



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI

Bundesamt für Gesundheit BAG
Direktionsbereich Verbraucherschutz

September 2017

Jahresbericht 2016

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	4
5	Interne Strahlenexposition	6
6	Effektive Dosen durch externe und interne Strahlenexposition	6
7	Überschreitungen von Dosisgrenzwerten und Spezielle Vorkommnisse	6
8	Trend der letzten 40 Jahre	7
9	Revision der Strahlenschutzverordnung	7
10	Schlussfolgerungen	8
11	Weitere Publikationen	8
	Tabellen	10
	Figuren	20

1 Einleitung

Der vorliegende Jahresbericht fasst die Ergebnisse der Personendosimetrie der Schweiz für externe und interne Bestrahlung im Jahr 2016 zusammen und zeigt den Trend der letzten 40 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.

Neben dem Dosisregister werden die jährlich akkumulierten Strahlendosen der beruflich strahlenexponierten Personen auch im Strahlenpass (persönliches Dosisdokument) festgehalten.

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 2016 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 2016 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.

3 Vergleichsmessungen

Nach Artikel 50 der Strahlenschutzverordnung (StSV) müssen sich die Dosimetriestellen an Vergleichsmessungen beteiligen. Im Berichtsjahr wurden je eine Vergleichsmessung für externe und eine für interne Dosimetrie durchgeführt.

Im Herbst 2016 führte das PSI die Vergleichsmessung für die interne Personendosimetrie durch. Dabei wurde die Inkorporationsmessung von Tritium mittels Flüssigszintillationszähler überprüft. Die Anforderungen der Dosimetrieverordnung wurde von allen teilnehmenden Inkorporationsmessstellen erfüllt. Die gemessenen Aktivitätskonzentrationen lagen alle innerhalb von $\pm 20\%$ der Sollwerte. Auch die effektiven Folgedosen E_{50} für die drei Szenarien "Routine-Überwachung", "einmalige Inkorporation" und "dauernde Inkorporation" wurden von allen Stellen richtig berechnet.

Die Vergleichsmessung für die externe Personendosimetrie wurde vom IRA durchgeführt. Bei der Bestrahlung der Ganzkörperdosimeter unter Referenzbedingungen haben alle teilnehmenden Dosimetriestellen die Anforderungen von $\pm 10\%$ erfüllt. Auch bei den ergänzenden Tests unter Routinebedingungen mit Cs-137 unter 45° sowie mit Co-60 und Sr-90 wurden die Anforderungen der Dosimetrieverordnung alle erfüllt. Die Extremitätendosimetrie war in diesem Jahr nicht Teil der Vergleichsmessung.

4 Externe Strahlenexposition

4.1 Ganzkörperdosen

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-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 Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI gemeldet.

Wo es notwendig ist, werden zusätzlich spezielle Neutronendosimeter (poly-allyl diglycol carbonate, kurz PADC Dosimeter) verwendet. 2016 war keine der 8'687 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 93'753 im Jahr 2015 auf 95'142 im Berichtsjahr gestiegen. Dies entspricht einer Zunahme in der selben Größenordnung wie im vorangegangenen Jahr. Der grösste Teil der neu dosimetrierten Personen stammt aus dem Bereich Medizin.

Die Kollektivdosis, d.h. die Summe der individuellen Personen-Tiefendosen aller beruflich strahlenexponierten Personen der Schweiz, lag im Jahr 2016 bei 4.52 Personen-Sv (gegenüber 5.88 Personen-Sv im Vorjahr). Seit dem Jahr 2000 stabilisierte sich die Kollektivdosis auf einem Niveau von 5 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 10 Jahren stabilisiert, während die Anzahl dosimetrierter Personen in diesem Bereich jedes Jahr ansteigt. Die mittlere Dosis pro Person hat in den letzten drei Jahren abgenommen.

Die einzelnen Tätigkeitsbereiche trugen zur Kollektivdosis wie folgt bei: Kernkraftwerke 64%, Medizin 25%, Forschung 7%, Industrie, Handel, öffentliche Dienste und Verschiedenes 4%. In den Figuren 1 bis 5 sind die Anzahl der Personen und die Dosisverteilungen der verschiedenen Tätigkeitsbereiche dargestellt.

Entsprechend der Empfehlung der KSR (Eidgenössische Kommission für Strahlenschutz) 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 Spitäler (Tabelle 2) in der interventionellen Radiologie / Kardiologie und in den Kernkraftwerken vor. Im Berichtsjahr war eine Grenzwertüberschreitung der Ganzkörperdosis zu verzeichnen (Kapitel 7).

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 128 mSv.

Im Bereich Medizin akkumulierten einige Personen hohe Jahres-Handdosen (Tabelle 3). Die Dosen stammen vor allem aus nuklearmedizinischen Abteilungen, wo mit offenen Quellen gearbeitet wird, oder aus der interventionellen Radiologie. 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).

In einer Stellungnahme von 2009 weist die KSR darauf hin, dass die gemessenen Handdosen in der Nuklearmedizin den realen Wert um einen Faktor vier oder mehr unterschätzen (2009: KSR Stellungnahme betreffend die Extremitätendosimetrie in der Nuklearmedizin). Dies geht aus einer Studie des

IRA aus dem Jahr 2007 hervor. Bei der laufenden Revision der Strahlenschutz- und Dosimetrieverordnung wird diese Erkenntnis berücksichtigt.

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. 6'460 Personen wurden Triagemessungen zur Überprüfung einer möglichen Inkorporation direkt in den betroffenen Betrieben durchgeführt (Tabelle 4).

Im Jahr 2016 wurden bei 599 Personen Inkorporationsmessungen durchgeführt und die effektive Folgedosis E_{50} ermittelt. In Tabelle 4 sind die Ergebnisse nach Tätigkeitsbereichen aufgeführt. Die höchste effektive Folgedosis betrug 2.5 mSv.

In Figur 7 ist die Verteilung der internen Dosen dargestellt. Die Kollektivdosis betrug 0.012 Personen-Sv und ist somit auf dem Niveau des Vorjahres. Sie ist hauptsächlich durch Tritium-Inkorporationen in der Uhrenindustrie zustande gekommen.

6 Effektive Dosen durch externe und interne 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.

Die Verteilung der effektiven Dosen ist in Tabelle 5 und Figur 8 dargestellt. Die Gesamtzahl aller beruflich strahlenexponierten Personen betrug im Berichtsjahr 95'389 (Vorjahr: 94'008). Darin nicht enthalten sind Personen, bei denen ausschliesslich Triagemessungen durchgeführt wurden. Die gesamte Kollektivdosis betrug 4.53 Personen-Sv (Vorjahr: 5.89 Personen-Sv). Die Verteilung auf die verschiedenen Bereiche ist in Figur 9 ersichtlich.

Die Inkorporationen trugen nur ca. 0.27% zur Gesamtkollektivdosis bei. Die Dosen stammten vorwiegend aus dem Bereich Industrie, wo die Inkorporationen rund 6.3% der Kollektivdosis ausmachten.

7 Überschreitungen von Dosisgrenzwerten und spezielle Vorkommnisse

Im Berichtsjahr ereignete sich im Aufsichtsbereich des BAG eine Überschreitung des Jahresgrenzwertes für die Ganzkörperdosis. Bei einem in der Nuklearmedizin tätigen Arzt wurde eine Ganzkörperdosis von 24.1 mSv gemessen. Die Auswertung des Dosimeters deutete auf eine homogene Bestrahlung mit Röntgenstrahlung hin. Trotz einer gründlichen Untersuchung des Vorfalls durch das Spital und das BAG, konnte jedoch keine Ursache für die Dosis gefunden werden. Die Dosis wurde ins zentrale Dosisregister eingetragen. Als Massnahme wurde der Arzt mit einem zusätzlichen Extremitätendosimeter ausgerüstet, welches jedoch in den Folgemonaten keine nennenswerten Dosen verzeichnete. Mit dem Ganzkörperdosimeter wurden seit dem Vorfall nur Null-Dosen gemessen.

8 Trend der letzten 40 Jahre

Die Kollektivdosen bei externer Bestrahlung der beruflich strahlenexponierten Personen in der Schweiz sind im Laufe der letzten 40 Jahre deutlich gesunken. 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 4.53 Personen-Sv (siehe Tabelle 6 und Figur 14). Die Gesamtanzahl der beruflich strahlenexponierten Personen ist in derselben Periode um einen Faktor drei gestiegen – von ca. 30'000 auf über 95'000.

Die mittlere Dosis pro Person hat in diesem Zeitraum von 0.73 mSv pro Jahr auf 0.05 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 10 bis 13). 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.

