



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI

Bundesamt für Gesundheit BAG
Direktionsbereich Verbraucherschutz

November 2019

Jahresbericht 2018

Dosimetrie der beruflich strahlenexponierten Personen
in der Schweiz

Bericht der Aufsichtsbehörden

Bundesamt für Gesundheit (BAG)

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI)

Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (Suva)

Inhalt

1	Einleitung	3
2	Personendosimetriestellen	3
3	Vergleichsmessungen	4
4	Externe Strahlenexposition	5
5	Interne Strahlenexposition	6
6	Exposition durch kosmische Strahlung	6
7	Effektive Dosen durch gesamte Strahlenexposition	7
8	Überschreitungen von Dosisgrenzwerten und spezielle Vorkommnisse	7
9	Trend der letzten 42 Jahre	7
10	Revision der Strahlenschutz- und Dosimetrieverordnung	8
11	Schlussfolgerungen	9
12	Weitere Publikationen	9
	Tabellen	11
	Figuren	21

1 Einleitung

Der vorliegende Jahresbericht fasst die Ergebnisse der Personendosimetrie der Schweiz für externe und interne Bestrahlung im Jahr 2018 zusammen und zeigt den Trend der letzten 42 Jahre auf.

Die aktuellen Dosisdaten stammen aus dem Schweizerischen Zentralen Dosisregister (ZDR), das seit 1990 beim Bundesamt für Gesundheit (BAG) geführt wird. Die Statistiken vor 1990 wurden anhand von Meldungen der einzelnen Dosimetriestellen erstellt. Die Daten im ZDR stammen derzeit von 11 anerkannten Dosimetriestellen für externe Bestrahlung und 7 Stellen für interne Bestrahlung. Sie wurden regelmässig (meistens monatlich) an das ZDR geliefert.

Mit dem Inkrafttreten der neuen Strahlenschutzverordnung (StSV; SR 814.501) am 1. Januar 2018 müssen auch die Dosen des Flugpersonals ermittelt werden. Die Fluggesellschaften senden die Dosisdaten direkt oder via einen Dienstleister ans BAG.

Auf den Web-Seiten des BAG (Strahlenschutz, www.str-rad.ch) sind der vorliegende Bericht, sowie weitere Informationen aus dem Bereich Dosimetrie und berufliche Strahlenexposition verfügbar und werden laufend aktualisiert.

2 Personendosimetriestellen

2.1 Personendosimetriestellen für externe Bestrahlung

Die Messung der Personendosen wurde im Jahr 2018 von den folgenden anerkannten Stellen durchgeführt:

CERN	Organisation européenne pour la recherche nucléaire, Genève
Dosilab	Dosilab AG, Köniz
IRA	Institut de radiophysique, Lausanne
KKB	Kernkraftwerk Beznau, Döttingen
KKG	Kernkraftwerk Gösgen, Däniken
KKL	Kernkraftwerk Leibstadt, Leibstadt
KKM	Kernkraftwerk Mühleberg, Mühleberg
PEDOS	PEDOS AG, Muri b. Bern
PSI	Paul Scherrer Institut, Villigen
Suva	Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, Luzern
X-Dos	X-Dos GmbH, Röthenbach

Die Messmethoden, sowie die Anzahl der von den verschiedenen Stellen dosimetrierten beruflich strahlenexponierten Personen, sind in Tabelle 1a angegeben.

2.2 Inkorporationsmessstellen

Die effektiven Folgedosen inkorporierter Radionuklide wurden im Jahr 2018 von den folgenden anerkannten Inkorporationsmessstellen ermittelt:

HUG	Hôpitaux universitaires de Genève
IRA	Institut de radiophysique, Lausanne
KKM	Kernkraftwerk Mühleberg, Mühleberg
mb-microtec	mb-microtec ag, Niederwangen
PSI	Paul Scherrer Institut, Villigen
RC Tritec	RC Tritec AG, Teufen
Suva	Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, Luzern

Die Messmethoden, die gemessenen Nuklide, sowie die Anzahl der von den verschiedenen Stellen auf Inkorporation überwachten beruflich strahlenexponierten Personen, sind in Tabelle 1b angegeben.

2.3 Dosimetrie des Flugpersonals

Das Flugpersonal ist während der Arbeit in der Luft einer erhöhten Strahlenbelastung durch kosmische Strahlung ausgesetzt. Gemäss der revidierten Strahlenschutzverordnung vom 26. April 2017 (StSV) gilt daher das Flugpersonal als beruflich strahlenexponiert, wenn aufgrund der Arbeit in der Luft eine Dosis von 1 mSv pro Jahr erreicht werden kann. Die Dosisberechnung kann betriebsintern durch den Luftfahrzeugbetreiber selber oder durch einen Dienstleister gemacht werden. Das BAG führt eine Liste mit Software-Lösungen für die Dosisberechnung, welche dem Stand der Technik entsprechen:

- CARI-7 und CARI-7A (Federal Aviation Administration, USA)
- EPCARD Version 3.34
- EPCARD Version 5.4.3
- GlobaLog Version 2.0
- IASON FREE mit den Softwarekomponenten FREEBackend Version 1.3.0 und FREEDu Version 1.3.1
- PANDOCA Version 1.1.1
- PCAire Version PCAire DLL v1.2.0.21 und Calculation DLL v1.1.0.1
- SIEVERT Version 2.4.5

3 Vergleichsmessungen

Nach Artikel 92 der StSV müssen sich die Dosimetriestellen an Vergleichsmessungen beteiligen. Im Berichtsjahr wurden je eine Vergleichsmessung für externe und eine für interne Dosimetrie durchgeführt.

3.1 Externe Dosimetrie

Im Herbst 2018 führte das IRA eine Vergleichsmessung für die externe Dosimetrie durch. Von allen Schweizer Dosimetriestellen für externe Dosimetrie wurden je 15 Dosimeter angefordert und mit Gamma- und Röntgenstrahlung bestrahlt. Die Resultate waren sehr zufriedenstellend, da bei der Bestrahlung der Ganzkörperdosimeter unter Referenzbedingungen alle teilnehmenden Dosimetriestellen die Anforderungen von $\pm 10\%$ erfüllt haben. Auch bei den ergänzenden Tests unter Routinebedingungen mit Co-60, sowie mit N 150 unter 0° und 30° wurden die Anforderungen der Dosimetrieverordnung alle erfüllt. Die Extremitätendosimetrie war in diesem Jahr nicht Teil der Vergleichsmessung.

3.2 Interne Dosimetrie

Die Vergleichsmessung für die interne Personendosimetrie wurde vom PSI durchgeführt. Basierend auf verschiedenen Szenarien der Dosimetrie wurden vier Urinproben und eine wässrige Probe mit Tritium-haltigem Wasser vorbereitet. Diese wurden den teilnehmenden Dosimetriestellen für interne Dosimetrie Ende September 2018 zur Bestimmung der Aktivitäten und der Folgedosis E50 zugesandt. Alle Teilnehmer haben die technische Bestimmung der Tritium Aktivitätskonzentration erfolgreich innerhalb der geforderten Limite von +/- 20% durchgeführt. Bei der Ermittlung der effektiven Folgedosis E50 hat ein Teilnehmer kein Resultat angegeben. Die rechnerische Ermittlung von E50 wird bei der betreffenden Dosimetriestelle im Rahmen der Vergleichsmessung 2019 nochmals überprüft.

4 Externe Strahlenexposition

4.1 Ganzkörperdosen (ohne Exposition durch kosmische Strahlung)

Die Dosen durch externe Bestrahlung werden mit Personendosimetern gemessen, die von den beruflich strahlenexponierten Personen am Körperrumpf getragen werden.

Als Dosimeter werden TL- (Thermolumineszenz), DIS- (Direct Ion Storage) und RPL (Radio-Photoluminescence)-Dosimeter eingesetzt. Grundsätzlich wird damit die Personen-Tiefendosis $H_p(10)$ bestimmt, wobei die Dosisbeiträge des natürlichen Untergrunds subtrahiert werden müssen. Die ermittelten Dosen werden dem Auftraggeber, dem Zentralen Dosisregister (ZDR) beim BAG, sowie in dessen Aufsichtsbereich dem ENSI gemeldet.

Wo es notwendig ist, werden zusätzlich spezielle Neutronendosimeter (poly-allyl diglycol carbonate, kurz PADC Dosimeter) verwendet. 2018 war keine der 9'448 registrierten Neutronendosen höher als 1 mSv. Die Neutronendosen sind in den Daten für $H_p(10)$ jeweils enthalten.

In Tabelle 2 sind die Personen-Tiefendosen durch externe Bestrahlung nach Tätigkeitsbereichen aufgeschlüsselt. Angegeben sind die Anzahl Personen pro Dosisintervall und die Kollektivdosen.

Die Anzahl der infolge externer Bestrahlung beruflich strahlenexponierten Personen ist von 98'248 im Jahr 2017 auf 96'396 im Berichtsjahr gesunken. Dies ist auf weniger dosimetrierte Personen in zahnärztlichen Praxen zurückzuführen. Gemäss der neuen StSV muss das Personal hier kein Dosimeter mehr tragen, wenn es ausschliesslich mit intraoralen Kleinröntgengeräten arbeitet. Im Auftrag des BAG hat das Institut für angewandte Radiophysik (IRA) nachgewiesen, dass für das Personal bei der bestimmungsgemässen Bedienung von Kleinröntgenanlagen kein realistisches Szenario (z.B. falsche Position) zu einer effektiven Dosis von mehr als 1 mSv pro Jahr führen kann.

Die Kollektivdosis, d.h. die Summe der individuellen Personen-Tiefendosen aller beruflich strahlenexponierten Personen der Schweiz, lag im Jahr 2018 bei 4.17 Personen-Sv (gegenüber 5.13 Personen-Sv im Vorjahr). Seit dem Jahr 2000 stabilisierte sich die Kollektivdosis auf einem Niveau von 4 bis 6 Personen-Sv. Die in dieser Grössenordnung von Jahr zu Jahr auftretenden Schwankungen sind hauptsächlich unterschiedlich intensiven periodischen Revisionsarbeiten und Nachrüstungen in den Kernkraftwerken zuzuordnen. In der Medizin hat sich die Kollektivdosis in den letzten 12 Jahren stabilisiert.

Die einzelnen Tätigkeitsbereiche trugen zur Kollektivdosis wie folgt bei: Kernkraftwerke 59%, Medizin 27%, Forschung 8%, Industrie, Handel, öffentliche Dienste und Verschiedenes 6%. In den Figuren 1 bis 5 sind die Anzahl der Personen und die Dosisverteilungen der verschiedenen Tätigkeitsbereiche dargestellt.

Entsprechend der Empfehlung der Eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz (KSR) ist die Jahresdosis einer Person die Summe der auf 0.1 mSv gerundeten Monats- oder Quartalsdosen, wobei Dosen kleiner als 0.075 mSv als Null Dosen verbucht werden.

Die höchsten Jahresdosen (> 10 mSv) kamen im Bereich Industrie (Tabelle 2), in den Kernkraftwerken und in der Tiermedizin vor (Kapitel 8). Im Berichtsjahr war keine Grenzwertüberschreitung der Ganzkörperdosis zu verzeichnen.

4.2 Teilkörperdosen

Die Personen-Oberflächendosen (Hautdosen) werden üblicherweise mit den gleichen Personendosimetern gemessen, mit denen auch $H_p(10)$ ermittelt wird. Die Messresultate werden in der Dosisgrösse $H_p(0.07)$ angegeben. Bei üblichen Expositionen und Photonenenergien sind diese zwei Werte praktisch gleich. Bei sehr tiefen Photonenenergien und β -Strahlen ist $H_p(0.07)$ grösser als $H_p(10)$.

Für die Messung der Bestrahlung besonders exponierter Extremitäten werden TL-Dosimeter in Form von Fingerringen verwendet. Damit werden die Extremitätendosen (Handdosen) mit der Dosisgrösse $H_p(0.07)$ ermittelt. In Tabelle 3 sind die Handdosen nach Tätigkeitsbereich und Dosisintervall aufgeführt. Figur 6 zeigt die Verteilung der Handdosen. Die höchste Jahres-Handdosis betrug 562 mSv und lag somit über dem Jahresgrenzwert von 500 mSv (siehe Kapitel 8).

Seit dem 01.01.2018 muss bei Arbeiten mit offenen Quellen auf die gemessene Handdosis ein Korrekturfaktor von 5 angewendet werden (gemäss Dosimetrieverordnung). Die Dosis an den Fingerspitzen kann um ein Vielfaches höher sein, als die an der Fingerbasis gemessene Dosis. Mit dem Korrekturfaktor soll eine möglichst realistische Handdosis im zentralen Dosisregister verbucht werden. Dieser Korrekturfaktor erklärt die Zunahme an hohen Handdosen im Berichtsjahr (Tabelle 3, Figur 18). Die Dosen stammen somit vor allem aus nuklearmedizinischen Abteilungen. Ein Merkblatt für Massnahmen zur Reduktion dieser Dosen ist auf der Internetseite des BAG verfügbar (Merkblatt L-10-04, Massnahmen zur Reduktion der Extremitätendosen in der Nuklearmedizin). Im Rahmen seiner Aufsichtstätigkeit berät und unterstützt das BAG die Betriebe bei Optimierungen der Handdosis.

