

*P. Beck & M. Hajek:* Strahlenexposition des fliegenden Personals. Teil 2: Kosmische Strahlung bei ruhiger und stürmischer Sonnenaktivität (S. 7)

*B. Strohmaier:* Berta Karlik – Kernphysikerin, Wissenschaftsmanagerin, erste Ordinaria an einer philosophischen Fakultät in Österreich (S. 20)

*M. Wind:* Uncertainty Assessment in Computational Dosimetry, Bologna, 8.–10. Oktober 2007 (S. 30)

*M. Hajek:* Ergebnisse und Schlussfolgerungen der Mitgliederbefragung 2008 des Österreichischen Verbandes für Strahlenschutz (S. 33)

## Thema

### *Strahlenexposition des fliegenden Personals*

#### *Teil 2: Kosmische Strahlung während ruhiger und stürmischer Sonnenaktivität*

P. Beck<sup>1,\*</sup> & M. Hajek<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Austrian Research Centers GmbH – ARC, Strahlensicherheitsforschung,  
2444 Seibersdorf*

<sup>2</sup> *Technische Universität Wien, Atominstitut der Österreichischen Universitäten,  
Stadionallee 2, 1020 Wien*

**KURZFASSUNG** — Die Generaldirektion Energie und Verkehr der Europäischen Kommission veröffentlichte 2004 wissenschaftliche Forschungsergebnisse über die Strahlenexposition des fliegenden Personals. Dieser von der *European Radiation Dosimetry Working Group 5* (EURADOS WG 5) editierte Bericht fasst vielfältige Daten von Messungen und Berechnungen der kosmischen Strahlung in Flughöhen zusammen. Die Ergebnisse stammen hauptsächlich, jedoch nicht ausschließlich von europäischen Forschungseinrichtungen. Damit sollten allen Mitgliedsstaaten der Europäischen Union Expertenempfehlungen und ein umfangreicher Datensatz zum Nachweis der Strahlenexposition und zur Validierung unterschiedlicher Erfassungsmethoden zur Verfügung gestellt werden. Im Jahr 2005 startete die EURADOS WG 5 eine koordinierte Forschungsinitiative zur Verbesserung der Dosiserfassung nach solaren Eruptionen (Sonnenfackeln, Sonnenstürme und koronale Massenauswürfe). Erste Ergebnisse des europäischen Forschungsprojekts *Coordinated Network for Radiation Dosimetry* (CONRAD) in Bezug auf komplexe gemischte Strahlungsfelder am Arbeitsplatz werden hier vorgestellt. Zur Validierung von Rechenmodellen zur Bewertung der Dosis durch solare Teilchenereignisse werden Neutronenmessungen auf der Erdoberfläche, Flugmessungen und Satellitendaten der solaren Protonenflussdichte herangezogen. Dieser Artikel gibt einen Überblick über Messungen und Berechnungen der Strahlenexposition in Flughöhen während ruhiger und stürmischer Phasen des Sonnenzyklus. Es werden Ergebnisse des Berichts der EURADOS WG 5 und veröffentlichte Daten von solaren Teilchenereignissen verwendet. Außerdem werden neuartige Berechnungen der kosmischen Strahlung in Flughöhen vorgestellt, die der interessierten Öffentlichkeit über den Internetauftritt der *Austrian Research Centers GmbH – ARC* zur Verfügung stehen.

### 1 Einleitung

Der Anstieg der Flughöhen in der Zivilluftfahrt, die Entwicklung von Überschallverkehrsflugzeugen und neue Erkenntnisse über die Natur der kosmischen Strahlung motivierten bereits 1966 die *International Commission on Radiological Protection* (ICRP), die biologischen Auswirkungen der kosmischen Strahlung auf die Flugzeugbesatzungen zu berücksichtigen. Die ICRP-Empfehlung 60 des Jahres 1990 erklärte darüberhinaus, dass die Exposition durch kosmische Strahlung bei Jet-Flugzeugen als berufliche Strahlenexposition des fliegenden Personals anzusehen ist (ICRP 1991). Dies führte zu einer Vielzahl neuer Messungen an Bord von Flugzeugen (Beck 1998, 1999; Hajek 2002; Noll 1999; O'Sullivan 2002). Überschallflugzeuge wie die Concorde, die in sehr großen Höhen operierten, wurden von den Fluggesellschaften mit Instrumen-

---

\* Korrespondierender Autor: peter.beck@arcs.ac.at

ten zur Erkennung eines plötzlichen Anstiegs der Dosisleistung durch solare Aktivität ausgerüstet (Hume 1999). Computerprogramme zur Vorhersage von Routendosen wurden weiter- und neu entwickelt. Ein großer Teil der verfügbaren Dosismessungen der letzten Dekade wurde in einem Bericht der *European Radiation Dosimetry Working Group 5* (EURADOS WG 5) zusammengefasst und von der Generaldirektion Energie und Verkehr (DG TREN) der Europäischen Kommission (EC) veröffentlicht. Diese Publikation beinhaltet auch die Beschreibungen der Messgeräte und Techniken, die zur Erfassung verwendet wurden (Lindborg 2004). Weiterführende Informationen finden sich bei McAulay (1993) und Kelly (1999). Die durchschnittliche jährliche Dosis der Flugzeugbesatzung kann vergleichbar oder sogar größer sein als jene anderer beruflich strahlenexponierter Personen (Bartlett 1999, 2004; van Dijk 2003). Abbildung 1 zeigt die durchschnittliche jährliche effektive Dosis für Arbeitnehmer/-innen in verschiedenen Berufen.

In der Dosimetrie von fliegendem Personal werden zwei physikalische Größen verwendet: (i) die effektive Dosis  $E$  als Strahlenschutzgröße und (ii) die Umgebungs-Äquivalentdosis  $H^*(10)$  als Messgröße. Für konventionelle Photonen- und Neutronenstrahlungsfelder, wie sie etwa in der Umgebung eines Kernreaktors auftreten, ermöglicht die Umgebungs-Äquivalentdosis  $H^*(10)$  eine konservative Abschätzung der effektiven Dosis. Für die Strahlungsumgebung in Flugzeugen gilt dies jedoch nicht (Hajek 2004), da die Strahlungs-Wichtungsfaktoren definitionsgemäß auf das auf den Körper auftreffende Strahlungsfeld anzuwenden sind, welches sich durch Wechselwirkungsprozesse im Körperinneren in seiner Zusammensetzung ändern kann. Auf Grundlage der derzeit gültigen Wichtungsfaktoren (ICRP 1991) betragen die Unterschiede in größeren Höhen bis zu 30% (Beck 2007a). Dieser Umstand könnte sich mit der in der aktuellen ICRP-Publikation 103 empfohlenen Reduktion der Wichtungsfaktoren für Protonen und niederenergetische Neutronen ändern (ICRP 2007). Die Bewertung der Umgebungs-Äquivalentdosis  $H^*(10)$  ist davon nicht betroffen.