Seit 2000 steigt die Kollektivdosis in der Medizin leicht an. Dies dürfte hauptsächlich durch die jährliche Zunahme von ca. 2'000 Personen in diesem Bereich bedingt sein. Die Grenze der Optimierungsmöglichkeiten scheint hier aber vorläufig erreicht zu sein. In Figur 12, 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 zentralen Dosisregister (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 15). 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 40 Jahren in der Medizin kontinuierlich gestiegen (Figur 16). Waren es 1977 noch 135 Personen, trugen im Berichtsjahr bereits 1465 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 eine Zunahme seit 1995 auf (Figur 17). Diese höheren Jahreshanddosen stammen fast ausschliesslich aus den medizinischen Bereichen Nuklearmedizin und interventionelle Radiologie.

9 Revision der Strahlenschutz- und Dosimetrieverordnung

Die Schweizer Strahlenschutzgesetzgebung ist seit 1994 in Kraft und basiert auf den Empfehlungen der ICRP von 1990 (ICRP 60), welche 2007 durch die ICRP 103 ersetzt wurden. Eine Total-Revision der Strahlenschutzverordnung, sowie aller zugehörigen Departementsverordnungen hatte zum Ziel, diese neuen Empfehlungen auch in der Schweizer Gesetzgebung umzusetzen. Gleichzeitig wurde eine Harmonisierung mit den Strahlenschutzkonzepten der EU angestrebt (Euratom Basic Safety

Standards, BSS). Dabei sollte aber die Einfachheit und Klarheit der bisherigen Gesetzgebung möglichst beibehalten werden.

Der Bundesrat hat die revidierte Strahlenschutzverordnung im April 2017 verabschiedet. Sie wird zusammen mit der revidierten Dosimetrieverordnung am 01.01.2018 inkrafttreten.

Aus den BSS 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. Von der 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 verlangen. Für die Umsetzung der Überwachung der Augenlinse wird eine Übergangsfrist von einem Jahr gewährt.

Die Indikation für ein zusätzliches Dosimeter über der Schürze und an den Extremitäten wurde in der Dosimetrieverordnung konkretisiert.

10 Schlussfolgerungen

Der vorliegende Bericht lässt auf einen allgemeinen guten Stand des Strahlenschutzes bei beruflich strahlenexponierten Personen in der Schweiz schliessen. Die Kollektivdosis hat sich in den letzten 13 Jahren 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 zehn Jahren äusserst gering.

Obwohl keine Erklärung für die gemessene Grenzwertüberschreitung im Berichtsjahr gefunden werden konnte, stützt dieses Ereignis die Beobachtung des BAG, dass besonders bei Tätigkeiten in der Nuklearmedizin und in der interventionellen Radiologie hohe Ganzkörper- und Extremitätendosen auftreten können. Mit gezielten Audits, Fortbildungsangeboten und geeignetem Informationsmaterial wird versucht, diesem Trend entgegen zu wirken. Zudem wird die Überwachung von Personen in diesen Bereichen mit der neuen Strahlenschutzverordnung verbessert.

Die Resultate der Vergleichsmessung im Berichtsjahr zeigen, dass die in der Schweiz anerkannten Dosimetriestellen eine zuverlässige und hochwertige Dosimetrie betreiben.

11 Weitere Publikationen

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

- 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

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

Tabelle 1a: Messmethoden und Messumfang der Personendosimetriestellen für äussere Bestrahlung 2016

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	9'000	β, γ, X	DIS	9'000	β, γ, X	TLD	60
	n	PADC	7'000						
Dosilab	β, γ, X	TLD	43'000	β, γ, X	TLD	43'000	β, γ, X	TLD	800
IRA	β, γ, X	TLD	10'000	β, γ, X	TLD	10'000	β, γ, X	TLD	240
KKB	β, γ, X	DIS	1'600	β, γ, X	DIS	1'600			
KKG	β, γ, X	DIS	1'300	β, γ, X	DIS	1'300			
KKL	β, γ, X	DIS	1'800	β, γ, X	TLD	1'800			
KKM	β, γ, X	TLD	1'200	β, γ, X	TLD	1'200			
PEDOS	β, γ, X	TLD	15'000	β, γ, X	TLD	15'000	β, γ, X	TLD	360
PSI	β, γ, X	RPL, DIS	2'000	β, γ, X	TLD, DIS	2'000	β, γ, X	TLD	190
	n	PADC	1'400						
Suva	β, γ, X	TLD	15'000	β, γ, X	TLD	15'000	β, γ, X	TLD	280
X-DOS	β, γ, X	TLD	2'800	β, γ, X	TLD	2'800			

DIS Direct Ion Storage Dosimetrie
TLD Thermolumineszenzdosimetrie
RPL Radio-Photolumineszenzdosimetrie
PADC Neutronendosimetrie mit PADC Dosimeter

Tabelle 1b: Messmethoden, Nuklide und Messumfang der Inkorporationsmessstellen 2016

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	40
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	13
		β	PC	Sr-90	
	Urin, Stuhl	α	Si	Po-210, Ra-226, U-234, U-235, U-238, Pu-239, Am-241	
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	65
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	9
	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	40
	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	10
Suva	Urin	β	Scint	H-3, C-14, P-32, P-33, S-35, Ca-45	200

Scint Flüssigszintillator
 Nal Nal-Szintillator
 PC Proportionalzähler

Ge Germanium-Detektor
 Si Silizium-Detektor

Tabelle 2: Personen-Tiefendosen durch äussere Bestrahlung 2016: 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	29682	19128	998	18263	11990	2886	2012	613	3371	88943
0.1– 1.0	1392	265	55	380	1263	1389	105	10	131	4990
1.1 – 2.0	95	7	8	5	23	439	20		2	599
2.1 – 3.0	45	4	2	1	2	210	10			274
3.1 – 4.0	28	3			1	122				154
4.1 – 5.0	11	1			1	42	5		1	61
5.1 – 6.0	13	1				46	1			61
6.1 – 7.0	4	4	1			19				28
7.1 – 8.0	3					9	2			14
8.1 – 9.0	1					7	1			9
9.1 -10.0	1					2				3
10.1-11.0	2					1				3
11.1-12.0	2									2
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	1									1
> 50.0										
Total	31280	19413	1064	18649	13280	5172	2156	623	3505	95142
Kollektivdosis [Personen-Sv]	0.92	0.12	0.04	0.07	0.32	2.87	0.15	0.00	0.03	4.52

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 2016: Anzahl der Personen

Dosisintervall [mSv]	Medizin	Universitäten, Forschung	Kernkraftwerke und ZWILAG	Industrie und Ver- schiedenes	Total
= 0	691	174	30	39	934
0.1 - 25.0	679	128	90	41	938
25.1 - 50.0	64			2	66
50.1 - 75.0	17	1			18
75.1 - 100.0	8				8
100.1 - 125.0	4				4
125.1 - 150.0	2				2
150.1 - 175.0					
175.1 - 200.0					
200.1 - 500.0					
> 500.0					
Total	1465	303	120	82	1970

Tabelle 4: Effektive Folgedosen durch innere Bestrahlung 2016: Anzahl der Personen, Kollektivdosen und inkorporierte Nuklide

Dosisintervall [mSv]	Medizin	Universitäten, Forschung	Kernkraftwerke und ZWILAG	Uhrenindustrie	Übrige Industrie	Total
= 0	5	310	1	69	202	587
0.1– 1.0			1	3	2	6
1.1 – 2.0				5		5
2.1 – 3.0				1		1
3.1 – 4.0						
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	5	310	2	78	204	599
Kollektivdosis [Personen-Sv]	0.000	0.000	0.000	0.012	0.000	0.012
Nuklide mit $E_{50} > 1$ mSv				^3H		
Anzahl der Personen mit Triagemessungen ¹	1000	300	5000		160	6460

¹ geschätzt

Tabelle 5: Effektive Dosen durch äussere und innere Bestrahlung 2016: Anzahl der Personen und Kollektivdosen

Dosisintervall [mSv]	Spitäler	Arztpraxen	Radiologische Arztpraxen	Zahnärztliche Praxen	Universitäten, Forschung	Kernkraftwerke und ZWILAG	Industrie, Handel	Öffentliche Dienste	Verschiedenes	Total
= 0	29685	19128	998	18263	12008	2886	2229	611	3371	89179
0.1– 1.0	1392	265	55	380	1263	1389	110	10	131	4995
1.1 – 2.0	95	7	8	5	23	439	25		2	604
2.1 – 3.0	45	4	2	1	2	210	11			275
3.1 – 4.0	28	3			1	122				154
4.1 – 5.0	11	1			1	42	5		1	61
5.1 – 6.0	13	1				46	1			61
6.1 – 7.0	4	4	1			19				28
7.1 – 8.0	3					9	2			14
8.1 – 9.0	1					7	1			9
9.1 -10.0	1					2				3
10.1-11.0	2					1				3
11.1-12.0	2									2
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	1									1
> 50.0										
Total	31283	19413	1064	18649	13298	5172	2384	621	3505	95389
Kollektivdosis [Personen-Sv]	0.92	0.12	0.04	0.07	0.32	2.87	0.16	0.00	0.03	4.53