5 Interne Strahlenexposition

Die Inkorporationsüberwachung erfolgt entweder zuerst mittels Triagemessungen durch den Betrieb, oder direkt durch eine Inkorporationsmessung bei einer anerkannten Dosimetriestelle. Wird bei der Triagemessung die nuklidspezifische Messschwelle überschritten, muss eine Inkorporationsmessung durchgeführt werden. Die Berechnung einer Dosis als Folge von Inkorporationen radioaktiver Stoffe erfolgt über die Bestimmung der Aktivität in Organen oder durch Ausscheidungsanalyse. Aufgrund dieser Messungen wird die effektive Folgedosis E_{50} ermittelt.

Bei ca. 6'000 Personen wurden Triagemessungen zur Überprüfung einer möglichen Inkorporation direkt in den betroffenen Betrieben durchgeführt (Tabelle 4).

Im Jahr 2018 wurden bei 538 Personen Inkorporationsmessungen durchgeführt und die effektive Folgedosis E_{50} ermittelt. In Tabelle 4 sind die Ergebnisse nach Tätigkeitsbereichen aufgeführt. Die höchste effektive Folgedosis betrug 3.5 mSv.

In Figur 7 ist die Verteilung der internen Dosen dargestellt. Die Kollektivdosis betrug 0.017 Personen-Sv und ist somit auf dem Niveau des Vorjahres. Sie ist hauptsächlich durch Tritium-Inkorporationen in der Uhrenindustrie zustande gekommen.

6 Exposition durch kosmische Strahlung

Im Berichtsjahr wurden bei 8649 Personen die Flugdosen rechnerisch ermittelt. Figur 8 zeigt die Verteilung dieser Dosen. Die höchste Jahreswert für die effektive Dosis lag bei 4.59 mSv und wurde für

einen Piloten berechnet. Somit sind bisher alle Personen in diesem Bereich der Kategorie B zuzuordnen (Personen, die bei ihrer beruflichen Tätigkeit pro Kalenderjahr bis 6 mSv effektive Dosis akkumulieren können). Wie erwartet hatte das Flugpersonal mit 1.9 mSv die höchste mittlere Jahresdosis aller beruflich strahlenexponierten Personen. Die Kollektivdosis betrug 16.39 Personen-Sv.

7 Effektive Dosen durch gesamte Strahlenexposition

Die effektive Dosis wird der Summe aus der Personen-Tiefendosis $H_p(10)$ durch externe Bestrahlung und der effektiven Folgedosis E_{50} durch interne Bestrahlung gleichgesetzt. Beim Flugpersonal wird die effektive Dosis rechnerisch ermittelt.

Die Verteilung der effektiven Dosen ist in Tabelle 5 und Figur 9 dargestellt. Die Gesamtzahl aller beruflich strahlenexponierten Personen betrug im Berichtsjahr 105'231 (Vorjahr: 98'440). Darin nicht enthalten sind Personen, bei denen ausschliesslich Triagemessungen durchgeführt wurden. Die gesamte Kollektivdosis betrug 20.57 Personen-Sv, respektive 4.18 Personen-Sv ohne das Flugpersonal (Vorjahr: 5.14 Personen-Sv). Die Verteilung auf die verschiedenen Bereiche ist in Figur 10 ersichtlich. Aufgrund der seit 2018 obligatorischen Überwachung des Flugpersonals hat sowohl die Gesamtzahl aller beruflich strahlenexponierten Personen, als auch die Kollektivdosis stark zugenommen.

Die Inkorporationen trugen weniger als 0.1% zur Gesamtkollektivdosis bei. Die Dosen stammten vorwiegend aus dem Bereich Industrie, wo die Inkorporationen rund 8% der Kollektivdosis ausmachten.

8 Überschreitungen von Dosisgrenzwerten und spezielle Vorkommnisse

Im Berichtsjahr ereigneten sich im Aufsichtsbereich des BAG zwei Überschreitungen des Jahresgrenzwertes für die Extremitätendosis. Zwei Personen der Abteilung Nuklearmedizin eines Spitals akkumulierten Jahresdosen von 562 und 552 mSv. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass seit 2018 bei Arbeiten mit offenen Quellen ein Korrekturfaktor von 5 auf die gemessene Handdosis angewendet werden muss (Dosimetrieverordnung, Art. 13). Das Spital wurde verpflichtet die Arbeitsabläufe der betroffenen Personen hinsichtlich des Strahlenschutzes zu optimieren und eine Automatisierung gewisser Arbeitsschritte zu prüfen. Es konnte so bereits eine Dosisreduktion erreicht werden.

Eine hohe Ganzkörperdosis von 19 mSv wurde bei einem Tierarzt gemessen, der eine Multimodalitäts-Röntgenanlage (CT und Fluoroskopie) in der Praxis betreibt. Trotz umfassenden Abklärungen und Messungen vor Ort konnte die Ursache der Dosis nicht ermittelt werden. In den nachfolgenden Monaten zeigte die Dosimetrie keine Werte mehr über 0 mSv an. Obwohl die Untersuchung zeigte, dass eine echte Personendosis sehr unwahrscheinlich ist, wurde der Wert so im zentralen Dosisregister eingetragen.

In einem Industriebetrieb wurde bei zwei Werkstoffprüfern eine einmalige hohe Dosis gemessen (16.8 mSv und 11 mSv). Trotz intensiver Nachforschungen durch die zuständige Aufsichtsbehörde Suva und den Betrieb selber konnte keine Ursache für die Dosen gefunden werden. Die Werte wurden ins zentrale Dosisregister eingetragen. Die Dosen der beiden Personen betragen Ende Jahr 19.4 mSv, respektive 12.5 mSv.

9 Trend der letzten 42 Jahre

Die Kollektivdosen bei externer Bestrahlung (ohne kosmische Strahlung) der beruflich strahlenexponierten Personen in der Schweiz sind im Laufe der letzten 42 Jahre deutlich gesunken trotz kontinuierlicher Zunahme der Anzahl überwachter Personen. Zu Beginn der statistischen Erfassung im Jahr 1976 lag die gesamte Kollektivdosis durch äussere Bestrahlung bei ca. 21 Personen-Sv, am Ende der

erfassten Periode beträgt der aktuelle Wert 4.17 Personen-Sv (siehe Tabelle 6 und Figur 15). Die Gesamtanzahl der beruflich strahlenexponierten Personen ist in derselben Periode um einen Faktor drei gestiegen – von ca. 30'000 auf über 96'000.

Die mittlere Dosis pro Person hat in diesem Zeitraum von 0.73 mSv pro Jahr auf 0.04 mSv abgenommen. Der Hauptgrund für diese Abnahme waren Optimierungsprozesse in den 90er Jahren, welche insbesondere in den Kernkraftwerken zu einer hohen Dosisersparnis geführt haben.

Die Aufschlüsselung der Kollektivdosen nach den verschiedenen Tätigkeitsbereichen ergibt ein ähnliches Ergebnis. In allen Bereichen ist im Laufe der Zeit zunächst eine deutliche Abnahme der Kollektivdosen zu verzeichnen (Figuren 11 bis 14). Bei den Kollektivdosen im medizinischen Bereich ist die starke Abnahme von 1982 - 1985 auf die Umstellung von Filmdosimetern auf Thermolumineszenzdosimeter (TLD) zurückzuführen. Mit der Filmdosimetrie wurden die Dosen überschätzt.

In den letzten Jahren scheint sich die Kollektivdosis in der Medizin zu stabilisieren. In Figur 13, die den Bereich der Kernkraftwerke zeigt, sind die Dosis Spitzen auf dosisintensive Revisionsarbeiten zurückzuführen. Von diesen Schwankungen abgesehen deuten auch hier die Daten auf eine Stabilisierung der Kollektivdosis auf konstantem Niveau ab dem Jahr 2000 hin.

Seit der Inkraftsetzung der StSV im Jahre 1994 werden durch die Dosimetriestellen die effektiven Folgedosen durch innere Bestrahlung (E_{50}) ermittelt und seit dem Jahr 2001 auch dem ZDR gemeldet. Die Abnahme der Kollektivdosis infolge interner Bestrahlung ist beträchtlich und beträgt seit dem Jahr 1995 mehr als einen Faktor 20 (siehe Tabelle 7 und Figur 16). Diese Abnahme ist einerseits einer Optimierung der Arbeiten in den Leuchtfarbenbetrieben und andererseits einem Rückgang der verarbeiteten Tritium-Leuchtfarbe in der Uhrenindustrie zuzuschreiben. Seit 2009 wird keine Tritium-Leuchtfarbe mehr verarbeitet. Die in der Uhrenindustrie akkumulierten Dosen resultieren von Personen, die in Räumen arbeiten, in denen Zeiger und Zifferblätter mit Tritium-Leuchtfarbe gelagert werden. Zudem werden Dosen festgestellt bei Personen, die Tritiumgas-Lichtquellen (GTLs) für Spezialuhren herstellen oder montieren. Die Daten von Dosen durch innere Bestrahlung vor 1995 können nicht direkt in den Vergleich miteinbezogen werden, da früher andere Berechnungsmethoden und Dosisfaktoren verwendet wurden.

Die Anzahl Personen, bei denen eine Handdosis ermittelt wird, ist in den letzten 42 Jahren in der Medizin kontinuierlich gestiegen (Figur 17). Waren es 1977 noch 135 Personen, trugen im Berichtsjahr bereits 1823 Personen ein Extremitätendosimeter. Anders sieht es in der Industrie aus, wo die Anzahl seit 1996 abnimmt. Betrachtet man lediglich Fälle mit einer akkumulierten Jahresdosis über 75 mSv, fällt zunächst eine Zunahme seit 1995 auf (Figur 18). Diese höheren Jahreshanddosen stammen fast ausschliesslich aus den medizinischen Bereichen Nuklearmedizin und interventionelle Radiologie. Mit der Einführung des Korrekturfaktors bei Arbeiten mit offenen Quellen ist im Berichtsjahr eine starke Zunahme der Handdosen zu verzeichnen.

10 Revision der Strahlenschutz- und Dosimetrieverordnung

Der Bundesrat hat die revidierte Strahlenschutzverordnung im April 2017 verabschiedet. Sie trat zusammen mit der revidierten Dosimetrieverordnung am 01.01.2018 in Kraft.

Mit dem Inkrafttreten kamen insbesondere beim Umgang mit bestimmten offenen Quellen neue Herausforderungen auf die Betriebe zu, da hier neu ein Korrekturfaktor für die dosimetrische Überwachung der Hände verwendet werden muss.

Von der International Commission on Radiological Protection (ICRP) wurde der neue und tiefere Grenzwert für die Augenlinse von 20 mSv pro Jahr übernommen. Die Einhaltung dieses Grenzwertes wird im Normalfall mit der, mit dem Ganzkörperdosimeter gemessenen, Dosisgrösse $H_p(0.07)$ sichergestellt. Die Aufsichtsbehörde kann jedoch im Einzelfall ein spezielles Augenlinsendosimeter verlan-

gen. Für medizinisches Personal, das im Hochdosisbereich arbeitet, erfolgt die dosimetrische Überwachung der Augenlinse mit einem zweiten Dosimeter, welches über der Bleischürze getragen wird. Für die Umsetzung der Überwachung der Augenlinse wurde eine Übergangsfrist von einem Jahr gewährt. Seit dem 01.01.2019 gilt der neue Grenzwert.

Aus der EU Richtlinie 2013/59/Euratom (Basic Safety Standards) wurde die Einteilung der beruflich strahlenexponierten Person in A und B Worker übernommen, wobei beide Kategorien weiterhin monatlich dosimetriert werden müssen. Gemäss der neuen StSV sind nun auch die Dosen des Flugpersonals rechnerisch zu ermitteln. Diese Dosisdaten werden im zentralen Dosisregister gespeichert.

Das Personal von Zahnarztpraxen muss nicht mehr als beruflich strahlenexponiert bezeichnet und dosimetriert werden, wenn ausschliesslich mit ortsfesten Kleinröntgengeräten gearbeitet wird.

Neu müssen die Betriebe das gelbe Dosisdokument (Strahlenpass) nicht mehr führen. Die Bewilligungsinhaber sind jedoch verpflichtet, nach Beendigung des Arbeitsverhältnisses den beruflich strahlenexponierten Personen eine schriftliche Zusammenfassung aller erhaltenen Dosen abzugeben.

Mit dem Inkrafttreten der neuen StSV führte das BAG ein einheitliches Datenformat für die Übermittlung der Daten ans zentrale Dosisregister ein. Die Umstellung auf das neue Datenformat ist bei den Dosimetriestellen noch nicht abgeschlossen.

11 Schlussfolgerungen

Der vorliegende Bericht lässt auf einen allgemeinen guten Stand des Strahlenschutzes bei beruflich strahlenexponierten Personen in der Schweiz schliessen. Die Kollektivdosis hat sich seit dem Jahr 2000 auf ein konstantes Niveau mit periodischen Schwankungen eingependelt, trotz einer kontinuierlichen Zunahme der Anzahl der beruflich strahlenexponierten Personen. Der Anteil der internen Strahlenexposition an der Kollektivdosis blieb in den letzten 15 Jahren äusserst gering.

