

## Ärztliche Gedanken zur Ordnungsrevision im Kernenergiebereich

# Cavete Collegae: Erosion des Strahlenschutzes!

Claudio Knüsli<sup>a</sup>, Martin Walter<sup>b</sup>, Andreas Nidecker<sup>c</sup>, Jacques Schiltknecht<sup>d</sup>, Jacques Moser<sup>d</sup>, Jean-Jacques Fasnacht<sup>e</sup>, Bettina Wölnerhanssen<sup>f</sup>, für den Vorstand PSR/IPPNW Schweiz

<sup>a</sup> Dr. med. Innere Medizin / Onkologie FMH; <sup>b</sup> Dr. med. Innere Medizin FMH; <sup>c</sup> Prof. (em.) Dr. med. Radiologe FMH; <sup>d</sup> Dr. med. Innere Medizin FMH;

<sup>e</sup> Dr. med. Allgemeine Medizin FMH; <sup>f</sup> PD Dr. med. klinische Forschung/Chirurgie FMH

Die massive Erhöhung des Dosisgrenzwertes bei der durchgeführten Revision von Verordnungen zum Kernenergiebereich [1] heizt die Diskussion um die Sicherheit der Bevölkerung im Einzugsbereich des weltweit dienstältesten Kernkraftwerkes in Beznau/AG an. Im Zentrum steht das Gesundheitsrisiko durch störfallbedingte Exposition der Menschen gegenüber ionisierender Strahlung im niedrigen Dosisbereich.

### Wissenschaftliche Fakten zu strahleninduzierten Gesundheitsfolgen

Die Erkenntnisse über strahleninduzierte Krankheiten aus den systematischen Untersuchungen an japanischen Atombombenüberlebenden bilden die Basis der Risikoeinschätzung im heutigen medizinischen Strahlenschutz [2]. Ergänzend sind in den letzten Jahren mindestens acht umfassende epidemiologische Stu-

dien publiziert worden, die zeigen, dass diese Risikoeinschätzung auch für Strahlenexpositionen im Dosisbereich von 1–100 mSv Gültigkeit hat (Tab. 1). Die mehrfach reproduzierte Beobachtung einer Dosis-Wirkungs-Beziehung durch verschiedenste, voneinander unabhängig arbeitende Forschungsgruppen ist eines der härtesten Kriterien für Kausalität: Das Krebserrkrankungsrisiko steigt linear mit der Expositionsdosis. Diese Studien bestätigen somit das Konzept des Linear-no-Threshold-(LNT-)Modells [3]. Der schweizerische Bundesrat teilt diese Einschätzung der Bedeutung niedriger ionisierender Strahlendosen in seiner Medienmitteilung vom 2. März 2018 [4a, b].

### Zusammenfassung

Studien zu japanischen Atombombenüberlebenden, aus Arbeitsmedizin und Medizindiagnostik sowie zur natürlichen Strahlung bilden die wissenschaftliche Grundlage für die geltenden Grenzwerte für ionisierende Strahlen. Doch obschon der Strahlenschutz auf der Epidemiologie und der Strahlenbiologie basiert, steht er mehr denn je im Spannungsfeld von Medizin, Wirtschaft und Politik. Zur Risikoabschätzung von strahleninduzierten Krebserkrankungen dient das Linear-no-Threshold-(LNT-)Modell. Es besagt, dass hinsichtlich Krebsrisiko eine Dosis-Wirkungs-Beziehung ohne Schwellenwert besteht. Moderne Untersuchungen bestätigen die Gültigkeit des LNT-Modells auch für Strahlendosen unter 100 Millisievert (mSv). Der Strahlenschutz wird aktuell – selbst in medizinischen Fachzeitschriften – durch Autoren diskreditiert, die der Nuklearindustrie nahestehen. Ärztinnen und Ärzte seien darauf aufmerksam gemacht. Ebenso sind das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI sowie die Entscheidungsträger dringend aufgerufen, ärztliche Bedenken ernst zu nehmen. Eine Erhöhung des Dosisgrenzwertes für geplante Expositionssituationen um einen Faktor 100, wie sie die Revision der Verordnungen zum Kernenergiebereich vorsieht, ist unverantwortlich und muss aus präventivmedizinischer Sicht klar abgelehnt werden.

### Übersicht: Studien zu Gesundheitseffekten bei niedrigen Strahlendosen (Tab. 1)

- In der INWORKS-Studie [5–7] wurden über 300 000 Nukleararbeiter aus Frankreich, Grossbritannien und den USA über die Dauer von mehr als 20 Jahren untersucht. Die Strahlenexposition wurde dosimetrisch erfasst und betrug durchschnittlich 20 mSv. Es fand sich ein signifikant erhöhtes Mortalitätsrisiko für solide Neoplasien, für Leukämien wie auch für nicht maligne Erkrankungen (kardiovaskuläre Todesfälle).
- Die Studie von Darby [8] aus 9 europäischen Ländern zeigte, dass die Lungenkarzinommortalität mit zunehmender Radonexposition in Häusern ab dem Dosisbereich von 3–4 mSv/Jahr ansteigt.
- Studien bei Kindern und Jugendlichen aus Grossbritannien [9] und Australien [10] ergaben über-

**Tabelle 1.**  
**Epidemiologische Studien mit statistisch signifikanter, dosisabhängiger Häufung von Gesundheitsschäden (Inzidenz u./o. Mortalität) bei niedrigen Dosen ionisierender Strahlung**

Exposition	Nukleararbeiter	Nukleararbeiter	Nukleararbeiter	Radon in Häusern	Computertomographie in Kindheit	Computertomographie in Kindheit	Hintergrundstrahlung Kinder	Hintergrundstrahlung Kinder
Erstautor Studie	Richardson INWORKS	Leraud INWORKS	Gillies INWORKS	Darby	Pearce	Mathews	Kendall	Spycher
Publikation; Referenz	2015, BMJ; 5	2015, Lancet Haematology; 6	2017, Rad. Research; 7	2005, BMJ; 8	2012, Lancet; 9	2013, BMJ; 10	2013, Leukemia; 11	2015; Environ. Health Persp.; 12
Land	F, UK, US	F, UK, US	F, UK, US	9 EU Länder	UK	Australien	England	Schweiz
Effekte	Solide Neoplasien	Leukämie	Nichtmaligne Erkrankungen	Lungenkarzinom	Leukämien, Hirntumoren	Hirntumoren, Solide Neoplasien	Leukämien	Leukämien, Hirntumoren
Mittlere Dosis	20.9 mGy	16 mGy	25.2 mSv	104 Bq / m <sup>3</sup> (ca. 3.3 mSv / y)	50-60 mGy	4.5 mSv	0.8 mGy / y	1 mSv / y

IPPNW.ch 2018

**Tabelle 1: Übersicht Studien zu Gesundheitseffekten bei niedrigen Strahlendosen.**

einstimmend eine Zunahme der Leukämie- und Hirntumorinzidenz nach Computertomographien (Strahlendosen um durchschnittlich 5–60 mSv) in der Kindheit und Jugend.