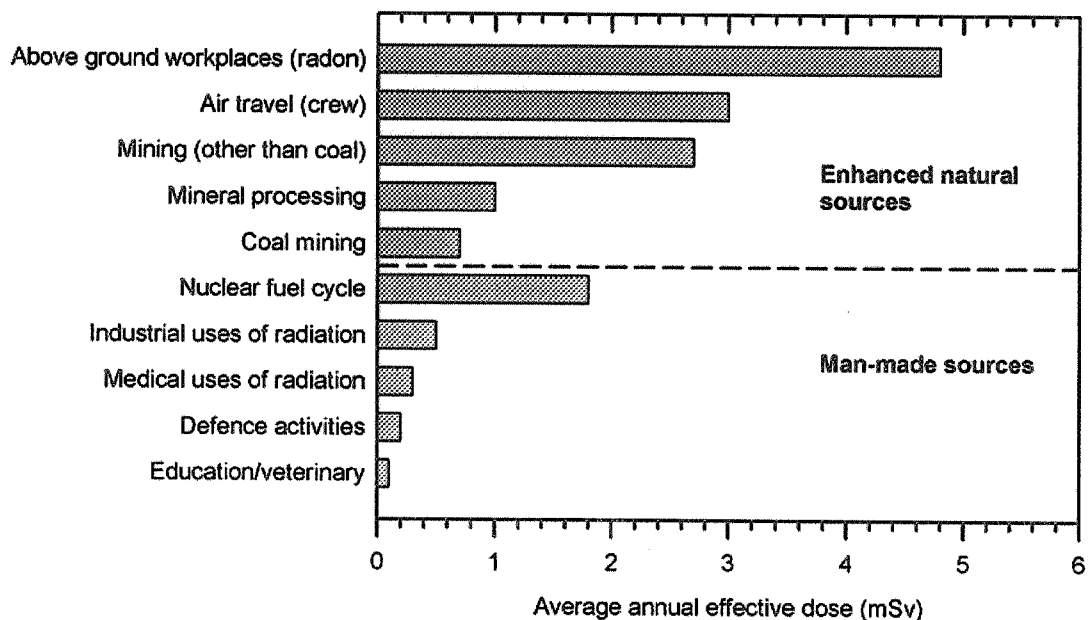


Abbildung 1: Durchschnittliche effektive Jahresdosis beruflich strahlenexponierter Personen in unterschiedlichen Tätigkeitsbereichen (nach UNSCEAR 2000).

Berechnungen der effektiven Dosis können in Abhängigkeit von der geomagnetischen Position des Flugzeuges, der Höhe und der Sonnenaktivität gemacht werden. Eine individuelle Dosisinformation für das fliegende Personal wird durch die Verknüpfung der Flug- und Dienstplandaten erhalten. Die Validierung der Berechnungen erfolgt über Messungen mit Referenzinstrumenten, die an nationale Standards angeschlossen sind.

## 2 Untersuchungen während ruhiger Sonnenaktivität

Die Strahlenexposition im Flugzeug hängt von den geomagnetischen Koordinaten, der Flughöhe und dem Sonnenaktivitätszyklus ab. Diese Abhängigkeit lässt sich durch den Einfluss des Erdmagnetfeldes auf die kosmische Strahlung und den Strahlungstransport durch die Atmosphäre erklären. Unter ruhigen Phasen der Sonnenaktivität verstehen wir einen durchschnittlichen Zeitraum von 11 Jahren zwischen zwei relativen Maxima bzw. Minima der solaren Aktivität. Zur Beschreibung dieser Effekte werden das heliozentrische Potential (HCP) oder das solare Bremspotential (SDP) verwendet (Lindborg 2004), die beide in Einheiten von Megavolt (MV) angegeben werden. Der Vergleich der Flugdosisdaten hat idealerweise für die gleiche Position (Höhe, geomagnetische Länge und Breite) und vergleichbare Sonnenaktivität (HCP oder SDP) zu erfolgen. Im Rahmen der Tätigkeit der EURADOS WG 5 wurde von der *Austrian Research Centers GmbH - ARC* eine Datenbank (EURADOS In-flight Aircrew Radiation Data Base) zum Vergleich aller Flug- und Dosismessdaten entwickelt. Diese beinhaltet für die Öffentlichkeit aufbereitete Ergebnisse von elf internationalen Forschungsinstituten (Beck 2006; Lindborg 2004). Die Datenbank gliedert sich nach den Parametern Höhe, geomagnetische Position (Breiten- und Längengrad) und Sonnenaktivität. Sie umfasst den Zeitraum 1992 bis 2005 und damit einen kompletten Sonnenzyklus.

Alle Dosiswerte der Datenbank sind in Umgebungs-Äquivalentdosisleistung angegeben. Dabei wurden unterschiedliche Arten von aktiven und passiven Detektoren zur Dosismessung verwendet, wie etwa Ionisationskammern, Neutronenmonitore, gewebeäquivalente Proportionalzähler (TEPC), Halbleiterdetektoren (LIULIN) und Kernspurdetektoren aus Polyallyldiglykolkarbonat (PADC, Markenname CR-39). Detaillierte Beschreibungen der Instrumente, Messmethoden und Kalibrierungsverfahren sind im EURADOS-Abschlussbericht enthalten (Lindborg 2004). Die Datenbank enthält mehr als 600 Untersuchungen in Flugzeugen mit etwa 15.000 Messpunkten, die einen weiten Bereich unterschiedlicher Flughöhe, geomagnetischer Länge und Breite sowie unterschiedlicher Sonnenaktivität abdecken (Tabelle 1). Die häufigste Flughöhe der in der Datenbank gespeicherten Flüge ist 10,7 km (FL 350), gefolgt von 10,1 km (FL 330) und 11,3 km (FL 370). Messungen in Höhen über 12,2 km (FL 400) oder unter 8,5 km (FL 280) sind sehr selten (Abbildung 2). Der Großteil der Messungen in der Datenbank wurde auf der Nordhalbkugel der Erde durchgeführt. In Äquatornähe und der südlichen Hemisphäre gibt es bedeutend weniger Daten. Etwa die Hälfte aller Messungen erfolgte für eine vertikale magnetische Abschirmsteifigkeit (*cut-off rigidity*) von weniger als 2 GV (Abbildung 3).