Mit einer mittleren Jahresosis von 1.9 mSv liegt die durchschnittliche Strahlenexposition des Flugpersonals wie erwartet an der Spitze aller Berufsgruppen, gefolgt von 0.5 mSv bei den Kernkraftwerken. Jedoch erreichte beim Flugpersonal niemand eine Jahresdosis von 6 mSv, so dass alle Personen der Kategorie B zugeordnet werden konnten.

Die Resultate der Vergleichsmessungen für die interne und externe Dosimetrie waren sehr erfreulich, da alle Teilnehmer die Anforderungen der Dosimetrieverordnung erfüllten. Dies lässt auf eine gute Qualität der anerkannten Dosimetrie in der Schweiz schliessen.

Die seit dem 1. Januar 2018 geltenden neuen gesetzlichen Bestimmungen für die Dosimetrie zielen in erster Linie darauf ab, die Überwachung und den Schutz von Arbeitnehmern zu verbessern, die Tätigkeiten ausüben, die zu hohen Ganzkörper-, Augenlinsen- oder Handdosen führen können. Dies gilt insbesondere für den medizinischen Bereich.

12 Weitere Publikationen

Weitere Publikationen sind auf den folgenden Web-Seiten zu finden:

- Jahresbericht der Abteilung Strahlenschutz des BAG
www.str-rad.ch
- Jahresbericht des ENSI
www.ensi.ch

- Jahresbericht der Suva
www.suva.ch
- Tätigkeitsbericht der Eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz (KSR)
www.ksr-cpr.admin.ch
- Tätigkeitsbericht der Eidgenössischen Kommission für nukleare Sicherheit (KNS)
www.bfe.admin.ch/kns

Tabelle 1a: Messmethoden und Messumfang der Personendosimetriestellen für äussere Bestrahlung 2018

Messstelle	Ganzkörper $H_p(10)$			Haut $H_p(0.07)$			Extremitäten $H_p(0.07)$		
	Strahlung	Methode	Anzahl Personen	Strahlung	Methode	Anzahl Personen	Strahlung	Methode	Anzahl Personen
CERN	β, γ, X	DIS	10'000	β, γ, X	DIS	10'000	β, γ, X	TLD	120
	n	PADC	7'800						
Dosilab	β, γ, X	TLD	44'000	β, γ, X	TLD	44'000	β, γ, X	TLD	1'100
IRA	β, γ, X	TLD	10'000	β, γ, X	TLD	10'000	β, γ, X	TLD	270
KKB	β, γ, X	DIS	1'200	β, γ, X	DIS	1'200			
KKG	β, γ, X	DIS	1'300	β, γ, X	DIS	1'300			
KKL	β, γ, X	DIS	1'900	β, γ, X	DIS	1'900			
KKM	β, γ, X	TLD	1'000	β, γ, X	TLD	1'000			
PEDOS	β, γ, X	TLD	15'000	β, γ, X	TLD	15'000	β, γ, X	TLD	440
PSI	β, γ, X	RPL, DIS	2'200	β, γ, X	RPL, DIS	2'200	β, γ, X	TLD	160
	n	PADC	1'600						
Suva	β, γ, X	TLD	14'000	β, γ, X	TLD	14'000	β, γ, X	TLD	260
X-Dos	β, γ, X	TLD	3'300	β, γ, X	TLD	3'300	β, γ, X	TLD	4

DIS Direct Ion Storage Dosimetrie
TLD Thermolumineszenz-Dosimetrie
RPL Radio-Photolumineszenz-Dosimetrie
PADC Neutronendosimetrie mit PADC Dosimeter

Tabelle 1b: Messmethoden, Nuklide und Messumfang der Inkorporationsmessstellen 2018

Messstelle	Methode	Strahlung	Detektor	Nuklide	Anzahl Personen
HUG	Ganzkörperzähler	γ	Nal Ge	Cr-51, Fe-59, Co-57, Co-58, Co-60, Zn-65, Ga-67, Sr-85, Tc-99m, In-111, Cs-134, Cs-137, Sm-153, Lu-177, Re-186, Re-188, Tl-201	20
IRA	Schilddrüse	γ	Nal	I-123, I-125, I-131	
	Urin	β	Scint	H-3, C-14, P-32, P-33, S-35, Ca-45	11
		β	PC	Sr-90	
	Urin, Stuhl	α	Si	Po-210, Ra-226, U-234, U-235, U-238, Pu-239, Am-241	5
KKM	Ganzkörperzähler	γ	Nal	Cr-51, Fe-59, Co-58, Co-60, Sr-85, Tc-99m, Cs-134, Cs-137	
	Schilddrüse	γ	Nal	I-131	
mb-microtec	Urin	β	Scint	H-3	90
PSI	Ganzkörperzähler	γ	Ge	Cr-51, Fe-59, Co-57, Co-58, Co-60, Zn-65, Ga-67, Sr-85, Tc-99m, In-111, Cs-134, Cs-137, Sm-153, Lu-177, Re-186, Re-188, Tl-201	270
	Schilddrüse	γ	Nal	I-123, I-124, I-125, I-131	
	Urin	β	Scint	H-3, C-14, P-32, P-33, S-35, Ca-45, Ni-63, Sr-89, Sr-90, Y-90, Er-169	
	Urin, Stuhl	α	Si	Po-210, Ra-226, Th-228, Th-232, U-234, U-235, U-238, Np-237, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Am-241, Cm-242, Cm-244	
RC TRITEC	Urin	β	Scint	H-3, C-14	11
Suva	Urin	β	Scint	H-3, C-14, P-32, P-33, S-35, Ca-45	140

Scint Flüssigszintillator
 Nal Nal-Szintillator
 PC Proportionalzähler

Ge Germanium-Detektor
 Si Silizium-Detektor

Tabelle 2: Personen-Tiefendosen durch äussere Bestrahlung 2018: Anzahl der Personen und Kollektivdosis

Dosisintervall [mSv]	Spitäler	Arztpraxen	Radiologische Arztpraxen	Zahnärztliche Praxen	Universitäten, Forschung	Kernkraftwerke und ZWILAG ¹	Industrie, Handel	Öffentliche Dienste	Verschiedenes	Total
= 0	31840	19111	1114	15924	12899	2707	1971	624	3875	90065
0.1– 1.0	1418	402	50	362	1528	1167	114	19	189	5249
1.1 – 2.0	128	17	10	9	13	340	26	1	6	550
2.1 – 3.0	48	2	5	2		173	10		1	241
3.1 – 4.0	25		1		2	87	3			118
4.1 – 5.0	17	1	1			62			1	82
5.1 – 6.0	4					26	4			34
6.1 – 7.0	5					13	2			20
7.1 – 8.0	2		1			15		1		19
8.1 – 9.0	1					3	1			5
9.1 -10.0	2					3		1		6
10.1-11.0					1	1				2
11.1-12.0						1				1
12.1-13.0						1	1			2
13.1-14.0										
14.1-15.0										
15.1-16.0										
16.1-17.0										
17.1-18.0										
18.1-19.0										
19.1-20.0		1					1			2
20.1 – 50.0										
> 50.0										
Total	33490	19534	1182	16297	14443	4599	2133	646	4072	96396
Kollektivdosis [Personen-Sv]	0.90	0.12	0.06	0.07	0.32	2.44	0.18	0.02	0.05	4.17

Bemerkung: Falls eine Person in mehreren Bereichen tätig war, wird sie dem Bereich mit dem höchsten Dosisbeitrag zugeteilt, bei gleichen Dosen nach folgender Priorität: Kernkraftwerke, dann Spitäler, Arztpraxen, usw. gemäss der Reihenfolge in der Tabelle.

¹ ZWILAG: Zwischenlager Würenlingen AG

Tabelle 3: Handdosen 2018: Anzahl der Personen

Dosisintervall [mSv]	Medizin	Universitäten, Forschung	Kernkraftwerke und ZWILAG	Industrie und Ver- schiedenes	Total
= 0	896	267	8	45	1216
0.1 - 25.0	731	60	47	35	873
25.1 - 50.0	93	6	1		100
50.1 - 75.0	38	2			40
75.1 - 100.0	25				25
100.1 - 125.0	9				9
125.1 - 150.0	11				11
150.1 - 175.0	6				6
175.1 - 200.0	3				3
200.1 - 500.0	9				9
> 500.0	2				2
Total	1823	335	56	80	2294

Tabelle 4: Effektive Folgedosen durch innere Bestrahlung 2018: Anzahl der Personen, Kollektivdosen und inkorporierte Nuklide

Dosisintervall [mSv]	Medizin	Universitäten, Forschung	Kernkraftwerke und ZWILAG	Uhrenindustrie	Übrige Industrie	Total
= 0	22	277		77	149	525
0.1– 1.0				3	1	4
1.1 – 2.0				6		6
2.1 – 3.0				2		2
3.1 – 4.0				1		1
4.1 – 5.0						
5.1 – 6.0						
6.1 – 7.0						
7.1 – 8.0						
8.1 – 9.0						
9.1 -10.0						
10.1-11.0						
11.1-12.0						
12.1-13.0						
13.1-14.0						
14.1-15.0						
15.1-16.0						
16.1-17.0						
17.1-18.0						
18.1-19.0						
19.1-20.0						
20.1 – 50.0						
> 50.0						
Total	22	277	0	89	150	538
Kollektivdosis [Personen-Sv]	0.000	0.000	0.000	0.017	0.000	0.017
Nuklide mit $E_{50} > 1$ mSv				^3H		
Anzahl der Personen mit Triagemessungen ¹	1000	200	4600		150	5950

¹ geschätzt

Tabelle 5: Effektive Dosen durch alle Bestrahlungsarten 2018: Anzahl der Personen und Kollektivdosen

Dosisintervall [mSv]	Spitäler	Arztpraxen	Radiologische Arztpraxen	Zahnärztliche Praxen	Universitäten, Forschung	Kernkraftwerke und ZWILAG	Industrie, Handel	Öffentliche Dienste	Verschiedenes	Luftfahrt	Total
= 0	31844	19105	1114	15919	12901	2707	2152	622	3875	187	90426
0.1– 1.0	1418	402	50	362	1528	1166	118	19	189	1787	7039
1.1 – 2.0	128	17	10	9	13	340	32	1	6	2515	3071
2.1 – 3.0	48	2	5	2		173	12		1	2843	3086
3.1 – 4.0	25		1		2	87	4			1242	1361
4.1 – 5.0	17	1	1			62			1	75	157
5.1 – 6.0	4					26	4				34
6.1 – 7.0	5					13	2				20
7.1 – 8.0	2		1			15		1			19
8.1 – 9.0	1					3	1				5
9.1 -10.0	2					3		1			6
10.1-11.0					1	1					2
11.1-12.0						1					1
12.1-13.0						1	1				2
13.1-14.0											
14.1-15.0											
15.1-16.0											
16.1-17.0											
17.1-18.0											
18.1-19.0											
19.1-20.0		1					1				2
20.1 – 50.0											
> 50.0											
Total	33494	19528	1182	16292	14445	4598	2327	644	4072	8649	105231
Kollektivdosis [Personen-Sv]	0.90	0.12	0.06	0.07	0.32	2.44	0.20	0.02	0.05	16.39	20.57

Bemerkung: Falls eine Person in mehreren Bereichen tätig war, wird sie dem Bereich mit dem höchsten Dosisbeitrag zugeteilt, bei gleichen Dosen nach folgender Priorität: Kernkraftwerke, dann Spitäler, Arztpraxen, usw. gemäss der Reihenfolge in der Tabelle