- Zwei Studien – aus Grossbritannien [11] sowie der Schweiz [12] – untersuchten die Krebshäufigkeit bei Kindern in Abhängigkeit von der natürlichen Hintergrundstrahlung im Bereich von 1 mSv pro Jahr. Kendall fand eine signifikante, dosisabhängige Zunahme kindlicher Leukämien, und auch die Arbeitsgruppe von Spycher am Institut für Sozial- und Präventivmedizin der Universität Bern beobachtete eine Zunahme der Inzidenz von Leukämien und Hirntumoren bei Kindern selbst bei diesen sehr niedrigen Strahlendosen [12].

### Unqualifizierte Angriffe auf den Strahlenschutz nehmen zu

In den vergangenen Monaten ist eine zunehmende publizistische Tendenz zu beobachten, den Strahlenschutz in seinen Grundsätzen in Frage zu stellen und

### Bei Gesundheitsrisiken ionisierender Strahlen von einer Schwelle zu sprechen ist abwegig.

die Risiken ionisierender Strahlung zu verharmlosen. Provoziert wird dies unter anderem durch einen Erlass der US-Regierung von Anfang 2017 [13], die eine Aufweichung der Strahlenschutzgesetzgebung aus wirtschaftlichen Gründen im Interesse der Nuklearindustrie ins Auge fasst [14]. Die Autoren sind oft Physiker, die Letzterer nahestehen und die sich an den geltenden Strahlenschutzbestimmungen stossen [14–18]. Diese stellen die Nuklearindustrie bei der Entsorgung von radio-

aktiven Materialien aus Kernkraftwerken vor kostenintensive Aufgaben. Einen Ausweg sehen die Autoren in der Lockerung der Strahlenschutz-Grenzwerte. Dabei wird die heute weltweit von den massgebenden Strahlenschutzgesellschaften akzeptierte Risikobeurteilung für Gesundheitsschäden durch ionisierende Strahlung willkürlich für ungültig erklärt. Teilweise finden sich – selbst in medizinischen Fachzeitschriften – bizarre Vorstellungen, so zum Beispiel, dass radiodiagnostische Strahlenexposition die Prognose verbessere [15] oder dass eine «Radiophobie» der Ärzteschaft zu insuffizienter Radiodiagnostik führe, was letztlich bei Patienten eine schlechtere Prognose zur Folge habe [16]. Ferner wird für eine Renaissance der längst verlassenen Hormesishypothese («Lebensverlängerung durch Radioaktivität») auf der Basis frei erfundener Untersuchungsergebnisse geworben [17, 18], was sich auch unreflektiert in der Tagespresse niederschlägt [19].

### Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) auf Abwegen

Auch die nachfolgend zitierte Stellungnahme der Leiterin des Fachbereiches Strahlenschutz des ENSI, der Nuklearingenieurin Frau Rosa Sardella, von Anfang Februar 2018 muss abgelehnt werden: «Die Strahlendosis, die bei einem 1000-jährlichen Erdbebenereignis maximal erlaubt ist [1 mSv/Jahr; Autor], liegt weit unterhalb der Schwelle, die für Mensch und Umwelt schädlich sein könnte» [20a]. Bei Gesundheitsrisiken ionisierender Strahlen von einer Schwelle zu sprechen ist abwegig, denn dies widerspricht den heute geltenden, wissenschaftlichen Grundlagen des Strahlenschutzes. Fragwürdig ist ebenfalls die weiter angehängte Formu-

lierung «Auch bei einer solchen Dosis [von 100 Millisievert; Autor] können keine deterministischen, beziehungsweise unmittelbar feststellbaren gesundheitlichen Effekte festgestellt werden; das Krebsrisiko, das heisst die Wahrscheinlichkeit für einen Schaden, steigt minim an» [20a]. Diese Erwähnung des Fehlens deterministischer Effekte (wie beispielsweise Strahlenerthem) bei einer Dosis von 100 mSv lenkt vom Thema ab, geht es doch zum Vornherein um die stochastischen (zufallsbedingten, jedoch dosisabhängigen), häufig letalen Strahlenfolgen. Deren quantitative Wertung durch das ENSI («*minimer Anstieg des Krebsrisikos*») bedarf im Folgenden einer eingehenderen Betrachtung.

### Strahlungsbedingter «minimer Anstieg des Krebsrisikos»?

Das absolute Risiko (EAR; excess absolute risk), an einem durch ionisierende Strahlung verursachten Krebs zu versterben, wird in den aktuell geltenden Richtlinien der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) von 2007 mit 5%/Sievert innerhalb von 50 Jahren angegeben [21]. Da die Krebsinzidenz etwa doppelt so hoch wie die Krebsmortalität zu veranschlagen ist, entspricht dies bei einer Dosis von 100 Millisievert einem strahlungsbedingten Krebserkrankungsrisiko von 1%. Es ist augenfällig, dass die Bedeutung dieses Risikofaktors von der Expositionssituation abhängt: Handelt es sich um eine individualmedizinische, klinisch-diagnostische Patientensituation oder um eine präventivmedizinische Fragestellung bei der Abschätzung der Strahlenrisiken bei grossen Kollektiven gesunder Menschen?

- Als Ärztinnen und Ärzte stützen wir uns im Alltag bei der *Betreuung des einzelnen Patienten* auf Richtlinien der Fachgesellschaften, die dem medizinischen Strahlenschutz Rechnung tragen [22]. Das genannte Zusatzrisiko durch die Radiodiagnostik wird dabei gegenüber dem diagnostischen Erkenntnisgewinn abgewogen. Die Verantwortung liegt bei den verordnenden Ärztinnen und Ärzten.
- Im Kontext der Kernenergiegesetzgebung bezieht sich der Strahlenschutz jedoch auf die *Prävention bei einer Bevölkerung von Zehntausenden bis vielen Hunderttausenden gesunden Individuen*, die im Falle eines grösseren Kernkraftwerkunfalls strahlenexponiert sind. So ist bei einer störfallbedingten Verstrahlung von 100 000 gesunden Personen mit einer Dosis von je 100 mSv mit 1000 strahleninduzierten Krebserkrankungen innerhalb 50 Jahren zu rechnen. Zusätzlich muss (in einer Häufigkeit von mindestens derselben Grössenordnung) von strahlungsinduzierten lebensbedrohlichen kardiovasku-

lären und anderen nichtonkologischen Erkrankungen, ferner auch von genetischen Schädigungen ausgegangen werden [2, 7, 23]. Mit anderen Worten: Bei einer Verstrahlung der Bevölkerung im Dosisbereich um 100 mSv in den Zonen 1 + 2 der KKW Beznau/Leibstadt (20-km-Radius, überlappende Zonen [24], Gebiete in Deutschland nicht eingerechnet) mit aktuell 286 824 Einwohnern müsste strahlungsbedingt mit über 2800 Todesopfern (vorzeitige Todesfälle infolge von Krebs- und nichtmalignen Erkrankungen) und zusätzlich Tausenden ernsthaft Erkrankten gerechnet werden. *Hier kann mit Sachkenntnis und gesundem Menschenverstand nicht mehr von «minimem Risiko» gesprochen werden.*