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

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

* inklusive Triagemessungen

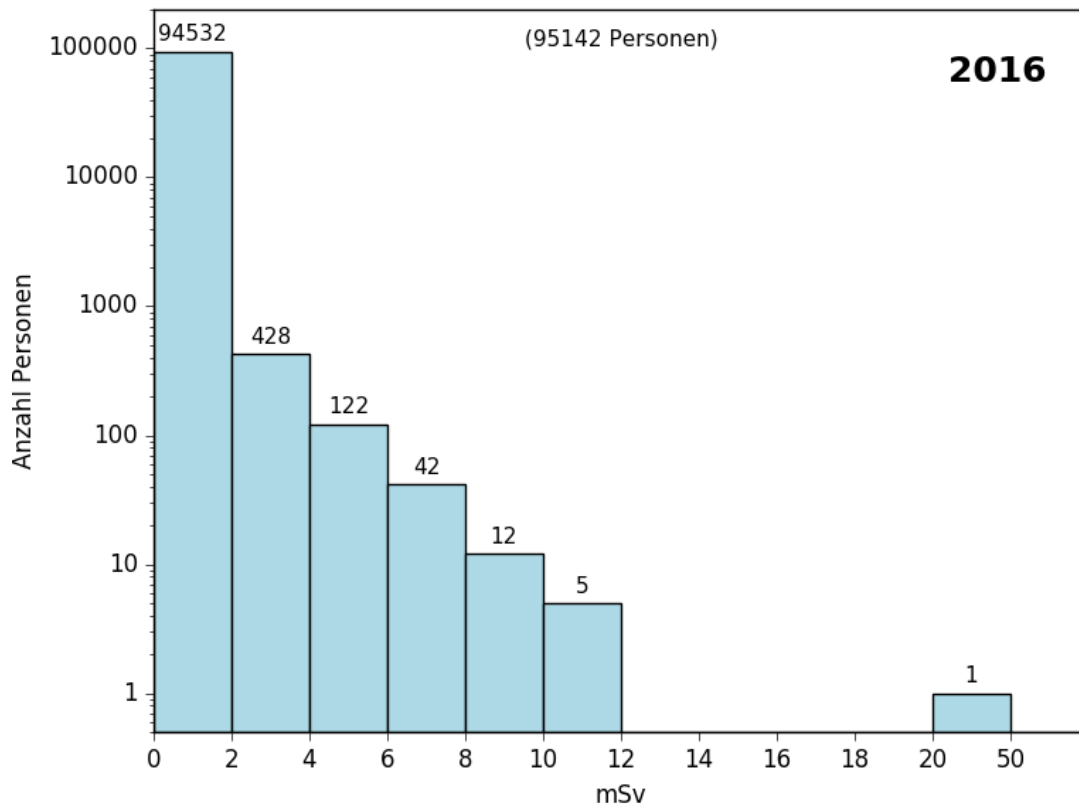
Tabelle 8: Handdosen seit 1977

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

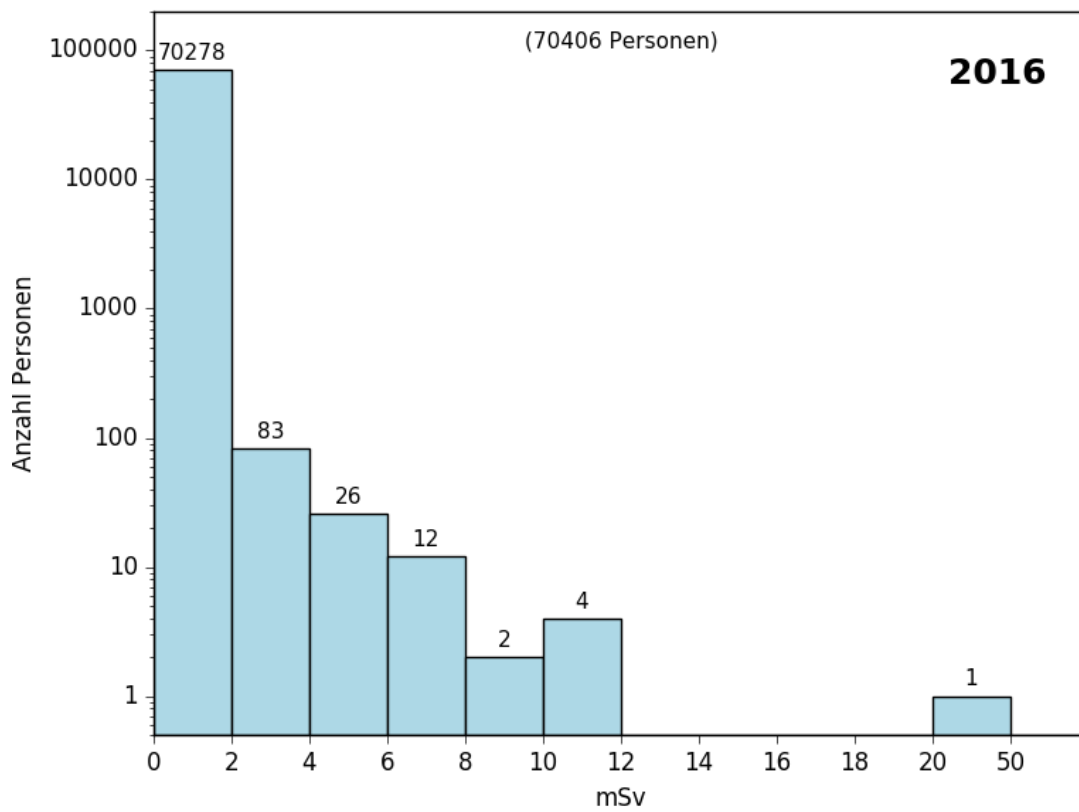
Tabelle 9: Grenzwertüberschreitungen seit 1995

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

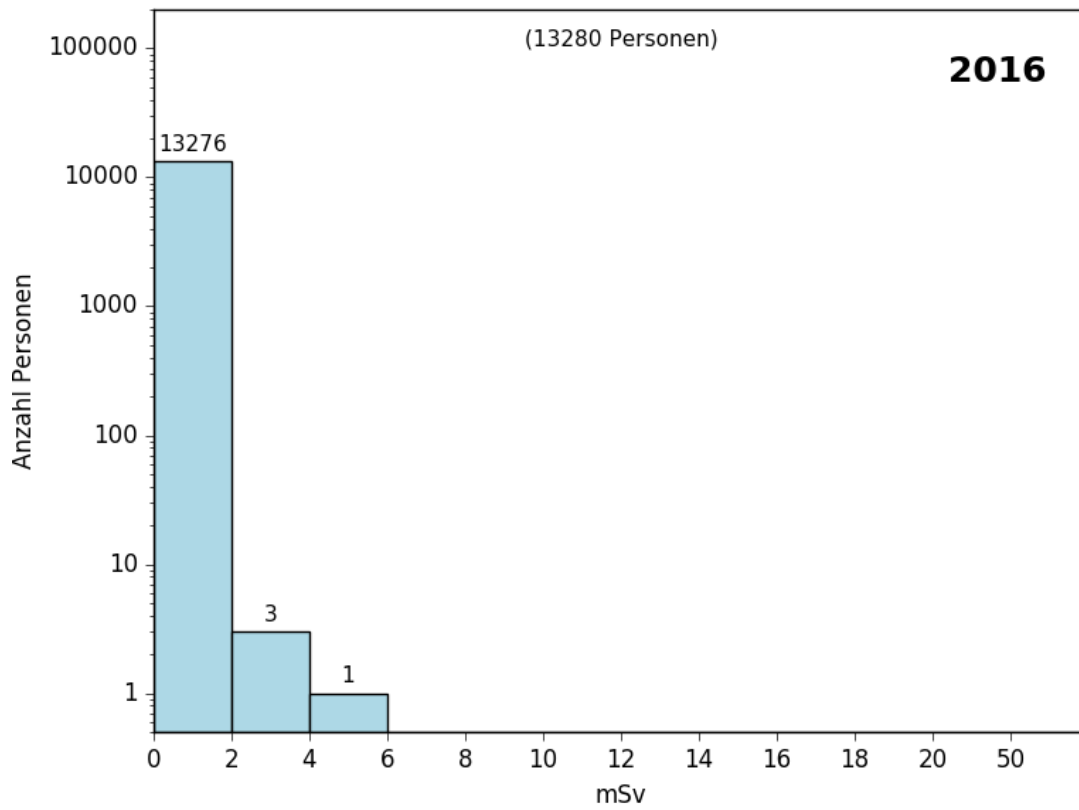
Figur 1: Personen-Tiefendosen durch externe Bestrahlung in allen Tätigkeitsbereichen



