

Kosmische Strahlung beim Fliegen

In der Atmosphäre ist die kosmische Strahlung höher als auf dem Erdboden, Fluggesetz und Passagiere sind daher einer erhöhten Strahleneinwirkung ausgesetzt. Vielflieger und besorgte Passagiere – zum Beispiel Schwangere – fragen sich, ob das ihrer Gesundheit schaden kann. Der FLUGS-Fachinformationsdienst klärt über die tatsächlichen Risiken auf.

Diese Hintergrundinformation gibt Durchschnittswerte für die Strahlenexposition beim Fliegen an und zeigt, wie die tatsächliche Exposition ermittelt wird. Sie ordnet die Werte in den Kontext der gesamten Strahlenexposition ein, führt Grenz- und Richtwerte auf und gibt einen Überblick zum wissenschaftlichen Kenntnisstand über die Gesundheitsgefahren.

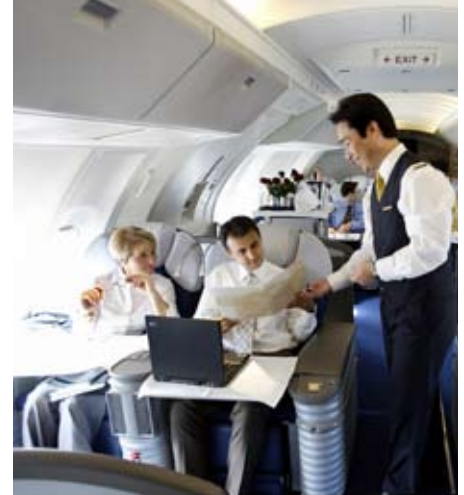
1. Wie hoch ist die kosmische Strahlung beim Fliegen?

Hochenergetische atomare Teilchen aus dem Kosmos dringen ständig in die Atmosphäre ein. Diese so genannte primäre kosmische Strahlung (früher Höhenstrahlung genannt) besteht überwiegend aus Protonen, aus Heliumkernen und zu einem kleineren Anteil aus schweren Kernen sowie aus Elektronen und Photonen. Durch die Bestandteile der Erdatmosphäre (Sauerstoff und Stickstoffatome) werden diese hochenergetischen Teilchen über Ionisation und Anregung abgebremst. Dadurch entstehen Teilchenschauer mit einer hohen Anzahl von Sekundärteilchen. Bei einer Höhe von etwa 20 Kilometern liegt ein Maximum der Strahlenintensität (das so genannte Pfotzer-Maximum). Darunter wird die Strahlung mit zunehmender Dichte der Atmosphäre und zunehmender Nähe zur Erdoberfläche schwächer.

Der Teil der primären kosmischen Strahlung, der aus dem Weltall auf unser Sonnensystem trifft, wird vom Magnetfeld der Sonne teilweise abgelenkt. Die dadurch entstehende Abschirmung der Erde variiert nahezu regelmäßig mit einem Zyklus von rund elf Jahren. Derzeit (Jahr 2007) ist dieser Effekt nicht so stark, das heißt, im Vergleich zu früheren Jahren ist die Ablenkung geringer, die Strahlung auf der Erde also etwas höher.

Auch das Magnetfeld der Erde lenkt einen Teil der kosmischen Strahlung ab. Diese Abschirmung wirkt am stärksten am Äquator. In der Nähe der geomagnetischen Pole (die sich etwa 1600 Kilometer abseits der geografischen Pole befinden) ist die Strahlung dagegen höher. Die effektive Strahlenexposition beim Fliegen ist zudem abhängig von der Flughöhe und der Flugdauer.

Zur Abschätzung des Strahlenrisikos beim Menschen verwendet man im Strahlenschutz die so genannte effektive Dosis. Die effektive Dosis ist die Summe der durch die Gewebewichtungsfaktoren entsprechend dem Strahlenrisiko gewichteten Organ- und Gewebedosen. Sie stellt eine Kombination aus physikalischen Größen und biologischen Faktoren dar und berücksichtigt die unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit von menschlichen Geweben und Organen gegenüber verschiedenen Strahlenarten. Die effektive Dosis wird in der Einheit Sievert angegeben. Die zusätzliche Strahlenexposition durch einen Flug liegt im Bereich von wenigen Mikrosievert (μSv) für Kurzstrecken bis zu rund 100 μSv für Langstreckenflüge.



Fluggäste und Personal sind aufgrund der kosmischen Strahlung einer erhöhten Strahlendosis ausgesetzt. Foto: Lufthansa.

Reiseziel	Dosisbereich* [μSv], etwa
Rom	3 – 6
Gran Canaria	10 – 18
Rio de Janeiro	17 – 28
Johannesburg	18 – 30
Singapur	28 – 50
New York	32 – 75
San Francisco	45 – 110

Die effektive Dosis durch Höhenstrahlung auf einem Flug von Frankfurt am Main an ausgewählte Zielorte.

Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz.

* Die Schwankungsbreite geht hauptsächlich auf die Einflüsse von Sonnenzyklus und Flughöhe zurück.

Einen kurzfristigen Einfluss auf die Strahlenexposition können Sonneneruptionen haben: Derartige Ausbrüche, die durch elektromagnetische Vorgänge auf der Sonne entstehen, setzen kurzfristig große Energiemengen frei. Eine einzige Eruption könnte theoretisch durch die freigesetzten geladenen Teilchen die Intensität der kosmischen Strahlung in Erdnähe so stark erhöhen, dass bei einem Flug über einen der geomagnetischen Pole eine effektive Dosis von 1000 μSv überschritten werden kann.

Allerdings ist es nicht sehr wahrscheinlich, dass ein solcher Wert durch eine einzige Eruption erreicht wird – Messungen von typischen Sonneneruptionen ergaben eher eine zusätzliche Dosis im Bereich von etwa 100 bis 200 Mikrosievert (was zum Beispiel der Dosis während eines Flugs von Frankfurt nach San Francisco und zurück entspricht). Außerdem ist die Wahrscheinlichkeit, dass bei einem Flug tatsächlich ein solches Ereignis eintritt, sehr gering. So wurden in den letzten zwei Jahren nur zwei solche Ereignisse beobachtet, und zwar am 13. Dezember 2006 (zusätzliche effektive Dosis für einen Flug Europa-USA oder Europa-Japan: 40 μSv) und am 20. Januar 2005 (zusätzliche Dosis für einen Flug Europa-USA oder Europa-Japan: 200 μSv). Genaue Informationen dazu finden sich auf den Internetseiten der GSF-Arbeitsgruppe EPCARD (siehe Abschnitt 2, Internetlinks).

Über den Einfluss der Sonneneruptionen auf die Strahlendosis ist bisher relativ wenig bekannt. Deshalb hat das GSF – Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (Institut für Strahlenschutz) im Mai 2007 ein Messsystem auf der Koldewey-Station des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung in Spitzbergen, Norwegen, aufgebaut. Dort wird erforscht, wie oft solche Sonneneruptionen auftreten und zu welchen Prozessen diese dann in der Atmosphäre führen. Ziel des Projektes ist es, die kosmische Strahlung auf Flügen künftig noch besser ermitteln zu können. Der Standort Spitzbergen eignet sich dafür besonders, weil die kosmische Strahlung und insbesondere die durch Sonneneruptionen hervorgerufene Dosis in der Nähe der geomagnetischen Pole deutlich höher ist als beispielsweise in der Nähe des Äquators. Die Wissenschaftler werden die Messdaten später in das Rechenprogramm EPCARD einfließen lassen (siehe unten).



Um mehr über den Einfluss der Sonneneruptionen auf die Strahlendosis zu erfahren, hat das GSF – Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (Institut für Strahlenschutz) im Mai 2007 ein Messsystem auf der Koldewey-Station des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung in Spitzbergen, Norwegen, aufgebaut. Fotos: Werner Rühm, GSF.

2. Wie wird die tatsächliche Strahlenexposition ermittelt?

Die tatsächliche Strahlenbelastung auf Flügen kann man durch Messung oder Berechnung ermitteln. Bei internationalen Vergleichsmessungen hat sich gezeigt, dass die Messergebnisse je nach verwendetem Detektor eine beträchtliche Streuung aufweisen. Aus diesem und anderen Gründen werden die Dosiswerte der Piloten für jede Flugroute in der Regel nicht experimentell bestimmt, sondern mit Programmen berechnet. Außerdem verlangt der Gesetzgeber die Angabe einer effektiven Dosis, die auch strahlenbiologische Informationen einschließt (was Messungen nicht leisten). Deshalb ist es sinnvoll, die Dosis über ein Modell zu berechnen, in das natürlich auch Werte

aus früheren Messreihen und strahlenbiologische Informationen einfließen. Ein solches Programm haben Wissenschaftler des GSF-Instituts für Strahlenschutz gemeinsam mit Wissenschaftlern der Universität Siegen entwickelt: EPCARD (European Program Package for the Calculation of Aviation Route Doses). Die Richtigkeit der Berechnungen wurde durch umfangreiche Messserien bestätigt.

Die offizielle Zulassung für EPCARD haben das Luftfahrtbundesamt und die Physikalisch-Technische Bundesanstalt im Dezember 2003 erteilt. Heute nutzen Fluggesellschaften aus vielen Ländern das Programm, um für ihre Flugrouten die Strahlenexposition ihres Flugpersonals zu berechnen. Eine einfache Version des Programms steht online allen zur Verfügung, die ihre Strahlenexposition für ein beliebiges Flugziel berechnen möchten:

www.gsf.de/epcard



Das Softwarepaket EPCARD wird von vielen Fluggesellschaften eingesetzt, um die Strahlenexposition des fliegenden Personals zu bestimmen. Foto: Lufthansa.

The screenshot shows the EPCARD website interface. At the top, it says 'GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit' and 'EPCARD European Program Package for the Calculation of Aviation Route Doses'. Below this, there are navigation links: 'Home | Berechnungen | Informationen | Kontakt | Autoren | Kunden | GSF Home'. A main heading reads: 'Mit diesem Rechenprogramm können Sie online die Dosis berechnen, die Sie während eines von Ihnen definierten Fluges durch kosmische Strahlung erhalten würden. Zusätzlich können Sie an einem von Ihnen gewählten Ort in der Atmosphäre die Dosis bestimmen, die bei einer Aufenthaltsdauer von je einer Stunde akkumuliert wird.' Below this, there is a list of services:

- Berechnung der Flugdosis auf einer Reise zwischen zwei Flughäfen
- Berechnung der Dosis pro Stunde an einer beliebigen geographischen Position des Flugzeuges
- Informationen zum wissenschaftlichen Hintergrund der Berechnungen
- Das Institut für Strahlenschutz (ISS) im GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit
- Die Abteilung Patente und Technologietransfer (PTT) im GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit

Auf der [EPCARD-Web-Seite \(www.gsf.de/epcard\)](http://www.gsf.de/epcard) lässt sich über eine einfache Benutzeroberfläche leicht herausfinden, wie hoch die zusätzliche Strahlenbelastung beim Fliegen ist. Es müssen nur Abflug- und Zielflughafen sowie die Flugdauer und Reisedatum eingetragen werden.

So ergibt sich für eine Anfrage zu einem zwölfstündigen Flug am 6. Juni 2007 von München nach Los Angeles in der Flughöhe von etwa 11900 Metern (übliche, typische Flughöhe bei Interkontinentalflügen, als Flight Level FL390 bezeichnet) eine effektive Dosis durch natürliche kosmische Strahlung von 118 μSv .

3. Wie hoch ist der Beitrag durch Fliegen im Vergleich zur natürlichen Strahlenexposition am Boden?

Auch auf der Erdoberfläche ist der Mensch noch einem Teil der kosmischen Strahlung ausgesetzt. Dazu kommen Dosisbeiträge durch natürliche radioaktive Stoffe – zum Beispiel durch Radon, das aus den Zerfallsreihen des Uran im Erdreich entsteht und sich in Wohnungen anreichern kann.

In Deutschland beträgt die gesamte effektive Dosis aus der natürlichen Strahlenexposition im Mittel etwa 2100 μSv pro Jahr. Dieser Wert kann jedoch von Ort zu Ort deutlich schwanken.

Hieraus lässt sich ersehen, dass die zusätzliche effektive Dosis durch einen Kurzstreckenflug weniger als ein Prozent, durch einen Langstreckenflug etwa fünf Prozent der durchschnittlichen jährlichen Dosis durch natürliche Exposition ausmacht.

Für Gelegenheitsflieger – also auch für die Schwangeren und Kleinkinder unter ihnen – ist die zusätzliche Strahlenexposition durch das Fliegen somit sehr gering. Experten bewerten daher auch das zusätzliche Gesundheitsrisiko als sehr gering.

Für Vielflieger kann sich die zusätzliche effektive Dosis allerdings so hoch sein, dass sie die der natürlichen Strahlenexposition deutlich überschreitet. Für Deutschland lag im Jahr 2004 die mittlere Jahresdosis für fliegendes Personal durch berufliche Exposition bei 1900 Mikrosievert.

4. Wo liegen die Grenzwerte?

Für die Bundesrepublik Deutschland ist nach der Strahlenschutzverordnung „jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt zu vermeiden“ und „jede Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles auch unterhalb der Grenzwerte so gering wie möglich zu halten“ (§ 6 Abs. 1 und 2 der StrlSchV).

Laut Strahlenschutzverordnung beträgt der **Grenzwert der effektiven Dosis im Kalenderjahr nach § 46 Abs. 1 für den Schutz von Einzelpersonen der Bevölkerung durch den Umgang mit radioaktiven Stoffen oder durch Anlagen zur Erzeugung von ionisierenden Strahlen 1 Millisievert – also 1000 Mikrosievert**. Zum Vergleich: Dieser Wert könnte durch etwa zehn Langstreckenflüge (zum Beispiel von München nach Los Angeles) erreicht werden.

Der **Grenzwert für den Schutz beruflich strahlenexponierter Personen** bei deren Berufsausübung beträgt nach § 55 Abs. 1 Satz 1, 20 Millisievert, also **20 000 Mikrosievert** im Kalenderjahr.

Zusatzregelung im Flugverkehr: Mit der Novelle der Strahlenschutzverordnung wurden die Anforderungen der EU-Richtlinie 96/29 EURATOM in nationales Recht umgesetzt. Überwachungspflichtig ist damit auch Luftfahrtpersonal, das in einem Beschäftigungsverhältnis gemäß deutschem Arbeitsrecht steht, und bei dem während des Fliegens durch kosmische Strahlung die zu erwartende effektive Dosis 1 Millisievert – also 1000 Mikrosievert – im Kalenderjahr übersteigt. Es gilt jedoch auch der jährliche Grenzwert von 20 000 Mikrosievert.

Im Falle einer Schwangerschaft gilt bis zu deren Ende ab dem Zeitpunkt der entsprechenden Mitteilung an den Arbeitgeber der Grenzwert von 1 Millisievert (1000 Mikrosievert) für das Ungeborene. Laut Mutterschutzgesetz ist die Beschäftigung werdender Mütter auf Beförderungsmitteln, auch Flugzeugen, nach Ablauf des dritten Monats der Schwangerschaft unzulässig. Außerdem gilt in der Schwangerschaft ein Nachtarbeitsverbot zwischen 20 Uhr und 6 Uhr morgens (§ 4 Mutterschutzgesetz).

5. Auswirkungen auf die Gesundheit

Ionisierende Strahlung kann Zellen des Körpers schädigen und Krebs erzeugen. Allerdings ist dieses Risiko abhängig von der Höhe der Strahlendosis. Die zusätzliche Exposition durch das Fliegen wird von Experten bei Gelegenheitsfliegern als gering bewertet.