### Weshalb eine Revision der Verordnungen im Kernenergiebereich?

Nach der nuklearen Katastrophe von Fukushima infolge des Erdbebens und Tsunamis vom 11.3.2011 stellte das ENSI bei einer Risikoanalyse fest, dass die Bevölkerung bei einem Erdbeben, wie es hinsichtlich Stärke alle 10 000 Jahre auch in der Schweiz vorkommen kann, durch Schäden im KKW Beznau mit einer Dosis von 28.9 bis 78 mSv verstrahlt würde [25]. Diese hohen

#### Diese Gesetzeswidrigkeit muss eine Ausserbetriebnahme des KKW Beznau zur Folge haben.

Werte verstossen gegen die geltende Strahlenschutzverordnung, die bei einem Erdbeben dieser Grössenordnung ( $10^{-4}$ ) eine zusätzliche Strahlenbelastung von nur 1 mSv zulässt. Diese Gesetzeswidrigkeit muss eine Ausserbetriebnahme des KKW Beznau zur Folge haben. Einen Ausweg suchen die Behörden mit einer Revision, sprich 100-fachen Erhöhung des zulässigen Dosisgrenzwerts (von 1 mSv auf 100 mSv) für die «Erdbebenkategorie  $10^{-4}$ », sowie der Schaffung einer neuen Erdbebenkategorie mit Wahrscheinlichkeit des Eintretens von  $10^{-3}$  (1 Mal pro 1000 Jahre). Die Legitimation zu diesem Schritt, der einer massiven Schwächung des Strahlenschutzes entspricht, sieht der Bundesrat in unklaren und missverständlichen Formulierungen mehrerer Verordnungen [26].

Es ist jedoch in keiner Weise nachvollziehbar, weshalb diese offenbar revisionsbedürftigen Formulierungen zu einer neuen Kategorisierung ( $10^{-3}$ ) führen und insbesondere der interessierende Wert ( $10^{-4}$ ) aus der «Störfallkategorie zwischen  $10^{-2}$  und  $10^{-4}$ » entfernt werden soll, welche der Bevölkerung bisher den gesetzlichen Schutz der maximal zulässigen Dosis von 1 mSv zugesichert hat. *Besonders stossend ist daran, dass das*

*ENSI sich in dieser Situation nicht an die von ihm selber wörtlich bereits im Jahre 2009 festgehaltenen Regeln hält: «Falls die Zuordnung zu einer Störfallkategorie nicht eindeutig ist, ist der Störfall im Sinne der Vorsicht der tieferen Kategorie (mit den strengeren Anforderungen) zuzuweisen» [27].*

### **Alternde Kernreaktoren und Lockerung des Strahlenschutzes – wie passt das zusammen?**

Es liegt auf der Hand, dass die vorgesehene Grenzwert-erhöhung im Rahmen der Revision der Verordnungen im Kernenergiebereich nicht im Interesse der Bevölkerung sein kann. Gerade bei uns Ärztinnen und Ärzten mit präventivmedizinischer Verpflichtung müssen die Alarmglocken läuten. Wir kennen die Herausforderung steigender gesundheitlicher Umweltrisiken im Verlaufe der Zeit. Wir sind es gewohnt, in solchen Situationen Schutzmassnahmen zu intensivieren (... und nicht zu lockern) – handle es sich um Expositionsverringerung wie bei Asbest, Luftreinhaltmassnahmen, UV-Prophylaxe oder Lärmschutzwände. Die geplante Revision der Verordnungen im Kernenergiebereich sieht dagegen sinnwidrig eine massive Erhöhung der Strahlengrenzwerte in einer Phase zunehmender Risiken durch Alterung der Kernkraftwerke vor. Zudem ist die Einwohnerzahl um die KKW seit der Bewilligung und Inbetriebnahme der Anlagen stark angestiegen. Dieses Vorgehen widerspricht nicht nur verantwortungsbewusstem ärztlichem Denken, sondern jegli-

cher Vernunft. Wenn schon an eine Revision gedacht wird, wäre sie unter Berücksichtigung neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse viel eher im Sinne einer Verschärfung der Strahlenschutzmassnahmen zu gestalten. Denn die aktuell geltenden Grenzwerte tragen der besonders ausgeprägten Strahlenempfindlichkeit von Kindern nicht genügend Rechnung.

### **Résumé**

Die Revision der Verordnungen im Kernenergiebereich, die ab 1.1.2019 in Kraft treten soll, ist aus ärztlicher Sicht klar abzulehnen, da sie den Strahlenschutz der Bevölkerung im Vergleich zur aktuell geltenden gesetzlichen Regelung bei einem nicht einmal sehr seltenen Störfall in einem Schweizer Kernkraftwerk massiv schwächt. Nicht nur wissenschaftlich, sondern auch ethisch-moralisch begründete Argumente mit Blick auf die jetzt lebenden und die kommenden Generationen verpflichten uns zu dieser Stellungnahme. Wir rufen die Eidgenössische Strahlenschutzbehörde ENSI und den Bundesrat deshalb dringend zu verantwortungsvollem Handeln zugunsten der Sicherheit der unter ihren Schutz gestellten Bevölkerung auf.

### **Disclosure statement**

Alle Autoren geben bekannt, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

### **Literatur**

Die vollständige Literaturliste finden Sie in der Online-Version des Artikels unter [www.saez.ch](http://www.saez.ch)

Korrespondenz:  
PSR/IPPNW Schweiz  
Internationale Ärztinnen  
und Ärzte für Soziale Verantwortung / zur Verhütung  
eines Atomkrieges  
Sekretariat  
Bireggstrasse 36  
CH-6003 Luzern  
Tel. 041 240 63 49  
[sekretariat\[at\]ippnw.ch](mailto:sekretariat[at]ippnw.ch)

## Literatur

- 1 Revisionsvorlage (Teilrevision der Kernenergieverordnung, der Kernenergiehaftpflichtverordnung, der Ausserbetriebnahmeverordnung sowie der Gefährdungsannahmenverordnung) <https://www.admin.ch/ch/d/gg/pc/ind2018.html#UVEK>
- 2 Ozasa K, Shimizu Y, Suyama A, et al. Studies of the Mortality of Atomic Bomb Survivors, Report 14, 1950–2003: An Overview of Cancer and Noncancer Diseases. *Radiat Res.* 2012;177:229–243 [http://www.rerf.jp/library/rr\\_e/rr1104.pdf](http://www.rerf.jp/library/rr_e/rr1104.pdf)
- 3 National Research Council. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, BEIR VII Phase 2 (2006): [http://dels.nas.edu/resources/static-assets/materials-based-on-reports/reports-in-brief/beir\\_vii\\_final.pdf](http://dels.nas.edu/resources/static-assets/materials-based-on-reports/reports-in-brief/beir_vii_final.pdf)
- 4a Wirksamer Schutz gegen die Risiken ionisierender Niedrigstrahlung: Kenntnisstand betreffend Risiken ionisierender Strahlung im Niedrigdosisbereich; Medienmitteilung des Bundesrates vom 2. März 2018. <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/themen/mensch-gesundheit/strahlung-radioaktivitaet-schall/strahlung-gesundheit/risiken-ionisierender-niedrigstrahlung.html>
- 4b Protection efficace contre les risques des radiations ionisantes à faibles doses: L'état des connaissances sur les risques des radiations ionisantes à faibles doses; Communiqué du Conseil fédéral du 2 mars 2018. <https://www.bag.admin.ch/bag/fr/home/themen/mensch-gesundheit/strahlung-radioaktivitaet-schall/strahlung-gesundheit/risiken-ionisierender-niedrigstrahlung.html>
- 5 Richardson B, Cardis E, Daniels RD, et al. Risk of cancer from occupational exposure to ionising radiation: retrospective cohort study of workers in France, the United Kingdom, and the United States (INWORKS). *BMJ* 2015;351:h5359. <http://www.bmj.com/content/351/bmj.h5359>
- 6 Leuraud K, Richardson DB, Cardis E, et al. Ionising radiation and risk of death from leukaemia and lymphoma in radiation-monitored workers (INWORKS): an international cohort study. *Lancet Haematol.* 2015;2(7):e276–e281. [http://www.thelancet.com/pdfs/journals/lanhae/PIIS2352-3026\(15\)00094-0.pdf](http://www.thelancet.com/pdfs/journals/lanhae/PIIS2352-3026(15)00094-0.pdf)
- 7 Gillies M, Richardson B, Cardis E, et al. Mortality from Circulatory Diseases and other Non-Cancer Outcomes among Nuclear Workers in France, the United Kingdom and the United States (INWORKS). *Radiat Res.* 2017;188(3):276–90. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28692406>
- 8 Darby S, Hill D, Auvinen A, et al. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *Brit Med J.* 2005;330:223. <http://www.bmj.com/content/330/7485/223>
- 9 Pearce MS, Salotti JA, Little MP, et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. *Lancet* 2012;380:499–505. [http://www.thelancet.com/pdfs/journals/lancet/PIIS0140-6736\(12\)60815-0.pdf](http://www.thelancet.com/pdfs/journals/lancet/PIIS0140-6736(12)60815-0.pdf)
- 10 Mathews JD, Forsythe AV, Brady Z, et al. Cancer risk in 680 000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians. *Brit Med J.* 2013;346:f2360. <http://www.bmj.com/content/346/bmj.f2360>
- 11 Kendall GM, Little MP, Wakeford R, et al. A record-based case-control study of natural background radiation and the incidence of childhood leukaemia and other cancers in Great Britain during 1980–2006. *Leukemia.* 2013;27:3–9. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3998763/>
- 12 Spycher BD, Lupatsch JE, Zwahlen M, et al. for the Swiss Pediatric Oncology Group and the Swiss National Cohort Study Group. Background Ionizing Radiation and the Risk of Childhood Cancer: A Census-Based Nationwide Cohort Study. *Environ Health Perspect.* 2015;123:622–8. <https://ehp.niehs.nih.gov/1408548/>
- 13 Executive Order 13777, «Enforcing the Regulatory Reform Agenda», by President Donald Trump, 24th February 2017. <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/DCPD-201700139/pdf/DCPD-201700139.pdf>
- 14 Cuttler JM, Hannum WH. Current radiation protection limits: An urgent need for change. *Nuclear News.* 2017;60(10):34–8. [http://radiationeffects.org/wp-content/uploads/2017/09/Cuttler-Hannum-2017Sep\\_NN\\_Current-rad-protect-limits-C.pdf](http://radiationeffects.org/wp-content/uploads/2017/09/Cuttler-Hannum-2017Sep_NN_Current-rad-protect-limits-C.pdf)
- 15 Siegel JA, Pennington CW, Sacks B, et al. The Birth of the Illegitimate Linear No-Threshold Model: An Invalid Paradigm for Estimating Risk Following Low-dose Radiation Exposure. *Am J Clin Oncol.* 2018;41(2):173–7. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26535990>
- 16 Siegel JA, Pennington CW, Sacks B. Subjecting Radiologic Imaging to the Linear No-Threshold Hypothesis: A Non Sequitur of Non-Trial Proportion. *J Nucl Med.* 2017;58(1):1–6. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27493264>
- 17 Cuttler JM, Feinendegen LE, Socol Y. Evidence that Lifelong Low Dose Rates of Ionizing Radiation Increase Lifespan in Long- and Short-Lived Dogs. *Dose-Response.* 2017;15(1):1–6. [www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5347275/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5347275/)
- 18 Calabrese EJ. LNTgate: The Ideological History of Cancer Risk Assessment. *Toxicol Res Applic.* 2017;1–3. <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/2397847317694998>
- 19 Reichmuth A. Länger leben dank Radioaktivität. *Basler Zeitung* vom 11.1.2018. <https://bazonline.ch/wissen/natur/laenger-leben-dank-radioaktivitaet/story/22689973>
- 20a Bei einem 10000-jährlichen Naturereignis müssen die KKW die 100-mSv-Grenze einhalten (ENSI-Homepage, News, 1. Feb. 2018). <https://www.ensi.ch/de/2018/02/01/bei-einem-10000-jaehrlichen-naturereignis-muessen-die-kkw-die-100-msv-grenze-einhalten/>
- 20b Les centrales nucléaires doivent tenir la valeur limite de 100 mSv pour un événement naturel se passant tous les 10000 ans (ENSI-Homepage, News, 5. Feb. 2018). [https://www.ensi.ch/fr/2018/02/05/centrales-nucleaires-doivent-tenir-valeur-limite-de-100-msv-evenement-naturel-se-passant-10-000-ans/?noredirect=fr\\_FR](https://www.ensi.ch/fr/2018/02/05/centrales-nucleaires-doivent-tenir-valeur-limite-de-100-msv-evenement-naturel-se-passant-10-000-ans/?noredirect=fr_FR)
- 21 Empfehlungen der International Commission of Radiological (ICRP), Publication 103, 2007. [http://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:O221-2009082154/1/Bfs\\_2009\\_Bfs-SCHR-47-09.pdf](http://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:O221-2009082154/1/Bfs_2009_Bfs-SCHR-47-09.pdf)
- 22 «smarter medicine»: die «Top-5-Liste» der Schweizerischen Gesellschaft für Chirurgie (SGC). *Schweiz Ärztezeitung.* 2018;99(1–2):12–3. <https://saez.ch/de/article/doi/saez.2018.06342/>
- 23 Little MP, Azizova TV, Bazyka D, et al. Systematic Review and Meta-analysis of Circulatory Disease from Exposure to Low-Level Ionizing Radiation and Estimates of Potential Population Mortality Risks. *Environ Health Perspect.* 2012;120:1503–11. <https://ehp.niehs.nih.gov/1204982/>
- 24 Information 21.3.2018; Kanton Aargau, Departement Gesundheit und Soziales. [www.ag.ch/dgs](http://www.ag.ch/dgs)
- 25 Stellungnahme des ENSI zum deterministischen Nachweis des KKB zur Beherrschung des 10 000-jährlichen Erdbebens; 7.7.2012. [http://static.ensi.ch/1341818977/kkb\\_sn-erdbebennachweis\\_final\\_geschwaerzt.pdf](http://static.ensi.ch/1341818977/kkb_sn-erdbebennachweis_final_geschwaerzt.pdf)
- 26 Antwort zu Frage 18.5204 Munz (Fragestunde Nationalrat vom 12.3.2018). <https://www.parlament.ch/centers/documents/de/fragestunde-2018-03-12-antworten.pdf>
- 27 ENSI. Anforderungen an die deterministische Störfallanalyse für Kernanlagen: Umfang, Methodik und Randbedingungen der technischen Störfallanalyse, Ausgabe Juli 2009, Erläuterungsbericht zur Richtlinie ENSI-A01/d, S.5, Abschnitt 2.4.1. [http://static.ensi.ch/1313045150/a-001\\_d\\_erlaeuterungsbericht.pdf](http://static.ensi.ch/1313045150/a-001_d_erlaeuterungsbericht.pdf)



## Réflexions médicales sur la révision des ordonnances relatives à la radioprotection

# Soyons vigilants: la radioprotection s'érode!

Claudio Knüsli<sup>a</sup>, Martin Walter<sup>b</sup>, Andreas Nidecker<sup>c</sup>, Jacques Schiltknecht<sup>d</sup>, Jacques Moser<sup>d</sup>, Jean-Jacques Fasnacht<sup>e</sup>, Bettina Wölnerhanssen<sup>f</sup>, pour le comité PSR/IPPNW Schweiz

<sup>a</sup> Médecine interne / oncologie, FMH; <sup>b</sup> Médecine interne, FMH; <sup>c</sup> Prof. émérite de radiologie, FMH; <sup>d</sup> Médecine interne, FMH; <sup>e</sup> médecine générale, FMH; <sup>f</sup> PD chirurgie/recherche clinique, FMH

L'élévation massive de la valeur limite d'exposition prévue dans la révision des ordonnances relatives à la radioprotection [1] échauffe les esprits à propos de la protection de la population vivant à proximité de la plus ancienne centrale nucléaire au monde, Beznau en Argovie. Au centre, les risques pour la santé humaine d'une exposition, en cas d'accident, à un rayonnement ionisant faible.

## Effets sanitaires induits par les rayonnements – données scientifiques

Les connaissances actuelles sur les maladies induites par les rayonnements ionisants résultent d'études systématiques faites au Japon sur les survivants des bombes atomiques. Elles servent de base pour évaluer les risques en matière de radioprotection [2]. Huit études épidémiologiques ont été publiées ces dernières années, démontrant que l'évaluation des risques

s'applique de la même manière pour des doses situées entre 1 et 100 mSv (tab. 1). Plusieurs groupes travaillant indépendamment les uns des autres ont reproduit les mêmes observations sur les rapports doses-effets. Ce sont des critères parmi les plus certains en faveur de la causalité: le risque de cancer augmente de manière linéaire avec la dose d'exposition. Ces études confirment ainsi le modèle «Linear no Threshold» (LNT) [3]. Dans sa communication aux médias du 2 mars 2018 [4a, b], le Conseil fédéral partage l'idée que les faibles doses de rayonnement doivent être prises en considération.

## Résumé

Les bases scientifiques sur lesquelles s'appuient les valeurs limites pour les rayons ionisants proviennent des études sur les survivants des bombardements atomiques, de la médecine du travail, de la radiologie diagnostique et de l'étude du rayonnement naturel. Bien que la radioprotection se fonde sur l'épidémiologie et la radiobiologie, elle constitue, plus que jamais, une zone de tension entre médecine, économie et politique. L'évaluation du risque de cancer radio-induit s'appuie sur le modèle «Linear no Threshold» (LNT). Ce modèle admet que le risque de cancer suit un rapport dose-effet sans seuil. Des études récentes confirment la validité du modèle LNT, également pour des doses en dessous de 100 millisievert (mSv). La radioprotection est actuellement discréditée – même dans des publications médicales – par des personnes proches de l'industrie nucléaire. Les médecins doivent en être conscients. L'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) et les décideurs sont appelés à prendre au sérieux les craintes du monde médical. Envisager une augmentation des valeurs limites d'un facteur 100 en cas d'exposition planifiée, comme cela est prévu dans la révision des ordonnances, est irresponsable et doit être clairement rejeté pour des considérations de médecine préventive.

## Aperçu des études sur les effets sanitaires des faibles doses de rayonnement (tab. 1)

- L'étude INWORKS [5–7] a suivi 300 000 travailleurs du nucléaire en France, en Grande-Bretagne et aux USA sur plus de 20 ans. L'exposition radiologique, mesurée par dosimétrie, était en moyenne de 20 mSv. Le collectif avait une mortalité significativement augmentée par tumeurs solides, leucémies, ainsi que par maladies non tumorales (décès cardiovasculaires).
- L'étude de Darby [8] effectuée dans 9 pays européens montre que la mortalité par carcinome pulmonaire sur exposition domestique au radon progresse dès la dose de 3–4 mSv/année.
- Des études faites en Grande-Bretagne [9] et en Australie [10] sur des enfants et des adolescents démontrent de manière concordante que des CT-scan pendant cette période augmentent l'incidence des

**Table 1.**  
Effets sanitaires et rayonnements ionisants à faibles doses: Études épidémiologiques montrant une augmentation dose dépendante significative de l' incidence et / ou de la mortalité

Exposition	Travailleurs du secteur nucléaire	Travailleurs du secteur nucléaire	Travailleurs du secteur nucléaire	Radon domestique	Tomodensitométrie pendant la jeunesse	Tomodensitométrie pendant la jeunesse	Enfants, rayonnement de fond	Enfants, rayonnement de fond
Premier auteur; Étude	Richardson INWORKS	Leraud INWORKS	Gillies INWORKS	Darby	Pearce	Mathews	Kendall	Spycher
Publication; Référence	2015, BMJ; 5	2015, Lancet Haematology; 6	2017, Rad. Research; 7	2005, BMJ; 8	2012, Lancet; 9	2013, BMJ; 10	2013, Leukemia; 11	2015; Environ. Health Persp.; 12
Pays	F, UK, US	F, UK, US	F, UK, US	9 pays UE	UK	Australie	Angleterre	Suisse
Effets	Néoplasies solides	Leucémies	Maladies non-cancéreuses	Carcinome pulmonaire	Leucémies, Tumeurs cérébrales	Tumeurs cérébrales, Néoplasies solides	Leucémies	Leucémies, Tumeurs cérébrales
Dose moyenne	20.9 mGy	16 mGy	25.2 mSv	104 Bq / m <sup>3</sup> (env. 3.3 mSv / a)	50-60 mGy	4.5 mSv	0.8 mGy / a	1 mSv / a

**Tableau 1:** Aperçu des études sur les effets sanitaires des faibles doses de rayonnement.

tumeurs cérébrales et des leucémies (dose en moyenne 5–60 mSv).

- Deux études – l'une de Grande-Bretagne [11], l'autre de Suisse [12] – se sont penchées sur la fréquence de tumeurs infantiles en fonction d'un rayonnement de fond naturel de l'ordre de 1 mSv/année. Kendall a noté une augmentation significative, dose-dépendante, pour les leucémies infantiles. Le groupe de Spycher de l'Institut de médecine sociale et préventive de l'Université de Berne a aussi constaté une augmentation des leucémies et tumeurs cérébrales, même en présence de très faibles doses [12].

### Les attaques non qualifiées contre la radioprotection se multiplient

Depuis plusieurs mois on observe une tendance croissante à remettre en question la radioprotection dans ses fondements mêmes, avec une banalisation des dangers du rayonnement ionisant. C'est en partie la conséquence du décret de 2017 du gouvernement amé-

### Il est aberrant de parler d'un seuil pour les risques des rayons ionisants.

ricain [13] d'alléger les mesures de radioprotection, afin de servir les intérêts économiques de l'industrie nucléaire [14]. Les auteurs sont souvent des physiciens proches du nucléaire, que les prescriptions de radioprotection gênent [14–18]. Ces dernières posent l'industrie devant des problèmes coûteux pour le traitement des déchets radioactifs. Pour ces auteurs, la solution réside dans un assouplissement des valeurs limites. Ainsi les valeurs reconnues par toutes les instances

mondiales de radioprotection sont déclarées non valables. On trouve parfois – même dans des publications médicales professionnelles – des idées bizarres, comme si l'irradiation liée au diagnostic radiologique améliorerait le pronostic [15], ou que la «radiophobie» conduisait certains médecins à sous-utiliser la radiologie, aggravant les pronostics [16]. On assiste aussi à une renaissance de l'hypothèse de l'hormésis (allongement de la vie par la radioactivité), basée sur des résultats scientifiques fantaisistes [17, 18] et que la presse quotidienne reprend sans esprit critique [19].

### L'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) fait fausse route

La déclaration suivante, faite début février 2018 par Mme Rosa Sardella, responsable de la radioprotection à l'IFSN, ne peut être acceptée: «La dose de rayonnement maximale permise pour un événement pouvant avoir lieu tous les 1000 ans se situe bien en dessous du seuil à partir duquel des dommages pourraient se manifester chez l'être humain et l'environnement» [20b]. Il est aberrant de parler d'un seuil pour les risques des rayons ionisants, car ceci est en contradiction avec toutes les données scientifiques en matière de radioprotection. La suite de la déclaration de Mme Sardella est également problématique: «Même avec une telle dose [100 mSv], des effets déterministes, c'est-à-dire directement mesurables, ne peuvent pas être observés sur la santé; le risque de cancer, c'est-à-dire la probabilité d'un dégât, augmente de manière minimale» [20b] (cette dernière phrase ne figure que dans la version allemande du texte).

Parler d'effets déterministes (comme le serait par exemple un érythème actinique) pour des doses de

100 mSv sert à noyer le poisson, car il s'agit bien d'effets stochastiques (dus au hasard, dose-dépendants), souvent létaux.

L'affirmation qualitative de l'IFSN d'une «*augmentation minimale du risque de cancer*» nécessite une analyse plus approfondie.

### Une «*augmentation minimale*» du risque de cancer radio-induit?

Le risque absolu (EAR; excess absolute risk) de décéder d'un carcinome induit par le rayonnement ionisant est évalué depuis 2007 par la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) à 5%/Sievert pour 50 ans [21]. Vu que l'incidence de carcinome est à peu près le double de celle de la mortalité, une irradiation de 100 mSv correspond à un risque de carcinome radio-induit de 1%. Il est évident que l'interprétation du facteur de risque dépend de la situation d'exposition: s'agit-il d'un patient particulier dans un contexte clinique et thérapeutique, ou d'une évaluation en médecine préventive d'un collectif de personnes saines?

- Dans notre quotidien de médecins, *nous prenons en charge des patients individuels* en respectant les directives des sociétés de spécialistes qui prennent en compte la radioprotection [22]. Les risques additionnels liés au radiodiagnostic sont mis en balance avec le bénéfice. Il en va de la responsabilité des médecins prescripteurs.
- Dans le contexte de la loi sur l'énergie nucléaire toutefois, la radioprotection concerne la *prévention d'un collectif de dizaines, voire de centaines de milliers d'individus sains*, potentiellement exposés lors d'un accident majeur dans une centrale. L'irradiation accidentelle de 100 000 personnes saines, avec une dose de 100 mSv chacune, induirait 1000 radio-carcinomes sur une durée de 50 ans. A cela s'ajouteraient (selon une probabilité du même ordre) des maladies cardiovasculaires et autres affections non tumorales radio-induites, ainsi que des dégâts génétiques [2, 7, 23]. En d'autres termes: si la population actuelle de 286 824 habitants des zones 1 + 2 autour de Beznau/Leibstadt (rayon de 20 km, se recoupant [24], sans compter celles situées en Allemagne) subissait une irradiation de l'ordre de 100 mSv, il faudrait compter avec 2800 morts prématurées radio-induites (cancers et affections non malignes), et sur des milliers de maladies graves. *Dans un tel cas, ni les connaissances factuelles ni le simple bon sens ne permettent raisonnablement de parler de «risque minimale».*

### Pourquoi faut-il une révision des dispositions en matière d'énergie nucléaire?

Après la catastrophe de Fukushima, l'IFSN a calculé qu'en cas d'un tremblement de terre tel que prévisible tous les 10 000 ans ( $10^{-4}$ ), les dégâts à la centrale de Beznau occasionneraient une irradiation de la population de 28,9–78 mSv la première année [25]. Une valeur qui enfreint l'ordonnance de protection actuellement en vigueur, laquelle n'admet qu'une dose supplémentaire de 1 mSv pour un séisme de cet ordre. Une infraction qui devrait donc conduire à la fermeture de Beznau. Les autorités cherchent une échappatoire: elles augmentent d'un facteur 100 la valeur limite acceptable

### Une infraction qui devrait donc conduire à la fermeture de Beznau.

(passant de 1 mSv à 100 mSv) pour les tremblements de terre «catégorie  $10^{-4}$ », et créent une nouvelle catégorie «séismes  $10^{-3}$ », ceux dont la probabilité de survenue est d'une fois tous les 1000 ans. Le Conseil fédéral légitime cette démarche – un affaiblissement massif de la radioprotection – par le fait que plusieurs ordonnances ont été formulées de manière peu claire [26].

Certes une révision est nécessaire. Mais pourquoi faut-il pour cela créer une nouvelle catégorie de événements pouvant survenir tous les 1000 ans? *Il est particulièrement choquant que l'IFSN ne s'en tienne pas à ses propres règles édictées en 2009 qui préconisaient: «Si un événement ne peut être attribué de manière claire à une catégorie, le principe de précaution exige qu'il soit mis dans la catégorie inférieure (aux exigences plus sévères)»* [27].

### Comment concilier centrales vieillissantes et assouplissement de la radioprotection?

Il coule de source que l'augmentation des valeurs limites en matière de radioprotection ne peut être dans l'intérêt de la population. Nous, médecins, engagés dans prévention, devons tirer la sonnette d'alarme. Nous connaissons les défis croissants liés aux risques environnementaux. Nous sommes coutumiers du fait que dans de telles situations les mesures de protections doivent être renforcées (en non assouplies) – que cela concerne l'exposition à l'amiante, la qualité de l'air, le rayonnement UV ou la protection contre le bruit.

Relever massivement les valeurs limites, comme cela est prévu dans la révision des ordonnances dans le domaine de l'énergie nucléaire, est un non-sens, à l'heure



où les centrales vieillissantes présentent des risques croissants. Il faut aussi tenir compte du fait que la population a fortement augmenté à proximité des centrales depuis qu'elles ont été planifiées, puis mises en service. Procéder de la manière est non seulement contraire à la responsabilité médicale, mais à tout bon sens. Si une révision doit être envisagée, il faut qu'elle tienne compte des dernières connaissances scientifiques, en allant plutôt dans le sens d'une protection accrue. Les valeurs actuelles ne tiennent pas suffisamment compte de la sensibilité des enfants.

## Résumé

La révision des ordonnances relatives à la radioprotection, dont l'entrée en vigueur est prévue le 1.1.2019, doit être clairement rejetée du point de vue médical. En cas d'accident dans une centrale nucléaire, dont la sur-

venue ne serait même pas tellement exceptionnelle, la protection de la population serait massivement affaiblie par rapport aux normes actuelles. Ce ne sont pas seulement les arguments scientifiques qui nous poussent à cette prise de position, mais aussi des considérations morales et éthiques en faveur des générations actuelles et futures.

Nous adressons un appel urgent à l'Inspection fédérale de radioprotection et au Conseil fédéral afin qu'ils assument leurs responsabilités pour la protection de la population dont ils ont la charge.

## Disclosure statement

Tous les auteurs confirment qu'ils n'ont pas de conflits d'intérêts.

## Références

Vous trouverez la liste complète des références dans l'article en ligne sur [www.bullmed.ch](http://www.bullmed.ch)

Correspondance:  
PSR/IPPNW Schweiz  
Internationale Ärztinnen  
und Ärzte für Soziale Verant-  
wortung / zur Verhütung  
eines Atomkrieges  
Sekretariat  
Bireggstrasse 36  
CH-6003 Lucerne  
Tél. 041 240 63 49  
[sekretariat\[at\]ippnw.ch](mailto:sekretariat[at]ippnw.ch)

## Références

- 1 Révisions partielles de l'ordonnance sur l'énergie nucléaire, de l'ordonnance sur la responsabilité civile en matière nucléaire, de l'ordonnance sur la méthode et sur les standards de vérification des critères de la mise hors service provisoire d'une centrale nucléaire et de l'ordonnance sur les hypothèses de risque et sur l'évaluation de la protection contre les défaillances dans les installations nucléaires. <https://www.admin.ch/ch/f/gg/pc/ind2018.html#DETEC>
- 2 Ozasa K, Shimizu Y, Suyama A, et al. Studies of the Mortality of Atomic Bomb Survivors, Report 14, 1950–2003: An Overview of Cancer and Noncancer Diseases. *Radiat Res.* 2012;177:229–43. [http://www.ref.fjp/library/rr\\_e/rr1104.pdf](http://www.ref.fjp/library/rr_e/rr1104.pdf)
- 3 National Research Council. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, BEIR VII Phase 2 (2006). [http://dels.nas.edu/resources/static-assets/materials-based-on-reports/reports-in-brief/beir\\_vii\\_final.pdf](http://dels.nas.edu/resources/static-assets/materials-based-on-reports/reports-in-brief/beir_vii_final.pdf)
- 4a Wirksamer Schutz gegen die Risiken ionisierender Niedrigstrahlung: Kenntnisstand betreffend Risiken ionisierender Strahlung im Niedrigdosisbereich; Medienmitteilung des Bundesrates vom 2. März 2018. <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/themen/mensch-gesundheit/strahlung-radioaktivitaet-schall/strahlung-gesundheit/risiken-ionisierender-niedrigstrahlung.html>
- 4b Protection efficace contre les risques des radiations ionisantes à faibles doses: L'état des connaissances sur les risques des radiations ionisantes à faibles doses; Communiqué du Conseil fédéral du 2 mars 2018. <https://www.bag.admin.ch/bag/fr/home/themen/mensch-gesundheit/strahlung-radioaktivitaet-schall/strahlung-gesundheit/risiken-ionisierender-niedrigstrahlung.html>
- 5 Richardson B, Cardis E, Daniels RD, et al. Risk of cancer from occupational exposure to ionising radiation: retrospective cohort study of workers in France, the United Kingdom, and the United States (INWORKS). *BMJ* 2015;351:h5359. <http://www.bmj.com/content/351/bmj.h5359>
- 6 Leuraud K, Richardson DB, Cardis E, et al. Ionising radiation and risk of death from leukaemia and lymphoma in radiation-monitored workers (INWORKS): an international cohort study. *Lancet Haematol.* 2015;2(7):e276–e281. [http://www.thelancet.com/pdfs/journals/lanhae/PIIS2352-3026\(15\)00094-0.pdf](http://www.thelancet.com/pdfs/journals/lanhae/PIIS2352-3026(15)00094-0.pdf)
- 7 Gillies M, Richardson B, Cardis E, et al. Mortality from Circulatory Diseases and other Non-Cancer Outcomes among Nuclear Workers in France, the United Kingdom and the United States (INWORKS). *Radiat Res.* 2017;188(3):276–90. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28692406>
- 8 Darby S, Hill D, Auvinen A, et al. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *Brit Med J.* 2005;330:223. <http://www.bmj.com/content/330/7485/223>
- 9 Pearce MS, Salotti JA, Little MP, et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. *Lancet.* 2012;380:499–505. [http://www.thelancet.com/pdfs/journals/lancet/PIIS0140-6736\(12\)60815-0.pdf](http://www.thelancet.com/pdfs/journals/lancet/PIIS0140-6736(12)60815-0.pdf)
- 10 Mathews JD, Forsythe AV, Brady Z, et al. Cancer risk in 680 000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians. *Brit Med J.* 2013;346:f2360. <http://www.bmj.com/content/346/bmj.f2360>
- 11 Kendall GM, Little MP, Wakeford R, et al. A record-based case-control study of natural background radiation and the incidence of childhood leukaemia and other cancers in Great Britain during 1980–2006. *Leukemia.* 2013;27:3–9. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3998763/>
- 12 Spycher BD, Lupatsch JE, Zwahlen M, et al. for the Swiss Pediatric Oncology Group and the Swiss National Cohort Study Group. Background Ionizing Radiation and the Risk of Childhood Cancer: A Census-Based Nationwide Cohort Study. *Environ Health Perspect.* 2015;123:622–8. <https://ehp.niehs.nih.gov/1408548/>
- 13 Executive Order 13777, «Enforcing the Regulatory Reform Agenda», by President Donald Trump, 24th February 2017. <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/DCPD-201700139/pdf/DCPD-201700139.pdf>
- 14 Cuttler JM, Hannum WH. Current radiation protection limits: An urgent need for change. *Nuclear News* 2017. 60(10):34–8. [http://radiationeffects.org/wp-content/uploads/2017/09/Cuttler-Hannum-2017Sep\\_NN\\_Current-rad-protect-limits-C.pdf](http://radiationeffects.org/wp-content/uploads/2017/09/Cuttler-Hannum-2017Sep_NN_Current-rad-protect-limits-C.pdf)
- 15 Siegel JA, Pennington CW, Sacks B, et al. The Birth of the Illegitimate Linear No-Threshold Model: An Invalid Paradigm for Estimating Risk Following Low-dose Radiation Exposure. *Am J Clin Oncol.* 2018;41(2):173–7. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26535990>
- 16 Siegel JA, Pennington CW, Sacks B. Subjecting Radiologic Imaging to the Linear No-Threshold Hypothesis: A Non Sequitur of Non-Trial Proportion. *J Nucl Med.* 2017;58(1):1–6. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27493264>
- 17 Cuttler JM, Feinendegen LE, Socol Y. Evidence that Lifelong Low Dose Rates of Ionizing Radiation Increase Lifespan in Long- and Short-Lived Dogs. *Dose-Response.* 2017;15(1):1–6. [www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5347275/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5347275/)
- 18 Calabrese EJ. LNTgate: The Ideological History of Cancer Risk Assessment. *Toxicol Res Applic.* 2017;1–3. <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/2397847317694998>
- 19 Reichmuth A. Länger leben dank Radioaktivität. *Basler Zeitung* vom 11.1.2018. <https://bazonline.ch/wissen/natur/laenger-leben-dank-radioaktivitaet/story/22689973>
- 20aBei einem 10 000-jährlichen Naturereignis müssen die KKW die 100-mSv-Grenze einhalten (site web IFSN, News, 1<sup>er</sup> fév. 2018). <https://www.ensi.ch/de/2018/02/01/bei-einem-10000-jaehrlichen-naturereignis-muessen-die-kkw-die-100-msv-grenze-einhalten/>
- 20bLes centrales nucléaires doivent tenir la valeur limite de 100 mSv pour un événement naturel se passant tous les 10000 ans (site web IFSN, News, 5 fév. 2018). [https://www.ensi.ch/fr/2018/02/05/centrales-nucleaires-doivent-tenir-valeur-limite-de-100-msv-evenement-naturel-se-passant-10-000-ans/?noredirect=fr\\_FR](https://www.ensi.ch/fr/2018/02/05/centrales-nucleaires-doivent-tenir-valeur-limite-de-100-msv-evenement-naturel-se-passant-10-000-ans/?noredirect=fr_FR)
- 21 Recommendations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR), publication 103, 2007. [http://www.icrp.org/docs/PI03\\_French.pdf](http://www.icrp.org/docs/PI03_French.pdf)
- 22 «smarter medicine»: la liste «Top-5» de la Société suisse de chirurgie (SSC). *Bull Méd Suisses.* 2018;99(1–2):12–3. <https://bullmed.ch/article/doi/saez.2018.06342/>
- 23 Little MP, Azizova TV, Bazyka D, et al. Systematic Review and Meta-analysis of Circulatory Disease from Exposure to Low-Level Ionizing Radiation and Estimates of Potential Population Mortality Risks. *Environ Health Perspect.* 2012;120:1503–11. <https://ehp.niehs.nih.gov/1204982/>
- 24 Information 21.3.2018; Kanton Aargau, Departement Gesundheit und Soziales. [www.ag.ch/dgs](http://www.ag.ch/dgs)
- 25 Stellungnahme des ENSI zum deterministischen Nachweis des KKB zur Beherrschung des 10 000-jährlichen Erdbebens; 7.7.2012. [http://static.ensi.ch/1341818977/kkb\\_sn-erdbebennachweis\\_final\\_geschwaerzt.pdf](http://static.ensi.ch/1341818977/kkb_sn-erdbebennachweis_final_geschwaerzt.pdf)
- 26 Réponse à la question 18.5204 Munz (Fragestunde Nationalrat vom 12.3.2018). <https://www.parlament.ch/centers/documents/de/fragestunde-2018-03-12-antworten.pdf>
- 27 ENSI. Anforderungen an die deterministische Störfallanalyse für Kernanlagen: Umfang, Methodik und Randbedingungen der technischen Störfallanalyse, Ausgabe Juli 2009, Erläuterungsbericht zur Richtlinie ENSI-A01/d, S.5, Abschnitt 2.4.1. [http://static.ensi.ch/1313045150/a-001\\_d\\_erlaeuterungsbericht.pdf](http://static.ensi.ch/1313045150/a-001_d_erlaeuterungsbericht.pdf)