Leifiphysik: <https://www.leifiphysik.de/kern-teilchenphysik/radioaktivitaet-einfuehrung/grundwissen/biologische-strahlenwirkung>

BFS: <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/ion_node.html>

Fu-Berlin: <https://tetfolio.fu-berlin.de/web/1037958>

Strahlenschutzportal: <https://www.strahlenschutzportal.de/wissen-kompakt/fachliche_inhalte/strahlenbiologie/somatische-genetische-und-teratogene-schaeden>

Biofizika-AOK: <http://www.biofizika.aok.pte.hu/data/2020/0317/978/Handout%20Biologische%20Wirkung%20der%20radioaktiven%20Strahlungen.pdf>

Thieme-Connect: [https://www.thieme-connect.de/products/ebooks/lookinside/10.1055/b-0034-57499#](https://www.thieme-connect.de/products/ebooks/lookinside/10.1055/b-0034-57499)

Biofizika-AOK: <http://www.biofizika.aok.pte.hu/data/2019/0208/652/Biologische%20Wirkung%20der%20Strahlung_Handout.pdf>

Medizinphysik.wiki: <https://medizinphysik.wiki/grundlagen/biologische-grundlagen/>

EPA: <https://www.epa.gov/radiation/radiation-basics>

Uni Mainz: <https://molgen.biologie.uni-mainz.de/Downloads/PDFs/Strahlenbio.pdf>

<https://um.baden-wuerttemberg.de/de/umwelt-natur/kernenergie/strahlenschutz/informationen-zum-strahlenschutz/radioaktivitaet-und-ionisierende-strahlung/dosisgroessen-und-die-wirkung-der-strahlung>

Grosch, Daniel S., Hopewood, Larry E.: „Biological Effects of Radiations“. 2. Auflage, Amsterdam, Niederlande, 1979

Hall, Eric J., Giaccia, Amato J.: „Radiobiology for the Radiologist“. 7. Auflage, Philadelphia, Pennsylvania, 2011

<https://www.kernd.de/kernd-wAssets/docs/service/013radioaktivitaet-u-strahlenschutz2012.pdf>

**Die biologischen Wirkungen von radioaktiver Strahlung**

**Wirkungen auf den menschlichen Organismus**

Rechercheprotokoll

Felix Schreiber

**Literaturverzeichnis**

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

**1. Bundesamt für Strahlenschutz: „Ionisierende Strahlung“, „Strahlenwirkung“**

|  |  |
| --- | --- |
| *Internet-Adresse* | <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/wirkung/wirkung_node.html> |
| *Letzter Aufruf* | 09.05.2023 |
| *Anbieter* | Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz,  dieses vertreten durch das Bundesamt für Strahlenschutz. |
| *Verantwortung* | Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Petra Kaminsky, Leitung Presse- und Öffentlichkeitsarbeit |
| *Titel* | Ionisierende Strahlung |
| *Untertitel* | Strahlenwirkung |
| *Erscheinungsjahr / letzte Aktualisierung* |  |
| *Auflage* |  |
| *Verlagsort* |  |
| *Autor* |  |

**2. United States Environmental Protection Agency: „Radiation Basics“**

|  |  |
| --- | --- |
| *Internet-Adresse* | <https://www.epa.gov/radiation/radiation-basics> |
| *Letzter Aufruf* | 09.05.2023 |
| *Anbieter* | United States Environmental Protection Agency |
| *Verantwortung* | EPA |
| *Titel* | Radiation Basics |
| *Untertitel* |  |
| *Erscheinungsjahr / letzte Aktualisierung* | 13.02.2023 |
| *Auflage* |  |
| *Verlagsort* |  |
| *Autor* |  |

**3. Grosch, Daniel S., Hopewood, Larry E.: „Biological Effects of Radiations“**

|  |  |
| --- | --- |
| *Internet-Adresse* |  |
| *Letzter Aufruf* |  |
| *Anbieter* |  |
| *Verantwortung* |  |
| *Titel* | Biological Effects of of Radiations |
| *Untertitel* |  |
| *Erscheinungsjahr / letzte Aktualisierung* | 1979 |
| *Auflage* | 2 |
| *Verlagsort* | Amsterdam, Niederlande |
| *Autor* | Daniel S. Grosch, Larry E. Hopewood |

**4. Hall, Eric J., Giaccia, Amato J.: „Radiobiology for the Radiologist“**

|  |  |
| --- | --- |
| *Internet-Adresse* |  |
| *Letzter Aufruf* |  |
| *Anbieter* |  |
| *Verantwortung* |  |
| *Titel* | Radiobiology fort he Radiologist |
| *Untertitel* |  |
| *Erscheinungsjahr / letzte Aktualisierung* | 2011 |
| *Auflage* | 7 |
| *Verlagsort* | Philadelphia, Pennsylvania |
| *Autor* | Eric J. Hall, Amato J. Giaccia |

**5. Medizinphysik Wiki: „Biologische Strahlenwirkung“**

|  |  |
| --- | --- |
| *Internet-Adresse* | <https://medizinphysik.wiki/grundlagen/biologische-grundlagen/> |
| *Letzter Aufruf* | 09.05.2023 |
| *Anbieter* | Medizinphysik Wiki |
| *Verantwortung* | Medizinische Physik und Strahlenschutz Budde & Bärenfänger GbR |
| *Titel* | Biologische Strahlenwirkung |
| *Untertitel* |  |
| *Erscheinungsjahr / letzte Aktualisierung* |  |
| *Auflage* |  |
| *Verlagsort* |  |
| *Autor* |  |

**Zusammenfassung**

Die Quelle bezieht sich auf verschiedene Felder, beginnend mit dem Funktions- und Wirkungsprinzip von Biologischer Strahlenwirkung, dann eine Erklärung der Äquivalenzdosis und des LET, der Effektiven Dosis und zuletzt eine Definition von stochastischen und deterministischen Strahlenwirkungen.

Biologische Strahlenwirkung wird als „Veränderung und Abtötung von Zellen durch Schädigung ihrer DNA oder umliegenden für den Teilungsprozess relevanten Strukturen“ definiert, als Verursacher werden „Ionisation und Anregung im Gewebe“ angegeben. Aufgeteilt wird der Wirkungs-Prozess in vier Phasen: physikalisch, physikochemisch, chemisch und biologisch. In der physikalischen Phase werden Wechselwirkungen in Biomolekülen zerstört oder verändert, vom Eintreten der Strahlung bis zur Einleitung des Prozesses dauert es wenige Femtosekunden; in der physikochemischen Phase werden die Produkte der vorherigen Phase als „instabile Primärprodukte“ oder freie Radikale neu gebildet. In der chemischen Phase werden Reaktionen mit umliegenden Medien wie Wasser angestoßen, wobei wieder Spaltprodukte oder Radikale entstehen; dieser Prozess wird auch Radiolyse genannt. In der biologischen Phase treten schließlich durch die vorher entstandenen Schäden Fehler wie DNA-Brüche, zerstörte Aminosäure-Bindungen oder „Denaturierung von Proteinen“ auf. Daraus wiederum folgen Mutationen, Krebsbildung oder einfach das Absterben der Zelle, was aber nicht unbedingt sein muss, wenn der Schaden durch Reparatur durch Glykosylase, Endonuklease, Polymerase oder Ligase behoben werden kann. Das Einsetzen von Strahlenwirkung kann zeitlich stark variieren, von Millisekunden bis Jahrzehnte.

Die Äquivalenzdosis (Äquivalenzdosis H = Energiedosis D \* Qualitätsfaktor Q; Fehler in der Quelle, hier „Energiedosis E“ statt D) bestimmt die Ionisierungswahrscheinlichkeit einer Strahlenart. Sie dient als Möglichkeit um verschiedene Strahlungsarten aufgrund ihrer Wirkung zu vergleichen. Der ausschlaggebende Faktor zur Bestimmung ist der „Strahlungs-Wichtungsfaktor“ wT, der als Referenzwert für Photonenstrahlung bei 1 liegt, ab Alphateilchen geht dieser über 20. Die Äquivalenzdosis wird in Sievert (Sv = J / kg) angegeben.

Der LET (kurz für Linearer Energie-Transfer, LET = Energie dE / Strecke ds) dient wie die Äquivalenzdosis als Einordnungswert, er beschreibt die biologische Wirkung von Strahlung anhand der Menge entstehender Ionen entlang eines Pfades, welche mit der Masse und Ladung des Teilchens steigt. Es wird zwischen locker und dicht ionisierender Strahlung unterschieden, der Grenzwert liegt bei etwa 3,5 keV / µm. Wenn das Teilchen in Materie abgebremst wird, kommt es zum „Bragg-Peak“, d.h. einer Dosis-Spitze, was man sich in der Strahlentherapie zunutze macht.

**6. LEIFIphysik: „Radioaktivität – Einführung“, „Biologische Strahlenwirkung“**

|  |  |
| --- | --- |
| *Internet-Adresse* | <https://www.leifiphysik.de/kern-teilchenphysik/radioaktivitaet-einfuehrung/grundwissen/biologische-strahlenwirkung> |
| *Letzter Aufruf* | 09.05.2023 |
| *Anbieter* | LEIFIphysik |
| *Verantwortung* | Joachim Herz Stiftung, Prof. Dr.-Ing. Dr. Sabine Kunst (Vorstandsvorsitzende) |
| *Titel* | Radioaktivität – Einführung |
| *Untertitel* | Biologische Strahlenwirkung |
| *Erscheinungsjahr / letzte Aktualisierung* |  |
| *Auflage* |  |
| *Verlagsort* |  |
| *Autor* |  |

**7. UM Baden-Württemberg: „Dosisgrößen und die Wirkung der Strahlung“**

|  |  |
| --- | --- |
| *Internet-Adresse* | <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/umwelt-natur/kernenergie/strahlenschutz/informationen-zum-strahlenschutz/radioaktivitaet-und-ionisierende-strahlung/dosisgroessen-und-die-wirkung-der-strahlung> |
| *Letzter Aufruf* | 09.05.2023 |
| *Anbieter* | UM Baden-Württemberg |
| *Verantwortung* | Ministerium für Umwelt, Klima und  Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Steffen Becker, Leiter Presse- und Öffentlichkeitsarbeit |
| *Titel* | RADIOAKTIVITÄT UND IONISIERENDE STRAHLUNG |
| *Untertitel* | Dosisgrößen und die Wirkung der Strahlung |
| *Erscheinungsjahr / letzte Aktualisierung* | 10.06.2020 |
| *Auflage* |  |
| *Verlagsort* |  |
| *Autor* |  |

**Zusammenfassung**

Der Artikel fasst zunächst in aller Kürze die verschiedenen Dosisgrößen wie Äquivalenzdosis, Organdosis und effektive Dosis zusammen und erklärt diese. Es folgt eine Tabelle die noch einmal alle Dosisgrößen mit Definition, Charakterisierung und Einheit auflistet. Im zweiten Teil des Artikels wird näher auf die Wirkungsweisen von Strahlung auf den Menschen eingegangen: genannt wird der Fachbegriff „Strahlenexposition“, untergliedert in innere Inkorporation und äußere Strahlenexposition. Die innere kann noch einmal unterteilt werden in Ingestion, also die Aufnahme über die Nahrung und Inhalation, die Aufnahme über die Atemwege. Das eindringen von radioaktiven Teilchen sei auch über offene Wunden möglich. Zuletzt wird noch der unterschied zwischen deterministischen und stochastischen Schäden und Auswirkungen dargelegt. Deterministische Strahlenschäden entstehen ab einem Schwellwert von 500 Millisievert und treten kurz nach der Bestrahlung auf, stochastische Schäden, oder auch langfristige Schäden benötigen keinen Schwellwert, können aber zu spät auftretenden Krankheiten / Schäden wie Krebs oder genetischen Schäden führen.

**8. Volkmer, M.: „Radioaktivität und Strahlenschutz“**

|  |  |
| --- | --- |
| *Internet-Adresse* | <https://www.kernd.de/kernd-wAssets/docs/service/013radioaktivitaet-u-strahlenschutz2012.pdf> |
| *Letzter Aufruf* | 09.05.2023 |
| *Anbieter* |  |
| *Verantwortung* |  |
| *Titel* | Radioaktivität und Strahlenschutz |
| *Untertitel* |  |
| *Erscheinungsjahr / letzte Aktualisierung* | Dezember 2012 |
| *Auflage* |  |
| *Verlagsort* | Berlin |
| *Autor* | Martin Volkmer |

**Planungsskizze**