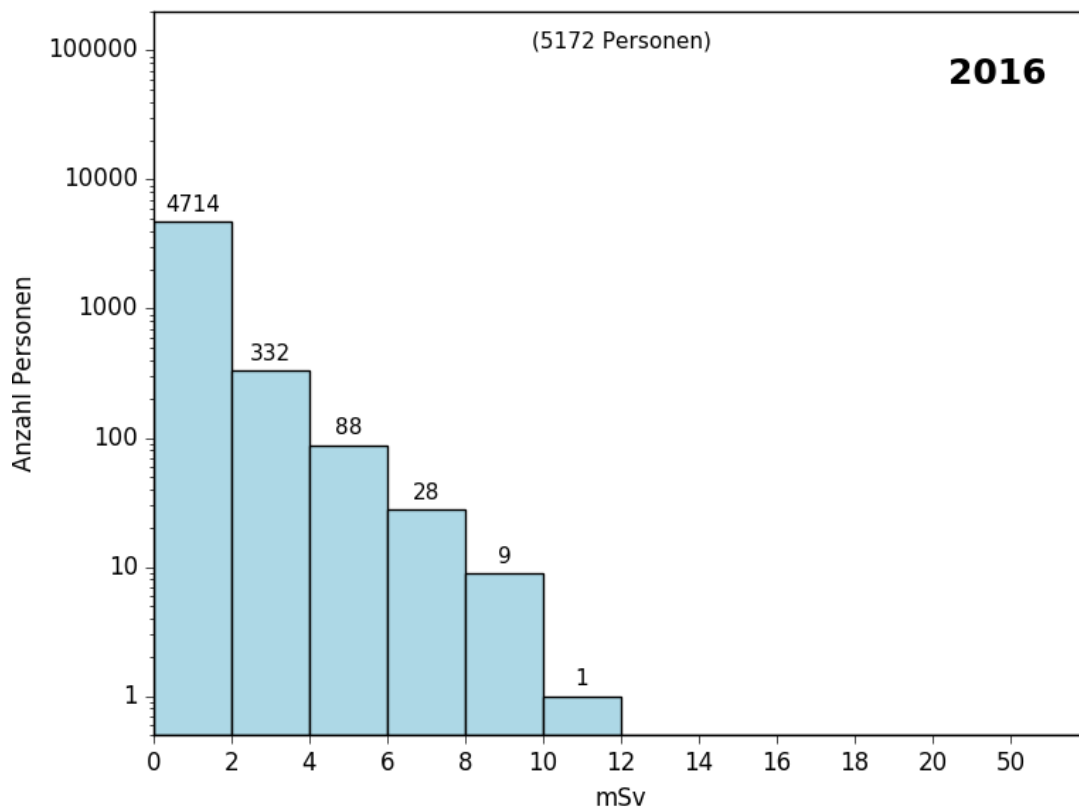
Figur 2: Personen-Tiefendosen durch externe Bestrahlung in der Medizin



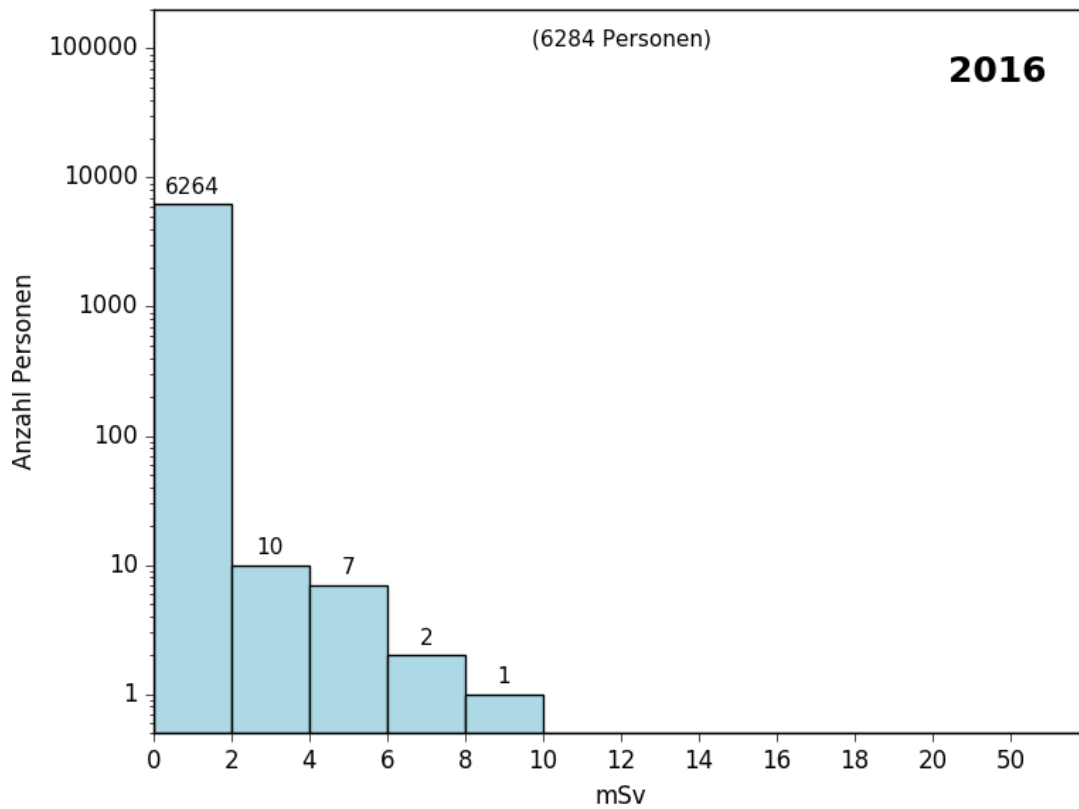
Figur 3: Personen-Tiefendosen durch externe Bestrahlung in Universitäten und Forschung



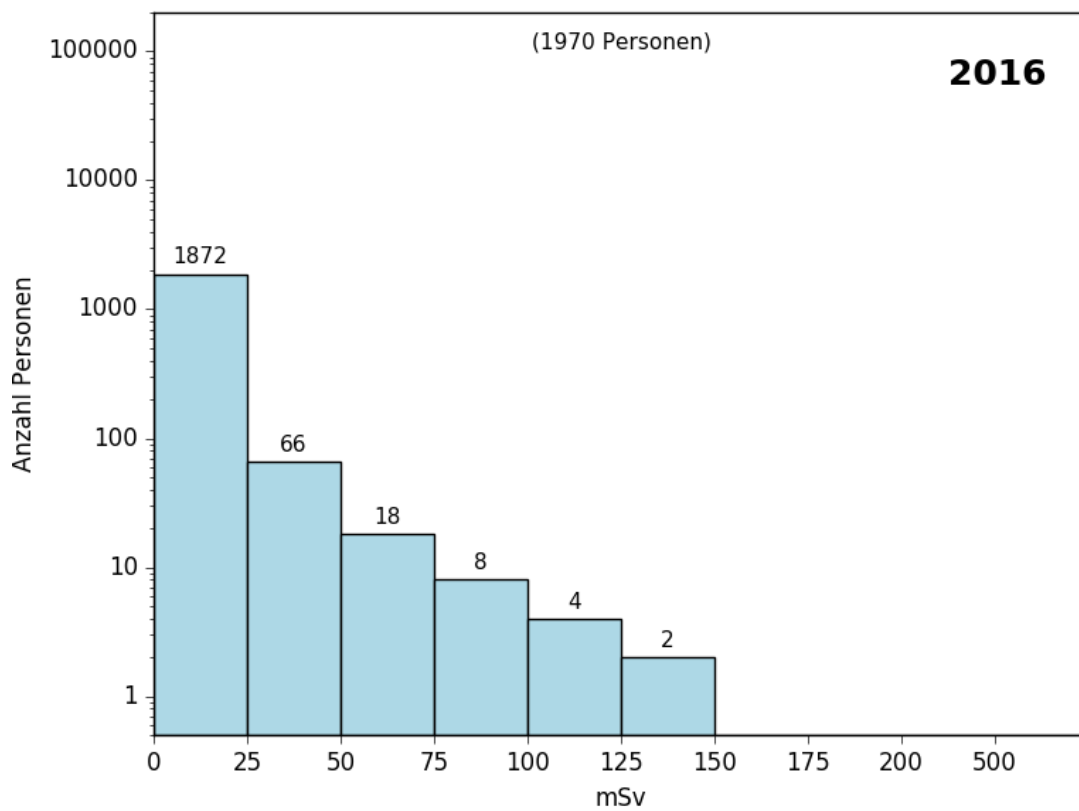
Figur 4: Personen-Tiefendosen durch externe Bestrahlung in Kernkraftwerken und ZWILAG