Tabelle 6: Personenkollektivdosen durch externe Bestrahlung seit 1976

Jahr	Medizin		Universitäten und Forschung		Kernkraftwerke und ZWILAG		Industrie und Verschiedenes		Total	
	N	S	N	S	N	S	N	S	N	S
1976	19134	5.36	5046	5.68	960	8.14	3590	1.74	28730	20.92
1977	21284	6.06	6429	5.57	1021	8.08	4057	1.57	32791	21.28
1978	23948	7.06	8838	6.24	974	6.05	4312	2.06	38072	21.40
1979	25945	7.43	9434	6.14	1690	6.25	4211	2.67	41280	22.50
1980	27408	6.85	8394	4.54	1915	8.86	4457	1.31	42174	21.56
1981	28193	6.72	8593	3.45	2056	9.13	4589	1.31	43431	20.62
1982	28806	4.92	7903	3.13	2155	10.40	4513	0.97	43377	19.41
1983	32370	3.68	8186	3.00	2315	14.93	3899	0.98	46770	22.60
1984	33640	2.67	8759	2.74	3607	10.85	3944	0.56	49950	16.82
1985	34376	2.38	8673	3.08	3702	12.17	4229	0.75	50980	18.38
1986	35271	1.63	8811	2.92	3898	20.27	4434	0.45	52414	25.27
1987	35919	1.76	8562	3.04	3724	13.55	4554	0.42	52759	18.77
1988	37267	1.85	8855	3.00	3840	12.51	4748	0.44	54710	17.80
1989	37551	1.53	9232	2.37	3717	12.31	4990	0.50	55490	16.71
1990	37061	1.52	9061	2.60	4171	8.20	4684	0.43	54977	12.75
1991	38052	1.34	9392	2.39	4385	9.07	4820	0.44	56649	13.24
1992	38779	1.39	9606	2.55	4592	8.47	4846	0.61	57823	13.02
1993	39588	1.59	9565	1.63	4560	8.10	4806	0.33	58519	11.65
1994	39927	1.67	9578	1.67	4139	6.53	4718	0.33	58362	10.20
1995	40988	1.27	9592	1.87	4117	5.56	4572	0.31	59269	9.01
1996	42041	1.53	9896	1.89	4427	5.43	4646	0.34	61010	9.19
1997	42531	1.45	9590	1.57	3773	4.29	4747	0.35	60641	7.66
1998	42616	1.15	9801	1.37	3556	3.75	4710	0.26	60683	6.53
1999	43545	1.01	9632	1.01	3823	4.50	4845	0.25	61845	6.77
2000	44360	0.89	11303	1.15	3193	3.08	4822	0.25	63678	5.37
2001	45811	0.86	10345	0.67	3330	3.40	4805	0.23	64291	5.16
2002	47256	0.89	9214	0.43	3189	2.92	4828	0.21	64487	4.45
2003	48292	0.87	8676	0.72	3531	3.02	4846	0.20	65345	4.81
2004	50068	1.06	9079	0.56	3828	4.25	4522	0.24	67497	6.11
2005	50823	1.11	7847	0.68	3955	3.97	4506	0.27	67131	6.03
2006	52129	1.08	9242	0.64	3885	3.03	4566	0.25	69822	5.00
2007	53396	1.15	9239	0.44	4211	3.05	4732	0.19	71578	4.83
2008	54893	1.18	9468	0.47	4689	3.62	4876	0.25	73926	5.52
2009	56259	1.03	9856	0.51	4814	3.17	5015	0.18	75944	4.89
2010	57489	1.23	10311	0.60	5329	3.99	5259	0.21	78388	6.03
2011	59300	1.39	10534	0.63	5264	3.00	5547	0.49	80645	5.51
2012	61325	1.29	11372	0.62	5881	4.29	5648	0.18	84226	6.38
2013	63452	1.35	11860	0.77	5452	3.30	5856	0.20	86620	5.62
2014	66032	1.19	12983	0.89	5381	3.08	6001	0.23	90397	5.39
2015	68270	1.10	13235	0.34	6230	4.22	6018	0.22	93753	5.88
2016	70406	1.15	13280	0.32	5172	2.87	6284	0.18	95142	4.52
2017	72470	1.15	13936	0.30	5284	3.48	6558	0.20	98248	5.13
2018	70503	1.15	14443	0.32	4599	2.44	6851	0.25	96396	4.17

N = Anzahl Personen

S = Kollektivdosis in Personen-Sv

Tabelle 7: Personenkollektivdosen durch interne Bestrahlung seit 1995

Jahr	Anzahl Personen*	Kollektivdosis [Personen-Sv]
1995	6154	0.99
1996	7193	0.96
1997	6128	0.71
1998	5586	0.62
1999	5996	0.43
2000	5636	0.29
2001	5312	0.18
2002	5647	0.1
2003	5823	0.07
2004	6265	0.05
2005	6274	0.04
2006	6108	0.03
2007	6289	0.037
2008	6916	0.018
2009	7177	0.005
2010	8071	0.004
2011	7732	0.010
2012	8528	0.025
2013	7973	0.017
2014	7544	0.013
2015	8153	0.009
2016	8149	0.012
2017	8077	0.016
2018	8088	0.017

* inklusive Triagemessungen

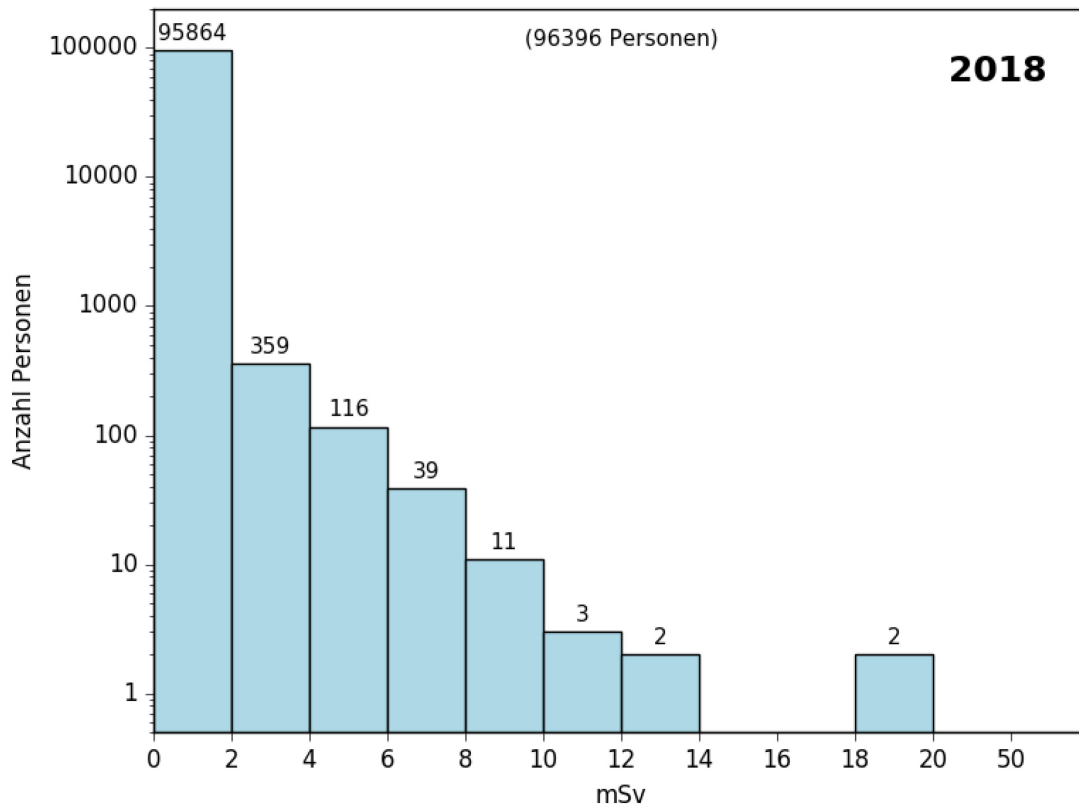
Tabelle 8: Handdosen seit 1977

Jahr	Anzahl Personen						
	Medizin	Universitäten und Forschung	Kernkraftwerke und ZWILAG	Industrie und Verschiedenes	Total	>75mSv	>150mSv
1977	135	140	53	107	435	22	10
1978	155	266	33	116	570	20	7
1979	206	211	86	159	662	19	8
1980	226	225	101	146	698	9	1
1981	254	182	82	152	670	14	5
1982	287	198	103	135	723	34	6
1983	206	162	65	214	647	11	3
1984	306	116	106	174	702	4	1
1985	302	223	83	187	795	7	4
1986	347	225	83	223	878	9	2
1987	396	269	127	225	1017	5	2
1988	523	284	94	236	1137	6	2
1989	504	307	74	307	1192	8	3
1990	558	333	68	311	1270	5	3
1991	590	420	136	324	1470	3	2
1992	582	270	237	326	1415	2	2
1993	563	410	111	348	1432	3	1
1994	606	399	95	363	1463	6	2
1995	650	404	87	361	1502	0	0
1996	581	322	102	407	1412	6	1
1997	594	361	92	368	1415	8	3
1998	629	341	44	307	1321	11	5
1999	696	340	52	293	1381	10	2
2000	657	279	40	280	1256	9	2
2001	692	286	53	228	1259	12	2
2002	742	274	45	208	1269	11	2
2003	708	265	40	183	1196	7	1
2004	773	274	39	157	1243	13	3
2005	820	290	39	129	1278	13	4
2006	820	289	50	154	1313	13	2
2007	861	288	40	165	1354	10	3
2008	958	326	47	147	1478	10	1
2009	975	315	35	134	1459	16	3
2010	1077	290	54	127	1548	14	4
2011	1112	285	75	103	1575	17	10
2012	1202	318	93	111	1724	17	3
2013	1261	282	61	106	1710	13	3
2014	1311	285	31	111	1738	14	1
2015	1430	291	104	80	1905	16	0
2016	1465	303	120	82	1970	14	0
2017	1550	320	114	67	2051	11	0
2018	1823	335	56	80	2294	65	20

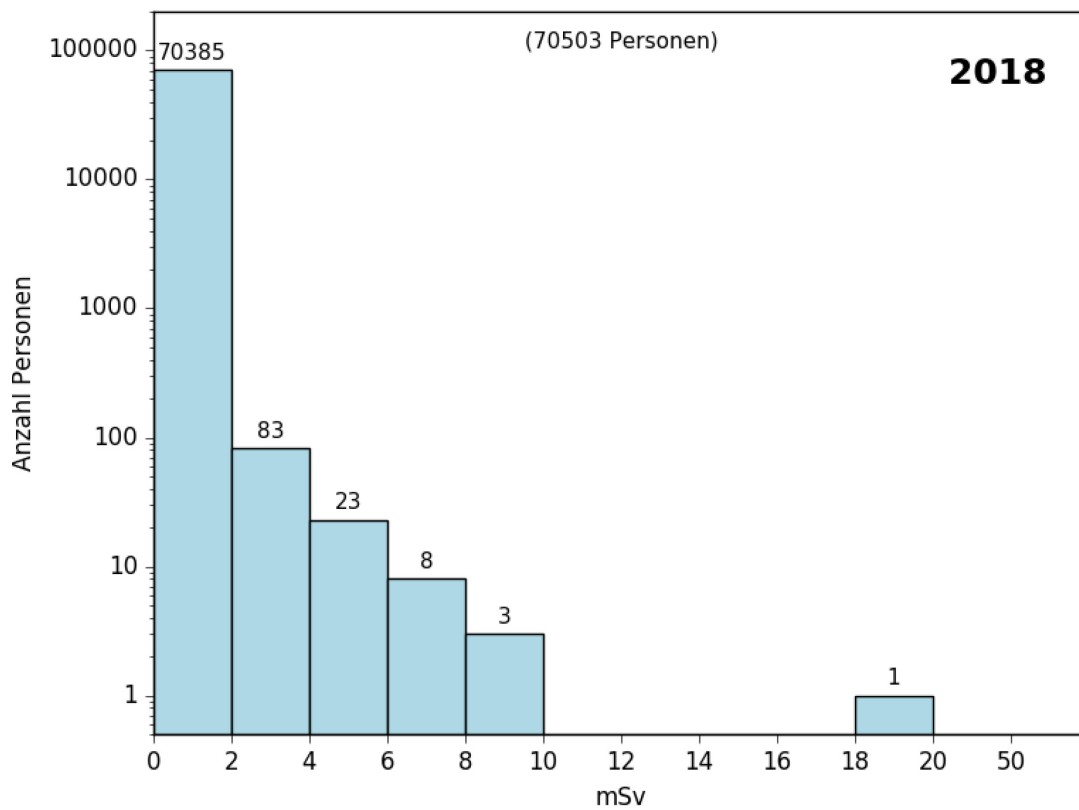
Tabelle 9: Grenzwertüberschreitungen seit 1995

Jahr	Bereich	Quelle	Dosis	Bemerkung
1995	Spital	X	E = 36.6 mSv	Orthopädie, Durchleuchtung
	Industrie	H-3	E = 24.6 mSv	Inkorporation
1996	Industrie	H-3	E = 5.2 mSv	Inkorporation (Schwangerschaft)
	Industrie	H-3	E = 29 mSv	Inkorporation
1997	Industrie	Ir-192	E = 83 mSv	Gammagraphie
	Industrie	H-3	E = 4.6 mSv	Inkorporation (Schwangerschaft)
	Spital	X	H _{extr} = 517 mSv	interventionelle Radiologie
1998	Spital	X	E = 22.8 mSv	unklarer Vorfall
2002	Spital	Co-60	E = 22.8 mSv	Strahlentherapie
	Spital	I-131	H _{extr} = 1256 mSv	Nuklearmedizin, Kontamination
2004	Zahnarzt	X	E = 22.2 mSv	unklarer Vorfall
2005	Spital	X	E = 20.2 mSv	Kardiologie, Durchleuchtung
2007	Spital	Y-90	H _{extr} = 1300 mSv	Nuklearmedizin, Fingerkuppe
2009	KKW	γ	E = 37.8 mSv E = 25.4 mSv	2 Personen bei Revision
2010	KKW	γ	E = 28 mSv H _{extr} = 7500 mSv	Taucher bei Revision
	Spital	X	E = 30.2 mSv	Angiographie, Durchleuchtung
	Spital	Y-90	H _{extr} = 1000 mSv	medizinische Forschung
2011	Spital	X	E = 27 mSv	Kardiologie, Durchleuchtung
	Spital	Y-90	H _{extr} = 2000 mSv	Kontamination Nuklearmedizin
	Industrie	e ⁻ , γ	E = 278 mSv	Elektronenstrahlvernetzungsanlage
2012	Spital	Y-90	H _{extr} = 1000 mSv	Nuklearmedizin
2014	Spital / Industrie	X	H _{extr} = 700 mSv	Reparatur einer Durchleuchtungsanlage
2016	Spital	unbekannt	E = 24.1 mSv	Nuklearmedizin
2017	Spital	unbekannt	E = 29.6 mSv	Notfallstation
2018	Spital	PET	H _{extr} = 552 mSv	Nuklearmedizin
	Spital	PET	H _{extr} = 562 mSv	Nuklearmedizin

