

Risiken ionisierender Niedrigstrahlung ernst nehmen

Strahlensicherheit Die aktuellen Richtlinien der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) aus dem Jahr 2007 sind teilweise überholt. Die Resultate von mehr als 20 epidemiologischen Studien der vergangenen 15 Jahre zeigen erhöhte gesundheitliche Strahlenrisiken im Niedrigdosisbereich auf. Ein Grund, der medizinischen Denkweise beim Schutz der Bevölkerung mehr Gewicht zu geben.

Claudio Knüsli^a, Martin Walter^b, Andreas Nidecker^c, Beppe Savary-Borioli^d, Franco Cavalli^e, Urs Rüegg^f, für den Vorstand PSR/IPPNW Schweiz

a Dr. med. Innere Medizin / Onkologie FMH; b Dr. med. Innere Medizin FMH; c Prof. (em.) Dr. med. Radiologie FMH; d Dr. med. Allgemeine Innere Medizin FMH, Notarzt SGNOR/FMH, Leitender Notarzt, CU en médecine de catastrophe (Paris/Amiens), Präsident PSR/IPPNW Schweiz, e Prof. (em.) Dr. med. Innere Medizin / Onkologie FMH, Präsident, Institut für onkologische Forschung (IOR), Bellinzona; f Prof. (em.) Dr. sc. nat. ETH Pharmakologie



© Roman Zaiets / Dreamstime

Für Strahlendosen unter 100 mSv besteht ein erhöhtes Risiko für Krebs und Herz-Kreislaufkrankungen.

Organisationen

Die Lockerung der Verordnungen im Kernenergiebereich von 2018 veranlasste PSR/IPPNW Schweiz, vor einer «Erosion des Strahlenschutzes» zu warnen [1]. Auch die Kommission für Strahlenschutz des Bundesamts für Gesundheit (BAG) stellte sich inhaltlich gegen die Revision. Dies war ein Grund für ein ständerätliches Postulat, das fordert: «... Vergleiche mit internationalen Empfehlungen und Grenzwerten sowie Erkenntnissen aus der Wissenschaft zu ionisierender Strahlung im Niedrigdosisbereich zu ziehen». Der Bundesrat hat die Annahme dieses Postulates anfangs 2019 beantragt [2].

Unzutreffendes Faktenblatt

Im «Faktenblatt» des Bundesamtes für Energie (BFE) vom 7.12.2018 [3] steht: «Statistische Auswertungen bei grösseren Bevölkerungsgruppen zeigen, dass bei Strahlendosen unterhalb von 100 mSv keine Gesundheitseffekte nachweisbar sind.» Diese Aussage widerspricht neueren wissenschaftlichen Erkenntnissen. So zeigten bereits vor 2018 vorliegende Studienergebnisse, die wir zitierten [1], wonach bei Strahlendosen unterhalb von 100 mSv – definitionsgemäss eine «niedrige Dosis ionisierender Strahlung» ([2] und Tabelle 1) – ein erhöhtes Krebsrisiko besteht. Die Metaanalyse des National Cancer Institute (NCI) der USA vom Juli 2020 ([4] und Tabelle 2) ergab zusätzliche Klarheit. Diese Analyse von 26 epidemiologischen Studien, die von 2006 bis 2017 publiziert wurden, kommt zum Schluss, dass Strahlendosen unter 100 mSv zu einem erhöhten Krebsrisiko führen. Wir wandten uns deshalb im Oktober 2020 mit einer Stellungnahme [5] an die Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Nationalrats (UREK-N) – unter anderem mit dem Anliegen einer Revision des Faktenblatts des BFE [3].



© Roman Zetets / Dreamstime

Rund um das havarierte Atomkraftwerk in Tschernobyl werden ionisierende Strahlen im Niedrigdosisbereich gemessen.

Experten der ICRP waren in mehreren epidemiologischen Studien involviert.

Studienresultate zu Gesundheitsrisiken

Die ICRP ist die massgebende internationale Strahlenschutzbehörde. Seit der Publikation der Richtlinien im Jahre 2007 [6] waren zahlreiche Experten der ICRP in mehreren epidemiologischen Studien über die Effekte niedriger Strahlendosen involviert. So sind auch 6 der 16 Autorinnen oder Autoren der NCI-Studie [4] Mitglieder der ICRP. Bereits im Jahre 2017 hatte die ICRP in einer Metaanalyse festgestellt, dass Studienresultate zu niedrigen Strahlendosisraten komplementär zu jenen von japanischen Atombombenüberlebenden sind [7].