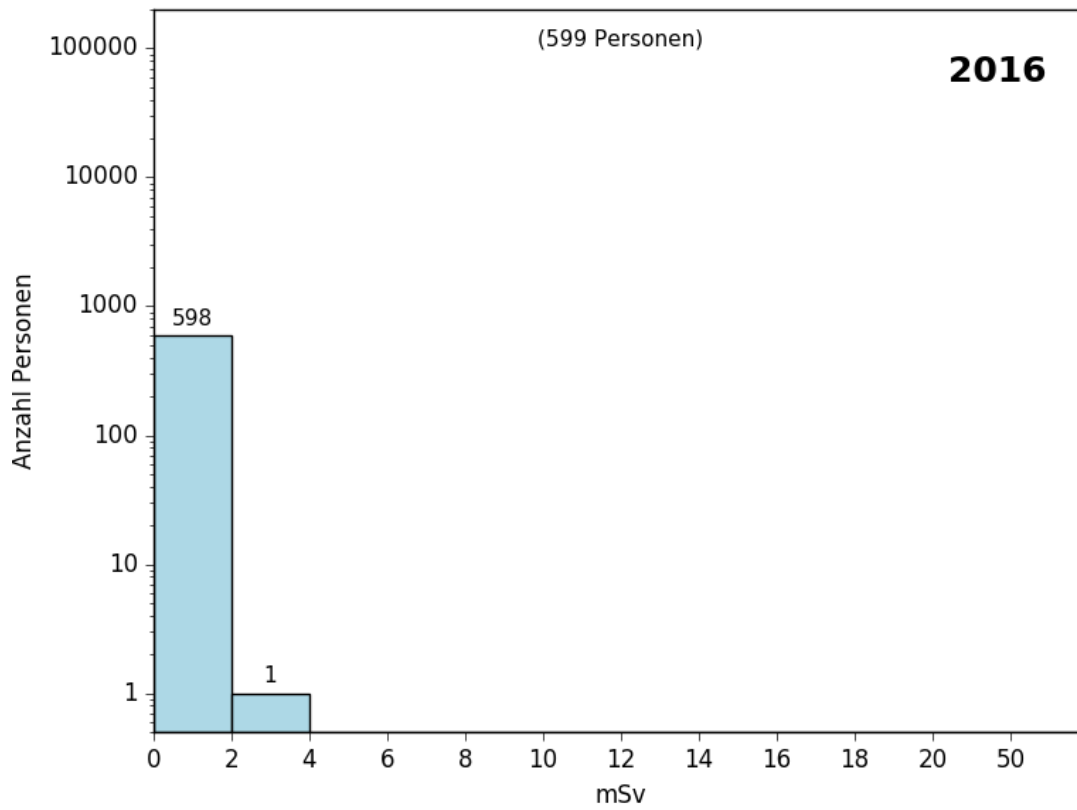
Figur 5: Personen-Tiefendosen durch externe Bestrahlung in Industrie und Verschiedenes (Handel, öffentliche Dienste, ..)



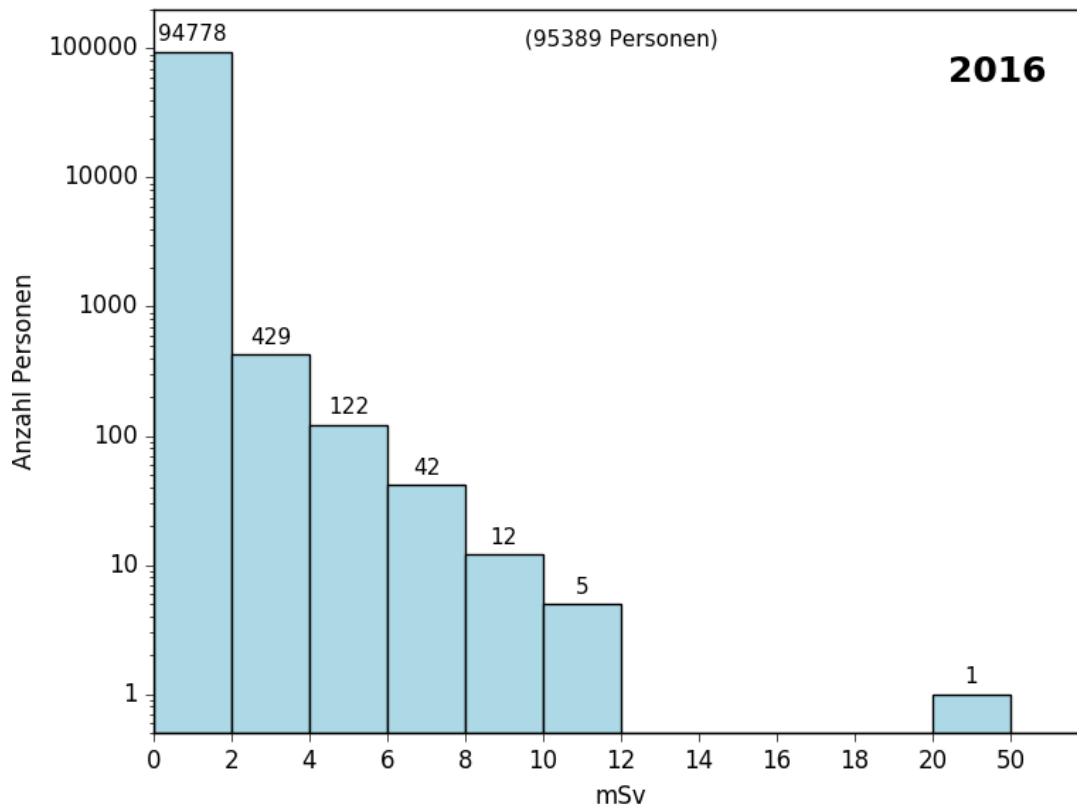
Figur 6: Handdosen in allen Tätigkeitsbereichen



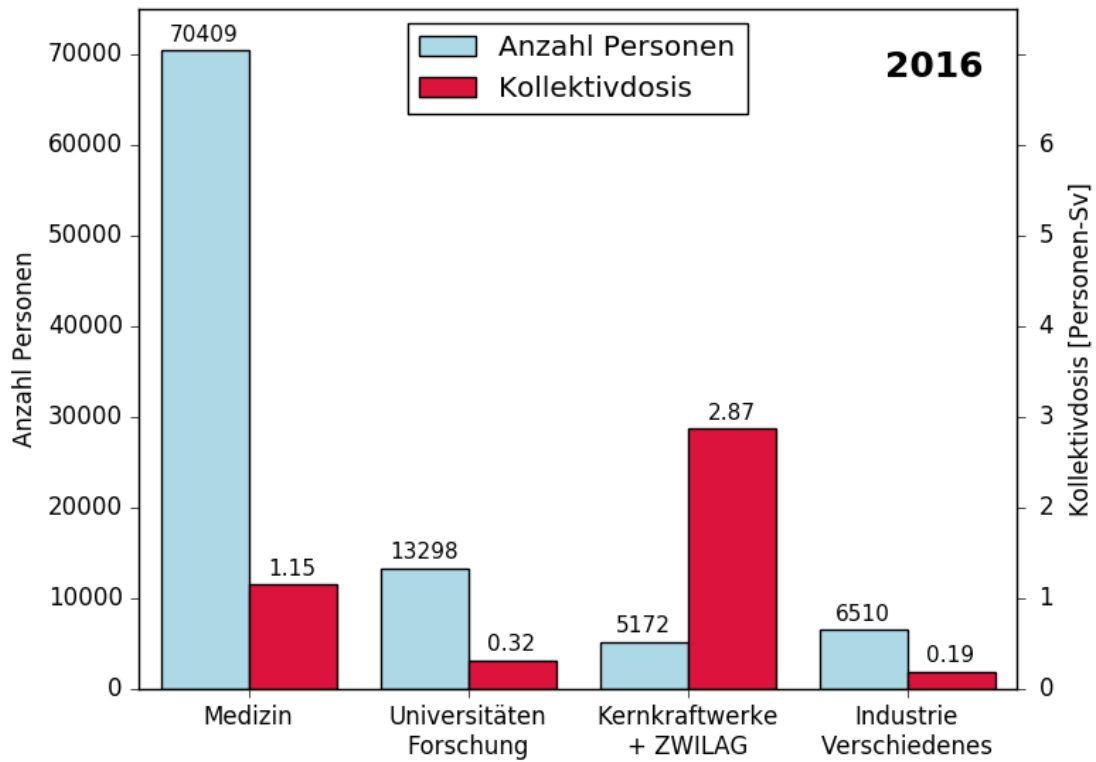
Figur 7: Effektive Folgedosen durch interne Bestrahlung



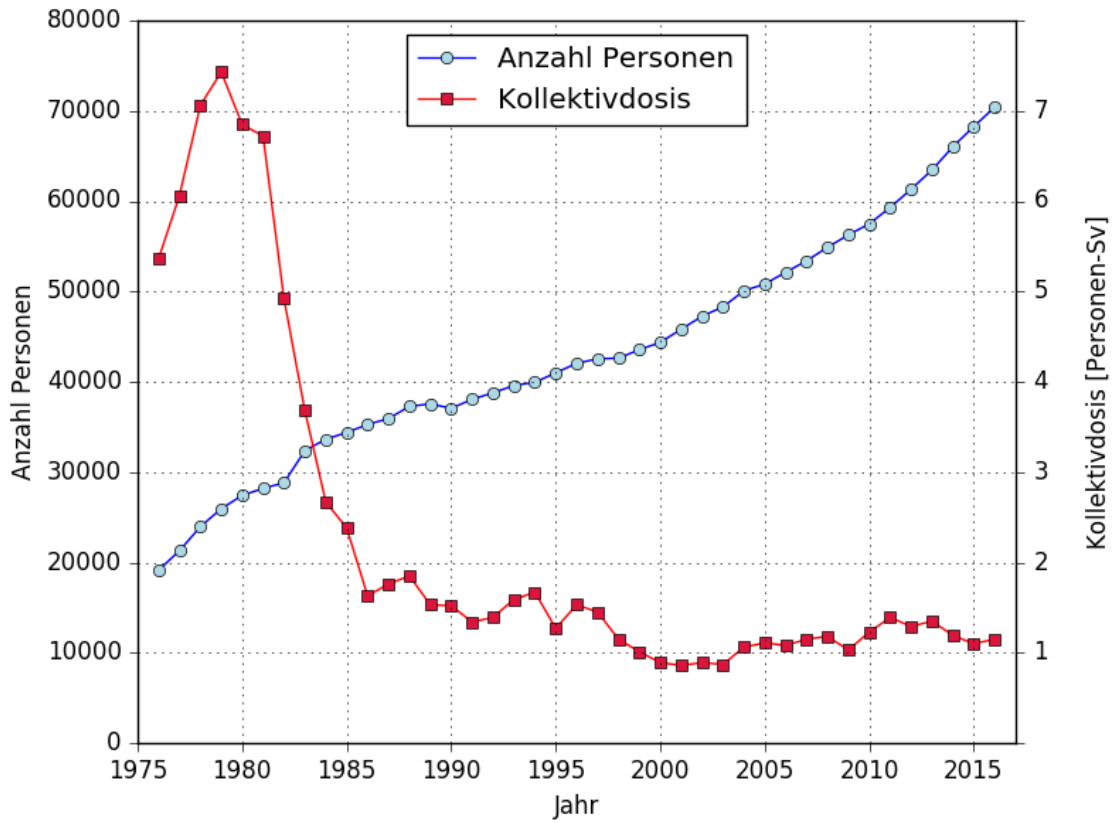
Figur 8: Effektive Dosen durch externe und interne Bestrahlung in allen Tätigkeitsbereichen



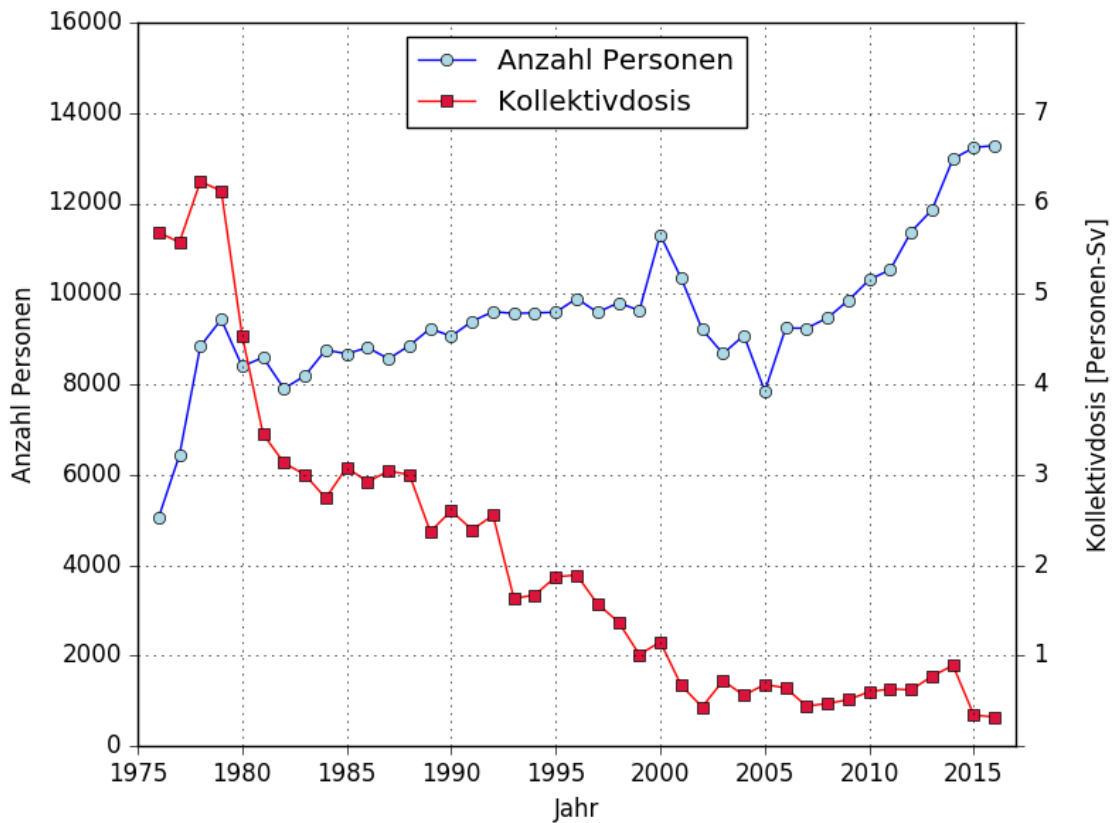
Figur 9: Anzahl Personen und Kollektivdosen durch externe und interne Bestrahlung



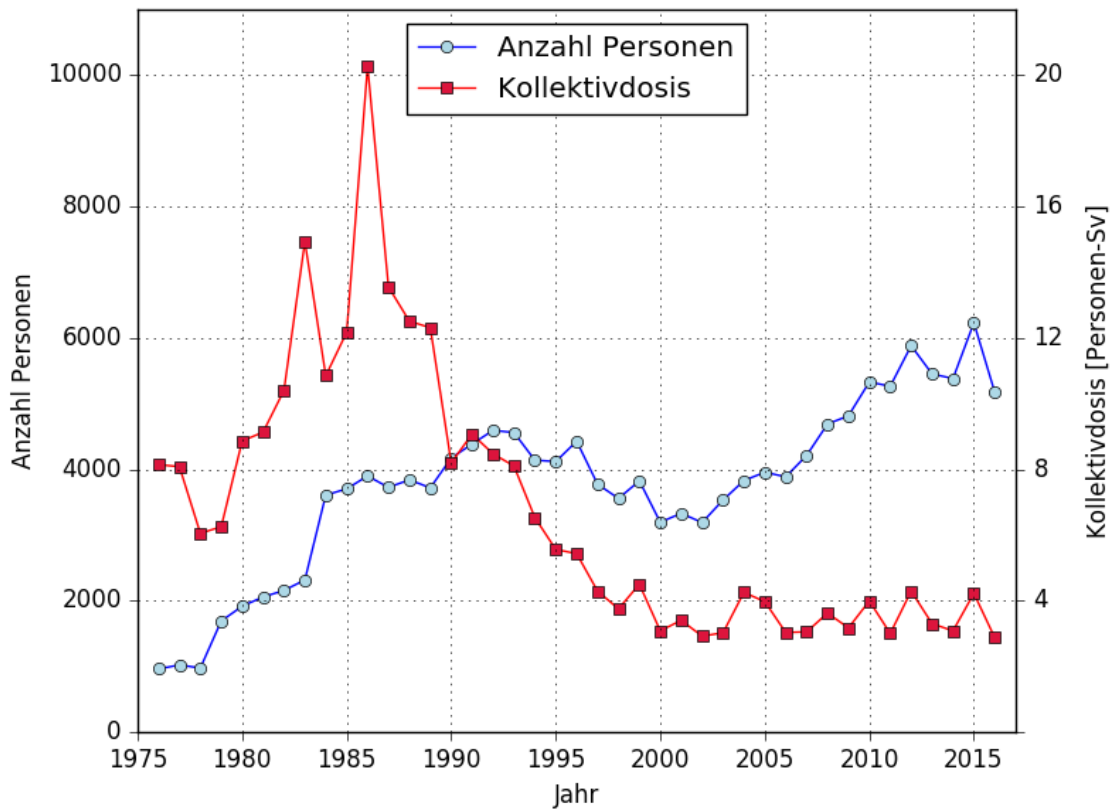
Figur 10: Externe Bestrahlung seit 1976 in der Medizin



