

Die kosmische Strahlung und der Kanton Bern

Das Bundesamt für Gesundheit überwacht die Umweltradioaktivität in der Schweiz und evaluiert die Strahlenexposition der Bevölkerung. Der (kleine) Beitrag zur Exposition, den die kosmische Strahlung liefert, wurde 2022 neu beurteilt. Dieser Artikel geht ausführlicher auf das Thema ein und sucht Bezüge zum Kanton Bern.

Autoren

Philipp Steinmann
Sybille Estier

Kosmische Protonen

Aus den Tiefen des Weltalls rasen unablässig hochenergetische Teilchen auf die Erde zu. Sie nennen sich «galactic cosmic rays» (GCR) und es sind zu fast 90% Protonen, also Wasserstoffkerne. Bei den verbleibenden rund 10% handelt es sich vorwiegend um Heliumkerne (Alphateilchen). Das Energiespektrum der kosmischen Teilchen reicht von einigen 10^8 eV (Elektronenvolt) bis zu etwas mehr als 10^{20} eV (BEER ET AL., 2012). Selbst die Teilchen am unteren Ende dieses Spektrums (einige 10^8 = einige Hundert MeV) liegen immer noch weit über den Energien von Teilchen, die beim radioaktiven Zerfall freigesetzt werden: Dort sind Alphateilchen mit 4–10 MeV die energiereichsten. Ein anderer Vergleich: Protonen im grossen Teilchenbeschleuniger LHC des CERN erreichen Energien bis zu 6.5×10^{12} eV (6.5 TeV; CERN, 2024), also viele Grössenordnungen tiefer als der «kosmische Rekord». (Für eine Umrechnung dieser hohen Energien in «Geschwindigkeit eines Baseballs» sei auf Wikipedia verwiesen.)

Jede Sekunde erreichen die Erde pro Quadratmeter etwa 200 kosmische Partikel. Die Anzahl nimmt mit zunehmender Energie aber stark ab. Nur ein Partikel von diesen 200 hat eine Energie von 10^{11} eV oder mehr. Eine Energie von 10^{16} eV sieht unser Quadratmeter gar nur einmal im Jahr. Und lediglich einmal im Jahrhundert – und dies pro Quadratkilometer – gibt es ein Teilchen mit allerhöchster Energie (10^{20} eV).

In *Abbildung 1* ist links neben der mit GCR bezeichneten galaktischen kosmischen Strahlung auch ein Partikelfluss S von der Sonne her angedeutet. Diese Elektronen und Protonen des Sonnenwindes weisen meist tiefere Energien als die kosmische Strahlung auf (10^2 – 10^4 eV). Es gibt aber energiereichere Partikel, die sogenannten «solar energetic particles» (SEP), mit Energien bis zu einigen 10^8 eV. Sie werden nur bei bestimmten Ereignissen ausgeworfen und dann als «solare kosmische Strahlung» bezeichnet. Der «normale» Sonnenwind beeinflusst aber durch seine Magnetfelder die Stärke der kosmischen Strahlung auf der Erde ebenfalls. Wir kommen auf diese «solare Modulation» weiter unten zurück.

Luftschauer

Zurück zu den hochenergetischen Protonen, die ja immer noch Richtung Erde rasen. Als geladene Teilchen werden sie im Erdmagnetfeld, je nach ihrer Energie mehr oder weniger stark, gegen die magnetischen Pole gedrängt. Darum ist die Intensität der kosmischen Strahlung dort deutlich höher. Bevor ein Proton die Erdoberfläche erreicht, ist die Wahrscheinlichkeit sehr gross, dass es in der Erdatmosphäre auf ein Stickstoff- oder Sauerstoffmolekül (N_2 , O_2) oder ein Argonatom trifft. Ab hier wird es für Nicht-Teilchenphysiker, wie den ersten Autor dieses Aufsatzes, etwas schwierig. Vereinfacht gesagt entsteht bei den Zusammenstössen eine ganze Reihe neuer Teilchen, die wiederum mit anderen Teilchen interagieren kön-

nen und so eine ganze Teilchenstrahlungskaskade auslösen, für die der anschauliche Begriff «Luftschauer» eingeführt wurde. *Abbildung 1* stellt den Vorgang schematisch dar. Hier wollen wir nur jene Teilchen betrachten, die zur Strahlendosis beitragen, also jene, die auch im menschlichen Körper Energie deponieren und dabei eine ionisierende Wirkung ausüben können.

Beim Auslösen des Luftschauers in den hohen Schichten der Atmosphäre werden erst einmal Myonen und Photonen freigesetzt. (Dass dies indirekt über Pionen geschieht, wollen wir hier, wie gesagt, verschweigen.)

Die energiereichen Photonen, auch Gammaquanten (γ) oder Gammastrahlung genannt, setzen eine eigene Kaskade in Gang. Dabei erzeugt das Photon durch den Paarbildungsprozess ein Elektron und dessen Antiteilchen, ein Positron. (Positron! Es ist der erste Nachweis der Existenz von Antimaterie, 1932, notabene bei der Erforschung der kosmischen Strahlung gelungen.) Die so gebildeten Elektronen können durch den Bremsstrahlungseffekt neue Gammaquanten erzeugen, die wiederum ein Elektron-Positron-Paar (e^-/e^+) hervorrufen. Diese Kettenreaktion wird als elektromagnetischer Schauer bezeichnet, «EM cascade» in *Abbildung 1*. Wie *Abbildung 2* zeigt, sind Photonen, Elektronen und Positronen auf einer Höhe von 12 000 m für rund 30% der kosmischen Strahlendosis verantwortlich. Der relative Beitrag zur Dosis nimmt Richtung Erdoberfläche rasch ab und ist auf 400 m Höhe noch rund 16%.

Bleiben wir bei *Abbildung 2* und betrachten uns die Myonen (μ^+ , μ^-). (Myonen!! «Wer hat denn die bestellt?» ist der bekannte Seufzer von Isaac Raabi, als Myonen 1936 als weitere neue Teilchen in der kosmischen Strahlung entdeckt wurden. Für mehr zur Geschichte der Erforschung der kosmischen Strahlung siehe VÖLKLE, 2010.) In *Abbildung 2* fällt auf, dass der Anteil der Myonen an der Strahlendosis Richtung Erdoberfläche nur wenig abnimmt. Die auch als «schwere Elektronen» beschriebenen Myonen interagieren relativ schwach mit Materie und haben eine grosse Reichweite in der Atmosphäre. Und dies trotz extrem kurzer Lebensdauer.

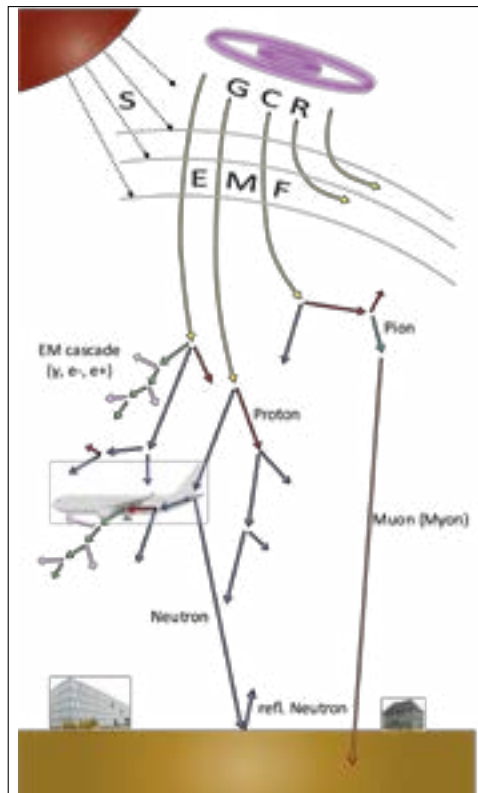


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Auftreffens der kosmischen Strahlung auf das Erdmagnetfeld und die Atmosphäre. GCR: galaktische kosmische Strahlung; EMF: Erdmagnetfeld; S: Sonnenaktivität; «EM cascade»: elektromagnetische Teilchenschauer; «refl. Neutron» am Boden reflektierte Neutronen. Abgeändert nach einer Darstellung der JAEA (<https://phits.jaea.go.jp/expacs/>; Zugriff Mai 2023)

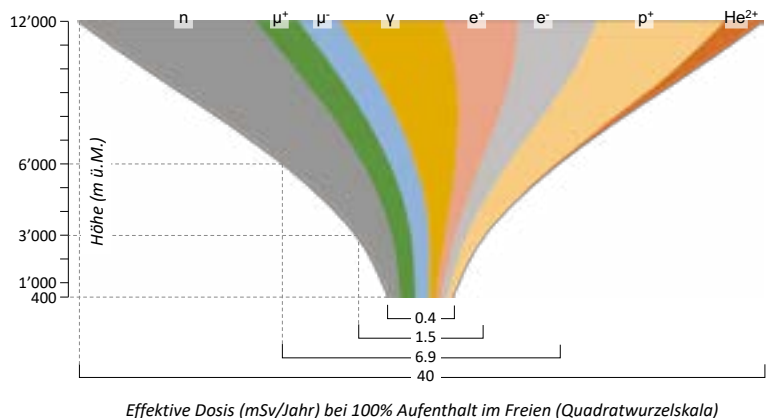


Abbildung 2: Dosisbeitrag der verschiedenen Teilchen eines Luftschauers in Abhängigkeit der Höhe über Meer. Dargestellt ist die effektive Dosis gerechnet mit EXPACS für dauerhaften Aufenthalt im Freien (E_f) für die geografische Lage des Kantons Bern.

Warum das so ist, erklärt die Relativitätstheorie (und etliche Youtube-Videos). Auf der Erdoberfläche, 400 m ü. M., machen Myonen fast 40% der Dosis durch kosmische Strahlung aus.

Einen grossen Anteil an der kosmischen Strahlendosis, besonders in grösserer Höhe, haben sekundäre Neutronen (n) der kosmischen Strahlung. Auch Neutronen haben eine relativ grosse Reichweite in der Atmosphäre und werden am Boden teilweise reflektiert. Dieses Neutronenalbedo hängt vom Wassergehalt des Bodens ab, da Neutronen besonders gut von Wasserstoffatomen gestoppt werden. Diese Abhängigkeit wird übrigens für Bodenfeuchtigkeitsmessungen genutzt (siehe z. B. JAKOBI ET AL., 2020).

Die Intensität der (sekundären) Protonenstrahlung (p⁺) nimmt mit zunehmender Tiefe in der Atmosphäre ab. Noch deutlicher ist die Abnahme bei den Alphateilchen (He²⁺), wie *Abbildung 2* zeigt.

Solare Modulation

Bevor die Teilchen der kosmischen Strahlung die Erde erreichen, durchqueren sie die Heliosphäre, den (hier spricht Wikipedia) «weiträumigen Bereich um die Sonne, in dem der Sonnenwind mit seinen mitgeführten Magnetfeldern wirksam ist». Die Intensität der Sonnenwinde hängt von der Sonnenaktivität ab, die anhand der Sonnenflecken abgelesen werden kann. Viele Sonnenflecken bedeuten hohe Sonnenaktivität. Die Wirkung der Sonnenaktivität auf die kosmische Strahlung auf der Erde ist eine «verkehrte»: Stärkerer Sonnenwind bewirkt eine grössere Abschwächung der kosmischen Strahlung in der Heliosphäre. Die Sonnenaktivität schwankt in einem Zyklus von rund 11 Jahren und dieser Zyklus findet sich auch in der Stärke der kosmischen Strahlung auf der Erde wieder. Wir können diese Schwankungen gut anhand der Beryllium-7-Konzentrationen in der Luft beobachten. Hier müssen wir eine weitere Interaktion der kosmischen Strahlung mit Atomen in der Atmosphäre erwähnen: Kosmische Protonen können Atome durch den Prozess der Spallation auch zersplittern und dabei neue, oft radioaktive, Isotope erzeugen.

Zu den so gebildeten, «kosmogenen» Radionukliden gehören Kohlenstoff-14 (¹⁴C), Tritium (³H) oder eben Beryllium-7 (⁷Be). Das BAG sammelt am Standort Liebefeld Aerosolpartikel mit einem Hochvolumensammler, um allfällige Spuren künstlicher Radionuklide empfindlich nachzuweisen. Glücklicherweise tauchen diese nur sehr selten auf. Das ⁷Be hingegen ist in allen Proben nachweisbar und die Messreihe «Liebefeld» umfasst inzwischen 11 Jahre. *Abbildung 3* vergleicht die durchschnittlichen ⁷Be-Jahreskonzentrationen mit dem Neutronenfluss, der von der Uni Bern auf dem Jungfrauoch gemessen wird. Das Physikalische Institut der Universität Bern verfolgt dort die Stärke der kosmischen Strahlung seit 1958 mit einem Neutronenmonitor (www.cosray.unibe.ch). Beide Kurven verlaufen einigermaßen parallel. Wir können also die zunehmende ⁷Be-Konzentration in der bodennahen Luft durchaus mit der zunehmenden Intensität der kosmischen Strahlung und der damit verbundenen grösseren Produktion von kosmogenen Radionukliden in der Höhe erklären. Ein abweichender Verlauf der beiden Kurven lässt sich 2022 ausmachen, wo die kosmische Strahlung, im beginnenden Sonnenzyklus 26, schon schwächer ist, die ⁷Be-Konzentration aber noch einmal ansteigt. Die Erklärung dafür sind vermutlich die sehr hohen Temperaturen im Sommer 2022. Hohe Lufttemperaturen verstärken die vertikale Konvektion in der Atmosphäre und dies bringt mehr ⁷Be-reiche Luft aus der oberen Troposphäre zur Erdoberfläche. Der Zusammenhang zwischen kosmischer Strahlung und dem ⁷Be in bodennaher Luft ist auch bei älteren Messreihen der anderen Messstationen in der Schweiz gut erkennbar (STEINMANN ET AL., 2013).

Neben den langfristigen Änderungen der Sonnenaktivität gibt es auch kurzfristigere Ereignisse auf der Sonne, die die kosmische Strahlung beeinflussen. Sogenannte «koronale Massenauswürfe» (abgekürzt CME, für «coronal mass ejection») erhöhen die Sonnenwinde während Stunden oder Tagen und führen auf der Erde zu einer Abnahme der kosmischen Strahlung, ein «Forbush decrease». Auch das kann anhand von Berner

Messungen demonstriert werden: Im Mai 2023 meldete earthsky.org «Sun activity for May 11, 2023: CME coming our way, G3 storms expected». Den zugehörigen «Forbush decrease» haben die bereits erwähnten Messungen auf dem Jungfrauoch bestätigt (Abbildung 4).

Von der Strahlung zur Dosis

Die obigen Ausführungen erhellen, dass die kosmische Strahlung in der Erdatmosphäre ein komplexes Strahlungsfeld verursacht, mit verschiedenen Partikeln unterschiedlicher Energien. Trifft diese Strahlung auf Materie, so hat sie eine ionisierende Wirkung; man spricht deshalb auch von ionisierender Strahlung. Im menschlichen Körper kann ionisierende Strahlung Moleküle durch das Aufbrechen von chemischen Bindungen zwischen Atomen direkt verändern oder indirekt über die Bildung von reaktiven Sauerstoffspezies (engl. Reactive Oxygen Species, ROS) aus Wassermolekülen. Beide Prozesse führen zu Schäden an Lipiden, Proteinen und DNA-Molekülen. Die internationale Strahlenschutzkommission ICRP hat ein System entwickelt, um die Art und Intensität einer Strahlung in die sogenannte «effektive Dosis» umzurechnen, ein Mass für den erzeugten biologischen Schaden. Die effektive Dosis ist proportional zur Erhöhung des Risikos einer Krebserkrankung, der häufigsten Folge ionisierender Strahlung. Die Berechnung der effektiven Dosis basiert auf der von der Strahlung an ein bestimmtes Körpervolumen abgegebenen Energie. Diese *absorbierte Energiedosis* ist eine messbare Grösse und wird in der Einheit Gray (Gy) angegeben. Bei der Umrechnung in die biologisch wirksame *effektive Dosis* wird zunächst die Art der Strahlung berücksichtigt, um die *Äquivalentdosis* zu erhalten. Die dabei verwendeten Strahlungsgewichtungsfaktoren sind beispielsweise für Photonen und Myonen 1, für Protonen 2 und für Neutronen, abhängig von der Energie, zwischen 2.5 und 20 (ICRP, 2010). Weiter ist auch die Strahlenempfindlichkeit der betroffenen Organe zu beachten. Für strahlenempfindliche Organe wie das Herz, die Niere oder der Darm ist der Gewebegewich-

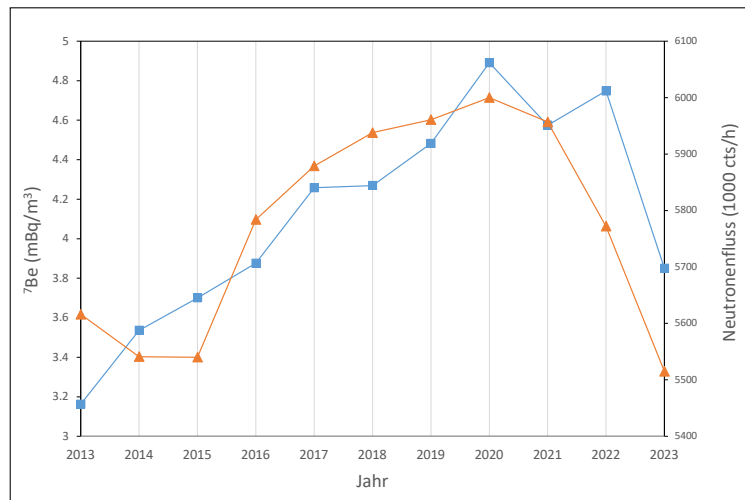


Abbildung 3: Konzentrationen von ^7Be in mBq/m³ in bodennaher Luft, gemessen am BAG-Standort in Liebefeld (Quadrate; Daten: BAG, radenviro.ch) sowie die Intensität der kosmischen Strahlung anhand des auf dem Jungfrauoch gemessenen Neutronenflusses (Dreiecke; Daten: <http://cosray.unibe.ch>).

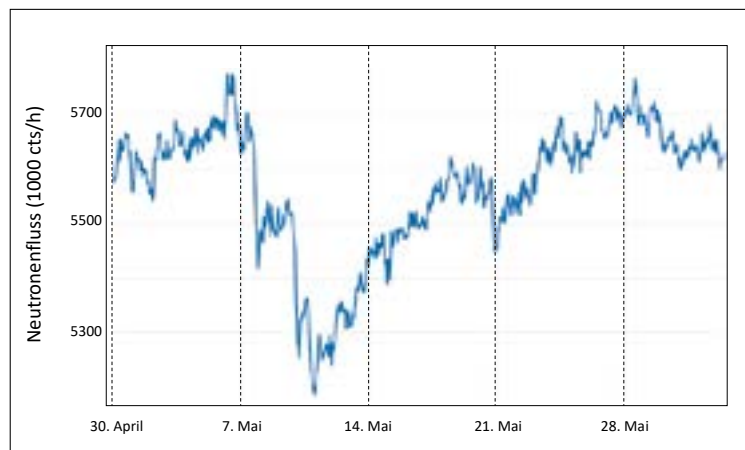


Abbildung 4: Messreihe der Intensität der kosmischen Strahlung auf dem Jungfrauoch, IGY Neutronen-Monitor der Universität Bern (cosray.unibe.ch). Die durch einen koronalen Massenauswurf der Sonne verursachte Forbush-Abnahme vom 11. Mai 2023 ist deutlich zu sehen.

tungsfaktor zwölfmal höher als für unempfindlichere Organe wie die Haut. Die Einheit der so erhaltenen effektiven Dosis ist das Sievert (Sv) oder im Strahlenschutz meist das Millisievert (mSv). Ein paar Angaben zur Einordnung: 1 mSv ist die Dosis, die der allgemeinen Bevölkerung durch künstliche Radioaktivität maximal zugemutet werden

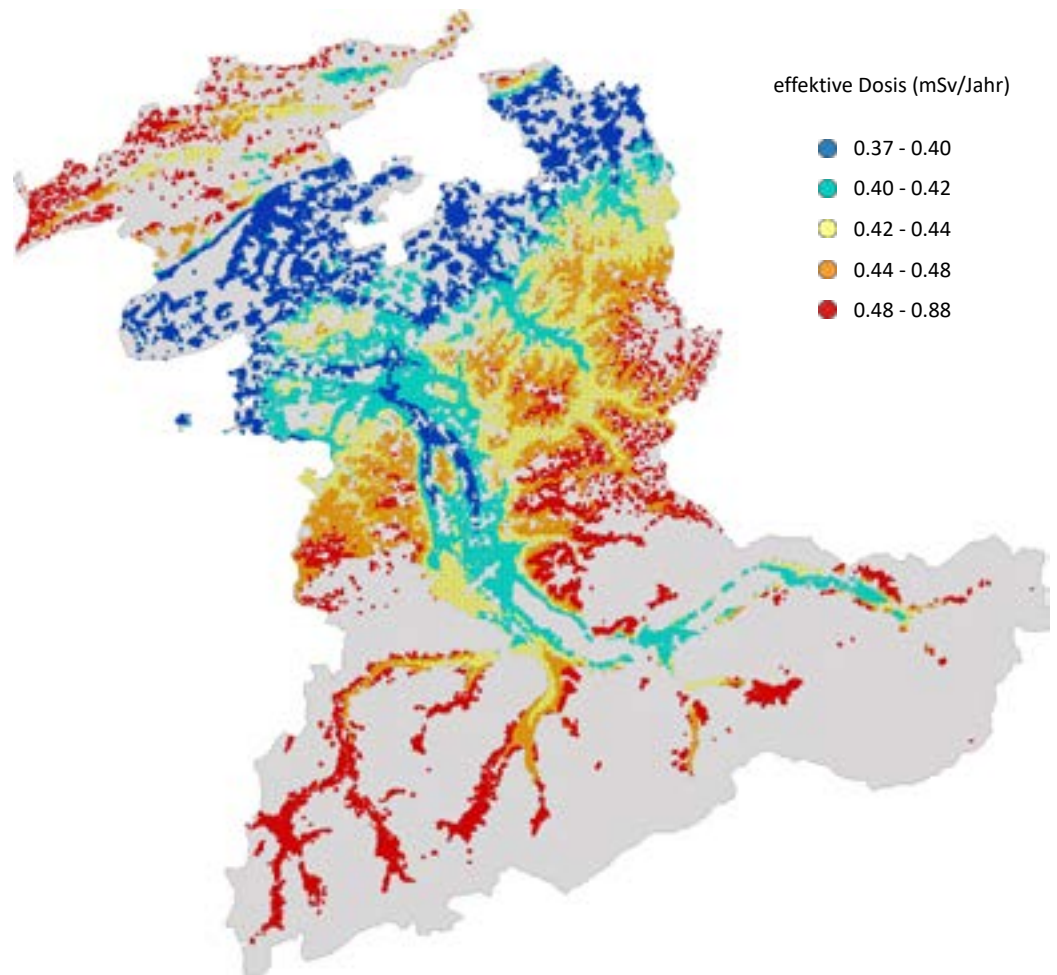


Abbildung 5: Eine Karte der Jahresdosis E_e in mSv durch kosmische Strahlung im Kanton Bern. Gerechnet mit dem Modell EXPACS für eine mittlere Sonnenaktivität ohne Berücksichtigung der Abschirmung durch Gebäude (100% Aufenthalt im Freien). Die Auflösung ist 200×200 m; nur Gebiete mit dauerhafter Wohnbevölkerung sind dargestellt.

kann; 6 mSv ist die durchschnittliche jährliche Strahlenexposition der Schweizer Bevölkerung (Radon im Hausinnern, natürliche Quellen und Medizin; BAG, 2023, Kap. 2.1); 20 mSv ist der Grenzwert für die Jahresdosis von beruflich strahlenexponierten Personen. Die Strahlenkrankheit tritt bei Erwachsenen – der Fötus und Kinder sind gegenüber Strahlung empfindlicher – nach akuten Strahlendosen von 1000 mSv oder mehr auf. Die durchschnittliche Strahlendosis durch kosmische Strahlung am Boden beträgt in der Schweiz 0.35 mSv. Dieses komplexe und interessante Phänomen leistet also einen relativ bescheidenen Beitrag zur Strahlenexposition am Boden.

Kartografie der kosmischen Strahlung im Kanton Bern

Abbildung 5 zeigt eine Karte des Kantons Bern mit der jährlichen effektiven Strahlendosis. Dargestellt ist diese für jeden Quadranten von 200×200 m mit einer ständigen Wohnbevölkerung. Für die Berechnung der effektiven Dosis wurde das Programm EXPACS verwendet, ein vielschichtiges, aber einfach zu bedienendes Excel-basiertes Modell, das frei verfügbar ist (<https://phits.jaea.go.jp/expacs>, Menü «Downloads» wählen). Die Eingabeparameter für die Koordinaten und die Höhen stammen aus dem digitalen Höhenmodell 200×200 m von

Swisstopo, ein Datum mit mittlerer Sonnenaktivität wurde gewählt und für das Neutronenalbedo eine Bodenfeuchtigkeit von 20% eingegeben. Genauere Angaben zum Vorgehen finden sich in BAG (2023, Kap. 2.3), detaillierte Angaben zu EXPACS in Sato (2016). Für ein eng begrenztes Gebiet wie den Kanton Bern hängt die Dosis im Wesentlichen von der Höhe über Meer ab. Die Karte zeichnet also mehr oder weniger das Höhenmodell der ständig bewohnten Gebiete des Kantons in Einheiten der jährlichen Dosis ohne Berücksichtigung des Aufenthalts im Hausinnern nach.

Um die durchschnittliche Strahlenexposition der Bevölkerung zu berechnen, stützen wir uns auf die Bevölkerungsdaten des Bundesamtes für Statistik und errechnen den mit der Bevölkerung gewichteten Durchschnitt aller Quadranten. Dabei wird auch eine Abschirmung der kosmischen Strahlung im Innern von Gebäuden berücksichtigt nach der Formel

$$E_a = 0.2 \times E_f + 0.8 \times (E_f \times 0.85) = 0.88 \times E_f$$

wobei E_a die effektive Dosis mit Abschirmung im Gebäudeinnern, E_f die Dosis ohne Abschirmung (im Freien), 0.8 die Aufenthaltszeit im Innern von Gebäuden (80% der Zeit), 0.2 die Aufenthaltszeit im Freien (20% der Zeit) und 0.85 der Abschirmungsfaktor (15% der Strahlung werden abgeschirmt) ist. Für den Kanton Bern ergibt sich so eine durchschnittliche Jahresdosis durch kosmische Strahlung von 0.36 mSv. Die Verteilung innerhalb der Bevölkerung ist in *Abbildung 6* dargestellt. Am häufigsten tritt die Dosisklasse 0.35–0.36 mSv auf. Die höchsten Werte treten an den höchstgelegenen ständig bewohnten Orten auf: Kleine Scheidegg (2061 m, effektive Dosis durch kosmische Strahlung $E_a = 0.77$ mSv/Jahr), Grimsel Hospiz (1980 m, $E_a = 0.72$ mSv/Jahr) sowie Engstligenalp und Hahnenmoospass (1960/1950 m, $E_a = 0.71$ mSv/Jahr). Der tiefstgelegene Punkt des Kantons, mit der niedrigsten Dosis, befindet sich bei Wynau, wo die Aare den Kanton Bern definitiv verlässt (400 m, $E_a = 0.33$ mSv/Jahr).

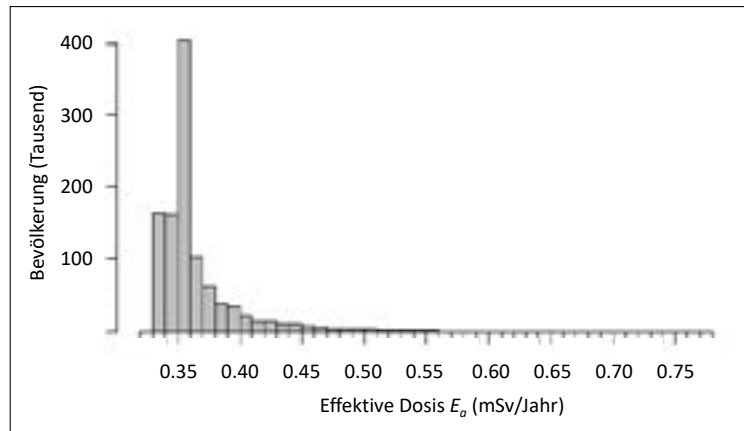


Abbildung 6: Histogramm der Anteile der Bevölkerung pro Dosisklasse (effektive Dosis E_a , Klassenbreite 0.01 mSv) der kosmischen Strahlung mit Berücksichtigung einer Abschirmung von 15% durch und eines Aufenthalts von 80% in Gebäude(n).

Der Vielflieger, die Hüterin vom Jungfraujoch und die weite Welt

Abbildung 2 zeigt deutlich, dass die kosmische Strahlung mit der Höhe stark zunimmt bis zu $E_f = 40$ mSv in einem Jahr in 12 000 m Höhe. Flugpersonal und Flugpassagiere, die typischerweise auf 11 000 bis 12 000 m ü. M. unterwegs sind, sind also dieser stärkeren Strahlung ausgesetzt. Dabei ist zu bedenken, dass die Grafik in *Abbildung 2* für die Breitengrade des Kantons Bern erstellt wurde. Weiter gegen die Pole ist die Strahlung, wie schon erwähnt, deutlich stärker. Nördlich des Polarkreises rechnet EXPACS mit einer Dosis von $E_f = 63$ mSv auf 12 000 m Höhe. Die Dosis für Flugpersonal muss von den Fluggesellschaften erfasst werden, damit sie, wenn nötig, begrenzt werden kann (z. B. durch Wahl der Flugrouten und der Arbeitszeit in der Luft). In Deutschland beträgt die durchschnittliche Jahresdosis des fliegenden Personals 1.82 mSv (BfS, 2024).

Auf der Karte in *Abbildung 5* fehlt das bereits erwähnte Jungfraujoch. Das hat zwei Gründe: Erstens befinden sich die Gebäude dort genaugenommen auf Walliser Boden und zweitens gibt es nach Bundesamt für Statistik keine dauerhafte Wohnbevölkerung. Weil es aber vom Kanton Bern her erschlossen und immerhin «top of Europe» ist, wollen wir doch eine Berechnung dafür anstellen. EXPACS gibt für das Jungfraujoch

eine jährliche effektive Dosis E_f (Daueraufenthalt im Freien) von 1.95 mSv an. Wer also die Hälfte der Zeit auf dem Joch arbeitet, sonst in Interlaken wohnt, erhält nach der Formel oben eine Jahresdosis von

$$E_a = 0.5 \times 1.95 \times 0.88 + 0.5 \times 0.40 \times 0.88 = 1.03 \text{ mSv}$$

wobei E_a wieder für die effektive Dosis mit Berücksichtigung der Abschirmung in Gebäuden steht und 0.4 der E_f -Wert für Interlaken ist. Weltweit werden die höchsten kosmischen Strahlendosen in grosser Höhe in Nepal ($E_a = 6.1$ mSv) oder im hohen Norden Kanadas ($E_a = 5.6$ mSv) erreicht (SATO, 2016, S1). Die tiefsten Werte finden sich auf Meereshöhe in Äquatornähe, beispielsweise in Indonesien ($E_a = 0.23$ mSv).

Literatur

- BAG, 2023. Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 2022. www.bag.admin.ch/ura-jb
- BEER, J. ET AL., 2012. Cosmogenic Radionuclides, Physics of Earth and Space Environments, DOI 10.1007/978-3-642-14651-0_1, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- BfS, 2024. Überwachung des fliegenden Personals (<https://www.bfs.de/DE/themen/ion/strahlenschutz/beruf/methodik/fliegendes-personal.html>) abgefragt Mai 2024.
- CERN, 2024. Facts and figures about the LHC; <https://home.cern/resources/faqs/facts-and-figures-about-lhc>; abgefragt Mai 2024.
- ICRP, 2010. Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposures. ICRP Publication 116, Ann. ICRP 40(2-5).
- JAKOBI, J. ET AL., 2020. Error Estimation for Soil Moisture Measurements With Cosmic Ray Neutron Sensing and Implications for Rover Surveys. *Front. Water* 2:10. <https://doi.org/10.3389/frwa.2020.00010>
- VÖLKLE, H., 2010. Die kosmische Strahlung. *Bull. Soc. Frib. Sc. Nat.* Vol. 100, p. 1-35. <https://www2.unifr.ch/sfsn/pdf/kosmische%20Strahlung.pdf>
- SATO, T., 2016. Evaluation of World Population-Weighted Effective Dose due to Cosmic Ray Exposure. *Sci. Rep.* 6, 33932. DOI: 10.1038/srep33932.
- STEINMANN, P. ET AL., 2013. Cosmogenic ^7Be and ^{22}Na in ground level air in Switzerland (1994-2011). *J. Env. Rad.* 124, 68-73. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2013.03.012.



Philipp Steinmann

Philipp Steinmann promovierte an der Universität Bern; danach Forschung und Lehre im Bereich Umweltgeochemie und Umweltradioaktivität; seit 2007 wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Sektion Umweltradioaktivität des Bundesamtes für Gesundheit. Dieser Artikel ist auch inspiriert durch seine Mitarbeit am kommenden UNSCEAR Bericht zur Strahlenexposition der allgemeinen Bevölkerung.

Kontakt: Philipp.Steinmann@bag.admin.ch



Sybille Estier

Sybille Estier studierte Physik und promovierte an der ETH Lausanne; seit 2007 leitet sie die Sektion Umweltradioaktivität des Bundesamtes für Gesundheit.

Kontakt: sybille.estier@bag.admin.ch



Bild: AdobeStock

Beobachte das kleinste Detail, und du wirst Grosses entdecken.

Barth, Sabine Michaela