

Die biologischen Wirkungen radioaktiver Strahlung

DIE WIRKUNGEN AUF DEN MENSCHLICHEN ORGANISMUS -
EXPOSÉ

FELIX SCHREIBER

Gliederung:

1. Hinführung zum Thema „Strahlenwirkungen“
2. Dosisgrößen: Einordnung von Strahlung
 - a. Äquivalentdosis
 - b. Organdosis
 - c. Effektive Dosis
 - d. LET
3. Eindringen von Strahlung in den Organismus
4. Deterministische Strahlenwirkung
5. Stochastische Strahlenwirkung
6. Somatische Strahlenwirkung
7. Strahlenwirkungen im Allgemeinen
8. Strahlenwirkungen auf einzelne Organe
9. Strahlenwirkungen auf einzelne Zellen
10. Positive Wirkungen
11. Fazit

Strahlungen. Sie umgeben uns immer, überall, dennoch können wir sie nicht direkt spüren oder wahrnehmen. Und obwohl wir auch im Alltag immer wieder mit Strahlung in Kontakt kommen, sind die Wirkungen nicht wirklich spürbar. Doch was sind eigentlich Auswirkungen von radioaktiver Strahlung auf den menschlichen Organismus?

Als Basis für das Einordnen von verschiedenen Strahlungen und deren Wirkungen dienen unterschiedliche, sogenannte Dosisgrößen¹. Die Energiedosis (in Gy) beschreibt die Menge an Energie die von einer bestimmten Masse an Gewebe aufgenommen wird. Diese bildet einen Faktor der Äquivalentdosis (in Sv), zusammen mit einem Wichtungsfaktor, der für jede Art von Strahlung einen anderen Wert hat. Diese wiederum kann mit einem weiteren Wichtungsfaktor erweitert werden, der für ein jeweiliges Organ gilt. Daraus ergibt sich die Organdosis (in Sv), die die biologische Wirksamkeit auf einzelne Organe beschreibt. Die effektive Dosis (auch effektive Äquivalentdosis) ist die Summe aus den Äquivalentdosen aller Organe und beschreibt damit annäherungsweise die Wirkung auf den gesamten Organismus und kann somit als Maß für stochastische Strahlenschäden verwendet werden. Die letzte Dosisgröße ist der LET („Linearer Energietransfer“): Er ist proportional zur Ladung bzw. Masse des Strahlen-Teilchens und anti-proportional zur jeweiligen Geschwindigkeit, also ist er kleiner, wenn das Teilchen sich schneller bewegt. Wenn also das Teilchen in einer Masse abgebremst wird, kommt es zum sog. „Bragg-Peak“, die Menge an abgegebener Energie an diesem Punkt steigt extrem an und fällt abrupt wieder ab.

Doch um auf das Gewebe wirken zu können muss die Strahlung zunächst einmal in den Körper eindringen². Das kann von außen oder von innen stattfinden. Bei der äußeren Strahlenexposition dringt die Strahlung wie der Begriff schon aussagt von außerhalb des Körpers ein: so können Alpha-Teilchen die Haut nicht durchdringen, Beta-Strahlung schafft einige wenige Millimeter, doch Gamma- und Neutronen-Strahlung dringen sehr tief in den Organismus ein und haben somit die größten Auswirkungen auf interne Prozesse wie Zellteilung und Veränderung der DNS. Die innere Strahlenexposition bezeichnet man als Inkorporation. Diese unterteilt man in Ingestion, die Aufnahme über den Nahrungs-Stoffwechsel, und Inhalation, Aufnahme über die Atemwege. Dabei sind die Wirkungen von Alpha- und Beta-Strahlung um einiges stärker als von außerhalb, da die Teilchen viel näher an wichtigen Organen sind und durch den beim LET beschriebenen Bragg-Peak und das abbremsen im Gewebe viel mehr Energie abgeben können, was sich dementsprechend auf die anliegenden Zellen auswirkt.

Aber wie wirkt sich diese Energieaufnahme auf Teile des Organismus aus? Um diese Frage beantworten zu können benötigt man noch ein paar weitere Begriffe: deterministische, stochastische und somatische Strahlenwirkung.