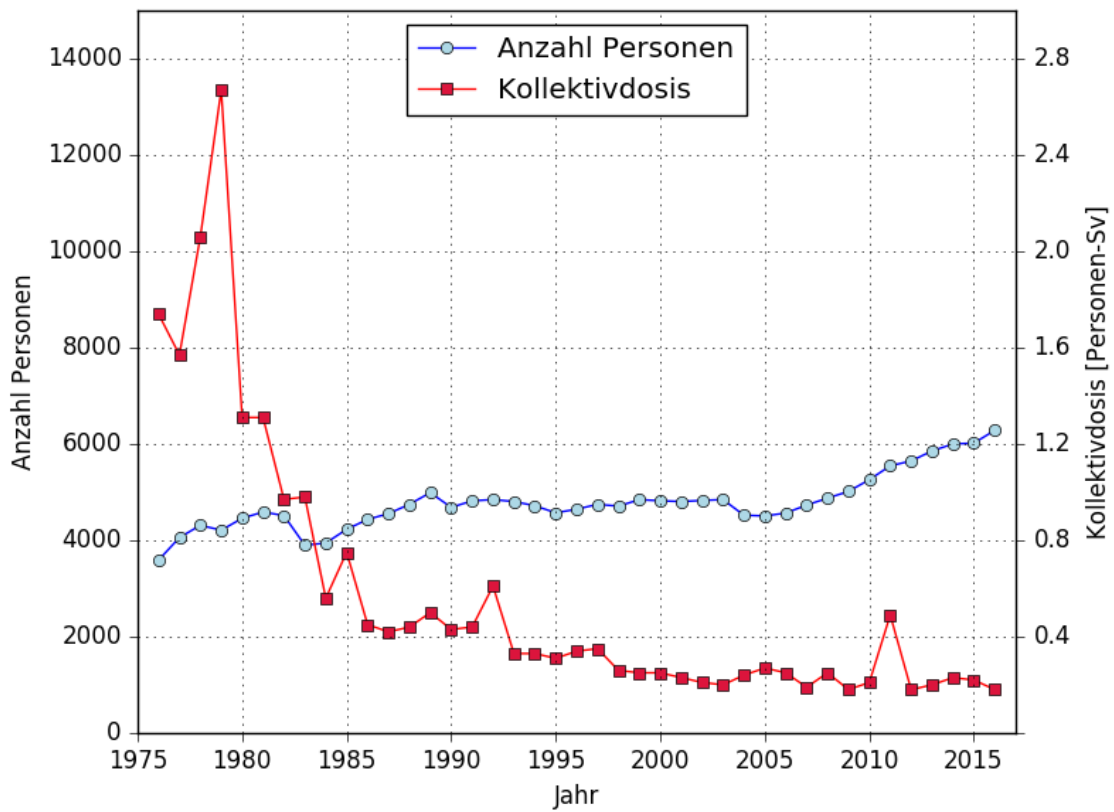
Figur 11: Externe Bestrahlung seit 1976 in Universitäten und Forschung



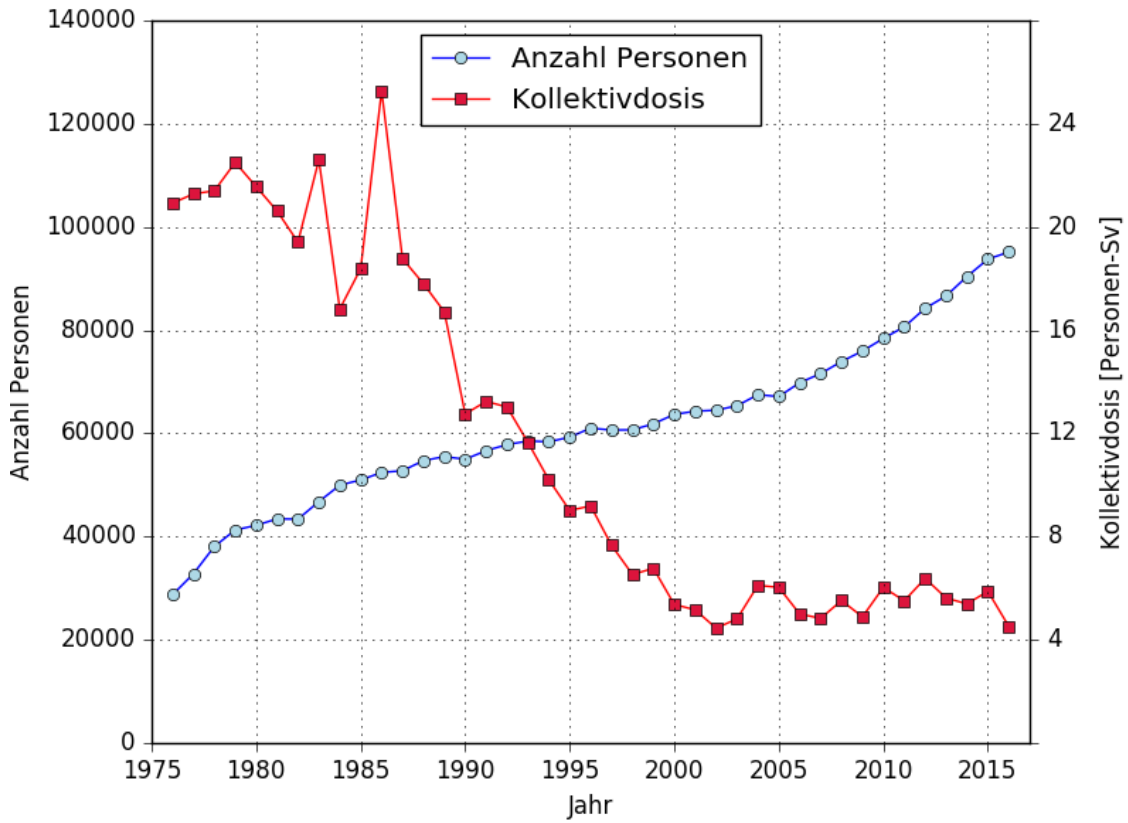
Figur 12: Externe Bestrahlung seit 1976 in Kernkraftwerken und ZWILAG



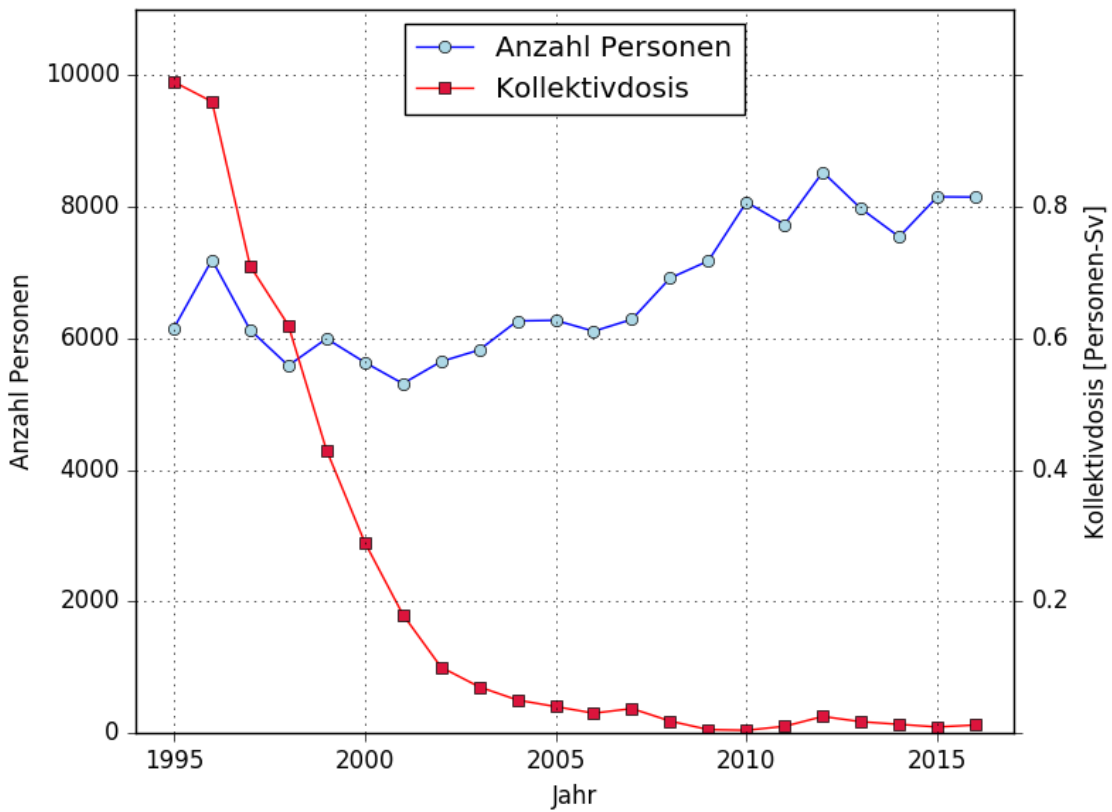
Figur 13: Externe Bestrahlung seit 1976 in Industrie und Verschiedenes (Handel, öffentliche Dienste, ..)



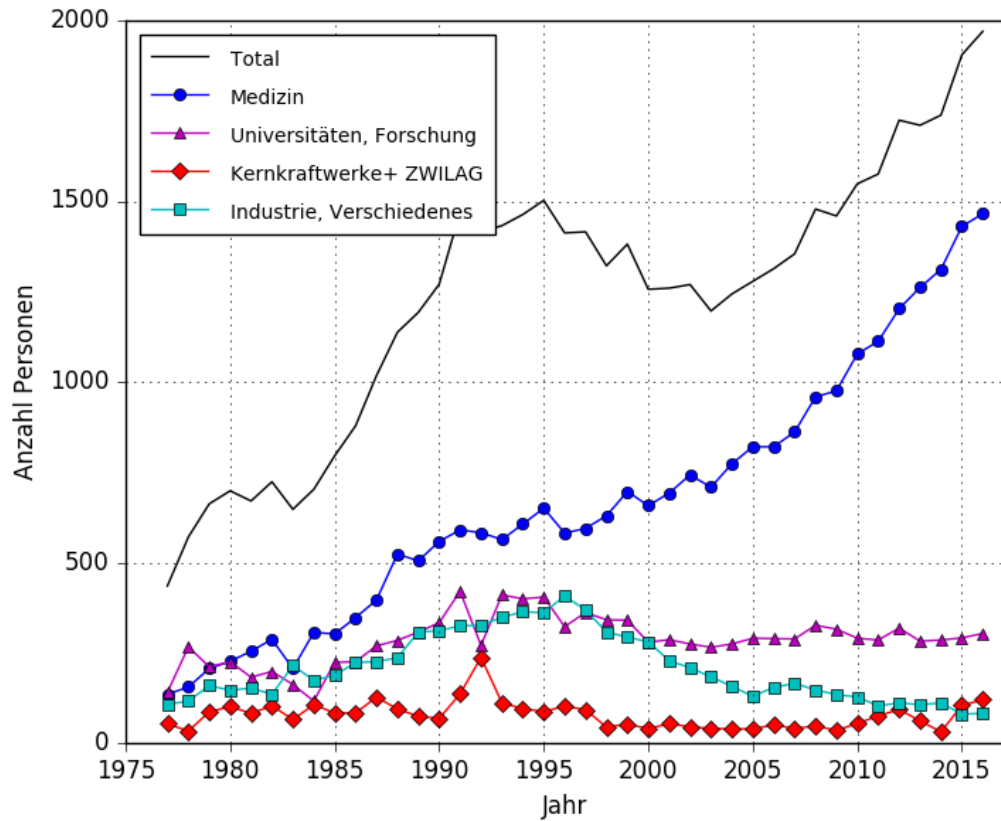
Figur 14: Externe Bestrahlung seit 1976



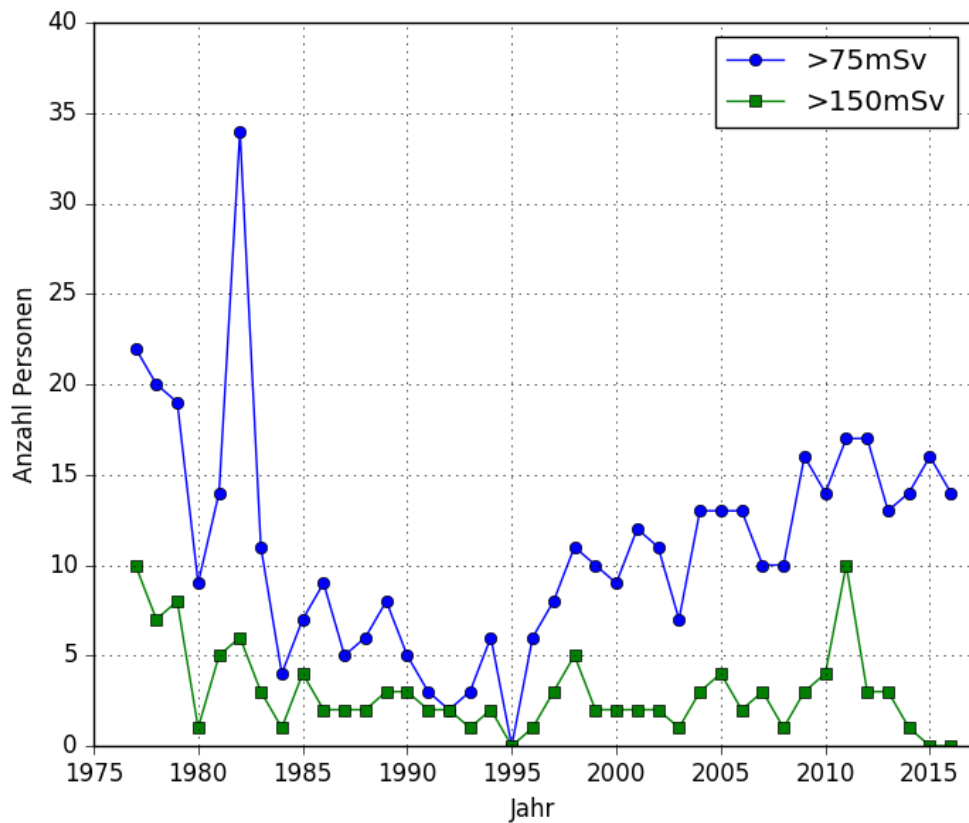
Figur 15: Interne Bestrahlung seit 1995



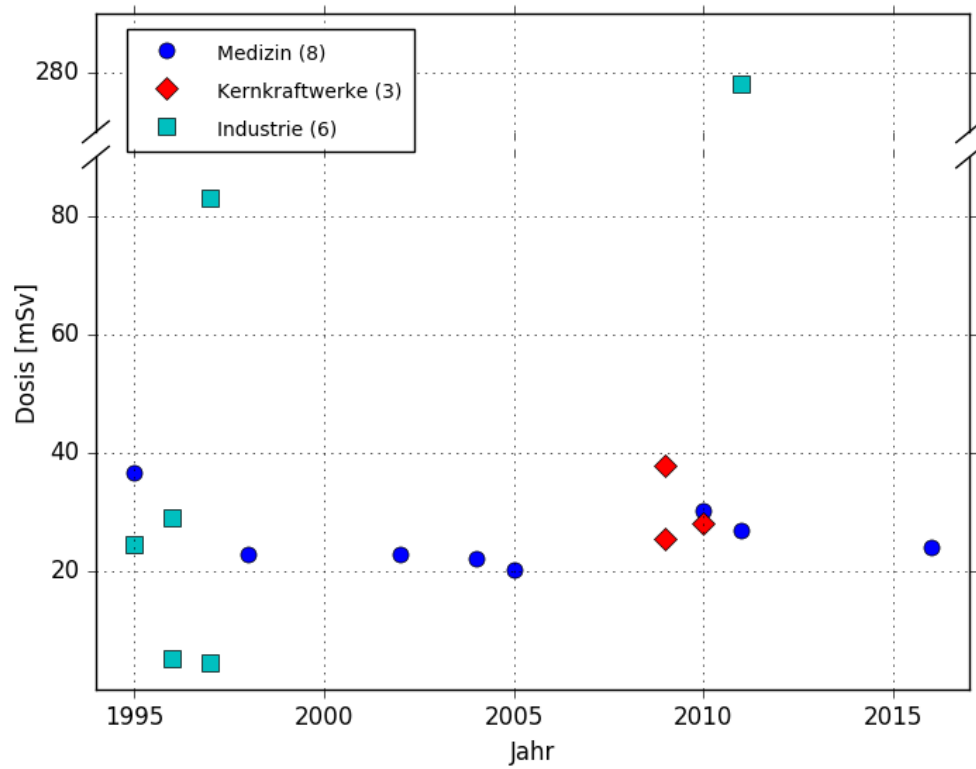
Figur 16: Handdosen: Anzahl Personen seit 1977



Figur 17: Hohe Handdosen in allen Tätigkeitsbereichen seit 1977



Figur 18: Effektive Dosen über dem Jahresgrenzwert seit 1995



Figur 19: Extremitätendosen über dem Jahresgrenzwert seit 1995