Die ICRP vermittelt auch Lehrveranstaltungen zu Gesundheitsrisiken durch Strahlendosen unter 100mSv, wobei sie umfassend über die NCI-Metaanalyse [4] orientiert. Ebenfalls wurden die Resultate der Pionierleistung der britischen Epidemiologin Alice Stewart aus den 1950er-Jahren kürzlich bestätigt [8]. Sie hatte nachgewiesen, dass die damalige radiologische Abklärungspraxis von Schwangeren mittels Röntgenaufnahmen des Abdomens zu einer massiven Erhöhung des kindlichen Malignomrisikos führte: Bei einer fötalen Dosis von 10 mGy erhöht sich die Krebsinzidenz bis zum 15. Lebensjahr um 50%.

Aufgrund des jahrzehntelangen Monitorings von japanischen Atombombenüberlebenden und von Verstrahlten der Kernkraftkatastrophen von Tschernobyl und Fukushima sind viele strahlenverursachte nicht-maligne

Tabelle 1: Ionisierende Strahlung / niedrige Strahlendosen

Ionisierende Strahlung

Ionisierende Strahlung führt dosisabhängig gemäss Zufallsprinzip („stochastisch“) u.a. zu direkter DNA-Schädigung → Mutation → Krebs oder transgenerationalen Schäden

Gray (Gy) = Energiedosis (pro Masse absorbierte Energie)

Sievert (Sv) = Äquivalentdosis, gewichtete Dosisgrösse (d.h. Energiedosis, angewendet auf stochastisches Risiko). Sie ist abhängig von der Strahlenempfindlichkeit des Gewebes sowie der Strahlenart. Für Gammastrahlung entspricht 1 Gray = 1 Sievert)

«Niedrige Strahlendosis» ist arbiträr definiert [2]

als niedrige absorbierte Dosis von < 100 Milligray (mGy) als akute Einzeldosis, respektive als eine über eine bestimmte Zeitspanne akkumulierte Dosis oder

als niedrige absorbierte Dosisrate < 5 mGy / h bei beliebiger akkumulierter Dosis.

Tabelle 2: Die NCI-Metaanalyse von 2020 – Analyse von 26 epidemiologischen Studien publiziert zwischen 2006 und 2017

Die NCI-Metaanalyse zum Krebsrisiko durch ionisierende Niedrigstrahlung [4]	Strahlenexponierte Studienpopulationen:	Resultate:
Publikation am 13. Juli 2020 durch das National Cancer Institute, USA	Strahlenquelle in der Umwelt (Hintergrundstrahlung, Unfälle wie Tschernobyl) Medizinische Strahlenquelle (z. B. Computertomografie) Berufsrisiko: Angestellte in der Nuklearindustrie, Medizinalpersonal	Kein wesentlicher Bias nachweisbar • 16 von 22 Studien zeigen ein erhöhtes Risiko für solide Krebsarten und • 17 von 20 Studien zeigen ein erhöhtes Risiko für Leukämie.
Autoren: 16 Strahlenexpertinnen und -experten, darunter 6 ICRP-Mitglieder	Systematische Analyse von Voreingenommenheit («Bias») bei der Datenerhebung oder durch Verwechslungen, Fehlberechnungen z. B. der Strahlendosis, fehlerhafte Klassifikation	Schlussfolgerung: • Signifikant erhöhtes Krebsrisiko bei Strahlendosen unter 100 mGy ist nachweisbar • Ausmass des Risikos (pro mGy) statistisch vergleichbar mit dem Risiko durch höhere Strahlendosen bei japanischen Atombombenüberlebenden
Fragestellung: Krebsrisiko durch ionisierende Strahlung bei mittlerer Dosis unter 100 mGy	Anzahl erfasste Krebsfälle: • 91 000 solide Tumoren • 13 000 Leukämien	

Krankheiten und Fortpflanzungsstörungen bekannt [5]. Für Strahlendosen unter 100 mSv wurde ein erhöhtes Risiko für Herz-Kreislauf-erkrankungen und deren Folgen, wie Myokardinfarkte oder Hirnschläge, beschrieben [9]. Die Grössenordnung strahleninduzierter kardiovaskulärer Todesfälle ist ähnlich wie jene von Malignomen.

Methodik infrage gestellt

Zur Frage wie viele Krebs- und schwere Krankheitsfälle in der Schweiz jährlich auf die Einwirkung durch niedrige Dosen ionisierender Strahlung zurückgeführt werden können, gibt es keine belastbaren Untersuchungen, insbesondere im Kernenergiebereich.

Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat hat jedoch im Jahr 2018 die zusätzlichen Krebstodesfälle im Falle eines Auslegungsstörfalls der Häufigkeitskategorie

Auch die Schweiz war von der Verstrahlung Europas betroffen.

1:10 000 Jahre im Kernkraftwerk Gösgen unter Anwendung der Kollektivdosisberechnungsmethode errechnet [10]. Diese Methodik wurde allerdings kürzlich infrage gestellt [11].

Was ist die potenzielle Opferzahl bei schweren Kernkraftwerksunfällen? Auch die Schweiz war von der Verstrahlung Europas durch die Explosion im Kernkraftwerk in Tschernobyl am 26. April 1986 betroffen. Während der ersten 20 Jahre betrug die kumulierte Strahlendosis rund 3500 Sievert [12], was bei etwa 400 in der Schweiz wohnhaften Personen zu einer tödlich verlaufenden Krebserkrankung geführt haben dürfte oder noch

führen dürfte, gemäss Berechnungen der Eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität des BAG [13] sowie Zahlen der WHO [14].

Résumé

Eine Revision des Faktenblatts des Bundesamts für Energie [3] ist aus medizinisch-wissenschaftlicher Sicht dringend notwendig. Folgender Wortlaut sei vorgeschlagen:

«Viele neue Publikationen mit grösseren Bevölkerungsgruppen zeigen, dass auch bei Strahlendosen deutlich unterhalb von 100 Millisievert ein erhöhtes Risiko für Krebserkrankungen nachweisbar ist. Ferner weisen zahlreiche epidemiologische Studien auf erhöhte Risiken für andere Krankheiten (unter anderem Herz-Kreislauf-Krankheiten) und Fortpflanzungsstörungen nach Exposition durch Strahlendosen von unter 100 mSv hin.»

Im Hinblick auf künftige Strahlenschutz-Richtlinien muss schliesslich ein Konsens zur Methodik der Schätzung der Anzahl strahlungsinduzierter Krebserkrankungen sowie weiterer, nicht-maligner Gesundheitsschäden durch niedrige Strahlendosen gefunden werden. Hier ist eine enge Zusammenarbeit des BFE mit dem BAG wünschenswert.

Korrespondenz
sekretariat[at]ippnw.ch



Literatur

Vollständige Literaturliste unter www.saez.ch oder via QR-Code

Das Wichtigste in Kürze

Bei der Revision der Kernenergiegesetzverordnungen von 2018 deklarierte das Bundesamt für Energie (BFE), dass bei Strahlendosen unterhalb von 100 Millisievert bei grösseren Bevölkerungsgruppen keine Gesundheitseffekte nachweisbar seien (Faktenblatt vom 7.12.2018). Dies widerspricht den Tatsachen, wie dies u. a. die Metaanalyse zum Krebsrisiko durch niedrige Strahlendosen des National Cancer Institute der USA aus dem Jahre 2020 zeigt [4]. Eine Aktualisierung des Faktenblatts des BFE sowie eine konsistente Methodik zur Schätzung der Anzahl möglicher Strahlenopfer durch niedrige Strahlendosen sind unerlässlich. Wir begrüssen deshalb die Zustimmung des Bundesrats zu einem Postulat des Ständerats, einen unabhängigen Expertenbericht im Bereich Strahlenschutz und Medizin zu erstellen.



Claudio Knüsli

Dr. med., Innere Medizin /Onkologie
FMH, Vorstandsmitglied PSR / IPPNW
Schweiz

Les faibles doses d'irradiation ont des effets sur la santé

Radioprotection Datant de 2007, les directives actuelles de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) sont en partie dépassées. Les résultats de plus de 20 études épidémiologiques menées au cours des quinze dernières années montrent que les faibles doses de rayonnement présentent des risques pour la santé. Une raison de mieux tenir compte des données médicales afin de protéger la population.

Claudio Knüsli^a, Martin Walter^b, Andreas Nidecker^c, Beppe Savary-Borioli^d, Franco Cavalli^e, Urs Rüegg^f, pour le Comité directeur PSR/IPPNW Schweiz

a Dr en médecine interne / oncologie FMH; b Dr en médecine interne FMH; c Pr émérite en radiologie, FMH; d Dr en médecine interne générale, FMH, médecin urgentiste SSMUS/FMH, médecin urgentiste chef, CU en médecine de catastrophe (Paris/Amiens), président de PSR/IPPNW Suisse, e Pr émérite en médecine interne / oncologie FMH, président de l'institut de recherche oncologique (IOR), Bellinzona; f Pr émérite en pharmacologie, EPF



Des doses inférieures à 100 mSv augmentent les risques de cancer et de maladies cardiovasculaires.

Organisations

En 2018, le relâchement des ordonnances dans le domaine de l'énergie nucléaire a conduit PSR/IPPNW Suisse à mettre en garde contre une «érosion de la radioprotection» [1]. La Commission de radioprotection de l'Office fédéral de la santé publique (OFSP) s'est également opposée sur le fond à la révision. Cela a motivé un postulat du Conseil des Etats, lequel demande d'établir «des comparaisons avec les recommandations et valeurs limites en vigueur à l'échelon international ainsi qu'avec les conclusions scientifiques concernant les radiations ionisantes à faibles doses». Le Conseil fédéral a proposé début 2019 d'accepter ce postulat [2].

Fiche d'information incorrecte

Sur la «fiche d'information» de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) du 7 décembre 2018 [3], on peut lire: «Des évaluations statistiques effectuées sur de grands groupes de population montrent qu'aucun effet sur la santé n'est décelable pour des doses de rayonnement inférieures à 100 mSv». Cette affirmation est en contradiction avec les connaissances scientifiques actuelles. Ainsi les résultats d'études disponibles avant 2018, que nous avons cités [1], montraient déjà qu'il y avait un risque accru de

Des experts de la CIPR ont participé à des études épidémiologiques sur ces effets.

cancer lors de doses de rayonnement inférieures à 100 mSv – valeur définie comme étant une «faible dose de rayonnement ionisant» ([2] et tableau 1). La méta-analyse du National Cancer Institute (NCI) des États-Unis, datant de juillet 2020 ([4] et tableau 2) apportent des précisions supplémentaires. Cette analyse de 26



© Roman Zaiets / Dreamstime

Des rayonnements ionisants à faible dose ont été détectés autour de la centrale nucléaire endommagée de Tchernobyl.

études épidémiologiques publiées entre 2006 et 2017 conclut que les doses de rayonnement inférieures à 100 mSv entraînent un risque accru de cancer. Nous nous sommes donc adressés en octobre 2020 à la Commission de l'environnement, de l'aménagement du territoire et de l'énergie du Conseil national (CEATE-N) avec une prise de position [5], demandant, entre autres, une révision de la fiche d'information de l'OFEN [3].

Résultats sur les risques pour la santé

La CIPR est l'autorité internationale de référence en matière de radioprotection. Depuis la publication des lignes directrices en 2007 [6], de nombreux experts de la CIPR ont participé à plusieurs études épidémiologiques sur les effets des faibles doses. Ainsi, 6 des 16 auteurs de l'étude du NCI [4] sont membres de la CIPR. En 2017 la CIPR avait déjà constaté, dans une mé-

ta-analyse, que les résultats des études sur les faibles doses de rayonnement étaient complémentaires à ceux trouvés chez les survivants japonais des bombes atomiques [7].

La CIPR dispense également des cours sur les risques liés aux doses de rayonnement inférieures à 100 mSv, donnant des informations détaillées sur la méta-analyse du NCI [4]. De même, les résultats des travaux menés par l'épidémiologiste pionnière britannique Alice Stewart dans les années 1950 ont été récemment confirmés [8]. Elle avait démontré que la pratique radiologique de l'époque, consistant à examiner les femmes enceintes au moyen de radiographies de l'abdomen, augmentait considérablement le risque de malignité chez l'enfant: pour une dose foetale de 10 mGy, l'incidence de cancer augmentait de 50% jusqu'à l'âge de 15 ans.

Grâce au suivi au long cours des survivants de la bombe atomique, ainsi que des personnes

Tableau 1: Rayonnements ionisants / faibles doses

Rayonnements ionisants

Les rayonnements ionisants entraînent, en fonction de la dose et selon le principe aléatoire («stochastique»), des dommages directs à l'ADN, des mutations, des cancers ou des dommages transgénérationnels.

Gray (Gy) = dose absorbée (énergie absorbée par la masse)

Sievert (Sv) = équivalent de dose, grandeur de dose pondérée (c'est-à-dire dose absorbée, appliquée au risque stochastique. Elle dépend de la radiosensibilité des tissus et du type de rayonnement. Pour les rayons gamma, 1 gray = 1 sievert).

Une «faible dose de rayonnement» est définie de manière arbitraire [2]

Soit comme une dose absorbée de < 100 milligray (mGy) en tant que dose aiguë unique, respectivement comme une dose accumulée sur une période de temps donnée,

Soit comme un faible débit de dose absorbée < 5 mGy / h à n'importe quelle dose accumulée

Tableau 2: La méta-analyse du NCI de 2020 – analyse de 26 études épidémiologiques publiées entre 2006 et 2017

La méta-analyse du NCI sur le risque de cancer dû aux rayonnements ionisants de faible intensité [4].	Études de populations exposées aux rayonnements:	Résultats:
Publiée le 13 juillet 2020 par le National Cancer Institute, États-Unis	Source de rayonnement dans l'environnement (rayonnement de fond, accidents tels que Tchernobyl) Source de rayonnement d'origine médicale (par ex. tomodesitométrie) Risques professionnels: employés de l'industrie nucléaire, personnel médical	Aucun biais important n'a été détecté • 16 études sur 22 démontrent un risque accru de cancers solides et • 17 études sur 20 montrent un risque accru de leucémie.
Auteurs: 16 experts en radioprotection, dont 6 membres de la CIPR	Analyse systématique des biais dans la collecte des données, dus à des confusions, des erreurs de calcul, par exemple de la dose de radiation, des erreurs de classification	Conclusions: • Une augmentation significative du risque de cancer lors de doses de rayonnement inférieures à 100 mGy est démontrée.
Problématique: risque de cancer dû aux rayonnements ionisants à une dose moyenne inférieure à 100 mGy	Nombre de cas de cancer recensés • 91'000 tumeurs solides • 13'000 leucémies	• L'ampleur du risque (par mGy) est statistiquement comparable aux risques liés à des doses plus élevées chez les survivants japonais de la bombe atomique.

irradiées lors des catastrophes de Tchernobyl et de Fukushima, de nombreuses maladies non malignes radio-induites ont été découvertes ainsi que des troubles de la reproduction [5]. Pour des doses de rayonnement inférieures à 100 mSv, les risques accrus de maladies cardiovasculaires, d'infarctus du myocarde ou d'attaques cérébrales ont été décrits [9]. L'ordre de grandeur des décès cardiovasculaires induits par les radiations est comparable à celui des tumeurs malignes.

Méthodologie remise en question

Aucune étude sérieuse n'a été réalisée à ce sujet, en particulier pas en rapport avec l'énergie nucléaire.

En 2018, l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) a toutefois calculé les cas supplémentaires de décès par cancer qui surviendraient à la centrale nucléaire de Göss.

La Suisse a aussi été irradiée après l'explosion de Tchernobyl.

gen en cas de défaillance de dimensionnement qui se situerait dans la catégorie de fréquence 1 fois par 10 000 ans, en utilisant la méthode de calcul de la dose collective [10]. Cette méthodologie a toutefois été récemment remise en question [11].

Quel serait le nombre potentiel de victimes en cas d'accident nucléaire grave? La Suisse a également été touchée par l'irradiation, comme le reste de l'Europe, suite à l'explosion de Tchernobyl le 26 avril 1986. Pendant les vingt premières années, la dose de radiation accumulée a été d'environ 3500 sieverts [12], ce qui devrait avoir induit un can-

cer mortel chez environ 400 personnes résidant en Suisse et pourrait en atteindre d'autres, selon les calculs de la Commission fédérale de radioprotection (CPR) de l'OFSP [13] et les chiffres de l'OMS [14].

Résumé

Une révision de la fiche d'information de l'OFEN [3] est impérative pour des raisons médicales et scientifiques. Le texte suivant pourrait être proposé:

«De nombreuses publications récentes portant sur de grands groupes de population met en évidence qu'il existe un risque augmenté de cancer même en cas de doses de rayonnements nettement inférieures à 100 millisieverts. En outre, de nombreuses études épidémiologiques démontrent des risques accrus pour d'autres maladies (comme les maladies cardiovasculaires) et des troubles de la reproduction, également pour des doses inférieures à 100mSv».

Enfin, dans la perspective des futures directives sur la radioprotection, un consensus doit être trouvé sur une méthodologie qui permette d'estimer le nombre de cancers radio-induits et de maladies non malignes liées aux faibles doses d'irradiation. Une étroite collaboration entre l'OFEN et l'OFSP est souhaitable.