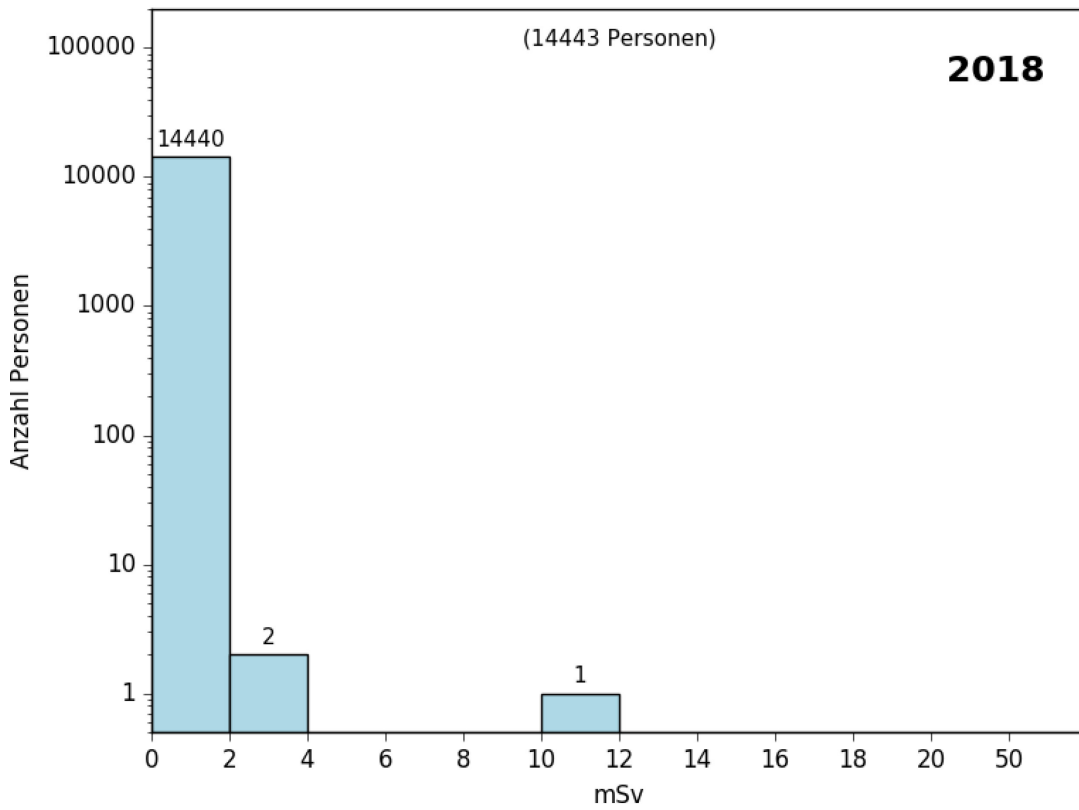
Figur 1: Personen-Tiefendosen durch externe Bestrahlung in allen Tätigkeitsbereichen



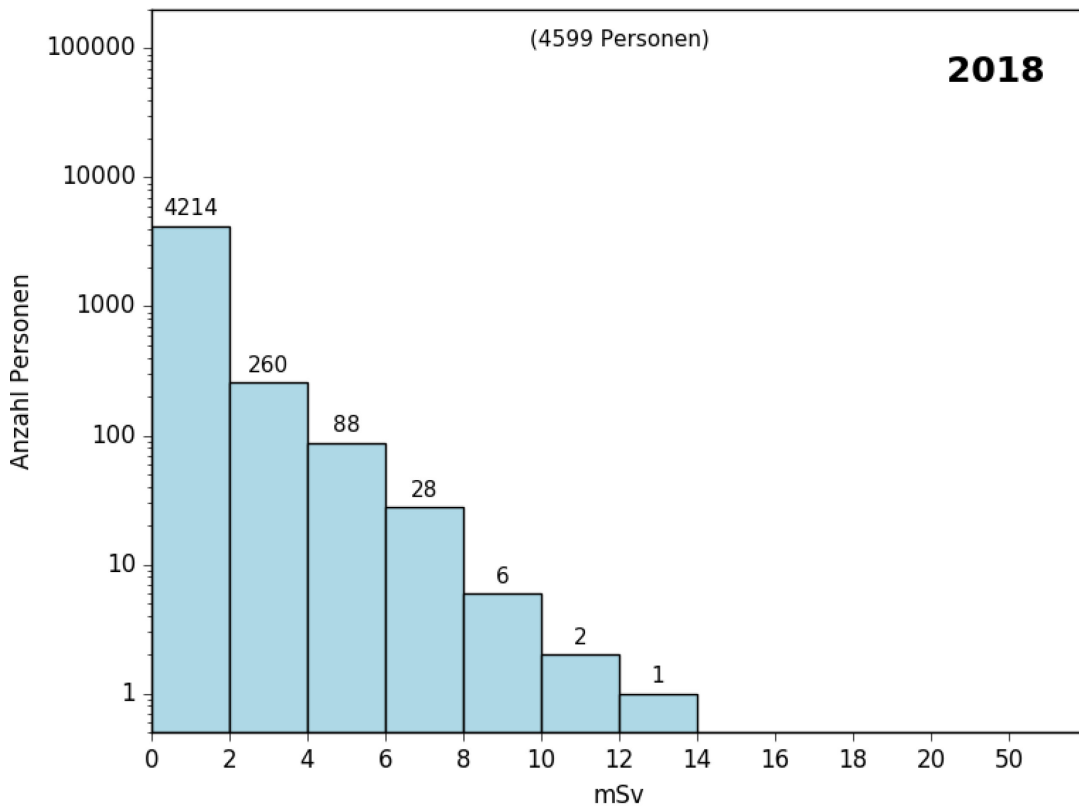
Figur 2: Personen-Tiefendosen durch externe Bestrahlung in der Medizin



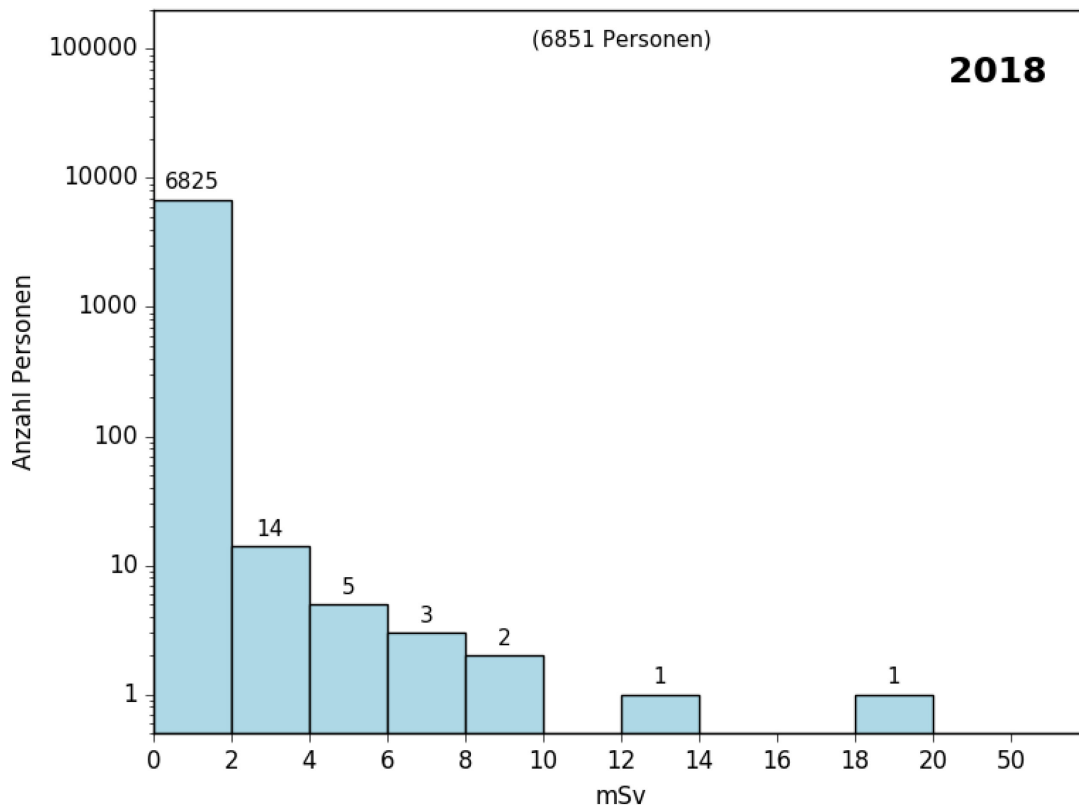
Figur 3: Personen-Tiefendosen durch externe Bestrahlung in Universitäten und Forschung



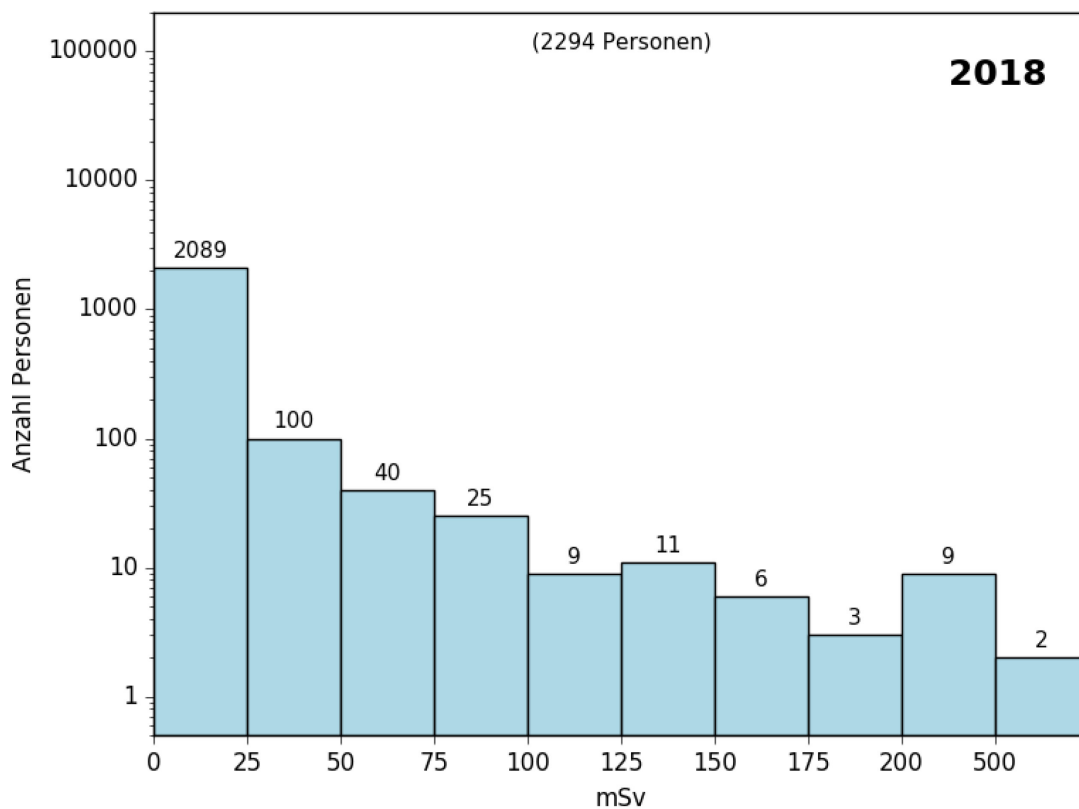
Figur 4: Personen-Tiefendosen durch externe Bestrahlung in Kernkraftwerken und ZWILAG



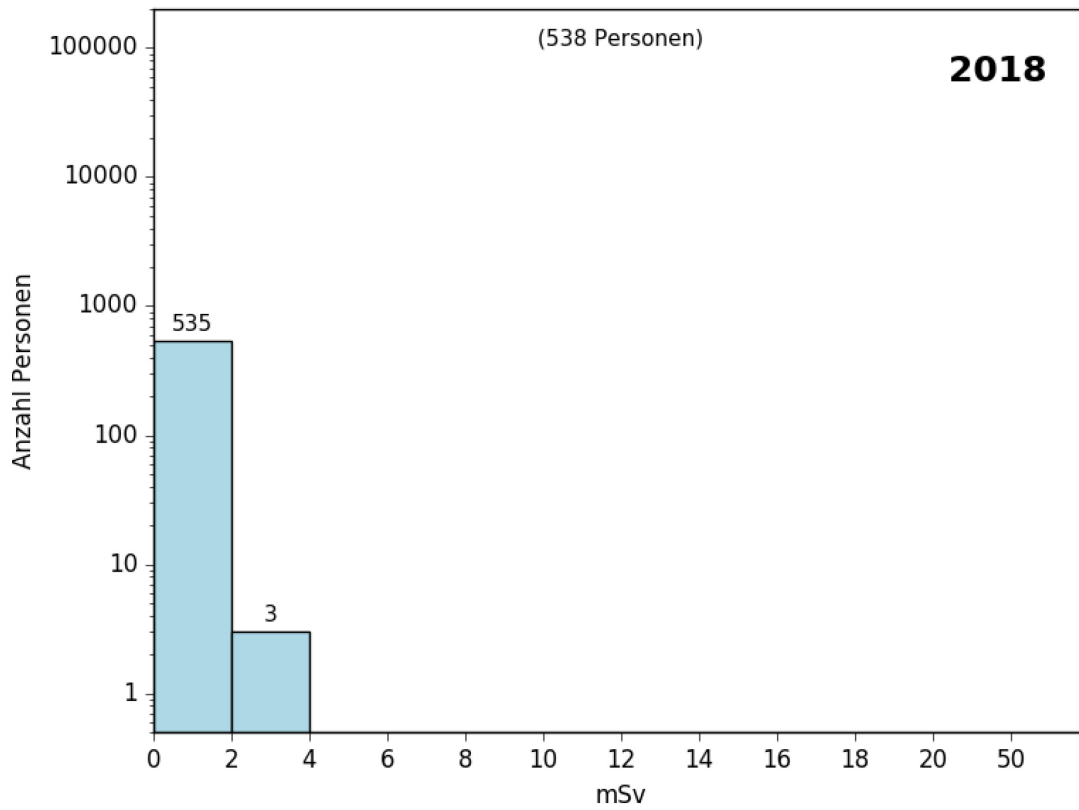
Figur 5: Personen-Tiefendosen durch externe Bestrahlung in Industrie und Verschiedenes (Handel, öffentliche Dienste, ..)



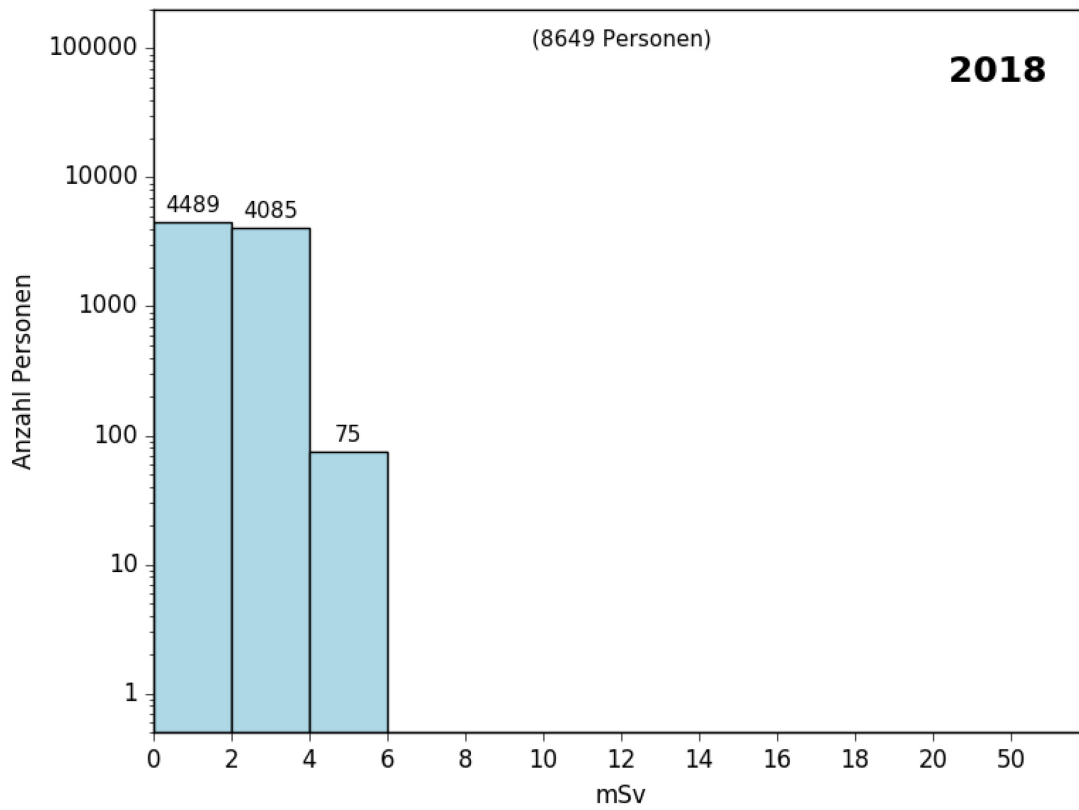
Figur 6: Handdosen in allen Tätigkeitsbereichen



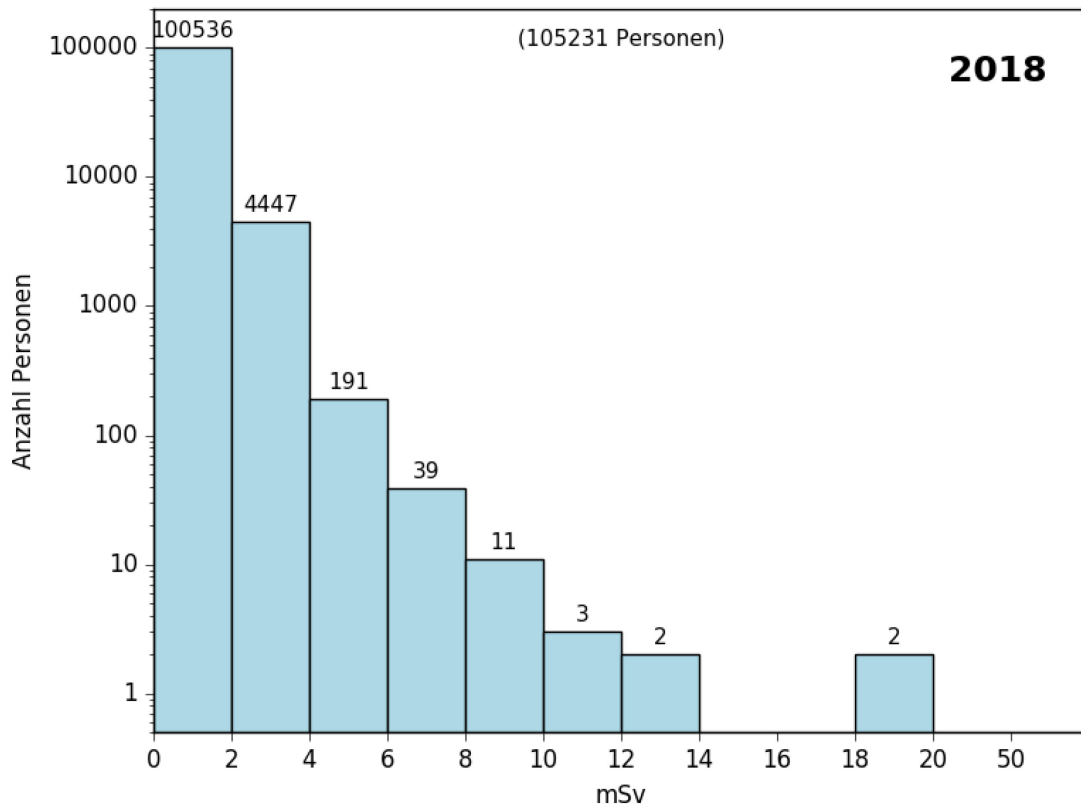
Figur 7: Effektive Folgedosen durch interne Bestrahlung



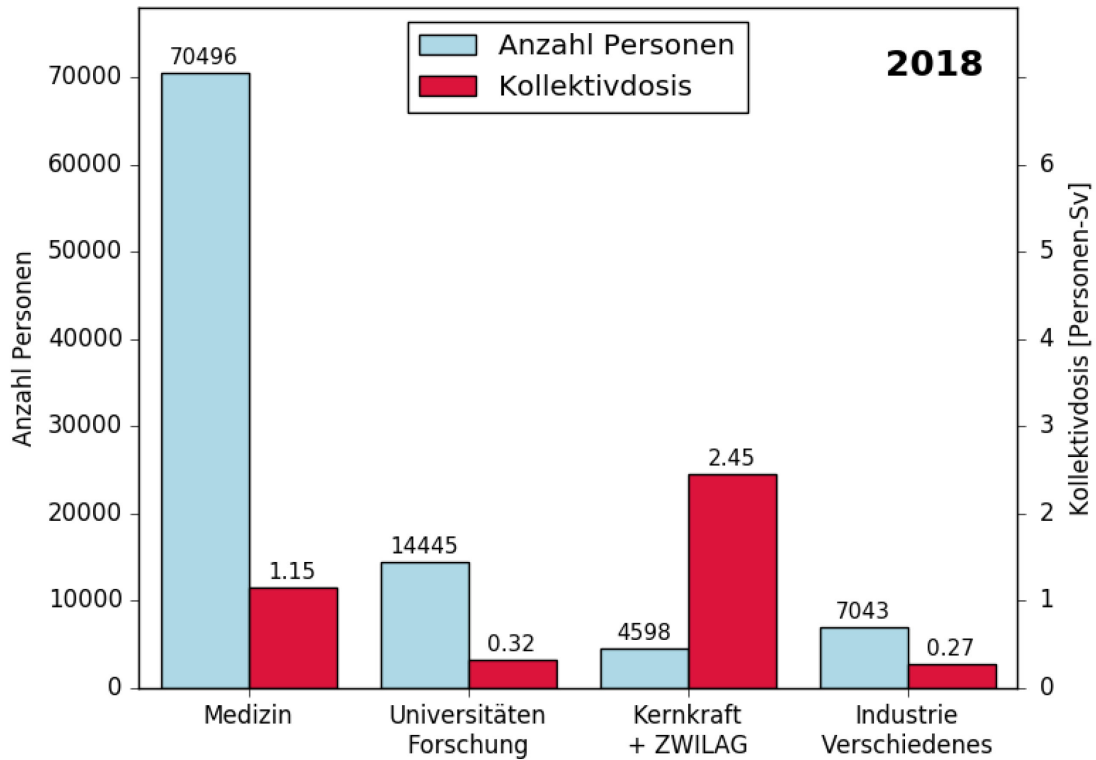
Figur 8: Effektive Dosen durch kosmische Strahlung in der Luftfahrt



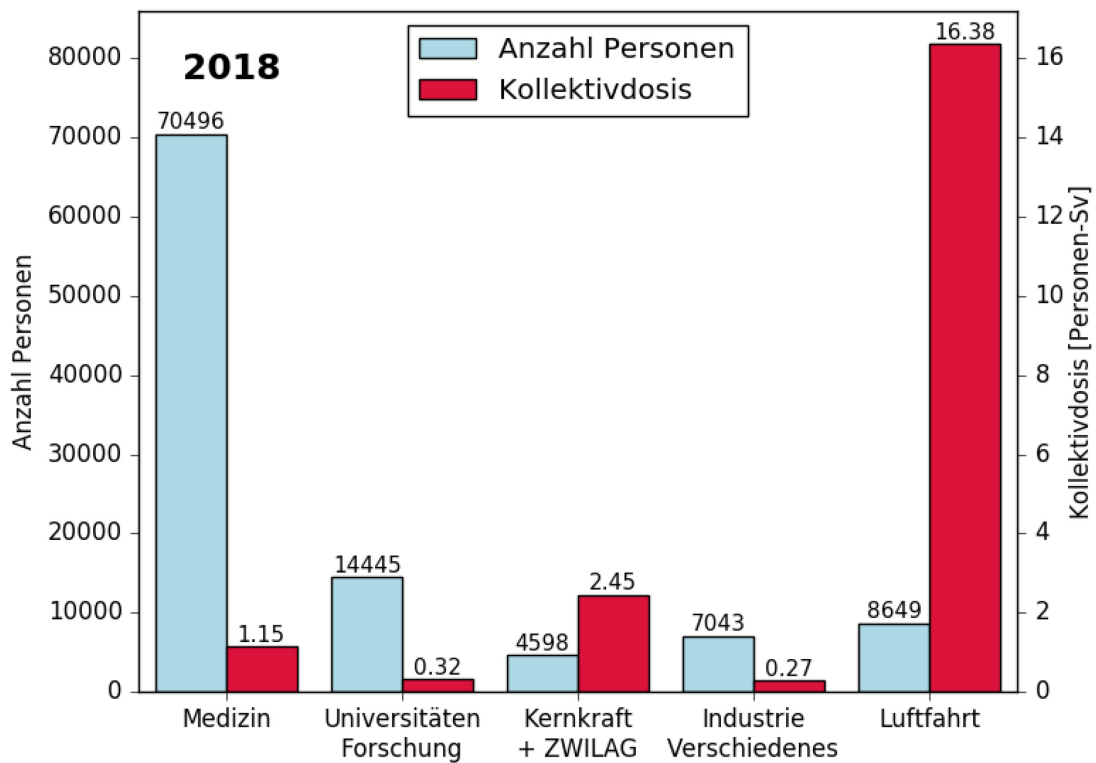
Figur 9: Effektive Dosen durch externe und interne Bestrahlung in allen Tätigkeitsbereichen



