

Zeitschrift: Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles = Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg
Herausgeber: Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles
Band: 103 (2014)

Artikel: Erhöhte kosmische Strahlung beim Fliegen und deren mögliche Folgen auf die Gesundheit beim fliegenden Personal
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-583612>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Erhöhte kosmische Strahlung beim Fliegen und deren mögliche Folgen auf die Gesundheit beim fliegenden Personal¹

HANSRUEDI VÖLKLE

Physikdepartement der Universität Freiburg

Kurzfassung

Die erhöhte kosmische Strahlenexposition beim fliegenden Personal ist für den Strahlenschutz dieser Personen von grosser Relevanz, bilden diese doch die meistexponierte Personenkategorie unter allen beruflich strahlenexponierten Personen. Diese Personengruppe ist zudem recht gross, was epidemiologische Studien rechtfertigt. Im Artikel werden die Dosen dieser Personen sowie Ergebnisse bisheriger epidemiologischer Erhebungen zusammengefasst. Vielflieger und Luftkurierer wurden bislang in solchen Studien bislang noch nicht erfasst, da entsprechende Daten von den Fluggesellschaften nicht freigegeben werden. Sie könnten insofern eine möglicherweise vulnerablere Population darstellen, da sie nicht vom so genannten «Healthy Worker» Effect⁴ profitieren.

1. Einleitung und kosmische Strahlenexposition

Die im Vergleich zum Meeresniveau erhöhte Exposition durch kosmische Strahlung in 10 bis 15 km Höhe ist aus der Sicht des Strahlenschutzes vor allem bei der Zivilluftfahrt, also beim fliegenden Personal und sehr wahrscheinlich auch bei Vielfliegern² und Luftkurierern, nicht zu vernachlässigen. Bei den Letzteren gibt es vereinzelt Personen, die praktisch gleich viele Stunden im Flugzeug verbringen wie das fliegende Personal, nämlich etwa die Hälfte ihrer regulären Arbeitszeit, das sind rund 2000 Stunden pro Jahr.

Bei der kosmischen Strahlung³ handelt es sich um einen Strom hochenergetischer⁴ (bis 10^{20} eV), geladener Teilchen solaren, galaktischen und teilweise extragalaktischen Ursprungs, die von allen Seiten auf die Erdatmosphäre auftreffen. Durch das Erdmagnetfeld wird ein Teil davon Richtung Pole abgelenkt und erzeugt dort die Polarlichter. Die durch Wechselwirkung mit der Luft entstandene sekundäre kosmische Strahlung wird durch die Atmosphäre stark geschwächt (*andernfalls wäre sie für Lebewesen auf der Erde gefährlich*): Die Dosis nimmt somit mit der Höhe bis auf etwa 10 km annähernd exponentiell zu. Während die primäre Strahlung hauptsächlich aus Protonen (87%), wenig Helium-Kernen (12%) und noch weniger schwereren Kernen (1%) besteht, umfasst die sekundäre Strahlung bei den so genannten Schauern einer ganzen Reihe von Elementarteilchen wie Protonen (p), Neutronen (n), Elektronen (e⁻) und Positronen (e⁺), aber auch Neutrinos (ν), Myonen (μ[±]), Pionen (π[±]), Gamma-Quanten (γ) und vielen weiteren, teilweise exotischen, Elementarteilchen⁵.

2. Verteilung und Grössenordnung der Strahlendosis beim fliegenden Personal

Auf 10'000 m Höhe beträgt die Dosisleistung durch die kosmische Strahlung in der Äquatorialregion etwa 2 μSv/h⁶, in den Polregionen etwa 3 bis 6 μSv/h⁶. Ein Nordatlantik-Überseeflug (*hin*

¹ Dieser Text ist eine überarbeitete und ergänzte Fassung eines Artikel von 2014 für das Forum Medizin und Energie (<http://www.fme.ch/cms2/>)

² Siehe auch: <http://de.wikipedia.org/wiki/Vielfliegerprogramm>

³ Zur kosmischen Strahlung siehe auch: <http://www.unifr.ch/sfsn/pdf/kosmische%20Strahlung.pdf>

⁴ 10^{20} eV ist rund 10^7 -mal die Maximalenergie, die der LHC-Beschleuniger beim CERN je erreichen wird

⁵ Zum Standardmodell der Elementarteilchen siehe auch: <http://www.unifr.ch/sfsn/pdf/Standardmodell.pdf>

und zurück) ergibt eine zusätzliche Dosis von etwa 0.06 mSv⁶. Das fliegende Personal ist so die mit am stärksten strahlenexponierte Personengruppe, zumindest in den industrialisierten Ländern. Deren durchschnittliche Jahresdosen sind beispielsweise in Deutschland doppelt so hoch wie bei Personen, die in der Kerntechnik arbeiten (*im Vergleich zu strahlenexponierten Personen in der Medizin gar 5 mal höher*) und hat von 2004 bis 2009 um 20 % zugenommen. Die Verteilung der Dosis über das gesamte betrachtete Kollektiv zeigt eine andere Form als beispielsweise jene der übrigen beruflich strahlenexponierten Personen in der Kernenergie, Medizin und Forschung, von denen 75 % Dosen unter 0.5 mSv⁶ im Jahr erhalten. Wenn ein Flugzeug zufälligerweise einen hoch-energetischen Teilchenstrom, wie er bei Sonneneruptionen emittiert wird, können die Insassen kurzfristig deutlich höheren, möglicherweise gesundheitsrelevanten, Dosen ausgesetzt sein.

Beim fliegenden Personal zeigt die Verteilung der effektiven Dosis ein deutliches Maximum zwischen 2 und 5 mSv pro Jahr (s. Abb. 1). Die Maximalwerte können, z.B. bei Polarrouuten, sogar bis 7 mSv pro Jahr betragen. Im Europäischen Vergleich veröffentlicht das Deutsche Bundesamt für Strahlenschutz¹ auf seiner Web-Seite die folgenden Daten für das arithmetische Mittel der Jahresdosen in mSv beim fliegenden Personal für die Jahre 2004 bis 2009: Belgien 1.85, Dänemark 1.8, Deutschland 2.35, Finnland 2.1, Irland 2.4, Niederlande 1.73, Slowenien 1.16, Schweden 2.55, Tschechische Republik 1.09 und Vereinigtes Königreich 2.0 mSv. Insgesamt sind bei diesen Daten 91'092 Personen erfasst worden⁷. Die Tendenz ist gemäss der Zunahme des Flugverkehrs und bei Berücksichtigung der immer grösser werdenden Zahl der Fluggäste (*mehr als Zehntausend regelmässig fliegende Personen sind betroffen*) steigend, was eine Durchführung diesbezüglicher epidemiologischer Studien mit hoher statistischer Relevanz erwarten lässt.⁸

3. Epidemiologische Studien

Bisher durchgeführte epidemiologische Untersuchungen⁹ lassen offensichtlich beim fliegenden Personal für gewisse Krebsarten ein leicht aber doch signifikant erhöhtes Erkrankungsrisiko erkennen. Ob diese Tatsache ausschliesslich auf die erhöhte kosmische Strahlung beim Fliegen in grossen Höhen zurückgeführt werden kann, muss allerdings zumindest bezweifelt werden, da auch andere mögliche Ursachen in Betracht gezogen werden müssen. In diesem Zusammenhang werden beispielsweise genannt: luftgetragene Schadstoffe im Flugzeug (z.B. *Kerosindämpfe*), stressbedingter erhöhter Alkohol- und Tabakkonsum und Störung des zirkadianen Rhythmus¹⁰ durch Jetlag (auch «Zeitzonekater») bei regelmässigen Langstreckenflügen mit einer damit verbundenen möglichen Schwächung des Immunsystems. Beispiele von Ergebnissen solcher epidemiologischer Studien sind in den Abb. 2 (Mortalität) und Abb. 3 (Morbidität) zusammengestellt. Die Daten stammen aus der Arbeit von GAËL P. HAMMER und MARIA BLETTER aus der Zeitschrift Strahlenschutzpraxis¹¹.

Die Autoren kommen, zusammengefasst, zu folgenden Schlussfolgerungen: Insgesamt wird eine im Vergleich zur übrigen Bevölkerung niedrigere Sterberate festgestellt, insbesondere bei Kardio-

⁶ Das mSv (milli-Sievert = 1/1000 Sv, bekannt nach dem schwedischen Physiker RALF SIEVERT) ist die Einheit für die Strahlendosis. Die gleichen Anzahl Sv bedeutet, unabhängig von Art und Herkunft der Strahlung das gleiche Risiko an einem strahlenbedingten Leiden (vor allem Krebs) zu erkranken oder Nachkommen mit schweren genetischen Erbschäden zu zeugen. Die gesamte, durchschnittliche Strahlendosis der Schweizer Bevölkerung aus allen natürlichen und künstlichen Quellen beträgt rund 5 mSv pro Jahr. 1 µSv sind 1/1000 mSv

⁷ http://www.bfs.de/de/ion/beruf_schutz/methodik/flug_personal.html/printversion

⁸ Gemäss Angaben des Bundesamtes für Statistik hatten sämtliche Schweizer Flughäfen und Flugplätze im Jahre 2013 zusammen 45.5 Millionen Passagiere und diese absolvierten im gleichen Jahre 79'827 Millionen Flugkilometer, das ergibt pro Flug rund 1700 km, oder auf die Schweizer Bevölkerung umgerechnet rund 10'000 km pro Jahr und Person, als knapp etwas mehr als ein einfacher Nordatlantikflug

⁹ Studien über menschliche Bevölkerungsgruppen, die den Zusammenhang zwischen einer Erkrankung (z.B. Krebs) und einer bestimmten Ursache (z.B. Belastung durch eine chemische Substanz) erforschen. (Source: Wikipedia)

¹⁰ Als zirkadiane Rhythmik bezeichnet man in der Chronobiologie zusammenfassend die endogenen Rhythmen, die eine Periodenlänge von circa 24 Stunden haben: http://de.wikipedia.org/wiki/Circadiane_Rhythmik

¹¹ Strahlenschutzpraxis Nr. 2/2014 auf den Seiten 15-17

vaskulären Ursachen, am deutlichsten bei den Piloten (so genannter «*Healthy Worker Effect*»¹²). Bei malignem Melanom und andern Hautkrebs ist die Inzidenz höher als bei der übrigen Bevölkerung; als Ursache wird hier vorwiegend UV-Strahlung angenommen. Das Krebsrisiko ist insgesamt nicht höher als dasjenige der Allgemeinbevölkerung, mit Ausnahme von malignen Melanomen und bei der Inzidenz von andern Hauttumoren sowie bei Brustkrebs. Bei der deutlich höheren Mortalität durch andere Hautkrebserkrankungen bei männlichen Flugbegleitern, die sich folglich auch auf die gesamte Mortalität auswirkt, wird AIDS als wahrscheinliche Ursache gesehen¹³. Die Störung des zirkadianen Rhythmus durch die überflogenen Zeitzonen kann durch verminderte Melatonin-Sekretion die Entwicklung hormonabhängiger Krebsarten wie Brustkrebs und möglicherweise Prostatakarzinom begünstigen.¹⁴

4. Aufklärung aus der Sicht des Strahlenschutzes

Bei der Bevölkerung und selbst bei einigen Strahlenschützern ist dieser Sachverhalt kaum oder gar nicht bekannt. Auf der andern Seite bestehen in dieser Hinsicht beim Flugpersonal berechnete Ängste, die eine fachgerechte Aufklärung aus der Sicht des Strahlenschutzes rechtfertigen, wenn nicht sogar erfordern. Hinzu kommt, dass Strahlenschutzmassnahmen hauptsächlich administrativer Art für diese Personengruppe im Atom- bzw. Strahlenschutzrecht der einzelnen Länder unterschiedlich geregelt sind. In vielen Ländern wird diese Personengruppe (zu Recht) zu den beruflich strahlenexponierten Personen gezählt mit allen Konsequenzen, die damit verbunden sind. In andern Ländern stehen diesbezügliche Regelungen (*noch*) aus; in der Schweiz soll dies bei der kommenden Novellierung der Strahlenschutzverordnung ebenfalls berücksichtigt werden.

5. Strahlenexposition von Einzelflugreisenden

Die Werte der Dosen beim Luftverkehr sind vergleichbar mit denjenigen von medizinischen Röntgenuntersuchungen (etwa 0.01 – 1 mSv pro Aufnahme oder 2 bis 10 mSv durch Computertomografie). Für einen Einzelflug ist das Strahlenrisiko demnach gering bis vernachlässigbar. Bei Flügen innerhalb Europas ist mit Dosen von wenigen bis etwa 20 μSv ¹⁵ zu rechnen; bei Interkontinentalflügen mit bis knapp über 100 μSv ; wobei die höheren Werte bei Flügen über die Polarroute auftreten, da die kosmische Strahlung dort etwas stärker ist als gegen den Äquator.

6. Interplanetare Raumfahrt

Schliesslich sei noch ein weiteres Feld erwähnt, bei dem man sich mit der Gefährdung durch die kosmische Strahlung auseinandersetzen muss. Gemeint sind der Aufenthalt im Weltraum (z.B. in Raumstationen) und – möglicherweise in der Zukunft - die interplanetare Raumfahrt. Obwohl wir noch über kein gesichertes Wissen zur Strahlenexposition, geschweige über konkrete Ergebnissen von Dosismessungen, aus diesen Gebieten verfügen, muss doch, je nach Reiseziel, mit vergleichs-

¹² Der «Healthy-Worker»-Effekt bezeichnet einen statistischen Effekt in epidemiologischen Kohortenstudien, der einen besseren Gesundheitsstatus von Beschäftigten als dem der Gesamtbevölkerung aufzeigt. Dies ist dadurch zu erklären, dass innerhalb einer Kohorte Berufstätige einen gewissen Gesundheitszustand aufweisen müssen, um ihre Arbeit ausführen zu können (also spezielle ausgewählt werden und auch regelmässigen medizinischen Kontrollen unterworfen sind), während in der Gesamtbevölkerung unter anderem auch diejenigen Personen enthalten sind, die krankheitsbedingt arbeitsunfähig sind. Dieser verzerrende Effekt bedingt, dass Vergleiche zur Gesamtbevölkerung in der Regel problematisch sind. Der «Healthy-Worker-Effekt» kann also zu einer Unterschätzung der arbeitsbedingten Morbidität führen, wofür langjährige Nachtarbeiter im Drei-Schichten-Betrieb ein klassisches Beispiel sind.

http://de.wikipedia.org/wiki/Healthy_worker_effect

¹³ U.a. hauptsächlich Kaposi-Sarcoma

¹⁴ GAËL P. HAMMER und MARIA BLETTNER: «Stand der epidemiologischen Forschung beim Fliegenden Personal», Strahlenschutzpraxis 2/2014, Seiten 15 bis 17.

¹⁵ 1 μSv = 1/1000 mSv oder 10^{-6} Sv.

weise hohen Dosiswerten gerechnet werden. Entsprechend wirksame Abschirmungen werden wegen der sehr hohen Energien der kosmischen Strahlung und der daraus resultierenden Gewichtsprobleme wohl kaum zu realisieren sein, zumal solche Reisen, z.B. zum Mars, viele Monate dauern werden. Hier könnten u.U. Gesamtdosen bis in den Bereich Sv auftreten¹⁶. Hinzu kommt, dass der Mars nur ein schwaches Magnetfeld und eine sehr dünne Atmosphäre hat, der Schutz vor kosmischer Strahlung wäre somit auch auf dem Mars lange nicht so gut wie auf der Erde und die Dosen somit auch bei Aufenthalt auf dem Mars höher als auf der Erde¹⁷.

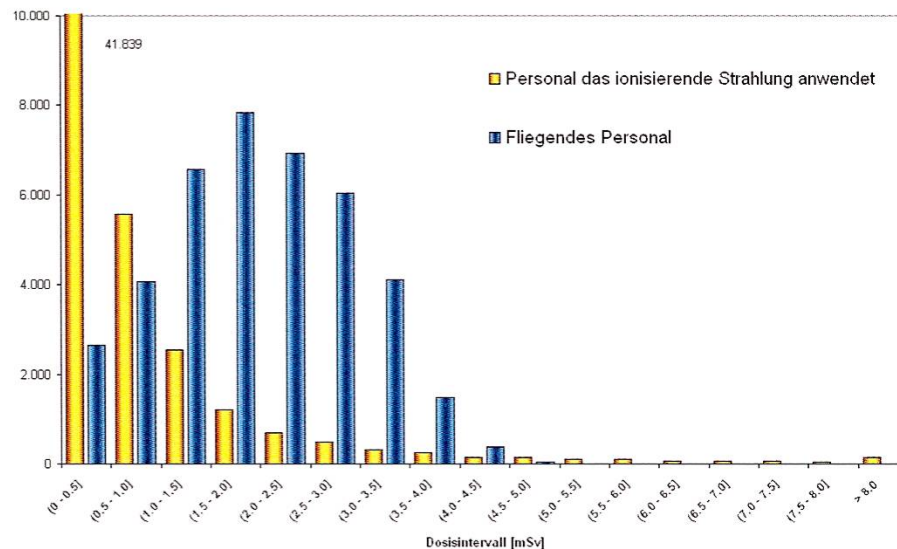


Abb. 1: Dosen des fliegenden Personals für Deutschland im Jahr 2012 im Vergleich zu den übrigen strahlenexponierten Personen in Kernenergie, Medizin, Industrie und Forschung. Quelle: Deutsches Bundesamt für Strahlenschutz: http://www.bfs.de/de/ion/beruf_schutz/methodik/Abb3.jpg

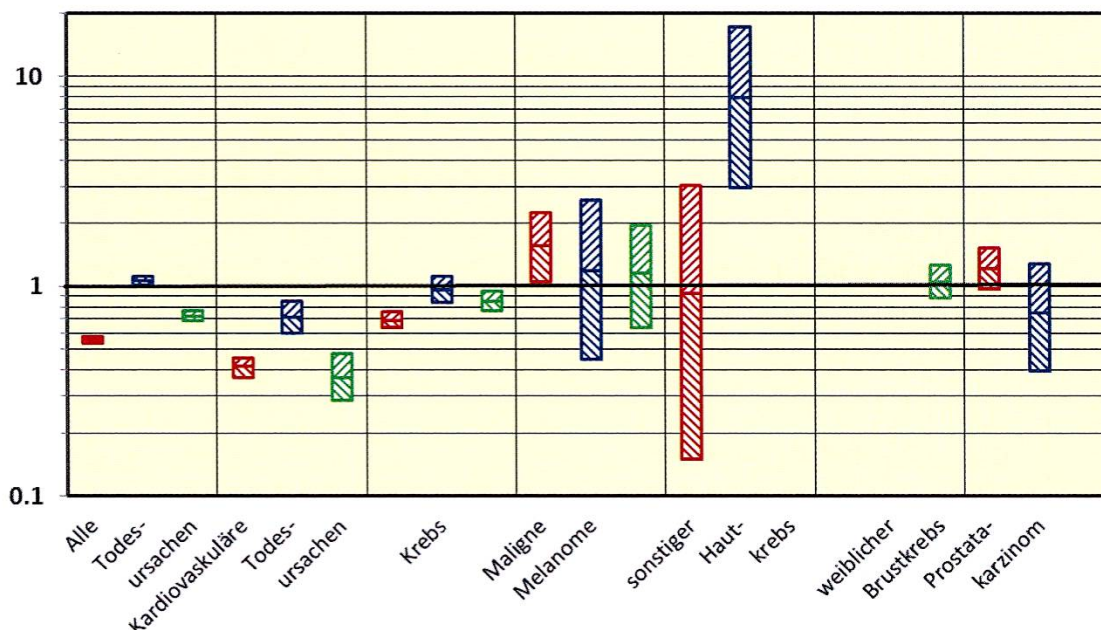


Abb. 2: Standardisierte Mortalitäts-Ratio (SMR) mit 95%-Konfidenzintervall beim fliegenden Personal (Piloten: rot, Flugbegleiter: blau, Flugbegleiterinnen: grün). Daten aus mehreren europäischen Studien in: GAËL P. HAMMER und MARIA BLETTNER: «Stand der epidemiologischen Forschung beim Fliegenden Personal»; Strahlenschutzpraxis, Heft 2/2014, pp. 15-17.

¹⁶ <http://www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/neue-messungen-strahlung-macht-mars-reisen-gefaehrlich-a-902647.html>

¹⁷ Weitere Informationen zu Thema Flugdosen finden sich im genannten Heft 2/2014 der Strahlenschutzpraxis des Deutsch-Schweizerischen Fachverbands für Strahlenschutz: <http://www.strahlenschutzpraxis.com/>

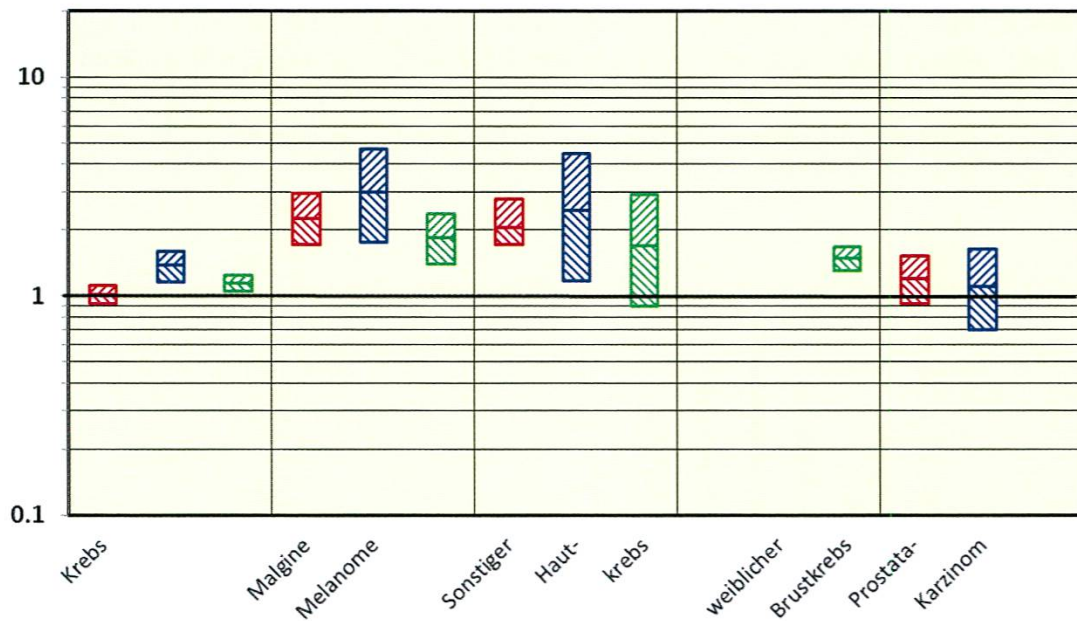


Abb. 3: Standardisierte Inzidenz-Ratio (Morbidity) (SIR) mit 95%-Konfidenzintervall beim fliegenden Personal (Piloten: rot, Flugbegleiter: blau, Flugbegleiterinnen: grün). Daten aus mehreren europäischen Studien in: GAËL P. HAMMER und MARIA BLETTNER: «Stand der epidemiologischen Forschung beim Fliegenden Personal»; Strahlenschutzpraxis, Heft. 2/2014, pp. 15-17.

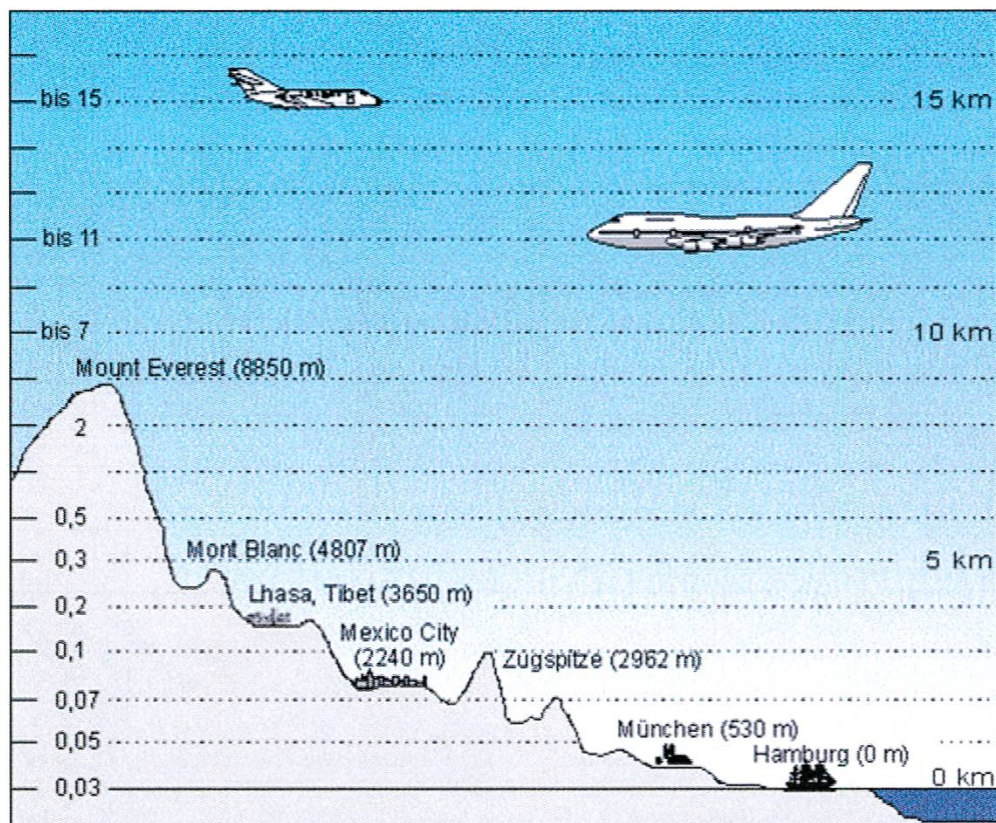


Abb. 4: Höhenabhängigkeit der kosmischen Strahlendosis: Effektive Dosis in $\mu\text{Sv/h}$ in Funktion der Höhe in km. Quelle: <http://www.mta-r.de/wp-content/gallery/sonstiges/bild3.png?574582003>