Correspondance
sekretariat[at]jippnw.ch



Claudio Knüsli
Dr méd., médecine interne / oncologie
FMH, membre du comité PSR / IPPNW
Suisse

L'essentiel en bref

Lors de la révision de la loi sur l'énergie nucléaire de 2018, l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) a déclaré dans une fiche d'information qu'aucun effet sur la santé ne pouvait être démontré dans de grands groupes de population ayant subi des irradiations inférieures à 100 Millisievert.

Cela ne correspond pas aux constats de la méta-analyse sur le risque de cancer lié aux faibles doses, publiée en 2020 par le National Cancer Institute des États-Unis [4].

Une mise à jour de la fiche d'information de l'OFEN ainsi qu'une méthodologie cohérente pour l'estimation du nombre de victimes potentielles des faibles rayonnements sont indispensables.

Il est positif que le Conseil fédéral ait approuvé un postulat du Conseil des États demandant que des experts indépendants établissent un rapport sur la radioprotection en tenant compte des données médicales.



Références

Retrouvez la liste complète des références sous bull-med.ch ou via code QR

Literatur:

- ¹ Cavete Collegae: Erosion des Strahlenschutzes! Knüsli C, Walter M, Nidecker A, Schiltknecht J, Moser J, Fasnacht JJ, Wölnerhanssen B, für den Vorstand PSR/IPPNW. Schweiz Ärzetzg. 2018; 99(22):703–706. https://www.ippnw.ch/wp-content/uploads/2022/11/Cavete-Collegae_soyons-vigilants-1.pdf
- ² Dokumentation PSR/IPPNW Schweiz zu Gesundheitseffekten durch niedrige ionisierende Strahlendosen (low dose ionizing radiation, LDIR) <https://www.ippnw.ch/wp-content/uploads/2022/07/Literaturlistenergaenzung-zu-LDIR.pdf>
- ³ Schweizerische Eidgenossenschaft, Bundesamt für Energie BFE: Faktenblatt zu den Teilrevisionen der Kernenergieverordnung <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/55026.pdf>
- ⁴ Hauptmann M, Daniels RD, Cardis E, Cullins HM, Kendall G, Laurier D et al. Epidemiological Studies of Low-Dose Ionizing Radiation and Cancer: Summary Bias Assessment and Meta-Analysis. J Nat Cancer Inst Monogr. 2020;56:188–200. <https://academic.oup.com/jncimono/article/2020/56/188/5869934>
- ⁵ Stellungnahme von PSR/IPPNW Schweiz vom 23.10.2020 <https://www.ippnw.ch/2021/11/03/stellungnahme-von-psr-ippnw-schweiz-vom-23-10-2020-zum-bericht-des-bundesrats-vom-2-3-2018-erfuellung-des-postulates-08-3475-v-nationalrat-h-j-fehr-kennntisstand-betreffend-risiken-ionisierend/>
- ⁶ The 2007 Recommendations of the ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2–4) <https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103> (abgerufen am 29.7.2022)
- ⁷ Shore R, Walsh L, Azizova T & Rühm. Risk of solid cancer in low dose-rate radiation epidemiological studies and the dose-rate effectiveness factor. Intl J Rad Biol 2017;93/10:1064–1078 <https://doi.org/10.1080/09553002.2017.1319090>
- ⁸ Wakeford R, Bithell J F. A review of the types of childhood cancer associated with a medical X-ray examination of the pregnant mother. Int J Rad Biol 2021;97/5:571–592. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33787450/>
- ⁹ Little M P. Radiation and circulatory disease. Mutation Research. 2016;770(Pt B):299–318. DOI: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27919337/>
- ¹⁰ Beantwortung der Frage 35 TFK (ENSI) 2019 <https://www.ensi.ch/de/technisches-forum/revision-der-verordnungen-im-kernenergiebereich-strahlenschutz/> (abgerufen am 29.7.2022)
- ¹¹ Hafner L, Walsh L. Valid versus invalid radiation cancer risk assessment methods illustrated using Swiss population data. J Radiol Prot. 2021;41:1228. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34551406/>
- ¹² Tschernobyl 2016 – 30 Jahre danach – BAG – Der Bundesrat admin.ch <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/gesund-leben/umwelt-und-gesundheit/strahlung-radioaktivitaet-schall/radiologische-ereignisse-notfallvorsorge/freisetzung-von-radioaktivitaet/tschernobyl.html>
- ¹³ Eidgenössische Kommission für Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität. Tschernobyl 20 Jahre danach: Epidemiologie und gesundheitliche Auswirkungen. 2006. <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-4721.html>
- ¹⁴ WHO. Health risk assessment. 2013. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/78218/9789241505130_eng.pdf