Die deterministischen Auswirkungen³ beziehen sich auf Schäden die ab einem höheren Schwellwert von etwa 500 mSv auftreten und dann proportional zur Dosis steigen, was in Hautrötungen, Katarakten (Grauer Star) oder Sterilität resultiert. Diese Schäden treten schon relativ kurz nach der Bestrahlung auf.

Als stochastische Schäden⁴ bezeichnet man Auswirkungen, die keinen direkten Schwellwert besitzen und auch als Langzeitschäden betitelt werden, wie Krebserkrankungen (Karzinogenese) und vererbte genetische Schäden (hereditär). Es gibt wie bereits gesagt keine Schwellwerte, und mit erhöhter Bestrahlung steigt zwar das Risiko (deshalb auch stochastisch), aber die Schwere der

¹ 7, 5, 8 (K 5)

² 7, 6, 8 (K 7.5)

³ 7, 5, 6, 1 („Wie wirkt Strahlung?“)

⁴ 7, 5, 6, 1 („Wie wirkt Strahlung?“)

Erkrankung ist nicht vom bestrahlten Volumen abhängig. Es kann bis zu Jahrzehnten dauern bis stochastische Schäden auftreten.

Somatische Strahlenwirkungen⁵ sind eine weitere Unterteilung der stochastischen Schäden, zusammen mit genetischen Schäden. Letztere gelten für Nachkommen von bestrahlten Individuen und werden über Generationen hinweg weitervererbt, während somatische Schäden direkt auftreten. Unterschieden wird hier wiederum in Früh- und Spätschäden. Die Frühschäden sind im Grunde äquivalent zu den deterministischen Schäden, weshalb ich diese hier jetzt nicht weiter Erläutere. Als spät auftretende Schäden bezeichnet man unter anderem Krebs und Leukämie, und wie bereits bei den stochastischen Wirkungen beschrieben gibt es für diese keinen Schwellwert, sondern nur eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass diese auftreten.

Nachdem diese Begriffe nun geklärt sind, zurück zur eigentlichen Frage: was sind die Auswirkungen radioaktiver Strahlung? Im Bezug auf den gesamten Körper gibt es verschiedene Symptome⁶: wenn man von deterministischen Schäden spricht, hängen die Auswirkungen von der Strahlenmenge ab. Bei einer Dosis von etwa 0,25 Sv sinkt die Zahl der Lymphozyten, das Blutbild verändert sich für kurze Zeit. Ab 1 Sv kommt es zur vorübergehenden Strahlenkrankheit, auch „Strahlenkater“ genannt. In dieser Phase kann es nach ein paar Wochen zu Haarausfall, Hautrötungen und weiteren deterministischen Schäden kommen. Zur schweren Strahlenkrankheit kommt es bei etwa 4 Sv, die in etwa 50 % der Fälle bei Nicht-Behandlung zum Tod führt. Dabei verschwinden fast alle Lymphozyten wodurch das Infektionsrisiko mit Krankheiten steigt. Des Weiteren kann es zu inneren Blutungen, Fieber, Sterilität (Männer) oder Zyklusstörungen (Frauen) kommen. Die tödliche Dosis liegt bei etwa 7 Sv, selbst bei medizinischer Behandlung noch in fast allen Fällen. Zunächst kommt es wie bei den vorherigen Schwellwerten in den ersten Tagen zu Übelkeit und Erbrechen, dann zu großflächigen Entzündungen in der Schleimhaut, zu Fieber und schnellem Verlieren der Kräfte und schließlich zum Tod.

Die Auswirkungen auf einzelne Organe⁷ werden mitunter durch Milieufaktoren und relative Strahlenempfindlichkeit bestimmt: Somit sind Organe wie rotes Knochenmark, Lunge und Keimdrüsen für Strahlung empfindlicher als zum Beispiel die Haut.

Auf der Zellebene⁸ wird der Prozess von Strahlenschäden in 4 Phasen unterteilt: die physikalische, physikochemische, chemische und biologische Phase.