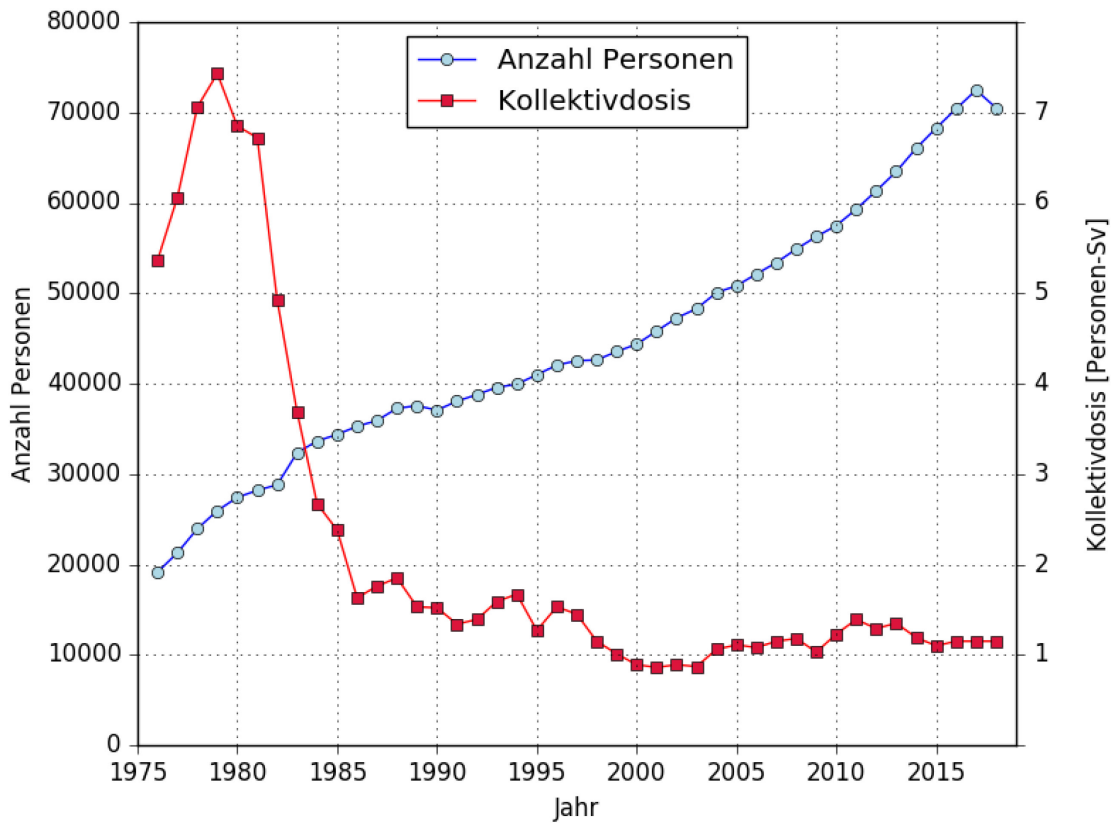
Figur 10: Anzahl Personen und Kollektivdosen durch alle Bestrahlungsarten



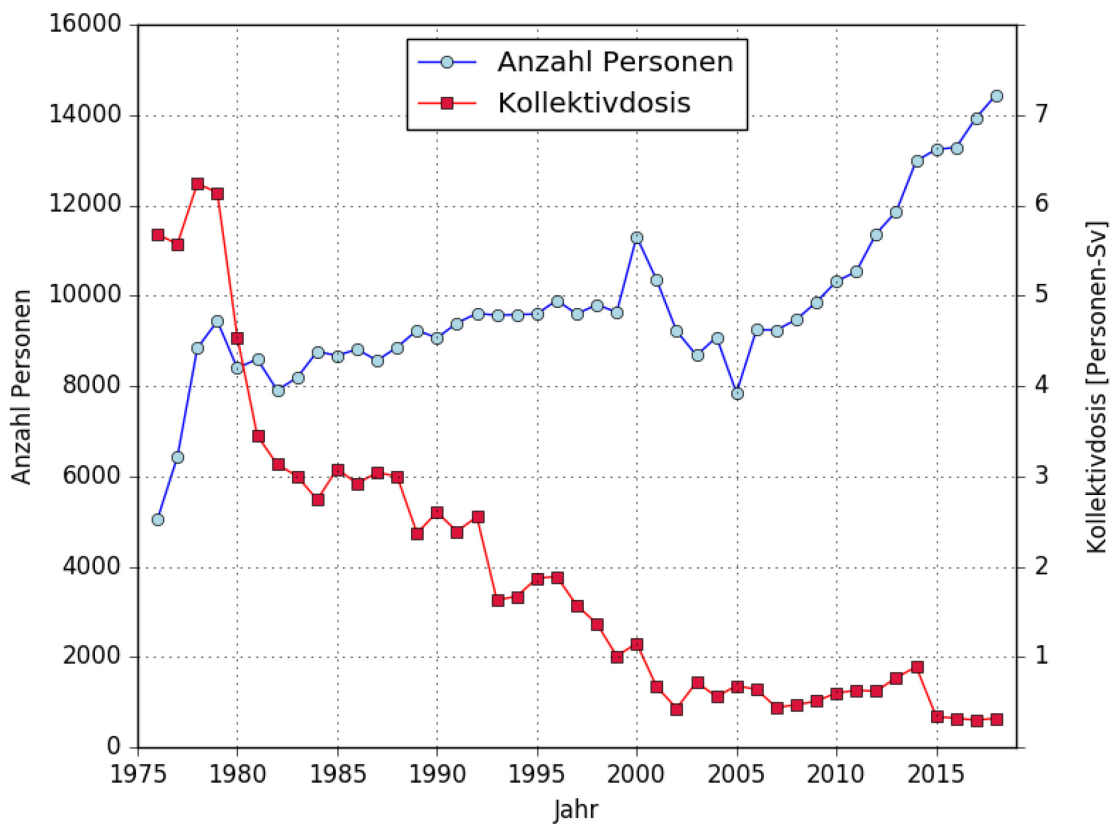
inklusive kosmische Strahlung in der Luftfahrt:



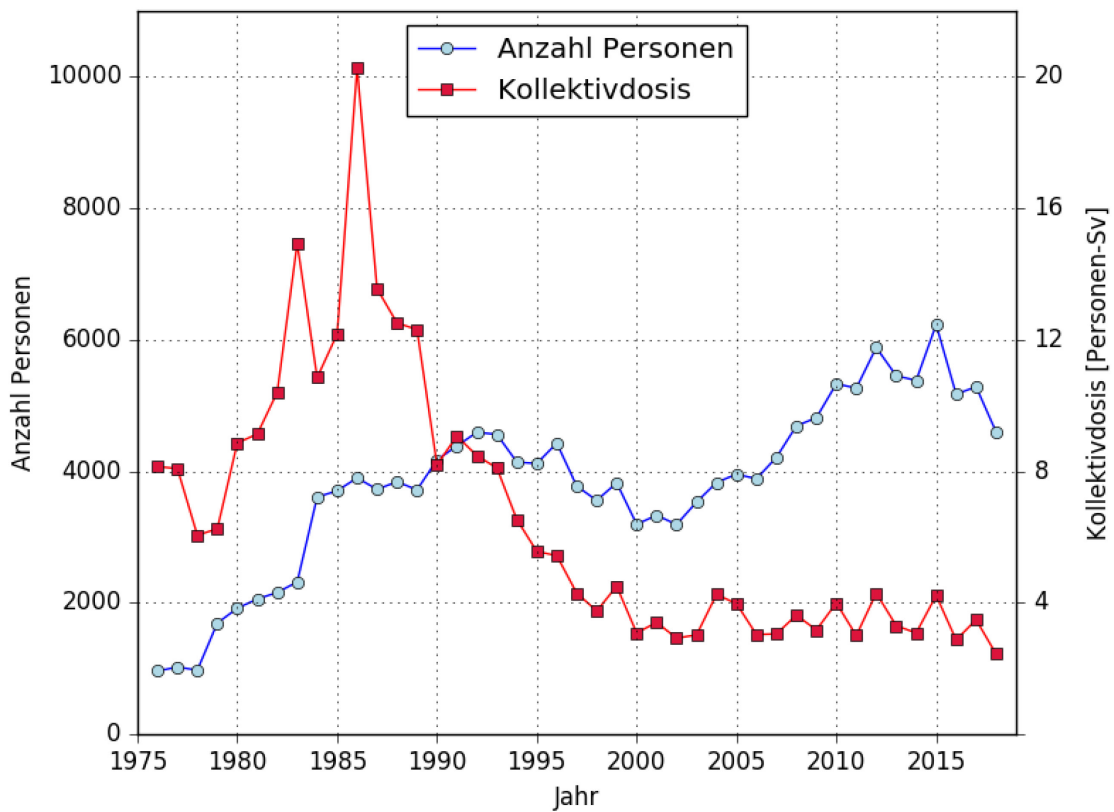
Figur 11: Externe Bestrahlung seit 1976 in der Medizin



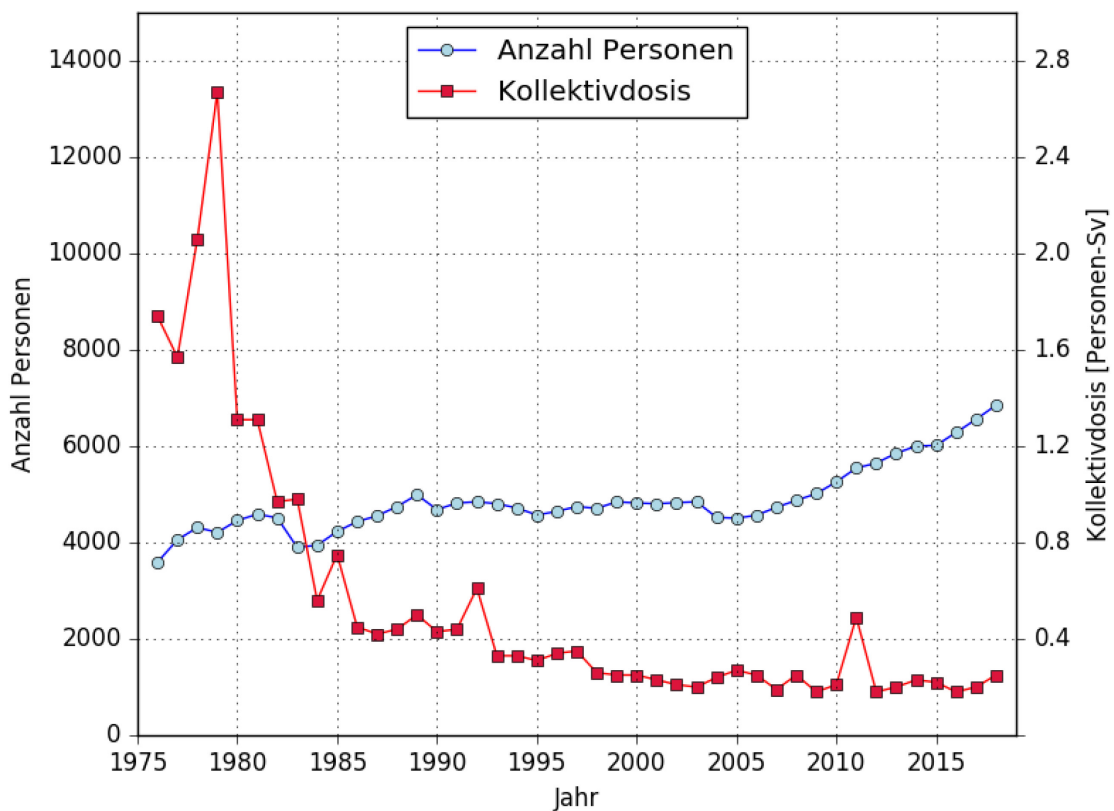
Figur 12: Externe Bestrahlung seit 1976 in Universitäten und Forschung



