroffen und weiter verändert werden.

So gesehen kann natürlich ständig Krebs entstehen. Die Frage ist zum Beispiel, wieviele DNA-Schäden sich dafür in ein und derselben Zelle ereignen müssen. Die Forschung ist sich hier uneins. Ein Minimum von unter zehn wird genauso diskutiert wie Zahlen um die 80.

Fakt ist, es entstehen ständig Schäden und jede zusätzliche Schädigung durch künstliche Strahlung erhöht das Krebsrisiko. Streng genommen kann ein einziger weiterer Strahlenschaden den entscheidenden Ausschlag geben und eben zum Beispiel gerade das P53 System zerstören, sodass Krebs entsteht.

Aus diesen Gründen ist Krebs eine Alterserkrankung: Die DNA-Schäden häufen sich im Laufe der Jahre an und führen schließlich zu Krebs. Eine zusätzliche Bestrahlung durch Technik kann also theoretisch bei der selben Dosisleistung wie die natürliche Strahlung das Durchschnittsalter für Krebserkrankungen um die Hälfte senken.

Kinder sind übrigens gegenüber Strahlungsschäden gefährdeter, weil sich ihre Zellen viel öfter teilen und ein Schaden damit sofort in mehrere Subpopulationen getragen wird. Das ist nur einer der Gründe dafür...

Allerdings muss man auch die verschiedenen Strahlungsarten und andere Dinge bedenken...

Gefährlichkeit der Strahlungsarten

Alpha

Alpha-Strahlung besteht aus kleinen Teilchen – im Prinzip sind es Atomkerne des Heliums ohne ihre Atomhülle.

Weil es sich im Vergleich um recht große, schwere Teilchen handelt, ist Alpha-Strahlung extrem leicht abzuschirmen (zum Beispiel durch ein Blatt Papier).

Von außen stellt Alpha-Strahlung daher keine Gefahr dar. Jedoch besteht die Gefahr der Aufnahme des Strahlers, der die Alpha-Strahlung produziert, in den Körper, wo sich das strahlende Atom langfristig an bestimmten Stellen festsetzt. Der Strahler wirkt dann innerhalb des Körpers und hat einige große Nachteile.

Alphastrahler sind besonders gefährlich, weil sie in ihrer direkten Nähe viele eng benachbarte DNA-Schäden setzen. Diese sind mangels Vergleichsmaterial durch die Zelle dann nicht mehr zu reparieren. Damit ist ein Schutzmechanismus ausgeschaltet.

Weiterhin trifft die selbe Zelle aufgrund der räumlichen Nähe zu Strahler immer wieder Strahlung, was die Anzahl der Schäden in dieser Zelle drastisch erhöht. Für den Bereich direkt um den Strahler ist also das Entartungsrisiko (Krebsrisiko) extrem erhöht!

Ein Beispiel für einen Alphastrahler ist Plutonium-239.

Beta

Beta-Strahlung besteht aus sehr kleinen Teilchen (Elektronen) und ist relativ leicht abzuschirmen. Die Gefahr besteht darin, dass eine nötige Abschirmung mit Metallplatten zu Bremsstrahlung führen kann. Das heißt, dass die auf die Metallplatte auftreffende Beta-Strahlung zwar aufgehalten wird, die Metallplatte dann aber selbst unter Umständen Gamma-Strahlung (siehe unten) abgeben kann. Das spielt vor allem in der Radiologie (Röntgen) eine Rolle.

Gamma

Gamma-Strahlung besteht aus Photonen bzw. elektromagnetischen Wellen. Es handelt sich sozusagen wie bei Licht um pure Energie. Jedoch sind die Wellenlängen deutlich kürzer als die des sichtbaren Lichts, was bedeutet, dass diese Strahlung viel mehr Energie enthält als das sichtbare Licht und auch erst dadurch zu ionisierender Strahlung (siehe oben) wird.

Gamma-Strahlung ist kaum abschirmbar, hat eine sehr große Reichweite und ist insbesondere dadurch so gefährlich.

Strahlendosis

Man kann die Menge an Strahlung, die an einem bestimmten Ort auftritt oder auch die Menge an Strahlung, der ein Mensch ausgesetzt ist, messen und berechnen.

Rein physikalisch wird Strahlung in Gray (Gy) gemessen. Diese Einheit gibt an, wieviel Energie auf eine bestimmte Masse trifft (Joule pro Kilogramm).

Diese „**Energiedosis**“ sagt aber noch nicht viel darüber aus, wie gefährlich diese Strahlenmenge nun ist. Deshalb gibt es auch den Begriff der „**Organdosis**“. Dabei wird die Energiedosis mit einem

„Gefährlichkeitsfaktor“ (Wichtungsfaktor) multipliziert, der berücksichtigen soll, welche Strahlungsart vorliegt und wie gefährlich diese Art von Strahlung ist. Heraus kommt dann die **Organdosis** mit der Einheit Siever (Sv).

Dabei ist Gamma-Strahlung der Vergleichswert (Wichtungsfaktor 1) – folglich ist die Energiedosis und die Organdosis bei Gamma-Strahlung gleich. Beta-Strahlung dagegen hat den Wichtungsfaktor 5, wird also als fünfmal so gefährlich angesehen wie Gamma-Strahlung. Für Alpha-Strahlung beträgt der Wichtungsfaktor dagegen 20, weil Alpha-Strahlung 20 mal so gefährlich ist wie Gamma-Strahlung. Damit wäre eine Energiedosis von 1Gy bei Alpha-Strahlung das gleiche wie eine Organdosis von 20Sv.

Weil nun aber die verschiedenen Organe des Menschen unterschiedlich empfindlich für Strahlung sind, wurde auch eine sogenannte „**Effektivdosis**“ (oder „Äquivalentdosis“) eingeführt. Dabei wird die Organdosis nochmal mit einem weiteren Wichtungsfaktor für die Empfindlichkeit des jeweiligen Organs verrechnet. Die Einheit der Effektivdosis heißt auch Sievert (Sv).

Die Wichtungsfaktoren für die Effektivdosis liegen zwischen 0,01 (Knochenoberfläche) und 0,2 (Hoden/Eierstock). Die resultierenden Effektivdosen für alle Organe müssen anschließend zusammengezählt werden, um die Strahlenbelastung des gesamten Menschen zu errechnen.

Welche Dosis ist gefährlich?

Diese Frage lässt sich nicht ganz einfach beantworten. Zunächst muss man unterscheiden, um welche Strahlenschäden es gehen soll. Man muss **somatische und genetische Strahlenschäden** unterscheiden. Die genetischen Strahlenschäden betreffen die Ei- oder Spermienzellen und verursachen Missbildungen oder Krankheiten bei den Kindern des Verstrahlten. Diese Schäden werden weiter vererbt über Generationen. Es ist durchaus auch möglich, dass es sich um Schäden handelt, die nur ein Krankheitsrisiko bei den Nachkommen erhöhen (z. B. Krebsrisiko) und dann erst in folgenden Generationen der Nachkommen auffällig werden. Im Gegensatz dazu sind somatische Strahlenschäden solche, die den Verstrahlten selbst betreffen und nicht an seine Kinder vererbt werden. Hier erhöht sich das eigene Krebsrisiko des Betroffenen oder es kommt bei ihm zur Strahlenkrankheit, wenn die Dosis hoch war.

Eine weitere Unterscheidung muss man zwischen sog. **deterministischen und stochastischen Strahlenschäden** machen. Die deterministischen Strahlenschäden sind bei hohen Dosen zu beobachten und verursachen die Symptome vor allem dadurch, dass sehr viele Zellen durch die Bestrahlung direkt zu Grunde gegangen sind. Es handelt sich also um eine leichte bis schwere akute Strahlenkrankheit. Die Symptome reichen von Müdigkeit und Erbrechen über Haarausfall und Ausfall des Immunsystems bis hin zum sofortigen Tod.

Demgegenüber sind stochastische Strahlenschäden diejenigen, die „nur“ DNA-Veränderungen hinterlassen und damit das Krebsrisiko erhöhen. Während deterministische Schäden erst ab einer Dosis von etwa 250mSv (ein viertel Sievert) beobachtet werden, gibt es für stochastische Strahlenschäden (erhöhtes Krebsrisiko) keine Untergrenze der Dosis; jede Bestrahlung erhöht das Krebsrisiko je nach Dosis mehr oder weniger stark. Man geht davon aus, dass wohl die Wahrscheinlichkeit für Krebs proportional zur Strahlungs-dosis zunimmt (d. h. Doppelte Dosis führt zu doppeltem Krebsrisiko).

Zahlen zu den Effekten verschiedener Strahlendosen:

- ab 250mSv direkte deterministische Strahlenschäden

- jährliche Dosis eines Deutschen (natürliche Strahlung & künstliche Strahlung): 4mSv
- Grenzwert für berufliche Strahlenbelastung im Jahr: 20mSv
- tödliche Effektivstrahlendosis: 7Sv
- ab 1Sv: akute Strahlenkrankheit
- ab 4Sv: 50% Todesrate
- ab 100Sv: sofortiger Tod

Kann Strahlung heilen?

Allgemein bekannt ist, dass Strahlung auch medizinisch eingesetzt wird. Jedoch muss man dabei wissen, dass Strahlung keineswegs einen positiven Einfluss auf die Zellen des menschlichen Körpers hat. Die Anwendung von Strahlung beschränkt sich in der Medizin auf sehr wenige Einsatzgebiete. Zunächst wäre da die **Diagnostik** in Form von Röntgenbildern und Computertomografien (CT). Bei diesen Untersuchungen geht man das Risiko der Bestrahlung ein, weil man einen Blick in den Körper erhalten will. Die Bilder, die dabei entstehen, können die Therapie von Erkrankungen entscheidend steuern. Es ist absolut unstrittig, dass jede einzelnen Röntgenaufnahme das Krebsrisiko erhöht und deshalb gelten auch strenge Regeln, wann ein Röntgenbild notwendig ist. Für CT-Aufnahmen gilt dies in noch größerem Ausmaß.

Deterministische Strahlenschäden, also Strahlenkrankheitssymptome werden dabei nicht beobachtet, weil die Dosen unter 250mSv bleiben.

Weiterhin wird Strahlung aber auch zur **Therapie** eingesetzt. Zum einen wird dabei nicht-ionisierende Strahlung in Form von Wärmebehandlungen eingesetzt. Diese Art von Strahlung hat zu wenig Energie, um Atome zu ionisieren und ist damit wohl ungefährlich.

Im Gegensatz dazu wird aber auch ionisierende Strahlung für die Behandlung von Krebspatienten eingesetzt. In diesen Fällen muss man aber bedenken, dass das Konzept der Behandlung grundsätzlich das gleiche ist wie bei einer Chemotherapie: Man fügt dem Körper einen Schaden zu und versucht diesen möglichst auf den Tumor zu begrenzen. Dies gelingt bei der Chemotherapie durch die chemischen Eigenschaften des Medikaments, wodurch es sich im Tumor besonders anreichert. Bei der Strahlentherapie gelingt es dagegen durch gezielte Bestrahlung aus unterschiedlichen Richtungen. Auf diese Weise wird bei beiden Behandlungsarten im Tumor eine höhere Dosis erreicht als im restlichen Körper. Man hofft so, dem Tumor mehr zu schaden als dem gesamten Menschen und damit den Krebs zu heilen.

Es ist aber durchaus so, dass aus der Behandlung selbst ein erhöhtes Risiko für weitere spätere Krebserkrankungen entsteht. Man geht dieses Risiko aber in der Situation des Patienten ein.

Beispiele für gefährliche Strahler

Strontium-90

Beta-Strahler. Gefährlich, da vom Körper als Calcium erkannt. Daher Einbau in den Knochen. Ist

dort medizinisch kaum wieder herauszubekommen, da verfügbare Medikamente Calcium besser binden und entfernen als Strontium.

Strontium bestrahlt damit aus nächster Nähe das Knochenmark, welches Sitz der Blutbildung und des Immunsystems ist.

Damit besteht eine große Gefahr für Lymphome, Leukämien oder auch "nur" Blutarmut sowie Immunschwäche.

Die physikalische Halbwertszeit von Strontium beträgt ca. 28 Jahre, die biologische Halbwertszeit durch Ausscheidung 49 Jahre. Damit sinkt die Anzahl der strahlenden Strontium-90 Atome in jeweils 18 Jahren um die Hälfte.

Cäsium (versch. Isotope)

Beta-Strahler. Wird vom Körper für Kalium gehalten und im Magen-Darm-Trakt fast vollständig aufgenommen. Anschließend Einbau in die Muskulatur.

Führte nach Tschernobyl wohl in Deutschland noch zu einer Dosis von $0,6\mu\text{Sv}$ in 3 Monaten (nur Cäsium-137 allein).

Die physikalische Halbwertszeit von Cäsium-137 beträgt 30 Jahre, die biologische Halbwertszeit 110 Tage.

Plutonium-239

Alpha Strahler (!). Daher extrem gefährlich. Ablagerung im Knochen und in der Leber (aktivstes Stoffwechselorgan mit hoher Teilungsrate). wenige Mikrogramm reichen wohl für sichere Krebsentstehung. Zerfällt in Americium, welches als Gammastrahler weiter gefährdet.

Zudem ist Plutonium sogar noch chemisch giftig mit einer relativ geringen lethalen (tödlichen) Dosis.

Die Halbwertszeit beträgt 24110 Jahre.

Weiterführende Quellen

- Krebs bei Kindern in der Nähe von Atomkraftwerken in Deutschland:

http://www.shop.ausgestrahlt.de/fileadmin/user_upload/shop/broschueren/ippnw_auf14_web_k1.pdf

- Verdeutlichung der Relevanz: <http://www.energie-fakten.de/html/hiroshima-nagasaki.html>

- Allgemein zu Gefahren der Atomkraft (auch Normalbetrieb):

http://www.bund.net/bundnet/themen_und_projekte/atomkraft/gefahren/