In der physikalischen Phase werden durch Interaktion mit Strahlung Biomoleküle ionisiert, was zur Modifikation oder Zerstörung des Moleküls führt. Bei einer Modifikation kommt es in der physikochemischen Phase entweder zur Rekombination oder zur Ausbildung freier Radikale, die dann weitere Prozesse anstoßen. In der chemischen Phase wird durch Wechselwirkungsprozesse unter anderem auch das Zellwasser verändert. Hierbei entstehen wieder freie Radikale und andere Spaltprodukte. Dieser Prozess wird Radiolyse genannt. In der letzten, der biologischen Phase, kommt es schließlich zur Zerstörung von DNS, Proteinen und Aminosäuren, was zu Mutationen oder dem Tod der Zelle führen kann. Die Zelle kann jedoch auch wieder vollständig durch Prozesse wie Glykosylase, Endonuklease, Polymerase und Ligase repariert werden. Das muss keine Folgen nach sich ziehen, kann aber ansonsten zu wie oben schon beschriebenen Spätfolgen führen.

⁵ 8 (K 6.5)

⁶ 6, 8 (K 6.5), 1 („Folgen eines Strahlenunfalls“), 2 („Radiation Health Effects“)

⁷ 8 (K 6.6)

⁸ 5

Die als Hormesis⁹ bezeichneten positiven Wirkungen radioaktiver Strahlung ist ein noch sehr unerforschtes Gebiet der Strahlenwirkungen und sehr umstritten. So wurden in wenigen Fällen positive Auswirkungen von Bestrahlung beobachtet, wie eine Beschleunigung von Wachstums- und Entwicklungsprozessen, Anregung von Reparaturvorgängen auf Zellebene oder die Konditionierung von Zellen auf Radioaktivität. Wie schon gesagt bleibt Hormesis jedoch stark umstritten, da diese positiven Wirkungen nur in Einzelfällen zu beobachten sind und in vergangenen Studien nur sehr selten aufgetreten sind, und wenn dann meistens in künstlichen Umgebungen, wie zum Beispiel das Entnehmen von Lymphozyten um diese im Labor zu testen.

Strahlenwirkungen können sehr variable auftreten, sich vielfältig auswirken und sind sehr oft nicht mit Sicherheit vorhersagbar. Zwar kann man in Fällen von deterministischen oder Frühschäden sehr genau sagen ab wann welche Wirkung auftritt, wenn es jedoch zu stochastischen oder genetischen, vererbaren Schäden kommt wird es beinahe unmöglich sichere Vorhersagen zu treffen. Allgemein kann man sagen, dass die Auswirkungen von Strahlung von einfachen Hautrötungen und Haarausfall bis hin zu Krebserkrankungen und Leukämie reichen und, zumindest bei Frühschäden, bis zu einem bestimmten Punkt auch noch medizinisch behandelt werden können. Und es gibt zwar auch positive Wirkungen, diese sind jedoch noch nicht völlig nachgewiesen oder erforscht.

⁹ 1 („Hormesis“)

Quellenverzeichnis:

1. Bundesamt für Strahlenschutz: „Ionisierende Strahlung“, „Strahlenwirkung“, https://www.bfs.de/DE/themen/ion/wirkung/wirkung_node.html, Aufruf vom 02.05.2023
2. EPA: „Radiation Basics“, <https://www.epa.gov/radiation/radiation-basics>, Aufruf vom 02.05.2023
3. Grosch, Daniel S., Hopewood, Larry E.: „Biological Effects of Radiations“. 2. Auflage, Amsterdam, Niederlande, 1979
4. Hall, Eric J., Giaccia, Amato J.: „Radiobiology for the Radiologist“. 7. Auflage, Philadelphia, Pennsylvania, 2011
5. Medizinphysik Wiki: „Biologische Strahlenwirkung“, <https://medizinphysik.wiki/grundlagen/biologische-grundlagen/>, Aufruf vom 02.05.2023
6. Leifiphysik: „Radioaktivität – Einführung“, „Biologische Strahlenwirkung“, <https://www.leifiphysik.de/kern-teilchenphysik/radioaktivitaet-einfuehrung/grundwissen/biologische-strahlenwirkung>, Aufruf vom 02.05.2023
7. UM Baden-Württemberg: „Dosisgrößen und die Wirkung der Strahlung“, <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/umwelt-natur/kernenergie/strahlenschutz/informationen-zum-strahlenschutz/radioaktivitaet-und-ionisierende-strahlung/dosisgroessen-und-die-wirkung-der-strahlung>, Aufruf vom 02.05.2023
8. Volkmer, M.: „Radioaktivität und Strahlenschutz“, <https://www.kernd.de/kernd-wAssets/docs/service/013radioaktivitaet-u-strahlenschutz2012.pdf>, Berlin, 2012