ettlersuter
Rechtsanwälte

Einschreiben
Eidgenössisches
Nuklearsicherheitsinspektorat
ENSI
Industriestrasse 19
5201 Brugg

Zürich, 14. Oktober 2022

Gesuch um Erlass einer Verfügung gemäss Art. 25a VwVG
Publikation von Luana Hafner und Linda Walsh im Journal of Radiological Protection vom 24. November 2021

Adrian Suter
RA lic. iur.
suter@ettlersuter.ch

Adrian Strütt
RA Dr. iur.
struett@ettlersuter.ch

Martin Looser
RA
looser@ettlersuter.ch

Seraina Schneider
RAin lic. iur.
schneider@ettlersuter.ch

Silvan Keller
RA MLaw
keller@ettlersuter.ch

Alexander Lueger
RA MLaw
lueger@ettlersuter.ch

Peter Ettler
RA Dr. iur.
Konsulent

Klausstrasse 43
Postfach 3062
8034 Zürich

T +41 43 377 66 88
F +41 43 377 66 89
www.ettlersuter.ch
info@ettlersuter.ch

Eingetragen
im Anwaltsregister

Sehr geehrter Herr Dr. Kenzelmann
Sehr geehrter Herr Dr. Testa
Sehr geehrte Damen und Herren

Wie Sie der beiliegenden Vollmacht vom 11. April 2022 entnehmen können, hat uns Herr Dr. med. Claudio Knüsli in rubrizierter Angelegenheit mit seiner Interessenwahrung beauftragt.

Am 24. November 2021 publizierten Frau Luana Hafner vom Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (nachfolgend ENSI) und Frau Linda Walsh von der Universität Zürich im Journal of Radiological Protection ein Paper unter dem Titel «Valid versus invalid radiation cancer risk assessment methods illustrated using Swiss population data» (siehe Beilage). Dieses führt auf den S. 1237 f. Folgendes aus:

> «A claim that often emerges in discussions is that studies were published which provide evidence that radiation induces cancer risk in a dose range from 0 to 100 mGy organ dose (e.g. Technisches Forum Kernkraftwerke (TFK) 2019, Campaign for nuclear Disarmament (CND) 2021). [...] The conclusion which is often drawn from these studies is then, that the impact of radiation on cancer risk is 'shown' or 'proven' in this dose range (e.g. Knüsli *et al* 2018). [...] So, the use of the word 'proven' cannot be considered to be scientifically appropriate in this context.»

Durch die Zitierung meines Klienten wird diesem unterstellt, dass er in seinem am 30. Mai 2018 in der Schweizerischen Ärztezeitung publizierten Beitrag (siehe Beilage) zum Schluss gelangt ist, dass «proven», d. h. «bewiesen», sei, dass sich Strahlung unter 100 mSv auf das Krebsrisiko auswirke. In diesem Zusammenhang wird sodann auch ausgeführt, dass die Verwendung des Wortes «proven» «not [...] scientifically appropriate», d. h. «wissenschaftlich unzutreffend», ist.

Es entsteht dadurch auf den Leser unweigerlich der Eindruck, dass sich in der vorgenannten Publikation meines Klienten wissenschaftlich unzutreffende Aussagen wiederfinden, indem dieser den Begriff «proven» bzw. «bewiesen» verwendet haben soll. Dies ist nachweislich falsch, wird von diesem Ausdruck denn auch an keiner Stelle Gebrauch gemacht. Auch aus dem in Ihrer Stellungnahme vom 24. Januar 2022 angeführten Zitat ergibt sich nichts Abweichendes. Soweit mein Klient ausführt, dass «in den letzten Jahren mindestens acht umfassende epidemiologische Studien publiziert worden [sind], die zeigen, dass diese Risikoeinschätzung auch für Strahlenexpositionen im Dosisbereich von 1–100 mSv Gültigkeit hat (Tab. 1)», kann daraus nicht geschlossen werden, dass die Erhöhung des Krebsrisikos «proven» bzw. «bewiesen» sei. So verbietet es sich bei stochastischen Prozessen, wie dem vorliegenden, von «Beweisen» im mathematischen oder juristischen Sinne zu sprechen. Denn statistische Studien können nie beweisen, sondern lediglich beschreiben bzw. abschätzen, wie wahrscheinlich eine kausale Beziehung zwischen einer schädigenden Ursache und eines potentiellen Effektes ist (Ökologie. C.R.Townsend, M.Begon, J.L.Harper. Übersetzung 2. Auflage; Springer Verlag Berlin Heidelberg 2009. ISBN 978-3-540-95896-3; S. 13 f.). Aufgrund dessen hat mein Klient bewusst von der Verwendung derartiger Begriffe abgesehen. Besonders deutlich wird dies, wenn das vorerwähnte Zitat nicht isoliert, sondern in seinen Zusammenhang gesetzt wird:

> «Die Erkenntnisse über strahleninduzierte Krankheiten aus den systematischen Untersuchungen an japanischen Atombombenüberlebenden bilden die Basis der Risikoeinschätzung im heutigen medizinischen Strahlenschutz. Ergänzend sind in den letzten Jahren mindestens acht umfassende epidemiologische Studien 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 Krebserkrankungsrisiko steigt linear mit der Expositionsdosis. Diese Studien bestätigen somit das Konzept des Linear-no-Threshold-

> (LNT-)Modells. Der schweizerische Bundesrat teilt diese Einschätzung der Bedeutung niedriger ionisierender Strahlendosen in seiner Medienmitteilung vom 2. März 2018.»

Daraus geht hervor, dass stets von einer *Risikoeinschätzung* die Rede ist und es folglich nicht um einen Beweis geht. Dass die Einschätzung an sich im Übrigen stichhaltig ist, zeigen verschiedene Studien, welche in jüngster Vergangenheit publiziert wurden.

Die falsche Tatsachenbehauptung und die darauf aufbauende Wertung, welche der Publikation meines Klienten in der Schweizerischen Ärztezeitung in diesem Kontext die Wissenschaftlichkeit abspricht, verletzen meinen Klienten in seiner Ehre. So wird er dadurch in seinem beruflichen sowie gesellschaftlichen Ansehen herabgesetzt und diskreditiert. Indem das ENSI am 9. Dezember 2021 auf seiner Website sodann einen Newsartikel unter dem Titel «Methoden zur Einschätzung des Krebsrisikos: ENSI publiziert wissenschaftlichen Artikel» veröffentlichte, über welchen auf das ehrverletzende Paper im Volltext zugegriffen werden kann (siehe Beilage), verbreitete es die diskreditierende Aussage weiter und wirkte damit an der Ehrverletzung mit (vgl. BGE 126 III 305 E. 4b S. 308 betreffend Art. 28 ZGB).

Gemäss Art. 25a Abs. 1 VwVG kann, wer ein schutzwürdiges Interesse hat, von der Behörde, die für Handlungen zuständig ist, welche sich auf öffentliches Recht des Bundes stützen und Rechte oder Pflichten berühren, eine Verfügung verlangen.

Mit der Publikation des Newsartikels liegt eine Handlung bzw. ein Realakt vor, der sich auf öffentliches Recht des Bundes stützt. Das Berührtsein von Rechten und Pflichten setzt einen Eingriff in die persönliche Rechtssphäre der betroffenen Person voraus, wobei sich die schützenswerte Rechtsposition aus Grundrechten oder anderen Rechtstiteln ergeben kann (WEBER-DÜRLER/KUNZ-NOTTER, in: Bundesgesetz über das Verwaltungsverfahren, Kommentar, Zürich/St. Gallen 2019, N 22 zu Art. 25a VwVG m.w.H.). Der Schutz der Ehre wird nicht nur durch Art. 28 ZGB, sondern auch grundrechtlich garantiert (Art. 7, 10 und 13 BV sowie Art. 8 EMRK; BGE 131 IV 160 E. 3.3.1 S. 163; vgl. BGE 113 Ia 257 E. 4b S. 262). Durch die Publikation im Journal of Radiological Protection und das Verbreiten der diffamierenden Aussagen durch das ENSI wurden die genannten Grundrechte verletzt und damit in eine schützenswerte Rechtsposition eingegriffen. Mein Klient ist folglich in seinen Rechten und Pflichten berührt. Daraus ergibt sich zugleich, dass ihm ein schutzwürdiges Interesse am Erlass einer Verfügung zukommt. So lässt sich die bestehende Ehrverletzung durch die nachfolgend anbegehrten Massnahmen inskünftig

(weitestgehend) beseitigen. Die Voraussetzungen gemäss Art. 25a Abs. 1 VwVG sind somit erfüllt.

Von der zuständigen Behörde kann gemäss Art. 25 Abs. 1 lit. a und b VwVG verlangt werden, dass sie die widerrechtlichen Handlungen einstellt oder widerruft und die Folgen widerrechtlicher Handlungen beseitigt. Gestützt darauf ist einerseits der vorgenannte Newsartikel auf der Website zu entfernen sowie in gleicher Form eine Richtigstellung zu veröffentlichen (vgl. WEBER-DÜRLER/KUNZ-NOTTER, a.a.O., N 44 f. zu Art. 25a VwVG m.w.H.). Soweit das ENSI ferner die ehrverletzende Publikation an sich und die darin enthaltenen Aussagen als ihre eigenen anerkennt, wovon in Anbetracht des veröffentlichten Newsartikels («ENSI publiziert wissenschaftlichen Artikel») sowie Ihres Schreibens an meinen Klienten vom 24. Januar 2022 (konkludente Anerkennung der Zuständigkeit) auszugehen ist, hat andererseits auch eine Richtigstellung im Journal of Radiological Protection zu erfolgen.

Infolgedessen stelle ich namens und im Auftrag meines Klienten folgendes **Rechtsbegehren:**

1. Es sei der Newsartikel «Methoden zur Einschätzung des Krebsrisikos: ENSI publiziert wissenschaftlichen Artikel» vom 9. Dezember 2021 innert 14 Tagen, d. h. bis zum 28. Oktober 2022, von der Website des ENSI zu entfernen und auch in anderer Form nicht weiter zu verbreiten (z.B. durch Verlinkungen wie etwa im Newsartikel vom 5. Oktober 2022 mit dem Titel «ENSI publiziert wissenschaftlichen Artikel über neuste Erkenntnisse in der Berechnung von Tumorrisiken»).

2. Es sei innert 14 Tagen, d. h. bis zum 28. Oktober 2022, auf der Website des ENSI eine Richtigstellung in Form eines Newsartikels mit folgendem Inhalt zu veröffentlichen:

   «Das ENSI zieht seinen Newsartikel zum Strahlenschutz vom 9. Dezember 2021 mit dem Titel «Methoden zur Einschätzung des Krebsrisikos: ENSI publiziert wissenschaftlichen Artikel» zurück

   Das ENSI zieht seinen Newsartikel zum Strahlenschutz vom 9. Dezember 2021 mit dem Titel «Methoden zur Einschätzung des Krebsrisikos: ENSI publiziert wissenschaftlichen Artikel» zurück. Die im Newsartikel erwähnte wissenschaftliche Publikation im Journal of Radiological Protection (https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6498/ac290a/pdf [dargestellt als Hyperlink]) von Luana Hafner, Fachspezialistin im Bereich Strahlenschutz des ENSI, und Epidemiologin Linda Walsh enthält eine Fehldarstellung. Es ist

richtigzustellen, dass die Aussage «The conclusion which is often drawn from these studies is then, that the impact of radiation on cancer risk is 'shown' or 'proven' in this dose range (e.g. Knüsli et al 2018).» nicht zutrifft. Das ENSI hält ausdrücklich fest, dass Claudio Knüsli im in der Schweizerischen Ärztezeitung publizierten Artikel den Begriff «bewiesen» (englisch «proven») nicht verwendet hat. Die darauf aufbauende Würdigung «So, the use of the word 'proven' cannot be considered to be scientifically appropriate in this context.» wird damit gegenstandslos.»

3. Es sei baldmöglichst, spätestens aber innert 4 Monaten, d. h. bis zum 14. Februar 2023, im Journal of Radiological Protection eine Richtigstellung mit folgendem Inhalt zu veröffentlichen:

   «**Corrigendum: Valid versus invalid radiation cancer risk assessment methods illustrated using Swiss population data (2021) J. Radiol. Prot. 41 (4) 1228**

   The Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate ENSI, represented by the first author Luana Hafner, states that the following statement in chapter 4.2 «The conclusion which is often drawn from these studies is then, that the impact of radiation on cancer risk is 'shown' or 'proven' in this dose range (e.g. Knüsli et al 2018).» is not correct. ENSI thus notes that Claudio Knüsli did not use the term 'proven' in the article published in the Swiss Medical Journal (Knüsli C, Walter M, Nidecker A, Schiltknecht J, Moser J, Fasnacht J-J, Wölnerhanssen B. Cavete Collegae: Erosion des Strahlenschutzes! Schweiz Ärzteztg. 2018;99(22):703-706. DOI: https://doi.org/10.4414/saez.2018.06677). The conclusion «Thus, the use of the word 'proven' cannot be considered to be scientifically appropriate in this context.» is thus rendered irrelevant.»

4. Unter Kosten- und Entschädigungsfolgen zu Lasten des ENSI.

Die Einleitung aufsichtsrechtlicher Schritte bleibt ausdrücklich vorbehalten.

Ich bitte um Ihre Kenntnisnahme.

Freundliche Grüsse

i.V. A. Strütt

RA Dr. Adrian Strütt

Beilagen erwähnt

VOLLMACHT

Rechtsanwalt
Dr. iur. Adrian Strütt, Klausstrasse 43, Postfach 3062, 8034 Zürich

wird in Sachen

Dr. med. Claudio Knüsli, VS-Mitglied PSR / IPPNW Schweiz c. ENSI

betreffend

Persönlichkeitsverletzung, üble Nachrede etc.

zu allen Rechtshandlungen eines Generalbevollmächtigten mit dem Recht, Stellvertreter zu ernennen, bevollmächtigt. Die Vollmacht schliesst insbesondere ein: aussergerichtliche Vertretung, Vertretung vor allen Gerichten, Verwaltungsbehörden und Schiedsgerichten, Abschluss von Gerichtsstandsvereinbarungen und Schiedsverträgen, Ergreifen von Rechtsmitteln, Abgeben von Abstandserklärungen, Abschluss von Vergleichen, Anerkennung und Rückzug von Klagen, Vollzug von Urteilen und abgeschlossenen Vergleichen, Empfangnahme und Herausgabe von Wertschriften, Zahlungen und anderen Streitgegenständen, Anhebung und Durchführung von Schuldbetreibungen, einschliesslich Stellen des Konkursbegehrens, Vertretung in Erbschaftssachen und bei öffentlichen Beurkundungen und Grundbuchgeschäften, Vertretung in Strafsachen, insbesondere Anheben/Stellen und Rückzug von Strafklagen und -anträgen.

Abweichende prozessrechtliche Bestimmungen vorbehalten, erlischt diese Vollmacht nicht mit dem Ableben, der Verschollenerklärung, dem Verlust der Handlungsfähigkeit oder dem Konkurs der Klientschaft.

Die Klientschaft tritt mit Unterzeichnung dieser Vollmacht ihren Anspruch auf eine allfällige Prozessentschädigung dem Beauftragten zahlungshalber ab.

Die Klientschaft:

Basel, 11.4.2022 — (Ort, Datum)

Claudio Knüsli — (Dr. med. Claudio Knüsli)

Journal of Radiological Protection

Official journal of the Society for Radiological Protection

PAPER

Valid versus invalid radiation cancer risk assessment methods illustrated using Swiss population data

To cite this article: Luana Hafner and Linda Walsh 2021 *J. Radiol. Prot.* **41** 1228

View the article online for updates and enhancements.

You may also like

- Digital tomosynthesis for verifying spine position during radiotherapy: a phantom study
Oliver J Gurney-Champion, Max Dahele, Hassan Mostafavi et al.
- Enhancement of GaN Nanowires Synthesis with a Controlled Diameter by Using Au Nanoparticles on Plasma-Activated Si Substrate
Kuo-Hao Lee, Pei-Lan Lo, Jiunn-Der Liao et al.
- Characterization and analysis of surface notches on Ti-alloy plates fabricated by additive manufacturing techniques
Kwai S Chan

This content was downloaded from IP address 87.102.172.255 on 13/01/2022 at 11:02

IOP Publishing | Society for Radiological Protection Journal of Radiological Protection
J. Radiol. Prot. **41** (2021) 1228–1242 (15pp) https://doi.org/10.1088/1361-6498/ac290a

Valid versus invalid radiation cancer risk assessment methods illustrated using Swiss population data

Luana Hafner[1,*] **and Linda Walsh**[2]

[1] Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate ENSI, Industriestrasse 19, 5201 Brugg, Switzerland
[2] Department of Physics, Science Faculty, University of Zürich, Winterthurerstrasse 190, 8057 Zurich, Switzerland

E-mail: luana.hafner@ensi.ch

Received 18 May 2021; revised 15 September 2021
Accepted for publication 22 September 2021
Published 24 November 2021

Abstract

After the nuclear accident in Fukushima, the public interest in radiation related cancer-risk assessment increased. However, interpretations of results from epidemiological studies and comprehension of cancer risk assessment methods can be unclear and involve questions about correctness and validity of the approaches. To shed some light on this potential lack of clarity, valid versus invalid radiation cancer risk assessments methods are illustrated here using Swiss population data. This involves a comparison of the cancer risk assessment method based on collective dose and the cumulative risk assessment method, where the latter is recommended with regard to uncertainties and risk of misinterpretation. Further, risk assessment in different dose ranges is discussed and it is concluded that below 100 mSv it cannot be appropriately stated that an adequate strength of evidence of a causal relationship between cancer and radiation is provided, because of the large uncertainties in this dose range. However, the linear non-threshold (LNT) model can be used to model the dose response, because it represents a prudent and parsimonious model, that fits the data well and lies within the given uncertainties. Additionally, treatments of uncertainties in the risk models are illustrated. The EU-project CONFIDENCE software is applied here to obtain example radiation related lifetime cancer risks for exposures of 20 mSv and 5 mSv. Furthermore, the impact of different dosimetry errors on the uncertainties in the cancer lifetime risk calculation is analysed, by including different standard deviations (SD) and by comparing the sampling of the doses from a normal and a lognormal distribution. Using the normal distribution, for females exposed to 20 mSv, the 95% confidence

* Author to whom any correspondence should be addressed.

© 2021 Society for Radiological Protection. Published on behalf of SRP by IOP Publishing Limited. All rights reserved
1361-6498/21/+15$33.00 Printed in the UK

interval (CI) on the cancer lifetime risk increases, when compared to using a SD of 4 mSv, by a factor of 1.5 using a SD of 8 mSv and by a factor of 1.7 using a SD of 10 mSv. The corresponding factors for males for the same exposure are 1.3 and 1.5 respectively. For exposure to 5 mSv, the 95% CIs on the risk increase by a factor of 1.2 for females and 1.4 for men for a SD of 2 mSv using the normal distribution compared to the lognormal distribution and by a factor of 1.5 and 1.8 for a SD of 3 mSv compared to a SD of 1 mSv respectively. Furthermore, differences in the resulting 95% CI on the risk, using different distributions for the dose sampling are visible.

Keywords: cancer risk assessment, CONFIDENCE-software, dosimetry, radiation protection, uncertainties in cancer risk calculation

(Some figures may appear in colour only in the online journal)

1. Introduction

Since the nuclear power plant accident in Fukushima, public interest in aspects related to nuclear energy and its safety has increased and questions about the health effects of ionizing radiation are discussed more frequently. However, the epidemiological studies and the statistics used in these areas are complicated and there can be questions arising concerning which approaches are valid and which approaches are invalid. Therefore, sometimes the results from radiation epidemiology studies are misunderstood or misinterpreted, which leads to wrong conclusions being drawn. The aim here is, therefore, to illustrate valid versus invalid radiation cancer risk assessments methods in a study using Swiss population data radiation related lifetime cancer risk calculations.

After Fukushima, the health consequences of the radiation were investigated. However, the World Health Organisation (WHO) published their first report (WHO 2013) almost two years after the accident. One of the reasons why the report was published with that delay, is that no software was available to assess the risks directly, once the dose reconstruction was done. In order to avoid such future delays, the European Union funded the development of software within the framework of the EU project—CONFIDENCE (COping with uNcertainties For Improved modelling and DEcision making in Nuclear emergenCiEs) to assess the health risks after a nuclear accident. The risk assessment methodological framework for assessing cancer risks in the CONFIDENCE tool is as suggested by the WHO. However, the WHO did not explicitly account for uncertainties in the calculation methodology. Since the German software tool ProZES (Ulanowski *et al* 2020) did account for uncertainties in similar calculations, some of the methods for dealing with the calculation of uncertainties in ProZES were included and expanded upon in the CONFIDENCE tool. In detail, this framework includes the use of external dose conversion coefficients (see table 19 of WHO 2013) to translate effective doses to organ doses that are relevant for radiation risk assessment; and to calculate risk of all solid, breast, thyroid cancers and leukaemia using these converted organ dose and contemporary models of radiation risk for an illustrative modern European population (Switzerland in the examples presented here). The CONFIDENCE software is used here to provide example risk calculations to better illustrate the question of correct versus incorrect, or valid versus invalid approaches to assess radiation risk in general. Furthermore, the software is used to address the impact of different dosimetry errors on the 95% confidence interval (CI) of the radiation related lifetime cancer risk. Most studies (e.g. WHO 2013) only consider the central estimates in doses in their risk calculations and do not consider fully, the numerical impact of possible

dosimetric and other uncertainties. However, the confidence tool allows the sampling of doses around a certain mean value using different distributions applying a standard deviation chosen as an input parameter. If the dose uncertainties are included in the calculations they can be assumed to be normally distributed (e.g. Walsh *et al* 2020). However, other distributions could generally be possible, and so the impact on the 95% CI of the radiation related lifetime cancer risk is analysed here by comparing the risk results obtained with normally distributed doses with the risk results obtained using lognormally distributed doses. In addition, also the impact of different dosimetric standard deviations (SD) on the risk is analysed.

2. Material and methods

2.1. Collective dose as a cancer risk assessment method

An interesting question regarding possible future nuclear accidents is: how many people would die because of cancer that would have been induced by the radiation from such an event? In order to answer this question, in some articles (e.g. Paulitz *et al* 2013, IPPNW/PSR Report 2016, Knüsli *et al* 2018, Piguet *et al* 2019), the collective dose calculation approach is applied. In this approach a calculated average effective dose, which is usually very small at around 0.1 mSv, is multiplied with the number of affected people, in order to get a collective dose. Based on this collective dose, the possible number of cancer deaths are calculated with a risk factor that assumes a Linear No Threshold (LNT) risk to dose response. Such an example calculation is shown in figure 1. There are several problems related to this approach, which are discussed in more detail in section 4.1. In general, this approach is simple, but it can lead to wrong conclusions. This is also the reason why the international radiation protection expert groups like ICRP (ICRP, ICRP Recommendations of the international commission on radiological protection 2007) and scientific advisory committees like UNSCEAR (UNSCEAR Report 2000) do not recommend this approach.

2.2. Cumulative risk assessment method

The question now is if there is an alternative approach to calculate the expected number of cancer deaths after such an event resulting in very tiny doses ranging from fractions of a mSv to a few mSv (i.e. natural background radiation levels). The answer to this question, with the current lack of comprehensive information on biomarkers for radiation induced cancer, must be no. The international institutions do not provide any other method, simply because they are not feasible. The uncertainties are too high and there are too many variable parameters in the calculation. This makes any recommendation at such tiny doses implausible.

However, what can be done is to estimate the radiation related lifetime cancer risks by defining the parameters used. This does not solve the problems regarding risk assessment at tiny doses (more details in sections 4.2 and 4.3), but other problems related to the collective dose method (described in section 4.1) can be eliminated. The corresponding calculation scheme is illustrated in figure 2. Risk calculations depend on many factors such as, for example, the age at exposure, the considered cancer site or the sex. This is why in the present study sex-specific calculations are done for different ages at exposure. The risk calculations are done using the EU-CONFIDENCE project software (Walsh *et al* 2020), which was developed in order to estimate the health impacts of radiation after a nuclear accident. Since the risk models and all the methods, including the method used to convert from effective dose to the organ doses, relevant for risk assessment are described in detail by Walsh *et al* (2019), only a brief

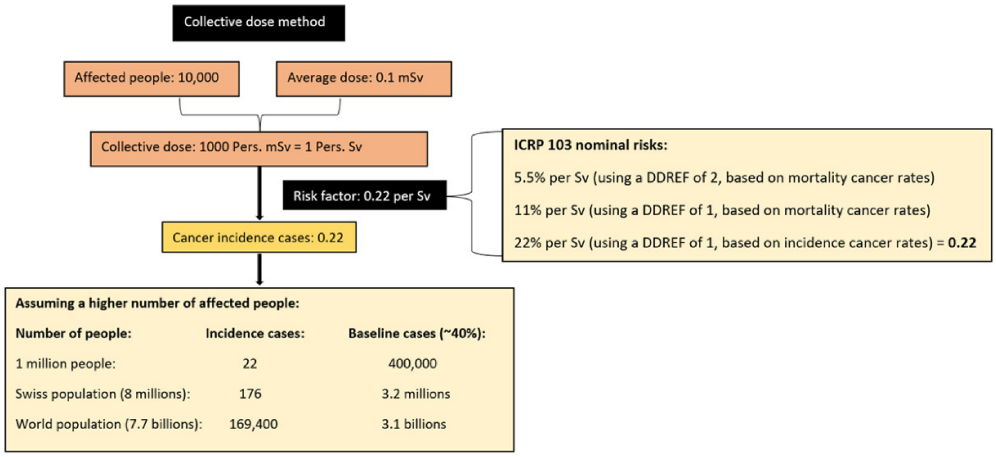


Figure 1. Scheme of the collective dose method. The modelled quantity is the detriment adjusted nominal risk (ICRP 103; ICRP Recommendations of the international commission on radiological protection 2007). The impact of a large number of people in this calculation method is shown, as well as the derivation of the applied risk factor according to Piguet *et al* (2019). Applying a DDREF of 1 instead of 2 and considering cancer incidence instead of cancer mortality increases the cancer risks per Sv by a factor of 4 (ICRP 103; ICRP Recommendations of the international commission on radiological protection 2007).

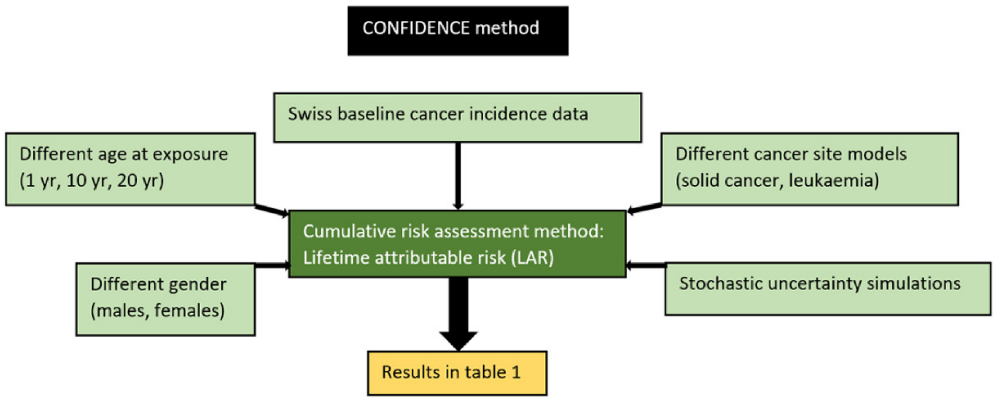


Figure 2. Scheme of the risk assessment method used in the CONFIDENCE-Software.

description is given here. In order to calculate the radiation induced cancer risk, the cumulative risk assessment quantity called lifetime attributable risk (LAR) is used and to estimate the baseline cancer cases the quantity lifetime baseline risk (LBR) is applied (Vaeth and Pierce 1990, Thomas *et al* 1992). Here LAR is applied as a measure to express an average lifetime risk for a specific population (Swiss in this case) for a specific exposed age and sex. It does not represent an individual cancer risk, because in order to calculate this, also factors such as genetics, personal radiosensitivity or lifestyle should be considered. In the LAR calculations, models for additive and multiplicative excess risks are included. The uncertainties, that

Table 1. Uncertainties included in the CONFIDENCE-tool with the distribution they are sampled from (Walsh *et al* 2020).

Uncertainty of/in	Distribution
Radiation risk model parameters from the excess risk models	Multivariate normal distribution using best estimates of all the model fit parameters (including those for the model baseline and parameter covariance matrices)
Weighting factor for ERR and EAR	Uniform distribution
Dose rate effects	Lognormal distribution with GM of 1.0
Minimum latency periods	Sigmoid distribution
Age specific incidence rates	Poisson distribution
Doses	In this study: Normal and lognormal distribution Other options: Constant, uniform and triangle distribution

are associated with the LAR, were calculated by applying stochastic simulations (Ulanowski *et al* 2020). The risk calculations are based on the cancer incidence data of the Swiss population. LAR and LBR are calculated for all cancers for three different age at exposures (1 year, 10 years, 20 years) for both sexes for an effective dose of 20 mSv and 5 mSv. In order to address the impact of different dosimetry, the uncertainties are sampled either from a normal dose distribution or from a lognormal distribution. Furthermore, different SDs are used in order to investigate the impact on the magnitude of the 95% CIs of LAR. For an effective dose of 20 mSv SDs of 4 mSv, 8 mSv, 10 mSv are applied and for an effective dose of 5 mSv: SDs of 1 mSv, 2 mSv, 3 mSv when the uncertainties are sampled from the normal distribution. Using the lognormal distribution, the geometric standard deviation (GSD) is chosen such that the 95% CI is (1/2*mean dose; 2*mean dose) and (1/3*mean dose; 3*mean dose) (IAEA 2015, UNSCEAR Report 2020) for both central values of exposure.

With the cumulative risk assessment method one can eliminate some of the problems related to the collective dose method, which are described in more detail in section 4.1. However, the high uncertainties in the low dose range, which are discussed in more detail in the sections 4.2 and 4.3 cannot be eliminated. In order to calculate risks in this dose range, the CONFIDENCE-tool assumes the LNT-model, in line with current standard practice in the field of radiation protection (e.g. ICRP Recommendations of the international commission on radiological protection 2007). In the CONFIDENCE-tool, uncertainties of different parameters are quantified by applying stochastic Monte Carlo simulations with a methodology described in detail by Jacob *et al* (2017). A list of considered uncertainties as well as the distributions of which they are sampled from can be found in table 1.

3. Results

3.1. Risk calculation

In figure 3 the LBR and LAR for all cancers calculated for three different ages at exposure (1 year, 10 years, 20 years) for an effective dose of 20 mSv and 5 mSv for males and females are shown. The uncertainties in the doses were sampled from a normal distribution with SDs of

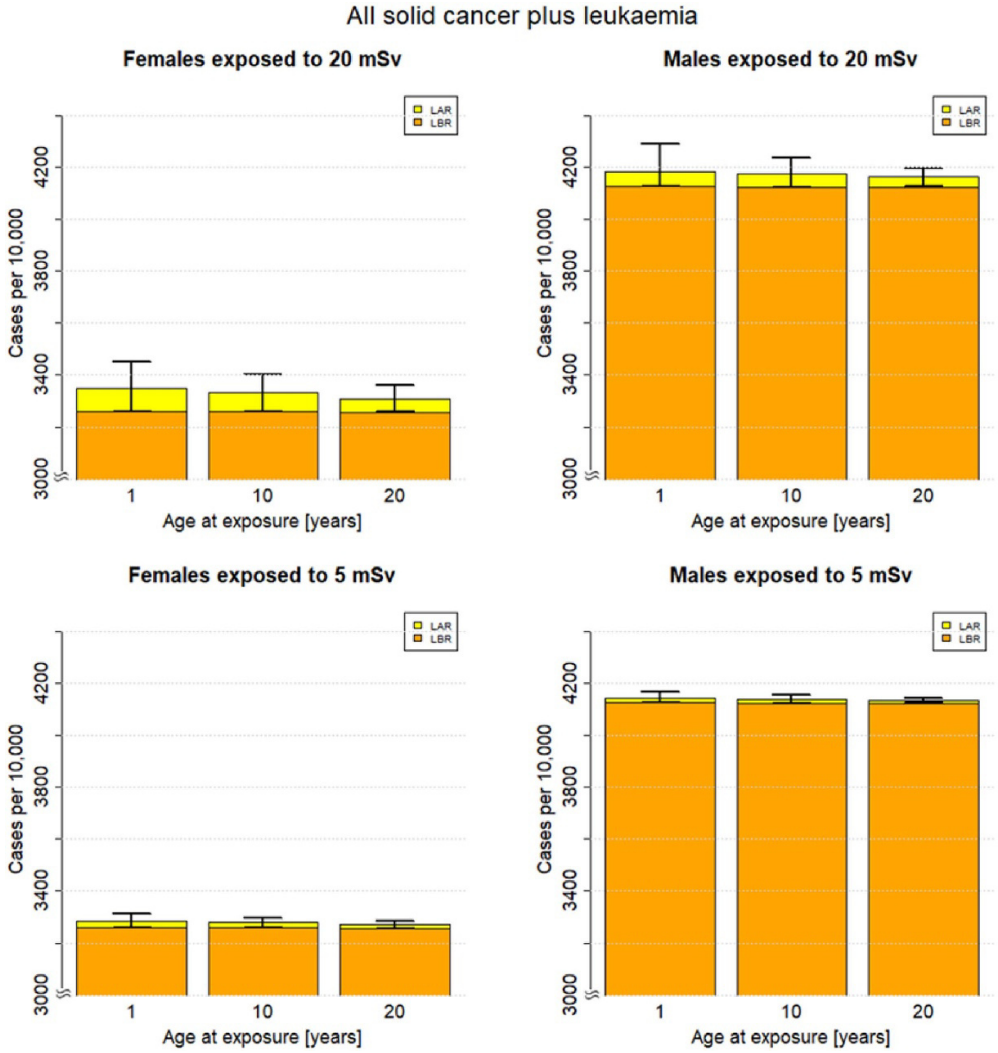


Figure 3. Median lifetime attributable risk (LAR, yellow) and median lifetime baseline risk (LBR, orange) illustrated as number of incidence cases per 10 000 persons for all cancer calculated for an exposure of 20 mSv and 5 mSv for both genders at different ages at exposure: 1 year, 10 years and 20 years. For an exposure of 20 mSv the results are calculated with a SD of 8 mSv and for an exposure of 5 mSv with a SD of 2 mSv in the normal distribution. The black bars show the 95% CI of the LAR.

8 mSv or 2 mSv for an exposure of 20 mSv and 5 mSv respectively. In order to better illustrate the results, the probabilities were transferred to number of incidence cases per 10 000 persons. The black error bars correspond to the 95% confidence interval of the LAR. In table 2 the results for LAR and LBR for the same set of choices for age at exposure and doses are given. From figure 3 and table 2, one can see that the cancer cases related to radiation are very small compared to the baseline cancer cases and that the uncertainties for the LAR are quite high. The uncertainties for the LBR are not shown in figure 3 in order to avoid an overlap with the

Table 2. The median of lifetime attributable risk (LAR) and lifetime baseline risk (LBR) as number of incidence cases per 10 000 persons and the 95% CI for all cancer for an exposure of 20 mSv and 5 mSv effective dose calculated for different ages at exposure and both genders. For an exposure of 20 mSv the results of LAR are calculated with a SD of 8 mSv and for an exposure of 5 mSv with a SD of 2 mSv in the normal distribution.

Age at exposure (yr)	All solid cancer plus leukaemia LAR		All solid cancer plus leukaemia LBR	
	Males	Females	Males	Females
	Effective dose 20 mSv			
1	59 (0;161)	86 (0;189)	4126 (3662;4590)	3261 (2834;3688)
10	51 (0;113)	72 (1;143)	4123 (3665;4581)	3259 (2838;3680)
20	38 (4;72)	54 (3;105)	4124 (3674;4574)	3255 (2842;3668)
	Effective dose 5 mSv			
1	16 (0;43)	24 (0;51)	4126 (3662;4590)	3261 (2834;3688)
10	14 (0;30)	19 (1;37)	4123 (3665;4581)	3259 (2838;3680)
20	10 (1;19)	15 (2;28)	4124 (3674;4574)	3255 (2842;3668)

error bars of the LAR, but they are given in table 2. LAR for all cancers for females exposed to an effective dose of 20 mSv at the age of 1 year results in 86 incidence cases from 10 000 with uncertainties reaching from 0 cases to 189 which is more than half and double of the mean value (table 2). Similarly for males, the median cases are 59 and the 95% CI reaches from 0 to 161. For an exposure to 5 mSv effective dose the results for the same example are given in table 2; median cases for females are 24 with uncertainties reaching from 0 to 51 cases; and for males 16 cases, with the uncertainties reaching from 0 to 43 cases. Further, the total cancer risk (LBR + LAR) is higher for males, since the baseline risk is higher for males than for females.

3.2. Dosimetry errors

In figure 3 the uncertainties in the doses were sampled from a normal distribution with a standard deviation of 8 mSv and 2 mSv for an exposure of 20 mSv and 5 mSv effective dose respectively. In figure 4 the impact of a higher and a lower SD is shown. For both genders at an age at exposure of 1 year, LAR for all cancers is calculated with different SDs: For an exposure of 20 mSv effective dose, SDs of 4 mSv, 8 mSv and 10 mSv; and for an exposure of 5 mSv effective dose, SDs of 1 mSv, 2 mSv, 3 mSv. For females exposed to 20 mSv and compared to using a SD of 4 mSv, the LAR 95% CI width increases by a factor of 1.5 using a SD of 8 mSv and by a factor of 1.7 using a SD of 10 mSv. For males the corresponding factors for the same exposure are 1.3 and 1.5 respectively. For the exposure to 5 mSv the uncertainties increase by a factor of 1.2 for females and 1.4 for males for a SD of 2 mSv and by a factor of 1.5 and 1.8 for a SD of 3 mSv compared to a SD of 1 mSv respectively. In figure 5 the same results are shown using a lognormal distribution instead of a normal distribution to assess the uncertainties. The GSD used were 1.4 and 1.7 such that the 95% CI is (1/2*mean dose; 2*mean

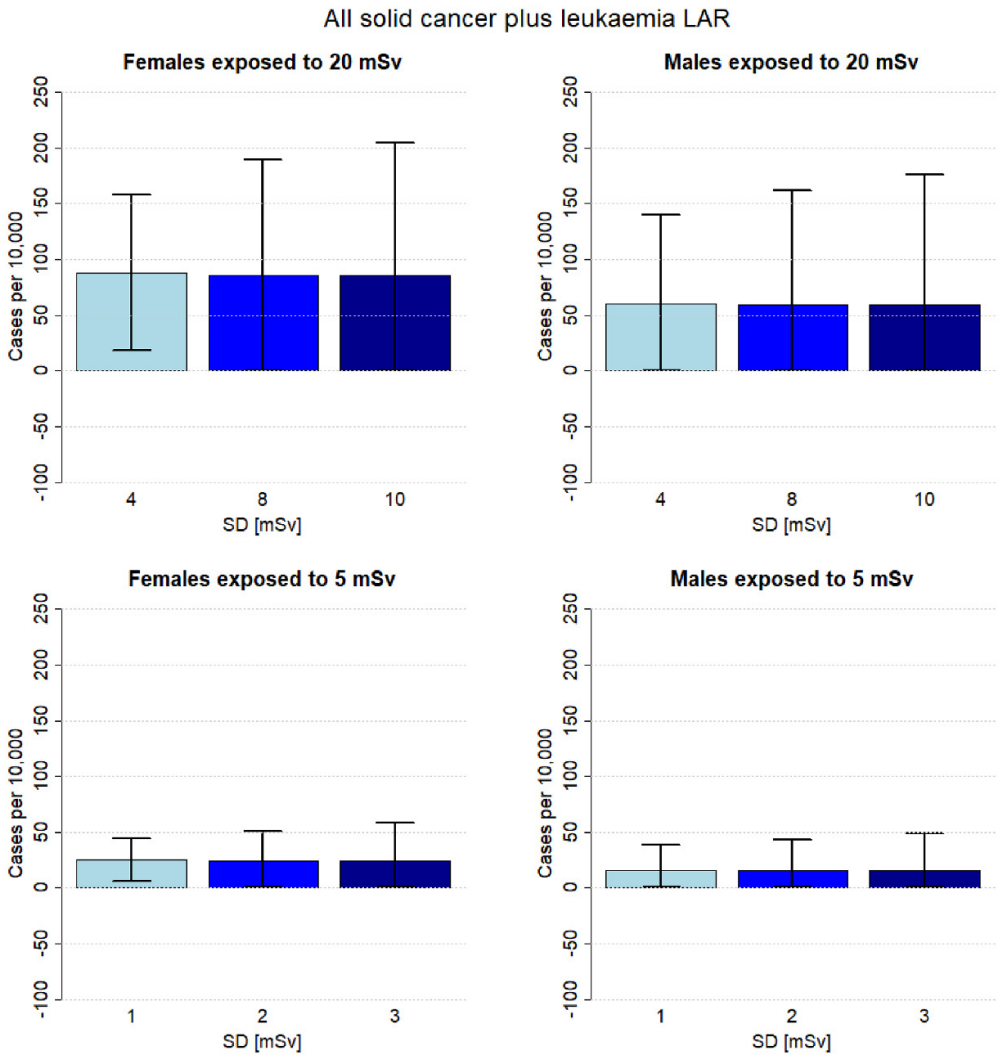


Figure 4. Median lifetime attributable risk (LAR) for all solid cancer plus leukaemia is shown for an exposure of 20 mSv and 5 mSv at an age at exposure of 1 year for both genders using different uncertainties in the normal dose distribution. For an exposure of 20 mSv the results calculated with a SD of 4 mSv, 8 mSv and 10 mSv and for an exposure of 5 mSv a SD of 1 mSv, 2 mSv and 3 mSv are shown. The error bars represent the 95% CI.

dose) and (1/3*mean dose; 3*mean dose). Comparing figures 4 and 5 it can be observed that the choice of the distribution of the uncertainties makes a difference in the resulting 95% CI. However, the resulting LAR 95% CI using a normal distribution with a SD of 10 mSv and the one using a lognormal distribution with a GSD of 1.7 are almost the same. It can also be pointed out that using the lognormal distribution, all the lower bounds of the 95% CI in this example are zero.

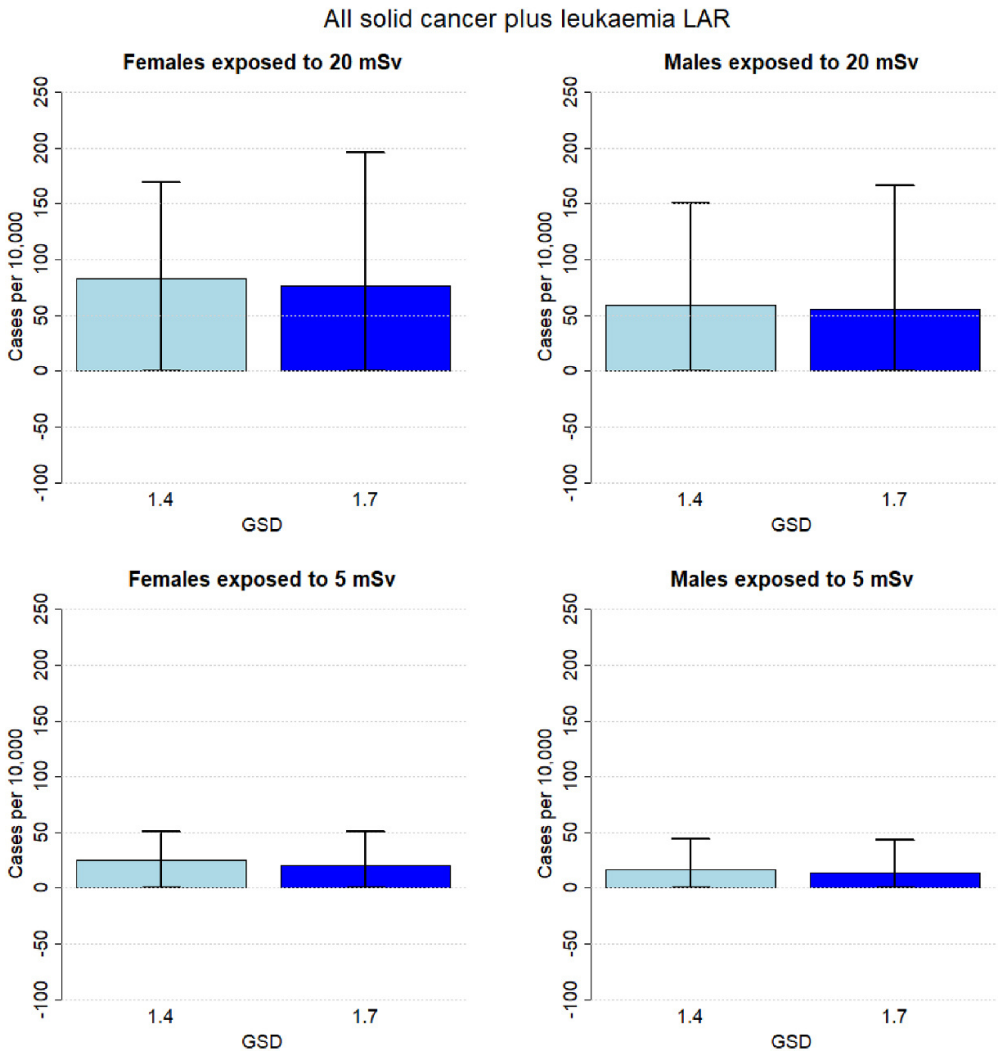


Figure 5. Median lifetime attributable risk (LAR) for all solid cancer plus leukaemia is shown for an exposure of 20 mSv and 5 mSv at an age at exposure of 1 year for both genders using different uncertainties in the lognormal dose distribution. The results are calculated with a GSD of 1.4 and 1.7. The black error bars represent the 95% CI.

4. Discussion and conclusions

In the following sections the salient points relevant to correct versus incorrect, or valid versus invalid, approaches in the assessment of radiation risks are addressed in general.

4.1. Collective dose as a cancer risk assessment method

There are several problems related to the collective dose as a cancer risk assessment method, as mentioned in section 2.1. First, one has to be aware that cancer risks depend on several factors such as age at exposure, sex, attained age or the organ which was exposed. This means

that a risk for a child or an adult, a woman or a man, from the same exposure, will not be the same. Now in this collective dose approach, none of these impacts are considered, which makes the estimate very uncertain and gives only an unsophisticated and highly uncertain average estimate. Further, the collective dose is often calculated with the average dose (e.g. Paulitz *et al* 2013). Using an average dose in the calculation can give an approximation of the magnitude, but this is again highly uncertain and may not be a good representation of the actual organ doses received. Especially when the dose values are highly heterogeneous and the range of the doses considered is wide with some statistical outliers, applying the average dose can distort the collective dose values. In these cases, the median could be more representative. However, also here the problem of usually not considering the high dosimetric uncertainties of this method remains (e.g. Knüsli *et al* 2018). A lack of consideration of the other sources of uncertainties is another important critical point. In general, every risk assessment method is subject to sources of uncertainties. This lies in the nature of the data as detailed in the following sections. In order to obtain the accuracy of the calculated risks, uncertainties of the results should be given.

Finally, the risk is calculated with a small number of people in this example (figure 1). If one multiplies very low doses with even a larger number of affected people, one ends up with an extremely high collective dose. To this high collective dose, then the risk factor (see figure 1) is applied in order to estimate the cancer deaths. Since the collective dose is high, the resulting cancer deaths will be high too, even though the individual doses are extremely low and without considering and discussing the uncertainties, these results can be easily misinterpreted. So even if this approach is simple, it can lead to wrong conclusions. This is also the reason why the international radiation protection expert groups like ICRP (ICRP, ICRP Recommendations of the international commission on radiological protection 2007) and scientific advisory committees like UNSCEAR (UNSCEAR Report 2000) do not recommend this approach.

4.2. Shape of the dose response curve below 100 mSv

A claim that often emerges in discussions is that studies were published which provide evidence that radiation induces cancer risk in a dose range from 0 to 100 mGy organ dose (e.g. Technisches Forum Kernkraftwerke (TFK) 2019, Campaign for nuclear Disarmament (CND) 2021). For example, Little *et al* (2018) combined information from many studies on leukaemia and myeloid malignancies for low dose exposures (<100 mSv) during childhood and found an excess absolute risk (EAR) in the range of 0.1–0.4 cases or deaths per 10 000 person years. Grant *et al* (2017) analysed the LSS data on the 0–100 mGy colon dose range and found for all solid cancer incidence that the excess relative risk (ERR) per Gy is 0.49 (95% CI: 0.026; 1.01) and Richardson *et al* (2015) found a factor of 0.81 ERR Gy^{-1} (90% CI: 0.01; 1.64) for all cancer except leukaemia in this colon dose range. The conclusion which is often drawn from these studies is then, that the impact of radiation on cancer risk is 'shown' or 'proven' in this dose range (e.g. Knüsli *et al* 2018). In general, the argument that there are studies (Richardson *et al* 2015, Grant *et al* 2017, Little *et al* 2018), whose results provide evidence of statistically significant radiation related cancer risk under 100 mGy organ dose holds, but there are also studies, which do not find evidence for an association with excess risk (Zablotska *et al* 2014, Caldwell *et al* 2016). Furthermore, there are other criteria to consider, before one can appropriately state that an adequate strength of evidence of a causal relationship between cancer and radiation can be provided. The nine Bradford Hill criteria (Hill 1965) are useful guidelines for investigating causality in epidemiological studies, but also other factors as for example

the quality of the studies need to be considered. So, the use of the word 'proven' cannot be considered to be scientifically appropriate in this context.

4.2.1. Uncertainties in epidemiological data. Another important consideration, often neglected in discussions about the cancer risk in the low dose range, refers to the associated uncertainties (e.g. CND 2014, Nuclear information and resource service (NIRS) 2018). Every epidemiological result has uncertainties. In some studies, the uncertainties on the lifetime cancer risks are not addressed (e.g. ICRP Recommendations of the international commission on radiological protection 2007) and in some articles only the mean risk values are referred to (e.g. Paulitz *et al* 2013). Nevertheless, most peer-reviewed radiation epidemiology studies and reports (e.g. UNSCEAR Report 2019) do include uncertainty estimates but then also the overall study quality differs from study to study. The National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP) (NCRP 2018) published a summary of different studies of cancer risk in the low dose range, where the quality of the statistics applied, the epidemiology and the dosimetry are rated. The high uncertainties in the low dose range make it even more difficult to analyse the health effect of radiation in this range. At the moment, most studies use the Linear-Non-Threshold (LNT) model in order to describe the risk to dose relationship, if this is needed for risk calculation (e.g. Ulanowski *et al* 2019, Walsh *et al* 2019, Hafner *et al* 2021). This is, not only, due to the ICRP 103 (ICRP Recommendations of the international commission on radiological protection 2007) recommendation but also because it is simple to implement. LNT represents a prudent and parsimonious model, that fits the data well and lies within the given uncertainties.

4.2.2. Dosimetry errors. The overall uncertainties addressed in the section above are usually a result of a combination of uncertainties of several different parameters used in the risk calculation, as for example the uncertainties of the excess cancer risk model fit parameters, of the cancer incidence rates, of the latency periods or the dosimetry errors. The latter can have a major impact as already shown in the results section. However, also other distributions could generally be used to sample the dose uncertainties. Which distribution should be applied depends on the data that is available. Optimally, one can plot the probability density function of the data from estimates and measurements and see which distribution fits best. The IAEA (2015) found, for example, the accumulated radiation doses after Fukushima to be lognormally distributed with this method. In the present study the results using a normal distribution are compared with those using a lognormal distribution, because these are the distributions most often applied (IAEA 2015). Additionally, the impact of using different SDs in the effective dose is shown. Higher dosimetry errors lead in general to higher overall uncertainties. This can have an impact on the statistical significance of a risk result, as illustrated in figure 4. For example, if the assumption is that small doses lead to an increase of the cancer risk then, for females exposed to 20 mSv the result is significant if a standard deviation of 4 mSv is assumed in the normal distribution, however, if one assumes the standard deviation to be 8 mSv, the result becomes insignificant. The change of the distribution can have similar effects. Using a lognormal distribution instead of a normal distribution more doses are sampled from the 'left side' of the mean dose (i.e. more lower doses will be sampled than higher doses). Therefore, also the 95% CI will shift more to lower risks, which can be observed when comparing figures 4 and 5. This shift can then affect the significance. This shows the importance of placing emphasis on dosimetry precision in radiation epidemiological studies or in cancer risk assessments after nuclear accidents.

4.3. Dose calculations with doses below 5 mSv

The average dose that an occupationally radiation exposed person working in a nuclear installation in Switzerland accumulated in 2020 is 0.5 mSv (Swiss Federal Nuclear Saftey Inspectorate ENSI 2021). Therefore, it would be interesting to estimate the cancer risk at this dose level. But next to the reasons already discussed, there is another problem to face in this dose range. Many widely applied epidemiological cancer risk models are based on the data of the atomic bomb survivors in Japan, because the number of affected persons was high (e.g. ICRP Recommendations of the international commission on radiological protection 2007, WHO 2013). With more data, a better statistical power can be achieved. However, the doses in the data are not given as individual personal doses, but are binned into different dose-categories (Radiation Effects Research Foundation (RERF) 2020). So, the first dose category usually contains all the doses from 0 mSv to 5 mSv. Since the binning is not usually made with smaller dose-categories, the risk assessment below 5 mSv is not tested directly. The lowest dose category is even used as a reference group to represent the unexposed Japanese population in 1945 (and considering the reasons and sources of uncertainties previously described, there is still a very small probability that the tumours in this first does category are excess and not background).

4.4. Uncertainties in the risk models

Another important factor that is often overlooked, when results from studies are referred to, are the uncertainties in the cancer risk models (e.g. Technisches Forum Kernkraftwerke (TFK) 2019). There are different arguments that need to be addressed. Another impact on the interpretation of the risks from the A-bomb survivors data is that the analysis of this data is only based on the external radiation (Radiation Effects Research Foundation (RERF) 2020), however most of the survivors have also accumulated dose by incorporation through food, water (including the black rain that occurred shortly after the A-bombs were triggered) or by breathing in particles in the air (WHO 2013). So, they have probably accumulated more dose, than was found with the detailed dose reconstructions. This can lead to an overestimation of the risks, if only risk assessments for external radiation are considered. In the case where the risks for the general population should be calculated after a nuclear accident, the estimated risks based on the A-bomb models can be considered as suitable (of course also here uncertainties are unavoidable), since also in this case the possibility of incorporation is given.

Another point worth mentioning is that the models developed, based on the A bomb survivor data, are only based on gamma and neutron organ dose (Grant *et al* 2017). The A-bomb survivors were exposed to low-LET gamma and high-LET neutron radiation. In the risk calculations then the total dose is calculated by adding the gamma dose and the neutron RBE weighted neutron dose, so that the risk estimates are done with regard to weighted organ dose. If exposures to other radiation are considered, different risk models need to be applied. Another uncertain parameter is the neutron RBE. Traditionally a neutron RBE of 10 is used, but recent studies (Cordova and Cullings 2019 and references cited in that paper) show, that the neutron RBE is probably higher than 10, potentially around a value of 80 for colon dose. Including this into the calculation leads to a reduction of the cancer risk by around 50% (Hafner *et al* 2021).

Further to the uncertainties mentioned above, there are more parameters in the risk calculation which are under discussion. One highly discussed parameter is for example the dose and dose-rate effectiveness factor (DDREF), which is included to take dose-rate effects into account. This parameter is applied to the model, if continuous low-dose exposures are expected as for example in workers in nuclear power-plants, and can reduce the risks up to 50% (ICRP Recommendations of the international commission on radiological protection 2007). However,

the DDREF value and existence are subject to current debate (Jacob *et al* 2009, Shore *et al* 2017, Hoel 2018, Kocher *et al* 2018). Another parameter that has an impact on the cancer risk estimates is the EAR-scaling, explained in the ProZES documentation (Ulanowski *et al* 2020), which is used to scale the risks based on data from Japan 1945 to another population at another calendar time. The appropriateness of applying this scaling or not is also still under discussion.

This discussion highlights the fact that cancer risk calculations including all these parameters and uncertainties may easily be misinterpreted and can be unclear and involve questions about valid versus invalid approaches. However, for progress in the field of epidemiology and radiation protection, it is important that research continues to assess radiation related cancer risks and that the results are discussed in the light of the validity of approaches applied. Attention should be payed to the application of valid calculation methods and to the inclusion of comprehensive uncertainty assessments. Additionally, the importance of international expert groups and committees should be recognised in providing analyses and summaries of the published study results and giving recommendations on what should be used and done in the future. These recommendations form the basis of the national laws in the field of radiation protection in each country.

Acknowledgments

We would like to thank Dr Alexander Ulanowski, Dr Rosa Sardella and Dr Giuseppe Testa for useful discussions regarding technical subtleties.

ORCID iDs

Luana Hafner https://orcid.org/0000-0002-5218-9293
Linda Walsh https://orcid.org/0000-0001-7399-9191

References

Caldwell G G, Zack M M, Mumma M T, Falk H, Heath C W, Till J E, Chen H and Boice J D 2016 Mortality among military participants at the 1957 PLUMBBOB nuclear weapons test series and from leukemia among participants at the SMOKY test *J. Radiol. Prot.* **36** 474–89

Campaign for nuclear Disarmament (CND) 2014 Infant leukaemia near nuclear power stations (available at: https://cnduk.org/resources/infant-leukaemia-near-nuclear-power-stations/) (Accessed 16 July 2021)

Campaign for nuclear Disarmament (CND) 2021 Nuclear power in the UK (available at: https://cnduk.org/resources/nuclear-power-in-the-uk/) (Accessed 16 July 2021)

Cordova K A and Cullings H M 2019 Assessing the relative biological effectiveness of neutrons across organs of varying depth among the atomic bomb survivors *Radiat. Res.* **192** 380–7

Hoel D G 2018 Nuclear epidemiologic studies and the estimation of DREF *Int. J Radiat. Biol.* **94** 307–14

Grant E J *et al* 2017 Solid cancer incidence among the life span study of atomic bomb survivors: 1958–2009 *Radiat. Res.* **187** 513–37

Hafner L, Walsh L and Schneider U 2021 Cancer incidence risks above and below 1 Gy for radiation protection in space *Life Sci. Space Res.* **28** 41–56

Hill A B 1965 The environment and disease: association or causation? *Proc. R. Soc. Med.* **58** 295–300

IAEA 2015 The Fukushima Daiichi accident *Report by the Director General* (Vienna: International Atomic Energy Agency)

ICRP Recommendations of the international commission on radiological protection 2007 ICRP Publication 103 *Ann. ICRP* **37** 51–53, 76, 182

IPPNW/PSR Report 2016 30 years living with Chernobyl 5 years living with Fukushima *Health effects of the nuclear disasters in Chernobyl and Fukushima* (available at: https://ippnw.de/commonFiles/pdfs/Atomenergie/Tschernobyl/Report_TF_3005_en_17_screen.pdf)

Jacob P, Kaiser C and Ulanovsky A 2017 ProZES − a tool for assessment of assigned share of radiation in probability of cancer development. Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) *Report BfS-RESFOR-120/17* (available at: http://doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-2017032014253)

Jacob P, Rühm W, Walsh L, Blettner M, Hammer G and Zeeb H 2009 Is cancer risk of radiation workers larger than expected? *Occ. Env. Med.* **66** 789–96

Knüsli C, Wlater M, Nidecker A, Schiltknecht J, Moser J, Jj F and Wölnerhanssen B 2018 Cavete collegae: erosion des Strahlenschutzes! *Schweiz. Ärztezig.* **27** 21

Kocher D C, Apostoaei A I, Hoffman F O and Jr T 2018 Probability distribution of dose and dose-rate effectiveness factor for use in estimating risks of solid cancers form exposure to low-LET radiation *Health. Phys.* **114** 602–22

Little M P *et al* 2018 Leukaemia and myeloid malignancy among people exposed to low doses (<100 mSv) of ionising radiation during childhood: a pooled analysis of nine historical cohort studies *Lancet Haematol.* **5** e346–e358

NCRP 2018 *Commentary No. 27: Implications of Recent Epidemiologic Studies for the Linear-Nonthreshold Model and Radiation Protection* (Bethesda, MD: National Council on Radiation Protection and Measurements)

Nuclear information and resource service (NIRS) 2018 Comments on NRC-2018-0026-0001 VLLW: very large loophole (low-level) radioactive waste (available at: www.nirs.org/wp-content/uploads/2020/07/NIRS-Comments-on-VLLW-Scoping-Study-5-15-18.pdf) (Accessed 16 July 2021)

Paulitz H, Eisenberg W and Thiel R 2013 WHO data predicts between 22′000 and 66′000 incidences of cancer in Japan (available at: www.ippnw.de/commonFiles/pdfs/Atomenergie/Fukushima/WHO_data_predicts_between_22_000_and_66_000_incidences_of_cancer_in_Japan.pdf) (Accessed 22 September 2020)

Piguet F P *et al* 2019 Modeling of a major accident in five nuclear power plants from 365 meteorological situations in western europe and analysis of the potential impacts on populations, soils and affected countries (available at: https://archive-ouverte.unige.ch/unige:122532)

Radiation Effects Research Foundation (RERF) Life Span Study (LSS) epidemiological data (available at: www.rerf.or.jp) (Accessed 21 September 2020)

Richardson D B *et al* 2015 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* **351** h6634

Shore R E, Walsh L, Azizova T and Rühm W 2017 Risk of solid cancer in low dose-rate radiation epidemiological studies and the dose-rate effectiveness factor *J. Radiat. Biol.* **93** 1064–78

Swiss Federal Nuclear Saftey Inspectorate ENSI 2021 Strahlenschutzbericht 2020 (available at: www.ensi.ch/de/wp-content/uploads/sites/2/2021/06/ENSI_Strahlenschutzbericht-2020_210608_low-res-01.pdf) (Accessed 20 August 2021)

Technisches Forum Kernkraftwerke (TFK) ENSI Frage 41 2019 Strahlenschutz (available at: www.ensi.ch/de/technisches-forum/strahlenschutz/) (Accessed 16 July 2021)

Thomas D, Darby S, Fagnani F, Hubert P, Vaeth M and Weiss K 1992 Definition and estimation of lifetime detriment from radiation exposures: principles and methods *Health Phys.* **63** 259–72

Ulanowski A, Kaiser J C, Schneider U and Walsh L 2019 On the calculation of prognostic radiation risk estimates in medicine and radiation protection *Radiat. Environ. Biophys.* **58** 305–19

Ulanowski A, Shemiakina E, Güthlin D, Becker J, Preston D, Apostoaei A I, Hoffman F O, Jacob P, Kaiser J C and Eidemüller M 2020 ProZES: the methodology and software tool for assessment of assigned share of radiation in probability of cancer occurrence *Radiat. Environ. Biophys.* **59** 601–29

UNSCEAR Report 2000 Annex 1 Epidemiological evaluation of radiation-induced cancer

UNSCEAR Report 2019 Annex A Sources, effects and risks of ionizing radiation

UNSCEAR Report 2020 Scientific Annex B, Levels and effects of radiation exposure due to the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: implications of information published since the UNSCEAR 2013 Report

Vaeth M and Pierce D A 1990 Calculating excess lifetime risk in relative risk models *Environ. Health Prospect.* **87** 83–94

Walsh L, Ulanowski A, Jc K, Woda C and Raskob W 2020 A new European cancer risk assessment tool for application after nuclear accidents *Radioprotection* **55** 95–99

Walsh L, Ulanowski A, Kaiser J C, Woda C and Raskob W 2019 Risk bases can complement dose bases for implementing and optimizing a radiological protection strategy in urgent and transition emergency phases *Radiat. Environ. Biophys.* **58** 539–52

WHO 2013 *Health Risk Assessment Form the Nuclear Accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami Based on a Preliminary Dose Estimation* (Geneva: WHO)

Zablotska L B, Lane R S D and Thompson P A 2014 A reanalysis of cancer mortality in Canadian nuclear workers (1956–1994) based on revised exposure and cohort data *Br. J. Cancer* **110** 214–223

Ärztliche Gedanken zur Verordnungsrevision im Kernenergiebereich

Cavete Collegae: Erosion des Strahlenschutzes!

Claudio Knüsli[a], Martin Walter[b], Andreas Nidecker[c], Jacques Schiltknecht[d], Jacques Moser[d], Jean-Jacques Fasnacht[e], Bettina Wölnerhanssen[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. Radiologe FMH; [d] Dr. med. Innere Medizin FMH; [e] Dr. med. Allgemeine Medizin FMH; [f] 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.

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.

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 Studien 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 Krebserkrankungsrisiko 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].

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-

Published under the copyright license "Attribution – Non-Commercial – NoDerivatives 4.0". No commercial reuse without permission. See: http://emh.ch/en/services/permissions.html

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

Exposition	Nuklear-arbeiter	Nuklear-arbeiter	Nuklear-arbeiter	Radon in Häusern	Computer-tomographie in Kindheit	Computer-tomographie in Kindheit	Hintergrund-strahlung Kinder	Hintergrund-strahlung 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 / m3 (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 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 radioaktiven 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 Untersuchungsresultate geworben [17, 18], was sich auch unreflektiert in der Tagespresse niederschlägt [19].

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

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-

Published under the copyright license "Attribution – Non-Commercial – NoDerivatives 4.0". No commercial reuse without permission. See: http://emh.ch/en/services/permissions.html

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 Strahlenerythem) 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 kardiovaskulären 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 «minimen Risiken» 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 Werte verstossen gegen die geltende Strahlenschutzverordnung, die bei einem Erdbeben dieser Grössenordnung (10^{-4}) eine zusätzliche Strahlenbelastung von nur 1 mSv zulässt. Diese Gesetzwidrigkeit 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].

Diese Gesetzwidrigkeit muss eine Ausserbetriebnahme des KKW Beznau zur Folge haben.

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*

Published under the copyright license "Attribution – Non-Commercial – NoDerivatives 4.0". No commercial reuse without permission. See: http://emh.ch/en/services/permissions.html

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 Grenzwerterhöhung 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, Luftreinhaltemassnahmen, 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 jeglicher 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.

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

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

Published under the copyright license "Attribution – Non-Commercial – NoDerivatives 4.0". No commercial reuse without permission. See: http://emh.ch/en/services/permissions.html

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

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

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

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

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

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-Trivial 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/

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 10 000-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 10 000 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

21 Empfehlungen der International Commission of Radiological (ICRP), Publication 103, 2007. http://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-2009082154/1/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

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

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

Published under the copyright license "Attribution – Non-Commercial – NoDerivatives 4.0". No commercial reuse without permission. See: http://emh.ch/en/services/permissions.html

Methoden zur Einschätzung des Krebsrisikos: ENSI publiziert wissenschaftlichen Artikel

9. Dezember 2021 **News**, **Artikel**, **Strahlenschutz**

Die Methoden zur Berechnung des Krebsrisikos unterscheiden sich in ihrem Anwendungsgebiet und haben verschiedene Vor- und Nachteile. Generell zu bevorzugen ist dabei die «kumulative Risikoeinschätzungsmethode». Zu diesem Schluss kommen Luana Hafner, Fachspezialistin im Bereich Strahlenschutz des ENSI, und Epidemiologin Linda Walsh im Rahmen einer wissenschaftlichen Arbeit, die vom Journal of Radiological Protection publiziert wurde.

In der vom Journal of Radiological Protection publizierten Arbeit «Valid versus invalid radiation cancer risk assessment methods illustrated using Swiss population data» vergleicht Luana Hafner, Mitarbeiterin des ENSI, in Zusammenarbeit mit der Epidemiologin Linda Walsh zwei unterschiedliche Methoden zur Berechnung des Krebsrisikos: die Kollektivdosismethode und die kumulative Risikoeinschätzungsmethode.

+ Erläuterungen zur Kollektivdosismethode und zur kumulativen Risikoeinschätzungsmethode

Bei der Kollektivdosismethode wird die durchschnittliche Effektivdosis mit der Anzahl betroffener Personen multipliziert, um die Kollektivdosis zu berechnen. Basierend auf dieser Kollektivdosis werden dann die Anzahl möglicher durch Krebs verursachten Todesfälle mit einem Risikofaktor berechnet, für welchen das Linear-Non-Threshold-Modell (LNT) vorausgesetzt wird.

Bei der kumulativen Risikoeinschätzungsmethode hingegen wird ein durchschnittliches Krebsrisiko für eine bestimmte Bevölkerung, für ein bestimmtes Expositionsalter und Geschlecht mittels Integration über das erreichte Alter berechnet und es werden verschiedene Faktoren (Expositionsalter, Krebsart, Geschlecht etc.) in der Berechnung mitberücksichtigt. Die verwendeten Faktoren werden auch bei der Publikation der Resultate dementsprechend kommuniziert. Hierbei handelt es sich aber nicht um ein individuelles Krebsrisiko, da in dem Fall auch andere Faktoren wie Genetik, persönliche Radiosensitivität oder der Lifestyle berücksichtigt werden müssten.

In ihrer Arbeit wägen Luana Hafner und Linda Walsh die jeweiligen Vor- und Nachteile ab und definieren den passenden Anwendungsbereich beider Methoden. Die Autorinnen kommen zu dem Schluss, dass die kumulative Risikoeinschätzungsmethode gegenüber der Kollektivdosismethode aussagekräftiger ist. Die Autorinnen sprechen sich daher dafür aus, nur diese Methode zur Einschätzung des Krebsrisikos zu verwenden. Im Allgemein sollten nur Methoden, die aus wissenschaftlicher Sicht zulässig sind, in den dafür gedachten Anwendungsbereichen herangezogen werden.

Unsicherheiten bei der Berechnung

Die Arbeit thematisiert zudem die Risikoeinschätzung in verschiedenen Dosisbereichen sowie Unsicherheiten bei der Berechnung. Um die Themen und Methoden praktisch zu veranschaulichen, verwendeten Luana Hafner und Linda Walsh Beispiele basierend auf Daten der Schweizer Bevölkerung.

Weiter legen die Autorinnen dar, dass bei der Risikoeinschätzung einer Strahlenexposition im Dosisbereich unter 100 Millisievert (mSv) wegen der hohen Unsicherheiten keine ausreichende Beweiskraft für einen kausalen Zusammenhang zwischen Krebs und Strahlung gegeben ist. «Nichtsdestotrotz ist das Linear-Non-Threshold-Modell (LNT) in der Praxis auch unter 100 mSv wichtig», sagt Rosa Sardella, Bereichsleiterin Strahlenschutz beim ENSI. «Mit diesem LNT-Modell steht uns Strahlenschutz-Fachkräften im Arbeitsalltag ein sicherheitsgerichtetes Werkzeug für die Modellierung der Dosisabhängigkeit zur Verfügung.»

Aufschlüsselung eines komplexen Themas

Nach dem Reaktorunfall in Fukushima-Daiichi nahm das öffentliche Interesse an strahleninduzierten Krebsrisiken und deren Berechnungsmethoden stark zu. Diese Themengebiete aus den Bereichen Epidemiologie, Medizin und Strahlenschutz sind vielfältig und umfassend.

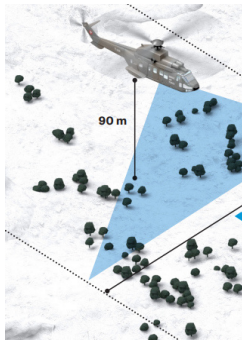
Mittlerweile gibt es verschiedene Berechnungsmethoden mit unterschiedlichen Anwendungsbereichen. Die Arbeit von Luana Hafner und Linda Walsh ermöglicht den Überblick über diese Methoden und trägt dazu bei, Unklarheiten, falsche Anwendungen oder Fehlinterpretationen von Studien und deren Resultaten nach Möglichkeit zu vermeiden.

Weitere Informationen

Hafner L, Walsh L. Valid versus invalid radiation cancer risk assessment methods illustrated using Swiss population data. Journal of Radiological Protection 2021 Sep 22. doi: 10.1088/1361-6498/ac290a

Verwandte Artikel

1/3



9. September 2022

«Dank modernem Strahlenschutz und technischem Fortschritt sind die Individual- und Kollektivdosen in den Kernanlagen stets gesunken»

Das ENSI nahm vom 5. bis 9. September 2022 an der dritten IAEA-Konferenz zum Thema Strahlenschutz am Arbeitsplatz und dessen Entwicklung in den letzten 20 Jahren teil.

› Weiterlesen

16. Juni 2022

Strahlenschutzbericht 2021: Alle Grenzwerte eingehalten

Im Jahr 2021 haben die Schweizer Kernanlagen sämtliche Grenzwerte der Strahlenschutzgesetzgebung eingehalten. Zu diesem Schluss kommt das ENSI im neuen Strahlenschutzbericht.

› Weiterlesen

9. Juni 2022

Radioaktivität der NAZ über Leibstadt

Vom 13. bis 17. Jur routinemässigen Radioaktivitätsme Nationalen Alarmz Dabei werden dies Kernkraftwerke Be überflogen.

› Weiterlesen