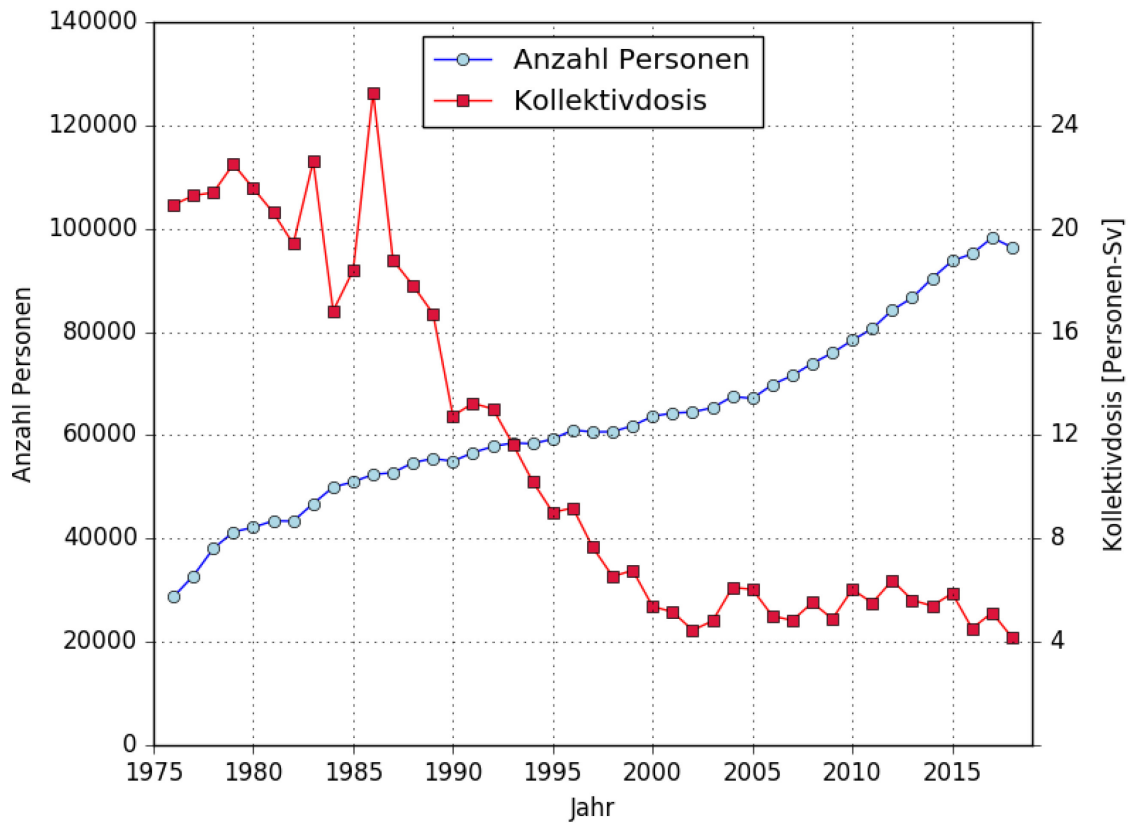
Figur 13: Externe Bestrahlung seit 1976 in Kernkraftwerken und ZWILAG



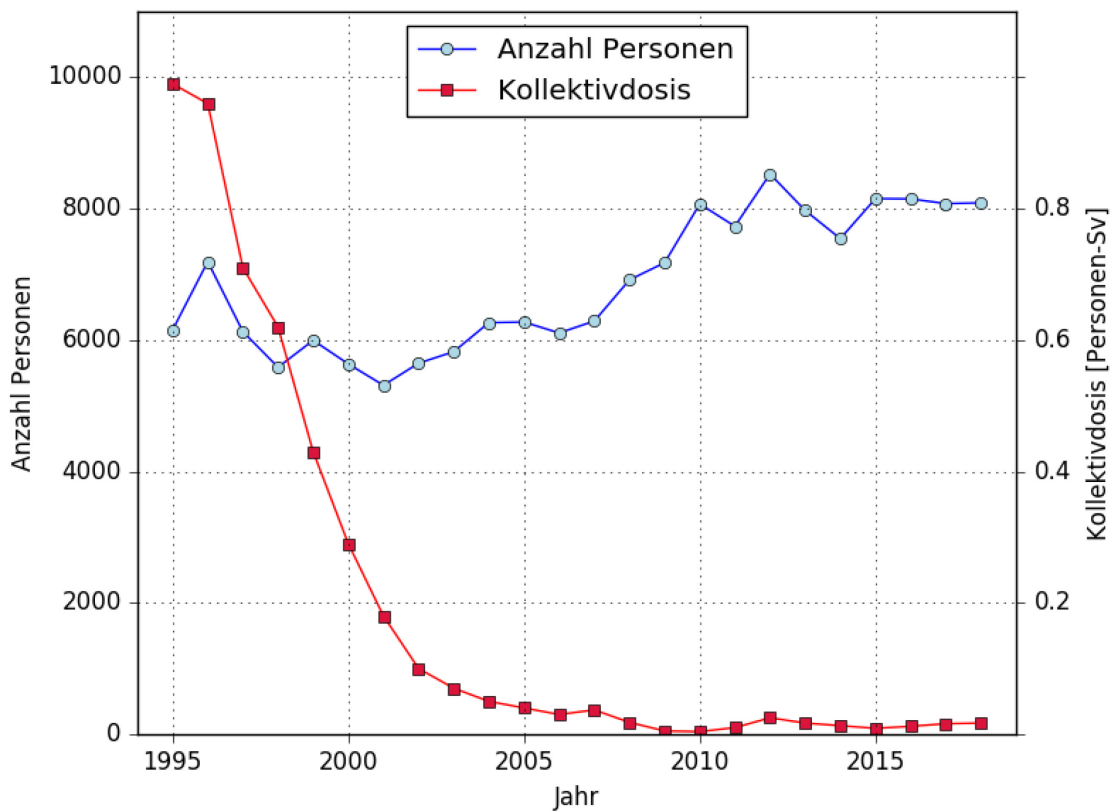
Figur 14: Externe Bestrahlung seit 1976 in Industrie und Verschiedenes (Handel, öffentliche Dienste, ..)



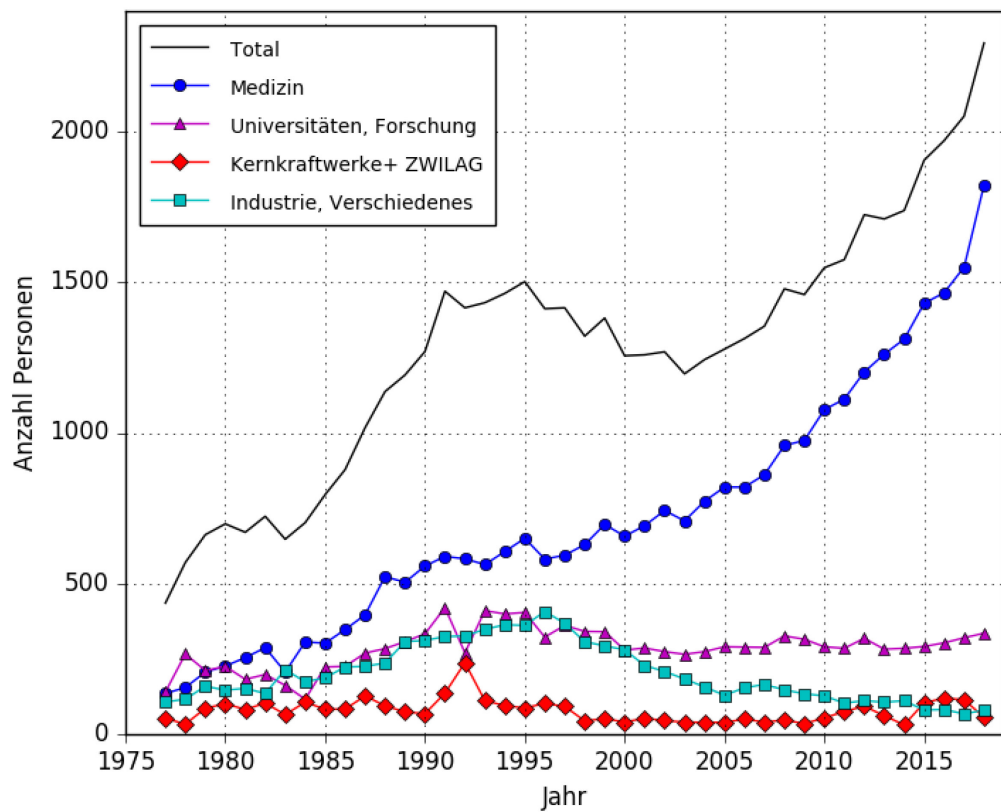
Figur 15: Externe Bestrahlung seit 1976 (ohne Flugpersonal)



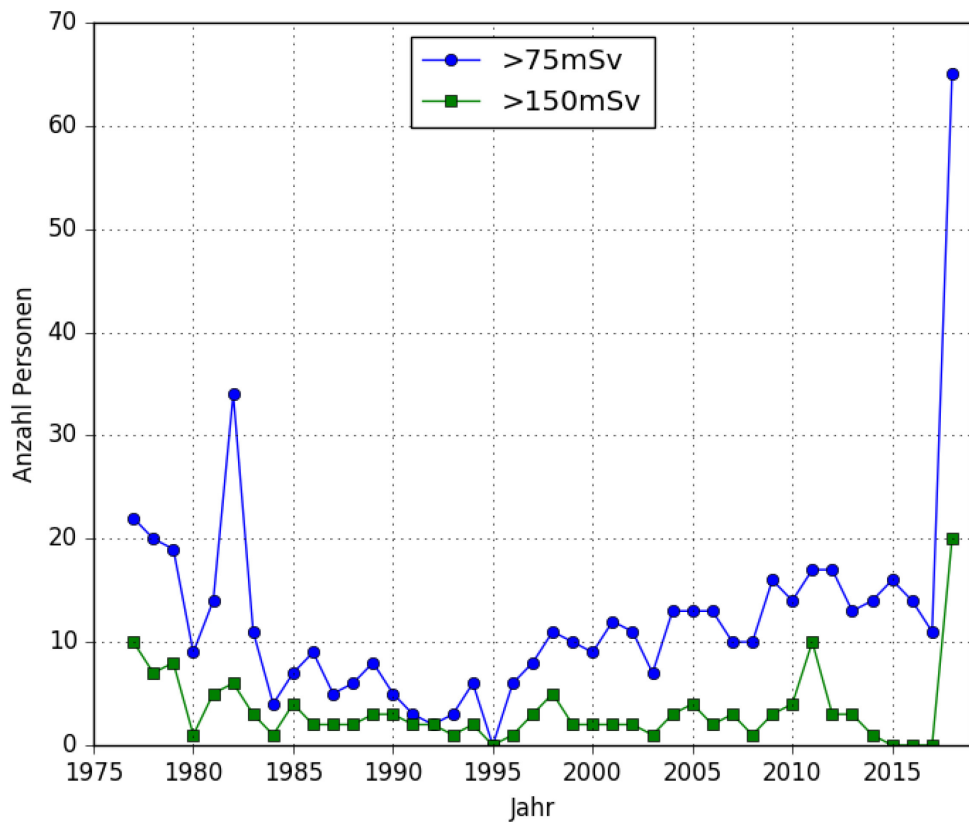
Figur 16: Interne Bestrahlung seit 1995



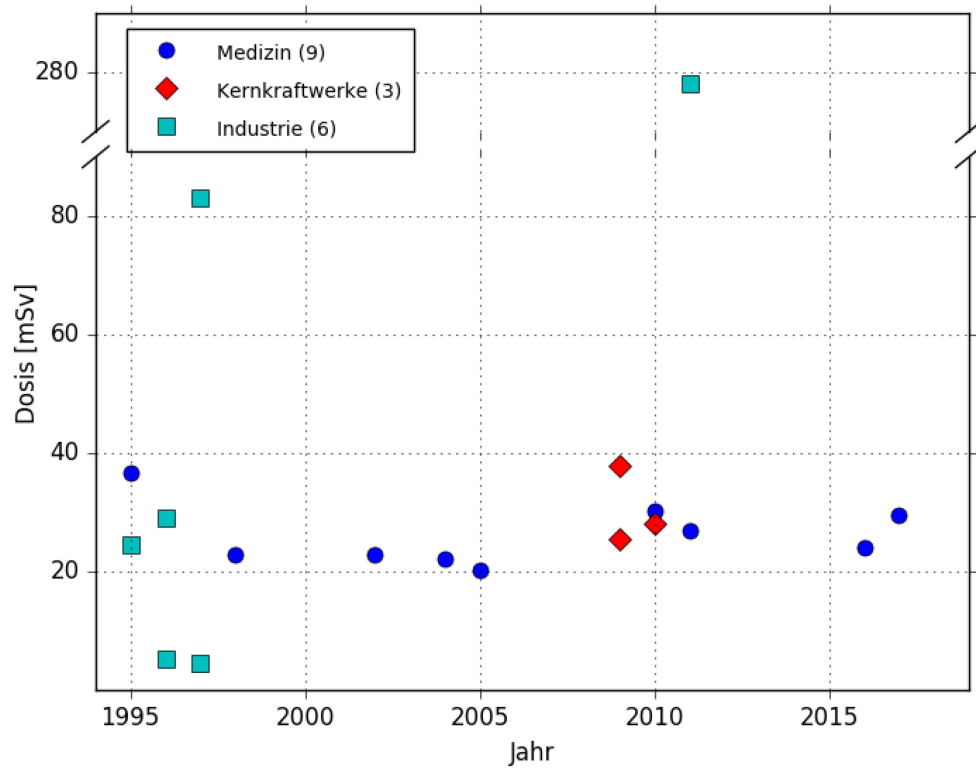
Figur 17: Handdosen: Anzahl Personen seit 1977



Figur 18: Hohe Handdosen in allen Tätigkeitsbereichen seit 1977



Figur 19: Effektive Dosen über dem Jahresgrenzwert seit 1995



Figur 20: Extremitätendosen über dem Jahresgrenzwert seit 1995