Tabelle 1: *Eigenschaften der in der EURADOS In-flight Aircrew Radiation Data Base gespeicherten Messungen.*

Anzahl der Messungen	642
Anzahl der Datensätze	15.384
Zeitperiode	5/1992 – 2/2005
Heliozentrisches Potential	471 – 1.320 MV
Geographische Länge	180°W – 180°E
Geographische Breite	87°N – 62°S
Vertikale magnetische Abschirmsteifigkeit	0 – 17,4 GV
Maximale barometrische Flughöhe	16.500 m

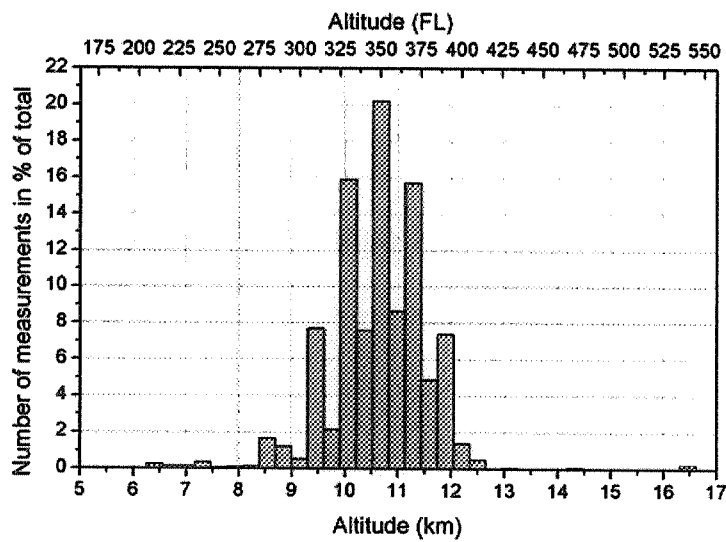


Abbildung 2: *Häufigkeitsverteilung der in der EURADOS-Datenbank gespeicherten Messungen in Flugzeugen als Funktion der Flughöhe.*

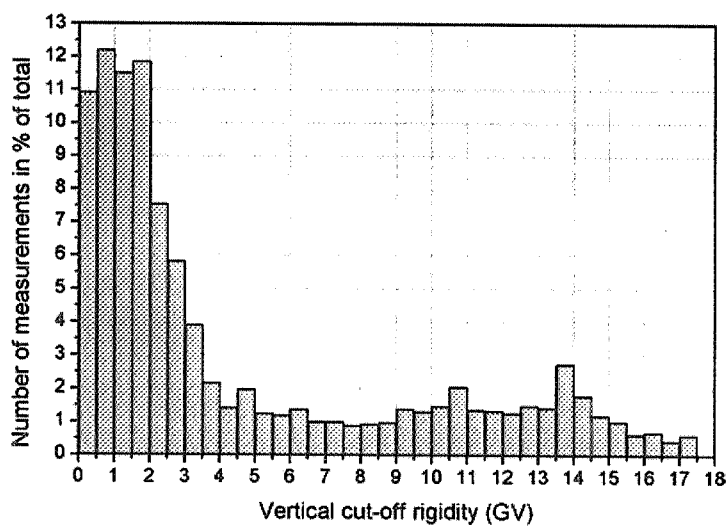


Abbildung 3: *Häufigkeitsverteilung der in EURADOS-Datenbank gespeicherten Messungen in Flugzeugen als Funktion der magnetischen Abschirmsteifigkeit.*

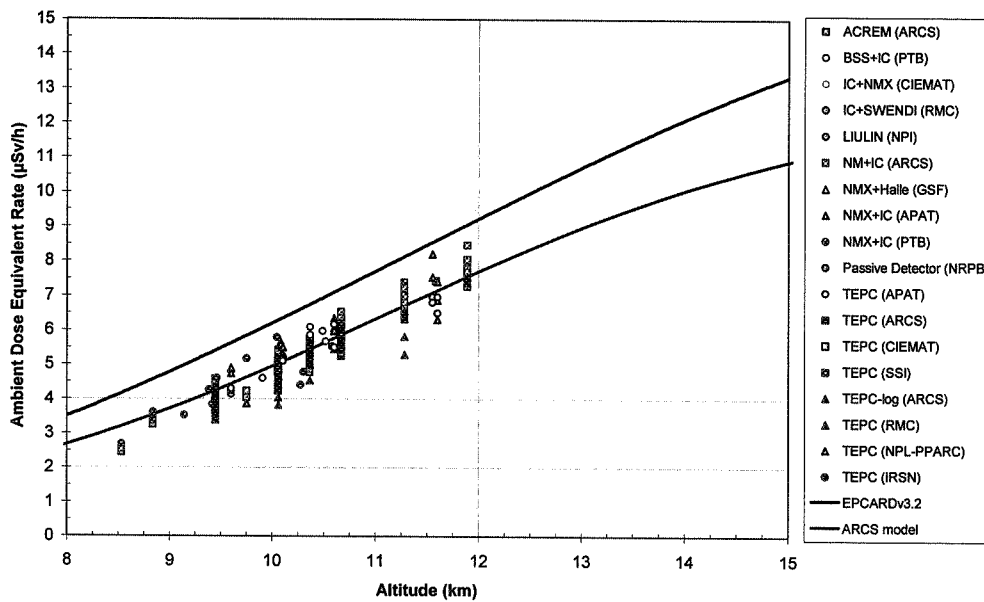


Abbildung 4: Vergleich von Messungen der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung als Funktion der Seehöhe (Datenpunkte) mit Berechnungen auf Grundlage der Modelle EPCARD (obere Linie) und AVIDOS (untere Linie). Die Messdaten wurden für ein heliozentrisches Potential  $\Phi$  zwischen 470 und 490 MV und eine Abschirmsteifigkeit  $r_c$  von weniger als 2 GV aufgenommen. Für die Berechnungen wurde in beiden Modellen  $\Phi = 475$  MV und  $r_c = 1$  GV verwendet.

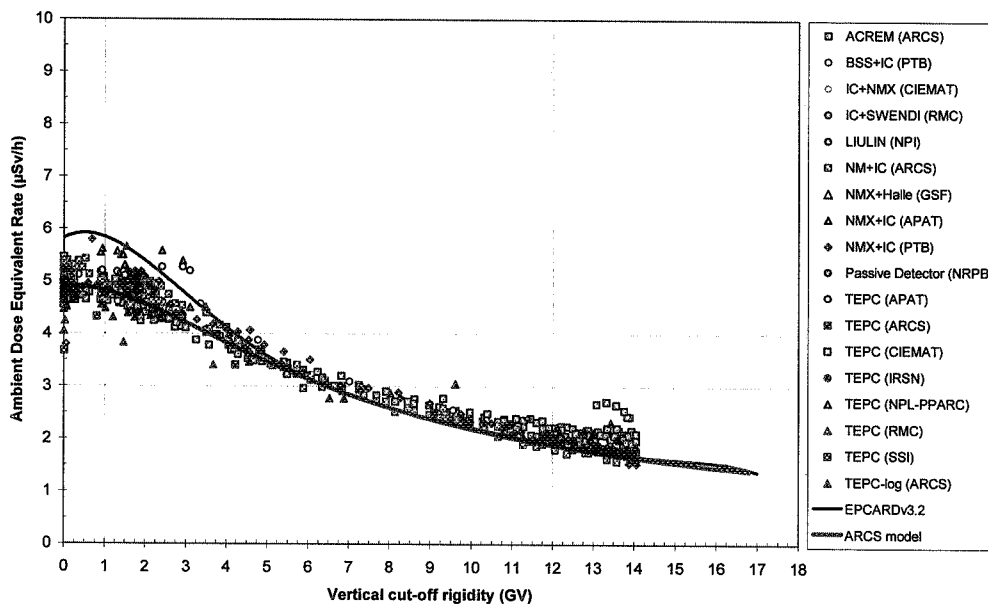


Abbildung 5: Vergleich von Messungen der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung als Funktion der Abschirmsteifigkeit (Datenpunkte) mit Ergebnissen der Modelle EPCARD (obere Linie) und AVIDOS (untere Linie). Die Messdaten wurden für Flughöhen zwischen 9,9 km (FL 325) und 10,2 km (FL 335) bei einem heliozentrischen Potential  $\Phi$  zwischen 470 und 610 MV aufgenommen. Für die Berechnungen wurde in beiden Modellen eine mittlere Höhe von 10,06 km (FL 330) und  $\Phi = 475$  MV verwendet.

Die Abbildungen 4 und Abbildung 5 zeigen einen Vergleich von Flugmessungen mit zwei unterschiedlichen Modellen zur Dosiermittlung, dem von den ARC entwickelten Programm AVIDOS (Beck 2007a) und EPCARD (Schraube 2002), als Funktion der Flughöhe bzw. geomagnetischen Abschirmsteifigkeit. Experimentelle und berechnete Daten stimmen innerhalb der Messunsicherheit von ca. 25% sehr gut überein.

### 3 Untersuchungen während Sonnenstürmen

Die Auswirkungen von Sonneneruptionen auf die Strahlenbelastung in Flughöhen werden im zuvor erwähnten Bericht der EURADOS WG 5 diskutiert (Lindborg 2004). Die Bewertung derartiger Ereignisse ist Gegenstand aktueller Forschung. Durch eine Initiative von EURADOS wurde ein koordinatives Forschungsprojekt begonnen, dessen Ziel die Entwicklung und Überprüfung von Modellen zur Beschreibung von Sonneneruptionen ist (Beck 2007b). Die Studien sind Teil des europäischen Projekts *Coordinated Network for Radiation Dosimetry* (CONRAD). *Work Package 6* befasst sich mit der Koordinierung der europäischen Forschungsaktivitäten zur Bewertung von komplexen, gemischten Strahlungsfeldern am Arbeitsplatz und gliedert sich in zwei Untergruppen, wovon eine sich mit der Strahlenexposition von fliegendem Personal beschäftigt. Das Ziel dieser Arbeitsgruppe ist die Koordination national geförderter Forschungsinitiativen zur Bewertung der Dosis durch solare Teilchenereignisse mittels Simulationsrechnungen.

Als solare Teilchenereignisse (*solar particle events*, SPE), wie etwa Sonnenfackeln, Sonnenstürme oder Massenauswürfe, werden gigantische Eruptionen solarer Materie von der Sonnenoberfläche bezeichnet. Dabei werden hauptsächlich Protonen mit Energien im GeV-Bereich sowie elektromagnetische Strahlung im Röntgen- und Radiofrequenzbereich emittiert. Der Ursprung und die Ausdehnung der Sonnenausbrüche sind ebenso unterschiedlich wie die Masse der beteiligten solaren Materie (Allkofer 1975). Eine besondere Häufung dieser Ereignisse wird zu Zeiten stark ansteigender bzw. abnehmender Sonnenaktivität beobachtet. Seit Februar 1942 wurden siebzig solare Teilchenereignisse gezählt, die zu einer Erhöhung der Zählraten terrestrischer Neutronenmonitore führten (*ground-level enhancement*, GLE). Eine Liste aller bisher beobachteten GLEs ist im Internet unter [http://neutronm.bartol.udel.edu/~pyle/GLE\\_List.txt](http://neutronm.bartol.udel.edu/~pyle/GLE_List.txt) abrufbar. Im Durchschnitt wird etwa ein Ereignis pro Jahr beobachtet. Das Energiespektrum der solaren Protonen variiert stark von einem Ereignis zum anderen und unterscheidet sich wesentlich vom Spektrum der galaktischen Protonen. Im Allgemeinen weisen die Spektren solarer Teilchenereignisse deutlich höhere Intensitäten bei niedrigeren Energien auf. Abbildung 6 zeigt evaluierte Protonenspektren verschiedener SPEs im Vergleich zur galaktischen Strahlung. SPEs können zu einer deutlichen Erhöhung der Strahlenexposition an Bord von Flugzeugen führen. In der Literatur werden Dosisleistungen bis zu 2 mSv/h in 12 km Höhe angegeben (Dyer 2003). Dabei fällt in Bereichen geringer geomagnetischer Abschirmung, etwa in der Nähe der magnetischen Pole, die Dosiserhöhung stärker aus, während sie in äquatorialen Regionen praktisch nicht messbar ist. Abbildung 7 zeigt als Beispiel ein berechnetes Dosisleistungsprofil für die Route London - Los Angeles während des SPE vom 23. Februar 1956.

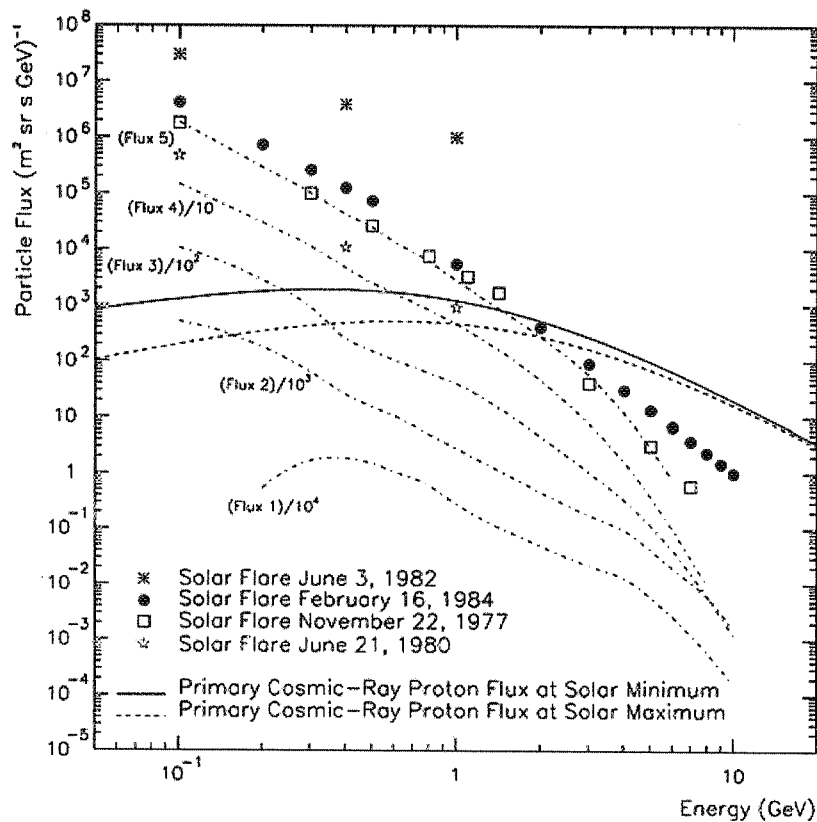


Abbildung 6: Spektrale Protonenflussdichte für verschiedene solare Teilchenereignisse und galaktische Strahlung. Die strichpunktierten Linien entsprechen Protonenspektren des solaren Teilchenereignisses vom 7. Mai 1978 (Grimani 2005).

Einige Experimente zur Erfassung der Strahlenexposition des fliegenden Personals verwendeten auch fix an Bord installierte Detektorsysteme für Langzeituntersuchungen in Flugzeugen (Beck 2005; Spurný 2003). Damit war es auch möglich, Daten während sporadisch auftretender SPEs zu sammeln (Bartlett 2002). Zu diesem Zweck werden überwiegend aktive Messgeräte wie TEPCs, Geiger-Müller-Zählrohre oder Silizium-Halbleiterdetektoren verwendet. Abbildung 8 zeigt Flugmessungen während GLE 60 am 15. April 2001. Die Messung zeigt einen deutlichen Anstieg der Dosisleistung über einen Zeitraum von etwa drei Stunden. Die durch das SPE bedingte Erhöhung der gesamten Umgebungs-Äquivalentdosis beträgt etwa 50% der während des Fluges regulär akkumulierten Dosis. Abbildung 9 zeigt die Strahlenexposition während der lang andauernden Sonnenstürme von Ende Oktober 2003 (*Halloween Storms*). Weiters sind die an Bord eines Satelliten gemessene Protonenflussdichte, sowie die Zählraten unterschiedlicher terrestrischer Neutronmonitore dargestellt. Mit Hilfe eines in einem Airbus A340 der Lufthansa eingebauten TEPC konnten Strahlungskomponenten unterschiedlicher Ionisationsdichte getrennt gemessen werden. Dieses Verhältnis zeigt während des Sonnensturmes signifikante Änderungen. Abbildung 10 zeigt die relative Abweichung der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung während des Sonnensturmes im Vergleich mit ruhigen Phasen davor und danach. Die Variation beträgt für dieselbe Flug-Strecke etwa  $\pm 10\%$  in 12 km Flughöhe, wohingegen die Abweichung während der Halloween-Stürme rund  $\pm 40\%$  ausmachte (GLE 65 und *Forbush decrease*).



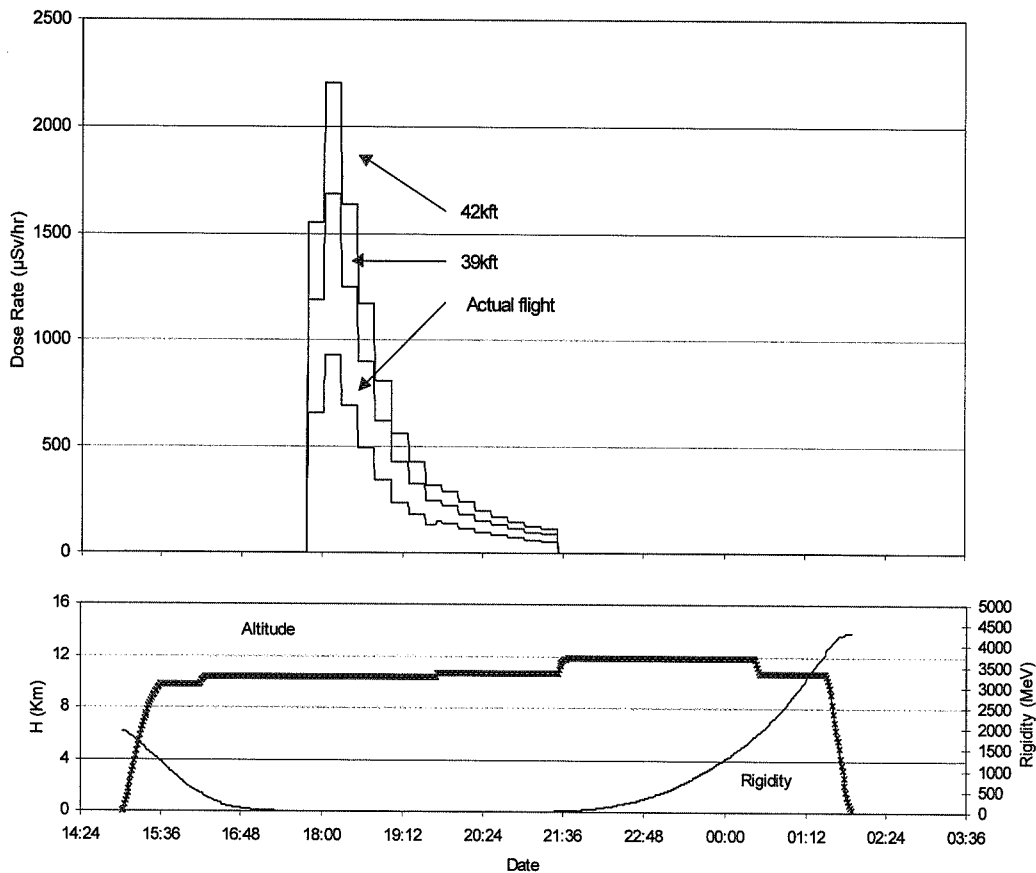


Abbildung 7: Berechnete Dosisleistung in verschiedenen Flughöhen (35.000 ft bzw. 10,5 km; 39.000 ft bzw. 11,9 km; 42.000 ft bzw. 12,8 km) auf der Route London – Los Angeles während des solaren Teilchenereignisses vom 23. Februar 1956 (Dyer 2003).

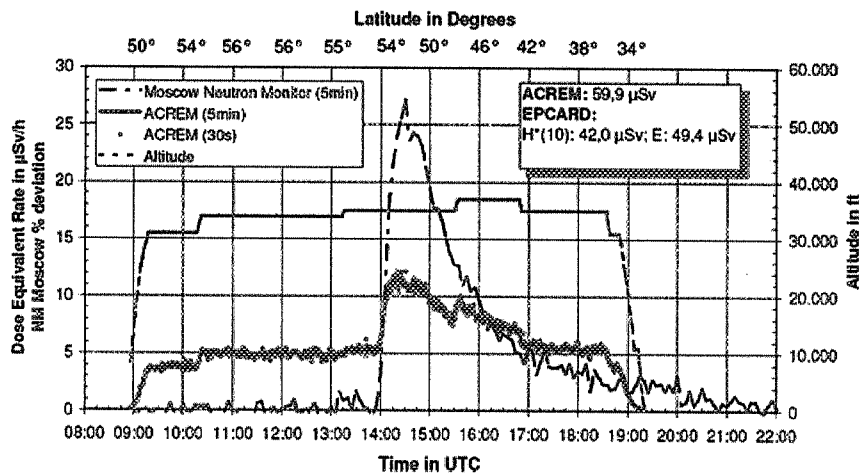


Abbildung 8: Messungen der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung mit dem System AC-REM der Austrian Research Centers GmbH während eines solaren Teilchenereignisses (GLE 60) auf dem Flug Frankfurt – Dallas. Zum Vergleich ist der Zeitverlauf der Zählrate des Moskauer Neutronenmonitors angegeben (Bartlett 2002).

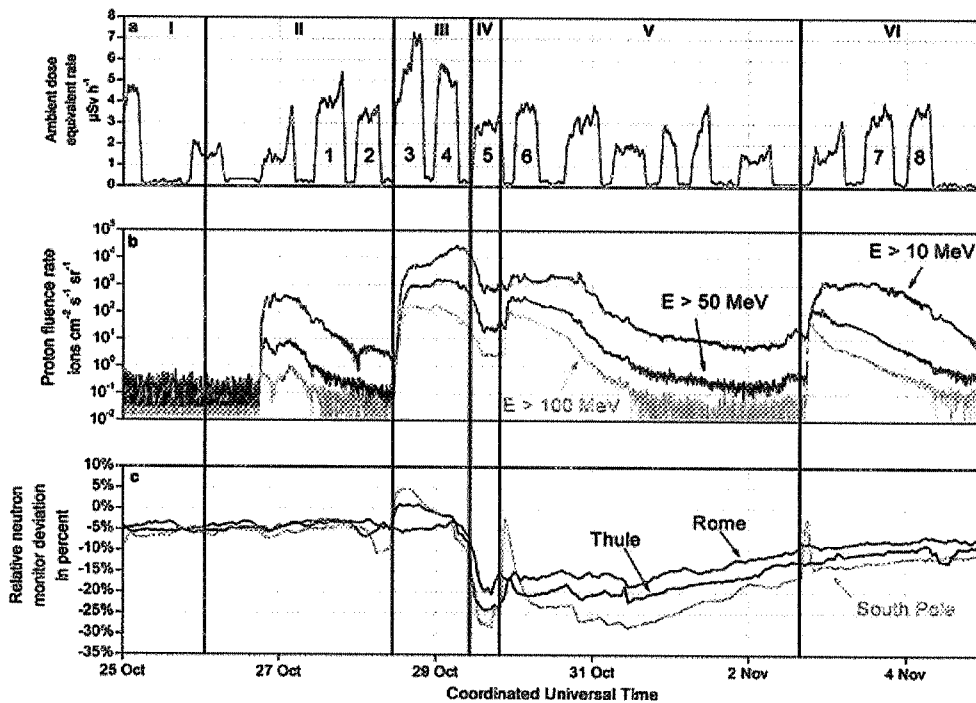


Abbildung 9: Flugmessungen mit einem gewebeäquivalenten Proportionalzähler (TEPC) während der Sonnenstürme von Ende Oktober 2001 (GLE 65, GLE 66 und GLE 67). Zum Vergleich sind Satellitenmessungen der Protonenflussdichte sowie die Zählraten verschiedener terrestrischer Neutronenmonitore dargestellt (Beck 2005).

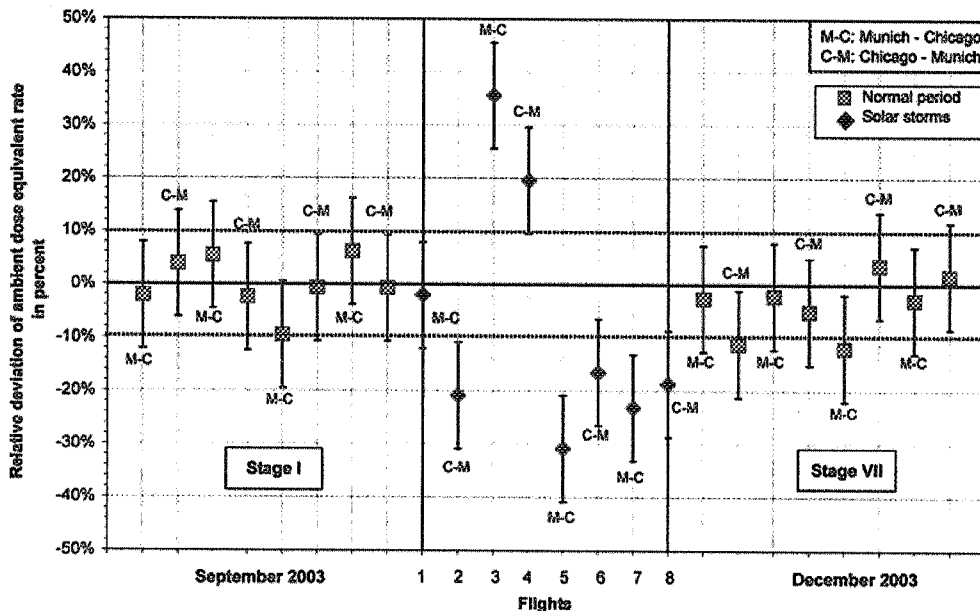


Abbildung 10: Relative Abweichung der Umgebungs-Äquivalentdosisleistung während der Sonnenstürme von Ende Oktober 2001 (GLE 65) in Bezug auf die reguläre Dosisleistung auf einem Flug von München nach Chicago in 12 km Höhe. Die auf den Sonnensturm folgende kurzfristige Verringerung der Dosisleistung (Forbush decrease) ist deutlich zu erkennen (Beck 2005).

Die Strahlenexposition durch solare Teilchenereignisse wurde von einigen Mitgliedern der EURADOS-Taskgruppe auf der Grundlage von Modellen (zum Beispiel SiGLE, QARM, Planetocosmics), Messdaten von terrestrischen Neutronenmonitoren und Satelliten sowie Flugmessungen abgeschätzt (Lantos 2004). Die Rechenmethoden basieren auf solaren Protonenspektren, der Modellierung des Teilchentransports durch die Erdatmosphäre sowie magnetischen Modellen. Umgebungs-Äquivalentdosen  $> 5$  mSv pro Flug und SPE wurden errechnet. Da die Berechnung der Strahlenexposition in der Folge von Sonnenstürmen sehr komplex ist und viele Eingangsdaten erfordert, benötigt eine Abschätzung erhebliche Rechenzeit. Einige Rechenmodelle stimmen mit den verfügbaren Messdaten recht gut überein. Die durch verschiedene Modelle ermittelten Dosiswerte unterscheiden sich jedoch um bis zu eine Größenordnung. Weitere Untersuchungen werden daher notwendig sein, um durch Verbesserung der Modelle eine zuverlässige Abschätzung der Dosisleistung während solarer Teilchenereignisse gewährleisten zu können.

### 4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Exposition durch kosmische Strahlung im Rahmen der Ausübung der beruflichen Tätigkeit wurde in den Empfehlungen der ICRP berücksichtigt. Der Rat der Europäischen Kommission legte mit der Richtlinie 96/29/Euratom die Anforderungen für den Schutz des fliegenden Personals dar. In Österreich wurde diese Richtlinie im Strahlenschutzgesetz (StrSchG 1969) idgF und in einer entsprechenden Verordnung (FIP-StrSchV 2006) umgesetzt. Die Betreiber von Luftfahrtunternehmen sind verpflichtet, die Erfassung der Strahlenexposition durch eine akkreditierte Stelle zu veranlassen, sofern die jährliche effektive Dosis den Wert von 1 mSv überschreiten kann. Die bevorzugte Erfassungsmethode sind Dosisberechnungen in Abhängigkeit von der Flughöhe, den geographischen Koordinaten der Flugroute sowie der Sonnenaktivität. Die errechneten Dosen müssen regelmäßig durch Messungen validiert werden. Für den Betrieb in Höhen von mehr als 15 km (49.000 ft) zugelassene Verkehrsflugzeuge sollten aktive Strahlungsmessgeräte verwenden.

Detaillierte Ergebnisse von EC-geförderten Forschungsprojekten in Bezug auf die Erfassung der Strahlenexposition durch kosmische Strahlung wurden in einem Bericht der EURADOS WG 5 sowie in zahlreichen weiteren Publikationen veröffentlicht. Eine EURADOS-Expertengruppe koordiniert die Forschung über die Auswirkungen von solaren Teilchenereignissen in Flughöhen. Diesbezügliche Dosisberechnungen sind momentan noch sehr zeitaufwendig. Die Ergebnisse mancher Rechenprogramme stimmen mit Messdaten gut überein, jedoch unterscheiden sich die mit verschiedenen Codes ermittelten Dosiswerte um bis zu eine Größenordnung. Die mittlere jährliche effektive Dosis des fliegenden Personals beträgt bei geringer Sonnenaktivität rund 3 mSv (UNSCEAR 2000). Das Auftreten von SPEs, die zu signifikanten Dosiserhöhungen in Flugzeugen führen, ist selten. Am häufigsten ereignen sich SPEs unmittelbar vor und nach einem solaren Aktivitätsmaximum. Abhängig von der Flugroute kann die Dosis pro Ereignis und Flug zwischen mehreren 100  $\mu$ Sv und einigen mSv (für Flüge in Polnähe) liegen.

Obwohl während des letzten Sonnenzyklus bedeutende Fortschritte erzielt worden sind, besteht nach wie vor Bedarf an Forschung und Entwicklung in diesem vergleichsweise jungen Bereich des Strahlenschutzes.

- Die jährliche Strahlenexposition des fliegenden Personals ist im Vergleich zur durchschnittlichen Exposition von Arbeitnehmer/-inne/n im Nuklear- und medizinischen Bereich erhöht. Darüber hinaus entfällt mehr als 50% der biologisch wirksamen Dosis auf Strahlung hoher Ionisationsdichte, für welche die anzunehmenden Risikofaktoren weniger gut bekannt sind.
- Die Natur der Strahlung ist einmalig in Bezug auf ihre Zusammensetzung und Energie, weshalb eine vollständige Charakterisierung der Messgeräte in der atmosphärischen Strahlungsumgebung unerlässlich ist. Nationale Vorschriften sind erforderlich, um zu regeln, wie die Validierung von Rechenprogrammen mittels Messungen erfolgen soll.
- Es besteht der Bedarf, zwischen den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union (EU) Informationen über das Auftreten von solaren Teilchenereignissen auszutauschen. Es muss festgelegt werden, wie solche Ereignisse behandelt werden sollen und die daraus resultierende Strahlenexposition dem fliegenden Personal zuzuordnen ist.

Die Einrichtung einer Expertengruppe für Flugdosimetrie kann der Qualitätssicherung dienen und erhaltene Daten nutzbringend für eventuelle weitere epidemiologische Untersuchungen aufbereiten.

#### 5 Informationen im Internet

AVIDOS-Flugdosisberechnung: <http://www.radiation-seibersdorf.at/avidos>

UN Space Weather Symposium: <http://www.radiation-seibersdorf.at/SWEETS2007.at>

#### 6 Bibliographie

- Allkofer 1975** ALLKOFER, O. C.: *Introduction to cosmic radiation*. 1. Aufl. München : Thiemig, 1975. – ISBN 3-521-06098-5
- Bartlett 1999** BARTLETT, D. T.: Radiation protection concepts and quantities for the occupational exposure to cosmic radiation. In: *Radiat. Prot. Dosim.* 86 (1999), Nr. 4, S. 263-268
- Bartlett 2002** BARTLETT, D. T. ; BECK, P. ; HEINRICH, W. ; PELLICIONI, M. ; ROOS, H. ; SCHRAUBE, H. ; SILARI, M. ; SPURNÝ, F. ; D'ERRICO, F.: Investigation of radiation doses at aircraft altitudes during a complete solar cycle. In: SAWAYA-LACOSTE, H. (Hrsg.): *Proceedings of the Second Solar Cycle and Space Weather Euroconference*. Noordwijk : European Space Agency, 2002 (ESA SP-477). – ISBN 9-290-92749-6, S. 525-528
- Bartlett 2004** BARTLETT, D. T.: Radiation protection aspects of the cosmic radiation exposure of aircraft crew. In: *Radiat. Prot. Dosim.* 109 (2004), Nr. 4, S. 349-355
- Beck 1998** BECK, P. ; GROSSKOPF, A. ; ASPEK, W.: *Entwicklung eines aktiven Dosimeters*. Wien : Allgemeine Unfallversicherungsanstalt, 1998 (AUVA-Report Band 17). – Forschungsbericht

- Beck 1999** BECK, P. ; AMBROSI, P. ; SCHREWE, U. ; O'BRIEN, K.: *Aircrew radiation exposure monitoring*. Seibersdorf : ARC Seibersdorf research, 1999 (OEFZS-G-0008). - Forschungsbericht
- Beck 2005** BECK, P. ; LATOCHA, M. ; ROLLET, S. ; STEHNO, G.: TEPC reference measurements at aircraft altitudes during a solar storm. In: *Adv. Space Res.* 36 (2005), Nr. 9, S. 1627-1633
- Beck 2006** BECK, P. ; BARTLETT, D. T. ; LINDBORG, L. ; MCAULAY, I. R. ; SCHNUER, K. ; SCHRAUBE, H. ; SPURNÝ, F.: Aircraft crew radiation workplaces: comparison of measured and calculated ambient dose equivalent rate data using the EURADOS in-flight radiation data base. In: *Radiat. Prot. Dosim.* 118 (2006), Nr. 2, S. 182-189
- Beck 2007a** BECK, P. ; LATOCHA, M. ; DORMAN, L. ; PELLICIONI, M. ; ROLLET, S.: Measurements and simulations of the radiation exposure to aircraft crew workplaces due to cosmic radiation in the atmosphere. In: *Radiat. Prot. Dosim.* 126 (2007), Nr. 1-4, S. 564-567
- Beck 2007b** BECK, P. ; BARTLETT, D. T. ; BILSKI, P. ; DYER, C. ; FLÜCKIGER, E. ; FULLER, N. ; LANTOS, P. ; REITZ, G. ; RÜHM, W. ; SPURNÝ, F. ; TAYLOR, G. ; TROMPIER, F. ; WISSMANN, F.: *Validation of modelling the radiation exposure due to solar particle events in aircraft altitudes*. URL [http://www.euradnews.org/storyfiles/230191.0.conrad\\_wp6\\_sg-b\\_full\\_report.pdf](http://www.euradnews.org/storyfiles/230191.0.conrad_wp6_sg-b_full_report.pdf). - Mai 2007. - Forschungsprojekt CONRAD
- Dyer 2003** DYER, C. S. ; LEI, F. ; CLUCAS, S. ; SMART, D. F. ; SHEA, M. A.: Calculations and observations of solar particle enhancements to the radiation environment at aircraft altitudes. In: *Adv. Space Res.* 32 (2003), Nr. 1, S. 81-93
- FIP-StrSchV 2006** Strahlenschutzverordnung fliegendes Personal (FIP-StrSchV), BGBl. II Nr. 235/2006
- Grimani 2005** GRIMANI, C. ; VOCCA, H.: Solar physics with LISA. In: *Class. Quantum Grav.* 22 (2005), Nr. 10, S. S333-S338
- ICRP 1991** INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (Hrsg.): 1990 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. In: *Ann. ICRP* 21 (1991), Nr. 1-3, S. 1-201
- ICRP 2007** INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (Hrsg.): The 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. In: *Ann. ICRP* 37 (2007), Nr. 2-4, S. 1-332
- Kelly 1999** KELLY, M. ; MENZEL, H. G. ; SCHNUER, K. ; RYAN, T.: Editorial - cosmic radiation and aircrew exposure. In: *Radiat. Prot. Dosim.* 86 (1999), Nr. 4, S. 245
- Hajek 2002** HAJEK, M. ; BERGER, T. ; SCHÖNER, W. ; SUMMERER, L. ; VANA, N.: Dose assessment of aircrew personnel using passive detectors. In: *Radiat. Prot. Dosim.* 100 (2002), Nr. 1-4, S. 511-514
- Hajek 2004** HAJEK, M. ; BERGER, T. ; VANA, N.: A TLD-based personal dosimeter system for aircrew monitoring. In: *Radiat. Prot. Dosim.* 110 (2004), Nr. 1-4, S. 337-341
- Hume 1999** HUME, C.: Cosmic radiation - an aircraft manufacturer's view. In: *Radiat. Prot. Dosim.* 86 (1999), Nr. 4, S. 335-336

- Lantos 2004** LANTOS, P. ; FULLER, N.: Semi-empirical model to calculate potential radiation exposure on board airplane during solar particle events. In: *IEEE Trans. Plasma Sci.* 32 (2004), Nr. 4, S. 1468-1477
- Lindborg 2004** LINDBORG, L. ; BARTLETT, D. T. ; BECK, P. ; MCAULAY, I. R. ; SCHNUER, K. ; SCHRAUBE, H. ; SPURNÝ, F. (Hrsg.): *Cosmic radiation exposure of aircraft crew: compilation of measured and calculated data / EURADOS WG 5*. Luxemburg : European Commission, 2004 (Radiation Protection 140). - Forschungsbericht
- McAulay 1993** MCAULAY, I. R.: Round table discussion - radiation exposure of civil aircrew. In: *Radiat. Prot. Dosim.* 48 (1993), Nr. 1, S. 135-140
- Noll 1999** NOLL, M. ; VANA, N. ; SCHÖNER, W. ; FUGGER, M.: Measurements of the equivalent dose in aircraft with TLDs. In: *Radiat. Prot. Dosim.* 85 (1999), Nr. 1-4, S. 283-286
- O'Sullivan 2002** O'SULLIVAN, D.: Recent studies on the exposure of aircrew to cosmic and solar radiation. In: *Radiat. Prot. Dosim.* 100 (2002), Nr. 1-4, S. 495-498
- Schraube 2002** SCHRAUBE, H. ; LEUTHOLD, G. ; HEINRICH, W. ; ROESLER, S. ; MARES, V. ; SCHRAUBE, G.: *EPCARD - European program package for the calculation of aviation route doses*. Neuherberg : GSF - Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, 2002 (GSF-Report 08/02). - Benutzerhandbuch
- Spurný 2003** SPURNÝ, F. ; DACHEV, T.: Long-term monitoring of the onboard aircraft exposure level with a Si-diode based spectrometer. In: *Adv. Space Res.* 32 (2003), Nr. 1, S. 53-58
- StrSchG 1969** Strahlenschutzgesetz (StrSchG), BGBl. Nr. 227/1969, zuletzt geändert durch das Strahlenschutz-EU-Anpassungsgesetz 2004, BGBl. I Nr. 137/2004
- UNSCEAR 2000** UNITED NATIONS (Hrsg.): *Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2000 Report*. Vol. I. New York : United Nations, 2001 (E.00.IX.3)
- van Dijk 2003** VAN DIJK, W. E.: Dose assessment of aircraft crew in the Netherlands. In: *Radiat. Prot. Dosim.* 106 (2003), Nr. 1, S. 25-31