

SEMINARARBEIT

aus dem W-Seminar

Kerntechnik und Kernchemie

Thema der Seminararbeit:

Die biologischen Wirkungen radioaktiver Strahlung

Verfasser: Schreiber, Felix
Kursleiter: Weiß, Raphael, StR
Abgabetermin: 07. November 2023

Bewertung der schriftlichen Arbeit: Punkte in Worten:
Bewertung der Präsentation: Punkte in Worten:
Gesamtbewertung ((3x schriftlich + 1x mündlich) : 2): Punkte
Abgabe beim Oberstufenkoordinator am:

.....
Unterschrift des Kursleiters

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Dosisgrößen: Einordnung von Strahlungswirkung	2
2.1 Energiedosis	2
2.2 Äquivalentdosis	2
2.3 Organdosis	2
2.4 Effektive Dosis	3
2.5 LET und Bragg-Peak	3
3 Eindringen von Strahlung in den Organismus	4
4 Unterscheidung der Auswirkungen	5
4.1 Deterministische Strahlenwirkung	5
4.2 Stochastische Strahlenwirkung	5
4.3 Somatische Strahlenwirkung	5
5 Strahlenwirkungen im Allgemeinen	6
6 Strahlenwirkungen auf Organe	7
7 Strahlenwirkungen auf einzelne Zellen	8
8 Hormesis: Mögliche positive Wirkungen	9
9 Schlusswort	10
Bibliographie	11

1 Einleitung

Strahlung - Ein sehr simples Wort, auf den ersten Blick. Daraus könnte man den zunächst nicht sonderlich falschen Schluss ziehen, die Thematik dahinter sei ebenso „einfach“. Aber wäre das der Fall, dann würde diese Arbeit nicht existieren. Doch was ist nun diese „Strahlung“? Der Begriff ist sehr vielfältig: elektromagnetische Strahlung wie Licht, Mikrowellenstrahlung in, wie wahrscheinlich schon vermutet, Mikrowellen-Öfen, und natürlich auch die radioaktive Strahlung, um die es in diesem Werk hauptsächlich geht. Entdeckt wurde Radioaktivität bereits vor etwa 128 Jahren, also Ende des 19ten Jahrhunderts durch Henri Becquerel¹, der durch Zufall darauf stieß und erhielt dafür, zusammen mit dem Curie-Ehepaar, den Physik-Nobelpreis. Damals waren jedoch die Auswirkungen der Strahlung auf biologische Organismen wie den Menschen noch nicht erforscht, was unter anderem in Dingen wie „Uran-Zahnpasta“ resultierte. Mittlerweile ist die Forschung zur Strahlenwirkung etwas fortgeschrittener und somit sind auch Wecker mit Uranfarbe für einen schönen Leuchteffekt glücklicherweise nichts alltägliches mehr. Die Gründe dafür und wie genau Bestrahlung mit radioaktiven Teilchen sich auf diverse Organismen auswirkt ist das Thema dieser Arbeit und damit der folgenden Kapitel.

¹Grotelüschen, „Als Henri Becquerel seine Entdeckung der Radioaktivität präsentierte“.

2 Dosisgrößen: Einordnung von Strahlungswirkung

Als Grundlage für das Einordnen unterschiedlicher Strahlungsarten und deren Auswirkungen dienen die so genannten „Dosisgrößen“. Diese ermöglichen es, allgemeine Aussagen über die Interaktion zwischen Materie und Strahlung zu treffen. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, Strahlenwirkung damit darzustellen: Die Energiedosis (Abschnitt 2.1), Äquivalentdosis (Abschnitt 2.2), Organdosis (Abschnitt 2.3) und die effektive Dosis (Abschnitt 2.4). Abschnitt 2.5 beschäftigt sich mit dem linearen Energietransfer (LET) und dem Phänomen des „Bragg-Peak“.

2.1 Energiedosis

Die Energiedosis, angegeben in Gray (Gy), beschreibt die aufgenommene Energie pro Masse²:

$$D = \frac{E}{m}$$

Bei Abhängigkeit von der Strahlungsart R wird mit dem Strahlungs-Wichtungsfaktor w_R multipliziert, und bei einbeziehen des Gewebetyps muss zusätzlich mit dem Gewebe-Wichtungsfaktor w_T skaliert werden.

2.2 Äquivalentdosis

Allein mit der Energiedosis (Abschnitt 2.1) lässt sich noch keine Aussage über die Interaktion von Strahlung mit Materie treffen, weswegen man diese mit dem Qualitätsfaktor Q , abhängig von der Art der Strahlung R , skalieren muss. Somit ergibt sich die Äquivalentdosis, gemessen in Sievert (Sv):

$$H_R = Q_R * D_R$$

Zu beachten ist, dass auch die Energiedosis (D) hier ebenfalls von R abhängig ist.

2.3 Organdosis

Die in Abschnitt 2.2 beschriebene Äquivalentdosis kann noch mit einem vom jeweiligen Organ abhängigen Gewebe-Wichtungsfaktor (w_T) multipliziert werden.³ Damit kann die

²„Dosisgrößen und die Wirkung der Strahlung“.

³„Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) - Anlage 18 (zu den §§ 171, 197) - Dosis- und Messgrößen“.

Wirkung einer gewissen Energiedosis auf ein bestimmtes Organ dargestellt werden, auch die Organdosis oder Organ-Äquivalentdosis genannt:

$$H_{T,R} = w_R * D_{T,R}$$

wobei w_R der jeweilige Strahlungs-Wichtungsfaktor ist. Bei mehreren verschiedenen Strahlungsarten bildet sich die Organdosis aus der Summe aller Organdosen der unterschiedlichen Strahlungsarten:

$$H_T = \sum_R H_{T,R} = \sum_R w_R * D_{T,R}$$

2.4 Effektive Dosis

Die so genannte effektive Dosis, oder auch effektive Äquivalentdosis lässt sich durch das Summieren aller Organdosen (Abschnitt 2.3) errechnen. Dadurch wird die Gesamtwirkung auf den menschlichen Organismus näherungsweise modelliert:

$$E = \sum_T w_T * H_T$$

2.5 LET und Bragg-Peak

Der LET (lineare Energietransfer) beschreibt die Energie ΔE entlang des Weges des „Primärstrahls“ über der zurückgelegten Strecke Δs :

$$\text{LET} = \frac{\Delta E}{\Delta s}$$

Ein damit verbundener Effekt, der häufig für medizinische Zwecke angewandt wird, wird als „Bragg-Peak“ bezeichnet. Dieses Phänomen tritt beim Abbremsen des Strahlungsteilchens in Materie auf, wobei ein Großteil der Energie abgegeben wird. Praktische Anwendung findet sich hierbei in der Partikeltherapie: das Teilchen gibt beim Eindringen fast keine Energie ab; erst beim Verlangsamen im Zielpunkt ergibt sich eine höhere Dosis.

3 Eindringen von Strahlung in den Organismus

Um sich auf Materie oder einen Organismus auswirken zu können muss Strahlung in denselben zunächst eindringen. Hierbei unterscheidet man zwischen zwei Ausgangssituation: Eindringen von Außen oder von Innen. In Bezug auf den menschlichen Körper kann die Strahlung von Außen durch die Haut eindringen. Dabei ist der Effekt stark von der Art der Strahlung abhängig: während α -Teilchen nicht in die Haut eindringen können, durchdringt β -Strahlung diese wenige Millimeter. γ - und Neutronen-Strahlung hingegen können tief in den Körper eindringen, wobei sie Prozesse wie Zellteilung u.ä. beeinflussen können. Die Aufnahme von Strahlung von innerhalb wird als „Inkorporation“ bezeichnet: Hierbei wird zwischen „Ingestion“ und „Inhalation“ unterschieden. Bei der Ingestion nimmt man Strahlung bzw. radioaktive Teilchen über die Nahrung auf; bei der Inhalation über die Atemluft und damit über die Lunge. In beiden Fällen ist die Wirkung extremer als bei der reinen äußeren Einwirkung, da hier der Weg zu vitalen Organen verkürzt ist. Außerdem können α -Teilchen, die energiereicher sind als β - oder γ -Strahlung, aufgrund des „Bragg-Peaks“ (Abschnitt 2.5) viel mehr Schaden anrichten als von außerhalb.

4 Unterscheidung der Auswirkungen

4.1 Deterministische Strahlenwirkung

Auswirkungen radioaktiver Strahlung, die erst ab einem gewissen Schwellwert auftreten, werden „deterministisch“ genannt. So sind unter diesem Wert keine beobachtbaren Schäden oder sonstige Auswirkungen erkennbar, ab dem Grenzwert steigt die Ausprägung mit der Dosis. Außerdem ist die Wahrscheinlichkeit, dass Schäden entstehen, unabhängig vom Volumen bzw. der Oberfläche, die bestrahlt wird. Beispiele für deterministische Strahlenschäden sind Katarakte (grauer Star) und Hautrötung. Ein typischer Schwellwert für menschliches Gewebe liegt bei etwa 500mSv. Die Auswirkungen sind schon nach relativ kurzer Zeit sichtbar, im Vergleich zu stochastischen (Abschnitt 4.2) oder somatischen Schäden (Abschnitt 4.3).

4.2 Stochastische Strahlenwirkung

Wenn Strahlenschäden zufällig, also nicht einem Muster oder irgendwelchen Faktoren folgend auftreten, so spricht man von stochastischer Strahlenwirkung. Hier ist im Gegensatz zu den deterministischen Auswirkungen (Abschnitt 4.1) die Wahrscheinlichkeit direkt von der bestrahlten Fläche bzw. vom bestrahlten Volumen abhängig und dazu proportional, jedoch ist die Schwere der Schäden davon unabhängig. Es gibt keinen Schwellwert, und das Auftreten kann um Monate bis Jahre verzögert sein, weswegen man auch von Langzeitschäden spricht. Dazu zählen Krebserkrankungen („Karzinogenese“ und somatische Schäden, Abschnitt 4.3) und vererbte genetische Schäden („hereditär“).

4.3 Somatische Strahlenwirkung

Als Unterklasse der stochastischen Strahlenschäden (Abschnitt 4.2) existieren neben den genetisch vererbten Auswirkungen noch die somatischen Strahlenschäden. Hierbei wird noch einmal in Früh- und Spätschäden unterschieden, wobei die Frühschäden gleichbedeutend mit deterministischen Wirkungen sind (siehe Abschnitt 4.1). Unter spät auftretende Auswirkungen fallen Krebserkrankungen und Leukämie; und wie schon in Abschnitt 4.2 erwähnt treten diese unabhängig vom bestrahlten Volumen oder einem Schwellwert auf.

5 Strahlenwirkungen im Allgemeinen

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 Symptome: 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 einem 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 schnellen verlieren der Kräfte und schließlich zum Tod.

6 Strahlenwirkungen auf Organe

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.

7 Strahlenwirkungen auf einzelne Zellen

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.

8 Hormesis: Mögliche positive Wirkungen

Die als Hormesis 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.

9 Schlusswort

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, vererbbaaren 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.

Bibliographie

Dosisgrößen und die Wirkung der Strahlung. UM Baden-Württemberg, <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/umwelt-natur/kernenergie/strahlenschutz/informationen-zum-strahlenschutz/radioaktivitaet-und-ionisierende-strahlung/dosisgroessen-und-die-wirkung-der-strahlung>. Zugegriffen 2. Mai 2023

Grotelüschen, Frank. *Als Henri Becquerel seine Entdeckung der Radioaktivität präsentierte.* Deutschlandfunk, 24. Februar 2021, <https://www.deutschlandfunk.de/vor-125-jahren-in-paris-als-henri-becquerel-seine-100.html>

Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) - Anlage 18 (zu den §§ 171, 197) - Dosis- und Messgrößen. Bundesamt für Justiz, https://www.gesetze-im-internet.de/strlschv_2018/anlage_18.html. Zugegriffen 2. November 2023

Ich erkläre hiermit, dass ich die Seminararbeit ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benützt habe.

....., den
Ort Datum Unterschrift des Schülers