Berufliche Vielflieger können aber, besonders wenn sie oft Langstrecken fliegen, höhere Strahlendosen erhalten. Zwar gibt es einzelne Hinweise darauf, dass fliegendes Personal ein leicht erhöhtes Gesundheitsrisiko haben könnte. Nach den Ergebnissen der weltweit größten Studie, bei der Daten von mehr als 6000 Piloten und Flugingenieuren sowie von mehr als 20 000 Flugbegleitern aus Deutschland ausgewertet wurden, fand man jedoch keine Hinweise auf eine erhöhte Mortalitätsrate durch die kosmische Strahlung. Von einem gesicherten Zusammenhang zwischen der Höhenstrahlung und der



Der Grenzwert für den Schutz beruflich strahlenexponierter Personen bei deren Berufsausübung beträgt 20 Millisievert, also 20 000 Mikrosievert im Kalenderjahr. Dies entspricht etwa 200 Langstreckenflügen wie München-Los Angeles. Foto: GSF-Archiv.



Im Falle einer Schwangerschaft gilt der Grenzwert von 1 Millisievert (1000 Mikrosievert) für das Ungeborene. Foto: TK-online.

Häufigkeit von Krebs bei fliegendem Personal kann man beim gegenwärtigen Kenntnisstand daher nicht sprechen.

Eine Studie aus dem Jahr 2005 lieferte einen Hinweis auf einen möglichen Zusammenhang zwischen der Strahlenexposition beim Fliegen und dem Risiko, an Grauem Star zu erkranken. Das schließen die Autoren aus Untersuchungen an rund 450 Männern. Das Risiko eines Piloten, an Grauem Star zu erkranken, war rein rechnerisch dreimal so hoch wie das von Männern mit anderen Berufen. Verantwortlich dafür könnte die kosmische Strahlung sein, vermuten die Wissenschaftler. Auf Grund von methodischen Schwierigkeiten der Studie könnten allerdings auch andere Faktoren das Ergebnis beeinflusst haben.

Schutz von ungeborenem Leben: Manche Schwangere sorgen sich, dass die Strahlenexposition auf Flügen zu Missbildungen führen könnte. Die Schwellenwerte, bei deren Erreichung das Risiko dafür erhöht wäre, liegen aber deutlich oberhalb der geltenden Grenzwerte. Sie liegen insbesondere sehr weit oberhalb der Exposition bei einem Kurz- oder Langstreckenflug (beim 10000-fachen bzw. 1000-fachen). (Näheres: DGMP-Bericht, siehe unter „Literatur“).

6. Empfehlungen

Nach derzeitigem Kenntnisstand besteht kein Anlass, aufgrund der Strahlenexposition generell vom Fliegen abzuraten. Wie in Abschnitt 3 beschrieben, liegt die zusätzliche effektive Dosis durch einen Kurzstreckenflug im Bereich von unter einem Prozent der durchschnittlichen jährlichen Dosis durch natürliche Strahlenexposition.

Auch Schwangere oder Kleinkinder müssen auf einen gelegentlichen Flug, insbesondere Kurzstreckenflug, wegen der Strahlenexposition nicht verzichten. Andere medizinische Gründe (etwa Nähe zum Geburtstermin, Neigung zu Aborten und Frühgeburten, großer Stress durch Angst vor dem Fliegen beziehungsweise Thrombosegefährdung durch langes Sitzen) können allerdings gegen den Flug sprechen. Vor einem Flug sollte der Arzt wegen der medizinischen Einschätzung zu Rate gezogen werden. Zu bedenken ist, dass die Reise im Flugzeug schneller und weniger strapaziös als mit anderen Verkehrsmitteln sein kann. Über die zusätzliche Strahlenexposition durch einen bestimmten Flug können sich Fluggäste vorab oder auch nachträglich über das EPCARD-Programm informieren (siehe Internetlink).

Ein gewisser Unsicherheitsfaktor sind Strahlenmaxima aufgrund von Sonneneruptionen, die vor allem bei Langstreckenflügen über den geomagnetischen Polen bedeutsam sein könnten. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein solches Ereignis mit hohen Strahlendosen auftritt, ist jedoch sehr gering (siehe Abschnitt 1).

Stewardessen sollten ihre Schwangerschaft sobald wie möglich bekannt geben, um den Mutterschutz zu erhalten. Auch sie können EPCARD nutzen, um die Strahlenexposition durch Flüge abzuschätzen, ebenso wie Piloten und andere Vielflieger. Die Betreiber von Flugzeugen sind ohnehin verpflichtet, Dosiswerte mit Rechenprogrammen zu ermitteln und im Bedarfsfalle durch eine entsprechende Planung der Flugrouten und des Personaleinsatzes die Strahlendosis der Beschäftigten zu reduzieren.



Unbeschwert in den Urlaub: Nach derzeitigem Kenntnisstand besteht kein Anlass, aufgrund der Strahlenexposition generell vom Fliegen abzuraten. Foto: BKK.

Internet

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit:
<http://www.bmu.de/strahlenschutz>

Strahlenschutzverordnung:
<http://www.bmu.de/strahlenschutz/doc/2478.php>

Rechenprogramm EPCARD des GSF - Forschungszentrums:
<http://www.gsf.de/epcard>

GSF - Forschungszentrum, Institut für Strahlenschutz:
<http://www.gsf.de/iss/>

Informationen zum Mess-System Sonneneruptionen in Spitzbergen:
<http://www.gsf.de/neu/Aktuelles/Presse/2007/spitzbergen.php>

Bundesamt für Strahlenschutz:
<http://www.bfs.de/ion/nahrungsmittel/flugpassagiere.html>

Literatur

Bundesamt für Strahlenschutz: Höhenstrahlung beim Fliegen, März 2003
<http://www.bfs.de/bfs/druck/strahlenthemen/hoehenstrahlung.pdf>

Bundesamt für Gesundheit Bern: Schutz der Schwangeren gegen ionisierende Strahlung, in: Strahlenschutzpraxis, 2004

Deutsche Röntgengesellschaft, Deutsche Gesellschaft für medizinische Physik: DGMP-Bericht Nummer 7: Pränatale Strahlenexposition aus medizinischer Indikation, 2002
http://www.dgmp.de/Page_Papiere/Bericht7_Neuauflage2002.pdf

Frasch, G. et al: Fliegen und Höhenstrahlung, in: UMID 2/2007
<http://www.umweltbundesamt.de/umid/archiv/umid0207.pdf>

Huch, R.: Fliegen während der Schwangerschaft, in: der Gynäkologe, Volume 34, Number 5, April 2001

Kellerer, Albrecht M.: Von der Dosis zum Risiko, in: GSF - Forschungszentrum: mensch+umwelt spezial 18 Ausgabe 2006
http://www.gsf.de/neu/Aktuelles/Zeitschriften/m_u_spezial_Radioaktivitaet/5_Strahlenwirkung_Web.pdf

Peter, Josef: Grenzwerte und Regelungen, in: GSF - Forschungszentrum: mensch+umwelt spezial 18 Ausgabe 2006
http://www.gsf.de/neu/Aktuelles/Zeitschriften/m_u_spezial_Radioaktivitaet/9_Strahlenschutzpraxis_Web.pdf

Schraube, Hans: Wir stark sind Piloten, Flugpersonal und andere häufig fliegende Personen der kosmischen Strahlung exponiert? GSF - Forschungszentrum 2006
http://www.gsf.de/epcard2/aktuelle_Themen.pdf

Schraube, Hans: Höhenstrahlung: Die Exposition beim Fliegen, in: GSF - Forschungszentrum: mensch+umwelt spezial 18 Ausgabe 2006
http://www.gsf.de/neu/Aktuelles/Zeitschriften/m_u_spezial_Radioaktivitaet/3_Hoehenstrahlung_Web.pdf

Stand:
3. Juli 2007

Redaktion:
Britta Barlage, FLUGS-Fachinformationsdienst, GSF-Forschungszentrum

Wissenschaftliche Beratung:
Dr. Peter Jacob, Dr. Werner Kirching, Vladimir Mares, Dr. Werner Rühm, Institut für Strahlenschutz, GSF – Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit