

Die berufliche Strahlenexposition des fliegenden Personals in Deutschland 2004 – 2009

Bericht des Strahlenschutzregisters

Fachbereich
Strahlenschutz und Gesundheit

Gerhard Frasch

Lothar Kammerer

Ralf Karofsky

Andrea Schlosser

Josef Spiesl

Ralf Stegemann



Bundesamt für Strahlenschutz

BfS-SG-15/11

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokuments immer auf folgende URN:

urn:nbn:de:0221-201108016029

Zur Beachtung:

BfS-Berichte und BfS-Schriften können von den Internetseiten des Bundesamtes für Strahlenschutz unter <http://www.bfs.de> kostenlos als Volltexte heruntergeladen werden.

Salzgitter, August 2011

Die berufliche Strahlenexposition des fliegenden Personals in Deutschland 2004 - 2009

Bericht des Strahlenschutzregisters

**Fachbereich
Strahlenschutz und Gesundheit**

Gerhard Frasch

Lothar Kammerer

Ralf Karofsky

Andrea Schlosser

Josef Spiesl

Ralf Stegemann

INHALT

ZUSAMMENFASSUNG	5
1 Die Strahlenexposition durch Höhenstrahlung	7
1.1 Kosmische Strahlung	7
1.2 Sonnenwind und Sonnezyklus	7
1.3 Das Magnetfeld der Erde	8
1.4 Solar Particle Events	9
1.5 Die Höhenstrahlung	9
2 Die Strahlenexposition beim Fliegen	11
2.1 Höhenstrahlung – ein Teil der natürlichen Strahlenexposition	11
2.2 Höhenstrahlung und gesundheitliche Risiken	12
3 Die Strahlenschutzüberwachung des fliegenden Personals	13
3.1 Die Rechtslage	13
3.2 Ermittlung der Strahlendosis	13
3.3 Organisation der beruflichen Strahlenschutzüberwachung	13
4 Die Strahlenexposition des fliegenden Personals von 2004 bis 2009	15
4.1 Allgemeine Bemerkungen zu den Auswertungen	15
4.2 Geschlecht und Tätigkeitskategorie	20
4.3 Altersverteilung	22
4.4 Dosisverteilung	26
4.5 Bivariate Verteilungen	37
4.6 Strahlenexposition des fliegenden Personals im europäischen Vergleich	40
4.7 Strahlenexposition des fliegenden Personals im Vergleich zu anderen Berufsgruppen	40
5 Anhang	43
6 Literaturhinweise	45

ZUSAMMENFASSUNG

Die Europäische Kommission hat in der EU-Richtlinie 96/29 EURATOM den Schutz vor einer erheblich erhöhten Exposition durch natürliche Strahlenquellen festgeschrieben. Dieser Schutz erstreckt sich auch auf das fliegende Personal, das infolge der kosmisch bedingten Höhenstrahlung eine Jahresdosis von mehr als 1 mSv erhalten kann. In Deutschland wurde diese Anforderung mit der Novelle der Strahlenschutzverordnung 2001 in nationales Recht umgesetzt. Seit August 2003 ermitteln Luftfahrtgesellschaften aus den verschiedenen Bereichen der Luftfahrt (Linie, Charter, Luftfracht, Militär, etc.) mit hierfür zugelassenen Dosisberechnungsprogrammen die Flugroutendosen für ihr fliegendes Personal und übermitteln diese als kumulierte, personenbezogene Monatsdosen über das Luftfahrt-Bundesamt an das Strahlenschutzregister des Bundesamts für Strahlenschutz.

Das Strahlenschutzregister hat 2005 über die Strahlenexposition des fliegenden Personals in Deutschland im ersten Jahr nach Beginn seiner Strahlenschutzüberwachung berichtet¹. Der vorliegende Bericht deckt nun den Expositionszeitraum 2004 – 2009 ab.

In diesen sechs Jahren wuchs der strahlenschutzüberwachte Personenkreis des fliegenden Personals um 23 % auf 36.600 Personen an. Im gleichen Zeitraum erhöhte sich die Kollektivdosis um 48 % auf 86 Pers.-Sv an; die mittlere Jahresdosis nahm um 20 % zu und betrug 2,35 mSv in 2009. Der Dosisanstieg ist im Wesentlichen auf die kosmische Hintergrundstrahlung zurückzuführen, die infolge der bis 2009 abnehmenden Sonnenaktivität zunehmend stärker in die Atmosphäre eindringen konnte. Höhenstrahlung und Sonnenaktivität verändern sich in einem Zyklus von etwa elf Jahren. Die Änderung der Expositionen ist aber auch von flugbetriebsspezifischen Ursachen beeinflusst.

Im Vergleich mit anderen strahlenexponierten Berufsgruppen zählt das fliegende Personal zu den Berufsgruppen mit den höchsten durchschnittlichen Jahresdosen, von denen wiederum die männlichen Flugbegleiter in 2009 mit durchschnittlich 2,9 mSv am höchsten exponiert waren. Charakteristisch ist beim fliegenden Personal die Häufigkeitsverteilung der Jahresdosis: sie ist in der Regel ein- oder zweipfellig, während sie in den meisten anderen strahlenexponierten Tätigkeitsbereichen mit zunehmender Dosis annähernd exponentiell abfällt. Im Gegensatz zu anderen Berufsgruppen bleiben alle Jahresdosen aber unterhalb von 8 mSv. Stark korreliert sind die Merkmale Geschlecht und Tätigkeit: in der Kabine arbeiten zu 80 % Frauen, die Flugzeuge steuern dagegen zu 96 % Männer. Die Anzahl der Pilotinnen hat sich aber im Berichtszeitraum mit einer Zunahme von 95 % annähernd verdoppelt. Ihre mittlere Strahlenexposition ist ähnlich der der Piloten.

Die bivariate Analyse des Personals nach Alter und Jahresdosis zeigt charakteristische Cluster, die von sozialen und flugbetriebsspezifischen Merkmalen bestimmt werden und zu unterschiedlich hohen Expositionen führen. So sind z.B. junge Flugbegleiterinnen häufig höher exponiert als ihre Kolleginnen mittleren Alters. Junge Piloten haben dagegen häufig niedrige Jahresdosiswerte. Die 2004 noch klar strukturierten Cluster verschieben sich im Beobachtungszeitraum wegen der zunehmenden Höhenstrahlung zu höheren Dosiswerten und verlieren ihre scharfen Konturen.

Im europäischen Vergleich stellt Deutschland beim fliegenden Personal die höchste Anzahl an strahlenschutzüberwachten Personen. Im Vergleich mit den mittleren Jahresdosiswerten jener europäischen Länder, die eine amtliche Dosisermittlung des fliegenden Personals durchführen, liegt Deutschland im Mittelfeld.

Es gibt in einzelnen epidemiologischen Studien Hinweise darauf, dass das fliegende Personal leicht erhöhten Gesundheitsrisiken ausgesetzt ist. Ein ursächlicher Zusammenhang zwischen der Höhenstrahlung und z. B. der Häufigkeit von Krebserkrankungen ist nach gegenwärtigem Kenntnisstand aber wissenschaftlich nicht gesichert. Weil aber alle beruflich strahlenexponierten Personen vor einer möglichen gesundheitlichen Gefährdung durch ionisierende Strahlung zu schützen sind, unterliegt auch das Cockpit- und Kabinenpersonal der gesetzlichen Strahlenschutzüberwachung. Dies bedeutet, dass die Strahlenexposition des fliegenden Personals zu ermitteln, zu begrenzen und unter Berücksichtigung des Einzelfalls so gering wie möglich zu halten ist. Die klassischen Prinzipien des Strahlenschutzes (Abschirmung, Abstand, Aufenthaltszeit) sind auf das Fliegen allerdings nur sehr begrenzt anwendbar. Deshalb sind die Betreiber von Flugzeugen verpflichtet, insbesondere bei der Aufstellung der Arbeitspläne und bei der Festlegung der Flugrouten und -profile die Strahlenexposition des Flugpersonals zu optimieren.

1 Die Strahlenexposition durch Höhenstrahlung

1.1 Kosmische Strahlung

Die Erde ist ständig einem gleichmäßigen Strom von hochenergetischen atomaren Teilchen ausgesetzt, die aus den Tiefen der Galaxis sowie von unserer Sonne kommen und in die Erdatmosphäre eindringen. Hauptsächlich besteht dieser Teilchenstrom aus Protonen, Heliumkernen und Elektronen. Diese kosmische Strahlung dringt jedoch nicht vollständig und auch nicht an jedem Ort gleich intensiv in die Erdatmosphäre ein. Drei Schutzmechanismen, der Sonnenwind, das Magnetfeld der Erde und die Erdatmosphäre selbst, schirmen die Erde gegen diese galaktische Teilchenstrahlung ab.

1.2 Sonnenwind und Sonnezyklus

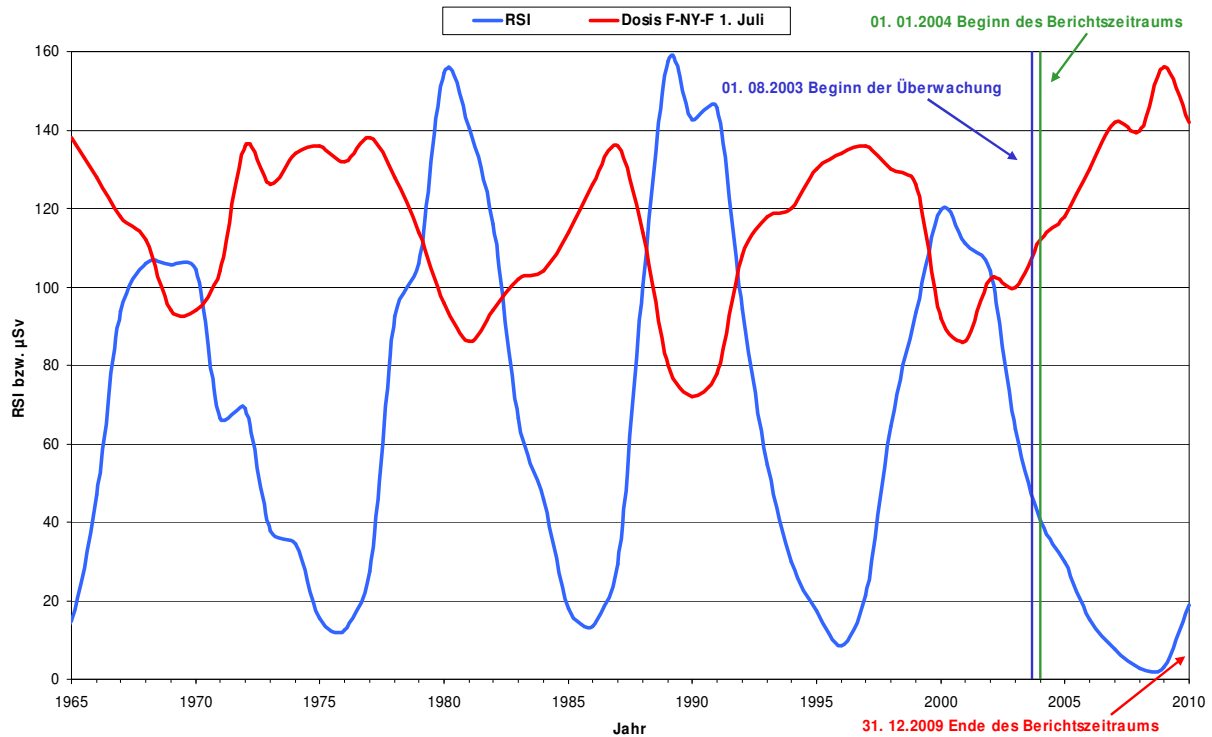
Der so genannte „Sonnenwind“ ist ein von der Sonne ausgehender Strom aus geladenen Teilchen. Ein kleiner Teil des Sonnenwinds dringt zwar ebenfalls in unsere Atmosphäre ein, hauptsächlich aber lenkt er einen Teil der galaktischen Strahlung von unserem Sonnensystem ab. Dies geschieht durch komplexe physikalische Prozesse, die noch nicht vollständig bekannt sind.

Die Intensität dieser Sonnenaktivität ist nicht konstant, sondern sie nimmt periodisch innerhalb eines Zeitraums von etwa elf Jahren zu und wieder ab. Dieser so genannte Sonnezyklus wird u. a. sichtbar an der Anzahl der Sonnenflecken auf der Sonnenoberfläche: in Zeiten hoher Sonnenaktivität kann man auf der Sonnenoberfläche vermehrt Sonnenflecken beobachten, bei niedriger Sonnenaktivität sind es entsprechend weniger.

Der Sonnezyklus hat einen erheblichen Einfluss auf die Höhe der Strahlendosis, der man bei Flügen ausgesetzt ist. Wenn die Sonnenaktivität im Maximum ist (man also viele Sonnenflecken beobachten kann), herrscht ein starker Sonnenwind, dadurch gelangt weniger kosmische Strahlung in die Erdatmosphäre. Im solaren Minimum ist dagegen die Sonnenaktivität gering, so dass mehr kosmische Strahlung in die Atmosphäre eindringen kann. Die beobachtbare Anzahl der Sonnenflecken geht in den so genannten **Relativen Sonnenflecken Index** (RSI) ein, mit dem man die Phasen des Sonnezyklus misst. Je größer der Wert des relativen Sonnenfleckenindex ist, desto geringer ist die Wirkung der kosmischen Strahlung in der Erdatmosphäre und umgekehrt. Das letzte Minimum der Sonnenaktivität war im Jahr 2009 (Abb. 1.1).

Im Berichtszeitraum 2004 – 2009 hat die Sonnenaktivität kontinuierlich abgenommen, mit der Folge, dass die Strahlendosis bei den Flügen zugenommen hat. Abhängig von der unterschiedlichen Abschirmwirkung des Erdmagnetfeldes (s. u.) stieg die Flugdosis bei Langstreckenflügen zwischen 3 % bei Äquatorrouten und 21 % bei Polrouten an (Abb. 4.6). Dieser Einfluss spiegelt sich deutlich im Anstieg der mittleren jährlichen Dosis des fliegenden Personals wieder (Abb. 4.5).

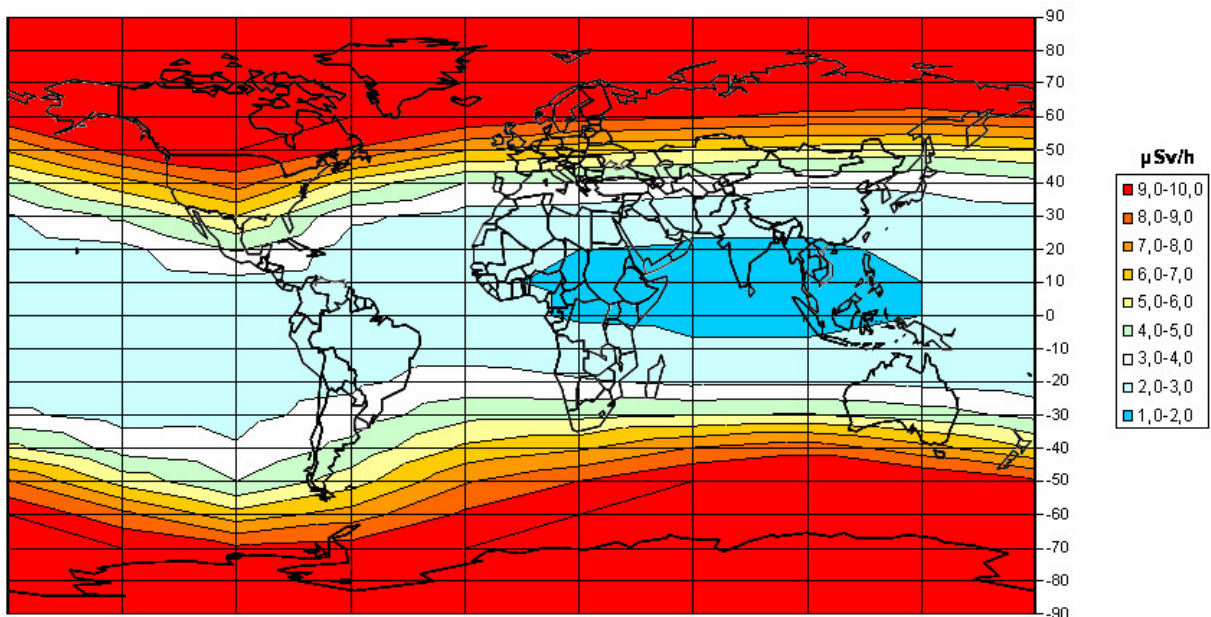
Abb. 1.1: Veränderung des jährlichen Relativen Sonnenfleckenindex (RSI) und der Dosis durch Höhenstrahlung auf einer Flugreise Frankfurt - New York – Frankfurt (RSI 2010 geschätzt)



1.3 Das Magnetfeld der Erde

Das Magnetfeld der Erde lenkt einen Teil der elektrisch geladenen, kosmischen Teilchen bereits weit außerhalb der Erdatmosphäre ab. Die Abschirmung durch das Erdmagnetfeld wirkt am stärksten über dem Äquator. Bis zu den dreißigsten Breitengraden nördlich und südlich des Äquators verlaufen die magnetischen Feldlinien nahezu parallel zur Erdoberfläche und lenken einen Teil der elektrisch geladenen Teilchen der kosmischen Strahlung ab, so dass nur sehr hochenergetische Teilchen in die Atmosphäre eindringen können. Über den geomagnetischen Polen, die sich etwa 1600 km abseits der geografischen Pole unserer Erde befinden, ist die Schutzwirkung dagegen am schwächsten. Zwischen den sechzigsten Breitengraden und den geomagnetischen Polen dringen die geladenen kosmischen Teilchen entlang der Magnetfeldlinien in die Atmosphäre ein. Infolge dessen ist die kosmische Strahlung in den nördlichen und südlichen Regionen der Erde deutlich intensiver als am Äquator (Abb. 1.2).

Abb. 1.2: Dosisleistung an verschiedenen geografischen Breiten und Längen in 11 km Höhe



Da die magnetischen Pole langsam wandern, verändert sich auch das Magnetfeld der Erde und mit ihm dessen Schutzwirkung. Vor einem Jahrhundert waren es wenige Kilometer pro Jahr, mittlerweile sind es etwa 40 Kilometer pro Jahr. Derzeit zwischen Nordostkanada und Grönland gelegen, könnte der magnetische Nordpol in gut 20 Jahren in der Nähe des geografischen Nordpols angekommen sein und bis 2050 Sibirien erreichen.

1.4 Solar Particle Events

Neben dem zyklisch zu- und abnehmenden Sonnenwind gibt es immer wieder plötzlich auftretende, aus der Corona der Sonne heraustretende, strahlungsintensive Eruptionen, die „Solar Particle Events“ (SPE) genannt werden. Diese entstehen gehäuft in Zeiten des solaren Maximums und erzeugen für mehrere Stunden oder Tage einen abrupten Anstieg der solaren Protonen- und Röntgenstrahlung. Die SPE sind auch in der Lage während dieser Zeit geomagnetische Stürme zu verursachen. In einigen wenigen Fällen (alle paar Jahre) gibt es bei diesen Sonneneruptionen auch einen größeren Anteil an höherenergetischen Teilchen, die dann vor allem auf polnahen Flugrouten in Höhen von 10 – 15 km einen erheblichen Anstieg der Ortsdosisleistung verursachen.

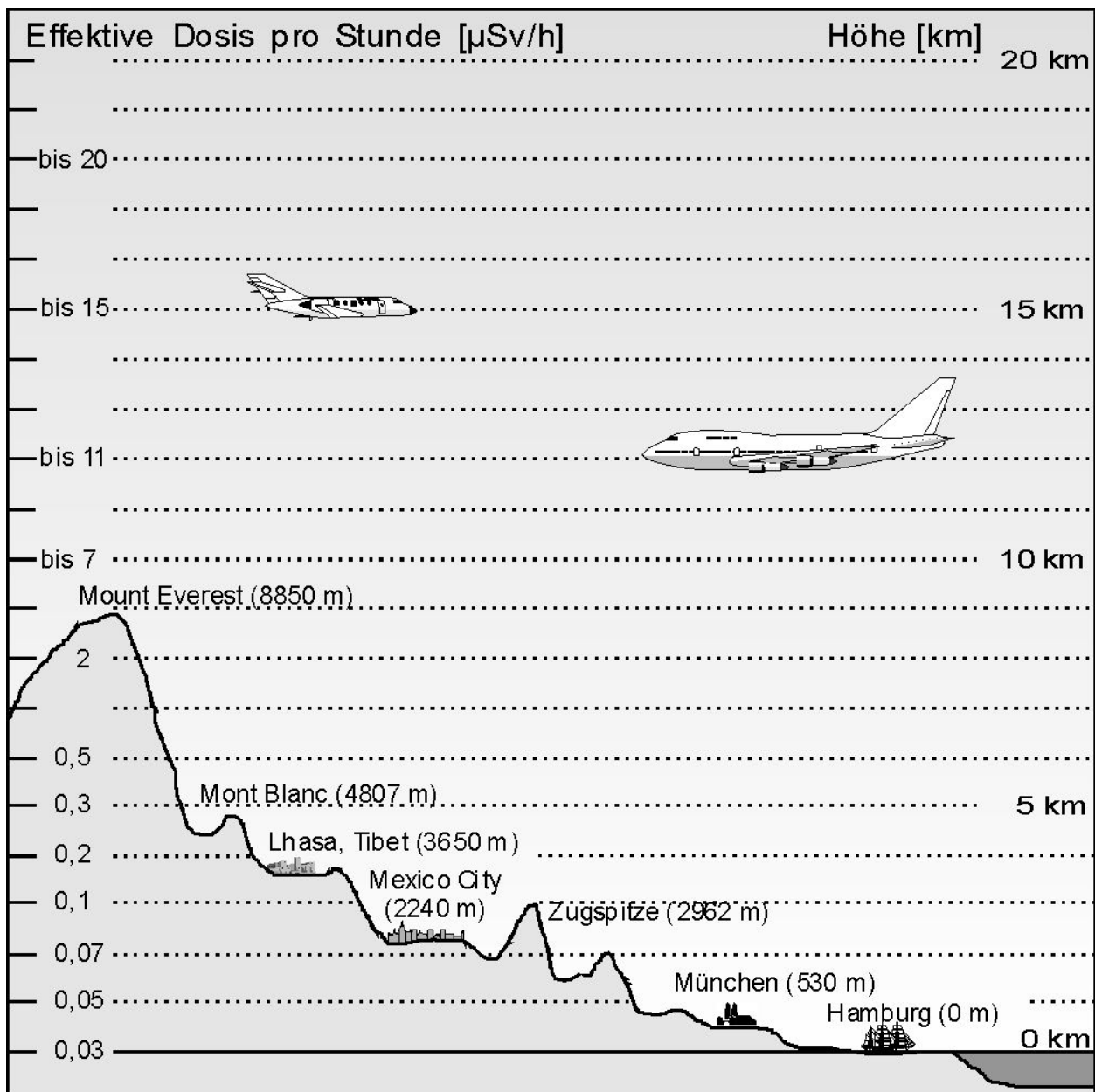
1.5 Die Höhenstrahlung

Jene Teilchen der kosmischen Strahlung, die in die Atmosphäre gelangen, reagieren auf ihrem Weg durch die Lufthülle mit den Bestandteilen der Atmosphäre. Durch diese Wechselwirkung entsteht eine Vielzahl neuer, so genannter Sekundärteilchen, die ebenfalls sehr hohe Energien besitzen. Die Gesamtheit dieser sub-atomaren Teilchen bildet die so genannte Höhenstrahlung.

Wenn Menschen dieser ionisierenden Strahlung ausgesetzt sind, dann erhalten sie eine Strahlenbelastung, die mittels der so genannten „effektiven Dosis“ bestimmt wird. Die effektive Dosis ist ein Gesamtmaß für die Strahlenexposition, in das die biologische Wirkung der Teilchen auf die verschiedenen exponierten Körperorgane mit unterschiedlichen Gewichtungen eingehen. Sie wird üblicherweise bei Jahresdosen in Milli-Sievert [mSv] und bei Einzelflügen in Mikro-Sievert [$\mu\text{Sv} = \text{mSv}/1000$] angegeben.

In Reiseflughöhen von etwa 10 – 15 km erhalten Menschen eine effektive Dosis, die sich zu ca. 40 % aus der Wirkung von Neutronen, ca. 35 % aus der von Protonen und etwa 25 % aus der von Elektronen, Myonen und Photonen zusammensetzt. Diese Prozentangaben sind allerdings nur grobe Richtwerte, die vor allem mit der Höhe über dem Meeresspiegel und der geografischen Breite variieren. Mit der zunehmenden Nähe zur Erdoberfläche und der damit ansteigenden Dichte der Atmosphäre wird die Wirkung der Höhenstrahlung zunehmend schwächer und die Dosisleistung nimmt ab (Abb. 1.3).

Abb. 1.3: Effektive Dosisleistung durch Höhenstrahlung in Abhängigkeit von der Höhe über dem Meeresspiegel



2 Die Strahlenexposition beim Fliegen

Die hochenergetischen Bestandteile der Höhenstrahlung bestimmen die auf den Menschen einwirkende Strahlungsdosis. Das Ausmaß der Strahlenexposition beim Fliegen hängt vor allem ab von

- der Flughöhe,
- der Flugdauer,
- dem geografischen Verlauf der Flugroute,
- der Sonnenaktivität und
- dem Auftreten von SPE.

In einer Höhe von 11 Kilometern und nördlich des sechzigsten Breitengrades (Helsinki – Oslo - Südspitze Grönland) betrug die effektive Dosis durch Höhenstrahlung Ende 2007 zwischen 9 bis 10 Mikro-Sievert pro Stunde ($\mu\text{Sv/h}$), im Bereich des Äquators betrug sie wegen der Abschirmung durch das Erdmagnetfeld auf der gleichen Flughöhe nur etwa ein Drittel. So führt beispielsweise ein Flug von Frankfurt nach New York über die Polroute (ca. 9 Stunden Flugdauer, davon 8 Stunden in Reiseflughöhe bei ca. $9 \mu\text{Sv/h}$) zu einer Strahlenexposition von ca. $72 \mu\text{Sv}$. Dagegen beträgt die Strahlenexposition auf einem etwa gleich lang dauernden Flug über den Äquator von Frankfurt nach Johannesburg nur ca. $28 \mu\text{Sv}$. Diese Werte galten gegen Ende des Jahres 2007, also zu einer Zeit mit niedriger Sonnenaktivität und entsprechen damit annähernd den maximalen Routendosen für diesen Flug. In Tab. 2.1 sind effektive Dosen, die durch Höhenstrahlung auf häufig beflogenen Strecken typischerweise entstehen, zusammengestellt.

Tab. 2.1: Effektive Dosis durch Höhenstrahlung auf ausgewählten Flugrouten

Abflug	Ankunft	Dosisbereich* [μSv]
Frankfurt	Rom	3 – 6
Frankfurt	Gran Canaria	10 – 18
Frankfurt	Rio de Janeiro	17 – 30
Frankfurt	Johannesburg	18 – 30
Frankfurt	Singapur	28 – 50
Frankfurt	New York	32 – 80
Frankfurt	San Francisco	45 – 110

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

2.1 Höhenstrahlung – ein Teil der natürlichen Strahlenexposition

Die Menschheit ist schon immer einer naturbedingten Strahlung ausgesetzt. Die Höhenstrahlung ist nur eine Komponente der gesamten natürlichen Strahlenexposition. In Meereshöhe beträgt die effektive Dosis aus der Höhenstrahlung ca. $0,3 \text{ mSv}$ pro Jahr. Den größten Anteil an der natürlichen Strahlenexposition hat mit durchschnittlich $1,1 \text{ mSv}$ pro Jahr die Inhalation von Radon, einem radioaktiven Edelgas, das überwiegend von Böden und Gesteinen abgegeben wird und das wir über die Atemluft aufnehmen. Zusätzlich wirkt von Außen die terrestrische Strahlung auf uns ein, d. h. die Strahlung aus den natürlichen radioaktiven Stoffen im Gestein der Erdkruste. Sie liefert im Mittel jährlich einen Beitrag von $0,4 \text{ mSv}$. Auch der menschliche Körper enthält natürliche radioaktive Stoffe; vor allem trägt das Kalium 40 in unseren Muskelzellen mit ca. $0,3 \text{ mSv}$ zur jährlichen Strahlenexposition aus natürlichen Quellen bei. In Deutschland beträgt die mittlere effektive Dosis aus der gesamten natürlichen Strahlenexposition etwa $2,1 \text{ mSv}$ pro Jahr. Je nach Aufenthaltsort schwankt der tatsächliche Wert zwischen 1 und 6 mSv pro Jahr².

Eine Flugreise von Frankfurt nach New York und zurück führt zu einer durchschnittlichen zusätzlichen Strahlenexposition von ca. $100 \mu\text{Sv}$ ($=0,1 \text{ mSv}$). Durch eine solche Flugreise wird also die mittlere jährliche Gesamtdosis aus der natürlichen Strahlung um etwa fünf Prozent erhöht. Zwar wird bei diesen Flügen auch ein Teil der Strahlendosis, die man während der Dauer des Fluges am Boden erhalten würde „eingespart“; da sich die meisten Menschen aber nur für wenige Stunden eines Jahres in Flughöhe befindet, ist diese Einsparung unbedeutend.

2.2 Höhenstrahlung und gesundheitliche Risiken

Grundsätzlich kann ionisierende Strahlung die Körperzellen schädigen und z.B. Krebserkrankungen auslösen. Die Wahrscheinlichkeit für einen gesundheitlichen Schaden hängt von der Strahlendosis ab, das Risiko steigt mit zunehmender Strahlendosis an. Für Menschen, die wenig fliegen, ist die zusätzliche Exposition durch kosmische Strahlung von untergeordneter Bedeutung. Wenn ein Flug zu privaten Zwecken durchgeführt wird, liegt es im persönlichen Ermessen des einzelnen Bürgers, abzuwägen, ob er einen Flug für gerechtfertigt hält und wie er die Risiken eines Fluges gegen die Risiken alternativer Verkehrsmittel zu Wasser oder zu Lande abwägt. Wer dagegen aus beruflichen Gründen fliegt, hat diese Entscheidungsfreiheit in der Regel nicht.

Piloten, flugbegleitendes Personal, aber auch berufliche „Vielflieger“ können, wenn sie insbesondere häufig Mittelstrecken fliegen oder auf Langstrecken über den nördlichen Polrouten eingesetzt werden, Strahlendosen erhalten, die durchaus vergleichbar sind mit Dosiswerten in Berufsgruppen, die ionisierende Strahlung z.B. für industrielle Anwendungen einsetzen oder die mit radioaktiven Quellen umgehen. Aus Gründen der Gleichbehandlung beim Arbeitsschutz wurde deshalb das fliegende Personal in die berufliche Strahlenschutzüberwachung einbezogen.

In einzelnen Studien gibt es Hinweise darauf, dass fliegendes Personal leicht erhöhten Gesundheitsrisiken ausgesetzt sein könnte. Von einem wissenschaftlich gesicherten, ursächlichen Zusammenhang zwischen der Wirkung der Höhenstrahlung auf den menschlichen Körper und z.B. der Häufigkeit von Krebserkrankungen kann man nach gegenwärtigem Kenntnisstand aber nicht sprechen³. Aus Gründen der Vorsorge wird jedoch ein mögliches strahlungsbedingtes Gesundheitsrisiko durch Höhenstrahlung mittels der Strahlenschutzüberwachung begrenzt.

3 Die Strahlenschutzüberwachung des fliegenden Personals

3.1 Die Rechtslage

Bis 1996 beschränkte sich der Strahlenschutz für Arbeitskräfte auf Tätigkeiten, bei denen man radioaktive Stoffe oder ionisierende Strahlung gezielt einsetzt. Es gibt aber auch Arbeitsgebiete, in denen das Vorhandensein natürlicher Strahlenquellen eine Begleiterscheinung des Arbeitslebens ist, die ebenfalls zu einer Strahlenexposition führen kann. Die Europäische Kommission verlangt deshalb in der EU-Richtlinie 96/29 EURATOM⁴ für beruflich strahlenexponierte Personen auch den Schutz vor einer erheblich erhöhten Exposition durch natürliche Strahlenquellen und bezieht in diesen Schutz unter anderem auch das fliegende Personal ein.

In Deutschland wurde diese Anforderung mit der Novelle der Strahlenschutzverordnung 2001 (StrlSchV) in nationales Recht umgesetzt⁵. Dies bedeutet, dass die Strahlenexposition des fliegenden Personals zu ermitteln, zu begrenzen und unter Berücksichtigung des Einzelfalls so gering wie möglich zu halten ist. In §103, Absatz 2 der StrlSchV, weist der Gesetzgeber auf die Pflicht zur Dosisreduzierung nach §94 StrlSchV hin, der insbesondere bei der Aufstellung der Arbeitspläne und bei der Festlegung der Flugrouten und –profile Rechnung getragen werden kann. Überwachungspflichtig ist Luftfahrtpersonal demzufolge dann, wenn es in einem Beschäftigungsverhältnis gemäß deutschem Arbeitsrecht steht und während der Flüge durch Höhenstrahlung eine effektive Dosis von mehr als 1 mSv im Kalenderjahr erhalten kann. Die Betreiber von Flugzeugen sind verpflichtet, ab August 2003 Dosiswerte zu ermitteln. Wie alle anderen beruflich strahlenexponierten Personen erhält damit auch das fliegende Personal eine rechtlich abgesicherte Strahlenschutzüberwachung.

3.2 Ermittlung der Strahlendosis

Technisch besteht die Möglichkeit, die Ortsdosisleistung während eines Fluges mittels im Flugzeug eingebauter Messgeräte (gewebeäquivalenter Proportionalzähler) zu messen und daraus die Strahlendosis zu ermitteln, die im Verlauf des Fluges durch Höhenstrahlung entsteht. Da die physikalischen Bedingungen, die zu der Strahlendosis durch Höhenstrahlung führen, aufgrund von weltweiten physikalischen Messungen in der Atmosphäre recht gut bekannt sind, kann man diese Strahlendosen aber auch hinreichend genau berechnen, wenn man die flugbestimmenden Daten (Start- und Zielflughafen, Flugdauer und –höhe, Flugdatum) verwendet. Hierfür existieren Computerprogramme, die rechnerisch die gesamte effektive Dosis ermitteln, die bei einem Flug entsteht.

Rechenprogramme, die für die amtliche Dosisüberwachung verwendet werden, bedürfen der Zulassung durch das Luftfahrt-Bundesamt (LBA). Die Zulassung ist abhängig vom Ergebnis einer Prüfung durch die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB). Die Qualitätsanforderungen der PTB an ein solches Computerprogramm umfassen die physikalischen Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung der Dosis aus Höhenstrahlung sowie zahlreiche dv-technische Sicherheitsmerkmale der Software. Derzeit sind vom LBA drei Programme für die Dosisermittlung des fliegenden Personals zugelassen (EPCARD, PCAIRE, FREE).

3.3 Organisation der beruflichen Strahlenschutzüberwachung

An der Strahlenschutzüberwachung des fliegenden Personals sind die Luftfahrtgesellschaften, das Luftfahrt-Bundesamt (LBA) und das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) beteiligt.

Die Luftfahrtgesellschaften sind als Betreiber von Flugzeugen für die Dosisermittlung zuständig. Sie ermitteln für jeden durchzuführenden Flug die Routendosis auf der Grundlage der Daten der Flugplanung. Die berechneten Dosiswerte werden dann entsprechend der Einsatzplanung des Personals den Piloten und Flugbegleitern individuell zugeordnet und zu Monatsdosen aufsummiert. Der Betreiber übermittelt mindestens halbjährlich die Monatsdosen seines Personals an das LBA.

Das LBA ist die Aufsicht führende Behörde für das fliegende Personal. Sie überwacht die qualitätsgesicherte Ermittlung der Dosiswerte durch den Betreiber sowie aufsichtlich relevante Merkmale (z.B. die Durchführung der medizinischen Untersuchung durch einen ermächtigten Arzt bei einer Exposition von mehr als 6 mSv/a, die Exposition von Frauen nach einer gemeldeten Schwangerschaft oder die regelmäßige Unterrichtung des Personals).

Die Monatsdosen des fliegenden Personals werden vom LBA an das Strahlenschutzregister (SSR) des BfS übermittelt. Das SSR ist eine Einrichtung des Bundes zur Überwachung der beruflichen Strahlenexposition.

Es überwacht unter anderem die Einhaltung der Grenzwerte der zulässigen Jahresdosen und die Berufslbensdosis. Im SSR werden für alle beruflich strahlenexponierten Personen Deutschlands deren festgestellte Körperdosiswerte aus äußerer und innerer beruflich bedingter Strahlenexposition, die von den Aufsichtsbehörden festgesetzten Ersatzdosen sowie ggf. weitere Mitteilungen zur Dosiskontrolle personenbezogen zusammengeführt. Das SSR hat jedoch nicht nur personenbezogene Überwachungsaufgaben. Die regelmäßigen statistischen Auswertungen über Höhe und Trend der beruflichen Strahlenexposition dienen dem Nachweis der Einhaltung der Strahlenschutzgrundsätze „Dosisbegrenzung“ und „Optimierung“. Der anwachsende Datenbestand des Registers wird mit der Zeit zunehmend wissenschaftlich bedeutsam und steht auch für die epidemiologische Forschung zur Verfügung.

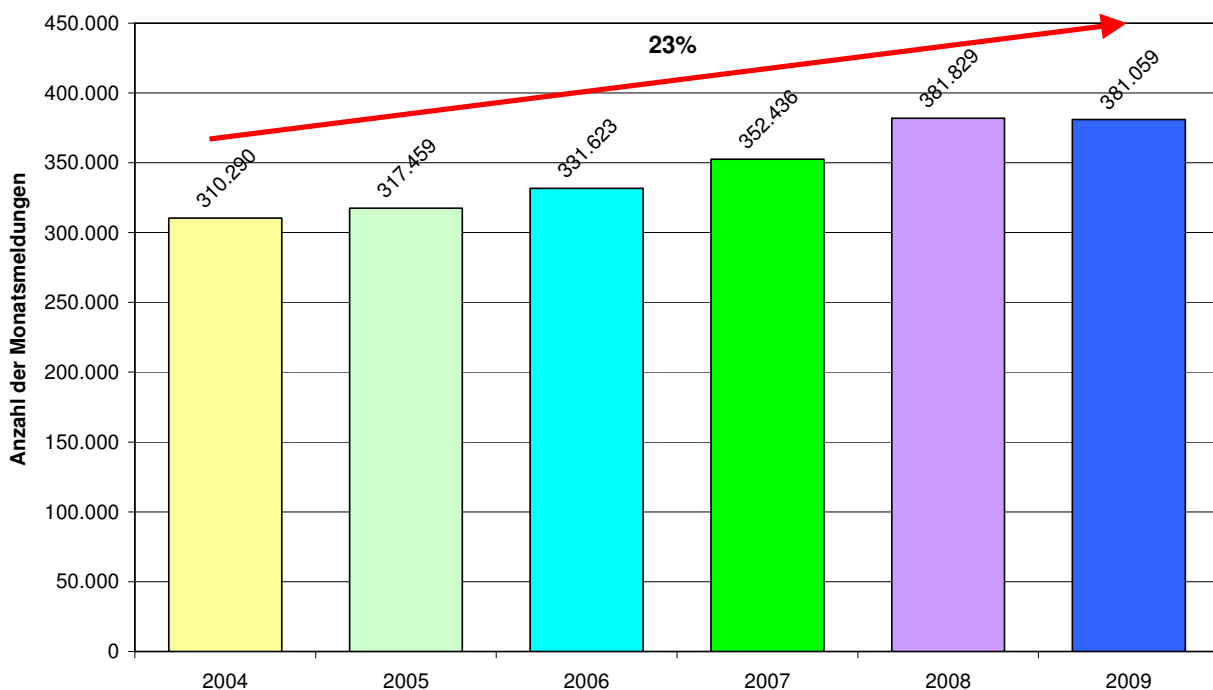
4 Die Strahlenexposition des fliegenden Personals von 2004 bis 2009

4.1 Allgemeine Bemerkungen zu den Auswertungen

Das Strahlenschutzregister hat 2005 über die berufliche Strahlenexposition des fliegenden Personals in Deutschland im ersten Jahr nach Beginn seiner Strahlenschutzüberwachung berichtet⁶. Der vorliegende Bericht deckt nun den Zeitraum 2004 – 2009 ab und macht insbesondere die Expositionsveränderung deutlich, die durch den Sonnenzyklus aber auch durch flugbetriebsspezifische Änderungen in diesem Zeitraum entstanden sind.

Basis für die Auswertungen sind personenbezogene Monatsdosiswerte. Die Monatsdosis einer überwachten Person setzt sich aus den kumulierten Dosiswerten aller Flüge zusammen, die diese Person in einem Monat durchgeführt hat. Diese Monatsdosiswerte werden als personenbezogene Dosismeldungen an das SSR übermittelt. Das SSR erhielt 310.290 Dosismeldungen im Jahr 2004 und 381.059 Meldungen im Jahr 2009. Dies entspricht einem durchschnittlichen jährlichen Anstieg von ca. 4 % pro Jahr für den Berichtszeitraum (Abb. 4.1).

Abb. 4.1: Monatsdosismeldungen des fliegenden Personals



Die im Berichtszeitraum erfassten monatlichen Dosismeldungen des fliegenden Personals basieren im Jahr 2004 auf 29.852 verschiedenen Personen. Bis 2009 stieg diese Anzahl auf 36.596 Personen an (Abb.4.2). Im Jahr 2004 arbeiteten davon mehr als $\frac{3}{4}$ aller Personen in Vollzeit, d.h. sie hatten mindestens zehn monatliche Dosismeldungen. Im Jahr 2009 stieg dieser Anteil von 77,0 % geringfügig auf 78,5 % an. Es gibt auch einen kleinen Anteil an Personen mit mehr als 12 Meldungen im Jahr, da einige für verschiedenen Flugbetreiber arbeiten (Abb. 4.3).

Abb. 4.2: Strahlenschutzüberwachte Personen des fliegenden Personals

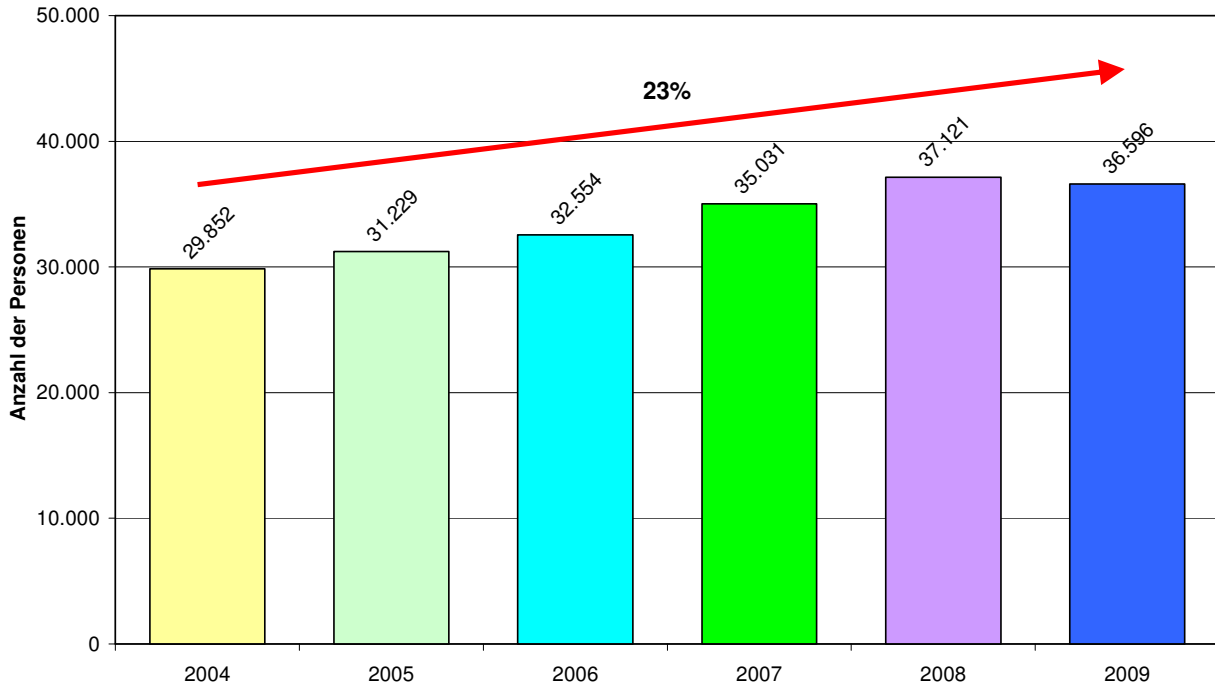
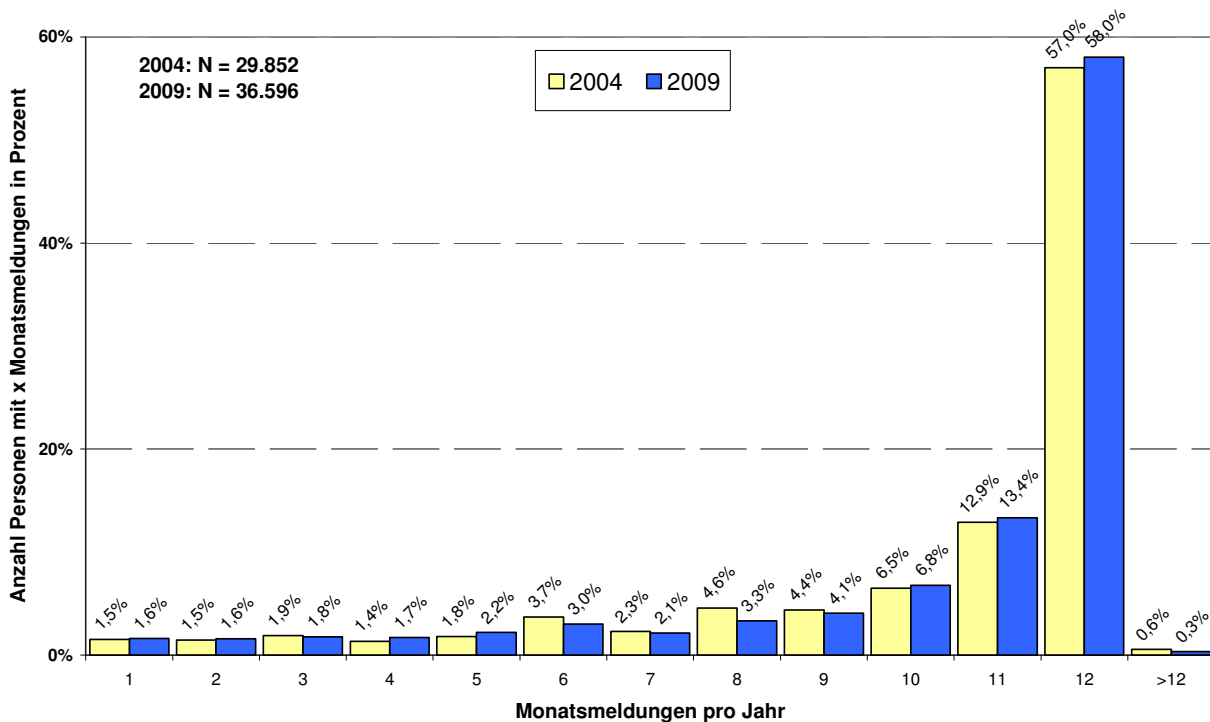


Abb. 4.3.: Anzahl der monatlichen Dosismeldungen einer Person pro Jahr in 2004 bzw. 2009



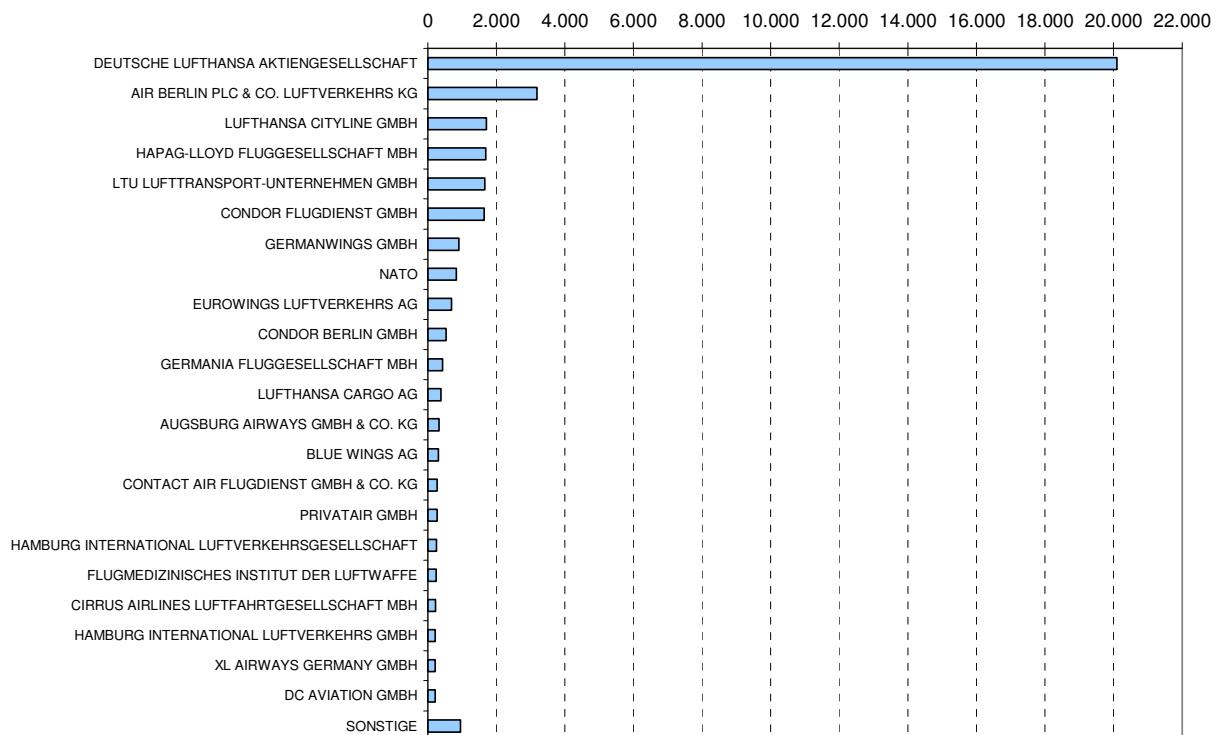
Derzeit besitzen drei Dosisberechnungsprogramme eine Zulassung durch das LBA. Tabelle 4.1 zeigt den Umfang der Nutzung der verschiedenen Produkte. Es ist zu beachten, dass hier eine überwachte Person mehrfach gezählt wird, wenn der Betreiber das Berechnungsprogramm wechselt oder wenn eine überwachte Person zu einem anderen Betreiber wechselt, der ein anderes Berechnungsprogramm einsetzt. Die Anzahl der Dosismeldungen und die Kollektivdosis werden aber nicht verändert.

Tab. 4.1: Anwendungshäufigkeit der in Deutschland zugelassenen Dosisberechnungsprogramme 2009

Berechnungsprogramm	Personen	Dosismeldungen	Kollektivdosis [Pers.-Sv]
EPCARD	27.269	288.679	65,7
FREE	3.144	29.884	5,5
PC AIRE	6.356	61.147	14,5
Sonstige Angaben	505	1.338	0,2
	36.596	381.059	85,9

Abbildung 4.4 zeigt die Verteilung der überwachten Personen auf die „größten“ Luftfahrtbetriebe im Jahr 2009. Das fliegende Personal verteilt sich im Jahr 2009 auf 48 Luftfahrtbetriebe, die der gewerblichen, nicht-gewerblichen und militärischen Betriebskategorie zugeordnet werden. Tabelle 4.2 zeigt die Verteilung der Personen, der Dosismeldungen und der Kollektivdosis auf diese drei Kategorien. Die 48 registrierten Luftfahrtbetriebe repräsentieren sehr verschiedene Bereiche der Luftfahrt. Es melden Betriebe, die weltweiten und/oder europäischen Linienflug betreiben, so genannte Billigfluganbieter, Charterflugbetriebe, Luftfrachtbetriebe, Geschäftscharterflugbetriebe, und andere nicht gewerbliche Flugbetriebe sowie das Militär.

Abb. 4.4: Überwachte Personen des fliegenden Personals nach Flugbetreibern im Jahr 2009

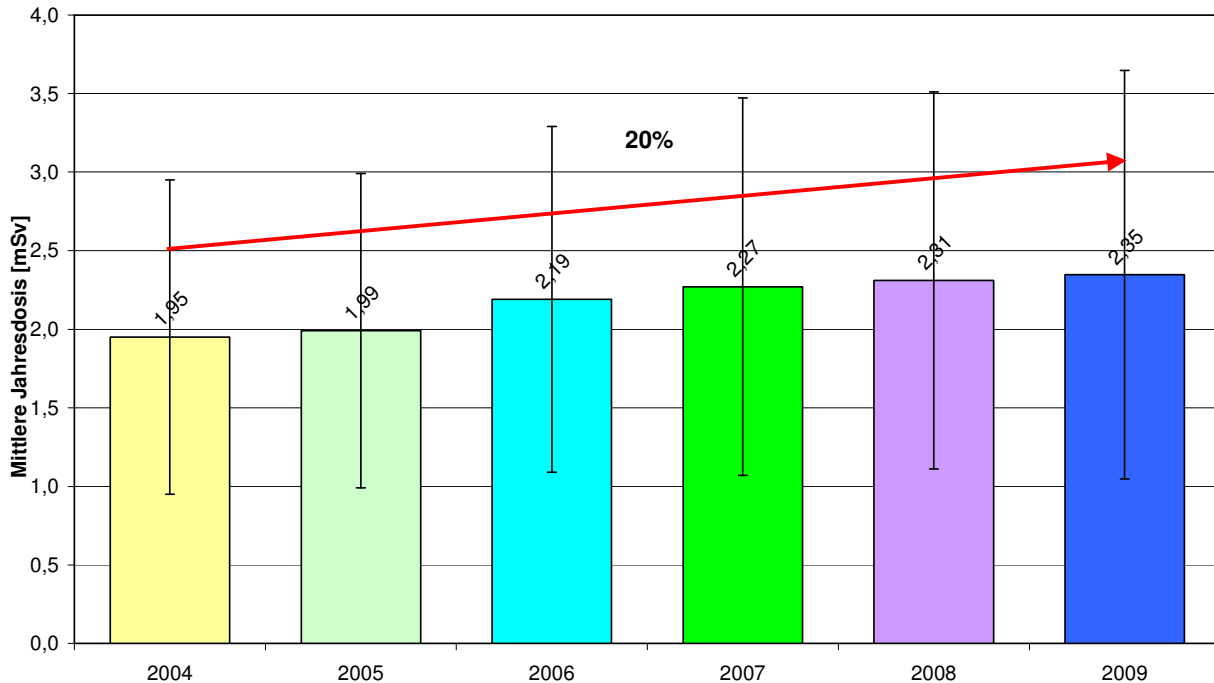


Tab.4.2: Verteilung der überwachten Personen auf die Betriebskategorien im Jahr 2009

Betriebskategorie	Personen	Dosismeldungen	Kollektivdosis [Pers.-Sv]
gewerbliche Luftfahrt	35.287	370.463	84,8
nicht gewerbliche Luftfahrt	257	2.137	0,2
Bundeswehr, NATO	1.696	8.448	1,0
Summe	36.596	381.059	85,9

Die mittlere jährliche effektive Dosis aller überwachten Personen lag im Jahr 2004 bei 1,95 mSv und stieg in den folgenden Jahren bis auf 2,35 mSv an. Der Anstieg ist im Wesentlichen auf die veränderte Höhenstrahlung zurückzuführen. Diese hat infolge der abnehmenden Sonnenaktivität und der dadurch vermehrt einfallenden kosmischen Strahlung deutlich zugenommen.

Abb. 4.5: Trend der mittleren Jahresdosis des fliegenden Personals



Die Jahresdosis variiert erheblich mit der unterschiedlichen Abschirmwirkung des Erdmagnetfeldes. Aus diesem Grund sind die Routendosen auf den nördlichen und insbesondere polaren Flugrouten erheblich stärker angestiegen als auf südlichen und transäquatorialen Routen (Abb. 4.6). Bei Personal, das häufiger auch auf dosisintensiveren, polaren Routen fliegt, nimmt die Jahresdosis stärker zu; die Zunahme ist dagegen bei denen geringer, die hauptsächlich Kurz- und Mittelstrecken sowie südlichere Routen fliegen. Dies hat durchgängig Auswirkungen sowohl auf die Lage als auch auf die Form der Dosisverteilungen. Bei allen Gruppen des fliegenden Personals sind im Berichtszeitraum nicht nur die Dosismittelwerte deutlich angestiegen, sondern auch die Standardabweichungen und die Variationsbreiten der Dosisverteilungen (Anhang).

Die Änderung der Strahlenexposition des fliegenden Personals hängt nicht allein von der Höhenstrahlung ab, sondern sie wird auch von konjunkturellen und betriebswirtschaftlichen Faktoren beeinflusst, die den Personalbestand und das beflogene Streckennetz bestimmen. Eine quantitative Bestimmung, welcher Anteil dem Einfluss des Sonnenzyklus geschuldet ist und welcher ökonomisch bedingt ist, ist mit den vorliegenden kumulierten Monatsdosiswerten allein nicht möglich, denn die Zunahme der Dosis wird neben der zunehmenden Höhenstrahlung auch von der Veränderung flugbetriebsspezifischer Parameter wie z.B. das beflogene Streckennetz, der Teilzeitanteil und die Ausschöpfung der Blockzeiten, beeinflusst. Die Tatsache aber, dass die Kollektivdosis (Abb. 4.7) mit 48 % mehr als doppelt so stark angestiegen ist als die Anzahl der Überwachten, deutet darauf hin, dass die ansteigende Höhenstrahlung wesentlich die Zunahme der Exposition bestimmt. Denn wäre die Höhenstrahlung konstant geblieben, dann wäre bei einem flugbetriebsbedingten Personalzuwachs von 23 % lediglich ein Anstieg der Kollektivdosis in etwa der gleichen Höhe plausibel; auch die mittlere Dosis sollte dann in etwa gleich bleiben bzw. als Folge eines vermehrten Teilzeiteinsatzes zurückgehen.

Abb. 4.6: Anstieg der Routendosis als Folge der abnehmenden Sonnenaktivität

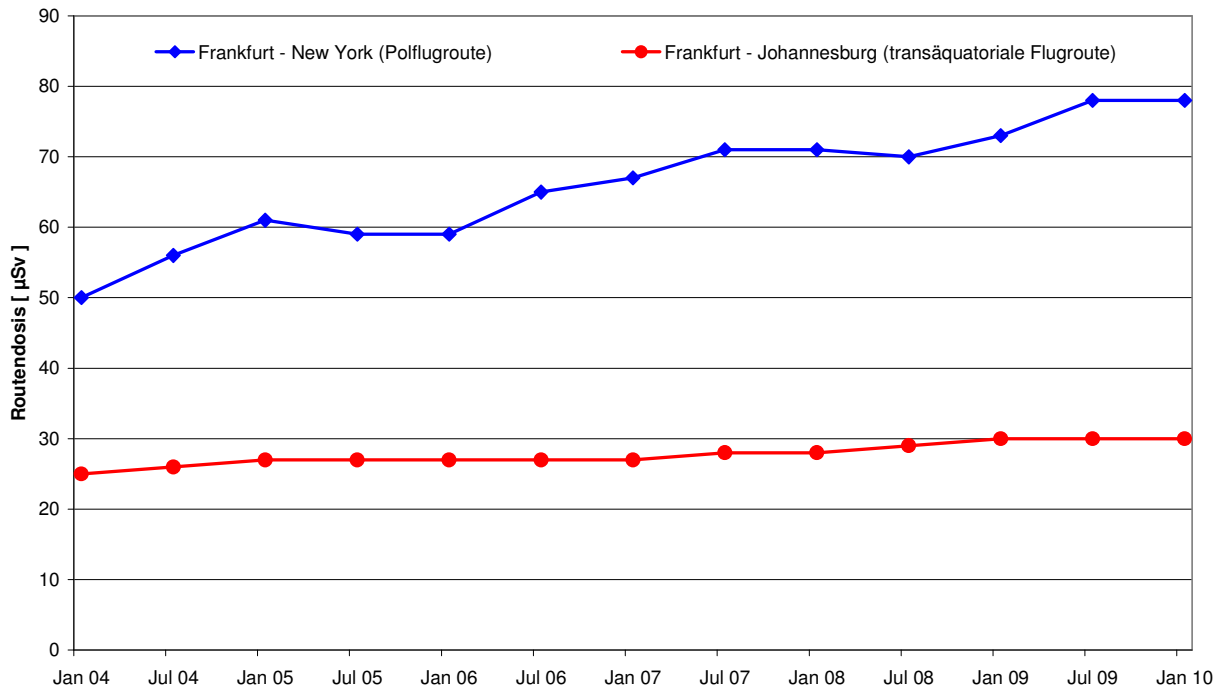
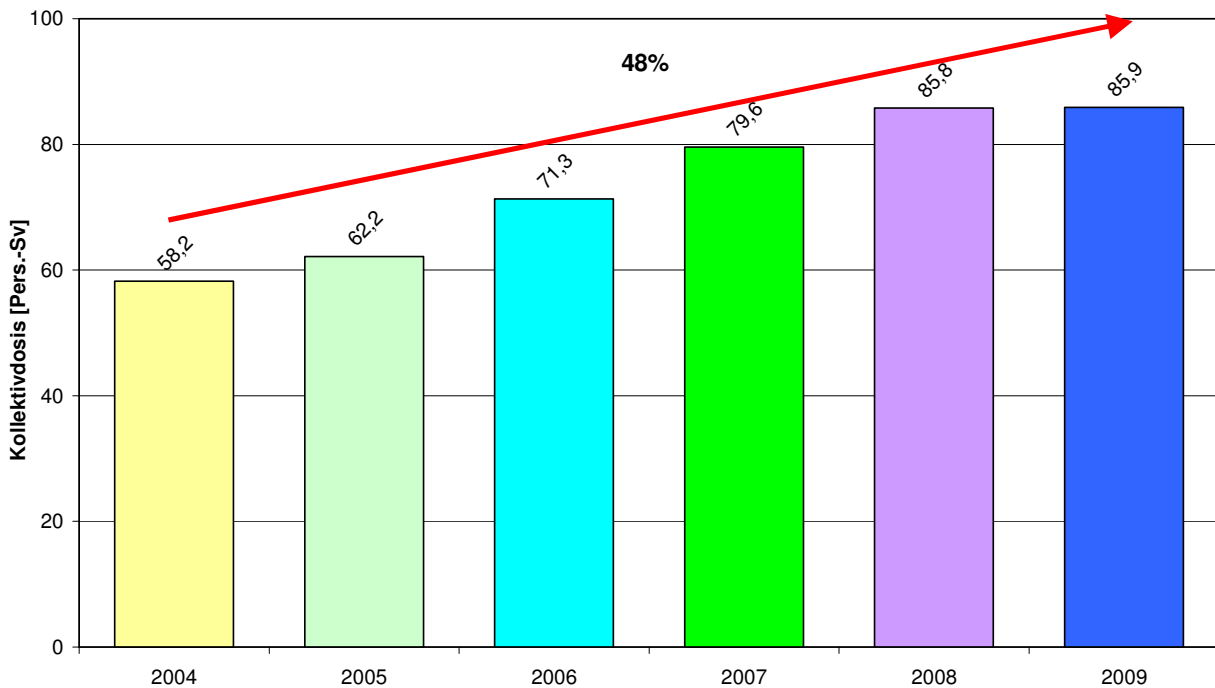
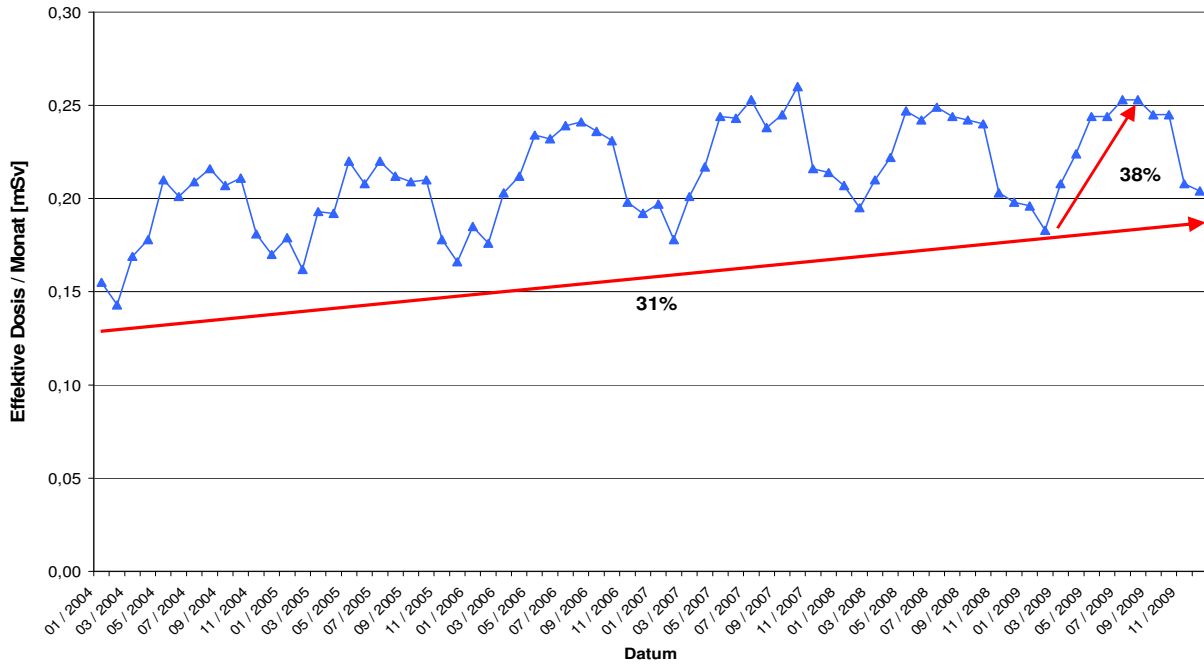


Abb. 4.7: Entwicklung der Kollektivdosis des fliegenden Personals



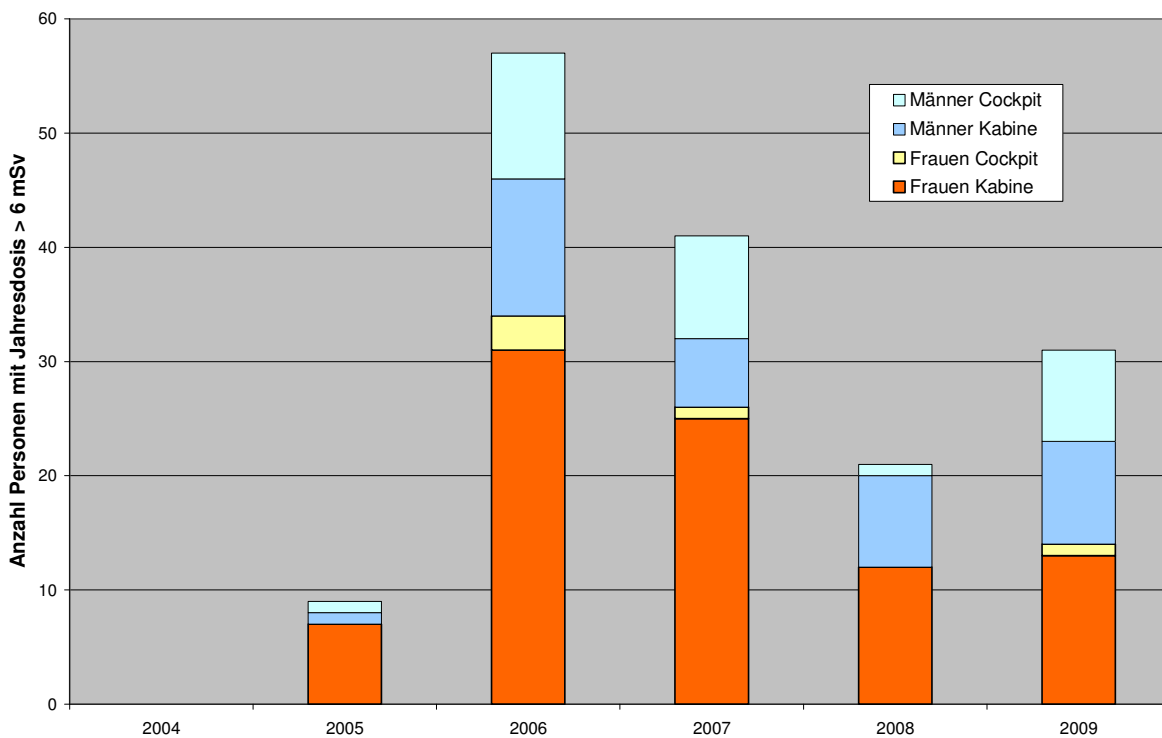
Innerhalb der Überwachungsjahre unterliegt die mittlere Monatsdosis saisonalen Schwankungen, die in erster Linie durch konjunkturelle Faktoren verursacht wird (Abb. 4.8). Deutlich erkennt man einen Jahresgang mit niedrigen Monatsdosiswerten in den Wintermonaten, der regelmäßig von einem kleinen Anstieg um die Weihnachtszeit unterbrochen wird, und Maxima mit bis zu 38 % höheren Monatsdosiswerten in den Sommermonaten. Diese Schwankungen hängen wesentlich mit den saisonal bedingten Flugreisen zu Urlaubszielen zusammen; besonders deutlich werden die Hauptferienzeiten in den Sommermonaten sichtbar.

Abb. 4.8: Saisonaler Trend der mittleren effektiven Monatddosis der überwachten Personen



Überschreitungen des 20-mSv-Jahresgrenzwertes sind beim fliegenden Personal praktisch nicht möglich. In der Europäischen Union ist die maximal zulässige jährliche Flugzeit (sog. „block time“) durch EU-Richtlinie auf 900 Stunden begrenzt⁷ und so auch im deutschen Arbeitszeitgesetz umgesetzt⁸. Innerhalb dieser Zeit können im normalen Flugbetrieb Jahresdosiswerte über 8 mSv so gut wie nicht erreicht werden. Ab dem Jahr 2005 wurde allerdings der Wert von 6 mSv/a, der die Grenze zwischen dem strahlenexponierten Personal der Kategorien A und B festlegt, zunehmend überschritten (Abb. 4.9). So traten z.B. 9 Fälle im Jahr 2005, 57 in 2006 und 31 in 2009 auf. Ein statistischer Zusammenhang zwischen diesen Überschreitungen und der Tätigkeitskategorie (Kabine bzw. Cockpit) oder dem Geschlecht ist nicht zu erkennen, die Häufigkeiten entsprechen den prozentualen Anteilen in den jeweiligen Gruppen.

Abb. 4.9: Flugpersonal mit Jahresdosen über 6 mSv



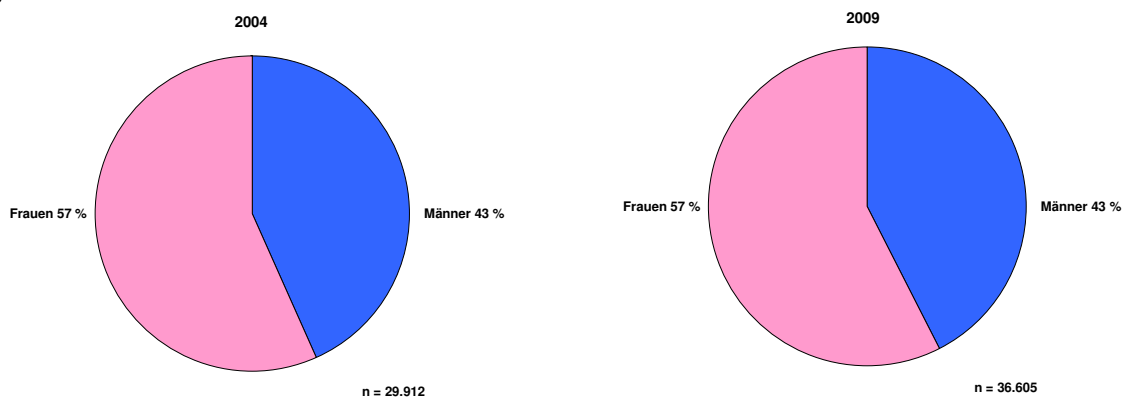
4.2 Geschlecht und Tätigkeitskategorie

Das fliegende Personal bestand im Jahr 2004 in Deutschland zu 57 % aus Frauen und zu 43 % aus Männern. Dieses Verhältnis blieb in den folgenden drei Jahren nahezu unverändert (Abb. 4.10). Das Personal wird nach drei Tätigkeitskategorien unterschieden: die größte Gruppe stellt mit 69 % das Kabinenpersonal, welches überwiegend von Flugbegleiterinnen gestellt wird. Die zweitgrößte Gruppe ist mit 28 % das Cockpitpersonal (Piloten und Copiloten). Die kleinste Gruppe bildet die Kategorie „Sonstige“ mit 3 %; sie umfasst Personen, die keiner der obigen Kategorien zuzuordnen sind, wie z.B. technisches Personal oder das Personal in militärischen Flugzeugen. Auch deren Anteil blieb in den folgenden Jahren konstant (Abb. 4.11).

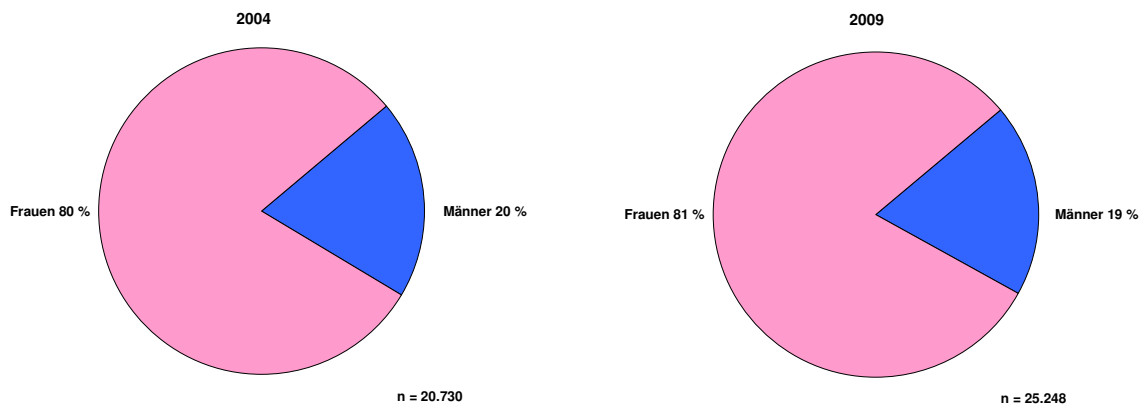
Beim Kabinenpersonal blieb das Verhältnis von ca. 80 % Frauen zu 20 % Männer im Berichtszeitraum in etwa konstant (Abb. 4.10). Bei der Cockpitbesetzung überwogen mit ca. 96 % die Männer. Der Frauenanteil stieg allerdings von knapp 4 % in 2004 auf 6 % in 2009 deutlich an. Die Kategorie „Sonstige“ bestand mit einem Anteil von über 95 % gleich bleibend aus Männern (ohne Abbildung).

Abb.4.10: Verteilung der Geschlechter beim fliegenden Personal 2004 und 2009

Alle



Kabine



Cockpit

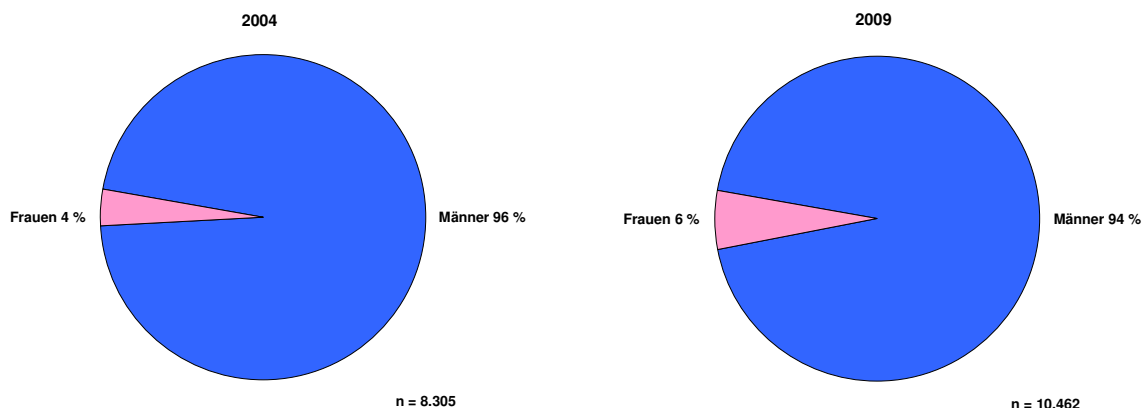
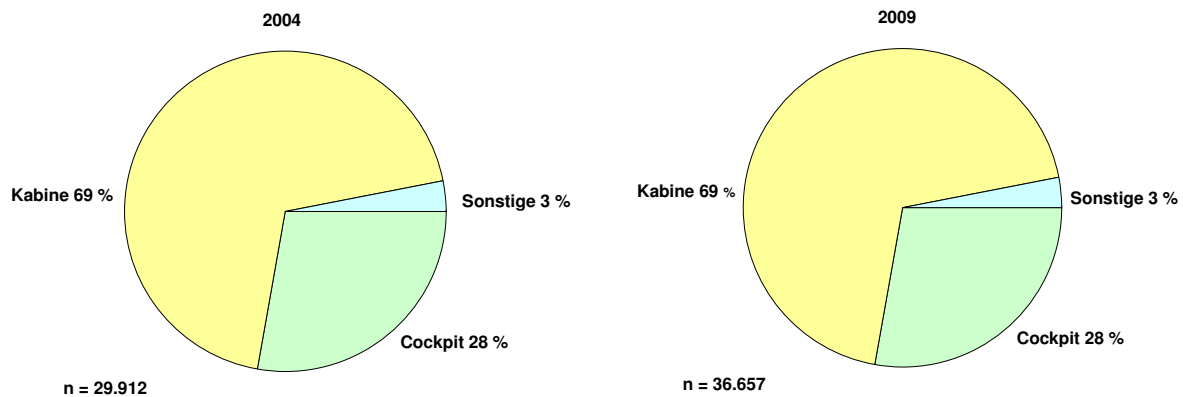


Abb. 4.11: Verteilung der Tätigkeitskategorien beim fliegenden Personal 2004 und 2009



4.3 Altersverteilung

Die Spannweite der Häufigkeitsverteilung des Alters der überwachten Personen reicht von 19 bis 65 Jahre (Abb. 4.12). Auffällig ist die bimodale Verteilung mit Maxima in den Altersklassen 26 - 28 sowie 36 - 38 Jahren. Wesentlicher Grund für die Ausprägung zweier Altersgruppen ist vermutlich die zeitweise Unterbrechung der Berufstätigkeit für Kindererziehung, gefolgt von einem späteren beruflichen Wiedereinstieg. Das Durchschnittsalter der beiden Gruppen nahm in den Folgejahren um etwa zwei Jahre zu, ansonsten blieb das Verteilungsmuster unverändert.

Die zahlenmäßig größte Gruppe des fliegenden Personals stellt mit ca. 20.000 Personen (2009) das weibliche Kabinenpersonal mit einer Altersspannweite zwischen 18 und 62 Jahren (Abb. 4.13). Sie können nach zwei Altersgruppen unterschieden werden: die Jüngeren sind im Mittel um die 27 Jahre alt, die Älteren dagegen Mitte bis Ende vierzig. Anfang bis Mitte dreißig sind sie zahlenmäßig weniger vertreten, was mutmaßlich familiäre Gründe hat und durch Arbeitsunterbrechungen infolge von Mutterschaft und Kindererziehung bedingt ist. Dieses Verteilungsmuster deckt sich im Übrigen auch mit der Realität der sonstigen Arbeitswelt. Die Vermutung wird durch die Tatsache gestützt, dass diese Verteilungscharakteristik bei den ca. 4.800 (2009) männlichen Flugbegleitern nicht vorhanden ist. Männliche Flugbegleiter sind um ein Durchschnittsalter von 36 Jahren annähernd normal verteilt.

Abbildung 4.14 zeigt die Altersverteilung des weiblichen und männlichen Cockpitpersonals. Die Anzahl der weiblichen Piloten ist im Berichtszeitraum um fast 100 % auf 609 angestiegen. Im Vergleich dazu hat die Anzahl des männlichen Cockpitpersonals nur um knapp 23 % zugenommen, ein Wert, der dem generellen Personalanstieg beim fliegenden Personal entspricht. Die Öffnung des Pilotenberufs für Frauen ist jüngerer Natur und daher dominieren in der Altersverteilung der Pilotinnen die jüngeren Jahrgänge. Folglich sind die Pilotinnen mit 32 Jahren im Mittel um sieben Jahre jünger als ihre männlichen Kollegen im Cockpit. In der Altersverteilung der Piloten ist ein relatives Minimum auffällig, das sich im Berichtszeitraum von 32 – 34 Jahre auf 36 – 38 Jahre verschiebt und als Ausdruck der Überlagerung der demografischen Entwicklung und des konjunkturellen Verlaufs der Luftfahrt interpretiert werden kann.

Abb. 4.12: Altersverteilung des fliegenden Personals in den Jahren 2004 und 2009

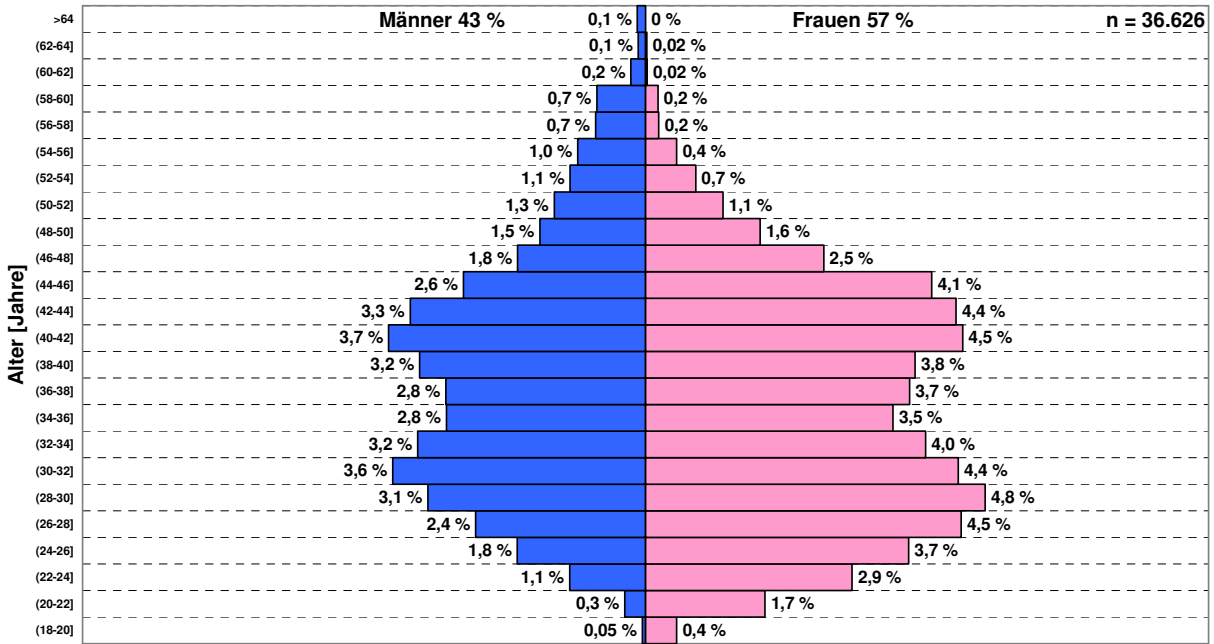
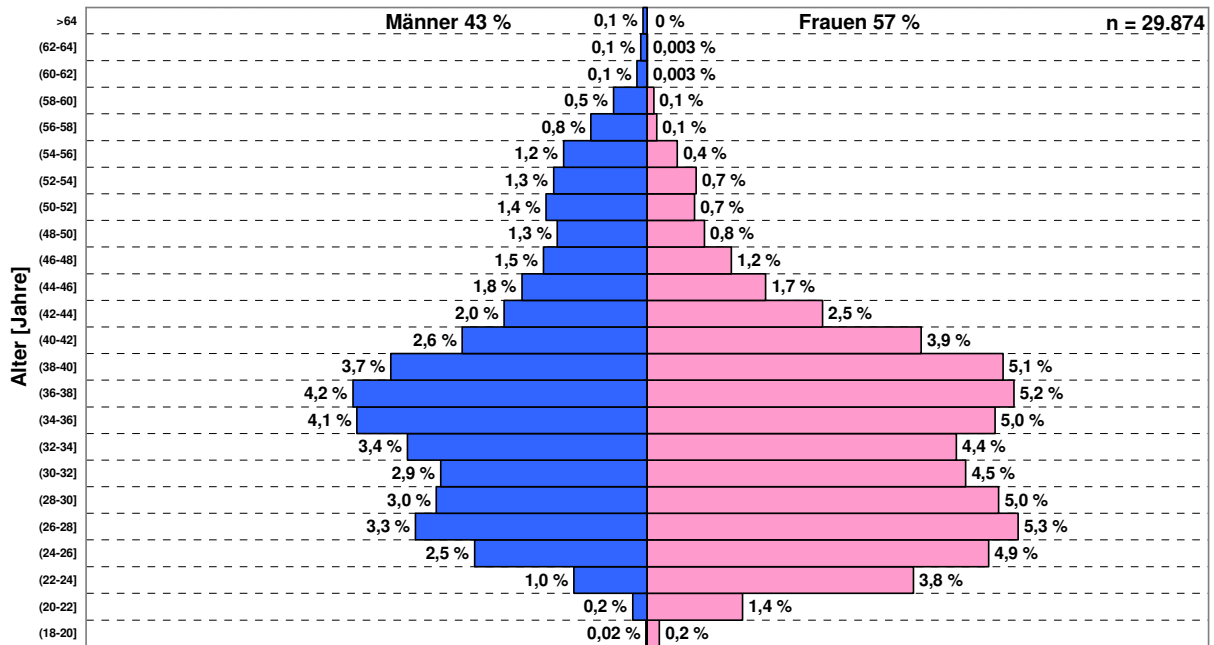


Abb. 4.13: Altersverteilung des Kabinenpersonals 2004 und 2009

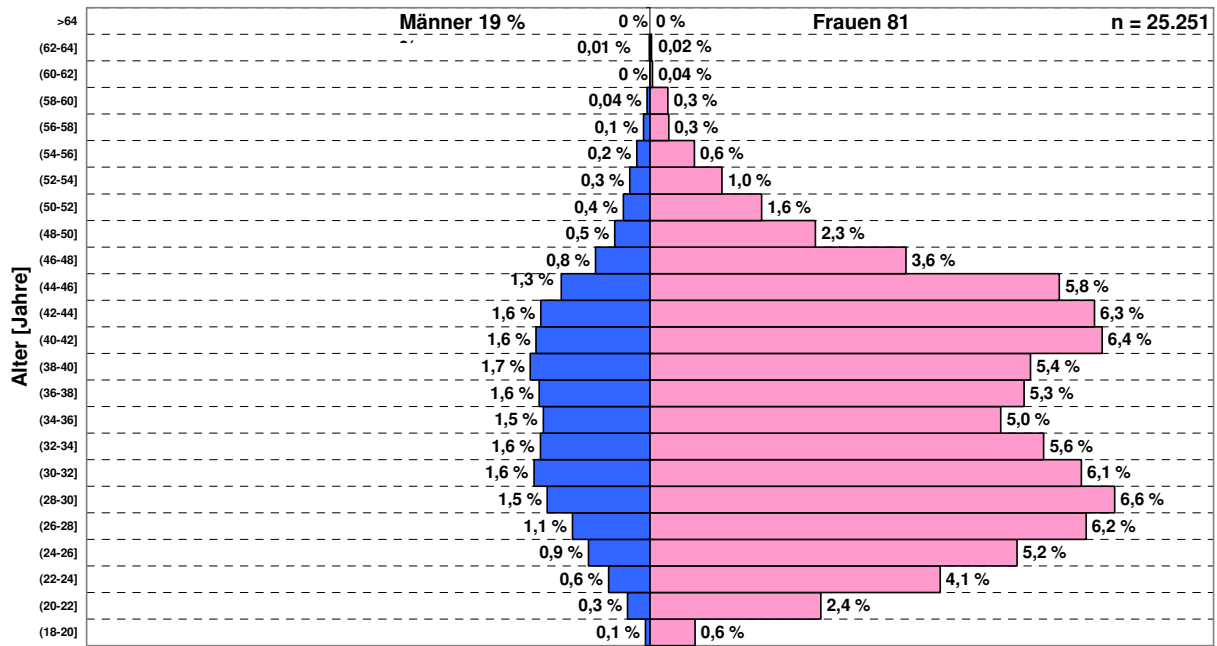
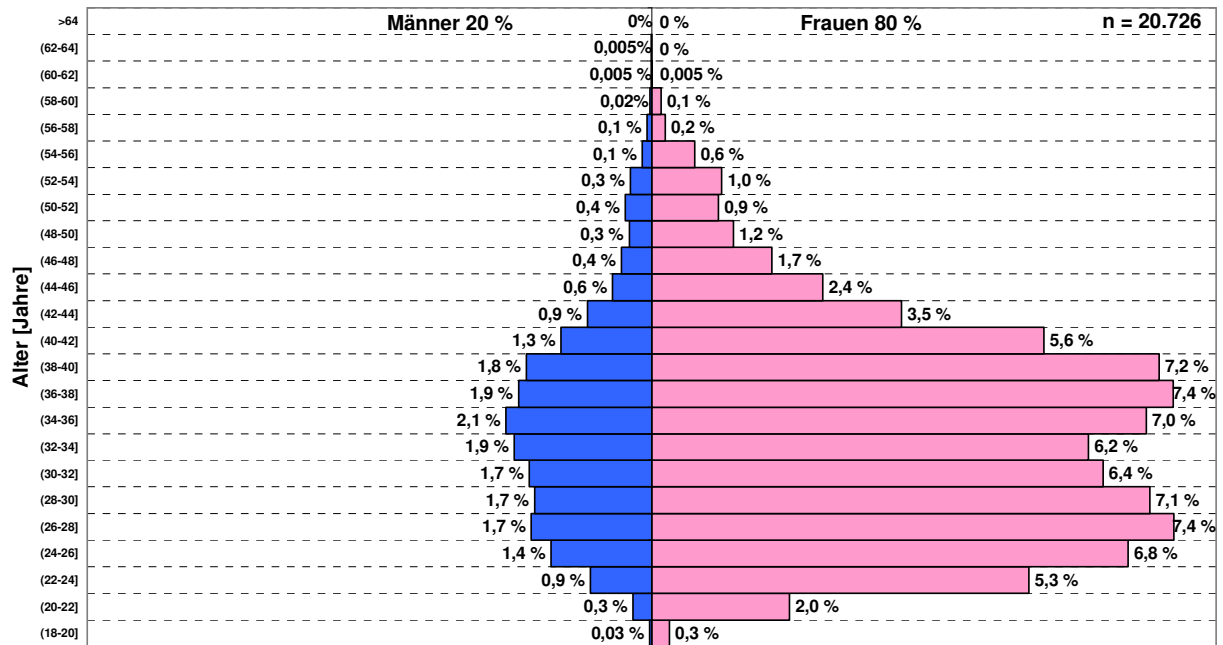
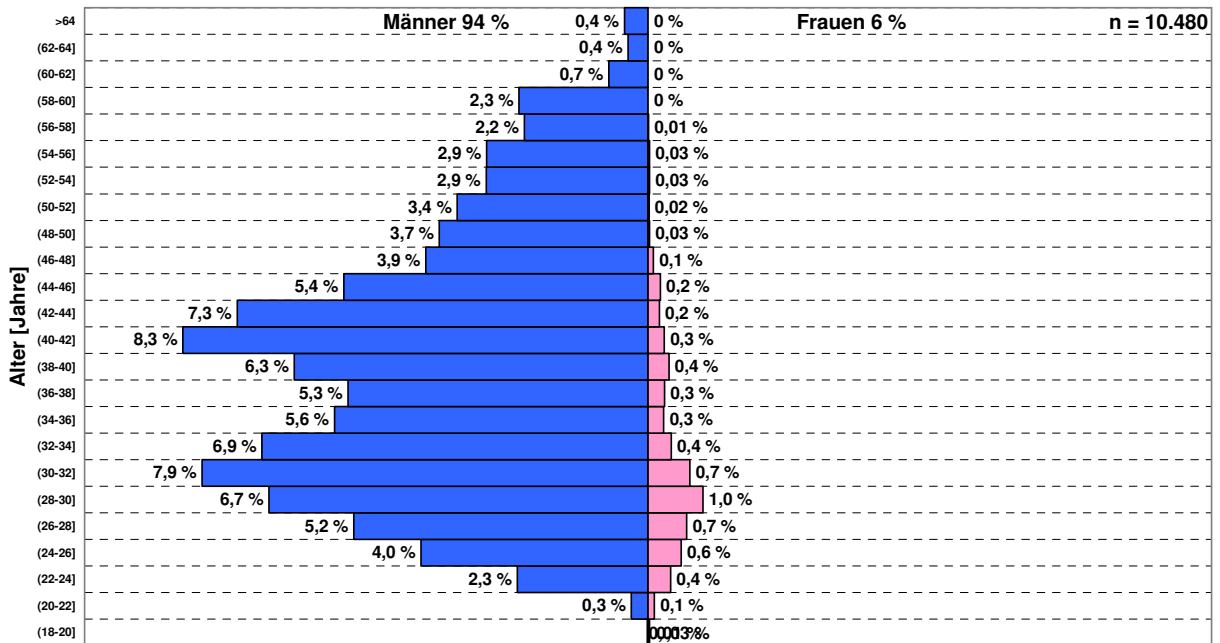
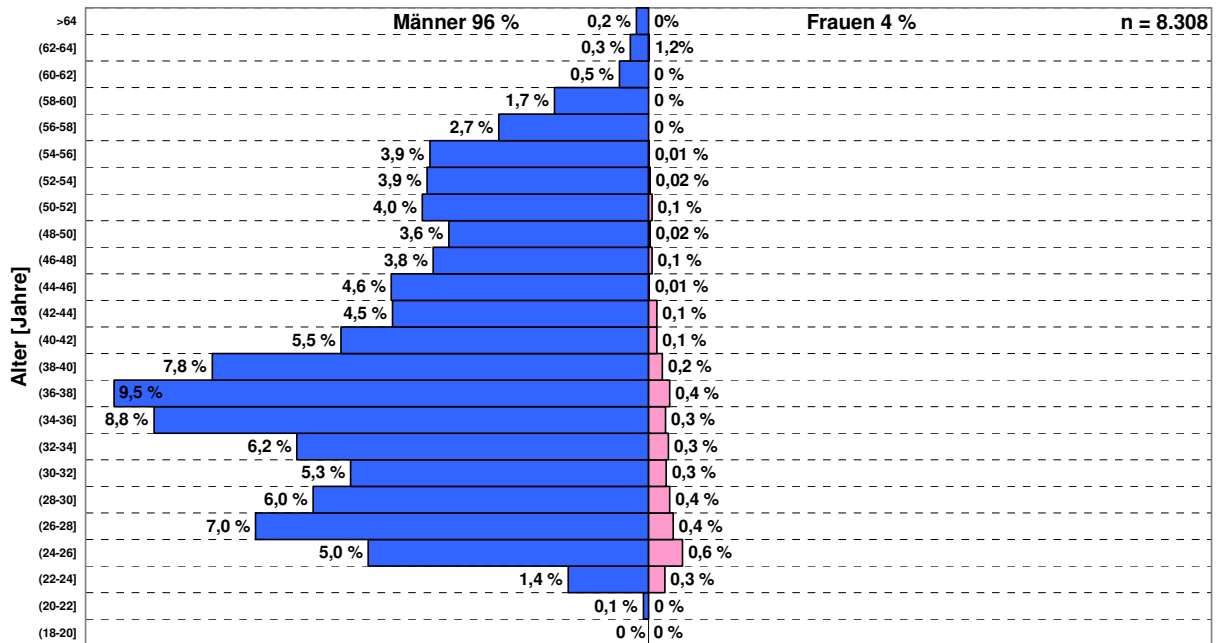


Abb. 4.14: Altersverteilung des Cockpitpersonals 2004 und 2009



4.4 Dosisverteilung

Abbildung 4.15 zeigt die Häufigkeitsverteilung der effektiven Jahresdosis des überwachten fliegenden Personals in den Jahren 2004 und 2009. In 2004 ist die Häufigkeitsverteilung der effektiven Jahresdosis dreigipfelig; der Maximalwert beträgt 5,7 mSv. Das gesamte fliegende Personal bleibt damit unterhalb der Dosischwelle von 6 mSv für beruflich strahlenexponierte Personen der Kategorie A. Es gibt eine kleine Gruppe offenbar Teilzeitbeschäftigter mit niedrigen Dosiswerten bis 0,6 mSv. Zwei weitere Gruppen haben Maxima in den Dosisklassen 1,2 - 1,4 mSv und 2,4 - 2,6 mSv. Diese Maxima repräsentieren Gruppen, die erst bei der Differenzierung nach Alter, Geschlecht und Tätigkeit abgrenzbar werden und bei denen vermutlich der unterschiedliche Einsatz auf Kurz-/Mittel- oder Langstrecken oder aber auch Arbeitunterbrechungen in Form von Elternzeiten einen Einfluss auf die unterschiedlichen Expositionen nehmen.

Die 2004 noch klar dreigipfelige Struktur der Verteilungen geht in den folgenden Jahren zurück: bei der Gruppe mit den niedrigsten Dosiswerten, die vermutlich hauptsächlich aus Teilzeitbeschäftigten besteht, wirkt sich der sonnenzyklusabhängige Anstieg der Höhenstrahlung auf die jährliche Strahlenexposition am wenigsten aus. Jene aber, die häufiger und höher exponiert sind, erfahren eine stärkere Zunahme ihrer Jahresdosis. So verschiebt sich das zweite Maximum von 2004 bis 2009 um etwa ein halbes Millisievert, das dritte Maximum sogar um ein Millisievert nach oben. Auch die Anzahl der Jahresdosiswerte über 6 mSv steigt von 2004 bis 2009 deutlich an und die maximale Jahresdosis fällt mit einem Wert von 7,0 mSv ebenfalls deutlich höher aus als 2004. Die Streuung der Verteilung nimmt also erwartungsgemäß zu.

Dies sollte eigentlich auch für die Trennschärfe zwischen den Maxima der Verteilung gelten. Letzteres ist aber nicht der Fall: die in 2004 noch klar mögliche Unterscheidung zwischen den unterschiedlich hoch exponierten Personengruppen mit Maxima bei 1,3 mSv bzw. 2,5 mSv löst sich auf und die Trennschärfe zwischen beiden Gruppen verschwindet. Die Änderungen der Verteilung der Jahresdosen werden zwar hauptsächlich vom Anstieg der Höhenstrahlung verursacht, sie hängen aber auch von Einflüssen ab, die in personalwirtschaftlichen und flugbetriebsspezifischen Veränderungen zu suchen sind und die den Einfluss der veränderten Höhenstrahlung auf die Dosisverteilung überlagern.

Die statistischen Kenngrößen sind bei beiden Geschlechtern weitgehend gleich und auch die Verteilungen sind ähnlich. Bei den Frauen erreicht die effektive Jahresdosis im Berichtsjahr 2004 einen Höchstwert von 5,6 mSv. Mittelwert und Median liegen bei 1,8 mSv; beide Werte stellen jedoch keine repräsentativen Schwerpunkte der Verteilung dar, sondern sie teilen diese in unterschiedlich exponierte Gruppen mit Maxima bei 1,3 mSv und 2,5 mSv. Bei den Männern ist das Verteilungsmuster strukturell ähnlich: Mittelwert, Median und unteres Maximum sind annähernd gleich denen der Frauen, das obere Maximum ist mit 2,7 mSv jedoch höher. Im Jahr 2009 sind diese Werte zu höheren Dosiswerten hin verschoben.

Strukturell ähnliche Muster, deren Zustandekommen in Kap. 4.5 inhaltlich erläutert wird, sieht man, wenn man die Dosisverteilungen nach den Tätigkeitskategorien „Cockpit“ und „Kabine“ differenziert (Abb. 4.16, 4.17). Deutlich abweichend sind die Verteilungen in der Kategorie „Sonstige“ (Abb. 4.18).

Charakteristisch für die Dosisverteilung bei Pilotinnen und Piloten ist das relative Dosismaximum bei 1,4 – 1,6 mSv (Abb. 4.16). Die Häufung in diesem Bereich wird von Cockpitpersonal bestimmt, das mutmaßlich überwiegend Kurz- und Mittelstrecken fliegt. Der Anteil teilzeitbeschäftigter Frauen mit geringfügigen Dosen ist deutlich höher als bei den Männern. Oberhalb einer Jahresdosis von 1 mSv ähneln sich aber die Dosisverteilungen von Pilotinnen und Piloten.

Deutlich unterscheidet sich hiervon jedoch die Dosisverteilung des Kabinenpersonals (Abb. 4.17). Die Dosiswerte reichen 2009 bis zu 7,0 mSv, Mittelwert und Median liegen mit 2,4 mSv deutlich höher. Sieht man von dem geringfügig exponierten Teilzeitpersonal ab, dann ist 2004 die Dosisverteilung bei den Flugbegleiterinnen bimodal mit Maxima bei ca. 1,3 mSv sowie ca. 2,5 mSv. Bei den Männern dagegen ist die Verteilung eingipfelig und leicht linksschief mit dem Peak bei 2,7 mSv. Das männliche Kabinenpersonal ist die im Mittel am stärksten exponierte Gruppe innerhalb des fliegenden Personals. Zur Kollektivdosis von 56,0 Pers.-Sv tragen jedoch zu 78 % die Frauen bei.

Der deutliche Unterschied in der Art der Verteilung zwischen Frauen (bimodal) und Männern (eingipfelig) dieser Tätigkeitskategorie hat vermutlich soziale Ursachen und geht auf Erziehungszeiten oder familiär bedingte reduzierte Arbeitszeiten zurück.

Abb. 4.15a: Verteilung der effektiven Jahresdosis des gesamten fliegenden Personals in den Jahren 2004 und 2009

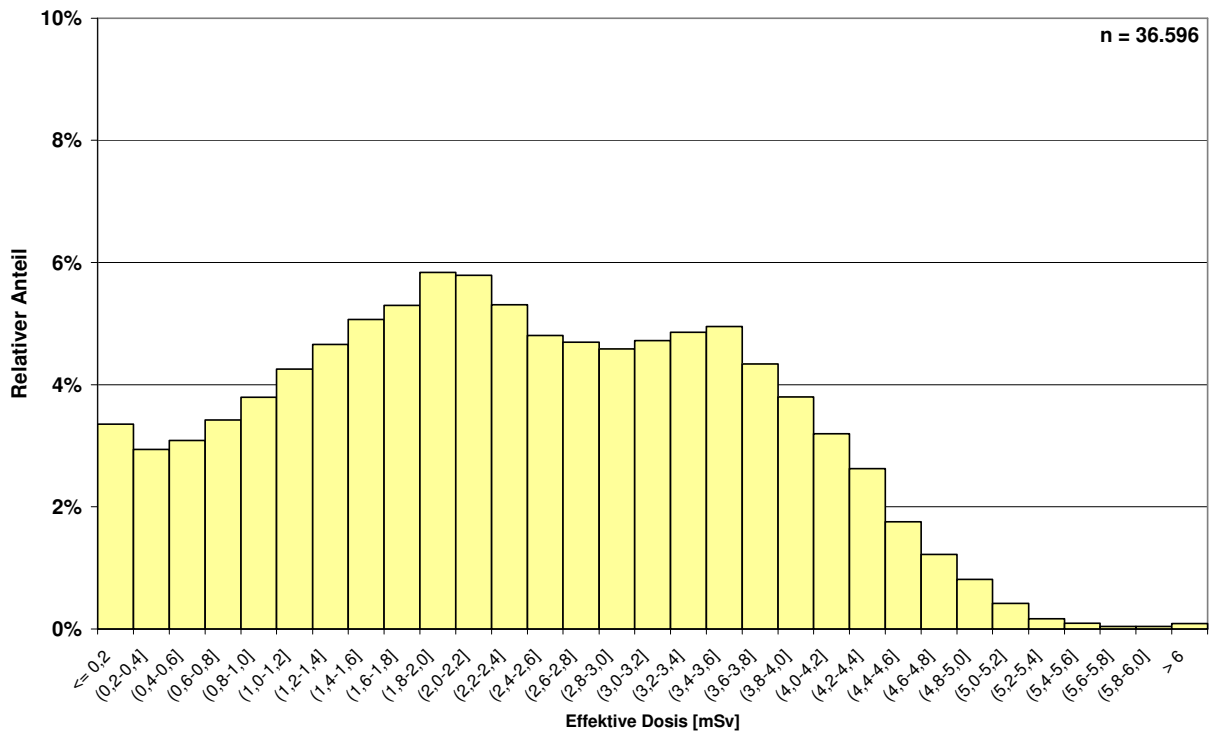
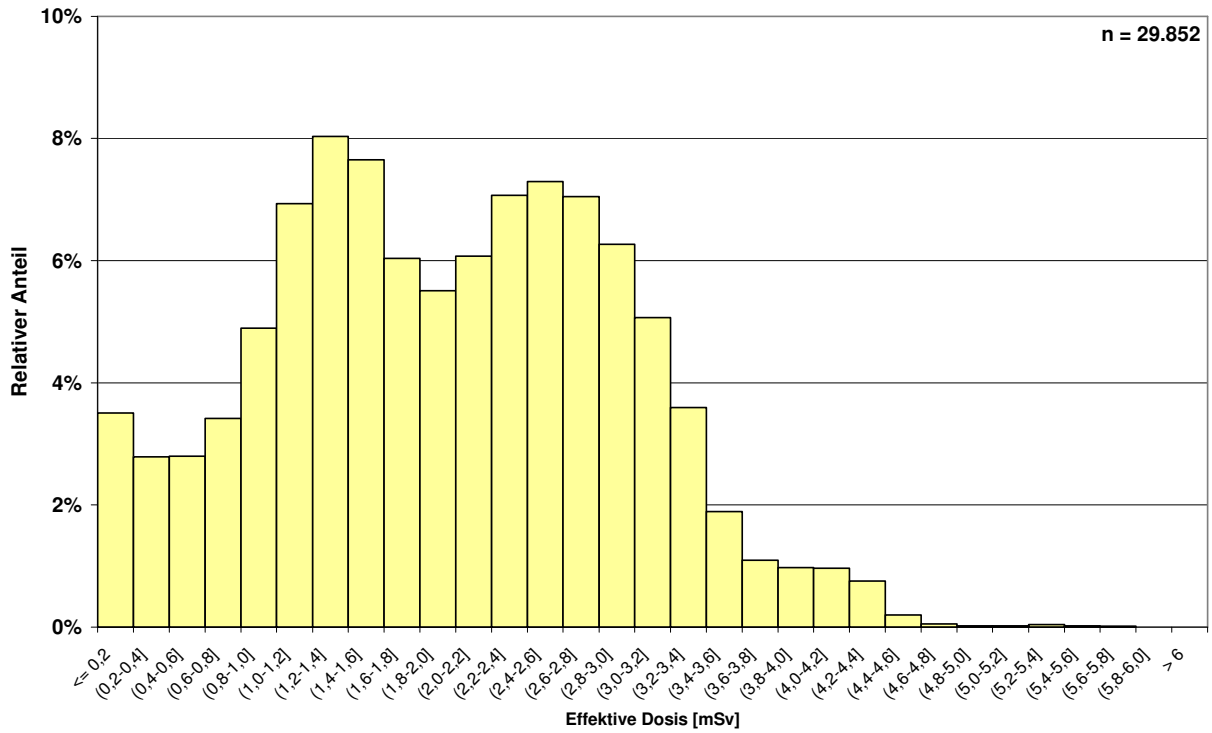


Abb. 4.15b: Verteilung der effektiven Jahresdosis des weiblichen fliegenden Personals in den Jahren 2004 und 2009

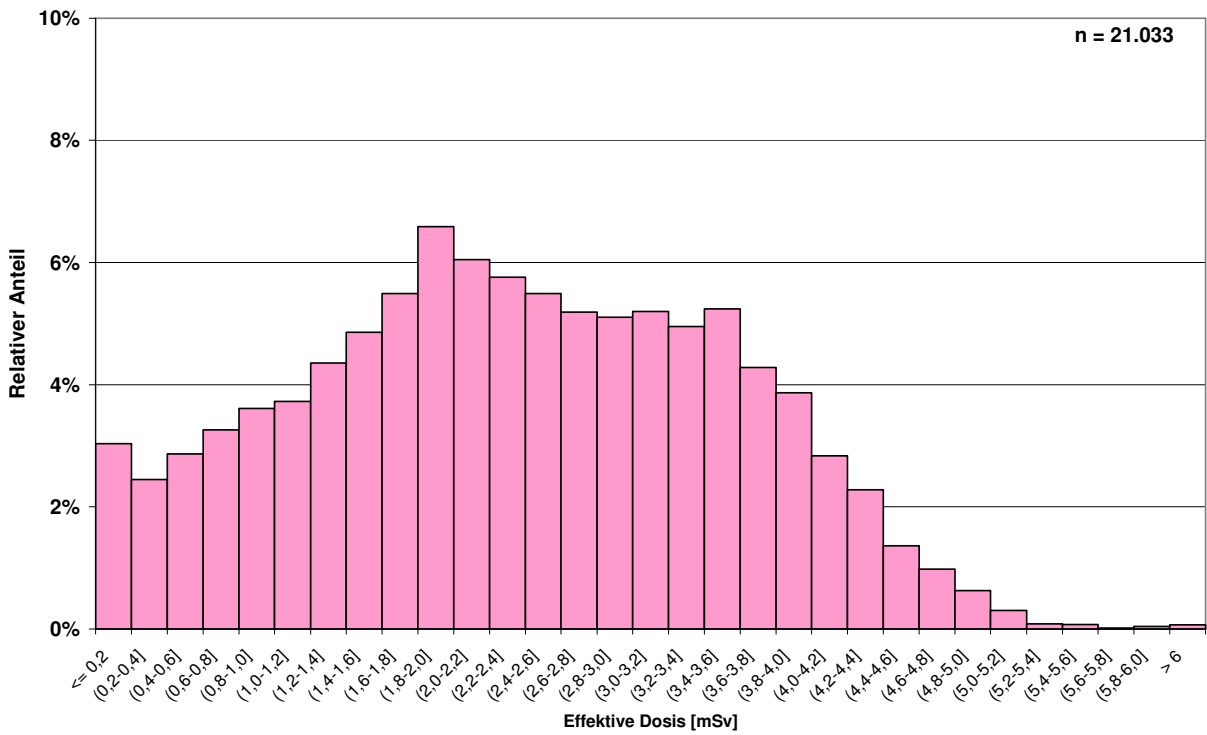
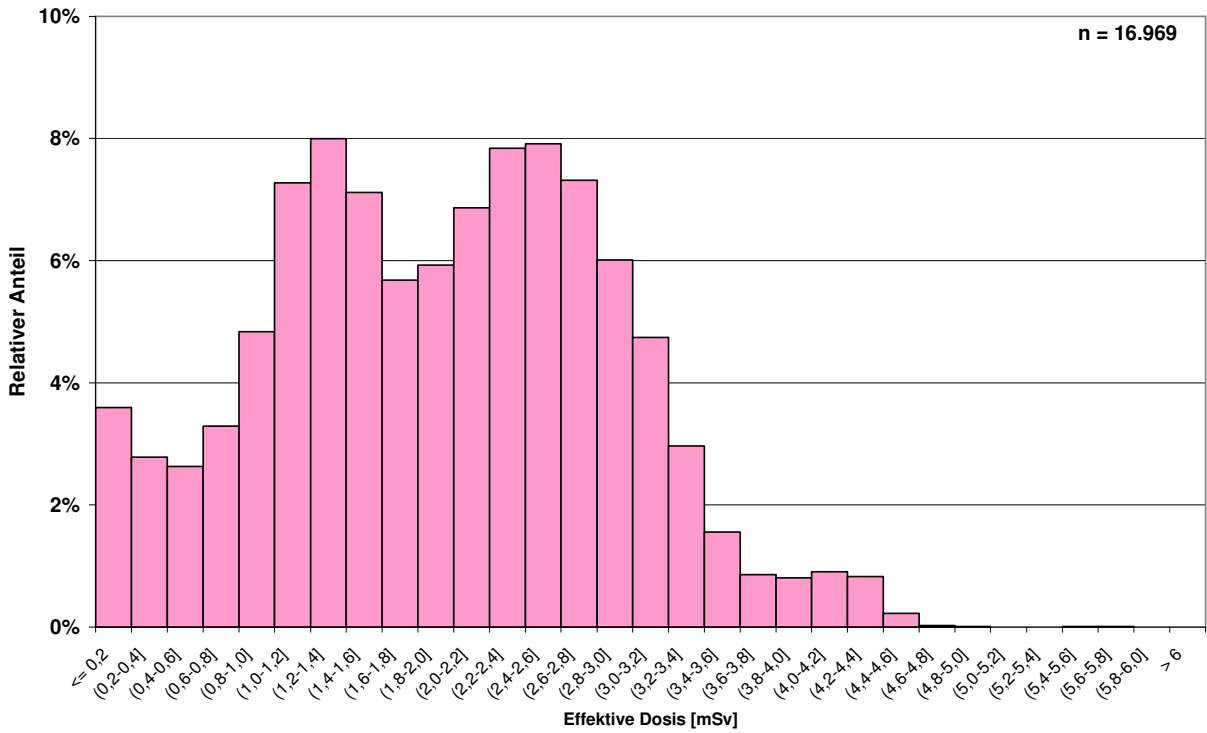


Abb. 4.15c: Verteilung der effektiven Jahresdosis des männlichen fliegenden Personals in den Jahren 2004 und 2009

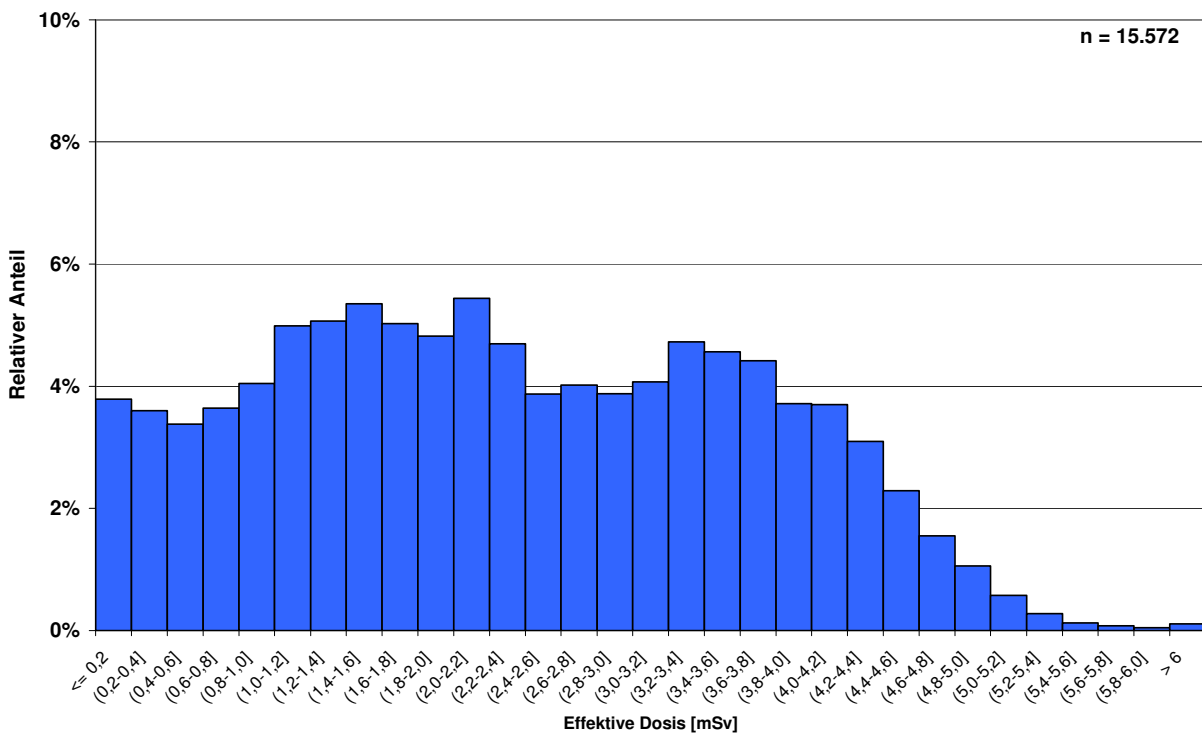
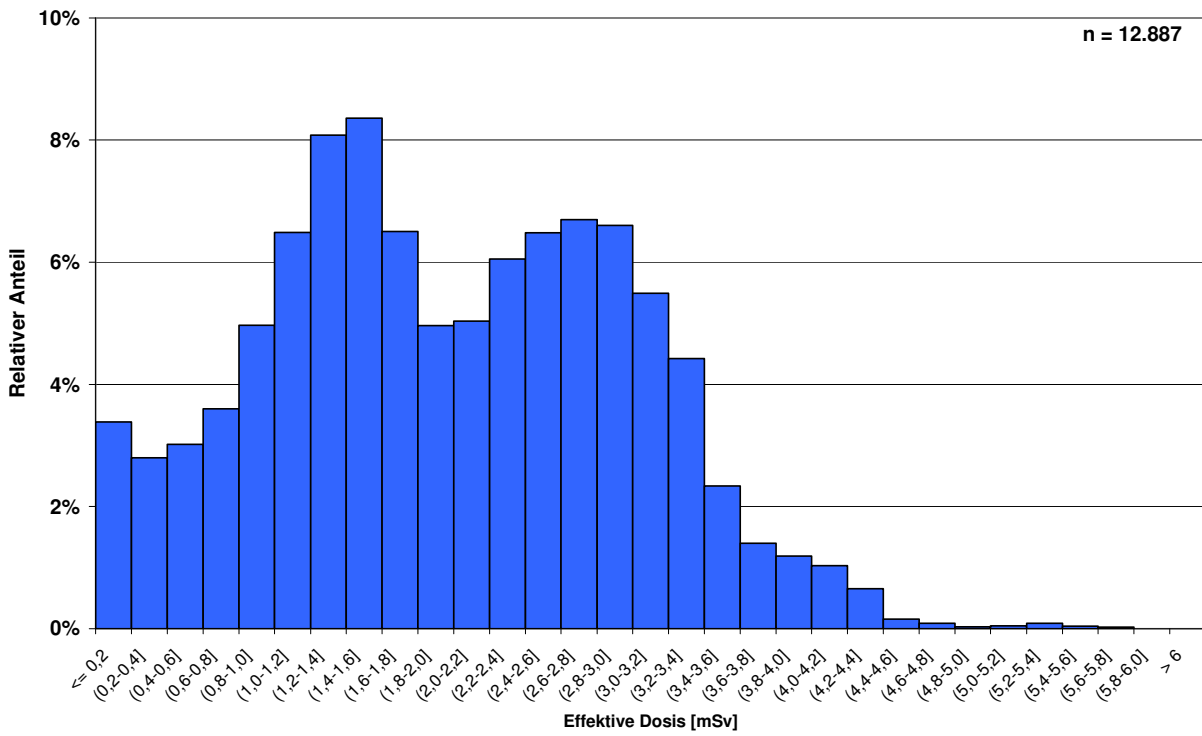


Abb. 4.16a: Verteilung der effektiven Dosis des gesamten Cockpitpersonals in den Jahren 2004 und 2009

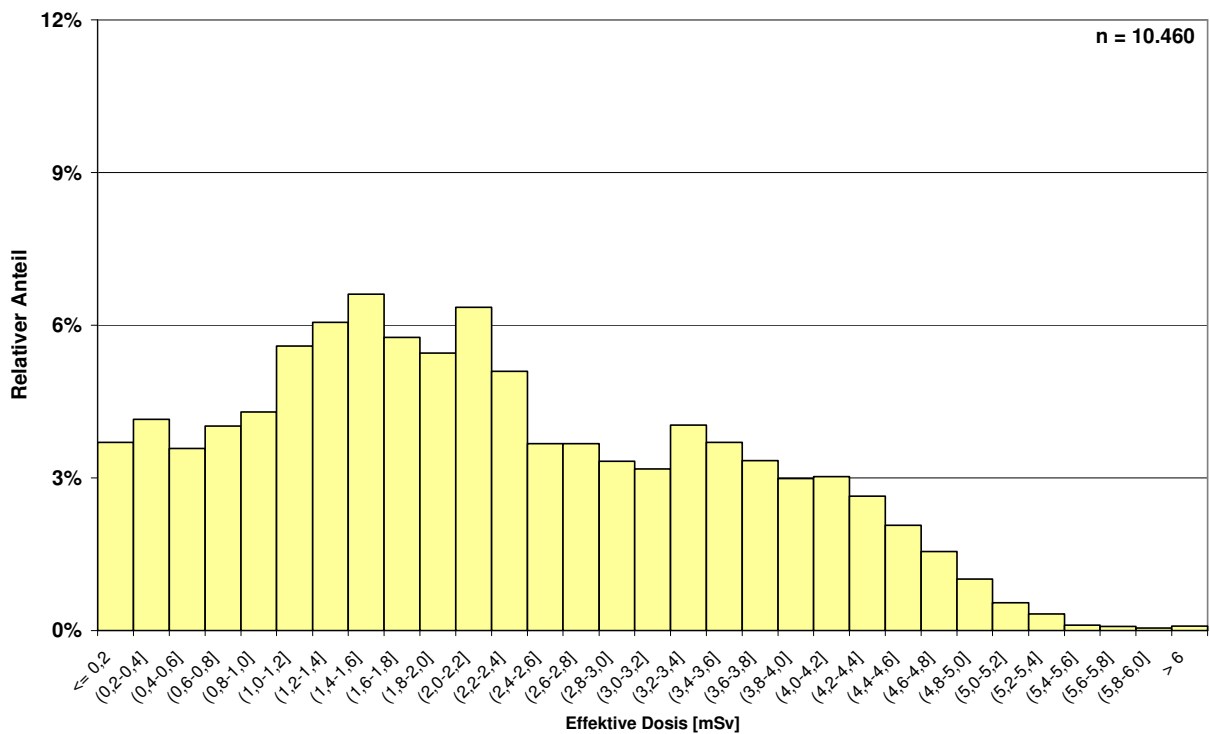
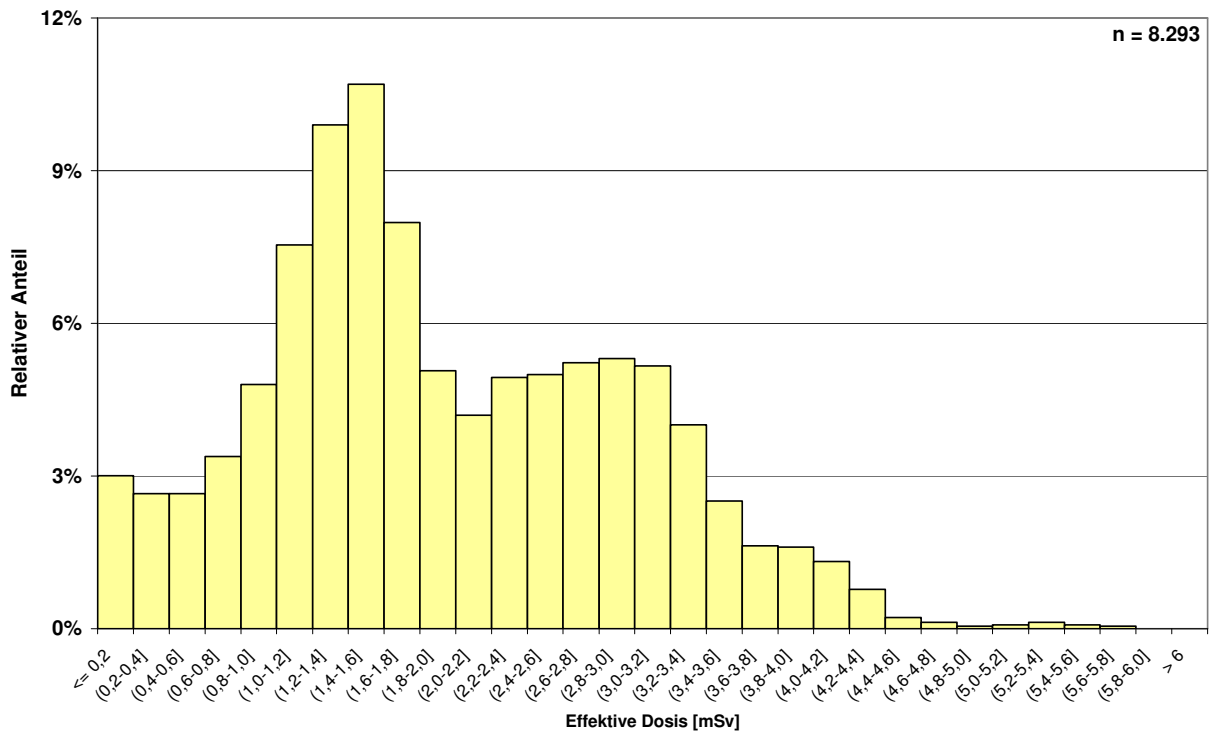


Abb. 4.16b: Verteilung der effektiven Dosis des weiblichen Cockpitpersonals in den Jahren 2004 und 2009

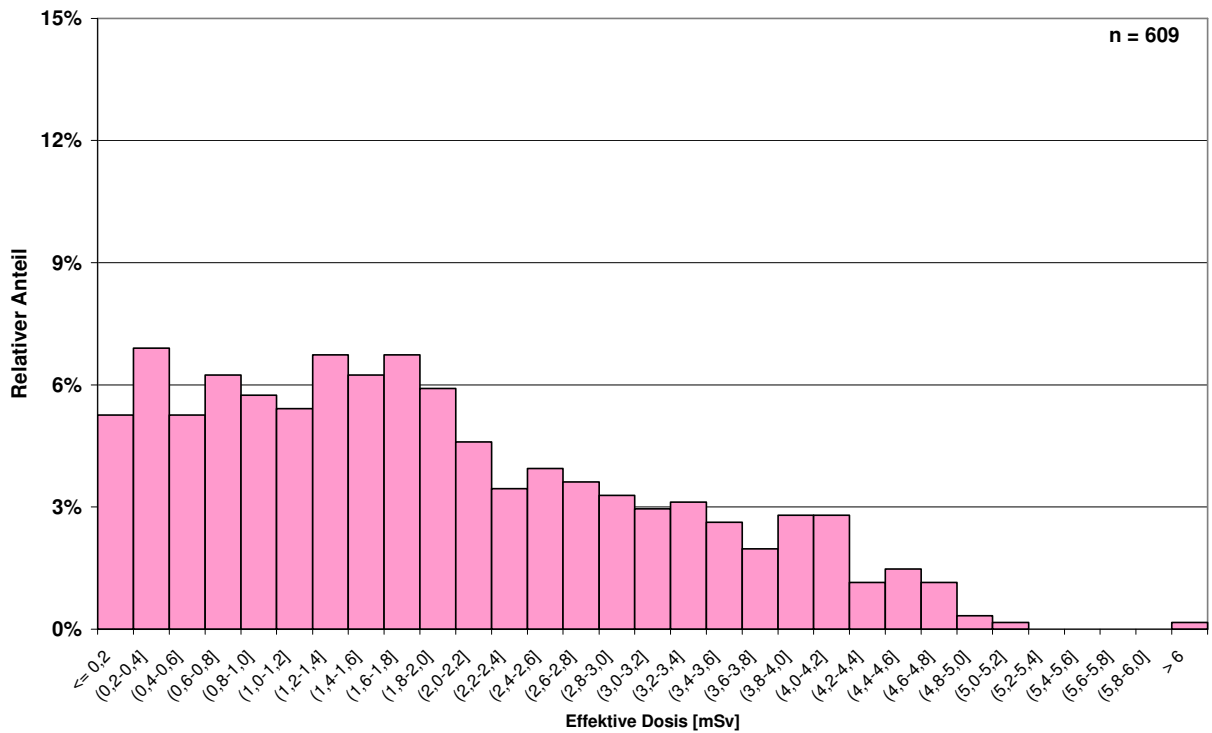
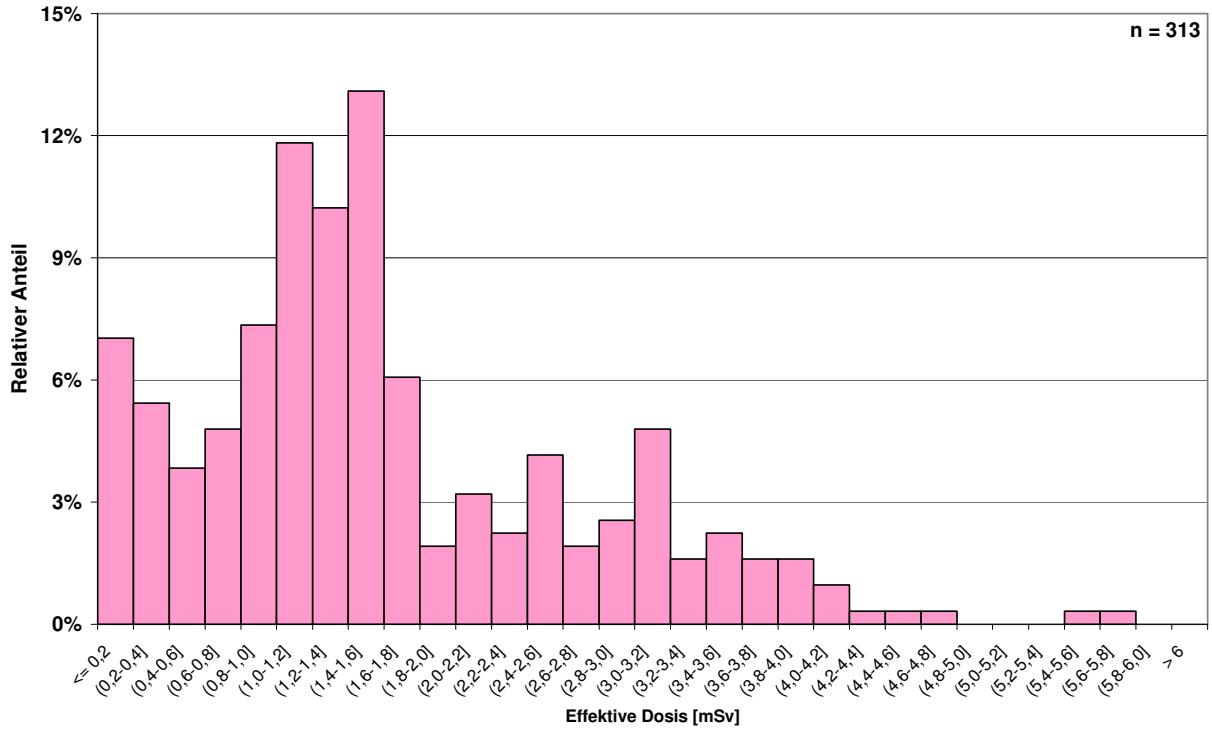


Abb. 4.16c: Verteilung der effektiven Dosis des männlichen Cockpitpersonals in den Jahren 2004 und 2009

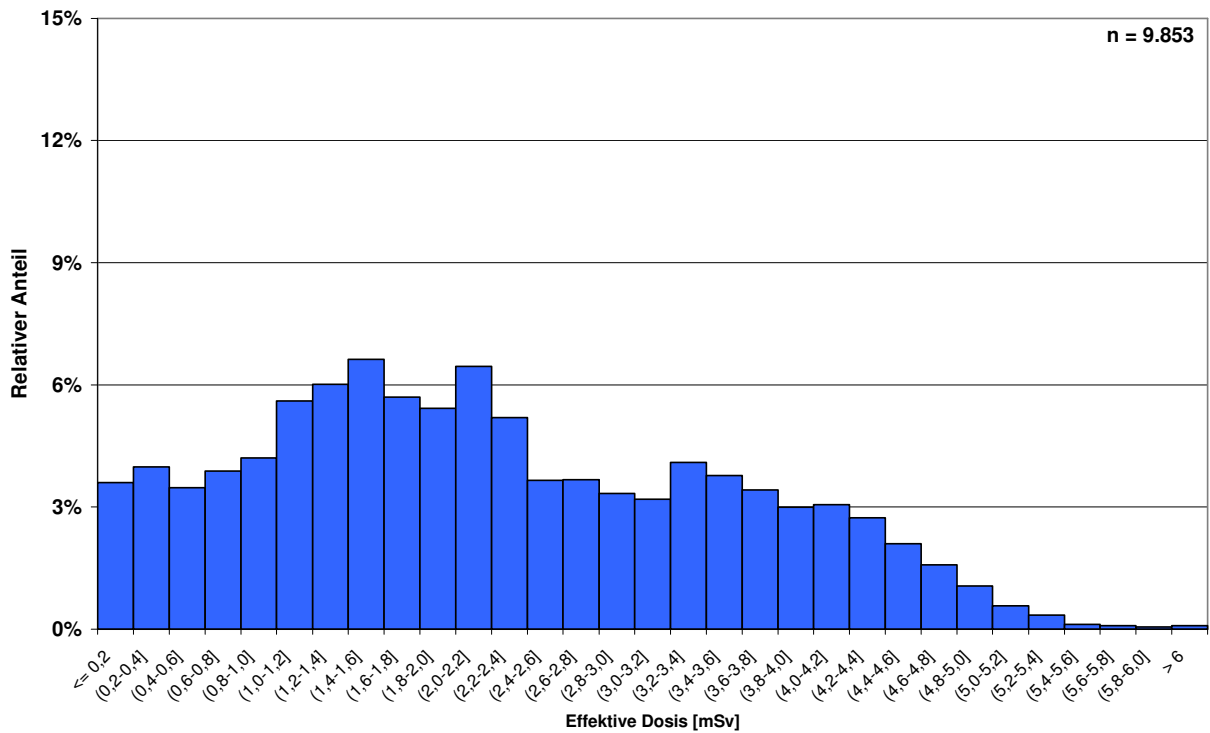
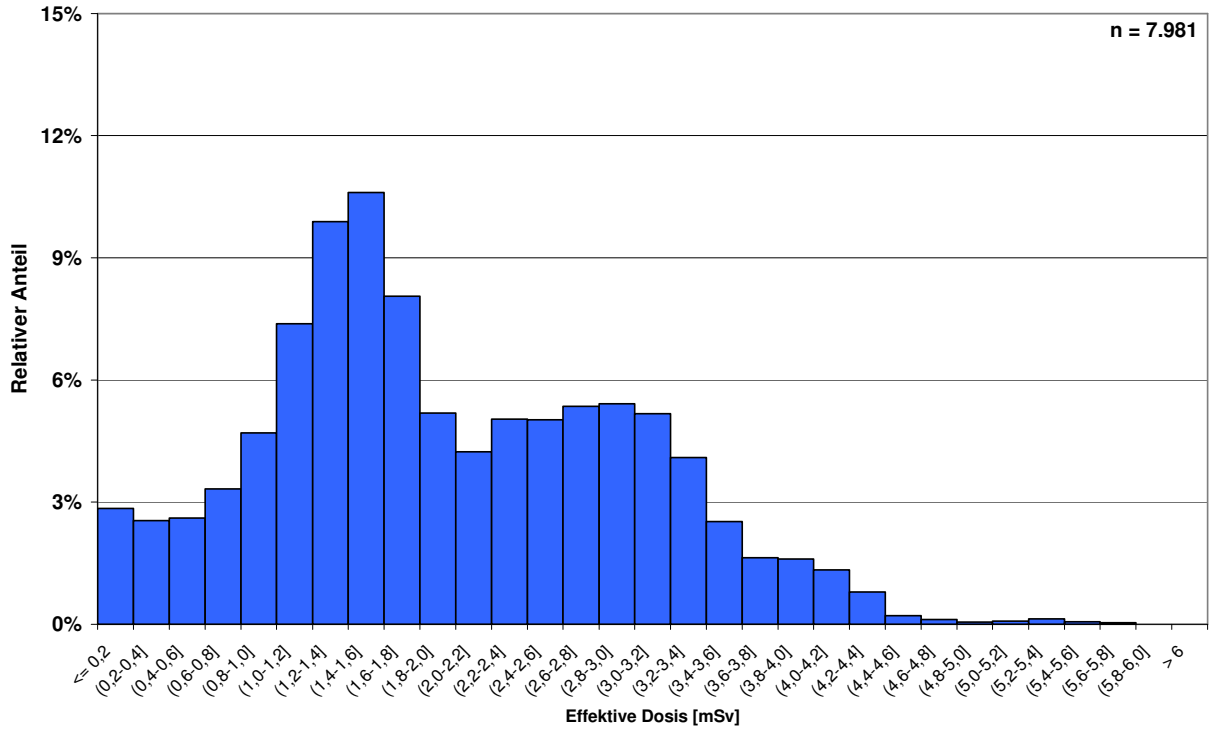


Abb. 4.17a: Verteilung der effektiven Dosis des gesamten Kabinenpersonals in den Jahren 2004 und 2009

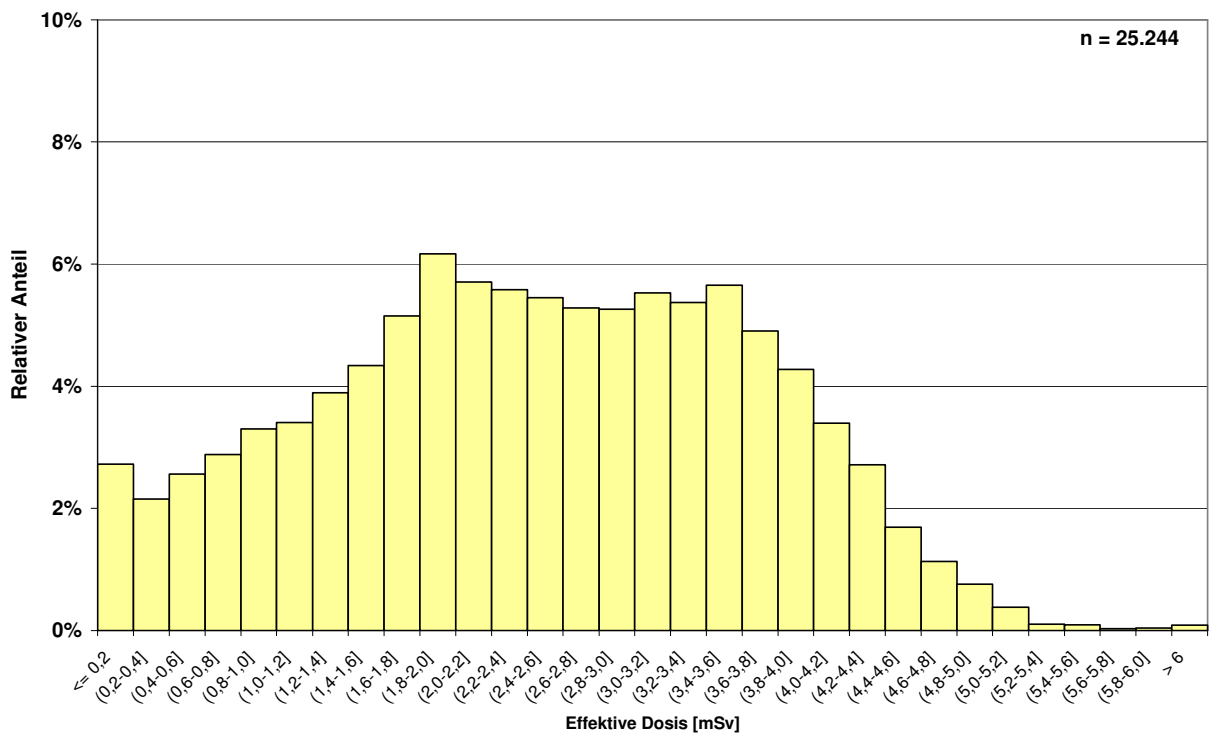
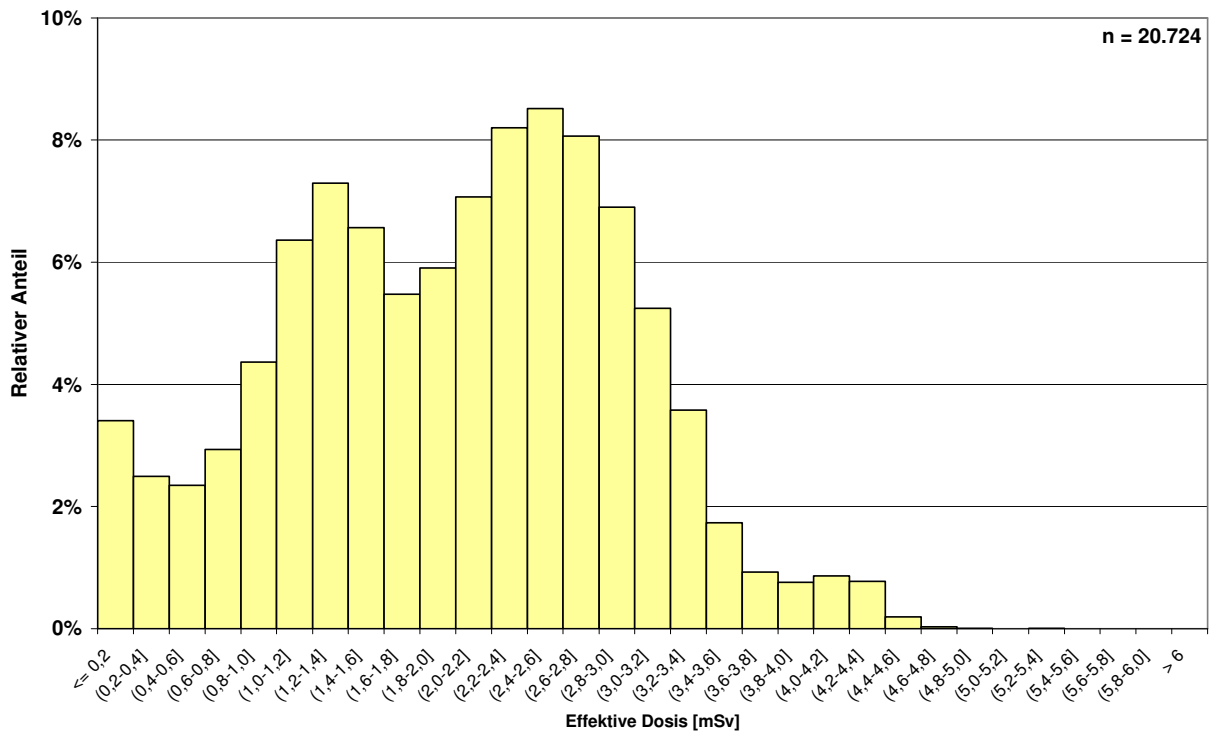


Abb. 4.17b: Verteilung der effektiven Dosis des weiblichen Kabinenpersonals in den Jahren 2004 und 2009

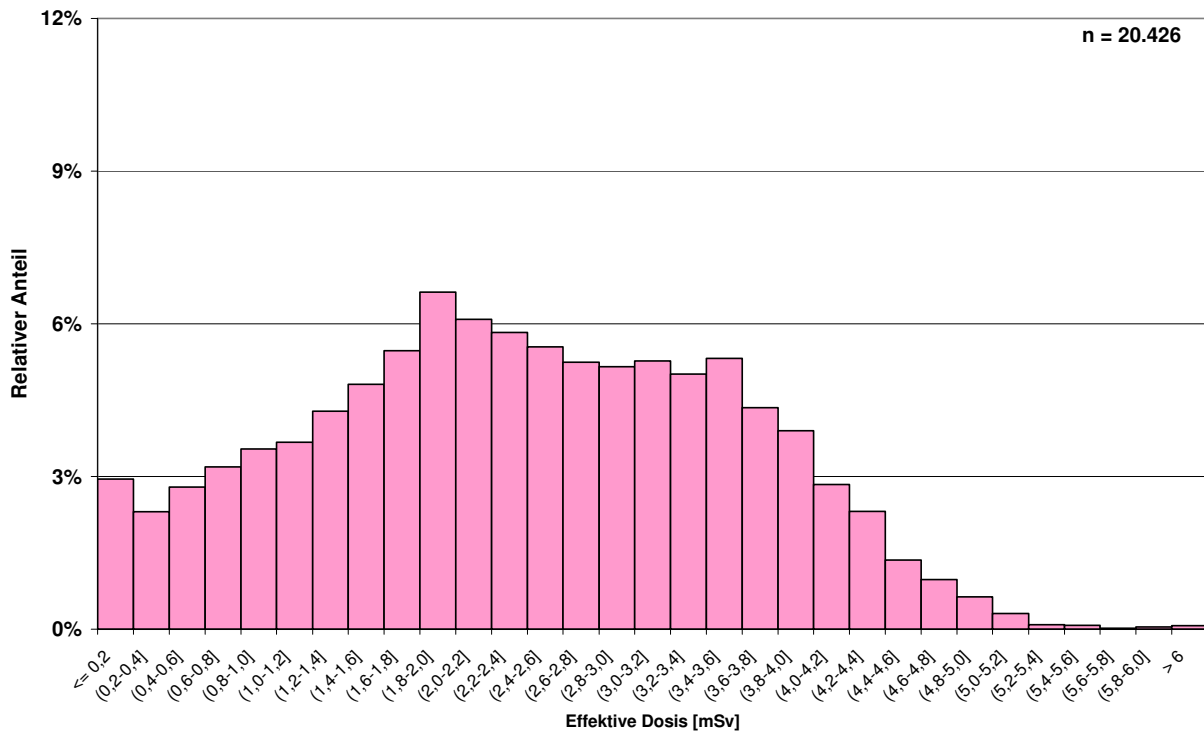
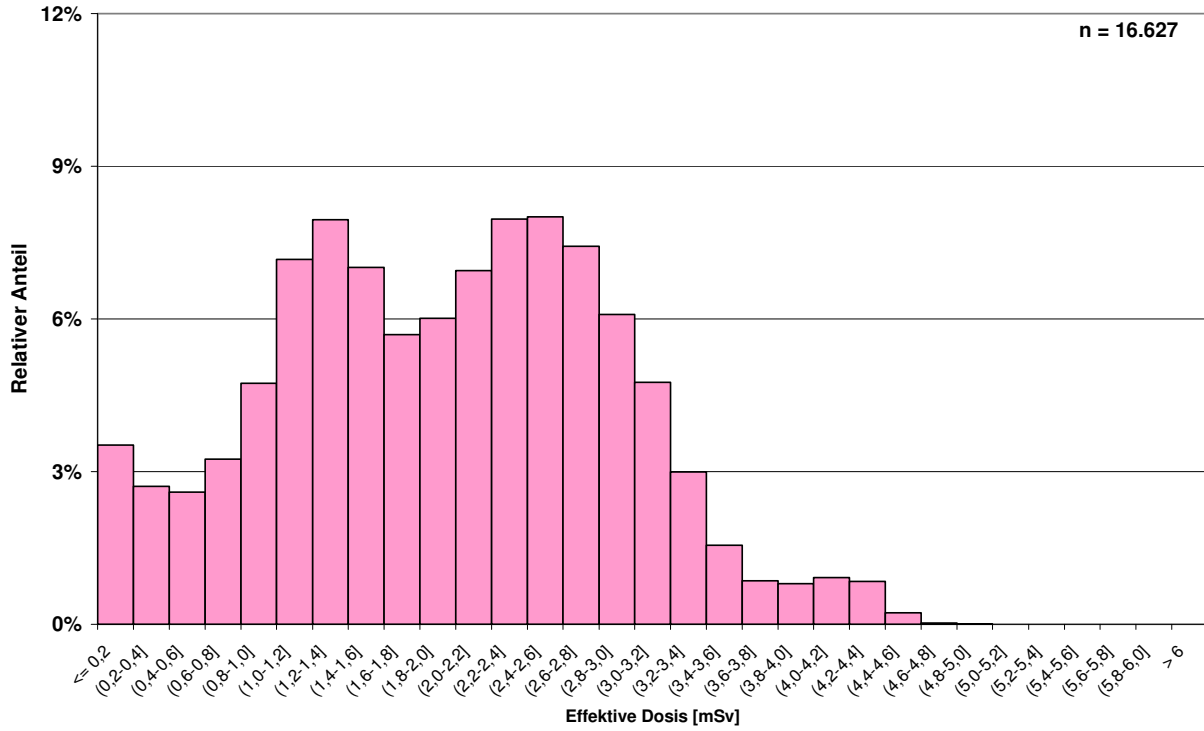
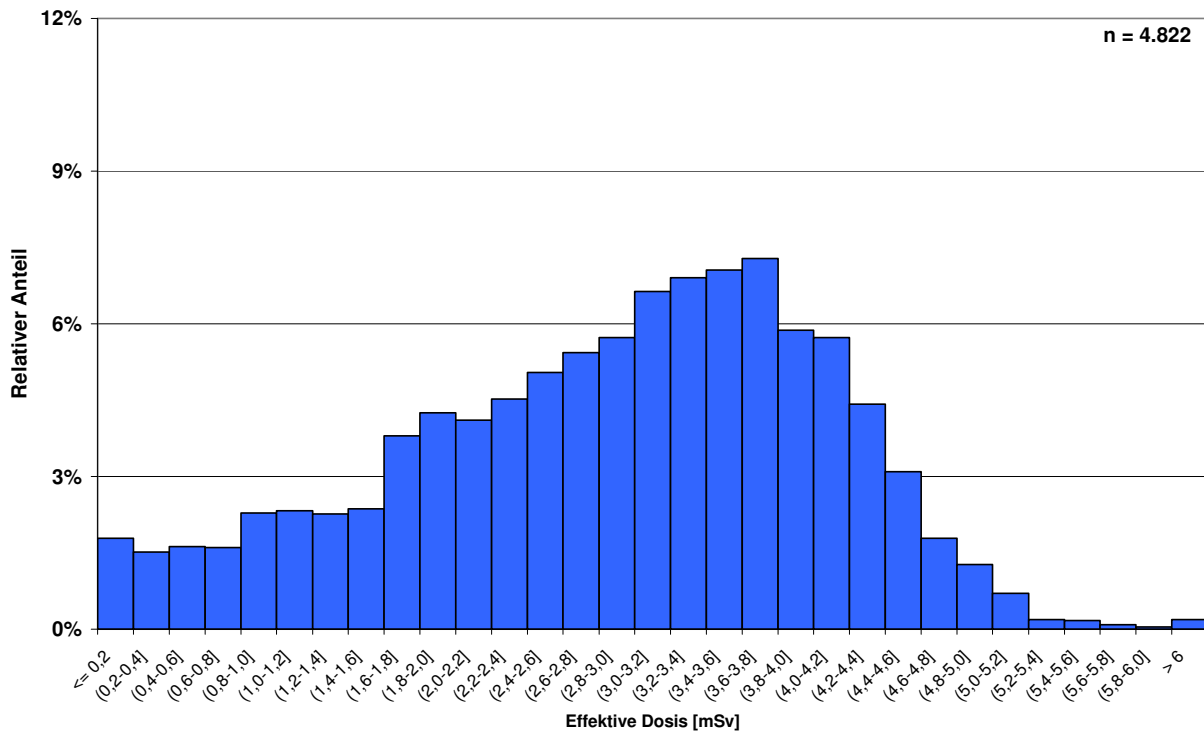
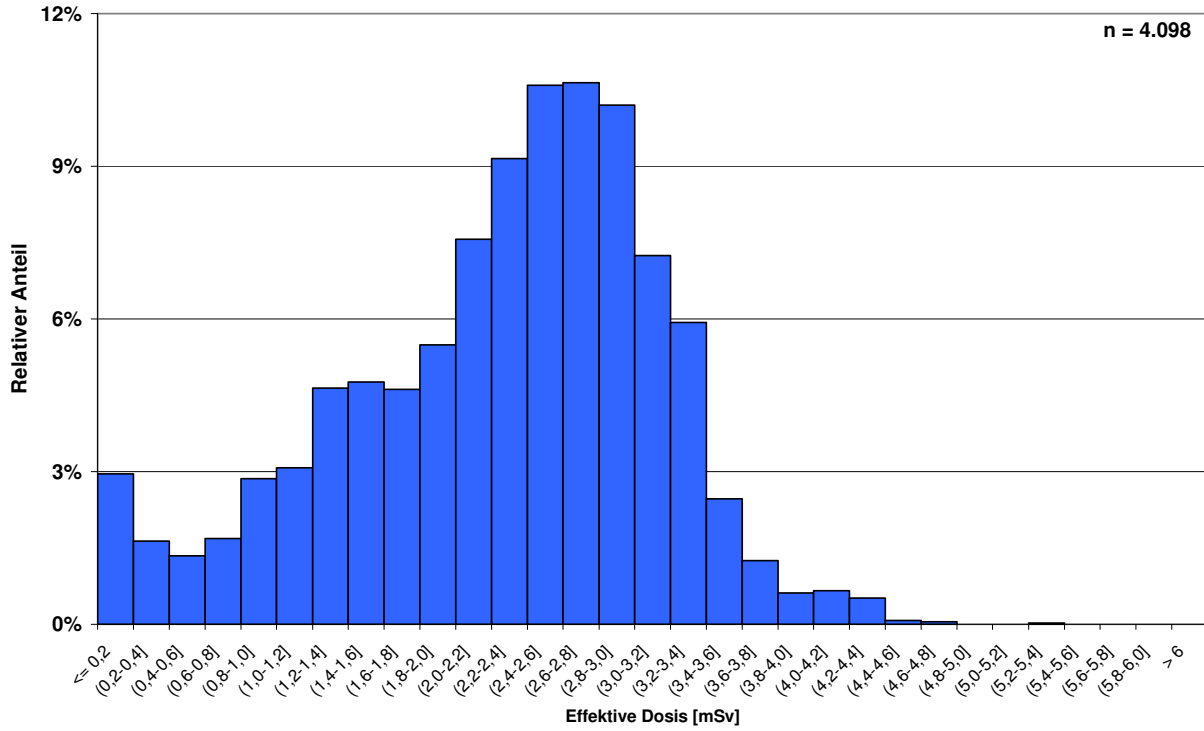
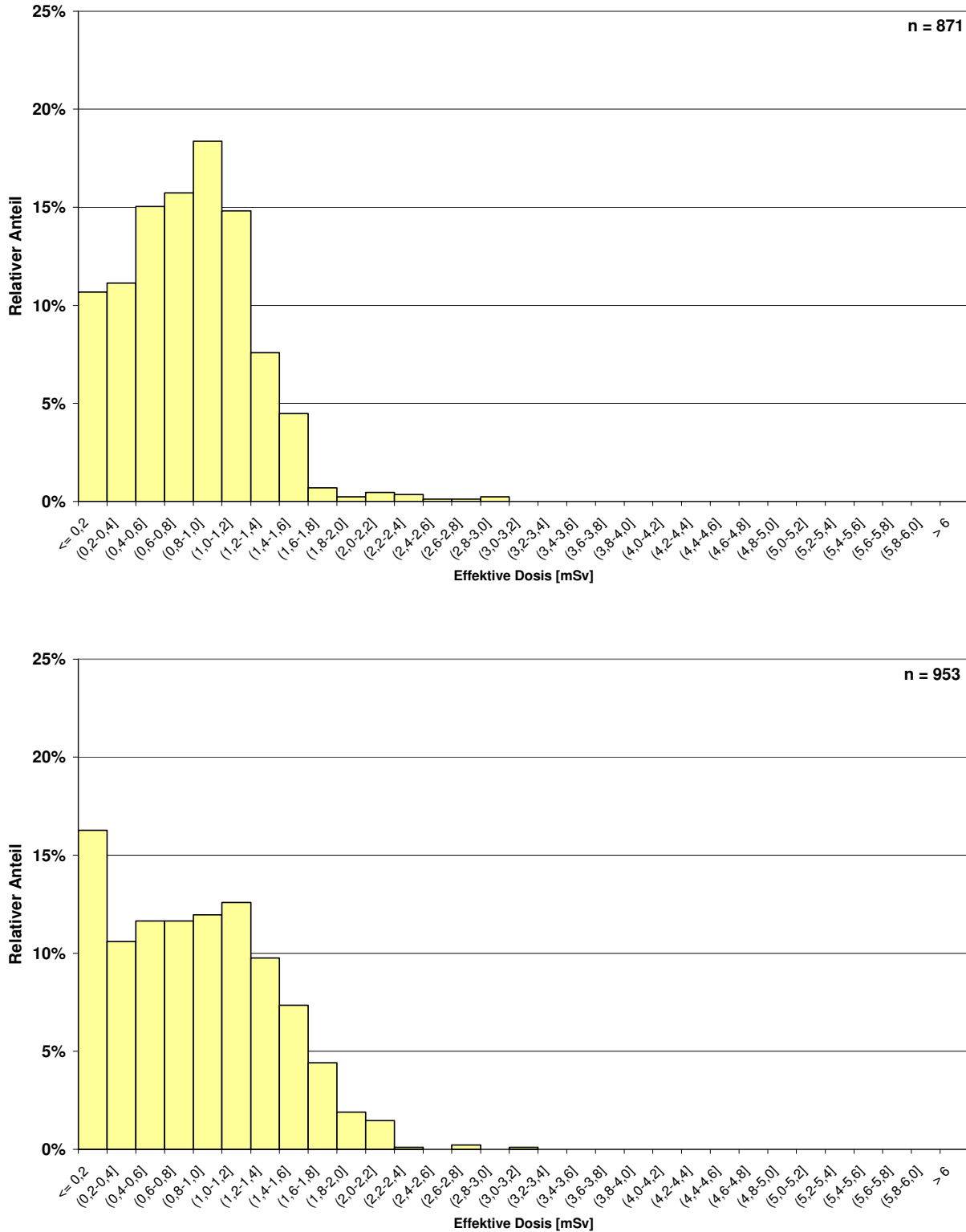


Abb. 4.17c: Verteilung der effektiven Dosis des männlichen Kabinenpersonals in den Jahren 2004 und 2009



In der Kategorie „Sonstige“ (Abb. 4.18) fallen alle Dosisparameter deutlich geringer aus und gehen trotz der Sonnenzyklusphase von 2004 bis 2009 um mehr als die Hälfte zurück. Dies weist auf ein deutlich verändertes Einsatzprofil dieser Gruppe hin. Diese Gruppe gehört zum militärischen Bereich und besteht bis auf wenige Ausnahmen aus Männern.

Abb. 4.18: Verteilung der effektiven Dosis der Tätigkeitskategorie Sonstige 2004 und 2009



4.5 Bivariate Verteilungen

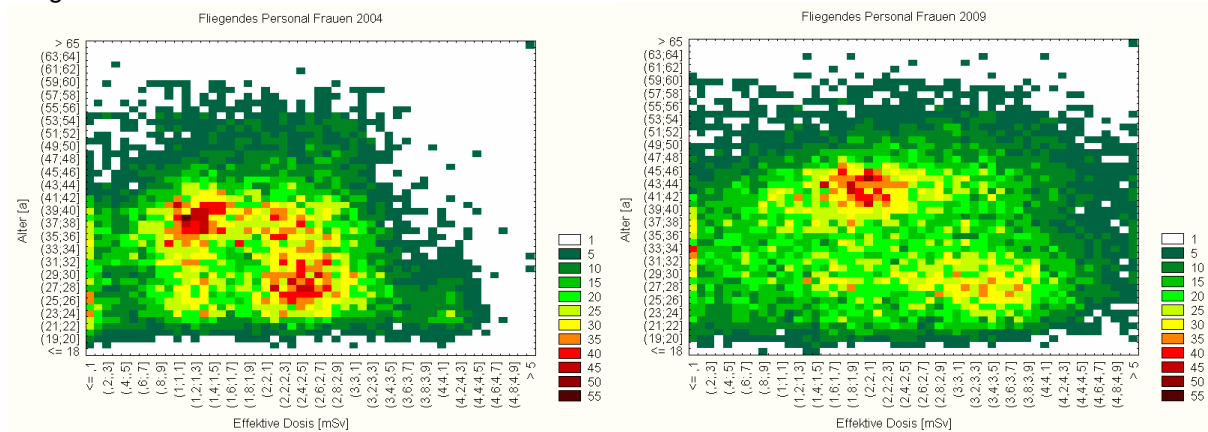
Aufgrund der Feststellung, dass sowohl die Alters- als auch die Dosisverteilungen häufig bimodal sind, ist es sinnvoll, mittels der Darstellung der bivariaten Verteilung mögliche Untergruppen zu identifizieren.

Die bivariate Darstellung der Häufigkeitsverteilung nach Dosis und Alter besteht aus einer in 0,1-mSv-Schritten skalierten x-Achse und einer in 1-Jahres-Schritten skalierten y-Achse. Die Anzahl der Fälle (Personen) wird in Farbstufen von dunkelgrün (niedrig) über gelb und rot bis schwarz (hoch) dargestellt. Die in der Legende angegebenen Werte bilden die obere nicht erreichte Grenze der angegebenen Farbstufe.

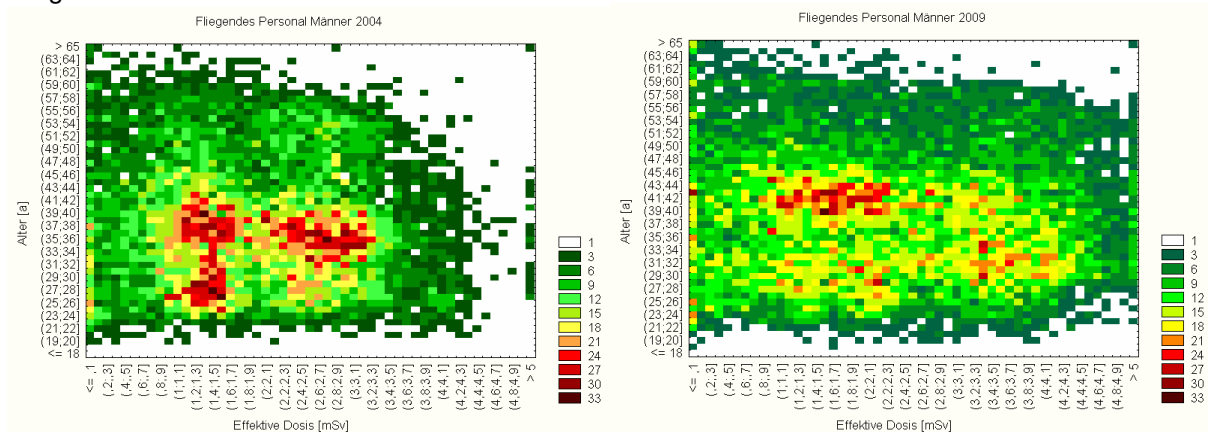
Abbildung 4.19 stellt die bivariate Verteilung der Frauen und Männern nach Alter und Dosis in den Jahren 2004 und 2009 gegenüber. Durch die oben beschriebene, sonnenzyklusbedingte Zunahme der Dosis und ihrer Streuung verschmieren sich die Personencluster tendenziell zu den höheren Dosiswerten hin. Man erkennt, dass die zuvor beschriebenen Maxima der Cluster teilweise geschlechterabhängig sind und bei den Frauen bzw. Männern unterschiedlich stark in Erscheinung treten. Frauen findet man gehäuft bei dem niedrig Exponierten mittleren Alter sowie bei den höher exponierten Jüngeren. Die beiden gegenläufigen Merkmalsausprägungen sind dagegen eher schwächer ausgeprägt.

Abb. 4.19: Bivariate Alters- und Dosisverteilung aller überwachten Frauen und Männer des fliegenden Personals in 2004 und 2009

Fliegendes Personal Frauen



Fliegendes Personal Männer



Bei den Männern erkennt man 2004 noch drei Gruppen: niedrig exponierte Personen jüngeren und mittleren Alters sowie höher exponierte Personen mittleren Alters. Alle drei Gruppen, besonders aber die Letztere, lösen sich bis 2009 mit der Tendenz zu höheren Dosen nahezu auf. Deutlich grenzt sich 2009 auch das wenig exponierte Teilzeitpersonal ab.

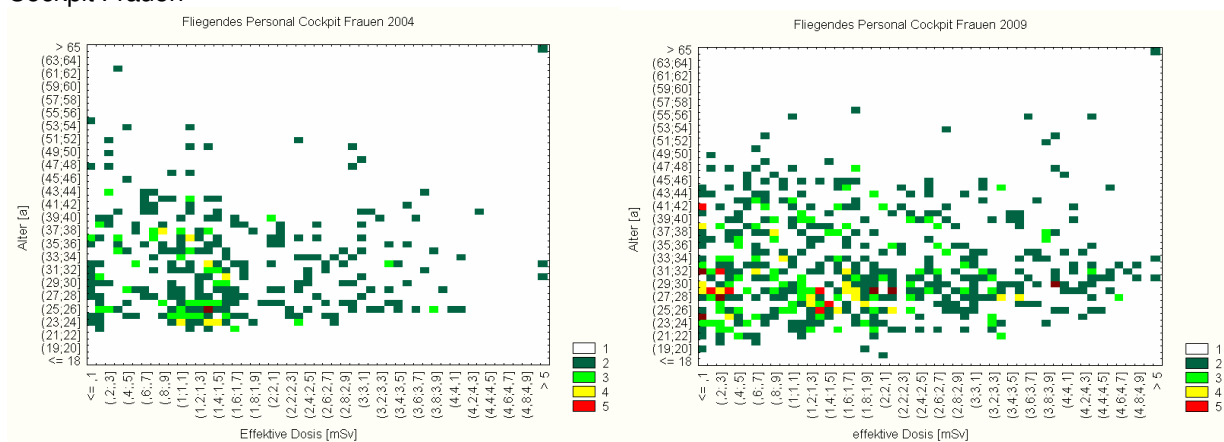
Abbildung 4.20 zeigt die bivariaten Verteilungen des Cockpitpersonals. Bei diesen Personen findet man im Prinzip die gleichen Gruppen, wie bei den Männern in Abb. 4.19, denn die Männer stellen überwiegend das

Cockpitpersonal, in der Kabine sind sie dagegen zahlenmäßig eher gering vertreten. Aufgrund der geringen Anzahl weiblicher Piloten lässt sich nur schwer eine Struktur in den Daten ausmachen. Es deuten sich hier aber Ähnlichkeiten zu den männlichen Kollegen an.

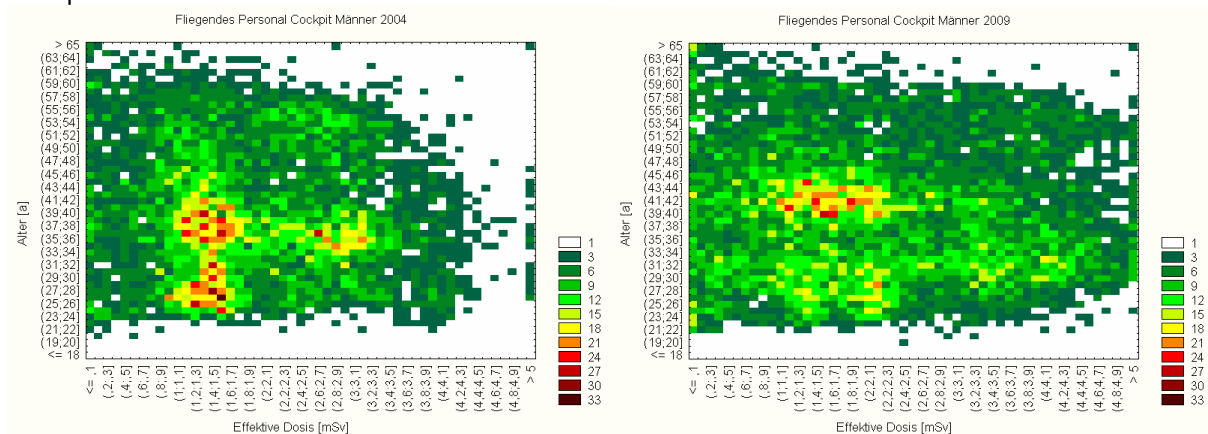
Beim männlichen Cockpitpersonal findet man 2004 drei Gruppen: niedrig exponierte junge Piloten, niedrig exponierte Piloten mittleren Alters und höher exponierte Piloten mittleren Alters. Die Cluster lassen sich gut durch unterschiedliches fliegerisches Profil der Piloten erklären. So fliegen junge Piloten zu Beginn ihrer Karriere vorwiegend auf Kurz- und Mittelstrecken. Mit wachsender Erfahrung erwerben einige von ihnen Lizenzen für langstreckengeeignete Flugmuster und werden dann im interkontinentalen Verkehr eingesetzt. Viele Piloten fliegen aber auch im fortgeschrittenen Alter hauptsächlich im europäischen Raum, denn die Mehrzahl aller durchgeführten Verkehrsflüge bedient das europäische Streckennetz. Die routenbedingt unterschiedlichen Expositionen wirken sich auf die Jahresdosis aus und führen zu verschiedenen alters- und dosisabhängigen Clustern.

Abb. 4.20: Bivariate Alters- und Dosisverteilung des weiblichen und männlichen Cockpitpersonals in 2004 und 2009

Cockpit Frauen



Cockpit Männer

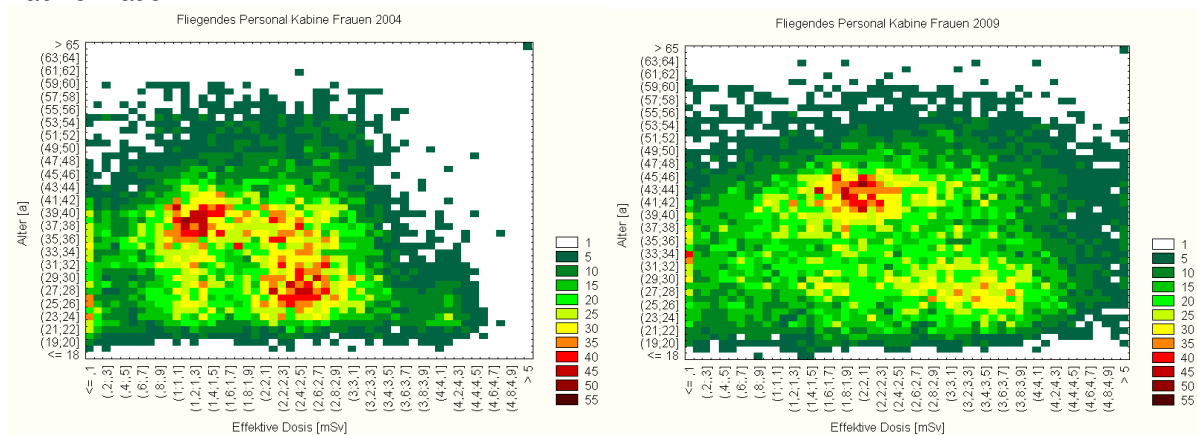


Die Verteilung des weiblichen Kabinenpersonals weist zwei deutliche Maxima auf (Abb. 4.21): höher exponierte junge Frauen und niedriger exponierte Frauen mittleren Alters. Die gegenläufigen Gruppen sind kaum vertreten. Diese Unterschiede lassen sich durch unterschiedliche Einsatzprofile erklären. Eine typische Flugbegleiterin beginnt ihre Karriere als junge Frau, die, familiär ungebunden, viele Flugzeiten und Langstreckenflüge absolvieren kann und dadurch auch höher exponiert ist. Spätere Arbeitszeitreduzierungen während der Kindererziehung sowie ein dem Familienleben zuträglicherer Einsatz auf innerdeutschen bzw. europäischen Kurz- und Mittelstrecken senken die Strahlenexposition und führen zur Bildung der beiden nach Alter und Dosis unterschiedlichen Personencluster.

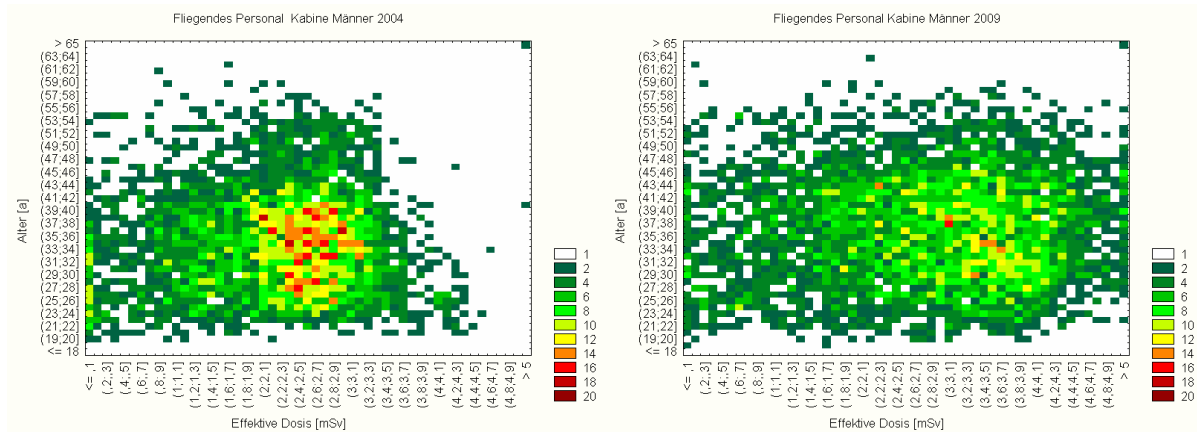
Bei dem männlichen Kabinenpersonal ist die Verteilung dagegen homogener. Man findet nur eine, eher altersunabhängige Gruppe im Dosisintervall von ca. 2 - 3 mSv, die sich zu höheren Dosiswerten verschiebend in 2009 nahezu auflöst.

Abb. 4.21: Bivariate Alters- und Dosisverteilung des weiblichen Kabinenpersonals und männlichen Kabinenpersonals in 2004 und 2009

Kabine Frauen



Kabine Männer



4.6 Strahlenexposition des fliegenden Personals im europäischen Vergleich

Die Strahlenexposition des Flugpersonals wird maßgeblich durch die Flughöhe, Flugdauer, die Aktivität der Sonne und die geomagnetische Breite der Flugroute bestimmt. Die effektive Dosisleistung im Flugzeug beträgt bei einem Langstreckenflug (Reiseroute 50° Nord) bei einer Flughöhe zwischen 8,8 und 12,5 km im Mittel 9 Mikro-Sievert pro Stunde zur Zeit der maximalen kosmischen Strahlenexposition. Bisherige konservative Schätzungen ergaben eine mittlere Jahresdosis von ca. 3 mSv⁹, wobei sie den tatsächlichen Personaleinsatz und die Häufigkeit des beflogenen Streckennetzes nur näherungsweise berücksichtigen konnten. Die jetzt vorliegenden Ergebnisse beruhen dagegen auf den Überwachungsdaten des gesamten fliegenden Personals. Sie zeigen erwartungsgemäß eine im Mittel geringere Exposition des fliegenden Personals als zuvor geschätzt.

Viele europäische Länder überwachen die Strahlenexposition des fliegenden Personals auf der Grundlage der EU-Richtlinie 96/29. Anders als in Deutschland werden die individuellen Überwachungsdaten jedoch oft nicht statistisch ausgewertet. Deshalb sind aktuelle und differenzierte Statistiken aus der amtlichen Überwachung bislang kaum verfügbar. Im europäischen Vergleich überwacht Deutschland, wie auch bei den meisten anderen strahlenexponierten Berufen, die meisten Personen. Verglichen mit den europäischen Ländern, die eine amtliche Überwachung des fliegenden Personals praktizieren, liegt Deutschland bei der mittleren individuellen Strahlenexposition im oberen Mittelfeld (Tab. 4.4).

Tab. 4.4: Exposition des fliegenden Personals im europäischen Vergleich

Länder	Überwachte Personen	arithm. Mittel [mSv]	Maximum [mSv]
Belgien (2007) ¹⁰	214	1,85	< 6,0
Dänemark (2009) ¹¹	3.824	1,8	6,0
Deutschland (2009)	36.596	2,3	7,0
Finnland (2007) ¹⁰	3.708	2,1	5,1
Irland (2008) ¹²	9.726	2,4	≤ 6,0
Litauen (2009) ¹³	213	k.A.	k.A.
Niederlande (2007) ¹⁰	11.113	1,73	< 6,0
Polen (2007) ¹⁰	1.217	k.A.	k.A.
Portugal (2007) ¹⁰	2.639	k.A.	k.A.
Slowenien (2009) ¹⁴	322	1,16	1,74
Spanien (2007) ¹⁰	1.649	k.A.	k.A.
Schweden (2008) ¹⁵	1.431	2,55	5,43
Tschechische Republik (2009) ¹⁶	2.158	1,09	3,95
Vereinigtes Königreich (2004/2005) ¹⁷	22.000	2,0	k.A.

4.7 Strahlenexposition des fliegenden Personals im Vergleich zu anderen Berufsgruppen

In Deutschland werden die meisten beruflich strahlenschutzüberwachten Personen rein vorsorglich mit Personendosimetern überwacht, auch wenn sie als Personal der Kategorie B nach Strahlenschutz- bzw. Röntgenverordnung noch nicht dosimetrisch überwachungspflichtig sind und in den meisten Fällen auch überhaupt nicht exponiert werden. Aus diesem Grund wird bei statistischen Auswertungen zwischen überwachten und exponierten Personen unterschieden. Zu den Besonderheiten des fliegenden Personals gehört, dass nahezu alle überwachten Personen auch exponiert werden. Deshalb werden hier für Vergleiche mit anderen strahlenexponierten Berufsgruppen nur exponierte Personen herangezogen¹⁸ (Abb. 4.22).

Man sieht, dass das fliegende Personal neben den Kategorien „Radiographie“, „Kerntechnik, Instandsetzung“ und „Kerntechnik, Reinigung“ zu den Berufsgruppen mit den höchsten mittleren Jahresdosen gehört. Aufgrund der Personenzahl von ca. 36.000 liefert diese Berufsgruppe mit 86 Pers.-Sv den mit Abstand größten Beitrag zur Kollektivdosis der beruflich strahlenexponierten Personen in 2009 (Abb. 4.23).

Vergleicht man die Häufigkeitsverteilung der Jahresdosis des fliegenden Personals mit den entsprechenden Verteilungen anderer Berufsgruppen, dann sieht man deutliche Unterschiede zu den Beschäftigten in der Medizin und im nicht-medizinischen Bereich. Sowohl in der Medizin als auch im nicht-medizinischen Bereich sind die kleinen Dosiswerte am häufigsten vertreten und mit steigenden Dosiswerten fällt deren Häufigkeit annähernd exponentiell ab. Dagegen ist die Häufigkeitsverteilung der Dosis beim fliegenden Personal mehrgipfelig und die Dosen häufen sich im mittleren Dosisbereich. Im Gegensatz zu den anderen strahlenexponierten Gruppen erreichten die Expositionen beim fliegenden Personal jedoch keine Werte über 8 mSv (Abb. 4.24).

Abb. 4.22: Mittlere Jahresdosis in den Tätigkeitskategorien der beruflichen Strahlenschutzüberwachung (nur Exponierte mit Jahresdosen > 0 mSv, Zeitraum der Überwachung: 2009)

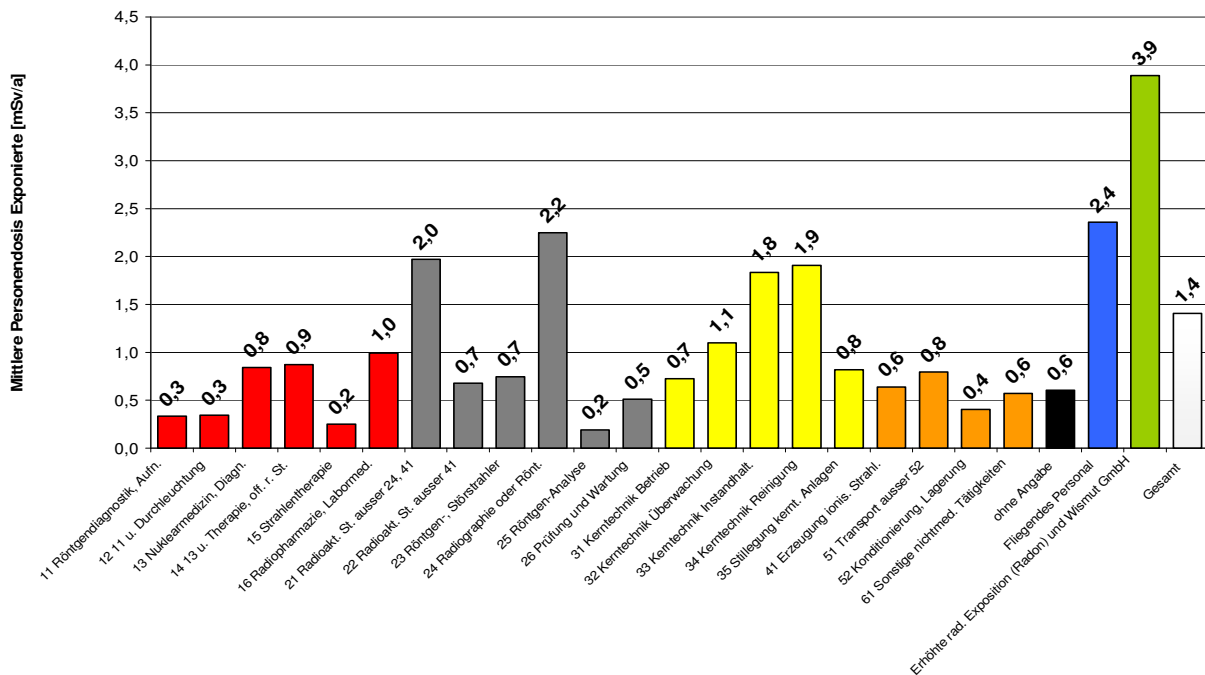


Abb. 4.23: Kollektivdosis in den Tätigkeitskategorien der beruflichen Strahlenschutzüberwachung (Zeitraum der Überwachung: 2009)

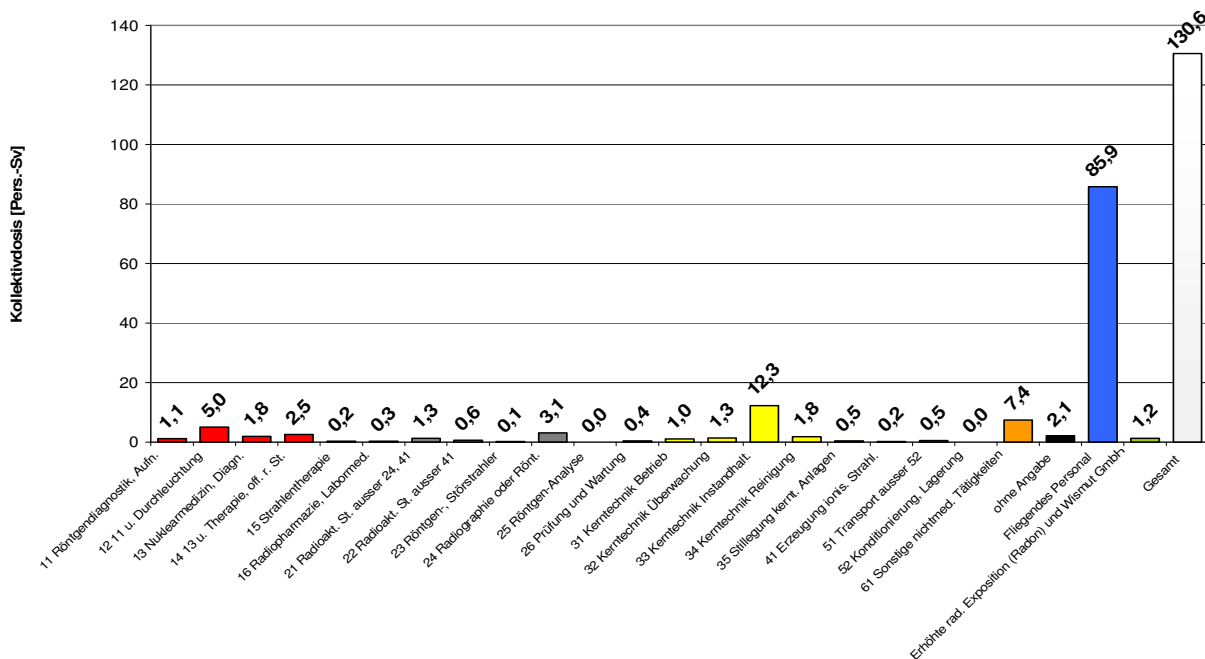
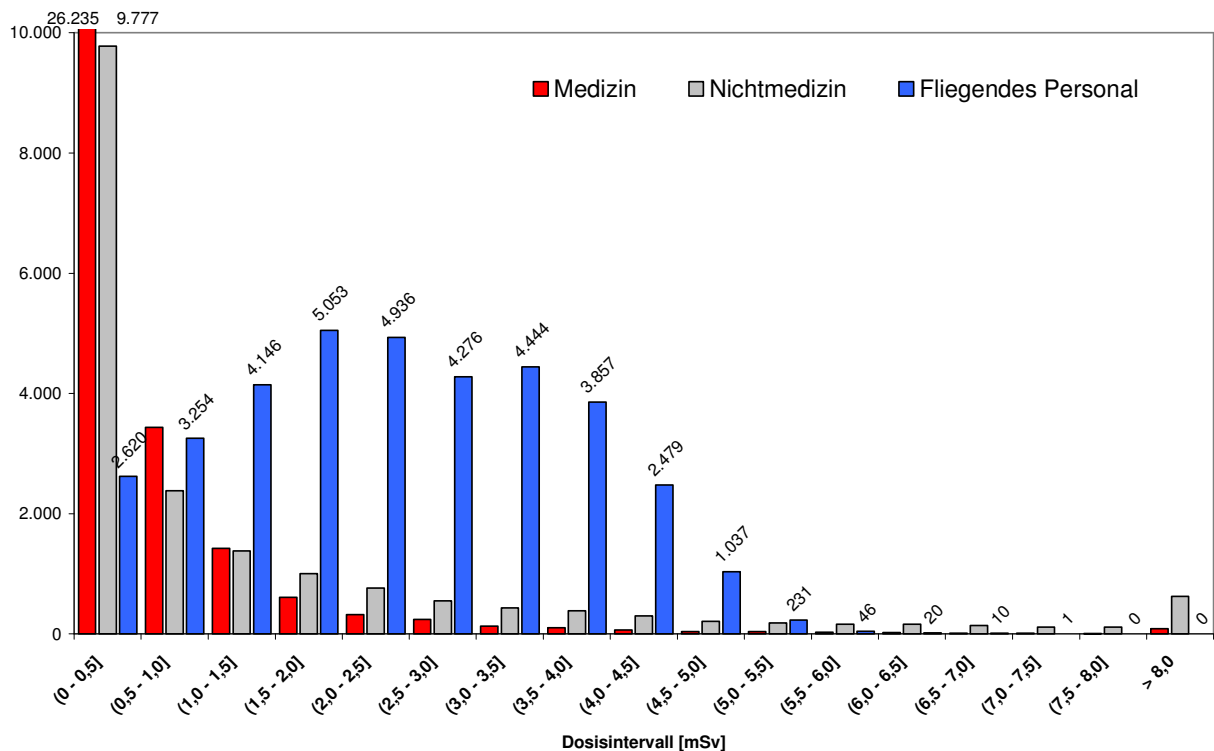


Abb. 4.24: Dosisverteilung der Exponierten verschiedener Berufsgruppen in der Strahlenschutzüberwachung (Zeitraum der Überwachung: 2009)



Im Gegensatz zu früheren Jahrzehnten treten heute bei den meisten strahlenschutzüberwachten Tätigkeiten messbare Expositionen selten auf und fallen dann meist auch gering aus, denn mit der Pflicht zur Optimierung wurden in den letzten 15 – 20 Jahren viele Möglichkeiten der Dosisreduzierung genutzt. Für Tätigkeiten z. B. in der interventionellen Medizin, der mobilen Radiografie und der Kerntechnik gelten hier zwar gewisse Einschränkungen, grundsätzlich können aber Expositionen in vielen Fällen durch Schutz- und Verhaltensmaßnahmen gänzlich vermieden oder zumindest deutlich reduziert werden. Anders ist dies beim fliegenden Personal. In der Luftfahrt können die klassischen Strahlenschutzmaßnahmen (Abschirmung, Abstand zur Quelle, Verkürzung der Expositionszeit) nicht oder nur mit unverhältnismäßigem Aufwand durchgeführt werden, so dass einer Optimierung enge Grenzen gesetzt sind.

Gleichwohl ist aber festzustellen, dass selbst die höchsten Jahresdosiswerte unter 8 mSv und damit deutlich unterhalb des zulässigen Jahresgrenzwerts von 20 mSv bleiben. Dies hat seine Ursache in der arbeitsrechtlichen Beschränkung der jährlich maximal zulässigen Blockzeit auf 900 Stunden, wodurch die Exposition durch die Höhenstrahlung zwangsläufig ebenfalls begrenzt wird. Diese, durch das Arbeitszeitgesetz bedingte Expositionsbeschränkung gibt es für andere Berufsgruppen nicht.

5 Anhang

Expositionsstatistiken des fliegenden Personals in Deutschland 2004 -2009

	Überwachte	Kollektivdosis [Pers.-Sv]	Mittelwert [mSv]	Median [mSv]	Maximum [mSv]	Standard- abweichung [mSv]
Alle						
2004	29.852	58,21	1,9	1,9	6,1	1,0
2005	31.229	62,17	2,0	2,0	6,7	1,0
2006	32.554	71,31	2,2	2,2	8,1	1,1
2007	35.031	79,55	2,3	2,2	7,5	1,2
2008	37.121	85,80	2,3	2,3	7,1	1,2
2009	36.596	85,88	2,3	2,4	7,0	1,3
Frauen						
2004	16.968	32,81	1,9	2,0	6,1	1,0
2005	17.897	35,35	2,0	2,0	6,7	1,0
2006	18.535	40,33	2,2	2,2	8,1	1,1
2007	20.116	45,70	2,3	2,3	7,5	1,1
2008	21.427	49,54	2,3	2,3	7,0	1,2
2009	21.033	49,48	2,4	2,3	6,9	1,2
Männer						
2004	12.888	25,40	2,0	1,9	5,7	1,0
2005	13.335	26,82	2,0	1,9	6,5	1,0
2006	14.028	30,98	2,2	2,1	7,3	1,2
2007	14.924	33,85	2,3	2,2	7,3	1,3
2008	15.707	36,26	2,3	2,3	7,1	1,3
2009	15.572	36,40	2,3	2,2	7,0	1,3
Cockpit						
2004	8.294	16,07	1,9	1,7	5,7	1,0
2005	8.702	16,99	2,0	1,7	6,5	1,1
2006	9.229	20,34	2,2	2,0	7,6	1,3
2007	9.984	21,59	2,2	2,0	6,1	1,2
2008	10.673	23,37	2,2	2,1	5,7	1,2
2009	10.460	22,90	2,2	2,0	6,8	1,3
Kabine						
2004	20.723	41,50	2,0	2,1	6,1	0,9
2005	21.651	44,27	2,0	2,1	6,7	1,0
2006	22.279	50,19	2,3	2,3	8,1	1,1
2007	24.154	57,27	2,4	2,4	7,5	1,2
2008	25.659	61,67	2,4	2,4	7,1	1,2
2009	25.244	62,19	2,5	2,5	7,0	1,2
Sonstige						
2004	871	0,65	0,7	0,8	2,8	0,4
2005	970	0,91	0,9	1,0	2,6	0,6
2006	1.105	0,78	0,7	0,7	3,1	0,5
2007	1.070	0,69	0,6	0,6	2,0	0,5
2008	1.033	0,77	0,7	0,8	2,8	0,5
2009	953	0,78	0,8	0,8	3,0	0,5

Expositionsstatistiken des fliegenden Personals in Deutschland 2004 -2009 (Forts.)

	Überwachte	Kollektivdosis [Pers.-Sv]	Mittelwert [mSv]	Median [mSv]	Maximum [mSv]	Standard- abweichung [mSv]
Cockpit, Frauen						
2004	313	0,49	1,6	1,4	5,6	1,1
2005	501	0,90	1,8	1,4	6,5	1,5
2006	559	1,17	2,1	1,8	5,3	1,7
2007	629	0,96	1,5	1,3	5,1	1,2
2008	765	1,35	1,8	1,8	5,3	1,2
2009	609	1,09	1,8	1,6	6,8	1,3
Cockpit, Männer						
2004	7.982	15,58	2,0	1,7	5,7	1,0
2005	8.203	16,09	2,0	1,8	6,5	1,1
2006	8.671	19,07	2,2	2,0	7,3	1,2
2007	9.356	20,63	2,2	2,1	6,1	1,2
2008	9.912	22,02	2,2	2,1	5,7	1,2
2009	9.853	21,81	2,2	2,0	6,7	1,3
Kabine, Frauen						
2004	16.626	32,29	1,9	2,0	6,1	1,0
2005	17.389	34,41	2,0	2,0	6,7	1,0
2006	17.941	39,03	2,2	2,2	8,1	1,1
2007	19.549	44,71	2,3	2,3	7,5	1,1
2008	20.787	48,16	2,3	2,3	7,0	1,2
2009	20.426	48,35	2,4	2,3	6,9	1,2
Kabine, Männer						
2004	4.098	9,21	2,2	2,4	5,3	0,9
2005	4.262	9,86	2,3	2,5	4,4	0,9
2006	4.341	11,16	2,6	2,7	6,4	1,1
2007	4.610	12,55	2,7	2,9	7,3	1,1
2008	4.876	13,51	2,8	2,9	7,1	1,2
2009	4.822	13,84	2,9	3,0	7,0	1,2
Sonstige, Frauen						
2004	39	0,03	0,7	0,8	1,6	0,4
2005	62	0,04	0,6	0,4	1,8	0,6
2006	51	0,03	0,5	0,5	1,5	0,4
2007	52	0,02	0,4	0,3	1,4	0,4
2008	44	0,03	0,7	0,7	1,9	0,5
2009	37	0,03	0,8	0,8	2,1	0,6
Sonstige, Männer						
2004	834	0,62	0,7	0,8	2,8	0,4
2005	909	0,87	1,0	1,0	2,6	0,6
2006	1.057	0,76	0,7	0,7	3,1	0,5
2007	1.020	0,67	0,7	0,6	2,0	0,5
2008	992	0,74	0,7	0,8	2,8	0,5
2009	917	0,75	0,8	0,8	3,0	0,5

6 Literaturhinweise

- 1 Stegemann R., Frasch G., Kammerer L, Spiesl J.: Die berufliche Strahlenexposition des fliegenden Personals in Deutschland, Bericht des Strahlenschutzregisters, Bundesamt für Strahlenschutz, BfS-SG-Bericht 06/2005.
- 2 Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2008, Parlamentsbericht, Bundestagsdrucksache 17/770, 24.02.2010.
- 3 Langner, Blettner et al.: Cosmic radiation and cancer mortality among pilots: results from an European cohort study (ESCAPE), Radiation and Environmental Biophysics, 2004 Feb; 42(4):247-56. Epub 2003 Nov 28.
- 4 RICHTLINIE 96/29 EURATOM DES RATES vom 13. Mai 1996 zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen (EURATOM Grundnormen).
- 5 Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen - StrlSchV, 20. Juli 2001.
- 6 Stegemann R., Frasch G., Kammerer L, Spiesl J., a.a.O.
- 7 RICHTLINIE 2000/79/EG DES RATES vom 27. November 2000 über die Durchführung der von der Vereinigung Europäischer Fluggesellschaften (AEA), der Europäischen Transportarbeiter-Föderation (ETF), der European Cockpit Association(ECA), der European Regions Airline Association (ERA) und der International Air Carrier Association (IACA) geschlossenen Europäischen Vereinbarung über die Arbeitszeitorganisation für das fliegende Personal der Zivilluftfahrt, Anhang Klausel 8 Abs.(2).
- 8 Arbeitszeitgesetz § 18e Abs. (2), BGBl.Nr. 461/1969 zuletzt geändert durch BGBl. I Nr. 124/2008
- 9 Die Ermittlung der durch kosmische Strahlung verursachten Strahlenexposition des fliegenden Personals, Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK), Heft 35 (2003).
- 10 European Commission DG H: Evaluation of the Implementation of Radiation Protection for Aircrew, Radiation Protection No. 156, Luxembourg, 2009.
- 11 Breddam, Kersten, National Institut for Radiation Protection (SIS), Denmark, Mitteilung an das CEPN im Rahmen einer Umfrage des EAN-Forums zum Thema „Radiation Protection of Aircrew“, e-Mail vom 15.12.2010.
- 12 Radiological Protection Institute of Ireland (RPII), Annual Report and Accounts 2008, Dublin 2008
- 13 Ziliukas, Julius, Radiation Protection Centre (RSC), Litauen, Mitteilung an das CEPN im Rahmen einer Umfrage des EAN-Forums zum Thema „Radiation Protection of Aircrew“, e-Mail vom 20.12.2010
- 14 Šutej, Tomaž, Sloveinan Radiation Protection Administration, Slovenien, Mitteilung an das CEPN im Rahmen einer Umfrage des EAN-Forums zum Thema „Radiation Protection of Aircrew“, e-Mail vom 15.12.2010.
- 15 Lillhök, Jan, Swedish Radiation Safety Authority (SSM), Schweden, Mitteilung an das CEPN im Rahmen einer Umfrage des EAN-Forums zum Thema „Radiation Protection of Aircrew“, e-Mail vom 21.12.2010.
- 16 Kropacek, Jan, Staatliches Amt für nukleare Sicherheit (SUBJ) der Tschechischen Republik, Mitteilung an das CEPN im Rahmen einer Umfrage des EAN-Forums zum Thema „Radiation Protection of Aircrew“, e-Mail vom 06.12.2010
- 17 Daten aus einer Umfrage bei den amtlichen Dosisregister bzw. Messstellen der Teilnehmerländer am ESOREX-Projekt des BfS.
- 18 Frasch G., Fritzsche E., Kammerer L, Karofsky R., Spiesl J., Stegemann R.: Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2007, Bericht des Strahlenschutzregisters, Bundesamt für Strahlenschutz, BfS-SG-Bericht 12/ 09, S. 43.

Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)

BfS-ISH-140/89

Bayer, A.; Braun, H.; Dehos, R.; Frasch, G.; Haubelt, R.; Hoppe-Schönhammer, J.; Kaul, A.; Löbke, A.; Werner, M.

Erfassung, Dokumentation und strahlenhygienische Bewertung vorliegender Aktivitätsmeßdaten aus der Bundesrepublik Deutschland als Folge des Reaktorunfalles im Kernkraftwerk Tschernobyl.

BfS-ISH-141/90

Stamm-Meyer, A.; Stanek, H.; Bögl, K.W.

Biologische Indikatoren zum Nachweis von Strahlenexpositionen - Thymidinkonzentration im Humanserum als "biologisches Dosismeter"?

BfS-ISH-142/90

Burkhardt, J.; Lux, D.

Characterization of Critical Population Groups with Special Consumption Habits in Bavaria.

BfS-ISH-143/90

BfS-ISH-143/90

Roedler, H. D.; Pittelkow, E.

Strahlenexposition des Patienten bei der nuklearmedizinischen Anwendung markierter monoklonaler Antikörper.

BfS-ISH-144/90

Frasch, G. A.

Fehlbildungshäufigkeiten in Bayern 1968 - 1979 / Bericht im Rahmen des Strahlenbiologischen Umweltmonitorings Bayern.

BfS-ISH-145/90

Martignoni, K.

Spontane und Strahleninduzierte kongenitale Anomalien einschließlich Fehl- und Totgeburten.

BfS-ISH-146/90

Schaller, G.; Leising, Chr.; Krestel, R.; Wirth, E.

Cäsium- und Kalium-Aufnahme durch Pflanzen aus Böden.

BfS-ISH-147/90

Brachner, A.

Entwicklung der Säuglingssterblichkeit in Bayern (1972 - 1986).

BfS-ISH-148/90

Winkelmann, I.; Endrulat, H.-J.; Fouasnon, S.; Gesewsky, P.; Haubelt, R.; Klopfer, P.; Köhler, H.; Kohl, R.; Kucheida, D.; Leising, C.; Müller, M.-K.; Neumann, P.; Schmidt, H.; Vogl, K.; Weimer, S.; Wildermuth, H.; Winkler, S.; Wirth, E.; Wolff, S.

Radioactivity Measurements in the Federal Republic of Germany after the Chernobyl Accident. (Unveränderter Nachdruck von ISH-116)

BfS-ISH-149/90

Hofmann, R.; Hendriks, W.; Schreiber, G. A.; Bögl, K. W.

BLood Amylase - A Biochemical Radiation Indicator?

BfS-ISH-150/91

Frasch, G.; Martignoni, K.

Verwertbarkeit und Zuverlässigkeit von Ergebnissen vorliegender epidemiologischer Untersuchungen für die Abschätzung des strahlenbedingten Krebsrisikos. III. Das strahlenbedingte Brustkrebsrisiko.

BfS-ISH-151/91

Martignoni, K. (unter Mitarbeit von Elsasser, U.)

Verwertbarkeit und Zuverlässigkeit von Ergebnissen vorliegender epidemiologischer Untersuchungen für die Abschätzung des strahlenbedingten Krebsrisikos. IV. Das strahlenbedingte Schilddrüsen-Krebsrisiko.

Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)

BfS-ISH-152/91

Hoeltz, J.; Hoeltz, A.; Potthoff, P. (Infratest Gesundheitsforschung, München); Brachner, A.; Grosche, B.; Hinz, G.; Kaul, A.; Martignoni, K.; Roedler, H.-D.; Schwarz, E.; Tsavachidis, C.
Schwangerschaften und Geburten nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl.
Eine repräsentative Erhebung für die Bundesrepublik Deutschland und Berlin (West). Kurzfassung.

BfS-ISH-153/91

Brachner, A.; Grosche, B.
Risikofaktoren für bösartige Neubildungen.
Neuherberg, Juni 1991

BfS-ISH-154/91

Brachner, A.; Grosche, B.
Perinatale Risikofaktoren einschließlich Fehlbildungen.
Neuherberg, Oktober 1991

BfS-ISH-155/91

Römmelt, R.; Hiersche, L.; Wirth, E.
Untersuchungen über den Transfer von Caesium 137 und Strontium 90 in ausgewählten Belastungspfaden.
Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben St.Sch. 1033.
Neuherberg, Dezember 1991

BfS-ISH-156/91

Poschner, J.; Schaller, G.; Wirth, E.
Verbesserung und Neuentwicklung von radioökologischen Modellen zur Berechnung der Strahlenexposition bei der Beseitigung von schwach radioaktiv kontaminierten Abfällen.
Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben St.Sch. 1104.
Neuherberg, Dezember 1991

BfS-ISH-157/92

Hoeltz, J.; Hoeltz, A.; Potthoff, P.; Brachner, A.; Grosche, B.; Hinz, G.; Kaul, A.; Martignoni, K.; Roedler, H.-D.; Schwarz, E.; Tsavachidis, C.
Schwangerschaften und Geburten nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl.
Eine repräsentative Erhebung für die Bundesrepublik Deutschland und Berlin (West).
- Abschlußbericht -
Neuherberg, September 1992

BfS-ISH-158/92

Lörch, Th.; Wittler, C.; Frießen, M.; Stephan, G.
Automatische Chromosomendosimetrie.
Neuherberg, Oktober 1992

BfS-ISH-159/92

Schmier, H.; König, K.; Aßmann, G.; Berg, D.
Ganzkörpermessungen an bayerischen Schulkindern. Abschlußbericht . Juli 1992.
Neuherberg, Dezember 1992

BfS-ISH-160/93

Irl, C.; Schoetzau, A.; Steinhilber, B.; Grosche, B.; Jahraus, H.; van Santen, E.
Entwicklung der Säuglingssterblichkeit in Bayern 1972 bis 1990.
Neuherberg, März 1993

BfS-ISH-161/93

Dalheimer, A.; Henrichs, K. (Hrsg.)
Thorium, Probleme der Inkorporationsüberwachung. Anwendung, Messung, Interpretation.
Seminar in Kloster Scheyern/Bayern am 12. und 13. Oktober 1992, durchgeführt vom Institut für Strahlenhygiene des BfS.
Neuherberg, September 1993

Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)

BfS-ISH-162/93

Daten zur Umgebungs- und Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1990 bis 1992.

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz und den Leitstellen des Bundes.

Neuherberg, Oktober 1993

BfS-ISH-163/93

Steinmetz, M. (Hrsg.)

Arbeitsgespräch Terrestrisches solares UV-Monitoring am 2. Juni 1992 im Institut für Strahlenhygiene des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Neuherberg, Oktober 1993

BfS-ISH-164/93

Poschner, J.; Schaller, G.

Richtwerte für die spezifische Aktivität von schwach radioaktiv kontaminierten Abfällen, die konventionell entsorgt werden.

Neuherberg, Dezember 1993

BfS-ISH-165/94

Schmitt-Hannig, A.; Thieme, M.

Forschungsprogramm Strahlenschutz 1992 bis 1993. Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Neuherberg, Januar 1994

BfS-ISH-166/94

Burkart, Werner (Hrsg.)

Erste deutsche Aktivitäten zur Validierung der radiologischen Lage im Südrural.

Neuherberg, August 1994

BfS-ISH-167/94

Ralph Gödde, Annemarie Schmitt-Hannig, Michael Thieme

Strahlenschutzforschung - Programmreport 1994 -

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Neuherberg, Oktober 1994

BfS-ISH-168/94

Schoetzau, A.; van Santen, F.; Irl, C.; Grosche, B.

Angeborene Fehlbildungen und Säuglingssterblichkeit nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl.

Neuherberg, Dezember 1994

BfS-ISH-169/95

Poschner, J.; Schaller, G.

Richtwerte für die spezifische Aktivität von schwach radioaktiv kontaminierten Abfällen, die konventionell entsorgt werden.

Neuherberg, Januar 1995

BfS-ISH-170/95

Angerstein, W.; Bauer, B.; Barth, I.

Daten über die Röntgendiagnostik in der ehemaligen DDR.

Neuherberg, März 1995

BfS-ISH-171/95

Schopka, H.-J.; Steinmetz, M.

Environmental UV radiation and health effects.

Proceedings of the International Symposium, Munich-Neuherberg, Germany, May 4-6, 1993.

Neuherberg, Mai 1995

Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)

BfS-ISH-172/95

Kragh, P.

C-Programm LINOP zur Auswertung von Filmdosimetern durch lineare Optimierung.

Anwendungshandbuch.

Neuherberg, November 1995

BfS-ISH-173/96

Thieme, M.; Gödde, R.; Schmitt-Hannig, A.

Strahlenschutzforschung. Programmreport 1995.

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete

Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Neuherberg, Januar 1996

BfS-ISH-174/96

Irl, C.; Schoetzau, A.; van Santen, F.; Grosche, B.

Inzidenz bösartiger Neubildungen bei Kindern in Bayern nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl.

Bericht im Rahmen des Strahlenbiologischen Umweltmonitorings Bayern.

Neuherberg, April 1996

BfS-ISH-175/96

Dalheimer, A.; König, K.; Mundigl, S.

Überwachung der Raumluftaktivität. Verfahren, Interpretation, Qualitätssicherung.

2. Fachgespräch am 12. und 13. Oktober 1995, Schloß Hohenkammer / Bayern.

Neuherberg, Oktober 1996

BfS-ISH-176/97

Brachner, A.; Martignoni, K.

Verwertbarkeit und Zuverlässigkeit von Ergebnissen vorliegender epidemiologischer Untersuchungen für die Abschätzung des strahlenbedingten Krebsrisikos. V. Das strahlenbedingte Knochenkrebsrisiko.

Neuherberg, Januar 1997

BfS-ISH-177/97

Schaller, G.; Arens, G.; Brennecke, P.; Görtz, R.; Poschner, J.; Thieme, J.

Beseitigung radioaktiver Abfälle und Verwertung von Reststoffen und Anlagenteilen. Grundlagen, Konzepte, Ergebnisse.

Neuherberg, Januar 1997

BfS-ISH-178/97

Bäumli, A.; Bauer, B.; Bernhard, J.-H.; Stieve, F.-E.; Veit, R.; Zeitberger, I. (Hrsg.)

Joint WHO / ISH Workshop on Efficacy and Radiation Safety in Interventional Radiology. Munich-

Neuherberg, Germany, October 9-13, 1995.

Neuherberg, Februar 1997

BfS-ISH-179/97

Zusammengestellt von: *Schmitt-Hannig, A.; Thieme, M.; Gödde, R.*

Strahlenschutzforschung. Programmreport 1996. Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Neuherberg, Februar 1997

BfS-ISH-180/97

Frasch, G.; Anatschkowa, E.; Schnuer, K. (Editors)

European study of occupational radiation exposure -ISOREX -.

Proceedings of the Introductory Workshop held in Luxembourg, May 20th - 21st, 1997.

Neuherberg, November 1997

BfS-ISH-181/98

Schulz, O.; Brix, J.; Vogel, E.; Bernhardt J.H.

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder als Umweltfaktoren: Epidemiologische Untersuchungen.

Neuherberg, Februar 1998

Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)

BfS-ISH-182/98

Gödde, R.; Schmitt-Hannig, A.; Thieme, M.

Strahlenschutzforschung - Programmreport 1997.

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Neuherberg, März 1998

BfS-ISH-183/98

Dahlheimer, A.; Hartmann, M.; König, K. (Hrsg.)

Körperaktivität durch natürliche Quellen.

Berücksichtigung des Beitrages der aus natürlichen Quellen aufgenommenen Radionuklide bei der Ausscheidungsanalyse.

3. Fachgespräch am 25. und 26. November 1996, Fachbereich Strahlenschutz des BfS, Berlin.

Neuherberg, März 1998

BfS-ISH-184/99

Frasch, G.; Anatschkowa, E.; Petrova, K.

Occupational Radiation Exposure in Central and Eastern European Countries

- ESOREX EAST -

Proceedings of an Introductory Workshop held in Prague, September 24th - 25th, 1998

Co-organised by: State Office for Nuclear Safety (SUJB), The Czech Republic.

Freiburg, Februar 1999

BfS-ISH-185/99

Gödde, R.; Schmitt-Hannig, A.; Donhärl, W.

Strahlenschutzforschung - Programmreport 1998.

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.

Neuherberg, April 1999

BfS-ISH-186/99

Schaller, G.; Bleher, M.; Poschner, J.

Herleitung von Dosisumwandlungsfaktoren für die Freigabe von Abfällen mit geringfügiger Radioaktivität.

Neuherberg, Mai 1999

BfS-ISH-187/99

Wirth, E.; Pohl, H.

Kolloquium

Radioökologische Strahlenschutzforschung

Ressortforschungsprogramm des BMU

3. und 4. Mai 1999

Neuherberg, August 1999

BfS-ISH-188/00

Frasch, G.; Kragh, P.; Almer, E.; Anatschkowa, E.; Karofsky, R.; Nitzgen, R.; Schmidt, H.; Spiesl, J.

1. Bericht des Strahlenschutzregisters des BfS mit Daten des Überwachungsjahrs 1998

Neuherberg, Juni 2000

Ab 1. Dezember 2000 SH

BfS-SH-1/00

Jung, Th.; Jacquet, P.; Jaussi, R.; Pantelias, G.; Streffer, Chr.

Final Report

Evolution of genetic damage in relation to cell-cycle control: A molecular analysis of mechanisms relevant for low dose effects.

Contract N° FI4PCT960043

Reporting Period: January 1997 – June 1999

Neuherberg, Dezember 2000

Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)

BfS-SH-02/02

Donhärl, W.; Gödde, R.; Schmitt-Hannig, A.; Williams, M.

Strahlenschutzforschung

- Programmreport 2000 –

Bericht über das Bundesamt für Strahlenschutz fachlich und verwaltungsmäßig begleitete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Neuherberg, April 2002

BfS-SH-03/02

Jahraus H.; Grosche B.

Inzidenz kindlicher bösartiger Neubildungen (1983-1998) und Mortalität aufgrund bösartiger Neubildungen in der Gesamtbevölkerung (1979-1997) in Bayern

2. Fortschreibung des Berichts „Inzidenz und Mortalität bösartiger Neubildungen in Bayern“ von 1993

Bericht im Rahmen des „Strahlenbiologischen Umweltmonitoring Bayern“

Salzgitter, August 2002

BfS-SH-04/02

Grosche B.; Weiss W.; Jahraus H.; Jung T.

Häufigkeit kindlicher Krebserkrankungen in der Umgebung von Atomkraftwerken in Bayern

Salzgitter, August 2002

Ab 1. Februar 2003 SG

BfS-SG-01/03

Frasch, G.; Almer, E.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Kragh, P.; Spiesl, J.

Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 1999 bis 2001

Auswertung des Strahlenschutzregisters

Salzgitter, Juli 2003

BfS-SG-02/03

Noßke, D.; Dalheimer, A.; Dettmann, K.; Frasch, G.; Hartmann, M.;

Karcher, K.; König, K.; Scheler, R.; Strauch, H.

Retentions- und Ausscheidungsdaten sowie Dosiskoeffizienten für die Inkorporationsüberwachung Übergangsregelung bis zur In-Kraft-Treten der entsprechenden Richtlinie zur inneren Exposition

Salzgitter, Dezember 2003

BfS-SG-03/04

Frasch, G.; Almer, E.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Kragh, P.; Spiesl, J.

Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2002

Bericht der Strahlenschutzregisters

Salzgitter, Februar 2004

BfS-SG-04/04

Bergler, I.; Bernhard, C.; Gödde, R.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.

Strahlenschutzforschung

Programmreport 2002

Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und verwaltete Ressortforschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesumweltministeriums

Salzgitter, März 2004

BfS-SG-05/05

Frasch, G.; Almer, E.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Spiesl, J.; Stegemann, R.

Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2003

Bericht des Strahlenschutzregisters

Salzgitter, April 2005

BfS-SG-06/05

Stegemann, R.; Frasch, G.; Kammerer, L.; Spiesl, J.

Die berufliche Strahlenexposition des fliegenden Personals in Deutschland

Bericht des Strahlenschutzregisters

Salzgitter, August 2005

Bisher erschienene BfS-SG-Berichte (vorher BfS-ISH- und SH-Berichte)

BfS-SG-07/06

Frasch, G.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Spiesl, J.; Stegemann, R.
Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2004
Bericht des Strahlenschutzregisters
Salzgitter, Juli 2006

BfS-SG-08/06

Hartmann, M.; Dalheimer, A.; Hänisch, K.
Ergebnisse des In-vitro-Ringversuchs: Thorium- und Uran-Isotope im Urin
Workshop zu den In-vitro-Ringversuchen 2003/2004 der Leitstelle Inkorporationsüberwachung des BfS
am 22. September 2004 im Bundesamt für Strahlenschutz, Belin
Salzgitter, August 2006

BfS-SG-09/07

Frasch, G.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Spiesl, J.; Stegemann, R.
Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2005
Bericht des Strahlenschutzregisters
Salzgitter, Juli 2007

BfS-SG-10/08

Ergebnisse des Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramms • German Mobile Telecommunication
Research Programme (DMF)
Bewertung der gesundheitlichen Risiken des Mobilfunks • Health Risk Assessment of Mobile
Communications
(Stand 15.05.2008)
Salzgitter, Juni 2008

BfS-SG-11/08

Frasch, G.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Spiesl, J.; Stegemann, R.
Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2006
Bericht des Strahlenschutzregisters
Salzgitter, Juli 2008

BfS-SG-12/09

urn:nbn:de:0221-2009042308
Frasch, G.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Spiesl, J.; Stegemann, R.
Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2007
Bericht des Strahlenschutzregisters
Salzgitter, Mai 2009

BfS-SG-13/10

urn:nbn:de:0221-201004201491
Frasch, G.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Spiesl, J.; Stegemann, R.
Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2008
Bericht des Strahlenschutzregisters
Salzgitter, Mai 2010

BfS-SG-14/11

urn:nbn:de:0221-201105105835
Frasch, G.; Fritzsche, E.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Schlosser, A. Spiesl, J.
Die berufliche Strahlenexposition in Deutschland 2009
Bericht des Strahlenschutzregisters
Salzgitter, Mai 2011

BfS-SG-15/11

urn:nbn:de:0221-201108016029
Frasch, G.; Kammerer, L.; Karofsky, R.; Schlosser, A.; Spiesl, J.; Stegemann, R.
Die berufliche Strahlenexposition des fliegenden Personals in Deutschland 2004 – 2009
Bericht des Strahlenschutzregisters
Salzgitter, August 2011

| Verantwortung für Mensch und Umwelt |

Kontakt:

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 30 18333-0

Telefax: + 49 30 18333-1885

Internet: www.bfs.de

E-Mail: ePost@bfs.de

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz