



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI**  
**Inspection fédérale de la sécurité nucléaire IFSN**  
**Ispettorato federale della sicurezza nucleare IFSN**  
**Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate ENSI**



## Strahlenschutzbericht 2016

**Strahlenschutzbericht 2016**

**Rapport sur la radioprotection 2016**

**Radiological Protection report 2016**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>4</b>
<b>Préface</b>	<b>6</b>
<b>Foreword</b>	<b>8</b>
<b>Prefazione</b>	<b>10</b>
<b>A: Strahlenschutz in den Kernanlagen</b>	<b>13</b>
<b>1 Kernkraftwerke</b>	<b>14</b>
1.1 Kernkraftwerk Beznau (KKB)	14
1.2 Kernkraftwerk Gösgen (KKG)	16
1.3 Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)	18
1.4 Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)	19
<b>2 Weitere Kernanlagen</b>	<b>21</b>
2.1 Paul Scherrer Institut (PSI)	21
2.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL)	21
2.3 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)	22
2.4 Universität Basel	22
<b>3 Grafische Darstellungen</b>	<b>23</b>
<b>4 Dosimetrie</b>	<b>29</b>
4.1 Einleitung	29
4.2 Personendosimetrie	29
4.3 Bewertung der Strahlenexposition in den Kernanlagen	54
4.4 Entwicklung der Exposition	55

<b>B: Umweltradioaktivität bei Kernanlagen, Überwachung</b>	<b>57</b>
<b>5 Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen</b>	<b>57</b>
5.1 Emissionen aus den Kernanlagen	57
5.2 Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen	72
<b>6 Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK)</b>	<b>73</b>
6.1 Übersicht	73
6.2 Systeminstandhaltung und -ergänzung	75
6.3 Systemverfügbarkeit und Störungen	75
6.4 Qualitätssicherung	76
6.5 Messergebnisse	76
<b>7 Atmosphärische Ausbreitung</b>	<b>81</b>
7.1 Modellberechnungen im Ereignisfall	81
7.2 Atmosphärisches Ausbreitungs- und Dosisberechnungsmodell JRODOS	81
<b>8 Aeroradiometrische Messungen</b>	<b>87</b>
8.1 Einleitung	87
8.2 Messungen und Messresultate 2016	87
8.3 Langzeitanalyse	88
8.4 Literatur	93

# Vorwort

Im vorliegenden ENSI Strahlenschutzbericht 2016 vermittelt das ENSI einen Gesamtüberblick über den Strahlenschutz in seinem Aufsichtsbereich. Teil A des Berichtes behandelt den Schutz des Personals von Kernanlagen vor den Gefahren der ionisierenden Strahlung. Er enthält unter anderem die Zusammenstellung der vom Personal akkumulierten Personendosen nach verschiedenen Parametern aufgeschlüsselt. In Anwendung des Optimierungsgebots konnten die Jahreskollektivdosen in den Kernkraftwerken der Schweiz seit Anfang ihres Betriebs dank der grossen Anstrengungen der Betreiber, aber auch der Behörden deutlich reduziert werden. Im Jahr 2016 wurden von insgesamt 6153 dosimetrierten Personen 2877 Pers.-mSv akkumuliert. Die Kollektivdosen haben einen tiefen Wert erreicht, der dem radiologischen Zustand der Anlagen sowie dem notwendigen Umfang an Arbeiten in den kontrollierten Zonen (z.B. zerstörungsfreie Prüfungen) entspricht. Das ENSI wird den Trend der Kollektivdosen weiterhin verfolgen und die Begründungen für lokale Abweichungen sowie für die eingeleiteten Massnahmen bewerten.

Die Individualdosen der im Aufsichtsbereich des ENSI beschäftigten Personen sind 2016 mit einem Maximalwert von 10 mSv und einem Mittelwert von 0,5 mSv deutlich unter dem Dosisgrenzwert von 20 mSv für beruflich strahlenexponierte Personen geblieben.

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit der Abluft und mit dem Abwasser aus den Kernanlagen werden im Teil B des Berichtes behandelt. Die Betreiber von Kernanlagen haben die behördlich festgelegten Abgabelimiten auch 2016 eingehalten, teilweise mit beträchtlichen Margen. Die Emissionen der schweizerischen Kernanlagen führten in der unmittelbaren Umgebung zu einer Dosis von weniger als 0,01 mSv pro Jahr. Der Vergleich mit der mittleren jährlichen Strahlendosis der Bevölkerung in der Schweiz von 5,5 mSv pro Jahr zeigt, dass der entsprechende Beitrag aus den Kernanlagen im Bereich eines Prozents davon liegt. Die flüssigen Abgaben der schweizerischen Kernanlagen lagen zudem unter dem aufgrund internationaler Empfehlungen vom ENSI festgesetzten Zielwert von 1 GBq pro Jahr.

Das ENSI überzeugt sich mittels Inspektionen und Vergleichsmessungen, dass die nötigen kalibrierten resp. geeichten Strahlenschutzmessmittel vorhanden sind und diese bestimmungsgemäss eingesetzt werden, um korrekte Messwerte zu ermitteln. Es betreibt zu diesem Zweck eine nach ISO 17025 akkreditierte Prüfstelle.

Das vom ENSI betriebene Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK) misst ganzjährig und 24 Stunden pro Tag die Dosisleistung in der Umgebung der Kernkraftwerke. Die 10-Minuten-, Stunden- und Tagesmittelwerte der Messungen sind auf der Internetseite des ENSI in Echtzeit abrufbar. Für die Behörden und gegenüber der Öffentlichkeit dient dieses Messnetz der Beweissicherung. Im Berichtsjahr wurden keine erhöhten Ortsdosisleistungswerte, die auf Abgaben der Kernkraftwerke zurückzuführen wären, festgestellt. Einzelne lokal erhöhte Messwerte sind auf Schwankungen der natürlichen (Untergrund-) Strahlung, zum Beispiel nach Regenfällen, zurückzuführen.

Seit Anfang 2016 wird zur Modellierung der atmosphärischen Ausbreitung und zur Dosisberechnung im Ereignisfall das Programm JRODOS (Java-based Realtime Online Decision Support system) eingesetzt. JRODOS erlaubt die direkte Verwendung von 3D-Wettervorhersagedaten aus dem von MeteoSchweiz routinemässig eingesetzten Modell COSMO-1 mit einer Maschenweite von 1 km. Das Modell COSMO-1 liefert Prognosen in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung bis zu 24 Stunden in die Zukunft. Um der kleinräumigen Landschaftsstruktur der Schweiz und des süddeutschen Raumes gerecht zu werden, verwendet JRODOS das feinst aufgelöste Höhenmodell (DHM25) des Bundesamtes für Landestopografie swisstopo. Zusammen mit den Mitteln der Aeroradiometrie stehen damit jederzeit einsetzbare, wertvolle und genaue Instrumente für die aktuelle Beurteilung (Diagnose) und eine Prognose der radiologischen Lage zur Verfügung.

Im Berichtsjahr wurden alle Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung eingehalten. Es gab in den Kernanlagen keine Vorkommnisse, die zu einer un-

zulässigen Strahlenexposition von Personal oder Bevölkerung geführt haben. Das ENSI kommt zum Schluss, dass in den schweizerischen Kernanlagen weiterhin ein guter Strahlenschutz betrieben wird, bei dem das Optimierungsprinzip konsequent angewendet wird.

MADUK-Messwerte:

<https://www.ensi.ch/de/messwerte-radioaktivitat/>

Monatliche radioaktive Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke:

<https://www.ensi.ch/de/dokumente/document-category/abgaben-radioaktiver-stoffe/>

# Préface

Dans le présent rapport sur la radioprotection IFSN 2016, l'IFSN donne une vue d'ensemble de la radioprotection dans son domaine de surveillance. La partie A du rapport traite de la protection du personnel des centrales nucléaires face aux dangers du rayonnement ionisant. Elle comprend notamment le récapitulatif des doses individuelles accumulées par le personnel, avec une ventilation selon différents paramètres. En application du principe d'optimisation, les doses collectives annuelles au sein des centrales nucléaires suisses ont pu être réduites de façon significative depuis le début de l'exploitation grâce aux importants efforts déployés par les exploitants mais aussi les autorités. En 2016, sur les 6153 personnes ayant reçu des doses au total, 2877 Pers.-mSv ont été accumulés. Les doses collectives ont atteint une valeur basse correspondant à l'état radiologique des installations et à l'envergure requise des travaux dans les zones contrôlées (p. ex. essais non destructifs). L'IFSN continuera à suivre la tendance des doses collectives et à évaluer les motifs des écarts locaux tout comme les mesures engagées.

En 2016, les doses individuelles des personnes employées dans le domaine de surveillance de l'IFSN, présentant une valeur maximale de 10 mSv et une valeur moyenne de 0,5 mSv, sont restées nettement inférieures à la limite de dose de 20 mSv pour les personnes exposées au rayonnement dans un cadre professionnel.

Les rejets de substances radioactives par l'air et les effluents liquides des centrales nucléaires sont abordés dans la partie B du rapport. Les exploitants de centrales nucléaires ont respecté les limites de rejets fixées par les autorités en 2016 également, en affichant partiellement de grandes marges. Les émissions des centrales nucléaires suisses ont conduit dans le voisinage immédiat à une dose inférieure à 0,01 mSv par année. La comparaison avec la dose moyenne annuelle de rayonnement de la population en Suisse, de 5,5 mSv par an, montre que la contribution issue des centrales nucléaires se situe à hauteur de 1%. Les rejets liquides des installations nucléaires suisses se situaient par ailleurs en dessous de la valeur cible d'un gigabecquerel par année. Cette valeur cible a

été fixée par l'IFSN sur la base de recommandations internationales.

Au moyen d'inspections et de mesures comparatives, l'IFSN s'assure que les outils de mesure de la radioprotection, calibrés ou étalonnés, sont disponibles et utilisés de manière conforme afin de déterminer des valeurs de mesure correctes. Pour ce faire, il opère un centre de contrôle accrédité selon ISO 17025.

Le réseau de mesure exploité par l'IFSN pour la surveillance automatique du débit de dose dans le voisinage des centrales nucléaires (MADUK) mesure toute l'année et 24 heures sur 24 le débit de dose au voisinage des centrales nucléaires. Les valeurs moyennes horaires, journalières et pour 10 minutes peuvent être consultées sur le site de l'IFSN en temps réel. Pour les autorités et vis-à-vis de l'opinion publique, ce réseau de mesure tient lieu de preuve. Durant l'année sous revue, il n'a été recensé aucune valeur accrue de débit de dose local pouvant être attribuée à des rejets de centrales nucléaires. Certaines valeurs de mesure accrues au niveau local s'expliquent par des fluctuations du rayonnement naturel (souterrain), par exemple après des averses.

Depuis début 2016, le programme JRODOS (Java-based Realtime Online DecisiOn Support system) est employé pour la modélisation de la propagation atmosphérique et le calcul de dose en cas d'incident. JRODOS permet l'utilisation directe des données 3D de prévisions météorologiques provenant du modèle COSMO-1 systématiquement utilisé par MétéoSuisse avec une largeur de maille de 1 km. Le modèle COSMO-1 fournit des prévisions jusqu'à 24 heures avec une haute résolution spatiale et temporelle. Pour tenir compte de la structure paysagère à petite échelle de la Suisse et de l'espace du sud de l'Allemagne, JRODOS utilise le modèle altimétrique à résolution ultrafine (DHM25) de l'Office fédéral de topographie swisstopo. Avec les ressources de l'aéroradiométrie, il existe ainsi des instruments précis et utilisables à tout moment pour l'évaluation actuelle (diagnostic) et la prévision de la situation radiologique.

Durant l'année sous revue, toutes les valeurs limites de l'ordonnance sur la radioprotection ont été res-

pectées. Les centrales nucléaires n'ont connu aucun événement ayant conduit à une exposition non admissible au rayonnement pour le personnel ou la population. L'IFSN parvient à la conclusion que les centrales nucléaires suisses continuent à pratiquer une bonne radioprotection dans laquelle le principe d'optimisation est appliqué de manière efficace.

Valeurs de mesure MADUK:

<https://www.ensi.ch/fr/valeurs-de-mesure-de-la-radioactivite/>

Rejets radioactifs mensuels des centrales nucléaires suisses:

<https://www.ensi.ch/fr/documents/document-category/rejets-de-substances-radioactives/>



# Foreword

*In this ENSI Radiological Protection Report 2016, ENSI provides an overview of the radiological protection in its area of supervision. Part A of the report deals with protecting the staff of nuclear power plants from the dangers of ionising radiation. It also includes a list of the personal doses accumulated by the staff, broken down by various parameters. Applying the optimisation imperative, it has proved possible to significantly reduce the annual collective doses in Switzerland's nuclear power plants since they came on stream thanks to major efforts by the operators. In 2016, a total of 6,153 people measured accumulated 2,877 person-mSv. The collective doses have reached a low level corresponding to the radiological condition of the plants and the scope of the work required to be performed in controlled zones (e.g. non-destructive materials testing). ENSI will continue to follow the trend for collective doses and assess the reasons for local variances as well as for measures initiated.*

*The individual doses for people employed in ENSI's area of supervision in 2016 showed a maximum figure of 10 mSv and a mean value of 0.5 mSv which was significantly below the dose limit of 20 mSv for occupational radiation exposure.*

*The discharge of radioactive substances with the exhaust air and waste water from nuclear power plants are dealt with in Part B of the report. Nuclear power plant operators again met in 2016 the admissible release limits set by the authorities, in some cases by a considerable margin. The emissions of Swiss nuclear power plants led to a dose of less than 0.01 mSv per year in the direct neighbourhood. Comparison with the average annual radiation dose for the Swiss population of 5.5 mSv shows that the relevant contribution from nuclear power plants lies in the area of one percent of this figure. Effluents from Swiss nuclear power plants were also below the target of 1 GBq per year set by ENSI on the basis of international recommendations.*

*ENSI uses inspections and comparative measurements to ensure that the necessary calibrated radiological protection measurement equipment is*

*available and that it is used for its intended purpose in order to determine correct values. For this purpose, it operates a test centre accredited to ISO 17025.*

*The network operated by ENSI for automatically monitoring the dose rate in the vicinity of nuclear power plants (MADUK), measures dose rates surrounding nuclear power stations all year round and 24 hours a day. The 10-minute, hourly and daily mean rates measured can be viewed on ENSI's website in real time. This monitoring network serves to secure evidence for the authorities and in dealings with the public. No local increases in dose rates were detected in the reporting year that could be attributed to discharges from nuclear power plants. Sporadic, locally high measurements are due to fluctuations in natural background radiation, e.g. after rainfall.*

*The programme JRODOS (Java-based Realtime Online DecisiOn Support system) has been used since the beginning of 2016 to model atmospheric spread and calculate the dose should an event occur. JRODOS allows the direct use of 3D weather forecast data from the COSMO-1 model routinely used by MeteoSwiss with a grid size of 1 km. The COSMO-1 model supplies forecasts stretching up to 24 hours into the future with high spatial and temporal resolution. In order to reflect the small-scale structure of the Swiss countryside and that of southern Germany, JRODOS uses the very high resolution elevation model (DHM25) from the Federal Office of Topography swisstopo. This means that together with the aerial radiometrics equipment, there are invaluable, precise instruments available at all times for making current assessments (diagnoses) as well as forecasts of the radiological situation.*

*In the reporting year, all thresholds contained in the Federal Ordinance on radiation protection were met. There were no events in the nuclear facilities leading to the inadmissible exposure of staff or the population to radiation. ENSI concludes that Swiss nuclear facilities continue to operate good radiological protection in which the optimisation principle is systematically applied.*

MADUK measurements:

<https://www.ensi.ch/de/messwerte-radioaktivitat/>

Monthly radioactive discharges from Swiss nuclear power stations:

<https://www.ensi.ch/de/dokumente/document-category/abgaben-radioaktiver-stoffe/>

# Prefazione

Nel presente Rapporto di radioprotezione 2016 dell'IFSN, l'Ispettorato federale della sicurezza nucleare (IFSN) presenta una panoramica complessiva della radioprotezione nel proprio ambito di sorveglianza. La parte A del Rapporto tratta la tutela del personale degli impianti nucleari esposto ai pericoli delle radiazioni ionizzanti. Comprende inoltre la composizione delle dosi individuali accumulate dal personale suddivisa in base a diversi parametri. Applicando il principio di ottimizzazione, è stato possibile ridurre considerevolmente le dosi collettive annue nelle centrali nucleari della Svizzera dall'inizio del loro esercizio grazie non solo ai notevoli sforzi dei gestori, ma anche all'intervento delle autorità. Nel 2016 sono stati accumulati 2877 pers.-mSv su complessivamente 6153 persone soggette a dosimetria. Le dosi collettive hanno raggiunto un valore molto basso che corrisponde allo stato radiologico degli impianti nonché all'entità necessaria dei lavori nelle zone controllate (per es. prove non distruttive). L'IFSN continuerà a seguire il trend delle dosi collettive e valuterà le motivazioni delle deviazioni locali e delle misure adottate per contrastarle.

Nel 2016 le dosi individuali delle persone occupate nell'ambito di sorveglianza dell'IFSN, con un valore massimo di 10 mSv e un valore medio di 0,5 mSv, sono risultate chiaramente inferiori al limite di dose di 20 mSv per le persone esposte professionalmente alle radiazioni.

Le emissioni di sostanze radioattive nell'aria espulsa e nelle acque di scarico provenienti dagli impianti nucleari sono trattate nella parte B del Rapporto. I gestori degli impianti nucleari hanno rispettato anche nel 2016 i limiti delle emissioni stabiliti dalle autorità, in parte con margini considerevoli. Le emissioni degli impianti nucleari svizzeri corrispondono ad una dose nelle loro immediate vicinanze appena inferiore a 0,01 mSv l'anno. Il confronto con la dose media annua ricevuta dalla popolazione svizzera di 5,5 mSv evidenzia che il contributo corrispondente proveniente dagli impianti nucleari è compreso entro un punto percentuale. I rilasci liquidi dagli impianti nucleari svizzeri sono risultati inferiori al valore target di 1 GBq l'anno stabilito dall'IFSN sulla base di raccomandazioni internazionali.

L'IFSN utilizza ispezioni e misurazioni comparative per convincersi che sussistano i necessari strumenti di misura per la radioprotezione, ben calibrati e tarati, e che tali strumenti siano utilizzati in modo conforme all'uso previsto per determinare valori di misurazione corretti. A tal fine, l'IFSN gestisce un centro di prova accreditato in conformità alla norma ISO 17025.

La rete di misurazione gestita dall'IFSN per la sorveglianza automatica nei dintorni delle centrali nucleari (MADUK) misura durante tutto l'anno, 24 ore al giorno, i ratei di dose nei dintorni delle centrali nucleari. I valori delle misurazioni rilevati ogni 10 minuti, così come le medie orarie e giornaliere, sono riportati alla pagina internet dell'IFSN e sono disponibili in tempo reale. Per le autorità e l'opinione pubblica questa rete di misurazione svolge una funzione di accertamento indipendente. Nell'anno di riferimento non sono stati registrati valori elevati dei ratei di dose ambientale che possano essere imputati ai rilasci delle centrali nucleari. Singoli valori aumentati sono stati misurati a livello locale e sono attribuibili a oscillazioni del (fondo) di radioattività naturale, ad esempio a seguito di piogge.

Dall'inizio del 2016 per il modello di dispersione nell'atmosfera e per il calcolo delle dosi in caso di emergenza si utilizza il programma JRODOS (Java-based **R**ealtime **O**nline **D**ecisi**O**n **S**upport system). JRODOS consente l'uso di dati meteorologici tridimensionali prognostici tratti dal modello COSMO-1 utilizzato di norma da MeteoSvizzera con una larghezza della maglia di 1 km. Il modello COSMO-1 fornisce previsioni con una risoluzione spaziale e temporale elevata fino alle 24 ore successive. Per tenere conto della struttura del paesaggio della Svizzera e Germania meridionale, caratterizzato da spazi ridotti, il sistema JRODOS utilizza il modello altimetrico ad alta risoluzione (DHM25) dell'Ufficio federale di topografia swisstopo. Insieme ai mezzi offerti dall'aeroradiometria, sono pertanto disponibili preziosi strumenti di calcolo sempre utilizzabili per una valutazione attuale (diagnosi) e una previsione della situazione radiologica.

Nell'anno di riferimento sono stati rispettati tutti i valori limite dell'Ordinanza sulla radioprotezione.

*Negli impianti nucleari non si sono verificati eventi che abbiano provocato un'esposizione non ammessa del personale e della popolazione alle radiazioni. L'IFSN è giunto alla conclusione che negli impianti nucleari svizzeri viene praticata una buona radioprotezione in cui il principio di ottimizzazione è applicato in modo conforme.*

Valori di misurazione MADUK:

<https://www.ensi.ch/de/messwerte-radioaktivitat/>

*Emissioni radioattive mensili delle centrali nucleari svizzere:*

<https://www.ensi.ch/de/dokumente/document-category/abgaben-radioaktiver-stoffe/>



# A: Strahlenschutz in den Kernanlagen

Die physikalische Überwachung der im Aufsichtsbe-  
reich des ENSI tätigen strahlenexponierten Perso-  
nen erfolgt mit Thermolumineszenz-Dosimetern  
(TLD) und Direct Ion Storage Dosimetern (DIS), wel-  
che von den anerkannten Personendosimetriestel-  
len monatlich ausgegeben werden.

Bei der Auswertung der Daten richtet sich das ENSI  
nach der «Empfehlung zur Rundung der Dosiswerte  
der anerkannten Personendosimetriestellen für die  
Meldung an die Kunden und an das Zentrale Dosis-  
register», die von der Eidgenössischen Kommission  
für Strahlenschutz (KSR) im Jahr 2004 veröffentlicht  
wurde. Die Messwerte werden gemäss den interna-  
tional üblichen Rundungsregeln in 0,1 mSv-Schrit-  
ten gerundet. Ferner werden im untersten Dosisbe-  
reich (kleiner als 0,1 mSv) Messwerte unterhalb von  
0,075 mSv auf 0 gerundet. Messwerte zwischen  
0,075 und 0,1 mSv werden auf 0,1 mSv gerundet.  
Fallweise können einzelne nicht dosisrelevante nu-  
merische Abweichungen zwischen den Auswertun-  
gen der Personendosimetriestellen und dem ENSI  
entstehen. Auch werden die von der Dosimetrie-  
stelle des PSI ermittelten Neutronendosen bei der  
Bestimmung der Ganzkörperdosen berücksichtigt,  
wenn sie Dosiswerte über der Nachweisgrenze von  
0,2 mSv zeigen.

Die Kernanlagen verwenden für die Planung der Re-  
visionskollektivdosen EPD-Werte (EPD= elektroni-

sche Personendosimeter). Um die geplanten Revisi-  
onskollektivdosen mit den tatsächlich akkumulierten  
Revisionskollektivdosen zu vergleichen und die Er-  
gebnisse nachvollziehbar zu bewerten, werden im  
Strahlenschutzbericht deshalb im Text nur EPD-  
Werte angegeben. Die Revisionskollektivdosen  
können nicht mit den anerkannten Dosimetern  
(üblicherweise TLD und DIS) gemessen werden, weil  
die Revisionsperiode nicht mit der monatlichen Aus-  
wertung der anerkannten Dosimeter übereinstimmt  
und weil eine nachvollziehbare und korrekte  
Jobdosimetrie dank deren Programmierbarkeit nur  
mit elektronischen Dosimetern erfolgen kann.

Damit am Ende des Dosimetriejahres eine Gesamt-  
kollektivdosis (Summe aus Leistungsbetriebs- und  
Revisionskollektivdosen) gebildet werden kann,  
müssen die EPD-Dosen aus physikalischen Gründen  
mit Hilfe eines Umrechnungsfaktors an die TLD-  
Werte angepasst werden. Es resultieren im Strah-  
lenschutzbericht unterschiedliche Werte für die  
Revisionskollektivdosen, sie werden jeweils klar be-  
zeichnet (EPD oder auf TLD umgerechnete Werte).

In den nachstehenden Kapiteln werden die Resultate  
der Auswertungen des ENSI dargestellt. Die Meldun-  
gen der Kollektivdosen erfolgen nach Vorgabe aus  
der Richtlinie ENSI-B09 «Ermittlung und Aufzeich-  
nung der Dosis strahlenexponierter Personen».

# 1 Kernkraftwerke

## 1.1 Kernkraftwerk Beznau (KKB)

### Schutz des Personals

Im Berichtsjahr wurden im KKB 1 während des ganzjährig andauernden Stillstands verschiedene

Revisionsarbeiten durchgeführt. Im KKB 2 wurde ein rund 13-tägiger Brennelementwechsel durchgeführt.

#### KKB 1

Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv		
	2014	2015	2016
Brennelementwechsel	113		
Revisionsstillstand		834	441
Zwischenabstellungen (mit elektronischen Dosimetern ermittelt und auf DIS-Werte normiert)	54		
Leistungsbetrieb	39	19	0
Gesamte Jahreskollektivdosis	206	853	441

#### KKB 2

Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv		
	2014	2015	2016
Brennelementwechsel	45		26
Revisionsstillstand		342	
Zwischenabstellung			
Leistungsbetrieb	40	32	63
Gesamte Jahreskollektivdosis	85	374	89

#### KKB 1 und 2

Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv		
	2014	2015	2016
Revisionsstillstand und BE-Wechsel	212	1176	467
Leistungsbetrieb	79	51	63
Gesamte Jahreskollektivdosis	291	1227	530

Im Berichtsjahr wurde in den beiden Blöcken des KKB eine Kollektivdosis von 530 Pers.-mSv verzeichnet. Die höchste im KKB registrierte Individualdosis betrug 8,5 mSv (2015: 10,7 mSv) und lag deutlich unterhalb des Dosisgrenzwerts der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr. Es wurden keine Personenkontaminationen festgestellt, die nicht mit herkömmlichen Mitteln entfernt werden konnten. Weder beim Eigenpersonal noch beim Fremdpersonal wurde eine nachweisbare Inkorporation oberhalb der Triageschwelle festgestellt.

Der Block 1 wurde am 13. März 2015 zu einem geplanten Revisionsstillstand abgefahren. Das Abfahren der Anlage verlief ohne Hinweise auf Brennelementschäden. Aufgrund der Komplexität bei der Charakterisierung und Bewertung der Befunde im Grundmaterial des Reaktordruckbehälters (RDB) blieb Block 1 im gesamten Berichtsjahr im Stillstand. Details dazu finden sich im Aufsichtsbericht des ENSI. Während des Stillstands wurden einige strahlenschutzrelevante Revisionsarbeiten im Block 1 durchgeführt. Es wurden zum Beispiel PT-Prüfungen (Farbeindringprüfungen) an den Loop-An-

schlussnähten im Cold Leg B, Wirbelstromprüfungen an Dampferzeuger-Heizrohren, Inneninspektion im Druckspeicher, Ultraschallprüfungen an der Surge Line, Instandhaltungsarbeiten an Armaturen der Erstabsperrung und an Sprühventilen, Austausch des Innenblocks der Reaktorhauptkühlmittelpumpe RHP-B mit Wechsel der Dichtung, Dekontamination der Closure Legs A und B und einer Ablassleitung mittels Wasserhöchstdruck sowie Wirbelstromprüfungen an den Anschlussstutzen der Hauptkühlmittelleitung am RDB durchgeführt. Diese Arbeiten waren über das ganze Jahr verteilt. Die akkumulierte Kollektivdosis für die Revisionsabstellung des Blocks 1 im Berichtsjahr betrug 417 Pers.-mSv (mit elektronischen Dosimetern ermittelt). Im Vergleich zur Plandosis von 410 Pers.-mSv liegt das Gesamtergebnis im Rahmen der Prognosegenauigkeit von  $\pm 20\%$ .

Aufgrund des anhaltenden Stillstands des Reaktors hat sich die radiologische Situation seit den Abstellarbeiten in 2015 nicht wesentlich geändert. Insbesondere war die radiologische Situation an den unbehandelten Komponenten aufgrund der dosisleistungsbeitragenden, langlebigen Radionuklide nur unwesentlich niedriger als im Frühjahr 2015. Die nuklidspezifischen Messungen der Kontaminationen im KKB 1 zeigen, dass das Beta/Gamma zu Alpha-Verhältnis im hohen Masse system- und komponentenabhängig ist. Auf Aerosolfilterproben aus der Cavity-Reinigung im KKB 1 betrug das mittlere Beta/Gamma zu Alpha-Verhältnis der Absolutaktivitäten ca. 500. Dies bedeutet, dass etwa 90% der Luftaktivität normiert auf CA (d.h. normiert auf eine Inkorporationsdosis) durch Alpha-Nuklide verursacht wird, wobei eine sehr grosse Schwankungsbreite vorhanden ist. Für den operationellen Strahlenschutz bedeutet dies, dass neben der Beta/Gamma-Kontamination auch die Alpha-Kontamination separat gemessen werden muss und dass bei jeder Öffnung des Primärkreislaufs bzw. im Rahmen einer Bearbeitung von kontaminierten Oberflächen eine Inkorporation mittels Zone IV-Tenue verhindert werden muss.

Ähnlich herausfordernde Verhältnisse wie bei der Cavity-Reinigung wurden bei der Demontage der Umluftkanäle, im Restwärmekühler und im Ablasskühler gefunden. Analog zu den Luftkontaminationen sind auch die Beta/Gamma zu Alpha-Verhältnisse bei den Oberflächenkontaminationen niedrig (10 bis 800 Gesamt-Beta/Gamma [Bq] zu Gesamt-Alpha [Bq]). Neben  $^{60}\text{Co}$  und  $^{137}\text{Cs}$  liefern auch  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{58}\text{Co}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{113}\text{Sn}$ ,  $^{124}\text{Sb}$  und  $^{125}\text{Sb}$  Beiträge zum Gesamt-Beta/Gamma-Aktivi-

tätswert, wobei die Zusammensetzung der Nuklidgemische je nach Probenahmeort sehr stark schwankt. Die Alpha-Kontamination wird häufig durch  $^{241}\text{Am}$  dominiert, allerdings werden die Messungen durch die natürlich vorkommenden Alpha-Emitter (aus der Uran und Thorium-Zerfallsreihe) erschwert.

Das gleiche Bild ergibt sich bei der Analyse von Wasserfilterproben aus dem BOTA-Tank. Das Verhältnis der Gesamt-Beta/Gamma-Aktivität im Wasser zur Alpha-Aktivität (im Filtrat) liegt derzeit bei ca. 1000. Dabei nimmt das Verhältnis mit der Zeit weiter ab, da die Gesamt-Beta/Gamma-Aktivität tendenziell sinkt und der Alpha-Anteil steigt. Die im Filter verbleibenden unlöslichen Korrosionsprodukte (CRUD) zeigen mittlerweile ein Aktivitätsverhältnis für Beta/Gamma zu Alpha von ca. 5:1. Ähnliche Verhältnisse gibt es im Wasser des BE-Lagerbecken-Kühlkreislaufs.

Die im Jahr 2015 aufgebauten Standardabschirmungen blieben auch im Jahr 2016 installiert. Im Durchschnitt konnte die Ortsdosisleistung (ODL) im Arbeitsbereich dadurch um den Faktor 3,7 gesenkt werden. Vereinzelt konnten deutlich höhere Abschirmfaktoren erreicht werden.

Block 2 wurde planmässig am 5. August 2016 für den Brennelementwechsel abgestellt. Das Abfahren verlief ohne Hinweise auf Brennelementschäden. Nach einer Stillstandsdauer von 13 Tagen wurde der Leistungsbetrieb am 18. August wieder aufgenommen.

Die Ortsdosisleistungen an den Komponenten des Primärkreislaufs haben sich im Vergleich zum Vorjahr, mit Ausnahme der Closure Legs und des RDB-Deckels, nicht signifikant verändert. An den Closure Legs stieg die ODL im Mittel um 8% an. Sie beträgt für das Closure Leg A ca. 1 mSv/h und für die B-Seite ca. 1,25 mSv/h. Die Dosisleistung gemessen auf der Innenseite des Reaktordruckbehälterdeckels liegt aufgrund des letztjährigen Austauschs niedriger als im Vorjahr. Die ODL an den Dampferzeugern ist im Vergleich zum Vorjahr um ca. 3% gefallen und liegt mit 0,13 mSv/h auf sehr niedrigem Niveau.

Aufgrund des geringen Umfangs der während des Brennelementwechsels durchgeführten Tätigkeiten ist kein direkter Vergleich des Verhältnisses von Beta/Gamma zu Alpha mit dem Vorjahr möglich. Im Mittel lagen die Verhältnisse im Transferbecken C, in der Reaktorgrube sowie im Transferkanal zwischen 1000 und 4000:1. Der im Jahr 2015 getauschte RDB-Deckel wies ein Verhältnis von Beta/Gamma zu Alpha von 2000:1 auf. Die niedrigsten



Werte in der Reaktorgrube lagen mit 150:1 deutlich unter den Vorjahreswerten (500 bis 1000:1). Der Trend der Verhältnisse ist weiterhin sinkend, die Werte lagen im Jahr 2014 noch bei 6000:1.

Die Nuklidzusammensetzung der Kontaminationen bestand grösstenteils aus <sup>51</sup>Cr und <sup>60</sup>Co. Teilweise wurde auch <sup>95</sup>Nb und <sup>95</sup>Zr in relevanten Mengen detektiert. In niedrigen Konzentrationen wurden auch andere kurzlebige Aktivierungsprodukte wie <sup>54</sup>Mn, <sup>58</sup>Co und <sup>124/125</sup>Sb nachgewiesen.

Die Kollektivdosis für den Brennelementwechsel betrug 25 Pers.-mSv (mit elektronischen Personendosimetern ermittelt), welche abstellungsbedingt während 5800 Arbeitsstunden in der kontrollierten Zone akkumuliert wurden. Im Vergleich zur Planungs-dosis von 40 Pers.-mSv, liegt das Gesamtergebnis bei 38% unter den Planungswerten. Die während der Abstellung akkumulierte Kollektivdosis verteilte sich zu jeweils 50% auf Eigen- und Fremdpersonal. Für sämtliche Arbeiten konnte die Planungs-dosis aufgrund von günstigen Bedingungen (z.B. niedrige radiologische Werte des Beckenwassers) sowie des reibungslosen Ablaufs der Arbeiten (Zeitersparnis) unterschritten werden. Zudem waren weniger Instandhaltungsarbeiten erforderlich als geplant.

Das ENSI konnte sich bei den durchgeführten Inspektionen davon überzeugen, dass im KKB während der Abstellungen ein fachgerechter Strahlenschutz praktiziert wurde.

### Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des KKB wurde im Rahmen von Inspektionen und Fachgesprächen vom ENSI stichprobenweise überprüft. Des Weiteren hat sich das ENSI anhand der vom Betreiber eingereichten Prüfprotokolle und Dokumente sowie durch Vor-Ort-Kontrollen davon überzeugt, dass die regelmässigen Überprüfungen der Messgeräte durch das Kraftwerkspersonal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten.

Im Berichtsjahr hat das ENSI dem KKB die Anerkennung für den Betrieb einer Wartungsstelle für geeichte Strahlenschutzmessgeräte erteilt. Dies ermöglicht es dem KKB, einfache Wartungsarbeiten, die nicht die Kalibrierung des Messgeräts betreffen, durchzuführen, ohne dass das Messgerät neu geeicht werden muss.

Zusätzlich zu den ENSI-Inspektionen wurden bestimmte Messsysteme im Rahmen von Vergleichsmessungen, an denen nationale Labors bzw. Messstellen teilnehmen, überprüft:

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem Bundesamt für Gesundheit (BAG) durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Jodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des KKB.
- An der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie hat die Dosimetriestelle des KKB den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten erbracht.

## 1.2 Kernkraftwerk Gösgen (KKG)

### Schutz des Personals

Im Berichtsjahr wurden im KKG für rund 1300 beruflich strahlenexponierte Personen folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Werte aus dem Jahr 2015):

Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv	
	2016	2015
Revisionsstillstand	350	389
Leistungsbetrieb	89	104
Gesamte Jahreskollektivdosis	439	493

Im Kalenderjahr 2016 belief sich die Kollektivdosis im KKG auf 439,2 Pers.-mSv. Die höchste im KKG registrierte Individualdosis betrug 8,2 mSv (2015: 8,4 mSv). Der Dosisgrenzwert der Strahlenschutzverordnung für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr wurde somit deutlich unterschritten. Es wurden keine Personenkontaminationen festgestellt, die sich nicht mit einfachen Mitteln entfernen liessen. Es sind keine Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle aufgetreten. Zwischen dem 4. und 26. Juni 2016 war die Anlage für die Revision abgestellt. Bei den Arbeiten während des Revisionsstillstands wurden 392 Pers.-mSv akkumuliert (mittels EPD gemessen); geplant waren 433 Pers.-mSv (EPD). Somit wurde der Dosiszielwert um ca. 9% unterschritten, was in Anbetracht des Genauigkeitsbands von ±20% gut übereinstimmt. Im Revisionszeitraum lag die maximale Individualdosis des beruflich strahlenexponierten Personals bei 6,5 mSv, die mittlere Individualdosis bei 0,35 mSv/Person.

Während des RDB-Deckel-Ziehens wurde wie in den Vorjahren der Aufenthalt im Containment auf diejenigen Personen begrenzt, die für die Ausführung der entsprechenden Tätigkeiten benötigt wurden. Wegen des nach wie vor im Primärkreislauf

enthaltenen Trampurans (siehe ENSI-Strahlenschutzbericht 2010) konnten erhöhte Iod-Konzentrationen in der Raumluft während dieser Phase nicht ganz ausgeschlossen werden. Die Zutrittsbeschränkungen wurden durch KKG-interne Aktionsschwellen ausgelöst, die vor der Revision definiert worden waren. Die kontinuierliche Überwachung der Luftkontamination in den Betriebsräumen des Containments zeigte beim Öffnen des Primärkreises einen Anstieg der Konzentration von  $^{60}\text{Co}$  (max. 0,2 CA),  $^{132}\text{I}$  (max. 0,006 CA) und von Edelgasen (max. 0,001 CA), hingegen wurden keine nennenswerten Aktivitätskonzentrationen von  $^{131}\text{I}$  gemessen. Dies ist auf die zurückliegenden defektfreien Betriebszyklen zurückzuführen. Bereits wenige Stunden nach dem Anheben des RDB-Deckels sank die Luftkontamination an  $^{132}\text{I}$  aufgrund der erweiterten Spülluftkapazität unter die Nachweisgrenze von  $0,1 \text{ Bq/m}^3$ , andere luftgetragene Aktivitäten (z.B.  $^{60}\text{Co}$ ) waren zu diesem Zeitpunkt bereits nicht mehr vorhanden.

Nach dem Abfahren der Anlage präsentierte sich die kontrollierte Zone, insbesondere die grossen Anlagenräume des Containments, in einem sauberen und zonenkonformen Zustand. Der Kontaminationsgrad der Räume blieb während der gesamten Revision und danach niedrig.

Seit Beginn der Zinkdosierung im Jahr 2005 nahm die Dosisleistung an den Primärkreislaufkomponenten im Mittel um ca. 66% ab. Die mittlere Dosisleistung nahm gegenüber dem Vorjahr um etwa 15% ab. Im Innenbereich des Reaktordeckels lag die Dosisleistung ca. 75% unter dem Wert von 2015. Der im Jahr 2015 gemessene «hot spot» an der Druckhalter-Entwässerungsleitung war nicht mehr vorhanden.

Neben den jährlichen Routinearbeiten für den Brennelementwechsel waren die wichtigsten Arbeiten aus Sicht des Strahlenschutzes die zerstörungsfreien Prüfungen an diversen Rohrleitungen, Armaturen und Behältern, die Arbeiten an den Jochblechabdeckungen der Kerninstrumentierungslanzen, der erstmalige Austausch einer Klinskeneinheit an einem Steuerstabantrieb, sowie die Datenaufnahme am TA System.

Für die Begrenzung und Optimierung der externen Exposition wurde ein umfangreiches temporäres Abschirmkonzept umgesetzt. Insgesamt wurden für diverse Abschirmungen rund 35 Mg Blei verwendet. Für das Setzen der Loopdeckel an den Dampferzeugern wurde ein Mock-up Training durchgeführt.

Für verschiedene Arbeiten wurden detaillierte Dosisplanungen im Vorfeld erstellt, die Planwerte wur-

den weitestgehend eingehalten. Bei den zerstörungsfreien Prüfungen der Dampferzeuger lag die erzielte Kollektivdosis deutlich unter dem Planwert, was zum einen auf die tieferen Dosisleistungen an den Dampferzeugern und zum anderen auf die effiziente Arbeitsweise zurückzuführen war. Die erzielte Kollektivdosis für die Grubenreinigung lag mit einem Faktor 2 über dem Planwert, was auf eine starke Kontamination der Grube und dadurch resultierende zusätzliche Arbeitsschritte zurückzuführen war.

Bei seinen Inspektionen konnte sich das ENSI davon überzeugen, dass im KKG die Strahlenschutzplanung und -Vorbereitung sowie die Kontrolle und Begleitung der Arbeiten durch das Strahlenschutzpersonal wirksam betrieben wurden. Das Verhalten des Personals in den eingerichteten Zonen und an deren Übergängen war diszipliniert und strahlenschutzkonform.

### Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des KKG wurde im Rahmen mehrerer Inspektionen und Fachgesprächen vom ENSI stichprobenweise überprüft. Des Weiteren hat sich das ENSI anhand der eingereichten Prüfprotokolle und Dokumente sowie durch Vor-Ort-Kontrollen davon überzeugt, dass die regelmässigen Kontrollen der Messgeräte durch das Kraftwerkspersonal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten.

Zusätzlich zu den ENSI-Inspektionen wurden bestimmte Messsysteme im Rahmen von Vergleichsmessungen, an denen nationale Labors bzw. Messstellen teilnehmen, überprüft:

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Jodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des KKG.
- An der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie hat die Dosimetriestelle des KKG den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten erbracht.

## 1.3 Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)

### Schutz des Personals

Im Berichtsjahr wurden im KKL für rund 1800 beruflich strahlenexponierte Personen folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Zahlen aus dem Jahr 2015):

Aktionen	Kollektivdosis in [Personen-mSv]	
	2016	2015
Revisionsstillstand	915	1209
Leistungsbetrieb	310	366
Gesamte Jahreskollektivdosis	1225	1575

Im Berichtsjahr belief sich die im KKL akkumulierte Kollektivdosis auf 1225 Pers.-mSv (DIS-Dosen). Die höchste registrierte Jahresindividualdosis betrug 10,0 mSv (2015: 8,4 mSv). Alle Individualdosen lagen deutlich unter dem Dosisgrenzwert für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv pro Jahr. Es wurden keine Personenkontaminationen festgestellt, die sich nicht mit einfachen Mitteln entfernen liessen. Inkorporationen von radioaktiven Stoffen oberhalb der Triageschwelle gab es ebenfalls keine.

Während des 32. Zyklus sowie während den Brennelementinspektionen wurden keine Hinweise auf Brennelementschäden festgestellt, die zum Austritt von radioaktiven Isotopen aus den Hüllrohren in das Reaktorkühlmittel geführt haben. Die Wasserstoffeinspeisung wurde vorgängig abgestellt, um den Übertrag von Iod aus der Wasser- in die Dampfphase zu minimieren. Es wurde im Berichtsjahr während dem Abfahren kein Iod-Peak festgestellt. Die Jahreshauptrevision dauerte vom 2. August bis zum 30. September 2016. Danach befand sich das KKL ab dem 1. Oktober 2016 bis zum Ende des Jahres im verlängerten Stillstand. Der radiologische Zustand im Primärteil der Anlage hat sich generell im Vergleich zum Vorjahr nicht wesentlich verändert. Die getroffenen Massnahmen beim Revisionsstillstand der Anlage haben in den Räumen des Abfahrkühlsystems (RHR) zu einer Stabilisierung oder sogar zu einer Abnahme der Dosisleistung geführt. Die Umstellung des Wassermanagements während der Revision hat zu diesem positiven Ergebnis beigetragen. Trotz Veränderung der radiochemischen Parameter des Reaktorwassers hat sich an den Systemen des Drywells die Dosisleistung leicht erhöht. Der Dosisleistungsmittelwert an den Rezirkulationsschleifen lag mit 1,90 mSv/h etwas über dem Wert des Vorjahrs (1,61 mSv/h).

Die Dosisprognose für die gesamte Revision hatte 740 Pers.-mSv ergeben, tatsächlich wurde eine Kollektivdosis von 883 Pers.-mSv (EPD-Wert) akkumuliert. Diese Überschreitung des Planwerts entstand durch Mehrarbeit bei Sicherheitsventilen im Drywell und im Dampftunnel sowie wegen der Befunde an den Brennelementen. Die Kollektivdosisplanungen der einzelnen Jobs sind in vielen Fällen sehr gut ausgefallen und es wurden oft nur geringe Abweichungen von den geplanten Werten festgestellt. Ohne ungeplante Mehrarbeiten hätte die Planung trotz höherer Dosisleistung an den Rezirkulationsschleifen mit nur 3% Abweichung vom Sollwert eingehalten werden können. Mit den Mehrarbeiten liegt die Abweichung bei +19%, was innerhalb der Planungsungenauigkeit von  $\pm 20\%$  liegt.

Gemäss den Meldekriterien wurde dem ENSI vor der Revision keine Dosisplanung für Arbeiten mit erwarteten Kollektivdosen von über 50 Pers.-mSv eingereicht. Der KKL-Strahlenschutz hat die Unterschiede zwischen Planungskollektivdosen und tatsächlich akkumulierten Kollektivdosen für rund 15 strahlenschutzrelevante Arbeiten analysiert und die Ergebnisse im Revisionsbericht Strahlenschutz präsentiert. Für die Instandhaltung von Sicherheits-/Abblase-Ventilen, Frischdampfisolationsventilen, Vakuumbrecherventilen und verschiedenen anderen Arbeiten wurden insgesamt 75 Pers.-mSv akkumuliert, statt der prognostizierten 30 Pers.-mSv. Der um 45 Pers.-mSv höhere Wert ist auf Mehrarbeit durch Befunde sowie die höhere Dosisleistung im Drywell zurückzuführen.

Im Drywell stieg die Ortsdosisleistung für den Bereich «unten» im Vergleich mit den Vorjahren an, sie beträgt jetzt etwa 0,4 mSv/h. Im Vergleich mit dem Jahr 2006 ist dies etwa eine Verdoppelung. Im Bereich «oben» ist sie bei rund 0,07 mSv/h grundsätzlich gleich geblieben. Im Bereich des Reaktor-druckbehälters (RDB) sanken die Dosisleistungen für den RDB-Deckel und den Dampftrockner, beim Wasserabscheider stiegen die Dosisleistungen geringfügig an. Im Hinblick auf die Wasserchemie (Online Noble Chem, OLC) und zu ergreifende Massnahmen verfolgt das KKL diesen Trend weiter. Das ENSI stellte bei mehreren Inspektionen fest, dass im KKL ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz praktiziert wird.

### Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des KKL wurde im Rahmen von Inspektionen und Fachgesprächen vom ENSI stichprobenweise überprüft. Des Weiteren hat sich das ENSI anhand der eingereichten Prüfprotokolle und Dokumente sowie durch Vor-Ort-Kontrollen davon überzeugt, dass die regelmäßigen Überprüfungen der Messgeräte durch das Kraftwerkspersonal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden, und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten.

Zusätzlich zu den ENSI-Inspektionen wurden bestimmte Messsysteme im Rahmen von Vergleichsmessungen, an denen nationale Labors bzw. Messstellen teilnehmen, überprüft:

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Jodfiltern sowie von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des KKL.
- An der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie hat die Dosimetriestelle des KKL den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten erbracht.

## 1.4 Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)

### Schutz des Personals

Im Berichtsjahr wurden im KKM für rund 1100 beruflich strahlenexponierte Personen folgende Kollektivdosen ermittelt (als Vergleich dazu die Zahlen aus dem Jahr 2015):

Aktionen	Kollektivdosis in Personen-mSv	
	2016	2015
Revisionsstillstand	399	597
Leistungsbetrieb	264	296
Gesamte Jahreskollektivdosis	664	893

Im Berichtsjahr belief sich die Kollektivdosis im KKM auf 664 Pers.-mSv (mittels TLD erfasst). Die höchste ermittelte Individualdosis betrug 7,2 mSv (2015: 8,4 mSv). Der in der Strahlenschutzverordnung festgelegte Jahresgrenzwert von 20 mSv für beruflich strahlenexponierte Personen wurde somit deutlich unterschritten. Im Berichtszeitraum traten weder Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden

konnten, noch Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle auf.

Das KKM hat im Berichtsjahr die in den Vorjahren erfolgreiche wasserchemische Fahrweise mit Zink-, Edelmetall- und Wasserstoff-Einspeisung fortgesetzt. Der Mittelwert aus insgesamt 30 Dosisleistungsmessungen an verschiedenen Stellen an den beiden Umwälzschleifen lag bei 1,30 mSv/h. Im Vergleich zum Vorjahr sank somit die Dosisleistung um rund 10 % (2015: 1,44 mSv/h). Die durchschnittliche Dosisleistung an den Frischdampfleitungen ist im Vergleich mit dem Vorjahr gleich geblieben. Das defekte Brennelement (siehe unten) hat auf die Anlage, die Anlagekomponenten oder auf die Arbeiten keine nennenswerten radiologischen Konsequenzen gehabt. Das allgemeine Kontaminationsniveau innerhalb der Anlage liegt im internationalen Vergleich auf einem tiefen Niveau.

Vom 13. August bis zum 7. September 2016 war die Anlage für die geplante Jahresrevision abgestellt. Mit 509,3 Pers.-mSv (EPD) lag die Kollektivdosis aller Mitarbeitenden im Revisionsstillstand 2016 etwa 20 % tiefer als der vom KKM vor Beginn der Arbeiten geschätzte Wert von 655 Pers.-mSv. Der KKM-Strahlenschutz erklärt den Unterschied mit einem sinkenden allgemeinen Dosisleistungsniveau im Drywell, aber auch mit dem Einsatz von den neuen und exakteren EPD, die im Durchschnitt rund 8 % weniger als die alten EPD anzeigen. Wird dieser Korrekturfaktor für die neuen EPD auf die ursprüngliche Kollektivdosisprognose umgerechnet, wird eine rund 15 % tiefere Kollektivdosis erreicht. Die Dosisabschätzung liegt somit im anerkannten Toleranzbereich.

Für die Revision 2016 waren keine Arbeiten mit Kollektivdosen von mehr als 50 Pers.-mSv geplant, was die Meldung einer ausführlichen Strahlenschutzplanung zuhanden des ENSI zur Folge gehabt hätte. Als aussergewöhnliche Arbeit mit Relevanz für den Strahlenschutz galten die Brennelementsippingarbeiten auf +29 m im Reaktorgebäude. Während dem Betrieb hatten Analysen des Reaktorwassers auf erhöhte Iodaktivitäten hin geendet. Die nach der Abstellung der Anlage durchgeführten Prüfarbeiten, sog. Mastsipping, ergaben, dass ein Brennelement defekt war. Das defekte Element wurde aus dem Reaktorkern entfernt und anschliessend im Brennelementlagerbecken visuell inspiziert. Während diesen Arbeiten wurden spezielle Strahlenschutzmassnahmen getroffen, um das Personal und die Anlage im Falle einer luftgetragenen Aktivitätsfreisetzung zu schützen.

In Zusammenhang mit Demontage und Absetzen des Dichtungsflanschschutzes des Reaktordruckbehälters in der Reaktorgrube wurde kurzzeitig eine erhöhte Kontamination von Oberflächen auf der Ebene +29 m im Reaktorgebäude festgestellt. Die Kontamination wurde sofort beseitigt und führte nicht zu erschwerten radiologischen Bedingungen. Der KKM-Strahlenschutz hat die Ursachen zu dieser unerwarteten Kontaminationsverbreitung analysiert und wird geeignete Gegenmassnahmen treffen.

Das Verhalten der in der kontrollierten Zone arbeitenden Personen war bei den verschiedenen Inspektionen des ENSI immer korrekt.

Das KKM verfügt über qualifiziertes und erfahrenes Eigenpersonal, um die radiologische Überwachung während einer Jahresrevision effizient ausführen zu können. Zusätzlich kann sich das KKM grundsätzlich auf eine grosse Anzahl erfahrener und mit der Anlage vertrauter Personen aus dem Bereich des Fremdpersonals abstützen. Während der Jahresrevision 2016 wurde aber auch Personal ohne KKM-Erfahrung eingesetzt. Das Strahlenschutzpersonal wurde so eingeteilt, dass das Eigenpersonal entweder vor Ort war oder per Telefon erreicht werden konnte. Damit wurde die Erreichbarkeit von anlagenerfahrenem Eigenpersonal rund um die Uhr sichergestellt.

### **Strahlenschutzinstrumentierung**

Die Strahlenschutzinstrumentierung des KKM wurde im Rahmen von Inspektionen und Fachgesprächen vom ENSI stichprobenweise überprüft. Des Weiteren hat sich das ENSI anhand der eingereichten Prüfprotokolle und Dokumente sowie durch Vor-Ort-Kontrollen davon überzeugt, dass die regelmässigen Überprüfungen der Messgeräte durch das Kraftwerkspersonal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden, und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten.

Zusätzlich zu den ENSI-Inspektionen wurden bestimmte Messsysteme im Rahmen von Vergleichsmessungen, an denen nationale Labors bzw. Messstellen teilnehmen, überprüft:

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosol- und Jodfiltern sowie von Abgas- und Abwasserproben zeigten bis auf zwei Proben Übereinstimmung mit den Werten des KKM. Im ersten Fall wurde bei einer Edelgasmessung im Abgas zwischen den KKM- und den ENSI-Messwerten eine Abweichung knapp oberhalb der

Untersuchungsschwelle festgestellt. Die nachfolgenden Abklärungen zeigten, dass das KKM eine falsch berechnete Transmissionskurve verwendet hatte, was umgehend richtiggestellt wurde. Im zweiten Fall wurde bei einem Jodfilter zwischen den KKM- und den ENSI-Messwerten ebenfalls eine Abweichung oberhalb der Untersuchungsschwelle festgestellt. Die Messwerte lagen allerdings nahe an der Nachweisgrenze. Das ENSI wird den künftigen Verlauf der Messwerte der Jodfilter im Auge behalten. In beiden Fällen stellten die festgestellten Abweichungen die vom KKM durchgeführten Bilanzierungsmessungen nicht in Frage.

- An der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie hat die Dosimetriestelle des KKM den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten erbracht.

## 2 Weitere Kernanlagen

### 2.1 Paul Scherrer Institut (PSI)

Das PSI ist eine eidgenössische Einrichtung und das grösste Forschungsinstitut für Natur- und Ingenieurwissenschaften in der Schweiz. Seine Mitarbeitenden forschen in den Bereichen Materie und Material, Mensch und Gesundheit sowie Energie und Umwelt. Der anfangs 2011 abgeschaltete Nullleistungsforschungsreaktor PROTEUS, das Hotlabor, die Anlagen für die Behandlung radioaktiver Abfälle, das Bundeszwischenlager sowie die im Rückbau befindlichen Forschungsreaktoren SAPHIR und DIORIT sind Kernanlagen und werden durch das ENSI beaufsichtigt.

Im Jahr 2016 akkumulierten die 1716 beruflich strahlenexponierten Personen des PSI eine Kollektivdosis von 64,1 Pers.-mSv (2015: 114,2 Pers.-mSv). Davon stammen 10,7 Pers.-mSv aus dem Aufsichtsbereich des ENSI mit 343 beruflich strahlenexponierten Personen (2015: 41,9 Pers.-mSv) bei einer höchsten Individualdosis von 1,4 mSv (2015: 9,2 mSv). Bei mehreren Inspektionen hat das ENSI festgestellt, dass der operationelle Strahlenschutz in den Kernanlagen des PSI die gesetzlichen und behördlichen Vorgaben erfüllt.

#### Strahlenschutzinstrumentierung

Die Strahlenschutzinstrumentierung des PSI wurde im Rahmen mehrerer Inspektionen und Fachgespräche vom ENSI stichprobenweise überprüft. Des Weiteren hat sich das ENSI anhand der eingereichten Prüfprotokolle und Dokumente sowie durch Vor-Ort Kontrollen davon überzeugt, dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten.

Im Berichtsjahr hat das PSI beim gestaffelten Ersatz der ortsfesten Dosisleistungsmessgeräte im Hotlabor weitere 4 Messgeräte ausgetauscht. Der Ersatz erfolgt, weil der Gerätehersteller keine Ersatzteile mehr für die alten Messgeräte bereitstellt.

Zusätzlich zu den ENSI-Inspektionen wurden bestimmte Messsysteme im Rahmen von Vergleichsmessungen, an denen nationale Labors bzw. Messstellen teilnehmen, überprüft:

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem

BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des PSI.

- An der vom BAG und vom ENSI gemeinsam organisierten, jährlich stattfindenden Vergleichsmessung für externe Personendosimetrie hat die Dosimetriestelle des PSI den Nachweis der erforderlichen Messgenauigkeiten erbracht.

### 2.2 Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL)

Im Jahr 2016 akkumulierten im ZZL 202 beruflich strahlenexponierte Personen eine Kollektivdosis von 8,5 Pers.-mSv. Sie lag damit bei 35% des für das Berichtsjahr geplanten Wertes von 24,2 Pers.-mSv. Ein Grund für die deutliche Unterschreitung der geplanten Dosis liegt in der Tatsache, dass einige Arbeiten in Bezug auf die Jobdosis schwer vorherzusagen sind. Werden dann noch nach KSR-Empfehlung viele kleine Dosen unterhalb von 0,075 mSv abgerundet, so kann sich eine Diskrepanz zur Planungsdosis ergeben.

Die höchste registrierte Einzeldosis betrug 1,0 mSv (2015: 3,2 mSv). Im Berichtsjahr wurden weder Personenkontaminationen, die nicht mit einfachen Mitteln entfernt werden konnten, noch Inkorporationen oberhalb der Triageschwelle festgestellt. Die durch den Strahlenschutz regelmässig erhobenen Proben zeigten weder auf den Oberflächen noch in der Atemluft Hinweise auf unzulässige Kontaminationen. Zu den strahlenschutzrelevanten Arbeiten im Berichtsjahr mit signifikanten Beiträgen zur Kollektivdosis zählten unter anderem die Arbeiten an der Ausmauerung der Plasma-Anlage, die Instandhaltungsarbeiten, der Behälterempfang sowie der Verbrennungsbetrieb.

Der Betrieb der Plasma-Anlage, welcher erfolgreich zur Endkonditionierung brennbarer und schmelzbarer radioaktiver Abfälle führt, umfasste im Jahr 2016 eine reguläre Kampagne mit einer Dauer von 12 Wochen zwischen dem 25. September und dem 16. Dezember 2016. Während dieser Kampagne wurden 671 Abfallfässer mit aktivem verbrenn-



und schmelzbarem Abfall und 800 Liter Flüssigabfälle verarbeitet. Die Vorgabe von 500 Fässern wurde wiederum deutlich übertroffen.

Die Tätigkeiten in den Anlagen der ZWILAG wurden unter Einhaltung der gesetzlichen und internen Strahlenschutzvorgaben durchgeführt. Die Ergebnisse von ENSI-Inspektionen bestätigen, dass im ZZL ein konsequenter und gesetzeskonformer Strahlenschutz angewendet wird.

### **Strahlenschutzinstrumentierung**

Die Strahlenschutzinstrumentierung des ZZL wurde im Rahmen von Inspektionen und Fachgesprächen vom ENSI stichprobenweise überprüft. Des Weiteren hat sich das ENSI anhand der eingereichten Prüfprotokolle und Dokumente sowie durch Vor-Ort-Kontrollen davon überzeugt, dass die regelmässigen Überprüfungen der Messgeräte durch das Personal vorschriftsgemäss durchgeführt wurden und dass die Messgeräte einwandfrei funktionierten.

Zusätzlich zu den ENSI-Inspektionen wurden bestimmte Messsysteme im Rahmen von Vergleichsmessungen, an denen nationale Labors bzw. Messstellen teilnehmen, überprüft:

- Die vierteljährlichen Kontrollmessungen des ENSI und die halbjährlich gemeinsam mit dem BAG durchgeführten Vergleichsmessungen von Aerosolfiltern und Abwasserproben zeigten Übereinstimmung mit den Werten des ZZL.

## **2.3 Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)**

Die Kernanlage der EPFL umfasst den Forschungsreaktor CROCUS, das Neutronenexperiment CARROUSEL, die Neutronenquellenkavität LOTUS und die angegliederten Labors. Diese Anlagen sind dem Laboratoire de physique des Réacteurs et de comportement des Systèmes (LRS) zugeteilt, das dem Institut de Physique (IPHY) angehört. Im Jahr 2016 stand der CROCUS-Reaktor Ingenieur- und Physikstudierenden der EPFL, Kursteilnehmenden der Reaktorschule des PSI und Studierenden des Swiss Nuclear Engineering Masterkurses der ETHZ/EPFL während 245,7 Stunden bei kleiner Leistung (bis 100 W) für Ausbildungs- und Forschungszwecke zur Verfügung. Dabei wurden 334,9 Wh thermische Energie erzeugt. Die zu Beginn des Berichtsjahres anstehenden Unterhaltsarbeiten konnten problemlos durchgeführt werden. Das Experiment CARROUSEL wurde für Praktika verwendet.

Die 16 beruflich strahlenexponierten Personen im EPFL haben eine Kollektivdosis von 0,3 Pers.-mSv akkumuliert. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und Abwasserpfad war unbedeutend. Im November 2016 hat das ENSI seine Jahresinspektion durchgeführt. Dabei wurden technische, organisatorische und personelle Änderungen besprochen und es wurden die Anlagenräume inspiziert. Das ENSI kommt zum Schluss, dass die bewilligten Betriebsbedingungen im Jahr 2016 vollumfänglich eingehalten wurden.

## **2.4 Universität Basel**

Der Forschungsreaktor AGN-211-P des Departements für Physik und Astronomie der Universität Basel diene vorwiegend der Ausbildung von Studierenden und der Anwendung in Kursen der Neutronenaktivierungsanalytik (NAA).

Im Jahr 2015 wurde der Brennstoff des Forschungsreaktors erfolgreich in die USA zurückgeführt. Ein weiterer Betrieb ist somit nicht mehr möglich. Die Universität Basel setzte den Abtransport des Kernbrennstoffs mit der endgültigen Ausserbetriebnahme des Reaktors gleich. Daher wurde der Eigentümer laut Kernenergiegesetzgebung stilllegungspflichtig. Das Stilllegungsprojekt wurde anfangs 2017 eingereicht und wird von den Behörden überprüft. Im Berichtsjahr 2016 befand sich die Anlage in der Nachbetriebsphase.

Die im Reaktorraum gelagerten radioaktiven Quellen befinden sich nicht mehr im Aufsichtsbereich des ENSI, sondern in demjenigen des BAG.

Die drei beruflich strahlenexponierten Personen haben im Berichtsjahr während des Normalbetriebs Dosen akkumuliert, die unterhalb der Nachweisgrenze lagen. Die Abgabe radioaktiver Stoffe über den Luft- und den Abwasserpfad war unbedeutend. Im Dezember 2016 hat das ENSI im Rahmen der Jahresinspektion die Anlage mit dem entladenen Reaktor inspiziert.

Das ENSI stellte fest, dass die vorgegebenen Betriebsbedingungen und die Vorschriften zum Strahlenschutz für das Personal und die Umwelt im Jahr 2016 eingehalten wurden.

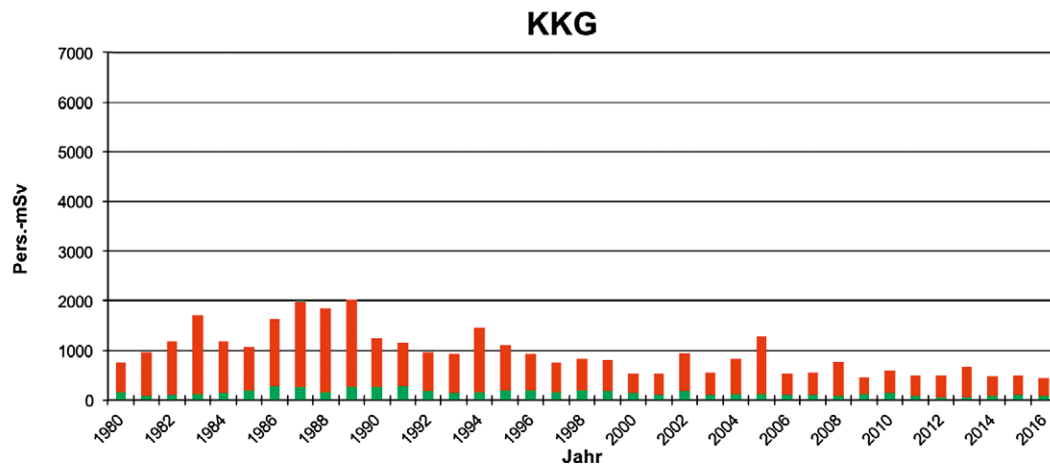
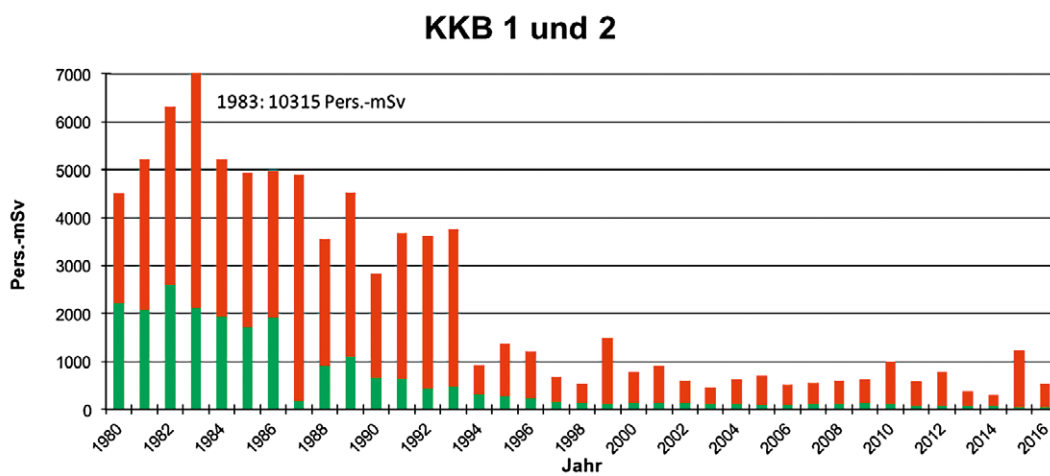
# 3 Grafische Darstellungen

In der Darstellung A.1 sind die Jahreskollektivdosen der Kernkraftwerke seit 1980 enthalten. Die Darstellung A.2 zeigt den Verlauf der Anzahl Personen mit einer beruflichen Lebensdosis von mehr als 200 mSv. Darstellung A.3 gibt die Kollektivdosen in den

Kernkraftwerken, im ZZL und im PSI seit Inbetriebnahme der Anlagen wieder. Die Anzahl Personen kann den Tabellen A.1 und A.20 entnommen werden.

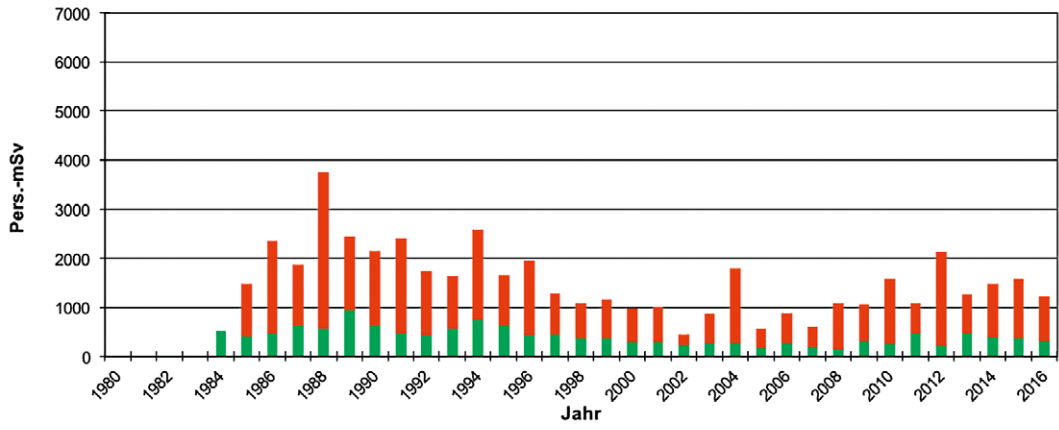
## Darstellung A.1:

Jahreskollektivdosen (Pers.-mSv) der Kernkraftwerke von 1980 bis 2016. Rot bezeichnet sind die Daten aus den Revisionsstillständen, grün diejenigen aus dem Leistungsbetrieb.

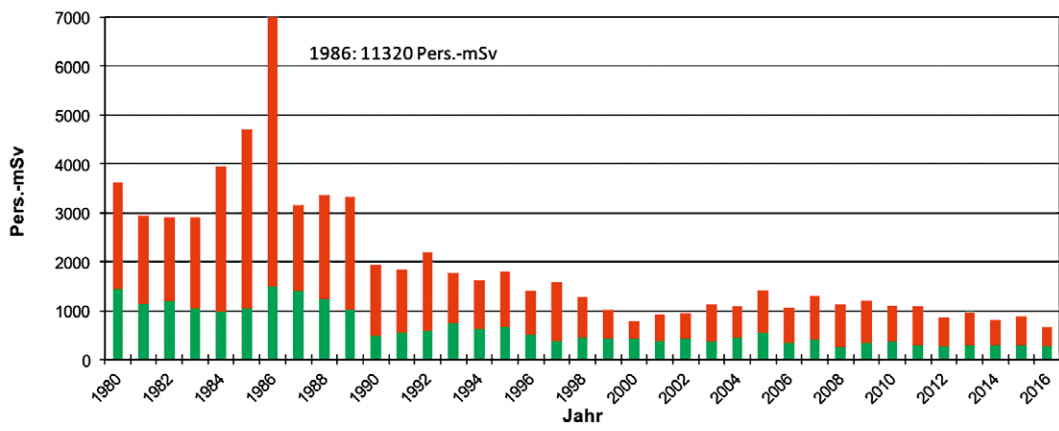




### KKL

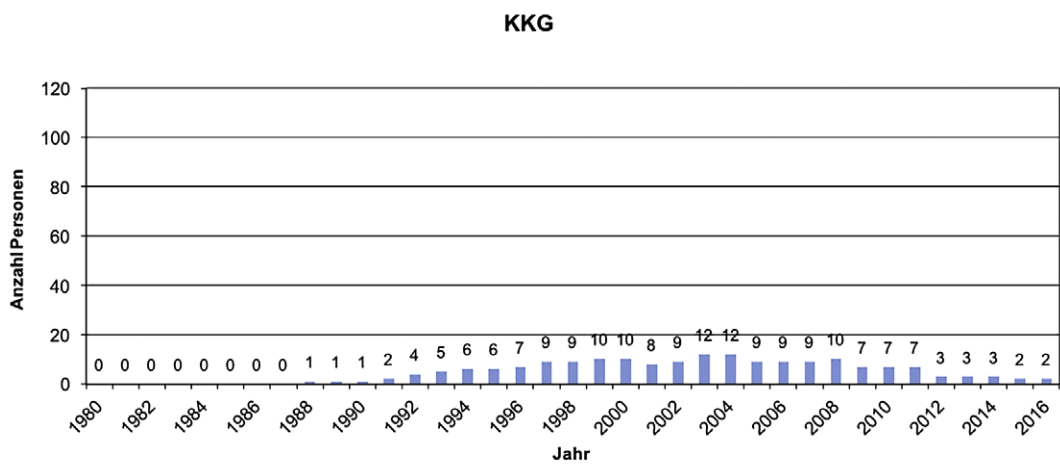
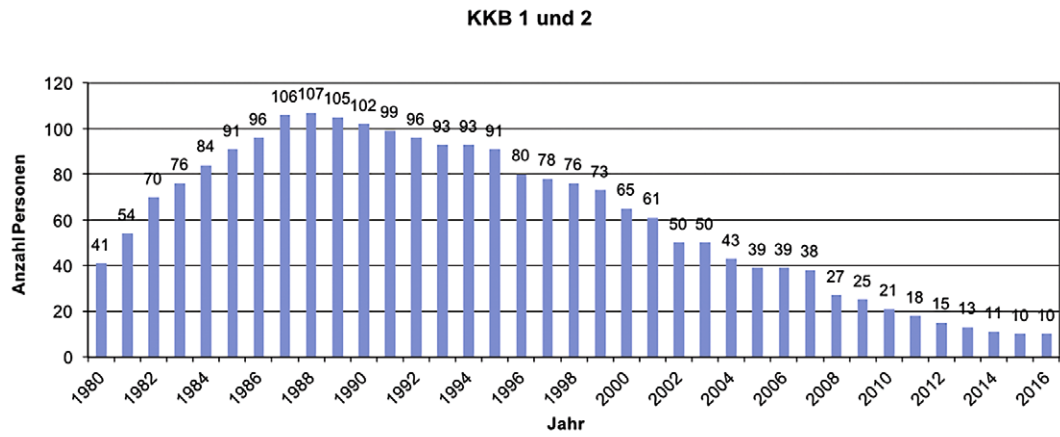


### KKM

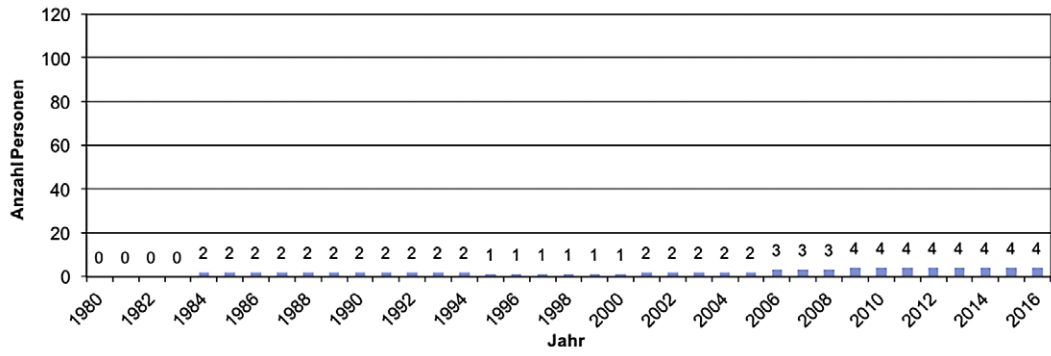


## Darstellung A.2:

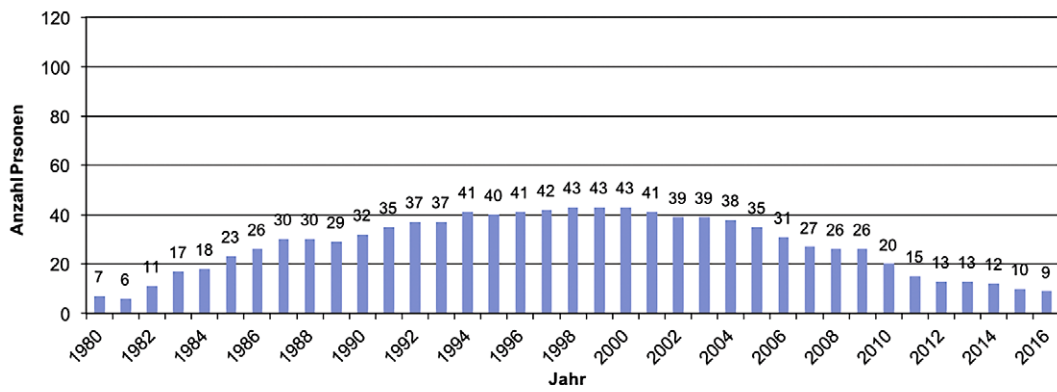
Anzahl Personen mit einer beruflichen Lebensdosis über 200 mSv, Kernkraftwerke, 1980 bis 2016



### KKL

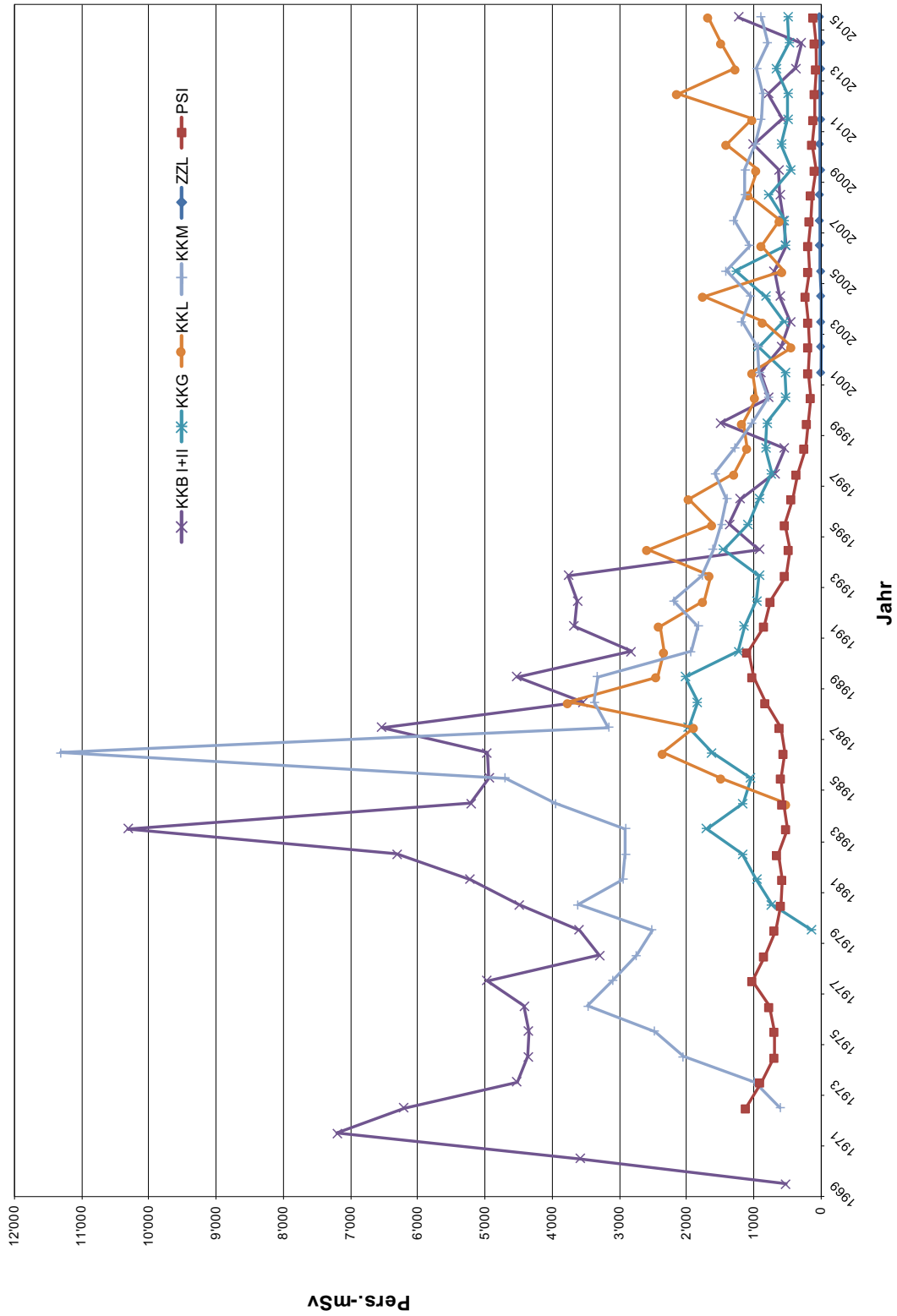


### KKM



Darstellung A.3:

Entwicklung der Kollektivdosen (Pers.-mSv) in den Kernanlagen, 1969 bis 2016





# 4 Dosimetrie

## 4.1 Einleitung

Als zuständige Aufsichtsbehörde hat das ENSI zu prüfen, ob bei der Exposition des Personals die gesetzlichen Limiten sowie die regulatorischen Richtwerte eingehalten werden. Seit 1994 bildet die Strahlenschutzverordnung die gesetzliche Grundlage zur Überwachung des beruflich und des nichtberuflich strahlenexponierten Personals in der Schweiz. Die Richtlinie ENSI-B09 «Ermittlung und Aufzeichnung der Dosis strahlenexponierter Personen» regelt technische Details über die Form und den Umgang mit den zu meldenden Individualdosen und arbeitsspezifischen Kollektivdosen. Aufgabe des ENSI ist es, die Angaben aus den einzelnen Anlagen kritisch zu prüfen, auszuwerten und entsprechend den Vorgaben der Strahlenschutzverordnung an das zentrale Dosisregister beim BAG weiterzuleiten.

Die Strahlenschutzverordnung schreibt vor, dass die maximale Exposition jeder beruflich strahlenexponierten Person 20 mSv pro Jahr nicht überschreiten darf. In der Richtlinie ENSI-B02 wird festgelegt, dass für geplante Stillstände oder Arbeiten mit einer erwarteten Jobdosis von über 50 Pers.-mSv die ausgearbeiteten Planungen rechtzeitig der Aufsichtsbehörde vorgelegt werden müssen. Das ENSI prüft die eingereichten Strahlenschutzplanungen. Damit wird auch ein Beitrag zu der in der Strahlenschutzverordnung verlangten Optimierung der radiologischen Schutzmassnahmen geleistet.

In der Richtlinie ENSI-G15 «Strahlenschutzziele für Kernanlagen» ist für die jährliche Kollektivdosis einer Anlageneinheit (Block) ein Zielwert von maximal 1500 Pers.-mSv festgelegt. Bei einer Überschreitung dieses Werts prüft das ENSI die Optimierungsmassnahmen des Betreibers im Detail.

Zur Ermittlung der Dosen und zum Nachweis der Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben betreibt jedes Kernkraftwerk und das PSI eine vom ENSI anerkannte Personendosimetriestelle, die die Dosimeter des Eigen- und des Fremdpersonals auswertet und die akkumulierten Dosen registriert. Für das ZZZ übernimmt die Personendosimetriestelle des KKB diese Aufgabe. Die Neutronendosimeter werden für alle Anlagen von der Dosimetriestelle des PSI ausgewertet.

## 4.2 Personendosimetrie

Das dosimetrierte Personal in den Kernanlagen wird in zwei Kategorien eingeteilt: Es sind dies das Eigenpersonal (EP) und das Fremdpersonal (FP). Es kommt vor, dass Eigenpersonal aus dem Überwachungsbereich einer Personendosimetriestelle vorübergehend in den Überwachungsbereich einer anderen Personendosimetriestelle wechselt und dort als Fremdpersonal geführt wird. Durch die Regelungen in der Richtlinie ENSI-B09 werden die akkumulierten Dosen dieser zwischen den Kernanlagen wechselnden Personen einerseits als Eigenpersonal-Dosen der einen Anlage und andererseits als Fremdpersonal-Dosen einer anderen Anlage gemeldet. Da in diesen Fällen beide Dosimetriestellen dieselben Dosen melden, führt dies zu einer doppelten Verbuchung. Anhand der individuellen Dosismeldungen werden solche Doppelverbuchungen vom ENSI bereinigt. Dadurch können sich in den nachfolgenden Tabellen numerische Unterschiede ergeben. Beispielsweise muss die Anzahl der gemeldeten Personen aus den einzelnen Kraftwerken nicht immer der Gesamtsumme an Personen entsprechen. Ein Grund liegt in möglichen mehrfachen Besuchen von Anlagen durch dieselbe Person. Ausserdem ergeben sich durch Rundungen nicht relevante Ungenauigkeiten.

Für das Jahr 2016 haben die fünf vom ENSI anerkannten Personendosimetriestellen (KKB, KKG, KKL, KKM und PSI) insgesamt 6153 beruflich strahlenexponierte Personen mit einer Kollektivdosis von 2876,7 Pers.-mSv gemeldet (Mehrfachbuchungen bereinigt). Die an den Universitäten verwendeten Dosimeter werden entweder vom Institut Universitaire de Radiophysique Appliquée (IRA) oder von der SUVA ausgewertet. Die Meldungen der Dosimetriestelle des PSI umfassen Dosen, die sowohl in Anlagen aus dem Aufsichts-bereich des BAG als auch in Anlagen aus dem Aufsichts-bereich ENSI akkumuliert wurden. Die vom PSI für alle Anlagen der Schweiz zur Verfügung gestellten und ausgewerteten Neutronen-Dosimeter vom Typ PADC (siehe auch Tabelle A.15) werden im Aufsichtsbereich des ENSI von den einzelnen Personendosimetriestellen abgegeben und die Resultate ebendort entsprechend verbucht.

In den folgenden Tabellen werden die detaillierten Dosimetriedaten nach Anzahl Personen, Individual- und Jobdosen, sowie nach Kernanlagen aufgeschlüsselt.

**Tabelle A.1:** Zusammenfassung der Kollektivdosen in den schweizerischen Kernanlagen, 2016, Eigen- und Fremdpersonal. Die Zahl beim PSI umfasst auch den Aufsichtsbereich des BAG.

Kernanlage	Anzahl überwachte Personen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]
KKB 1 und 2	1373	529.9
KKG	1320	439.2
KKL	1795	1224.5
KKM	1103	663.6
ZZL	202	8.5
PSI gesamt	1716	64.1
Universitäten	19	0.3
Aufsichtsbereich des ENSI	6153	2876.7

## Anzahl beruflich strahlenexponierte Personen

**Tabelle A.2a:** Kernkraftwerke, Anzahl beruflich strahlenexponierte Personen in den Dosisbereichen [mSv]

Dosisbereich [mSv]	KKB 1 und 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
0.0– 1.0	415	806	1221	436	747	1183	398	999	1397	242	643	885	1489	3194	4683
> 1.0– 2.0	19	48	67	21	59	80	37	145	182	42	80	122	119	332	451
> 2.0– 5.0	18	49	67	21	30	51	46	136	182	37	50	87	122	265	387
> 5.0–10.0	4	14	18	4	2	6	6	28	34	8	1	9	22	45	67
> 10.0–15.0															
> 15.0–20.0															
> 20.0–50.0															
> 50.0															
Total Personen	456	917	1373	482	838	1320	487	1308	1795	329	774	1103	1752	3836	5588
Mittel pro Person [mSv]	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.6	0.7	0.7	0.8	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5

Personal, das in mehreren Anlagen eingesetzt wurde, wird unter «Total KKW» nur einmal gezählt. In allen Anlagen wurden TL- oder DIS-Dosimeter benutzt. Individualdosen können sich aus den in verschiedenen Anlagen akkumulierten Dosen zusammensetzen.

**Tabelle A.2b:** Kernanlagen und Forschung, Anzahl beruflich strahlenexponierte Personen in den Dosisbereichen [mSv]

Dosisbereich [mSv]	PSI			Universitäten <sup>1)</sup>	Total Forschung	ZZL			Total KKW	Total Kernanlagen und Forschung
	EP	FP	EP+FP			EP	FP	EP+FP		
0.0– 1.0	1261	441	1702	19	1721	75	127	202	4683	5247
> 1.0– 2.0	10	1	11		11				451	452
> 2.0– 5.0	3		3		3				387	387
> 5.0–10.0									67	67
> 10.0–15.0										0
> 15.0–20.0										
> 20.0–50.0										
> 50.0										
Total Personen	1274	442	1716	19	1735	75	127	202	5588	6153
Mittel pro Person [mSv]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.5	0.5

Personal, das in mehreren Anlagen eingesetzt wurde, wird unter «Total KKW» nur einmal gezählt. Durch die Addition von in verschiedenen Kernanlagen akkumulierten Individualdosen verändern sich die Personenzahlen in einzelnen Dosisintervallen. Individualdosen können sich aus den in verschiedenen Anlagen akkumulierten Dosen zusammensetzen.

Unter «Total Kernanlagen und Forschung» wird für das PSI nur der Beitrag aus dem Aufsichtsbereich des ENSI gezählt.

<sup>1)</sup> Universitäten: EPF Lausanne und Universität Basel

## Kollektivdosis pro Dosisbereich der beruflich strahlenexponierten Personen

**Tabelle A.3a:** Kernkraftwerke, Kollektivdosen in Pers.-mSv

Dosisbereich [mSv]	KKB 1 und 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
0.0– 1.0	36.7	64.2	100.9	38.6	96.0	134.6	42.7	137.8	180.5	36.5	128.3	164.8	154.5	426.3	580.8
> 1.0– 2.0	28.6	72.0	100.6	30.2	89.6	119.8	56.3	210.8	267.1	62.2	118.8	181.0	177.3	491.2	668.5
> 2.0– 5.0	63.3	148.8	212.1	63.0	80.8	143.8	143.1	420.7	563.8	117.3	145.7	263.0	386.7	796.0	1182.7
> 5.0–10.0	28.1	88.2	116.3	26.1	14.9	41.0	39.2	173.9	213.1	48.1	6.7	54.8	141.5	283.7	425.2
> 10.0–15.0															
> 15.0–20.0															
> 20.0–50.0															
> 50.0															
Total [Pers.-mSv]	156.7	373.2	529.9	157.9	281.3	439.2	281.3	943.2	1224.5	264.1	399.5	663.6	860.0	1997.2	2857.2
Höchste Einzeldosis [mSv]	8.5	8.4	8.5	8.2	7.0	8.2	8.7	10.0	10.0	7.2	6.7	7.2	8.7	10.0	10.0

Durch die Addition von in verschiedenen Kernanlagen akkumulierten Individualdosen verändern sich die Personenzahlen in einzelnen Dosisintervallen.

**Tabelle A.3b:** Kernanlagen und Forschung, Kollektivdosen in Pers.-mSv

Dosisbereich [mSv]	PSI			Universitäten <sup>1)</sup>	Total Forschung	ZZL			Total KKW	Total Kernanlagen und Forschung
	EP	FP	EP+FP			EP	FP	EP+FP		
0.0– 1.0	30.4	9.7	40.1	0.3	40.4	7.6	0.9	8.5	580.8	598.9
> 1.0– 2.0	12.3	1.4	13.7		13.7				668.5	669.9
> 2.0– 5.0	10.3		10.3		10.3				1182.7	1182.7
> 5.0–10.0									425.2	425.2
> 10.0–15.0										
> 15.0–20.0										
> 20.0–50.0										
> 50.0										
Total [Pers.-mSv]	53.0	11.1	64.1	0.3	64.4	7.6	0.9	8.5	2857.2	2876.7
Höchste Einzeldosis [mSv]	4.2	1.4	4.2	0.1	4.2	1.0	0.6	1.0	10.0	10.0

Durch die Addition von in verschiedenen Kernanlagen akkumulierten Individualdosen verändern sich die Personenzahlen in einzelnen Dosisintervallen.

Unter «Total Kernanlagen und Forschung» wird für das PSI nur der Beitrag aus dem Aufsichtsbereich des ENSI gezählt.

<sup>1)</sup> Universitäten: EPF Lausanne und Universität Basel



## Verteilung der beruflichen Lebensdosis des Eigenpersonals

**Tabelle A.4a:** Kernanlagen und PSI, Anzahl Personen, Lebensdosisbereiche in mSv

Dosisbereich [mSv]	KKB 1 und 2	KKG	KKL	KKM	KKW Total	PSI	ZZL	Kernanlagen und PSI Total
> 100–150	21	1	9	17	48	3	0	51
> 150–200	6	3	5	6	20	3		23
> 200–250	4	1	2	5	12	1		13
> 250–300	3	1	2	1	7			7
> 300–350	1			2	3			3
> 350–400	1			1	2			2
> 400–450								
> 450–500								
> 500–550								
> 550–600								
> 600	1				1			1
Total Personen	37	6	18	32	93	7	0	100

Personen mit einer beruflichen Lebensdosis von weniger als 100 mSv sind nicht aufgeführt.

**Tabelle A.4b:** Kernanlagen und PSI, Einteilung in Altersklassen, Anzahl Personen, Lebensdosisbereiche in mSv

Dosisbereich [mSv]	21–30 Jahre	31–40 Jahre	41–50 Jahre	51–60 Jahre	> 60 Jahre	Kernanlagen und PSI Total
> 100–150			4	35	12	51
> 150–200				12	11	23
> 200–250			1	8	4	13
> 250–300				2	5	7
> 300–350				2	1	3
> 350–400					2	2
> 400–450						
> 450–500						
> 500–550						
> 550–600						
> 600					1	1
Total Personen			5	59	36	100

Personen mit einer beruflichen Lebensdosis von weniger als 100 mSv sind nicht aufgeführt.

## Anzahl Personen, Dosismittelwerte und Kollektivdosen nach Alter und Geschlecht

**Tabelle A.5a:** Kernanlagen und Forschung (PSI<sup>1</sup>, EPFL, Uni Basel), Eigen- und Fremdpersonal, Anzahl Personen, Dosisbereiche in mSv

Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
0.0– 1.0	19		55	3	630	41	1054	75	1264	87	1471	67	465	16	5247
> 1.0– 2.0			2		70	1	88	1	106	1	149		34		452
> 2.0– 5.0			2		67		84	1	104		107		22		387
> 5.0–10.0			1		9		20		19		16		2		67
> 10.0–15.0															
> 15.0–20.0															
> 20.0–50.0															
> 50.0															
Total Personen	19		60	3	776	42	1246	77	1493	88	1743	67	523	16	6153
Mittel pro Person [mSv]	0.05		0.38	0.00	0.57	0.07	0.53	0.10	0.50	0.05	0.47	0.03	0.31	0.01	0.47
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.0		22.9	0.0	445.6	3.0	660.2	7.9	746.4	4.1	820.6	1.8	163.1	0.1	2876.7

<sup>1)</sup> Aufsichtsbereich des BAG mit einbezogen.

**Tabelle A.5b:** Forschung (PSI<sup>1</sup>, EPFL, Uni Basel), Eigen- und Fremdpersonal, Anzahl Personen, Dosisbereiche in mSv

Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
0.0– 1.0	18	1	14	5	259	88	350	107	342	68	291	43	123	12	1721
> 1.0– 2.0						1	3		2	1	3		1		11
> 2.0– 5.0									2		1				3
> 5.0–10.0															
> 10.0–15.0															
> 15.0–20.0															
> 20.0–50.0															
> 50.0															
Total Personen	18	1	14	5	259	89	353	107	346	69	295	43	124	12	1735
Mittel pro Person [mSv]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.04	0.00	0.06	0.02	0.06	0.00	0.05	0.02	0.04
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	1.5	14.3	0.5	20.1	1.5	16.5	0.0	5.8	0.2	64.4

<sup>1)</sup> Aufsichtsbereich des BAG mit einbezogen.

## Anzahl Personen, Dosismittelwerte, Kollektivdosen [Pers.-mSv] und Dosisbereiche [mSv], aufgeteilt nach Alter und Geschlecht

**Tabelle A.6:** Kernkraftwerk Beznau 1 und 2 (KKB), Anzahl Personen

Eigenpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	6			11		20	1	57	6	116	4	149	5	39	
> 1.0– 2.0				1		1		3		6		7		1		19
> 2.0– 5.0						1		6		5		5		1		18
> 5.0–10.0										2		2				4
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		6		12		22	1	66	6	129	4	163	5	41	1	456
Mittel pro Person [mSv]		0.00		0.24		0.40	0.00	0.49	0.05	0.41	0.00	0.33	0.00	0.13	0.00	0.34
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		0.0		2.9		8.7	0.0	32.6	0.3	53.1	0.0	53.7	0.0	5.4	0.0	156.7

Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0				3		84	4	192	3	210	9	214	4	82	
> 1.0– 2.0						13		8		11		11		5		48
> 2.0– 5.0						9		12		18		7		3		49
> 5.0–10.0						1		4		6		3				14
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen				3		107	4	216	3	245	9	235	4	90	1	917
Mittel pro Person [mSv]				0.00		0.54	0.23	0.46	0.00	0.50	0.01	0.31	0.05	0.22	0.00	0.41
Kollektivdosis [Pers.-mSv]				0.0		57.5	0.9	98.7	0.0	122.8	0.1	72.9	0.2	20.1	0.0	373.2

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	6			14		104	5	249	9	326	13	363	9	121	
> 1.0– 2.0				1		14		11		17		18		6		67
> 2.0– 5.0						10		18		23		12		4		67
> 5.0–10.0						1		4		8		5				18
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		6		15		129	5	282	9	374	13	398	9	131	2	1373
Mittel pro Person [mSv]		0.00		0.19		0.51	0.18	0.47	0.03	0.47	0.01	0.32	0.02	0.19	0.00	0.39
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		0.0		2.9		66.2	0.9	131.3	0.3	175.9	0.1	126.6	0.2	25.5	0.0	529.9

## Anzahl Personen, Dosismittelwerte, Kollektivdosen [Pers.-mSv] und Dosisbereiche [mSv], aufgeteilt nach Alter und Geschlecht

**Tabelle A.7:** Kernkraftwerk Gösgen (KKG), Anzahl Personen

Eigenpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	1			1		24	3	93	7	123	11	118	11	44	
> 1.0– 2.0						2		6		8		2		3		21
> 2.0– 5.0						1		4		13		3				21
> 5.0–10.0								2		2						4
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		1		1		27	3	105	7	146	11	123	11	47		482
Mittel pro Person [mSv]		0		0.00		0.25	0.00	0.43	0.10	0.55	0.01	0.15	0.00	0.16		0.33
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		0.0		0.0		6.8	0.0	45.0	0.7	79.6	0.1	18.0	0.0	7.7		157.9

Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	1			6		80	3	165	5	162	11	237	3	71	
> 1.0– 2.0						17		13		9		17		3		59
> 2.0– 5.0						4		12		5		8		1		30
> 5.0–10.0												1		1		2
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		1		6		101	3	190	5	176	11	263	3	76	3	838
Mittel pro Person [mSv]		0.00		0.27		0.49	0.07	0.40	0.06	0.28	0.02	0.32	0.00	0.27	0.00	0.34
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		0.0		1.6		49.2	0.2	76.5	0.3	48.5	0.2	84.5	0.0	20.3	0.0	281.3

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	2			7		104	6	258	12	285	22	355	14	115	
> 1.0– 2.0						19		19		17		19		6		80
> 2.0– 5.0						5		16		18		11		1		51
> 5.0–10.0								2		2		1		1		6
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		2		7		128	6	295	12	322	22	386	14	123	3	1320
Mittel pro Person [mSv]		0.00		0.23		0.44	0.03	0.41	0.08	0.40	0.01	0.27	0.00	0.23	0.00	0.33
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		0.0		1.6		56.0	0.2	121.5	1.0	128.1	0.3	102.5	0.0	28.0	0.0	439.2

## Anzahl Personen, Dosismittelwerte, Kollektivdosen [Pers.-mSv] und Dosisbereiche [mSv], aufgeteilt nach Alter und Geschlecht

**Tabelle A.8:** Kernkraftwerk Leibstadt (KKL), Anzahl Personen

Eigenpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	2			7		23	3	74	6	96	4	123	12	47	
> 1.0– 2.0						2		10		10	1	11		3		37
> 2.0– 5.0								11		16		13		6		46
> 5.0–10.0								3		1		2				6
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		2		7		25	3	98	6	123	5	149	12	56	1	487
Mittel pro Person [mSv]		0.00		0.39		0.28	0.07	0.80	0.03	0.61	0.30	0.57	0.05	0.54	0.00	0.58
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		0.0		2.7		7.0	0.2	78.6	0.2	75.6	1.5	84.8	0.6	30.1	0.0	281.3

Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	4			18	2	226	7	196	8	213	5	249	5	65	
> 1.0– 2.0				1		24	1	30		36		45		8		145
> 2.0– 5.0				2		31		31	1	28		38		5		136
> 5.0–10.0				1		8		8		6		5				28
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		4		22	2	289	8	265	9	283	5	337	5	78	1	1308
Mittel pro Person [mSv]		0.23		0.61	0.00	0.74	0.19	0.84	0.49	0.73	0.12	0.73	0.20	0.42	0.00	0.72
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		0.9		13.4	0.0	214.2	1.5	222.8	4.4	205.3	0.6	246.5	1.0	32.6	0.0	943.2

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	6			25	2	249	10	270	14	309	9	372	17	112	
> 1.0– 2.0				1		26	1	40		46	1	56		11		182
> 2.0– 5.0				2		31		42	1	44		51		11		182
> 5.0–10.0				1		8		11		7		7				34
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen		6		29	2	314	11	363	15	406	10	486	17	134	2	1795
Mittel pro Person [mSv]		0.15		0.56	0.00	0.70	0.15	0.83	0.31	0.69	0.21	0.68	0.09	0.47	0.00	0.68
Kollektivdosis [Pers.-mSv]		0.9		16.1	0.0	221.2	1.7	301.4	4.6	280.9	2.1	331.3	1.6	62.7	0.0	1224.5

## Anzahl Personen, Dosismittelwerte, Kollektivdosen [Pers.-mSv] und Dosisbereiche [mSv], aufgeteilt nach Alter und Geschlecht

**Tabelle A.9:** Kernkraftwerk Mühleberg (KKM), Anzahl Personen

Eigenpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0					27	1	35	6	55	4	87	25	2	242	
> 1.0– 2.0					1		5	1	7		24	4		42		
> 2.0– 5.0					4		2		9		18	4		37		
> 5.0–10.0							3		2		3			8		
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen					32	1	45	7	73	4	132	33	2	329		
Mittel pro Person [mSv]					0.43	0.00	0.90	0.26	0.82	0.25	0.98	0.51	0.00	0.80		
Kollektivdosis [Pers.-mSv]					13.9	0.0	40.5	1.8	60.2	1.0	129.8	16.9	0.0	264.1		

Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	1		6	89	2	147	5	157	6	165	3	59	3	643	
> 1.0– 2.0				10		12		19		32		7		80		
> 2.0– 5.0				17		6		10		15		2		50		
> 5.0–10.0												1		1		
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	1		6	116	2	165	5	186	6	212	3	69	3	774		
Mittel pro Person [mSv]	0.10		0.38	0.76	0.00	0.37	0.00	0.51	0.08	0.59	0.00	0.42	0.00	0.52		
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.1		2.3	88.3	0.0	61.0	0.0	94.0	0.5	124.2	0.0	29.1	0.0	399.5		

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	1		6	116	3	182	11	212	10	252	3	84	5	885	
> 1.0– 2.0				11		17	1	26		56		11		122		
> 2.0– 5.0				21		8		19		33		6		87		
> 5.0–10.0						3		2		3		1		9		
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	1		6	148	3	210	12	259	10	344	3	102	5	1103		
Mittel pro Person [mSv]	0.10		0.38	0.69	0.00	0.48	0.15	0.60	0.15	0.74	0.00	0.45	0.00	0.60		
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.1		2.3	102.2	0.0	101.5	1.8	154.2	1.5	254.0	0.0	46.0	0.0	663.6		

## Anzahl Personen, Dosismittelwerte, Kollektivdosen [Pers.-mSv] und Dosisbereiche [mSv], aufgeteilt nach Alter und Geschlecht

**Tabelle A.10:** Total aller Kernkraftwerke, Anzahl Personen

Eigenpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	9			19		94	8	259	25	388	23	477	28	155	
> 1.0– 2.0				1		6		24	1	31	1	44		11		119
> 2.0– 5.0						6		23		43		39		11		122
> 5.0–10.0								8		7		7				22
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	9			20		106	8	314	26	469	24	567	28	177	4	1752
Mittel pro Person [mSv]	0.00			0.28		0.34	0.03	0.63	0.12	0.57	0.11	0.50	0.02	0.34	0.00	0.49
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0			5.6		36.4	0.2	196.7	3.0	268.5	2.6	286.3	0.6	60.1	0.0	860.0

Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	6			33	2	478	16	700	21	742	31	865	15	277	
> 1.0– 2.0				1		64	1	63		75		105		23		332
> 2.0– 5.0				2		61		61	1	61		68		11		265
> 5.0–10.0				1		9		12		12		9		2		45
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	6			37	2	612	17	836	22	890	31	1047	15	313	8	3836
Mittel pro Person [mSv]	0.17			0.47	0.00	0.67	0.15	0.55	0.21	0.53	0.05	0.50	0.08	0.33	0.00	0.52
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.0			17.3	0.0	409.2	2.6	459.0	4.7	470.6	1.4	528.1	1.2	102.1	0.0	1997.2

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	15			52	2	572	24	959	46	1130	54	1342	43	432	
> 1.0– 2.0				2		70	1	87	1	106	1	149		34		451
> 2.0– 5.0				2		67		84	1	104		107		22		387
> 5.0–10.0				1		9		20		19		16		2		67
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	15			57	2	718	25	1150	48	1359	55	1614	43	490	12	5588
Mittel pro Person [mSv]	0.07			0.40	0.00	0.62	0.11	0.57	0.16	0.54	0.07	0.50	0.04	0.33	0.00	0.51
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.0			22.9	0.0	445.6	2.8	655.7	7.7	739.1	4.0	814.4	1.8	162.2	0.0	2857.2

## Anzahl Personen, Dosismittelwerte, Kollektivdosen [Pers.-mSv] und Dosisbereiche [mSv], aufgeteilt nach Alter und Geschlecht

**Tabelle A.11: Zentrales Zwischenlager (ZZL), Anzahl Personen**

Eigenpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0			1		2	1	11	2	29	2	25		2		75
	> 1.0– 2.0															
	> 2.0– 5.0															
	> 5.0–10.0															
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
	Total Personen			1		2	1	11	2	29	2	25		2		75
	Mittel pro Person [mSv]			0.00		0.00	0.00	0.05	0.00	0.12	0.00	0.14		0.00		0.10
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]			0.0		0.0	0.0	0.5	0.0	3.5	0.0	3.6		0.0		7.6

Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	2		2		16	1	29	3	33	1	33	1	5	1	127
	> 1.0– 2.0															
	> 2.0– 5.0															
	> 5.0–10.0															
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	2		2		16	1	29	3	33	1	33	1	5	1	127
	Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.01
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.0		0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.6	0.0	0.1	0.0	0.9

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	2		3		18	2	40	5	62	3	58	1	7	1	202
	> 1.0– 2.0															
	> 2.0– 5.0															
	> 5.0–10.0															
	> 10.0–15.0															
	> 15.0–20.0															
	> 20.0–50.0															
	> 50.0															
	Total Personen	2		3		18	2	40	5	62	3	58	1	7	1	202
	Mittel pro Person [mSv]	0.00		0.00		0.00	0.00	0.02	0.00	0.06	0.00	0.07	0.00	0.01	0.00	0.04
	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0		0.0		0.0	0.0	0.6	0.0	3.6	0.0	4.2	0.0	0.1	0.0	8.5



## Anzahl Personen, Dosismittelwerte, Kollektivdosen [Pers.-mSv] und Dosisbereiche [mSv], aufgeteilt nach Alter und Geschlecht

**Tabelle A.12:** Kernkraftwerke und Zentrales Zwischenlager (ZZL), Anzahl Personen

Eigenpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	10			19	1	118	21	291	47	437	49	529	49	177	
> 1.0– 2.0				1		6		24	1	31	1	44		11		119
> 2.0– 5.0						6		23		43		39		11		122
> 5.0–10.0								8		7		7				22
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	10			20	1	130	21	346	48	518	50	619	49	199	7	2018
Mittel pro Person [mSv]	0.00			0.28	0.00	0.28	0.02	0.57	0.067	0.52	0.05	0.47	0.01	0.305	0.01	0.43
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	0.0			5.6	0.0	36.4	0.4	197.8	3.2	271.2	2.7	287.9	0.6	60.6	0.1	866.5

Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	7			33	2	492	18	717	22	760	34	880	17	281	
> 1.0– 2.0				1		64	1	64		75		105		23		333
> 2.0– 5.0				2		61		61	1	61		68		11		265
> 5.0–10.0				1		9		12		12		9		2		45
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	7			37	2	626	19	854	23	908	34	1062	17	317	8	3914
Mittel pro Person [mSv]	0.14			0.47	0.00	0.654	0.14	0.54	0.20	0.52	0.04	0.50	0.07	0.323	0.00	0.51
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.0			17.3	0.0	409.2	2.6	461.5	4.7	471.6	1.4	528.5	1.2	102.4	0.0	2001.4

Eigen- und Fremdpersonal	Dosisbereich [mSv]	16–18 Jahre		19–20 Jahre		21–30 Jahre		31–40 Jahre		41–50 Jahre		51–60 Jahre		> 60 Jahre		Total
		M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	
	0.0– 1.0	17			52	3	610	39	1008	69	1197	83	1409	66	458	
> 1.0– 2.0				2		70	1	88	1	106	1	149		34		452
> 2.0– 5.0				2		67		84	1	104		107		22		387
> 5.0–10.0				1		9		20		19		16		2		67
> 10.0–15.0																
> 15.0–20.0																
> 20.0–50.0																
> 50.0																
Total Personen	17			57	3	756	40	1200	71	1426	84	1681	66	516	15	5932
Mittel pro Person [mSv]	0.06			0.40	0.00	0.59	0.075	0.55	0.111	0.52	0.05	0.49	0.03	0.316	0.01	0.48
Kollektivdosis [Pers.-mSv]	1.0			22.9	0.0	445.6	3.0	659.3	7.9	742.8	4.1	816.4	1.8	163.0	0.1	2867.9

## Verteilung der Anzahl Personen nach Haut- und Extremitätendosen [mSv]

**Tabelle A.13a:** Kernkraftwerk Beznau (KKB)

Dosisintervall [mSv]	Haut			Extremitäten*		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigen-personal	Fremd-personal	Total	Eigen-personal	Fremd-personal	Total
0– 25	456	917	1373	21	34	55
> 25– 50						
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	456	917	1373	21	34	55

\* gemäss Richtlinie ENSI-B09 ist pro Person nur die Jahresdosis der am höchsten exponierten Extremität zu berücksichtigen

**Tabelle A.13b:** Kernkraftwerk Gösgen (KKG)

Dosisintervall [mSv]	Haut			Extremitäten*		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigen-personal	Fremd-personal	Total	Eigen-personal	Fremd-personal	Total
0– 25	49	102	151	9	15	24
> 25– 50						
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	49	102	151	9	15	24

\* gemäss Richtlinie ENSI-B09 ist pro Person nur die Jahresdosis der am höchsten exponierten Extremität zu berücksichtigen

## Verteilung der Anzahl Personen nach Haut- und Extremitätendosen [mSv]

**Tabelle A.13c:** Kernkraftwerk Leibstadt (KKL)

Dosisintervall [mSv]	Haut			Extremitäten*		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigen-personal	Fremd-personal	Total	Eigen-personal	Fremd-personal	Total
0– 25	487	1308	1795	8	5	13
> 25– 50						
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	487	1308	1795	8	5	13

\* gemäss Richtlinie ENSI-B09 ist pro Person nur die Jahresdosis der am höchsten exponierten Extremität zu berücksichtigen

**Tabelle A.13d:** Kernkraftwerk Mühleberg (KKM)

Dosisintervall [mSv]	Haut			Extremitäten*		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigen-personal	Fremd-personal	Total	Eigen-personal	Fremd-personal	Total
0– 25	92	154	246	6	17	23
> 25– 50						
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	92	154	246	6	17	23

\* gemäss Richtlinie ENSI-B09 ist pro Person nur die Jahresdosis der am höchsten exponierten Extremität zu berücksichtigen

## Verteilung der Anzahl Personen nach Haut- und Extremitätendosen [mSv]

**Tabelle A.13e:** Paul Scherrer Institut (PSI gesamt)

Dosisintervall [mSv]	Haut			Extremitäten*		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigen-personal	Fremd-personal	Total	Eigen-personal	Fremd-personal	Total
0– 25	1264	442	1706	89	12	101
> 25– 50						
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	1264	442	1706	89	12	101

\* gemäss Richtlinie ENSI-B09 ist pro Person nur die Jahresdosis der am höchsten exponierten Extremität zu berücksichtigen

**Tabelle A.13f:** Zentrales Zwischenlager (ZZL)

Dosisintervall [mSv]	Haut			Extremitäten*		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigen-personal	Fremd-personal	Total	Eigen-personal	Fremd-personal	Total
0– 25	75	127	202	0	0	0
> 25– 50						
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	75	127	202	0	0	0

\* gemäss Richtlinie ENSI-B09 ist pro Person nur die Jahresdosis der am höchsten exponierten Extremität zu berücksichtigen

## Verteilung der Anzahl Personen nach Haut- und Extremitätendosen [mSv]

**Tabelle A.13g:** Alle Kernanlagen (KKW, ZZL und PSI)

Dosisintervall [mSv]	Haut			Extremitäten*		
	Anzahl Personen			Anzahl Personen		
	Eigen-personal	Fremd-personal	Total	Eigen-personal	Fremd-personal	Total
0– 25	2423	2988	5411	133	83	216
> 25– 50				2		
> 50– 75						
> 75–100						
> 100–125						
> 125–150						
> 150–175						
> 175–200						
> 200–300						
> 300–400						
> 400–500						
> 500						
Summe	2423	2988	5411	133	83	216

\* gemäss Richtlinie ENSI-B09 ist pro Person nur die Jahresdosis der am höchsten exponierten Extremität zu berücksichtigen

## Triagemessungen des beruflich strahlenexponierten Personals

**Tabelle A.14a:** Kernanlagen und Forschung (PSI, Gesamtpersonal), Anzahl Personen

Resultat der Messungen	KKB 1 und 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
alle negativ	365	593	958	427	748	1175	483	1247	1730	295	712	1007	1570	3300	4870
mind. eine positiv	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Resultat der Messungen	PSI			ZZL			Summe Kernanlagen		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
alle negativ	47	26	73	73	117	190	1690	3443	5133
mind. eine positiv	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## Effektive Folgedosis $E_{50}$ des beruflich strahlenexponierten Personals durch Inkorporation

**Tabelle A.14b:** Kernanlagen und Forschung (PSI, Gesamtpersonal), Anzahl Personen

Folgedosis $E_{50}$ Dosisbereich [mSv]	KKB 1 und 2			KKG			KKL			KKM			Total KKW		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP
<= 1.0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
> 1.0– 2.0															
> 2.0– 5.0															
> 5.0–10.0															
> 10.0–15.0															
> 15.0–20.0															
> 20.0–50.0															
> 50.0															
Total Personen	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	2

Folgedosis $E_{50}$ Dosisbereich [mSv]	PSI			ZZL			Summe Kernanlagen		
	EP	FP	EP+FP	EP	FP	EP+FP	EP+FP		
<= 1.0	254	12	266	0	0	0	267		
> 1.0– 2.0									
> 2.0– 5.0									
> 5.0–10.0									
> 10.0–15.0									
> 15.0–20.0									
> 20.0–50.0									
> 50.0									
Total Personen	254	12	266	0	0	0	267		

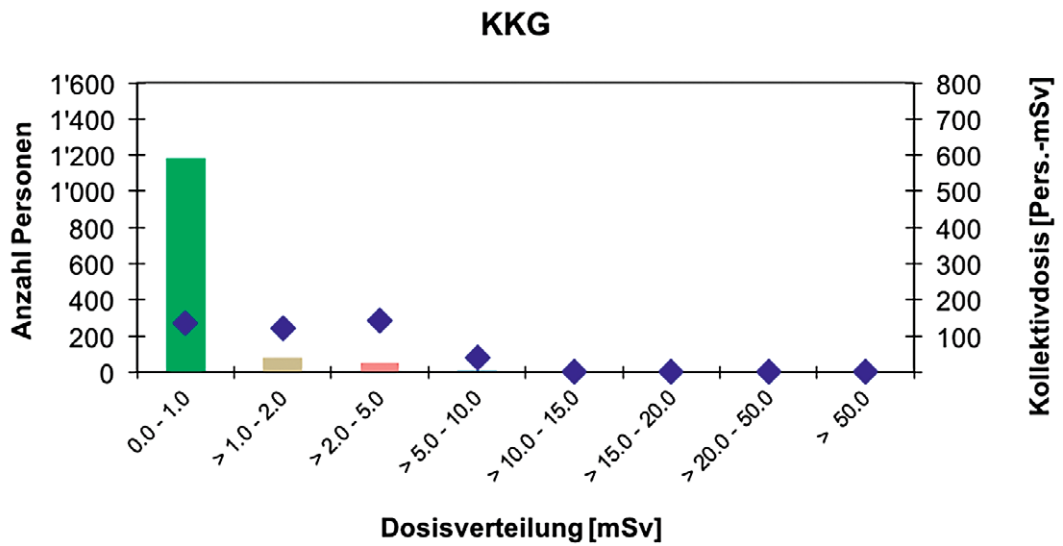
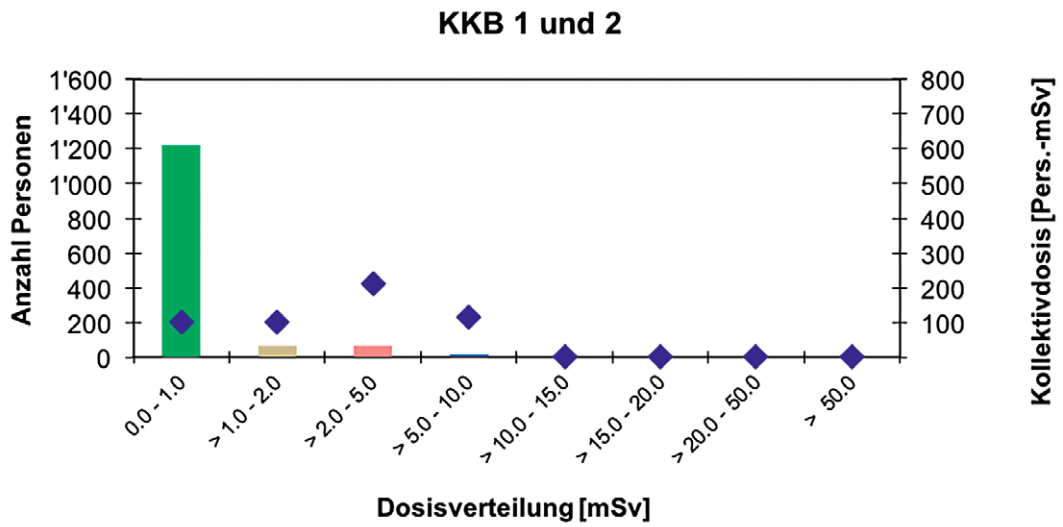
Eine positive Triagemessung ist eine zwingend notwendige Voraussetzung für die Bestimmung einer effektiven Folgedosis.

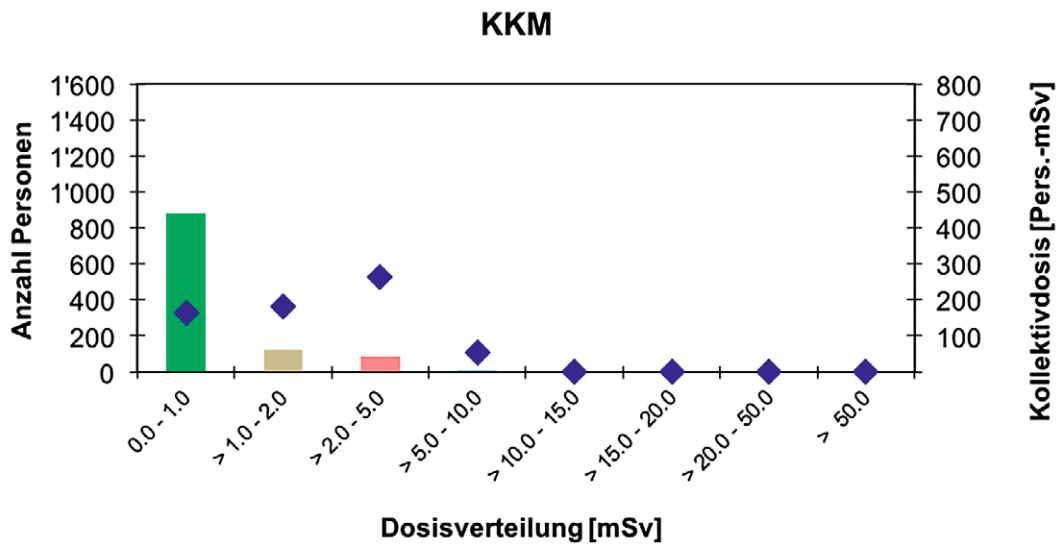
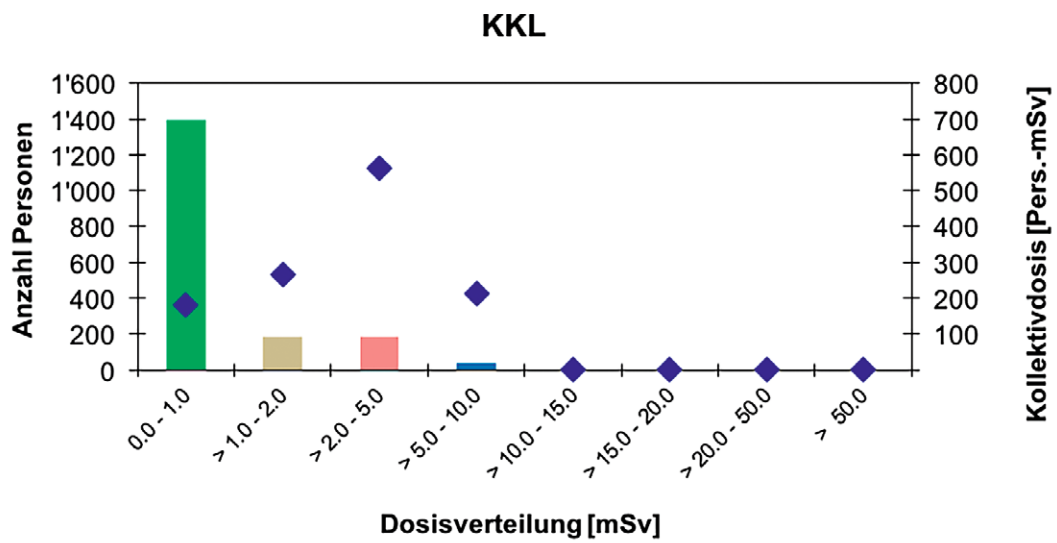
Im Berichtsjahr ergab sich keine positive Triagemessung, infolgedessen lagen alle effektiven Folgedosen im Dosisbereich zwischen 0 und 1 mSv.

## Kollektivdosen und Anzahl dosimetrierter Personen

### Darstellung A.4:

Anzahl Personen (Säulen) im Vergleich mit den Kollektivdosen (Rauten)







# Messmethoden der Personendosimetriestellen im Aufsichtsbereich des ENSI

**Tabelle A.15:** Vom ENSI anerkannte Personendosimetriestellen und deren Messmethoden

Mess- stelle	Überwachung der äusseren Bestrahlung									Überwachung der Inkorporationen								
	Ganzkörper			Haut			Extremitäten			Ganzkörper			Schilddrüse			Urin		
	r <sup>1</sup>	m <sup>2</sup>	a <sup>3</sup>	r <sup>1</sup>	m <sup>2</sup>	a <sup>3</sup>	r <sup>1</sup>	m <sup>2</sup>	a <sup>3</sup>	r <sup>1</sup>	m <sup>2</sup>	a <sup>3</sup>	r <sup>1</sup>	m <sup>2</sup>	a <sup>3</sup>	r <sup>1</sup>	m <sup>2</sup>	a <sup>3</sup>
KKB 1 und 2	γ	TLD / DIS	1376	β, γ, x	DIS	1376	γ	TLD	55	γ	Nal	0	γ	Nal	0	Alpha	Spektr.	3
KKG	γ	DIS	1320	β, γ, x	DIS	1320	γ	TLD	24	γ	PSC	1175	γ	PSC	1175			
KKL	γ	TLD / DIS	1850	β, γ, x	TLD	1850	γ	TLD	13	γ	Nal	1782	γ	Nal	1782			
KKM	γ	TLD / DIS	1103	β, γ, x	TLD / DIS	1103	γ	TLD	23	γ	Nal	1007	γ	Nal	1007			
PSI	γ, n	TLD / DIS PADC	1716 1375	β, γ, x	TLD / DIS	1716	γ	TLD	101	γ	Ge	263	γ, x	Nal	9	α, β	LSC	38
ZZL <sup>4</sup>	γ	TLD / DIS	257	β, γ, x	TLD / DIS	257	γ	TLD	0	γ	Nal	238	γ	Nal	238			

<sup>1</sup> r = Strahlungsart:

α = Alpha  
β = Beta  
γ = Gamma  
n = Neutronen  
x = Röntgen

<sup>2</sup> m = Messmethode:

TLD = Thermolumineszenzdosimeter  
DIS = Direct Ion Storage  
LSC = Flüssigkeitsszintillator  
Ge = Reinstgermanium-Detektor  
Nal = NaI (TI)-Szintillator  
PADC = Poly-Allyl Diglycol Carbonat  
PSC = Plastiksintillator

<sup>3</sup> a = Anzahl der überwachten Personen

<sup>4</sup> Die Dosimetrie für das ZZL erfolgt in der Personendosimetriestelle des KKB

## Zusammenstellung der Kollektivdosen

**Tabelle A.16:** Relative Aufteilung der Kollektivdosen auf Betrieb und Revisionsstillstand, 1980 bis 2016 in Pers.-mSv

Jahr	Aufteilung der Jahreskollektivdosen [Pers.-mSv]									
	KKB 1 und 2		KKG		KKL		KKM		Total	
	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand
1980	2217	2283	160	580			1430	2180	3807	5043
1981	2077	3144	90	870			1147	1800	3314	5814
1982	2605	3708	110	1060			1199	1710	3914	6478
1983	2126	8189	130	1580			1042	1870	3298	11639
1984	1946	3269	150	1020	520	0	990	2960	3606	7249
1985	1719	3222	200	850	414	1070	1050	3650	3383	8792
1986	1913	3058	270	1360	480	1870	1490	9830	4153	16118
1987	182	4707	250	1720	620	1260	1390	1770	2442	9457
1988	911	2635	170	1670	570	3180	1250	2120	2901	9605
1989	1106	3415	250	1770	940	1500	1030	2300	3326	8985
1990	651	2172	250	980	630	1530	490	1440	2021	6122
1991	630	3048	270	880	470	1930	540	1290	1910	7148
1992	429	3194	180	780	430	1310	590	1600	1629	6884
1993	484	3276	150	770	561	1084	736	1037	1931	6167
1994	310	607	160	1296	745	1832	630	979	1845	4714
1995	279	1090	193	900	639	1019	671	1121	1782	4130
1996	228	973	201	720	434	1524	510	886	1373	4103
1997	151	538	162	580	458	832	394	1182	1165	3132
1998	139	407	209	612	367	723	456	831	1171	2573
1999	119	1381	174	630	372	793	420	611	1085	3415
2000	124	651	140	382	288	691	432	360	984	2084
2001	141	766	111	429	300	710	380	542	932	2447
2002	135	462	184	750	225	218	432	517	976	1947
2003	116	340	107	450	268	605	368	760	859	2155
2004	107	511	113	721	269	1522	458	634	947	3388
2005	101	603	120	1146	171	398	540	871	932	3018
2006	94	430	96	445	269	616	354	709	813	2200
2007	108	457	97	452	192	420	401	900	798	2229
2008	108	501	88	686	157	924	249	881	602	2992
2009	141	489	122	326	321	745	346	862	930	2422
2010	123	885	142	453	259	1313	370	736	894	3387
2011	75	503	86	413	471	604	289	787	921	2306
2012	82	709	67	426	212	1914	263	596	625	3645
2013	79	305	69	602	470	797	286	672	903	2375
2014	79	212	89	393	398	1080	284	515	849	2200
2015	51	1176	104	389	366	1209	296	597	817	3371
2016	63	467	89	350	310	915	264	399	727	2131

Ab 2012 wurden die Dosimetriedaten entsprechend der Vorgaben der Richtlinie ENSI-B09 verarbeitet.

## Zusammenstellung der Kollektivdosen

**Tabelle A.17:** Aufteilung der Kollektivdosen auf Betrieb und Revisionsstillstand  
1980 bis 2016 in Prozenten

Jahr	Relative Aufteilung der Jahreskollektivdosen [%]									
	KKB 1 und 2		KKG		KKL		KKM		Total	
	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand	Betrieb	Stillstand
1980	49%	51%	22%	78%			40%	60%	43%	57%
1981	40%	60%	9%	91%			39%	61%	36%	64%
1982	41%	59%	9%	91%			41%	59%	38%	62%
1983	21%	79%	8%	92%			36%	64%	22%	78%
1984	37%	63%	13%	87%	100%	0%	25%	75%	33%	67%
1985	35%	65%	19%	81%	28%	72%	22%	78%	28%	72%
1986	38%	62%	17%	83%	20%	80%	13%	87%	20%	80%
1987	4%	96%	13%	87%	33%	67%	44%	56%	21%	79%
1988	26%	74%	9%	91%	15%	85%	37%	63%	23%	77%
1989	24%	76%	12%	88%	39%	61%	31%	69%	27%	73%
1990	23%	77%	20%	80%	29%	71%	25%	75%	25%	75%
1991	17%	83%	23%	77%	20%	80%	30%	70%	21%	79%
1992	12%	88%	19%	81%	25%	75%	27%	73%	19%	81%
1993	13%	87%	16%	84%	34%	66%	42%	58%	24%	76%
1994	34%	66%	11%	89%	29%	71%	39%	61%	28%	72%
1995	20%	80%	18%	82%	39%	61%	37%	63%	30%	70%
1996	19%	81%	22%	78%	22%	78%	37%	63%	25%	75%
1997	22%	78%	22%	78%	36%	64%	25%	75%	27%	73%
1998	25%	75%	25%	75%	34%	66%	35%	65%	31%	69%
1999	8%	92%	22%	78%	32%	68%	41%	59%	24%	76%
2000	16%	84%	27%	73%	29%	71%	55%	45%	32%	68%
2001	16%	84%	21%	79%	30%	70%	41%	59%	28%	72%
2002	23%	77%	20%	80%	51%	49%	46%	54%	33%	67%
2003	25%	75%	19%	81%	31%	69%	33%	67%	29%	71%
2004	17%	83%	14%	86%	15%	85%	42%	58%	22%	78%
2005	14%	86%	9%	91%	30%	70%	38%	62%	24%	76%
2006	18%	82%	18%	82%	30%	70%	33%	67%	27%	73%
2007	19%	81%	18%	82%	31%	69%	31%	69%	26%	74%
2008	18%	82%	11%	89%	15%	85%	22%	78%	17%	83%
2009	22%	78%	27%	73%	30%	70%	29%	71%	28%	72%
2010	12%	88%	24%	76%	16%	84%	33%	67%	21%	79%
2011	13%	87%	17%	83%	44%	56%	27%	73%	29%	71%
2012	10%	90%	14%	86%	10%	90%	31%	69%	15%	85%
2013	21%	79%	10%	90%	37%	63%	30%	70%	28%	72%
2014	27%	73%	18%	82%	27%	73%	36%	64%	28%	72%
2015	4%	96%	21%	79%	23%	77%	33%	67%	20%	80%
2016	12%	88%	20%	80%	25%	75%	40%	60%	25%	75%

**Tabelle A.18: Paul Scherrer Institut (PSI), Kollektivdosen des dosimetrierten Personals, 1972 bis 2016**

PSI-Gesamtpersonal			
Kalenderjahr	Anzahl Personen	Kollektivdosis [Pers.-mSv]	Mittel pro Person [mSv]
1972	268	1'118.0	4.2
1973	288	892.0	3.1
1974	287	688.0	2.4
1975	288	687.0	2.4
1976	294	767.0	2.6
1977	360	1'019.0	2.8
1978	351	830.0	2.4
1979	358	683.0	1.9
1980	337	590.0	1.8
1981	380	572.0	1.5
1982	374	640.0	1.7
1983	382	507.0	1.3
1984	374	566.0	1.5
1985	383	598.0	1.6
1986	380	541.0	1.4
1987	423	603.3	1.4
1988	1180	822.9	0.7
1989	1199	1'011.2	0.8
1990	1217	1'085.3	0.9
1991	1257	840.0	0.7
1992	1164	745.0	0.6
1993	1112	523.3	0.5
1994	1129	469.1	0.4
1995	1156	537.8	0.5
1996	1179	431.9	0.4
1997	1161	354.2	0.3
1998	1260	239.5	0.2
1999	1245	195.9	0.2
2000	1197	145.7	0.1
2001	1137	188.6	0.2
2002	1156	179.6	0.2
2003	1142	182.7	0.2
2004	1232	228.0	0.2
2005	1313	177.7	0.1
2006	1342	183.4	0.1
2007	1375	154.4	0.1
2008	1454	136.3	0.1
2009	1486	85.9	0.1
2010	1491	129.5	0.1
2011	1397	100.7	0.1
2012	1449	90.2	0.1
2013	1446	71.4	0.0
2014	1509	81.5	0.1
2015	1581	114.2	0.1
2016	1716	64.1	0.0

**Tabelle A.19: Zentrales Zwischenlager Würenlingen (ZZL), Kollektivdosen des dosimetrierten Personals 2001 bis 2016**

Kalender-jahr	Eigenpersonal			Fremdpersonal			Total		
	Anzahl Personen	Kollektiv-dosis [Pers.-mSv]	Mittel pro Person	Anzahl Personen	Kollektiv-dosis [Pers.-mSv]	Mittel pro Person	Anzahl Personen	Kollektiv-dosis [Pers.-mSv]	Mittel pro Person
2001	21	1.3	0.1	35	0.9	0.0	56	2.2	0.0
2002	30	6.1	0.2	61	2.0	0.0	91	8.1	0.1
2003	29	1.8	0.1	59	0.9	0.0	88	2.7	0.0
2004	33	2.6	0.1	71	0.7	0.0	104	3.3	0.0
2005	29	4.9	0.2	79	10.1	0.1	108	15.0	0.1
2006	31	2.7	0.1	70	18	0.3	101	20.7	0.2
2007	40	7.1	0.2	85	15.2	0.2	125	22.3	0.2
2008	50	19.9	0.4	77	7.2	0.1	127	27.1	0.2
2009	52	10.3	0.2	99	2.3	0.0	151	12.6	0.1
2010	56	15.8	0.3	101	2.7	0.0	157	18.5	0.1
2011	60	12.4	0.2	99	2.8	0.0	159	15.2	0.1
2012	67	14.2	0.2	137	4.8	0.0	204	19.0	0.1
2013	68	13.1	0.2	125	2.6	0.0	193	15.7	0.1
2014	71	15.0	0.2	125	3.0	0.0	196	18.0	0.1
2015	72	24.0	0.3	141	4.8	0.0	213	28.8	0.1
2016	75	7.6	0.1	127	0.9	0.0	202	8.5	0.0

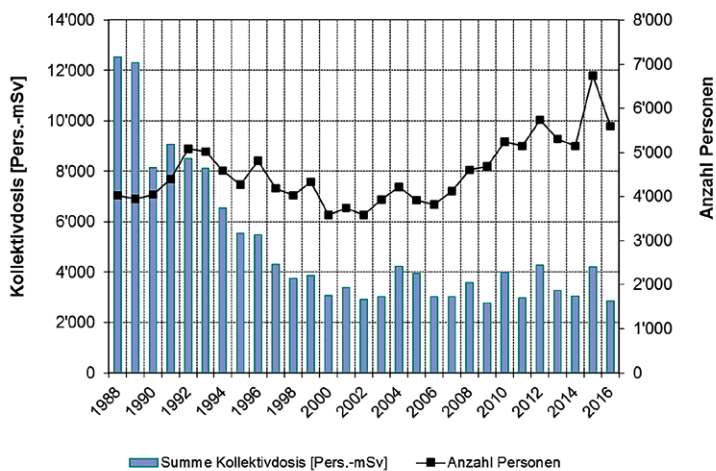
## Jahreskollektivdosen in den Kernkraftwerken in der Schweiz

**Tabelle A.20:** Summe der Kollektivdosen in Pers.-mSv und Anzahl beruflich strahlenexponierter Personen, 1988 bis 2016

Jahr	Summe Kollektivdosis [Pers.-mSv]	Anzahl Personen
1988	12'520	4'035
1989	12'310	3'941
1990	8'150	4'040
1991	9'056	4'402
1992	8'500	5'084
1993	8'100	5'011
1994	6'559	4'595
1995	5'535	4'268
1996	5'487	4'818
1997	4'297	4'186
1998	3'744	4'031
1999	3'859	4'326
2000	3'068	3'586
2001	3'380	3'745
2002	2'922	3'580
2003	3'013	3'937
2004	4'236	4'221
2005	3'946	3'913
2006	3'009	3'815
2007	3'018	4'127
2008	3'583	4'603
2009	2'770	4'680
2010	3'966	5'236
2011	2'976	5'150
2012	4'267	5'736
2013	3'279	5'305
2014	3'050	5'144
2015	4'187	6'749
2016	2'857	5'588

Die Anzahl Personen in dieser Tabelle entspricht der Summe der Meldungen der einzelnen Kraftwerke. Sie enthält demnach Mehrfachmeldungen der Personen, die in mehr als einer Anlage eingesetzt wurden. Weitere Informationen dazu sind im Kapitel 4.2 Personendosimetrie zu finden.

### Grafische Darstellung der Daten aus Tabelle A.20:



## Vergleich von TLD- oder DIS-Daten mit EPD-Daten

Die elektronischen Personendosimeter (EPD) liefern Messwerte, die von TLD- und DIS-Messwerten der behördlich anerkannten Personendosimetriestellen leicht abweichen können. Diese Abweichungen sind vom EPD-Typ sowie von den Eigenschaften des

Strahlenfeldes abhängig. Ausserdem führt die Rundung bei den anerkannten Dosimetern im niedrigen Dosisbereich zu geringeren Kollektivdosen gegenüber den mit EPD ermittelten, die grundsätzlich nicht gerundet werden.

**Tabelle A.21: Zusammenstellung der mit EPD und der mit Dosimetern der anerkannten Personendosimetriestellen ermittelten Kollektivdosen für das Kalenderjahr 2016**

Kernkraftwerk	TLD oder DIS* [Pers.-mSv]		EPD* [Pers.-mSv]		Verhältnis TLD/DIS/EPD*	
KKB 1 und 2	EP	157	EP	156	EP	1.00
	FP	373	FP	345	FP	1.08
	Summe	530	Summe	501	EP und FP	1.06
KKG	EP	158	EP	174	EP	0.91
	FP	281	FP	319	FP	0.88
	Summe	439	Summe	493	EP und FP	0.89
KKL	EP	281	EP	287	EP	0.98
	FP	943	FP	895	FP	1.05
	Summe	1225	Summe	1182	EP und FP	1.04
KKM	EP	264	EP	348	EP	0.76
	FP	400	FP	499	FP	0.80
	Summe	664	Summe	847	EP und FP	0.78

### 4.3 Bewertung der Strahlenexposition in den Kernanlagen

Die Kollektivdosen konnten in den vergangenen Jahren deutlich verringert werden und haben sich, nicht zuletzt aufgrund des anfangs der neunziger Jahre in Kraft getretenen Jahreshöchstwertes für beruflich strahlenexponierte Personen von 20 mSv, auf einem niedrigen Niveau eingependelt. Verlängerte Revisionsstillstände stechen dann schnell aus dem Verbund der Kollektivdosen heraus, weil mehr Arbeiten im Strahlenfeld durchgeführt werden können, (siehe Darstellung A.3). Wenn während der Jahresrevisionen umfangreiche Systemänderungen oder grössere Reparaturen vorgenommen wurden, kann eine neuere Anlage eine höhere Jahreskollektivdosis aufweisen als eine ältere.

Der Quotient aus Dosis pro erzeugter elektrischer Energie QSE hat sich aufgrund der erreichten Dosisreduktionen, der in der Mehrheit zeitlich verkürzten Stillstände und aufgrund der Leistungserhöhungen auf einem tiefen Wert eingependelt. Betrug der Wert im Jahr 1991 noch 0,4 Pers.-mSv pro GWh<sub>(e)</sub>, so erfolgt aktuell eine Stabilisierung zwischen 0,1 und 0,2 Pers.-mSv pro GWh<sub>(e)</sub>. Der im Jahr 2016 erreichte Wert liegt bei 0,13 Pers.-mSv pro GWh<sub>(e)</sub>. Im Berichtsjahr haben lange Stillstände dazu geführt, dass zwar insgesamt weniger elekt-

rische Energie erzeugt wurde, dass aber auch die akkumulierte Kollektivdosis tiefer war.

Über die letzten Jahre konnten die mittleren Individualdosen deutlich gesenkt werden, während sich die Zahl der beruflich strahlenexponierten Personen über einige Jahre konstant verhielt und dann aber wieder deutlich steigende Tendenz zeigte. Im Jahr 2016 lag die Zahl der strahlenexponierten Personen mit 6153 gegenüber dem Vorjahr (7297) deutlich tiefer, wobei auch eine entsprechend geringere Kollektivdosis von 2877 Pers.-mSv akkumuliert wurde. Die mittlere Exposition des Eigen- und Fremdpersonals lag im Jahr 2016 für alle Kernkraftwerke und das ZZL trotzdem fast unverändert bei 0,5 mSv. Die maximalen Individualdosen, die von einigen Spezialisten an Arbeitsorten mit relativ hoher Ortsdosisleistung oder nach Arbeiten in verschiedenen Kraftwerken akkumuliert werden können, bieten nach wie vor eine Herausforderung für den operationellen Strahlenschutz. Im Berichtsjahr 2016 wurde der Jahreshöchstwert von 20 mSv für die Individualdosis des beruflich strahlenexponierten Personals im Aufsichtsbereich des ENSI in allen Kernanlagen eingehalten, die höchste akkumulierte Individualdosis lag mit 10,0 mSv wiederum leicht tiefer als im Vorjahr. Seit Inkrafttreten der neuen Strahlenschutzverordnung im Jahr 1994 gab es im Aufsichtsbereich des ENSI drei Grenzwertüberschreitungen, die aber in jedem Fall unter 50 mSv blieben.

Das ENSI bewertet den Strahlenschutz in den schweizerischen Kernanlagen, nicht zuletzt aus dem gewonnenen Eindruck bei Inspektionen vor Ort, weiterhin als gut. Die Optimierungsanstrengungen, die seit den 90er Jahren zur Reduktion der Dosen führten, zeigen nachhaltigen Erfolg. Die Herausforderung, sowohl für die Betreiber als auch für die Aufsichtsbehörde, besteht darin, diesen guten Zustand zu erhalten. Trotzdem kann es, wie zum Beispiel beim KKL, eine über mehrere Jahre sichtbare Tendenz zu höheren Kollektivdosen geben. Das KKL und das ENSI sind bestrebt, nachdem mögliche Ursachen dafür eruiert werden, geeignete Massnahmen zu ergreifen. Ungeplante Expositionen können durch konsequente Ausbildung des Personals im Strahlenschutz, Planung der Tätigkeiten und deren Abfolgen, Absperrungen von Gebieten mit hoher Ortsdosisleistung sowie durch den Einsatz von zusätzlichen Dosisleistungsmessgeräten mit Alarmierungsfunktionen und Fernablesung vermieden werden.

#### 4.4 Entwicklung der Exposition

Aussagen über die zukünftige Entwicklung der Strahlenexposition sind schwierig, insbesondere in einem komplexen Gebiet wie dem Strahlenschutz in Kernanlagen. Dennoch kann versucht werden, aus der Exposition des beruflich strahlenexponierten Personals in der Vergangenheit Tendenzen für die Zukunft abzuleiten.

Das Potenzial der technischen Massnahmen, welche für die Reduktion der Dosis eingesetzt werden, wie zum Beispiel temporäre Abschirmungen aus Bleiblechen, ist weitestgehend ausgeschöpft. Optimierungen, sowie schnelleres Auf- und Rückbauen der Abschirmungen, Verfeinerungen beim Design und bei der Planung und ähnliche Massnahmen erlauben es, die Effizienz dieser Mittel noch zu steigern. Beiträge zu einer weiteren signifikanten Dosisreduktion dürfen aber nicht mehr erwartet werden. Viel mehr werden alterungsbedingte Aufwendungen für die Werkstoffprüfung im Strahlenfeld und die damit verbundene Exposition des Personals zu beobachten sein. Die Gewährleistung der Sicherheit des beruflich strahlenexponierten Personals obliegt dem operationellen Strahlenschutz. Um diese Vorgabe erfüllen zu können, darf zum Beispiel auch die Ausbildung oder der Erfahrungsaustausch mit anderen Kernanlagen oder anderen Ländern nicht vernachlässigt werden.

Änderungen in der Wasserchemie im Druckwasser (DWR) wie auch im Siedewasserreaktor (SWR) können zu einer Dosisreduktion beitragen. Durch das Einspeisen von Zink, welches anstatt  $^{60}\text{Co}$  in die Korrosionsschichten eingelagert wird, können die Ortsdosisleistungen an Komponenten des Primärkreislaufes reduziert werden. Diese Massnahme führt zu einem erheblichen Beitrag zur Reduktion von Individual- und Kollektivdosen.

Das Verfahren wird vom KKG seit dem Jahr 2005 mit Erfolg angewendet. Die Verringerung der Dosisleistung an ausgewählten Primärkomponenten war im Jahr 2016 noch etwas ausgeprägter als im Vorjahr (-66% im Vergleich mit -62%), lag aber weiterhin deutlich unter den Werten zu Beginn der Zinkdosierung. Die auf der Innenseite des RDB-Deckels gemessene Oberflächendosisleistung lag leicht höher als diejenige im Vorjahr. Diese niedrigen Oberflächendosisleistungen sind erfreulich und tragen ebenfalls zur Minimierung der Kollektiv- und Individualdosen bei. Die mittlere Dosisleistung nahm gegenüber dem Vorjahr um etwa 7% ab. Im Innenbereich des Reaktordeckels lag die Dosisleistung ca. 75% unter dem Wert von 2006.

Das KKB stützt sich zur Dosisreduktion auf die seit vielen Jahren optimierte Abfahrchemie. Dabei wird während der Reinigungsphase auf eine saubere Trennung der beiden Phasen (sauer-reduzierend und sauer-oxidierend) geachtet. Diese Methode trägt dazu bei, dass die beiden Kobaltnuklide  $^{60}\text{Co}$  und  $^{58}\text{Co}$  aus dem Primärkreislauf entfernt werden können. Trotz dieser optimierten Abfahrchemie war in den letzten Jahren ein stetiger Anstieg der Dosisleistungen an den Closure Legs in Block 1 und 2 zu verzeichnen. Als Ursache wurde eine zunehmende Ablagerung von  $^{60}\text{Co}$  auf der inneren Oberfläche dieser Rohrleitungsabschnitte identifiziert. Da sich der Block 1 im Berichtsjahr im Stillstand befand, beziehen sich die weiteren Aussagen, wenn nicht anders erwähnt, auf den Block 2.

Um dem durch  $^{60}\text{Co}$  verursachten Anstieg der Ortsdosisleistung entgegen zu wirken und das Korrosionsverhalten der Komponenten des Primärkreislaufes über den gesamten Zyklus zu optimieren, wurde der pH-Wert bei 300°C von 7,2 wie schon in den Vorjahren zu Beginn des Zyklus eingestellt. Bislang konnten keine unerwünschten Auswirkungen der 2010 erfolgten Änderung der Reaktorkühlmittelchemie bei Leistungsbetrieb festgestellt werden. Die Konzentration von  $^{58}\text{Co}$  im Reaktorkühlmittel ist gesunken und blieb seit den letzten Zyklen auf niedrigem Niveau während die Konzentration an  $^{60}\text{Co}$  konstant blieb. Das Isotop liefert



auch den Hauptanteil der Kontamination an den Oberflächen des Primärkreislaufs und bestimmt grösstenteils die Ortsdosisleistung der Primärkomponenten, die sich im Vergleich zum Vorjahr nicht signifikant verändert hat. Die Ausnahme bilden die Closure Legs mit einer Erhöhung von 8% und der neue RDB-Deckel, wo aufgrund des Austausches eine tiefere ODL gemessen wurde. Die ODL an den Dampferzeugern liegt mit ca. 0,13 mSv/h rund 3% tiefer als im Vorjahr und auf sehr niedrigem Niveau. Das KKM hat im Berichtsjahr die in den Vorjahren erfolgreiche wasserchemische Fahrweise mit Zink-, Edelmetall- und Wasserstoff-Einspeisung fortgesetzt. Während des Jahres wurden 280 g Platin dem Speisewasser zugegeben. Die Tendenz zu niedrigeren Ortsdosisleistungen an den Umwälzschleifen nach der Einspeisung von Platin im KKM, die zwischenzeitlich etwas abnahm, scheint sich damit fortzusetzen. Der Mittelwert aus insgesamt 30 Dosisleistungsmessungen an verschiedenen Stellen an den beiden Umwälzschleifen lag mit 1,30 mSv/h im Vergleich zum Vorjahr um rund 10 % niedriger (2015: 1,44 mSv/h). Die durchschnittliche Dosisleistung an den Frischdampfleitungen ist im Vergleich mit dem Vorjahr gleich geblieben. Im Jahr 2004 lag die mittlere ODL an den Umwälzschleifen noch bei ca. 4 mSv/h. Auch im KKM ist  $^{60}\text{Co}$  das für die Dosisleistung bestimmende Nuklid. Obwohl durch die Brennstoffhüllrohr-Leckage einzelne Dosisleistungswerte höher ausfielen als im Vorjahr, liegen sie immer noch im Schwankungsbereich des mehrjährigen Trends.

Das KKL führte im betrachteten Zyklus Ende 2015 eine erste Edelmetall-Einspeisung mit 125 g Platin durch. Im Laufe des Berichtsjahres folgten weitere 480 g Platin im Rahmen von vier Miniapplikationen im Februar, April, Mai und im Juli 2016. Während 99,6% des Berichtsjahres wurde zudem Wasserstoff in den Primärkreislauf zu dosiert.

Der Mittelwert der Dosisleistung an der Umwälzschleife stieg im Vergleich zum Vorjahr (1,61 mSv/h) auf 1,90 mSv/h an. Der Mittelwert der  $^{60}\text{Co}$ -Konzentration über den gesamten Zyklus stieg im Vergleich zum Vorjahr um etwa 25% an. Bedingt durch den radioaktiven Zerfall nahm die Dosisleistung während des verlängerten Stillstands von August 2016 bis zum Ende des Berichtsjahres wieder auf 1,54 mSv/h ab. Eine weitere Bildung der in den vergangenen Jahren vermehrt auftretenden so genannten «hot spots» durch akkumulierte Korrosionsprodukte wurde durch optimierten Betrieb der Systeme verhindert. Diese Entwicklung und konsequent durchgeführte Strahlenschutzmassnahmen,

sowohl administrativer als auch technischer Art, wirken sich grundsätzlich positiv auf Individual- und Kollektivdosen aus. Wodurch die trotzdem steigenden Kollektivdosen herrühren, ist Gegenstand weiterer Untersuchungen durch das KKL.

Der Einsatz von Funkdosimetern bewährt sich zunehmend bei Arbeiten in wechselnden Strahlenfeldern. Mit diesen Geräten kann eine erhöhte Strahlenexposition einer Person vermieden werden, ohne dass sich Strahlenschutzfunktionsträger selbst ins Strahlenfeld begeben müssen.

Zusammenfassend erwartet das ENSI für den Strahlenschutz, dass sich der gute Zustand in den schweizerischen Kernkraftwerken halten und vielleicht leicht verbessern wird. Für das Anlagenpersonal bedeutet dies eine weitere, wenn auch im Durchschnitt nur geringe Reduktion der überwiegend geringen Exposition. Bei den maximalen Individualdosen setzt sich der Trend zu Werten im Bereich der Hälfte des Jahresgrenzwertes von 20 mSv fort. Den Arbeiten in hohen und variablen Strahlenfeldern ist seitens der Betreiber und der Aufsichtsbehörden eine ganz besondere Beachtung zu schenken, damit sich Vorkommnisse wie im KKB (2009) und im KKL (2010) nicht wiederholen. Die Ausbildung des Personals im Strahlenschutz, das Absperren von Gebieten mit hoher Ortsdosisleistung, der Einsatz einer so genannten Gamma-Kamera, die Verwendung von Funkdosimetern, die Einführung der Zinkeinspeisung und der Einsatz von Messgeräten mit Anzeigen sowie Warneinrichtungen ausserhalb von Strahlenfeldern könnten möglicherweise in einigen Anlagen noch zu Verbesserungen beitragen.

# B: Umweltradioaktivität bei Kernanlagen, Überwachung

## 5 Überwachung der Kernanlagen: Emissionen und Immissionen

Die Abgaben radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser und der Abluft lagen im Jahr 2016 für die vier Schweizer Kernkraftwerke Beznau (KKB 1 und KKB 2), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) und Mühleberg (KKM) sowie für das Paul Scherrer Institut (PSI) und das am gleichen Standort gelegene Zentrale Zwischenlager Würenlingen (ZZL) deutlich unterhalb der Jahres- und Kurzzeit-Abgabelimiten. Die aus den tatsächlichen Abgaben und der Direktstrahlung aus der jeweiligen Anlage errechnete Strahlenexposition liegt selbst unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren für Erwachsene, zehnjährige Kinder und Kleinkinder weit unterhalb des für Standorte von Kernanlagen festgelegten quellenbezogenen Dosisrichtwerts von 0,3 mSv pro Jahr.

Die externe Strahlung wird mit dem Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK) ständig überwacht. In der Umgebung des KKB und des PSI sind 17, beim KKG 16 und beim KKL und KKM je 12 Ortsdosisleistungs-Messsonden in einem Abstand von bis zu ca. 5 km um die Anlagen in Betrieb. Die Messwerte dieser MADUK-Sonden werden alle 10 Minuten in die ENSI-Zentrale übertragen und automatisch analysiert. Abweichungen vom Schwankungsbereich der natürlichen Strahlung werden signalisiert und automatisch dem ENSI-Piketingenieur gemeldet. Die im Berichtsjahr registrierten Nettodosisleistungserhöhungen bei MADUK-Sonden waren alle durch meteorologische Einflüsse wie z.B. Starkregen bedingt und hatten keinen Zusammenhang mit dem Betrieb der Werke. Im Rahmen des permanenten Probenahme- und Messprogramms für Immission wurden die wichtigsten Expositionspfade radioaktiver Stoffe in der Umgebung der Kernanlagen überwacht.

Die im Boden gemessenen künstlichen Radionuklide (insbesondere  $^{137}\text{Cs}$ ) können mit den Atom-

waffentests oder mit dem Reaktorunfall in Tschernobyl in Verbindung gebracht werden. Die langjährige Messreihe der Universität Bern von  $^{14}\text{C}$  in Baumblättern in der Umgebung der Kernkraftwerke wurde fortgesetzt.

Im aquatischen Milieu zeigten Wasser-, Wasserpflanzen- und Sediment- und Fischproben Spuren von künstlichen Radionukliden wie beispielsweise  $^{60}\text{Co}$ , die aus den Abgaben der Kernanlagen stammen. Die grössten Abgaben radioaktiver Stoffe (ausser Tritium) erfolgen während den Revisionsabstellungen. Für das insbesondere in Sedimentproben gemessene  $^{137}\text{Cs}$  ist keine eindeutige Zuordnung in Anteile aus dem Reaktorunfall in Tschernobyl und den Abgaben der Kernkraftwerke mehr möglich.

Detaillierte Messresultate zu diesem Probenahme- und Messprogramm können dem BAG Jahresbericht 2016 über «Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz» entnommen werden.

### 5.1 Emissionen aus den Kernanlagen

Die Abgaben von radioaktiven Stoffen mit der Abluft und dem Abwasser der schweizerischen Kernkraftwerke sind in der Darstellung B.1a für die letzten fünf Jahre zusammen mit den entsprechenden Jahreslimiten dargestellt. Darstellung B.1b enthält eine monatliche Aufschlüsselung der limitierten radioaktiven Abgaben der Kernkraftwerke. Tabelle B.1 zeigt die in den Kernkraftwerken und im Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) gemessenen Abgabewerte sowie die unter ungünstigen Annahmen gemäss Richtlinie ENSI-G14 errechneten Personendosen für Erwachsene, 10-jährige Kinder und Kleinkinder in der Umgebung der betreffenden Anlage im Jahr 2016. Die Abgaben des Paul Scher-

rer Instituts und die daraus in gleicher Weise berechneten Dosiswerte sind in Tabelle B.2 zusammengestellt. Eine nuklidspezifische Aufschlüsselung der Aktivitätsabgaben mit dem Abwasser ist in Tabelle B.3a, mit der Abluft in den Tabellen B.3b und B.3c aufgelistet. Die Fussnoten zu den Tabellen geben Hinweise zu den Limiten, den Messungen und den bei der Berechnung der Jahresdosis verwendeten Annahmen. Darstellung B.2 zeigt für die vier schweizerischen Kernkraftwerke den Verlauf der in der Umgebung berechneten Dosen für die meistbetroffenen Personen (nur Erwachsene) seit dem Jahr 1996.

Alle Kernanlagen haben die vorgeschriebenen Jahres- und die Kurzzeitabgabelimiten eingehalten. Zur Überprüfung der Messverfahren der Kernanlagen hat das ENSI an rund 180 Proben eigene gammapektrometrische Messungen durchgeführt (inkl. Teilnahme an Ringvergleichen zur Sicherstellung der eigenen Messqualität). Dabei wurden Aerosol- und Jodfilter sowie Abwasserproben aus den Anlagen stichprobenweise analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die Abgabereglemente eingehalten werden.

Bei der monatlichen Aufschlüsselung der radioaktiven Abgaben aus den Werken (vgl. Darstellung B.1b) ist bei den flüssigen Abgaben beim KKG die jährlich jeweils vor dem Revisionsstillstand durchgeführte Verwerfungsaktion für tritiumhaltiges Wasser bei den Abgaben erkennbar. Solche Abgaben sind in den Druckwasserreaktoren systembedingt erforderlich, um den operationellen Strahlenschutz während der Revision zu optimieren. Im Gegensatz zum KKG erfolgen die Tritiumabgaben im KKB über das ganze Jahr verteilt.

Alle Schweizer Kernkraftwerke haben auch 2016 die  $^{14}\text{C}$ -Aktivität in der Abluft gemessen. Der Dosisbeitrag von  $^{14}\text{C}$  wurde aus den Messwerten ermittelt. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die  $^{14}\text{C}$ -Abgaben aus den schweizerischen Kernkraftwerken im Normalbetrieb der Kernkraftwerke über die Ingestion von Nahrungsmitteln den grössten Beitrag zur Dosis in der Umgebung der Anlagen liefern. Dieser Beitrag liegt aber bei wenigen Prozent des quellenbezogenen Dosisrichtwertes und ist somit radiologisch nicht relevant. Die aus den Emissionen der Kernkraftwerke errechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in unmittelbarer Nähe der Anlage beträgt unter Berücksichtigung der Ablagerungen aus den Vorjahren beim KKG und KKB weniger als 0,001 mSv und beim KKM und KKL etwa 0,004 mSv. Die Dosiswerte für Einzelpersonen der Bevölkerung in der

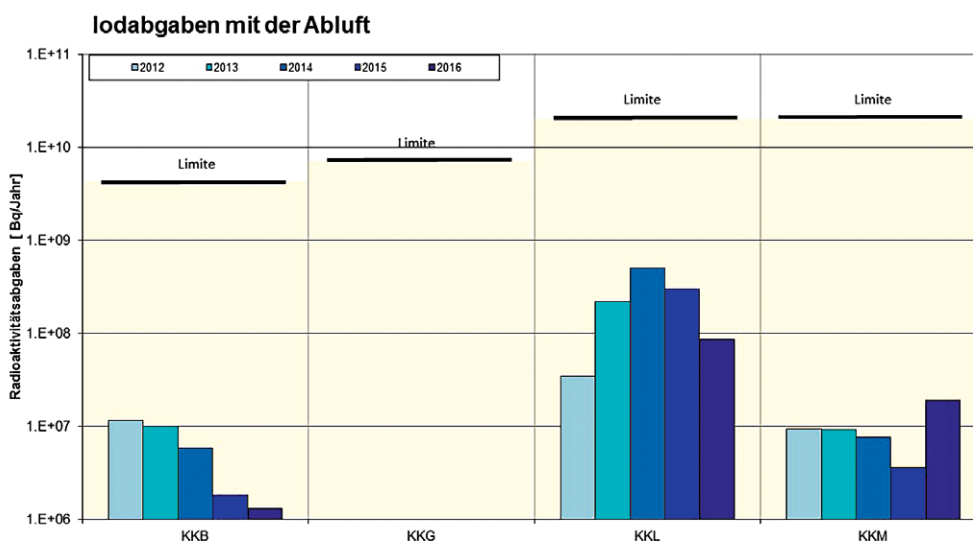
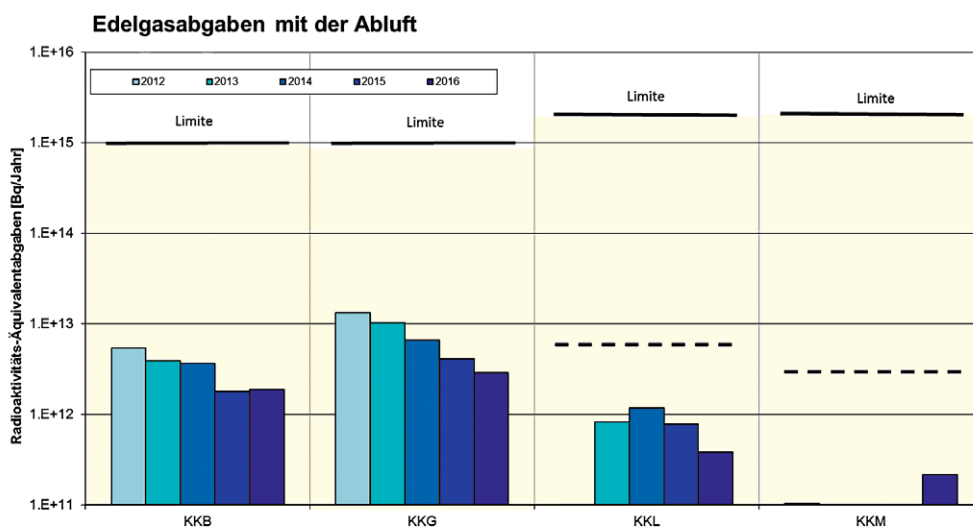
Umgebung betragen somit im Jahr 2016 nur einen Bruchteil des quellenbezogenen Dosisrichtwertes.

Das PSI ist aufgrund der Bewilligung für die Abgabe radioaktiver Stoffe und die Direktstrahlung verpflichtet, sowohl für die einzelnen Anlagen als auch für die Gesamtanlage des PSI die aus den Abgaben resultierende Dosis in der Umgebung zu berechnen. Beim PSI errechnet das ENSI eine Jahresdosis für Einzelpersonen in der Umgebung von weniger als 0,007 mSv. Beinahe die gesamte Dosis ergibt sich im PSI durch die Abgabe von kurzlebigen radioaktiven Edelgasen aus den Teilchenbeschleunigern im West-Areal des Institutes. Die vom PSI und vom ENSI unabhängig voneinander durchgeführten Berechnungen zeigen, dass unter ungünstigen Annahmen die Jahresdosis für Einzelpersonen der Bevölkerung in der Umgebung deutlich unterhalb des für das PSI bewilligten Anteils von 0,15 mSv pro Jahr am quellenbezogenen Dosisrichtwert für den gemeinsamen Standort des PSI und des ZZL liegt. Für das ZZL beträgt der Anteil 0,05 mSv pro Jahr.

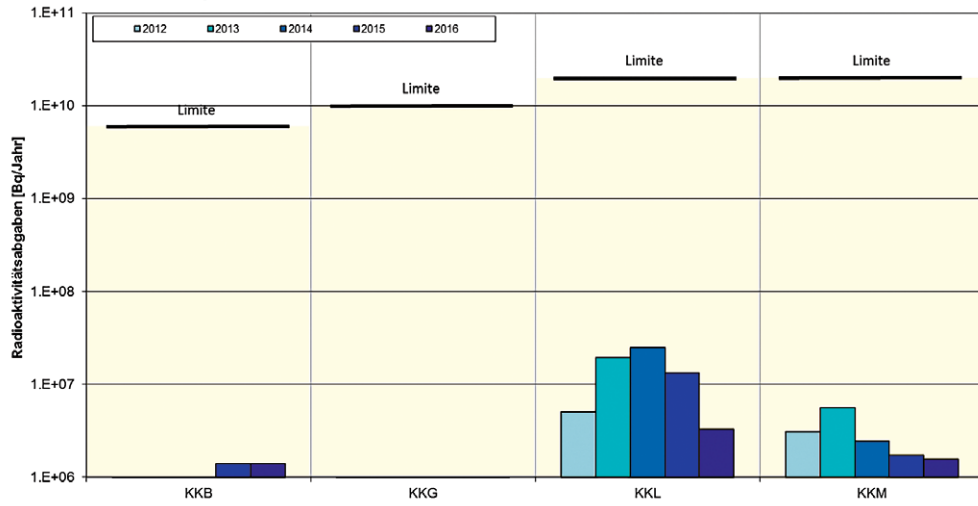
Im Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) erfolgten im Berichtsjahr Einlagerungen von 9 Transport- und Lagerbehältern mit hochaktivem Abfall aus Sellafield, von Glaskokillen mit mittelaktivem Abfall aus La Hague sowie von Brennelementen aus dem KKL. In der Konditionieranlage wurden grosse Mengen verschiedensten Materials angeliefert und konditioniert. Bei der Plasmaanlage fand 2016 eine Verbrennungskampagne im Herbst statt. Die für das Jahr 2016 bilanzierten Abgaben des ZZL sind in den Tabellen B.1 und B.3a bis B.3c zusammengestellt. Die aufgrund der Abgaben unter ungünstigen Annahmen berechnete Jahresdosis für Einzelpersonen der Umgebungsbevölkerung lag unterhalb von 0,001 mSv.

**Darstellung B.1a:** Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an die Atmosphäre und mit dem Abwasser in den letzten fünf Jahren (2012 bis 2016) im Vergleich mit den Jahres-Abgabelimiten.

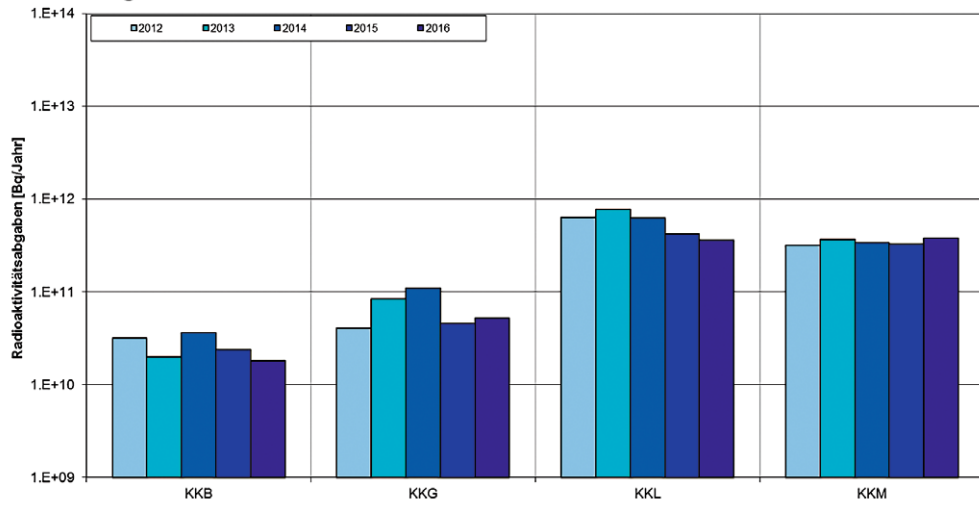
Angegeben ist für die jeweilige Nuklidgruppe und den Abgabepfad die Jahressumme der bei den einzelnen bilanzierenden Messungen durch die Kernkraftwerke ausgewiesenen Aktivitätsabgaben. Die Edelgasbilanzierung im KKB und im KKG basiert auf Beta-Totalmessungen. Für die Umrechnung in die für den Vergleich mit den Abgabelimiten notwendigen Edelgas-Abgabeäquivalente wurde in diesen Fällen ein konservatives Nuklidgemisch angesetzt. Das KKL und das KKM bilanzieren die Edelgase dagegen nuklidspezifisch mittels Gamma-Spektrometriemessungen. Die nuklidspezifischen Messungen liegen häufig unterhalb der Nachweisgrenze. Die gestrichelten Linien bei KKL und KKM stellen eine abgeschätzte obere Grenze der tatsächlichen Abgaben dar, falls die Edelgasaktivitäten jeweils knapp unterhalb der Nachweisgrenze liegen würden.



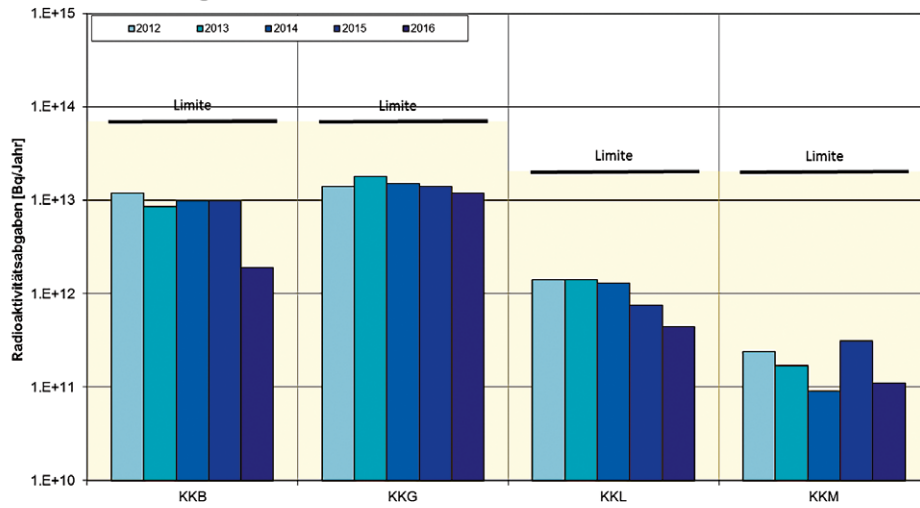
### Aerosolabgaben mit der Abluft



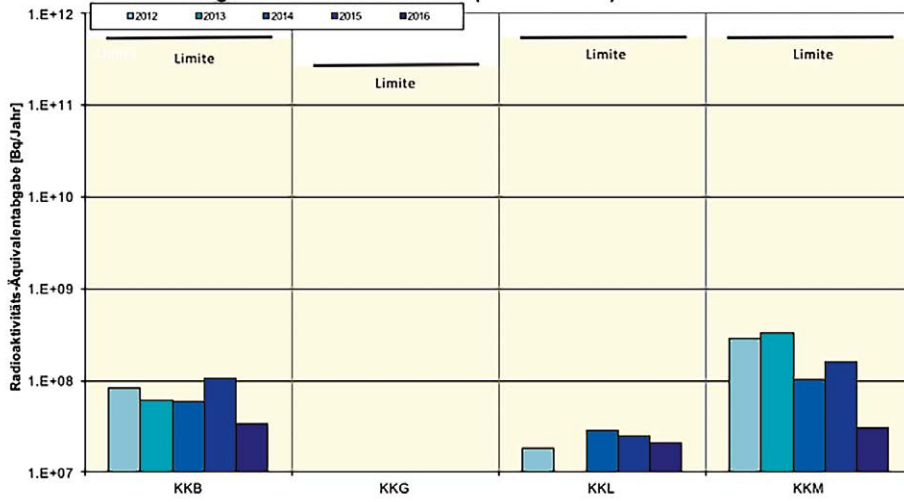
### Abgabe von Kohlenstoff-14 mit der Abluft



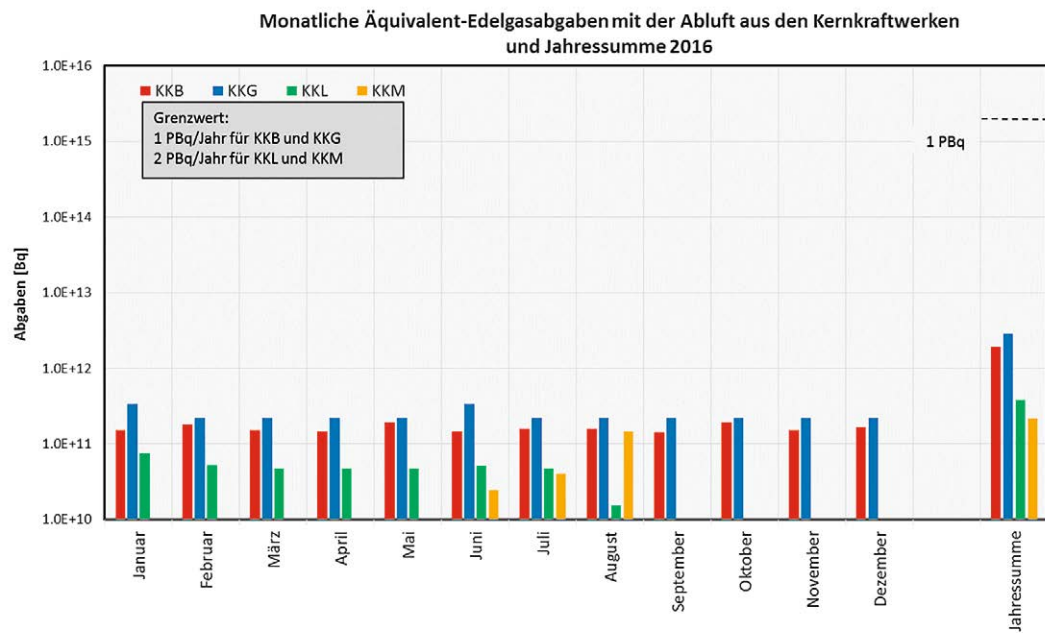
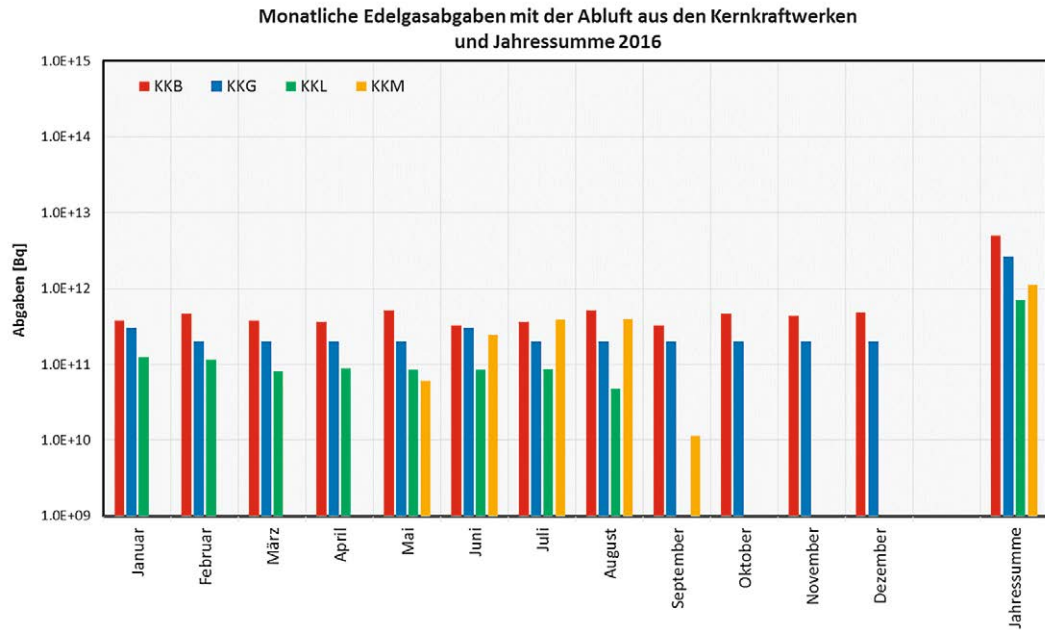
### Tritiumabgaben mit dem Abwasser



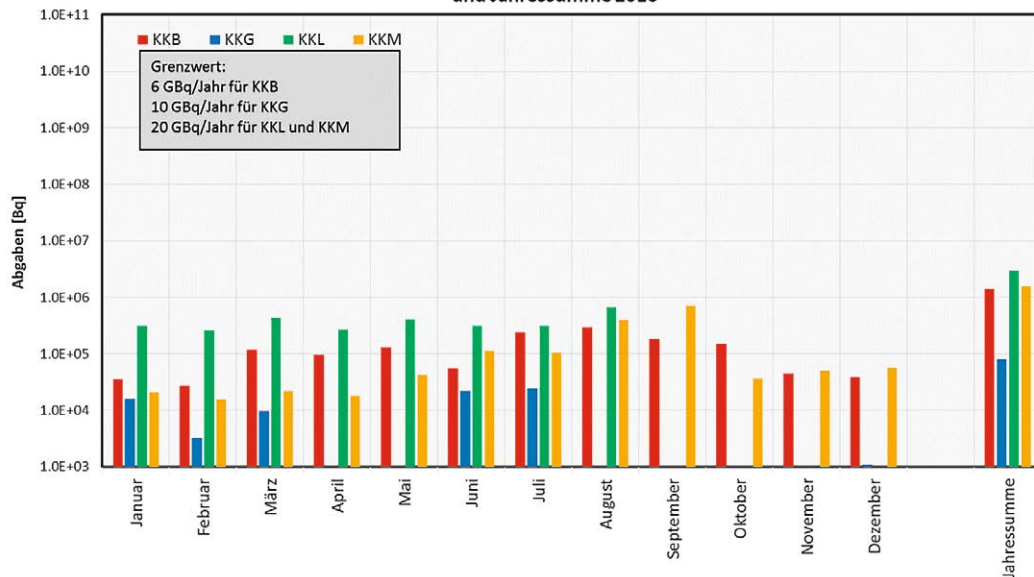
### Aktivitätsabgabe mit dem Abwasser (ohne Tritium)



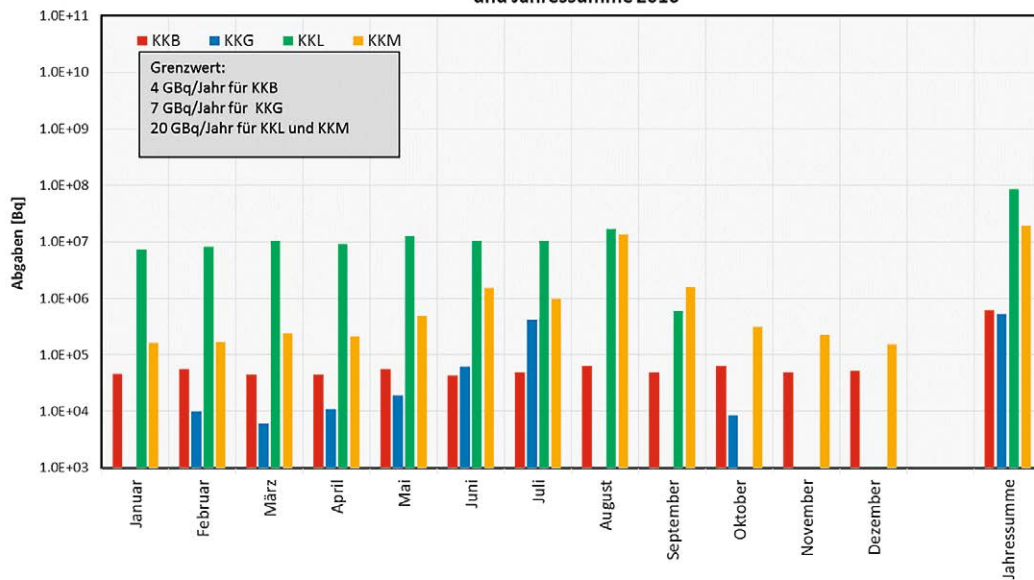
**Darstellung B.1b:** Abgaben der schweizerischen Kernkraftwerke an die Atmosphäre und das Abwasser im Jahr 2016, aufgeschlüsselt nach einzelnen Monaten



Monatliche Aerosolabgaben mit der Abluft aus den Kernkraftwerken  
und Jahressumme 2016

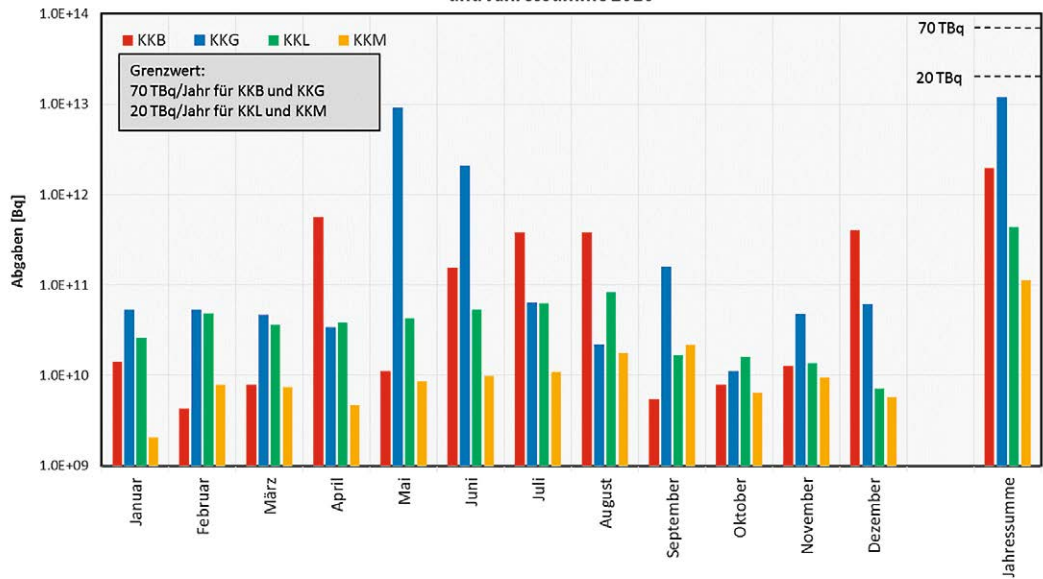


Monatliche Abgaben von Iod-131 mit der Abluft aus den Kernkraftwerken  
und Jahressumme 2016

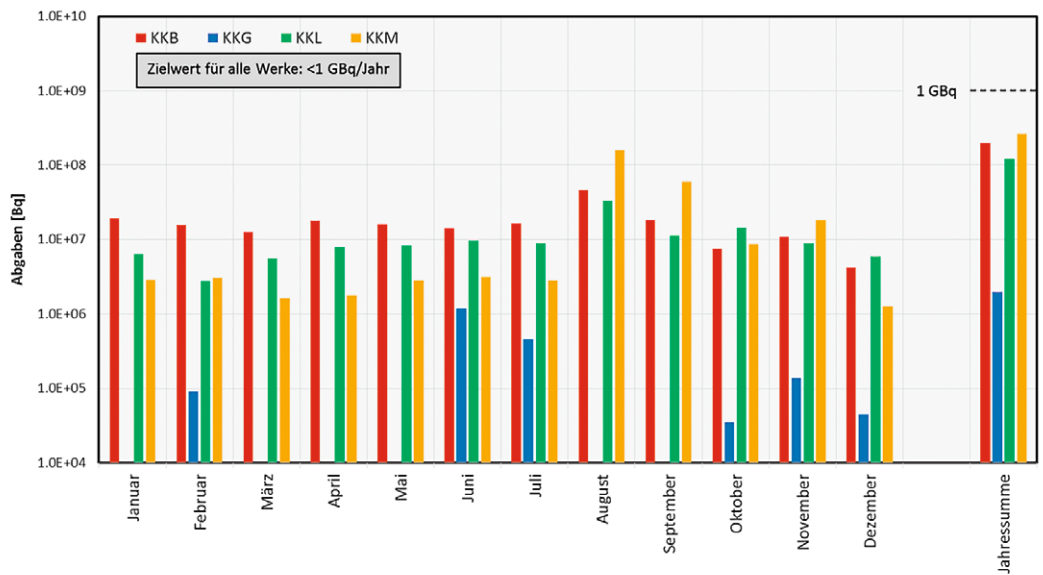




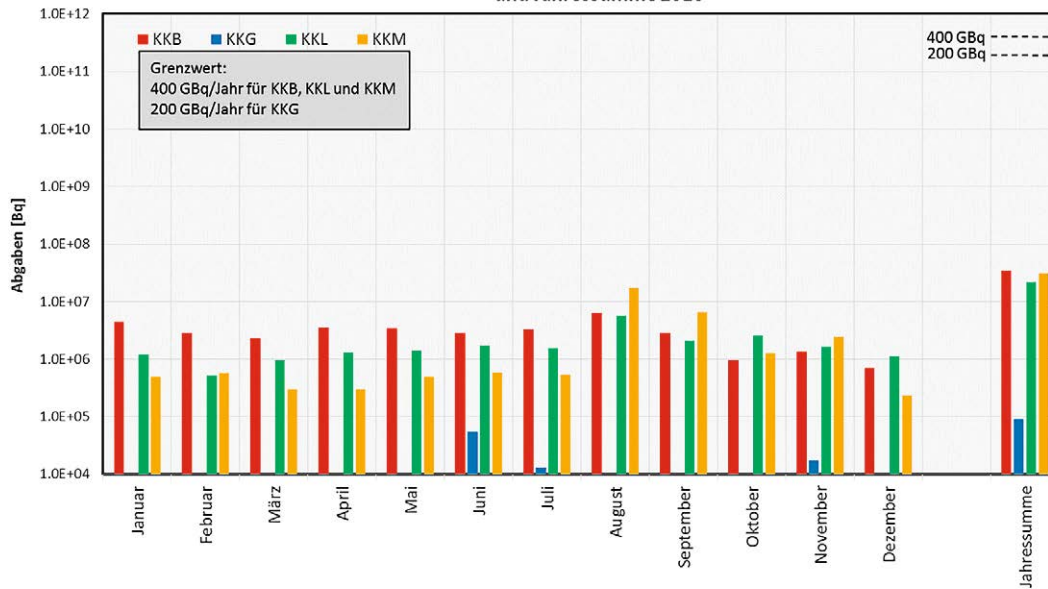
Monatliche Abgaben von Tritium mit dem Abwasser aus den Kernkraftwerken und Jahressumme 2016



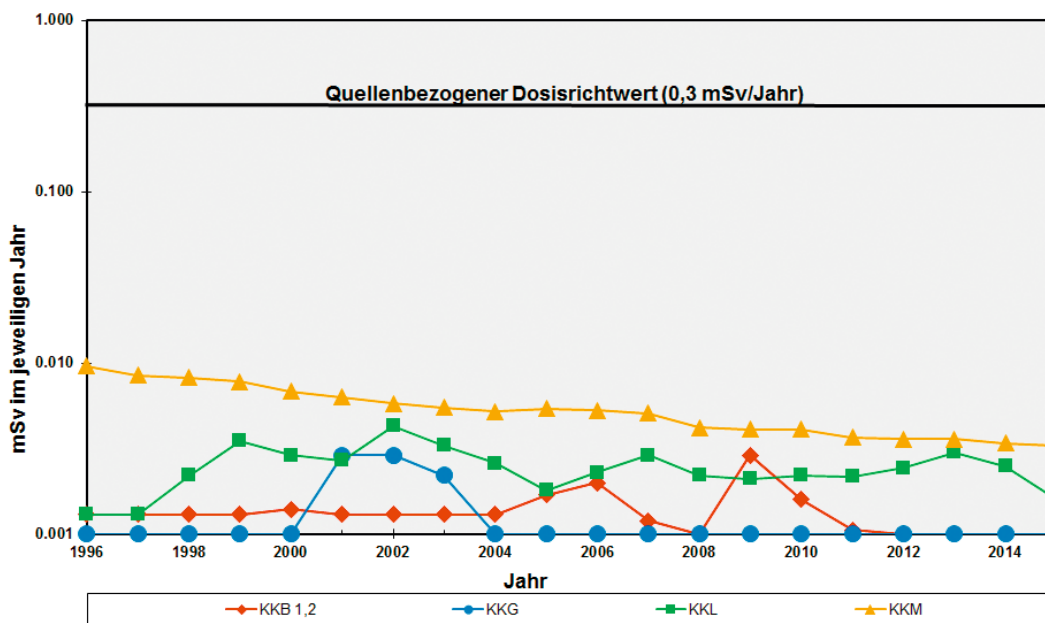
Monatliche Abgaben der übrigen Nuklide mit dem Abwasser aus den Kernkraftwerken und Jahressumme 2016



Monatliche Äquivalentabgaben der übrigen Nuklide mit dem Abwasser aus den Kernkraftwerken und Jahressumme 2016



Darstellung B.2: Berechnete Dosen für die meistbetroffenen Personen<sup>1</sup> (Erwachsene) in der Umgebung der schweizerischen KKW



<sup>1</sup> Erwachsene Person, die sich dauernd am kritischen Ort aufhält, ihre gesamte Nahrung von diesem Ort bezieht und nur Trinkwasser aus dem Fluss unterhalb des jeweiligen Kernkraftwerks konsumiert. An diesem Ort ist der Dosisbeitrag durch die Direktstrahlung aus den Kernkraftwerken vernachlässigbar. Werte kleiner als 0,001 mSv werden in der Figur nicht dargestellt.

**Tabelle B.1:** Zusammenstellung der Abgaben radioaktiver Stoffe an die Umgebung im Jahr 2016 für die Kernkraftwerke und das Zentrale Zwischenlager Würenlingen und die daraus berechnete Dosis für Einzelpersonen der Bevölkerung

Ort	Medium	Art der Abgaben <sup>1</sup>	Bilanzierte Abgaben <sup>2</sup>				Berechnete Jahresdosis <sup>3</sup>		
			Messung	Normiert <sup>1,2</sup>	Limiten <sup>4</sup>		Erw. mSv/Jahr	10j Kind mSv/Jahr	1j Kind mSv/Jahr
			Bq pro Jahr	Bq pro Jahr	Bq pro Jahr	Prozent der Limite			
KKB1 + KKB2	Abwasser 2800 m <sup>3</sup>	Nuklidgemisch ohne Tritium	2,0·10 <sup>8</sup>	-	4·10 <sup>11</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,9·10 <sup>12</sup>		7·10 <sup>13</sup>	3%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	5,0·10 <sup>12</sup>	1,9·10 <sup>12</sup>	1·10 <sup>15</sup>	0,2%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1,4·10 <sup>6</sup>	-	6·10 <sup>9</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: <sup>131</sup> I	6,2·10 <sup>5</sup>	-	4·10 <sup>9</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>	1,8·10 <sup>10</sup>		-	-	<0,001	<0,001	<0,001
	<b>Dosis total</b>					<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	
KKG	Abwasser 7575 m <sup>3</sup>	Nuklidgemisch ohne Tritium	2,5·10 <sup>6</sup>	-	2·10 <sup>11</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,2·10 <sup>13</sup>		7·10 <sup>13</sup>	17%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	<2,6·10 <sup>12</sup>	<2,9·10 <sup>12</sup>	1·10 <sup>15</sup>	<0,3%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	8,0·10 <sup>4</sup>	-	1·10 <sup>10</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: <sup>131</sup> I	5,4·10 <sup>5</sup>	-	7·10 <sup>9</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>	5,2·10 <sup>10</sup>		-	-	<0,001	<0,001	<0,001
	<b>Dosis total</b>					<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	
KKL	Abwasser 11720 m <sup>3</sup>	Nuklidgemisch ohne Tritium	1,2·10 <sup>8</sup>	-	4·10 <sup>11</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	4,4·10 <sup>11</sup>		2·10 <sup>13</sup>	2%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	7,1·10 <sup>11</sup>	-	2·10 <sup>15</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	3,0·10 <sup>6</sup>	-	2·10 <sup>10</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Iod: <sup>131</sup> I	8,6·10 <sup>7</sup>	8,6·10 <sup>7</sup>	2·10 <sup>10</sup>	0,4%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>	3,6·10 <sup>11</sup>		-	-	0,0014	0,0018	0,003
	<b>Dosis total</b>					<b>0,0014</b>	<b>0,0018</b>	<b>0,0031</b>	
KKM	Abwasser 2583 m <sup>3</sup>	Nuklidgemisch ohne Tritium	2,6·10 <sup>8</sup>	-	4·10 <sup>11</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	1,1·10 <sup>11</sup>		2·10 <sup>13</sup>	0,6%	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	Edelgase	1,1·10 <sup>12</sup>	-	2·10 <sup>15</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Aerosole	1,5·10 <sup>6</sup>	-	2·10 <sup>10</sup>	<0,1%	0,0024	0,0022	0,0022
		Iod: <sup>131</sup> I	1,9·10 <sup>7</sup>	-	2·10 <sup>10</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>	3,8·10 <sup>11</sup>	-	-	-	<0,001	0,0012	0,0021
	<b>Dosis total</b>					<b>0,0033</b>	<b>0,0035</b>	<b>0,0043</b>	
ZZL	Abwasser 446 m <sup>3</sup>	Nuklidgemisch ohne Tritium	3,9·10 <sup>8</sup>	-	2·10 <sup>11</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		Tritium	3,2·10 <sup>9</sup>	-	-	-	<0,001	<0,001	<0,001
	Abluft	β-/γ-Aerosole	1,1·10 <sup>5</sup>	-	1·10 <sup>9</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
		α-Aerosole	1,1·10 <sup>4</sup>	-	3·10 <sup>7</sup>	-	<0,001	<0,001	<0,001
		Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>	4,7·10 <sup>7</sup>	-	1·10 <sup>12</sup>	<0,1%	<0,001	<0,001	<0,001
	<b>Dosis total</b>					<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	

**Tabelle B.2:** Zusammenstellung der Abgaben des Paul Scherrer Instituts im Jahr 2016 und der daraus berechneten Dosen für Einzelpersonen der Bevölkerung

	PSI Ost				
	Hochkamin	Saphir, Proteus	Forschungs-labor	Betriebs-Gebäude radioaktive Abfälle	Bundes-zwischen-lager
<b>Abgaben im Abwasser<sup>1,2</sup> [Bq/a]</b>					
Nuklidgemisch ohne Tritium	-	-	-	-	-
Tritium	-	-	-	-	-
<b>Abgaben über die Abluft<sup>1,2</sup> [Bq/a]</b>					
Edelgase und andere Gase	-	-	-	-	-
β/γ-Aerosole, ohne Iod	2,6·10 <sup>7</sup>	-	-	-	4,6·10 <sup>4</sup>
α-Aerosole	-	-	-	-	-
Iod (Summe aller Isotope)	4,3·10 <sup>6</sup>	-	-	-	-
Tritium als HTO	1,2·10 <sup>10</sup>	-	-	5,1·10 <sup>10</sup>	6,8·10 <sup>9</sup>
Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>	1,2·10 <sup>7</sup>	-	-	1,9·10 <sup>8</sup>	1,4·10 <sup>7</sup>
<b>Jahresdosis<sup>3</sup> [mSv/Jahr] für:</b>					
Erwachsene	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015
Kind 10j	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015
Kleinkinder	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015	<0,00015
<b>Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert<sup>4</sup></b>	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%	<0,1%

	PSI West			Gesamtanlage des PSI <sup>1,2</sup>		
	Zentrale Fortluft-anlagen	Injektor II	C-Labor	Abwasser 1142 m <sup>3</sup>	Abluft	Äquivalent-abgaben
<b>Abgaben im Abwasser<sup>1,2</sup> [Bq/a]</b>						
Nuklidgemisch ohne Tritium				6,1·10 <sup>7</sup>		4,4·10 <sup>6</sup>
Tritium				1,9·10 <sup>11</sup>		
<b>Abgaben über die Abluft<sup>1,2</sup> [Bq/a]</b>						
Edelgase und andere Gase	1,7·10 <sup>14</sup>	-	-	-	1,7·10 <sup>14</sup>	3,8·10 <sup>14</sup>
β/γ-Aerosole, ohne Iod	1,4·10 <sup>10</sup>	1,2·10 <sup>6</sup>	1,6·10 <sup>5</sup>	-	1,4·10 <sup>10</sup>	-
α-Aerosole	-	-	-	-	-	-
Iod (Summe aller Isotope)	6,0·10 <sup>7</sup>	-	2,1·10 <sup>3</sup>	-	6,0·10 <sup>7</sup>	1,7·10 <sup>7</sup>
Tritium als HTO	1,4·10 <sup>12</sup>	-	-	-	1,4·10 <sup>12</sup>	-
Kohlenstoff: <sup>14</sup> C in CO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-
<b>Jahresdosis<sup>3</sup> [mSv/Jahr] für:</b>						
Erwachsene	0,006	<0,00015	<0,00015	<0,00015		<0,007
Kind 10j	0,006	<0,00015	<0,00015	<0,00015		<0,007
Kleinkinder	0,006	<0,00015	<0,00015	<0,00015		<0,007
<b>Anteil am quellenbezogenen Dosisrichtwert<sup>4</sup></b>	4,0%	<0,1%	<0,1%	<0,1%		<5%

**Tabelle B.3a:** Flüssige Abgaben der Kernanlagen an die Aare oder den Rhein, 2016: Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben

Nuklid β/γ-Strahler	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
<sup>3</sup> H	1,9·10 <sup>12</sup>	1,2·10 <sup>13</sup>	4,4·10 <sup>11</sup>	1,1·10 <sup>11</sup>	1,9·10 <sup>11</sup>	3,2·10 <sup>9</sup>
<sup>7</sup> Be					1,1·10 <sup>7</sup>	
<sup>22</sup> Na					8,1·10 <sup>4</sup>	6,9·10 <sup>4</sup>
<sup>24</sup> Na	2,3·10 <sup>6</sup>					
<sup>46</sup> Sc					7,0·10 <sup>3</sup>	
<sup>47</sup> Sc					7,1·10 <sup>5</sup>	
<sup>48</sup> Sc					6,3·10 <sup>3</sup>	
<sup>48</sup> V					1,0·10 <sup>4</sup>	
<sup>51</sup> Cr	5,7·10 <sup>5</sup>			2,0·10 <sup>7</sup>		
<sup>54</sup> Mn	7,7·10 <sup>5</sup>		9,9·10 <sup>6</sup>	5,4·10 <sup>7</sup>	4,2·10 <sup>5</sup>	4,7·10 <sup>5</sup>
<sup>56</sup> Co					1,4·10 <sup>4</sup>	
<sup>57</sup> Co		3,5·10 <sup>4</sup>			3,1·10 <sup>4</sup>	
<sup>58</sup> Co	9,5·10 <sup>6</sup>		1,5·10 <sup>6</sup>	4,4·10 <sup>7</sup>	3,5·10 <sup>4</sup>	
<sup>60</sup> Co	5,8·10 <sup>7</sup>	7,8·10 <sup>4</sup>	1,0·10 <sup>8</sup>	1,3·10 <sup>8</sup>	3,5·10 <sup>4</sup>	7,6·10 <sup>6</sup>
<sup>65</sup> Zn			6,5·10 <sup>6</sup>	7,2·10 <sup>6</sup>		
<sup>83</sup> Rb					9,8·10 <sup>3</sup>	
<sup>85</sup> Sr					3,9·10 <sup>3</sup>	
<sup>88</sup> Y					7,2·10 <sup>3</sup>	
<sup>89</sup> Sr	3,1·10 <sup>5</sup>			4,1·10 <sup>5</sup>	7,2·10 <sup>3</sup>	
<sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y	8,6·10 <sup>5</sup>			5,0·10 <sup>5</sup>	1,2·10 <sup>6</sup>	
<sup>95</sup> Nb	6,7·10 <sup>4</sup>					
<sup>99m</sup> Tc	1,6·10 <sup>5</sup>	5,2·10 <sup>4</sup>				
<sup>103</sup> Ru	5,0·10 <sup>4</sup>					
<sup>110m</sup> Ag	2,1·10 <sup>5</sup>			9,4·10 <sup>5</sup>		
<sup>111</sup> In					1,2·10 <sup>5</sup>	
<sup>122</sup> Sb	7,1·10 <sup>5</sup>					
<sup>124</sup> Sb	1,6·10 <sup>7</sup>			1,5·10 <sup>5</sup>	1,1·10 <sup>5</sup>	
<sup>125</sup> Sb	2,3·10 <sup>7</sup>					8,3·10 <sup>6</sup>
<sup>123m</sup> Te	4,8·10 <sup>6</sup>	1,2·10 <sup>6</sup>				
<sup>132</sup> Te		6,1·10 <sup>5</sup>				
<sup>131</sup> I			4,8·10 <sup>5</sup>	2,6·10 <sup>6</sup>		
<sup>132</sup> I		5,7·10 <sup>5</sup>				
<sup>134</sup> Cs	6,0·10 <sup>6</sup>			9,6·10 <sup>4</sup>	5,0·10 <sup>4</sup>	1,8·10 <sup>6</sup>
<sup>137</sup> Cs	7,3·10 <sup>7</sup>		5,0·10 <sup>5</sup>	3,9·10 <sup>6</sup>	1,3·10 <sup>7</sup>	3,7·10 <sup>8</sup>
<sup>141</sup> Ce			7,0·10 <sup>5</sup>		7,9·10 <sup>3</sup>	
<sup>144</sup> Ce	2,3·10 <sup>5</sup>					
<sup>149</sup> Gd					7,1·10 <sup>4</sup>	
<sup>160</sup> Tb					1,8·10 <sup>4</sup>	
<sup>161</sup> Tb					2,8·10 <sup>4</sup>	
<sup>172</sup> Lu					2,1·10 <sup>4</sup>	
<sup>177</sup> Lu					3,5·10 <sup>7</sup>	
<sup>207</sup> Pb					5,6·10 <sup>3</sup>	
<b>α-Strahler</b>	*)	2,1·10 <sup>5</sup>	2,4·10 <sup>5</sup>	1,4·10 <sup>4</sup>		*)
<sup>234/238</sup> U					1,3·10 <sup>4</sup>	
<sup>239/240</sup> Pu	5,0·10 <sup>4</sup>					
<sup>238</sup> Pu/ <sup>241</sup> Am	2,4·10 <sup>4</sup>					
<sup>242</sup> Cm	3,7·10 <sup>4</sup>					
<sup>243/244</sup> Cm	7,3·10 <sup>4</sup>					

\* Angabe umfasst für das KKB und ZZL das 4. Quartal 2015 bis und mit dem 3. Quartal 2016

**Tabelle B.3b:** Abgaben der Kernanlagen mit der Abluft, Edelgase und Iod 2016: Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben

Nuklid β/γ-Strahler	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
<b>Gase, Edelgase</b>						
Tritium	3,1·10 <sup>11</sup>	4,4·10 <sup>11</sup>	4,4·10 <sup>11</sup>	2,3·10 <sup>10</sup>	1,5·10 <sup>12</sup>	1,8·10 <sup>10</sup>
<sup>14</sup> C (CO <sub>2</sub> )	1,8·10 <sup>10</sup>	5,2·10 <sup>10</sup>	3,6·10 <sup>11</sup>	3,8·10 <sup>11</sup>	2,2·10 <sup>8</sup>	4,7·10 <sup>7</sup>
<sup>11</sup> C					2,6·10 <sup>13</sup>	
<sup>13</sup> N					2,7·10 <sup>13</sup>	
<sup>15</sup> O					1,1·10 <sup>14</sup>	
<sup>18</sup> F					8,6·10 <sup>11</sup>	
<sup>24</sup> Ne					1,3·10 <sup>12</sup>	
<sup>41</sup> Ar					6,8·10 <sup>12</sup>	
<sup>85</sup> Kr			2,4·10 <sup>10</sup>			
<sup>85m</sup> Kr	6,1·10 <sup>10</sup>			9,7·10 <sup>8</sup>		
<sup>88</sup> Kr	1,0·10 <sup>11</sup>					
<sup>127</sup> Xe					5,1·10 <sup>8</sup>	
<sup>133</sup> Xe	4,1·10 <sup>12</sup>		1,2·10 <sup>11</sup>	9,8·10 <sup>11</sup>		
<sup>135</sup> Xe	7,5·10 <sup>11</sup>		2,3·10 <sup>11</sup>	1,4·10 <sup>10</sup>		
<sup>135m</sup> Xe			3,3·10 <sup>11</sup>	1,5·10 <sup>10</sup>		
<sup>138</sup> Xe			3,3·10 <sup>9</sup>			
EG-Äquiv.				1,0·10 <sup>11</sup>		
EG: β-total		<2,6·10 <sup>12</sup>				
Andere						
<b>Iod</b>						
<sup>123</sup> I					3,8·10 <sup>7</sup>	
<sup>124</sup> I					6,3·10 <sup>5</sup>	
<sup>125</sup> I					2,5·10 <sup>7</sup>	
<sup>126</sup> I					1,7·10 <sup>5</sup>	
<sup>131</sup> I	6,2·10 <sup>5</sup>	5,4·10 <sup>5</sup>	8,6·10 <sup>7</sup>	1,9·10 <sup>7</sup>		
<sup>133</sup> I	3,5·10 <sup>6</sup>					

**Tabelle B.3c:** Abgaben mit der Abluft, Aerosole 2016: Summe der bei Einzelmessungen der Betreiber nachgewiesenen Aktivitätsabgaben

Nuklid $\beta/\gamma$ -Aerosole	Abgaben [Bq im Jahr]					
	KKB	KKG	KKL	KKM	PSI	ZZL
<sup>38</sup> S					1,9·10 <sup>9</sup>	
<sup>39</sup> Cl					1,1·10 <sup>10</sup>	
<sup>54</sup> Mn			1,3·10 <sup>4</sup>	2,7·10 <sup>5</sup>		
<sup>57</sup> Co		3,3·10 <sup>3</sup>				
<sup>58</sup> Co				3,3·10 <sup>5</sup>		
<sup>60</sup> Co			9,0·10 <sup>4</sup>	9,0·10 <sup>5</sup>	6,5·10 <sup>5</sup>	1,2·10 <sup>3</sup>
<sup>75</sup> Se					1,5·10 <sup>5</sup>	
<sup>77</sup> Br					7,0·10 <sup>6</sup>	
<sup>80m</sup> Br					3,4·10 <sup>9</sup>	
<sup>82</sup> Br					7,1·10 <sup>8</sup>	
<sup>89</sup> Sr			2,6·10 <sup>5</sup>			
<sup>90</sup> Sr		2,1·10 <sup>3</sup>				
<sup>99m</sup> Tc					2,6·10 <sup>7</sup>	
<sup>110m</sup> Ag		1,9·10 <sup>4</sup>	2,7·10 <sup>4</sup>			
<sup>123m</sup> Te		3,5·10 <sup>3</sup>				
<sup>125</sup> Sb						
<sup>131</sup> I (Aerosol)		3,3·10 <sup>3</sup>	2,3·10 <sup>6</sup>	3,6·10 <sup>4</sup>		
<sup>136</sup> Cs		3,3·10 <sup>3</sup>				
<sup>137</sup> Cs				3,5·10 <sup>4</sup>		7,2·10 <sup>5</sup>
<sup>140</sup> Ba		2,4·10 <sup>4</sup>	1,6·10 <sup>5</sup>			
<sup>140</sup> La			3,5·10 <sup>5</sup>			
<sup>141</sup> Ce		5,3·10 <sup>3</sup>	6,6·10 <sup>4</sup>			
<sup>144</sup> Ce		1,6·10 <sup>4</sup>				
<sup>181</sup> Re					7,7·10 <sup>7</sup>	
<sup>182</sup> Re					2,2·10 <sup>8</sup>	
<sup>183</sup> Re					9,6·10 <sup>6</sup>	
<sup>182</sup> Os					3,0·10 <sup>8</sup>	
<sup>183</sup> Os					2,5·10 <sup>8</sup>	
<sup>183m</sup> Os					4,8·10 <sup>8</sup>	
<sup>185</sup> Os					2,2·10 <sup>7</sup>	
<sup>185</sup> W					1,3·10 <sup>9</sup>	
<sup>191</sup> Pt					3,5·10 <sup>6</sup>	
<sup>192</sup> Au					1,1·10 <sup>9</sup>	
<sup>193</sup> Au					1,5·10 <sup>8</sup>	
<sup>194</sup> Au					1,1·10 <sup>6</sup>	
<sup>192</sup> Hg					7,0·10 <sup>8</sup>	
<sup>193m</sup> Hg					2,5·10 <sup>8</sup>	
<sup>194</sup> Hg					1,1·10 <sup>6</sup>	1,3·10 <sup>2</sup>
<sup>195</sup> Hg					4,5·10 <sup>5</sup>	
<sup>195m</sup> Hg					9,2·10 <sup>7</sup>	
<sup>197m</sup> Hg					1,2·10 <sup>8</sup>	
<sup>203</sup> Hg					1,3·10 <sup>7</sup>	
Nicht spezifizierte	1,4·10 <sup>6</sup>					
<b><math>\alpha</math>-Aerosole</b>	1,8·10 <sup>3</sup>	5,2·10 <sup>4</sup>	3,0·10 <sup>4</sup>	1,1·10 <sup>4</sup>		1,1·10 <sup>4</sup>

## Fussnoten zu den Tabellen B.1 bis B.3

<sup>1</sup> Bei der Art der Abgaben resp. den Bilanzierten Abgaben ist folgendes zu präzisieren:

**Abwasser:** Die Radioaktivität ist beim Vergleich mit den Abgabelimiten in Bq/Jahr normiert auf einen Referenz-LE-Wert von 200 Bq/kg angegeben. Die LE-Werte für die einzelnen Nuklide sind dem Anhang 3 der Strahlenschutzverordnung (StSV) entnommen. Ein LE-Wert von 200 Bq/kg entspricht einem Referenz-Nuklid mit einem Ingestions-Dosisfaktor von  $5 \cdot 10^{-8}$  Sv/Bq. Die unnormierte Summe der Abwasserabgaben ist in der Spalte «Messung» angegeben.

**Edelgase:** Die Radioaktivität ist beim Vergleich mit den Abgabelimiten in Bq/Jahr normiert auf einen Referenz-CA-Wert von  $2 \cdot 10^5$  Bq/m<sup>3</sup> angegeben. Die CA-Werte für die Edelgasnuklide sind dem Anhang 3 der StSV entnommen. Ein CA-Wert von  $2 \cdot 10^5$  Bq/m<sup>3</sup> entspricht einem Referenz-Nuklid mit einem Immersions-Dosisfaktor von  $4,4 \cdot 10^{-7}$  (Sv/Jahr)/(Bq/m<sup>3</sup>). Die unnormierte Summe der Edelgasabgaben ist in der Spalte «Messung» angegeben.

Beim KKG wird für die Bilanzierung der Edelgase eine  $\beta$ -total-Messung durchgeführt; für die Äquivalent-Umrechnung wurde in diesem Fall ein Gemisch von 80% <sup>133</sup>Xe, 10% <sup>135</sup>Xe und 10% <sup>86</sup>Kr angenommen.

**Gase:** Beim PSI handelt es sich dabei vorwiegend um die Nuklide <sup>11</sup>C, <sup>13</sup>N, <sup>15</sup>O und <sup>41</sup>Ar. Deren Halbwertszeiten sind kleiner als zwei Stunden. Hier ist für die einzelnen Abgabestellen und das gesamte PSI die Summe der Radioaktivität dieser Gase und Edelgase ohne Normierung auf einen Referenzwert angegeben. Für die Gesamtanlage wird zusätzlich auch die auf den Referenz-CA-Wert von  $2 \cdot 10^5$  Bq/m<sup>3</sup> normierten Abgabe aufgeführt.

**Aerosole:** Hier ist in jedem Fall die Summe der Radioaktivität ohne Normierung auf einen Referenzwert angegeben. Der Dosisbeitrag von Aerosolen mit Halbwertszeiten kleiner 8 Tage ist bei den Kernkraftwerken vernachlässigbar.

Beim KKM ergibt sich der Hauptbeitrag zur Dosis durch die Strahlung der abgelagerten Aerosole, die im Jahre 1986 durch eine unkontrollierte Abgabe in die Umgebung gelangten. Die Abnahme des dadurch verursachten Dosisbeitrags über die Jahre ist in der Darstellung B.2 deutlich erkennbar. Der Dosisbeitrag der Aerosole, welche im Berichtsjahr abgegeben wurden, ist demgegenüber vernachlässigbar und

liegt in der Grössenordnung der anderen schweizerischen Kernkraftwerke.

**Iod:** Bei den Kernkraftwerken ist die Abgabe von <sup>131</sup>I limitiert; somit ist bei den bilanzierten Abgaben nur dieses Iod-Isotop angegeben.

Beim PSI, bei dem andere Iod-Isotope nachgewiesen werden, ist die Abgabe für die einzelnen Abgabestellen und die Gesamtanlage als Summe der Aktivität der gemessenen Iod-Nuklide angegeben. Für die Gesamtabgabe wird zudem auch ein <sup>131</sup>Iod-Äquivalent als gewichtete Summe der Aktivität der Iod-Nuklide angegeben, wobei sich der Gewichtungsfaktor aus dem Verhältnis des Ingestionsdosisfaktors des jeweiligen Nuklides zum Ingestionsdosisfaktor von <sup>131</sup>I ergibt. Die Ingestionsdosisfaktoren sind der StSV entnommen.

Für die Berechnung der Jahresdosis werden sowohl für die KKW wie für das PSI immer sämtliche verfügbaren Iod-Messungen verwendet, d.h. es ist beispielsweise für das KKB auch der Beitrag von <sup>133</sup>I berücksichtigt.

**Kohlenstoff <sup>14</sup>C:** In den Tabellen ist der als Kohlendioxid vorliegende Anteil des <sup>14</sup>C, der für die Dosis relevant ist, angegeben. Die für <sup>14</sup>C angegebenen Werte basieren bei allen Werken auf aktuellen Messungen.

<sup>2</sup> Die **Messung der Abgaben** erfolgt nach den Erfordernissen der Reglemente «für die Abgaben radioaktiver Stoffe und die Überwachung von Radioaktivität und Direktstrahlung in der Umgebung des...» jeweiligen Kernkraftwerkes resp. des ZZL oder PSI. Die Messgenauigkeit beträgt ca.  $\pm 50$  %. Abgaben unterhalb 0,1 % der Jahresabgabelimite werden vom ENSI als nicht-relevant betrachtet und werden in der Spalte «Normiert» nicht ausgewiesen (-). Abgaben kleiner tausend Bq werden in der Tabelle B.3 nicht aufgeführt.

<sup>3</sup> Die **Jahresdosis** ist für Personen berechnet, die sich dauernd am kritischen Ort aufhalten, ihre gesamte Nahrung von diesem Ort beziehen und ihren gesamten Trinkwasserbedarf aus dem Fluss unterhalb der Anlage decken. Die Dosis wird mit den in der Richtlinie ENSI-G14 angegebenen Modellen und Parametern ermittelt. Dosiswerte kleiner als 0,001 mSv – entsprechend einer Dosis, die durch natürliche externe Strahlung in ca. zehn Stunden akkumuliert wird – werden in der Regel nicht angegeben. Beim PSI wird die Jahresdosis der



Gesamtanlage als Summe über die Abgabestellen gebildet.

- <sup>4</sup> **Abgabelimiten** gemäss Bewilligung der jeweiligen Kernanlage. Die Abgabelimiten wurden so festgelegt, dass die Jahresdosis für Personen in der Umgebung (vgl. Fussnote 3) für die Kernkraftwerke unter 0,3 mSv/Jahr respektive das Zentrale Zwischenlager in Würenlingen (ZZL) unter 0,05 mSv/Jahr bleibt. Für das Paul Scherrer Institut (PSI) sind die Abgaben gemäss Bewilligung 6/2013 direkt über den quellenbezogenen Dosisrichtwert von 0,15 mSv/Jahr limitiert.

## 5.2 Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernanlagen

Die Ortsdosis, respektive die Ortsdosisleistung durch externe Strahlung werden in der Umgebung der Kernanlagen und des PSI mit dem MADUK-Messnetz (siehe Kapitel 6), und mit passiven Dosimetern (Thermolumineszenz-Dosimeter, TLD, und Environmental Direct Ion Storage-Dosimeter, EDIS) in der Umgebung sowie am Arealzaun überwacht. Zusätzlich dazu führt das ENSI vierteljährlich stichprobenweise Dosisleistungsmessungen am Arealzaun sowie bei Bedarf spezielle Messkampagnen durch.

In der Umgebung der Kernanlagen wurden dabei keine signifikanten Erhöhungen der Ortsdosis festgestellt, welche durch den Betrieb der Anlagen verursacht wurde.

Die Ortsdosisleistung ist im Nahbereich (beispielsweise am Arealzaun) der Siedewasserreaktoren in Mühleberg und in Leibstadt durch Direkt- und Streustrahlung aus dem Maschinenhaus erhöht. Diese Strahlung resultiert aus dem radioaktiven Zerfall des kurzlebigen Stickstoffnuklids <sup>16</sup>N, welches im Reaktor produziert und bei Siedewasserreaktoren mit dem Dampf in die Turbine im Maschinenhaus getragen wird. Weiter können Abfalllager zu einer erhöhten Ortsdosis am Zaun beitragen.

Am Zaun des KKM wurden bei stichprobenweise vierteljährlich vom ENSI durchgeführten Messungen Dosisleistungen zwischen etwa 0,08  $\mu$ Sv/h (natürlicher Untergrund) und 0,22  $\mu$ Sv/h ermittelt. Auf ein Jahr hochgerechnet würde, basierend auf dem maximalen Momentanwert am meist exponierten Ort, eine Dosiserhöhung von ca. 1,2 mSv (ohne natürlichen Untergrund) resultieren. Die vom KKM ausgewerteten Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun ergeben für das Berichtsjahr nach

Subtraktion des natürlichen Untergrundes von ca. 0,7 mSv eine Dosiserhöhung von etwa 0,8 mSv. Am Zaun des KKL wurden bei vierteljährlichen Stichproben des ENSI während des Leistungsbetriebes Ortsdosisleistungen zwischen 0,06  $\mu$ Sv/h (natürlicher Untergrund) und 0,16  $\mu$ Sv/h ermittelt. Dies entspricht nach Abzug des Untergrundes und unter Berücksichtigung der Betriebszeit am meist exponierten Ort einer Dosiserhöhung von ca. 0,9 mSv pro Jahr. Die höchste, mit den TLD am Zaun ermittelte Jahresdosis (nach Abzug des natürlichen Untergrundes von 0,6 mSv) beträgt 0,8 mSv.

Aufgrund der stichprobenweise vom ENSI gemessenen Ortsdosisleistung am Zaun Areal Ost des Paul Scherrer Instituts ergibt sich hochgerechnet auf ein Jahr eine Ortsdosis von 0,3 mSv ohne natürlichen Untergrund. Im Jahr 2016 betrug der höchste mit einem Thermolumineszenz-Dosimeter (TLD) am Zaun des PSI ermittelte Wert ca. 0,22 mSv (ohne natürlichen Untergrund von ca. 0,6 mSv).

Beim KKB und KKG wurde am Zaun weder mittels TLD resp. EDIS noch bei den vierteljährlichen Stichproben des ENSI eine signifikante Erhöhung der Ortsdosis über dem natürlichen Untergrund festgestellt. Beim Zentralen Zwischenlager Würenlingen (ZZL) konnte weder aus den stichprobenweise durchgeführten Dosisleistungsmessungen noch aufgrund der am Zaun positionierten TLD eine signifikante Erhöhung der Ortsdosisleistung festgestellt werden. Mit einem Neutronendosimeter wurde 2016 am Zaun bei der Hochaktivlagerhalle eine geringe Erhöhung der Neutronendosis von 0,065 mSv über dem natürlichen Untergrund festgestellt.

Die Immissionsgrenzwerte für die Direktstrahlung ausserhalb des Betriebsareals von 1 mSv pro Jahr für Wohn-, Aufenthalts- und Arbeitsräume und von 5 mSv pro Jahr für andere Bereiche nach Art. 102 Absatz 3 der Strahlenschutzverordnung wurden im Berichtsjahr von allen Anlagen eingehalten.

# 6 Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke (MADUK)

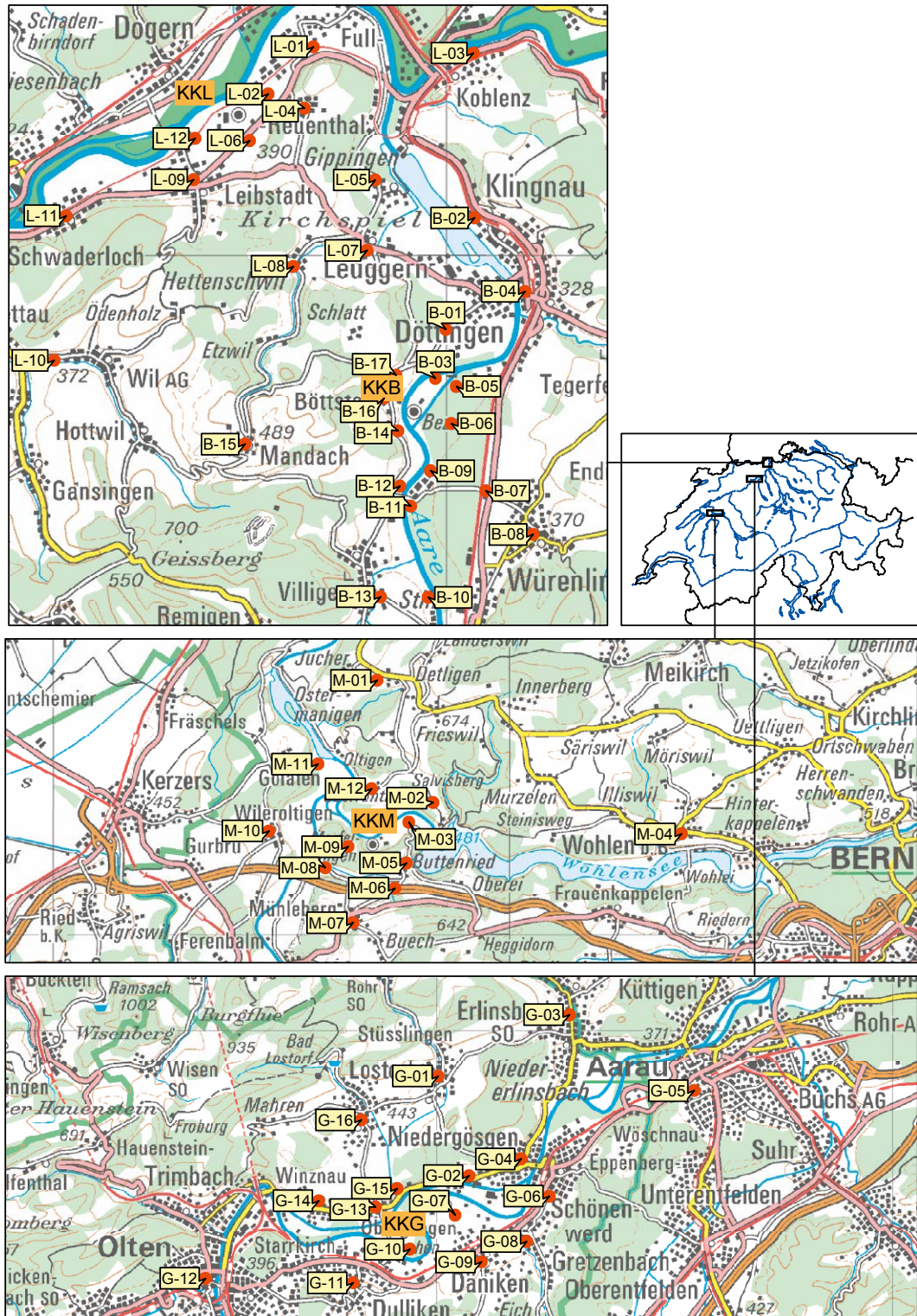
## 6.1 Übersicht

Das MADUK-System (**M**essnetz zur **a**utomatischen **D**osisleistungsüberwachung in der **U**mgebung der **K**ernkraftwerke) inklusive der Einrichtungen zur Übernahme von **A**nlageparametern (ANPA) und Kaminemissionswerten aus den Kernkraftwerken wurde im Laufe des Jahres 1993 aufgebaut und ab Frühling 1994 in den operationellen Betrieb überführt. Da das System die Dosisleistung in der Umgebung der Kernkraftwerke ganzjährig rund um die Uhr misst und überwacht, dient es der Beweissicherung für die Behörden und gegenüber der Öffentlichkeit. Ebenso ermöglicht es das Erkennen von Betriebsstörungen und Unfällen, da Erhöhungen gegenüber den natürlichen Dosiswerten im ENSI automatisch angezeigt werden. Bei einem Störfall unterstützt MADUK die Notfallorganisation bei der Bestimmung des betroffenen Gebietes und bei der Einschätzung der möglichen Massnahmen. Zudem trägt MADUK mit einem schnellen Datenaustausch zur erfolgreichen Zusammenarbeit mit den involvierten Behörden bei.

Das MADUK-Netz zur Messung der Dosisleistungen besteht aus insgesamt 57 Immissionsmessstationen in der Umgebung der vier Kernkraftwerke. Die Messsonden des MADUK-Systems komplettieren und ergänzen das gesamtschweizerische Messnetz zur Radioaktivitätsüberwachung, das mit dem NADAM-Netz auf weitere 66 Messstationen zählen kann. Die Geiger-Müller-Zählrohre in den Sonden ermitteln die Gamma-Dosisleistung im Messbereich von 10 nSv/h (Niederdosiszählrohr) bis 10 Sv/h (Hochdosiszählrohr). Die MADUK-Zentrale des ENSI verarbeitet und archiviert die Daten, sorgt im Bedarfsfall für eine sofortige Alarmierung der ENSI-Notfallorganisation und sichert die Daten langfristig. Des Weiteren sorgen verschiedene Subsysteme für den Datenaustausch mit externen und internen Partnern: Nationale Alarmzentrale (NAZ) in Zürich, Kernreaktorfernüberwachung Baden-Württemberg sowie die Systeme ADAM und JRODOS/LASAT im ENSI. Die Darstellung B.3 zeigt die Standorte der Messsonden in der Umgebung der Kernkraftwerke.

## MADUK Sondenstandorte

**Darstellung B.3:** Die vier Messringe von MADUK. Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.



Die Daten von MADUK können mittels einer speziellen Software auf bestimmten Windows-Arbeitsplatzrechnern im ENSI und in den Kernkraftwerken visualisiert werden. Auf der Internetseite

[www.ensi.ch](http://www.ensi.ch) unter Notfallschutz/Messwerte Radioaktivität sind alle seit 1994 archivierten Tages-, Stunden- und Zehnminutenmittelwerte der MADUK Stationen abrufbar.

## 6.2 Systeminstandhaltung und -ergänzung

Im Jahr 2016 wurde die Hardware der zentralen Server ersetzt und das Betriebs- sowie das Datenbanksystem auf den aktuellen Stand der Technik gebracht. Ein Teil der Zentrale wurde am Ausweichstandort der ENSI-Notfallorganisation bei der Nationalen Alarmzentrale installiert. Damit kann das MADUK-System auch von diesem Ausweichstandort aus betrieben werden.

Die Software wurde so ergänzt, dass mit denselben Treibern parallel zum operativen System ein Simulationssystem für Übungen betrieben werden kann. Die Bedienoberfläche wurde dahingehend ergänzt, dass bei Übungen mit simulierten Daten die Darstellungen und Ausgaben entsprechend gekennzeichnet werden können.

## 6.3 Systemverfügbarkeit und Störungen

Die Systemverfügbarkeit ist bei MADUK von besonderer Bedeutung, da das System eine kontinuierliche

Überwachung gewährleisten muss, die auch von der Öffentlichkeit wahrgenommen werden soll. Mit der Kenngrösse <Systemverfügbarkeit> wird die Einsatztauglichkeit des Gesamtsystems MADUK beurteilt: Systemstörungen, die zu wesentlichen Nutzungseinschränkungen des Systems geführt haben, werden als Ausfallzeit in Stunden erfasst.

Die permanente Übertragung der Anlageparameter erreichte insgesamt wiederum eine hohe Verfügbarkeit. Im Berichtsjahr führten geplante Unterhaltsarbeiten zu Unterbrüchen von 3,0 Stunden beim KKG und 6,5 Stunden beim KKL. Nach Zuschaltungstests von Simulatordaten führten Softwareprobleme bei Erfassungsrechnern des ENSI zu Unterbrüchen von 6,5 Stunden beim KKG und 3,3 Stunden beim KKL. Der Ausfall eines Servers führte zu einem Unterbruch von 24,2 Stunden bei der Übertragung der Daten für KKB 2. Ein defektes Schnittstellengerät führte beim KKL zu einem Unterbruch von 47 Stunden.

Die Tabelle B.4 gibt eine Übersicht über die Störungen an den Messstationen mit Störungsdauer, permanentem Datenverlust und Ursache der Störung.

**Tabelle B.4:** Auflistung der Störungen bei den MADUK-Messstationen im Jahr 2016

Station	Störungsdauer [h]	Permanenter Datenverlust [h]	Ursache
B-15	6,3	6,3	Blockierter Datenlogger
G-07	153,3	153,3	Korrupte lokale Datenbank des Datenloggers
G-07	4,7	4,7	Blockierter Datenlogger
G-12	11,0	11,0	Blockierter Datenlogger
L-09	14,7	14,7	Defekte Messsonde
B-01	1,0	1,0	Kommunikationsstörung, blockierter Datenlogger
L-09	49,0	49,0	Keine Kommunikation Datenlogger zu Sonde
B-05	1,5	1,5	Blockierter Datenlogger
M-04	23,2	23,2	Blockierter Datenlogger
B-13	22,3	22,3	Defekte Messsonde
B-14	3,0	3,0	Wechsel Stationskasten wegen Insektenbefall
L-06	39,7	39,7	Umbau am Standort, unterbrochene Stromversorg.
B-17	25,7	25,7	Blockierter Datenlogger
B-15	92,5	92,5	Defekter Akku
M-01	75,8	75,8	Blockierter Datenlogger

Die Stationselektronik lief auch im 2016 grösstenteils zuverlässig. Es wurden jedoch vermehrt blockierte Datenlogger nach kurzen Unterbrüchen in der Kommunikation bzw. durch fehlende Einträge in der lokalen Datenbank des Datenloggers festgestellt.

2016 waren wiederum diverse Kommunikationsunterbrüche zu den Messstationen zu verzeichnen, deren Ursachen nicht immer festgestellt werden konnten. Insgesamt hat sich die Situation nach 2015 wieder verbessert. Den grössten Ausfall von insgesamt 279,3 Stunden verteilt auf 11 Stationen



verursachte eine Unzulänglichkeit beim Serviceprovider. Ohne Rücksprache wurden die Leitungen zu diesen Stationen abgehängt. Eine unangekündigte Migration des Anschlusses der Station L-08 führte zu einem Kommunikationsunterbruch von 49,5 Stunden. Bei der Station M-10 verursachte ein defektes Netzteil einen Kommunikationsunterbruch von 87,2 Stunden. Ein Befall des Stationskastens mit Ameisen führte bei der Station B-14 zu einem Unterbruch von 50,3 Stunden. Sporadische Kommunikationsunterbrüche von insgesamt 55,2 Stunden mit unbekannter Ursache waren bei der Station B-01 zu verzeichnen. Bei allen Kommunikationsstörungen konnten die Daten nachträglich lückenlos archiviert werden.

Im Berichtsjahr lag die gemäss Managementhandbuch des ENSI bestimmte Systemverfügbarkeit bei 99,0% (Verfügbarkeit der ANPA- und EMI-Daten eingerechnet). Die Verfügbarkeit der Dosisleistungsdaten aller MADUK-Stationen im Archiv betrug 99,90%.

## 6.4 Qualitätssicherung

Die Aufgaben im Bereich der Qualitätssicherung basieren auf dem Qualitätsmanagementsystem des ENSI. Dadurch ist gewährleistet, dass alle Aufgaben im Zusammenhang mit dem Betrieb, der Wartung und der Instandhaltung/Erneuerung qualitätsgesichert und nachvollziehbar bearbeitet werden. Die wesentlichen qualitätssichernden Massnahmen werden im Folgenden beschrieben.

Gemäss Art. 2 der Verordnung des EJPD über Messmittel für ionisierende Strahlung (StMmV) werden die MADUK Sonden vor einem ersten Einsatz geeicht. Die Eichung hat eine dreijährige Gültigkeit. Das Messverhalten der Sonden wird zwischen den Eichungen mit halbjährlichen Funktionstests geprüft. Bei den Funktionstests werden mit Hilfe einer Prüfquelle die Resultate der Niederdosis- und Hochdosis-Zählrohre überprüft. Mit einer  $^{137}\text{Cs}$ -Quelle werden erhöhte Werte bei jeder Sonde während ca. 40 Minuten produziert und mit Sollwerten verglichen. Gleichzeitig wird diese Sondenfunktionskontrolle auch für die Überprüfung der Datenübermittlung, der korrekten Archivierung im MADUK-Datenarchiv sowie der Alarmauslösung gemäss den festgelegten Schwellwerten benutzt. Im Jahr 2016 wurden zwei Funktionsprüfungen durchgeführt. Dabei erfüllten alle Sonden die Prüfkriterien.

Als weitere qualitätssichernde Massnahme wurden im Jahr 2016 Messungen mittels in-situ-Gamma-spektrometrie bei den Sonden der Messringe Beznau und Mühleberg durchgeführt. Die Messwerte lagen im Bereich der früheren Jahre. Ausser  $^{137}\text{Cs}$  vom Fallout der Atombombentests und des Tschernobyl-Unfalls konnten keine künstlichen Radionuklide nachgewiesen werden.

## 6.5 Messergebnisse

Erhöhte Ortsdosisleistungswerte, die auf Abgaben der Kernkraftwerke zurückzuführen waren, wurden keine festgestellt.

Am 10. März wurde im Rahmen der Funktionsprüfung an der Station M-12 mit einem Prüfstrahler die Station nicht rechtzeitig in den Testmodus geschaltet. Dadurch gelang ein durch den Prüfstrahler verursachter Messwert (Ortsdosisleistung: 285 nSv/h; Nettodosisleistung: 176 nSv/h) in die zentrale Verarbeitung und wurde im Internet publiziert. Schliesslich wurde der Status des Messwertes in der Zentrale manuell als Testwert gekennzeichnet. Der Messwert im Internet wurde belassen. Die jährliche Überprüfungskampagne der NADAM-Sonden an den Standorten, an denen auch eine MADUK-Station in Betrieb ist, führte 2016 bei keiner MADUK-Sonde zu wesentlichen Erhöhungen der Messwerte.

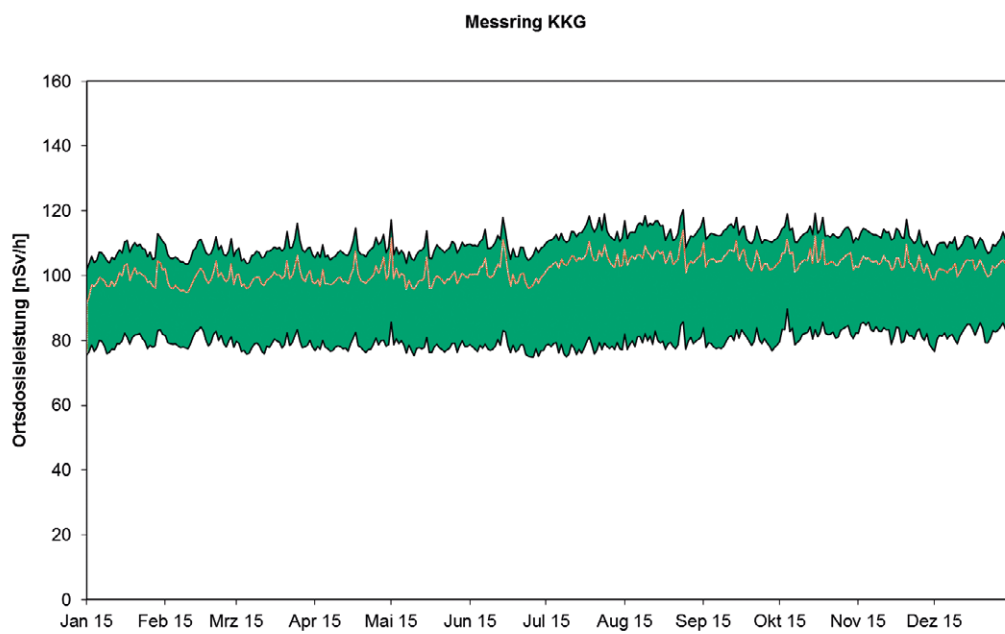
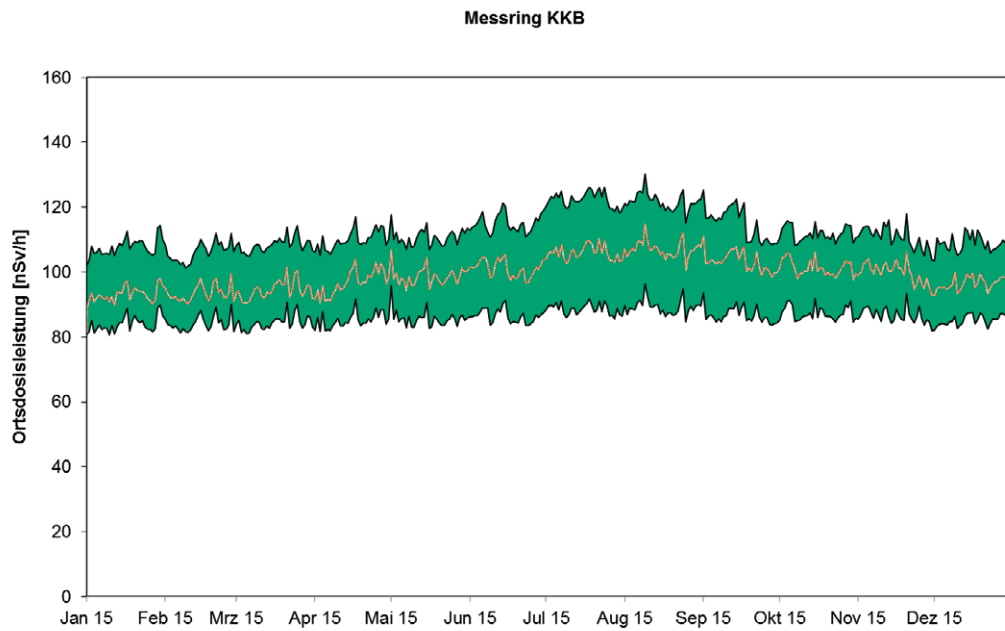
In der Tabelle B.5 sind alle Ereignisse aufgelistet, bei denen der Nettodosisleistungsschwellwert von 50 nSv/h überschritten wurde. Alle registrierten Erhöhungen waren auf lokal begrenzte Starkregen und deren Washout-Effekte zurückzuführen. Ein Zusammenhang mit dem Betriebsverhalten der Kernanlagen konnte nicht hergestellt werden.

**Tabelle B.5:** Auflistung der Nettodosisleistungsschwellwertüberschreitungen im Jahr 2016.

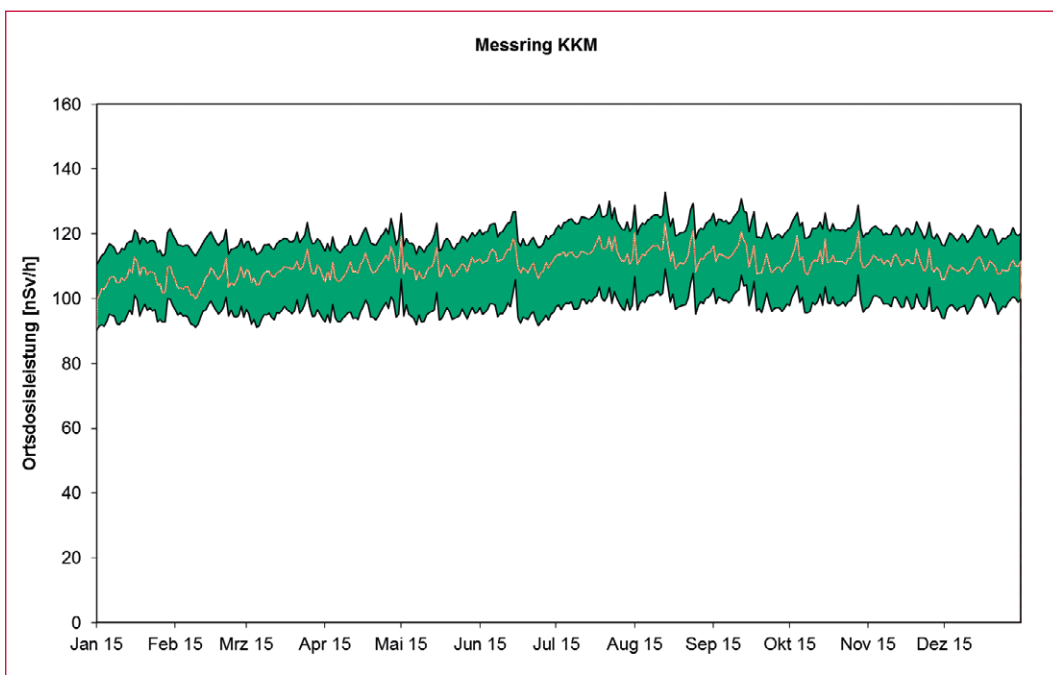
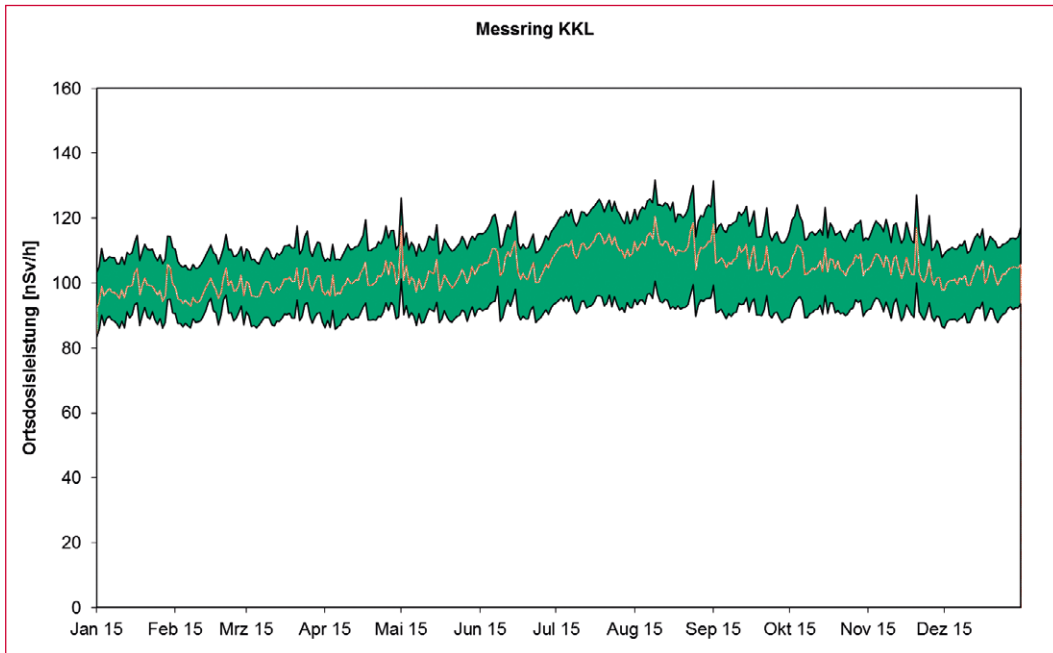
Datum	Station	Dauer [h]	Max. NDl [nSv/h]	Max. ODL [nSv/h]
10.3.2016 09:30	M-12	0,2	176	285
28.5.2016 03:10	L-03	0,2	50	183
8.6.2016 11:50	B-02	1,0	59	165
8.6.2016 11:50	B-04	1,2	71	183
24.7.2016 18:00	L-03	1,2	89	188
25.7.2016 21:30	B-02	0,8	53	153
25.7.2016 21:30	B-04	0,8	66	172
16.8.2016 15:20	L-03	0,2	53	157
18.8.2016 14:10	G-15	0,2	53	229
31.8.2016 18:40	M-11	0,3	54	172
31.8.2016 18:40	M-12	0,7	63	190
31.8.2016 19:00	M-01	0,5	58	178

Die Darstellungen B.4 und B.5 zeigen die Maxima, die Minima und die Medianwerte der Tagesmittelwerte der jeweiligen Messringe im Berichtsjahr in den Umgebungen der Kernkraftwerke.

**Darstellung B.4:** Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe KKB und KKG im Jahr 2016



**Darstellung B.5:** Wertebereiche aus Tagesmittelwerten für die Messringe KKL und KKM im Jahr 2016







# 7 Atmosphärische Ausbreitung

## 7.1 Modellberechnungen im Ereignisfall

Die Organisation, die Zuständigkeiten und der Einsatz der Organe des Bundes bei einem Ereignis in einer Kernanlage mit einer bevorstehenden oder bereits erfolgten Freisetzung von radioaktiven Stoffen sind in der Verordnung über den Notfallschutz in der Umgebung von Kernanlagen (Notfallschutzverordnung, NFSV) und in der Verordnung über die Organisation von Einsätzen bei ABC- und Naturereignissen (ABCN-Einsatzverordnung) geregelt. Bei einer störfallbedingten Freisetzung von radioaktiven Stoffen aus einer schweizerischen Kernanlage ist das ENSI zuständig für die Prognose der Entwicklung des Störfalls in der Anlage sowie der möglichen Ausbreitung der Radioaktivität in der Umgebung und für die Abschätzung von deren Konsequenzen. Das ENSI berät zudem die Nationale Alarmzentrale (NAZ) über die Anordnung von Schutzmassnahmen für die Bevölkerung.

Die Beurteilung der radiologischen Gefährdung bildet die Grundlage für die Anordnung von Schutzmassnahmen für die Bevölkerung. Diese sollten wenn möglich vorsorglich angeordnet werden. In der Vorphase, d.h. vor Beginn der Freisetzung, stehen dazu jedoch keine Radioaktivitätsmessungen in der Umgebung zur Verfügung. Die Gefährdung muss deshalb mittels sog. Ausbreitungsrechnungen aufgrund der aktuellen Situation in der Anlage und der vorherrschenden Wetterbedingungen in der Umgebung abgeschätzt werden. Diese Modellrechnungen dienen insbesondere dazu, das potenziell gefährdete Gebiet abzugrenzen, die notwendigen Schutzmassnahmen festzulegen und die Messstrategie zu optimieren.

## 7.2 Atmosphärisches Ausbreitungs- und Dosisberechnungsmodell JRODOS

Seit Anfang 2016 wird zur Modellierung der atmosphärischen Ausbreitung und zur Dosisberechnung im Ereignisfall das Programm JRODOS (Java-based

Realtime Online DecisiOn Support system) eingesetzt. Dabei handelt es sich um eine modulare Plattform zur Entscheidungsunterstützung in Echtzeit für den kerntechnischen Notfallschutz, welche vom deutschen Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) initiiert und vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) im Rahmen des EURATOM-Rahmenforschungsprogrammes entwickelt wurde.

Innerhalb JRODOS wird für die eigentliche Ausbreitungsrechnung das Programm LASAT (Lagrange-Simulation von Aerosol-Transport) verwendet. LASAT ist ein Lagrange'sches Partikelmodell, das 1980 vom Ingenieurbüro Janicke entwickelt und in verschiedenen Forschungsvorhaben erprobt wurde. Seit 1990 ist es allgemein als Softwarepaket verfügbar und wird beispielsweise in Deutschland bei Landesbehörden, TÜV und anderen Gutachtern sowie der Industrie eingesetzt. LASAT diente als Grundlage für die Entwicklung des Ausbreitungsmodells AUSTAL2000, dem offiziellen Referenzmodell der deutschen Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft). LASAT ist konform zur Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 und bietet ein breites Anwendungsspektrum (unter anderem bei der Untersuchung der Ausbreitung von Geruchsstoffen, Bioaerosolen oder Radionukliden). Ausgehend von den Anforderungen des ENSI wurde LASAT von seinen Entwicklern z.T. wesentlich überarbeitet und verbessert, insbesondere hinsichtlich Parallelisierung. JRODOS erlaubt die direkte Verwendung von 3D-Wettervorhersagedaten aus dem von der MeteoSchweiz routinemässig eingesetzten Modell COSMO-1. Dieses liefert Prognosen in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung bis zu 24 Stunden in die Zukunft. Bei der Verwendung dieser Wettervorhersagen werden die 3D-Daten mit einem Windfeldmodell auf die vom Ausbreitungsmodell benötigten Auflösungen heruntergerechnet, um Simulationen mit einer noch höheren räumlichen Auflösung als derjenigen von COSMO-1 zu ermöglichen.

Neben dem Windfeld ist die Auflösung der Geländeform (Orographie) eine wesentliche Grösse. Die kleinräumige Landschaftsstruktur der Schweiz und des süddeutschen Raumes stellt daran erhöhte

Anforderungen, weshalb JRODOS das beste beim Bundesamt für Landestopografie swisstopo verfügbare Höhenmodell (DHM25) verwendet.

Eine wesentliche Neuerung stellt die Erweiterung des Rechengebiets von den bei ADPIC maximal möglichen 64x64 km<sup>2</sup> auf 300x300 km<sup>2</sup> dar, wobei für den Nahbereich um eine Kernanlage die orografische Auflösung von 250 m beibehalten wird. Das Rechengitter besitzt eine Schachtelung von unterschiedlich fein aufgelösten Gebieten, wobei die Anzahl Stufen wählbar ist. Dies ermöglicht Simulationen mit grossen Abwinddistanzen innerhalb von für den Notfallschutz akzeptablen Rechenzeiten.

### Aktueller Stand

Das Ausbreitungsmodell JRODOS ist für alle Kernanlagen operationell:

- Routinemässige Berechnungen mit einer Einheitsquelle (1 Bq/s kontinuierliche Abgabe) werden automatisch rund um die Uhr im Stundentakt und für drei verschiedene Freisetzungshöhen durchgeführt.
- Im Ereignisfall (und bei Übungen) sind störfallspezifische Berechnungen spätestens innerhalb einer Stunde nach der Einsatzbereitschaft der ENSI-Notfallorganisation zu erwarten.

Der Hauptzweck der *Routineberechnungen* ist die Sicherstellung der dauernden Verfügbarkeit des Systems und die Überwachung der aktuellen Ausbreitungssituation (Prognosen über die nächsten 6 Stunden). Zudem können Routineberechnungen auch im Ereignisfall – insbesondere in der Anfangsphase – für eine erste Beurteilung verwendet werden.

Der Hauptzweck der *störfallspezifischen Berechnungen* in der Vor- und Wolkenphase ist die Beurteilung der Gefährdung der Bevölkerung in der Umgebung des Kernkraftwerks bei einer späteren oder bereits erfolgten Freisetzung von radioaktiven Stoffen. Die Berechnungen dienen als Grundlage, um das möglicherweise gefährdete Gebiet abzugrenzen und über weitere eventuell notwendige Messungen oder Massnahmen entscheiden zu können. Nach dem Wolkendurchzug ist die Beurteilung der tatsächlichen Gefährdung der Bevölkerung aufgrund der in der Wolkenphase erhaltenen Dosen und den noch zu erwartenden Dosen infolge Deposition wichtig. Zudem tragen die Modellberechnungen zur Festlegung des Wolkendurchzugsgebietes als Grundlage für die Optimierung der Messstrategie bei.

Für die Sicherstellung der Notfallbereitschaft im Ereignisfall muss neben der technischen Verfügbarkeit auch die personelle Bedienung des Systems

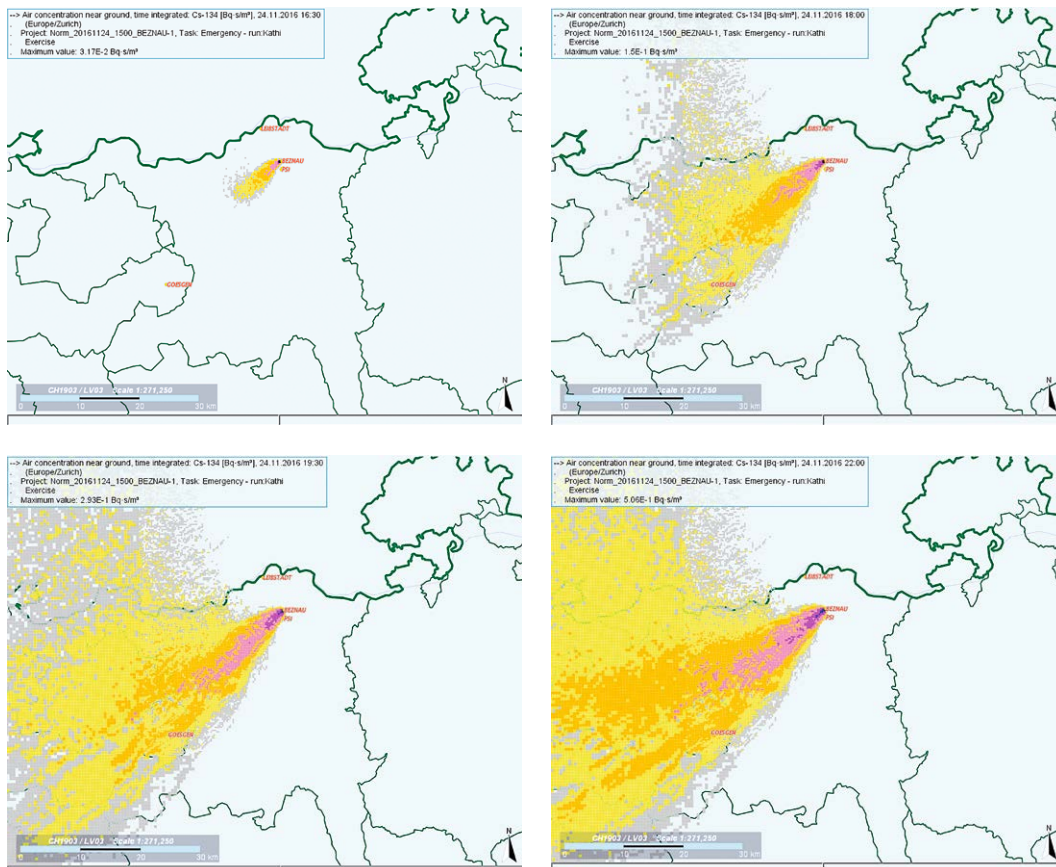
gewährleistet sein. Zu diesem Zweck erfolgen vierteljährliche Schulungen der als JRODOS-Operateure eingeteilten Mitglieder der ENSI-Notfallorganisation.

### Beispiele von JRODOS/COSMO-Berechnungen

Das Ausbreitungsmodell JRODOS ermöglicht im Ereignisfall aufgrund von aktuellen meteorologischen Daten eine realistische Beurteilung der radiologischen Gefährdung der Bevölkerung.

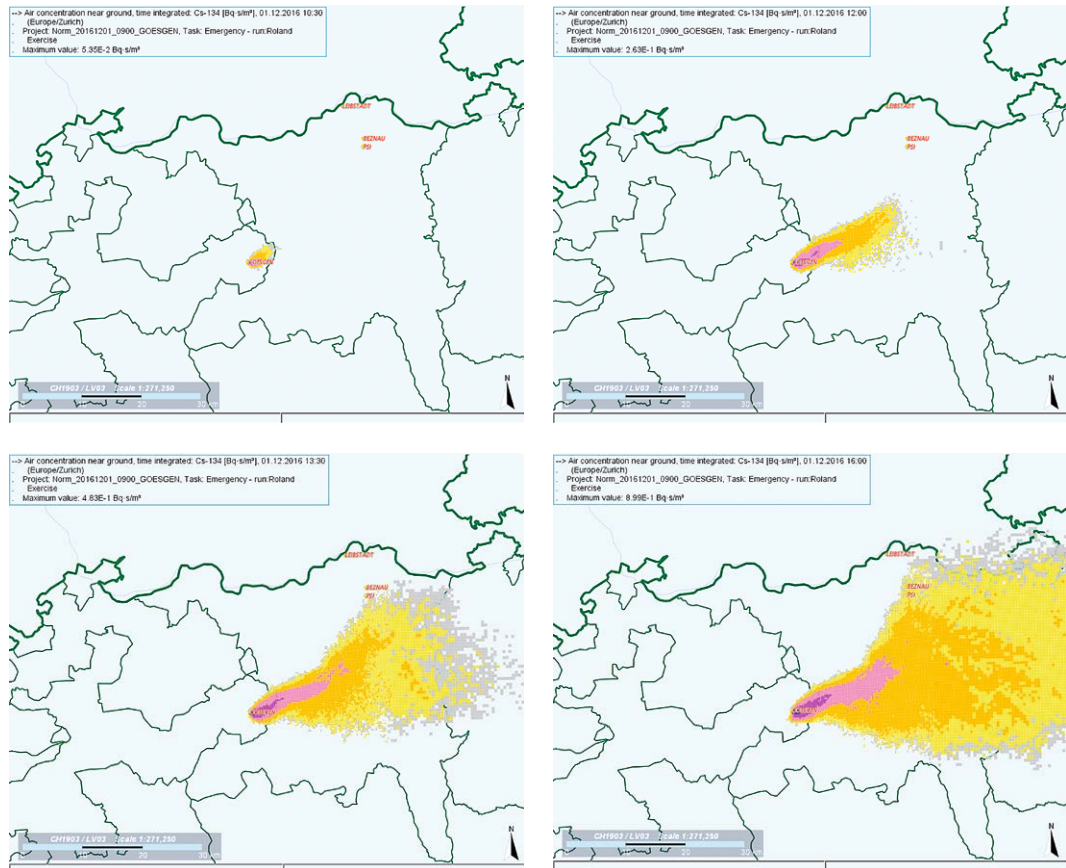
In den Darstellungen B.6 bis B.9 werden Beispiele von JRODOS/COSMO-Simulationen für die vier KKW-Standorte dargestellt. Die Darstellungen stammen aus den Routineberechnungen und zeigen die berechneten integrierten Aktivitätskonzentrationen in Bodennähe als Funktion der Zeit für verschiedene ausgewählte, nicht repräsentative Wetterlagen.

## Darstellung B.6: Beispiel einer JRODOS/COSMO-Simulation für KKB



Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 24. November 2016 um 16:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 10 m über Boden, Dauer der Freisetzung 6 Stunden  
Ausbreitungssituation um 16:30 Uhr (links oben), 18:00 Uhr (rechts oben), 19:30 Uhr (links unten) und 22:00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit  
Vordergrund: Integrierte Luftaktivität in Bodennähe als Funktion der Zeit bis zu einer Abwinddistanz von 48 km  
Hintergrund: Politische Grenzen

## Darstellung B.7: Beispiel einer JRODOS/COSMO-Simulation für KKG



Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 1. Dezember 2016 um 10:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 10 m über Boden, Dauer der Freisetzung 6 Stunden

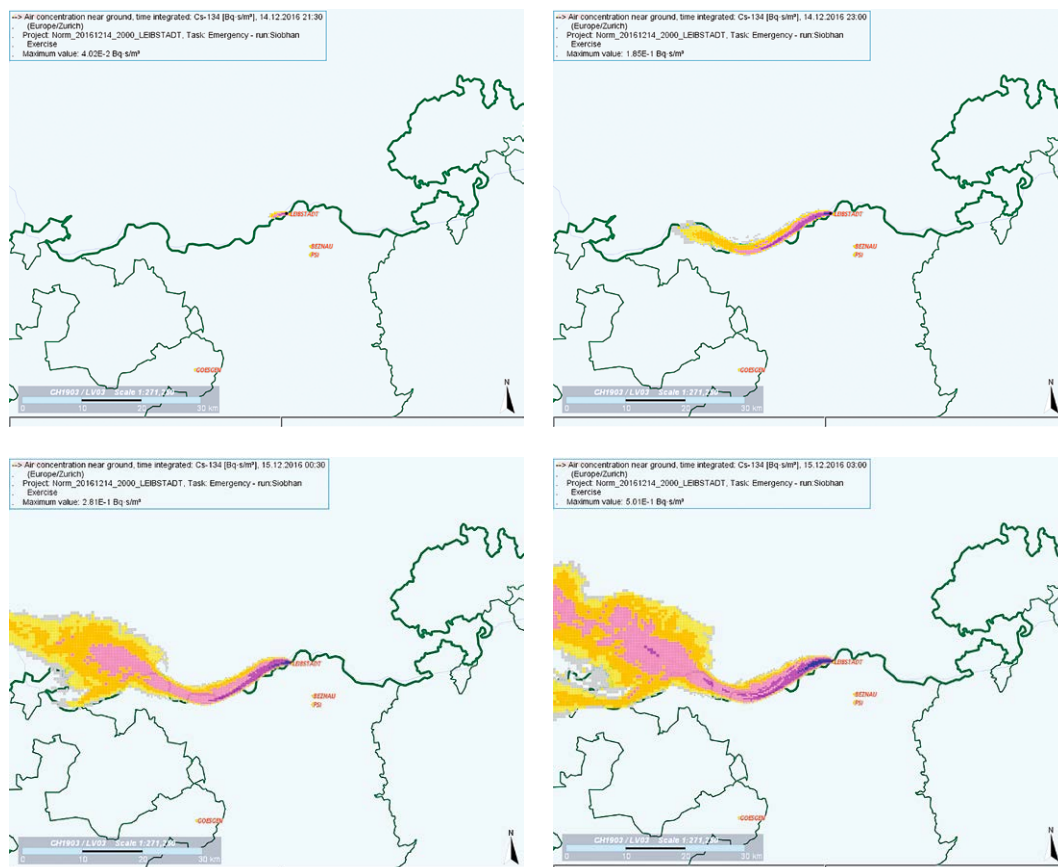
Ausbreitungssituation um 10:30 Uhr (links oben), 12:00 Uhr (rechts oben), 13:30 Uhr (links unten)

und 16:00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit

Vordergrund: Integrierte Luftaktivität in Bodennähe als Funktion der Zeit bis zu einer Abwinddistanz von 48 km

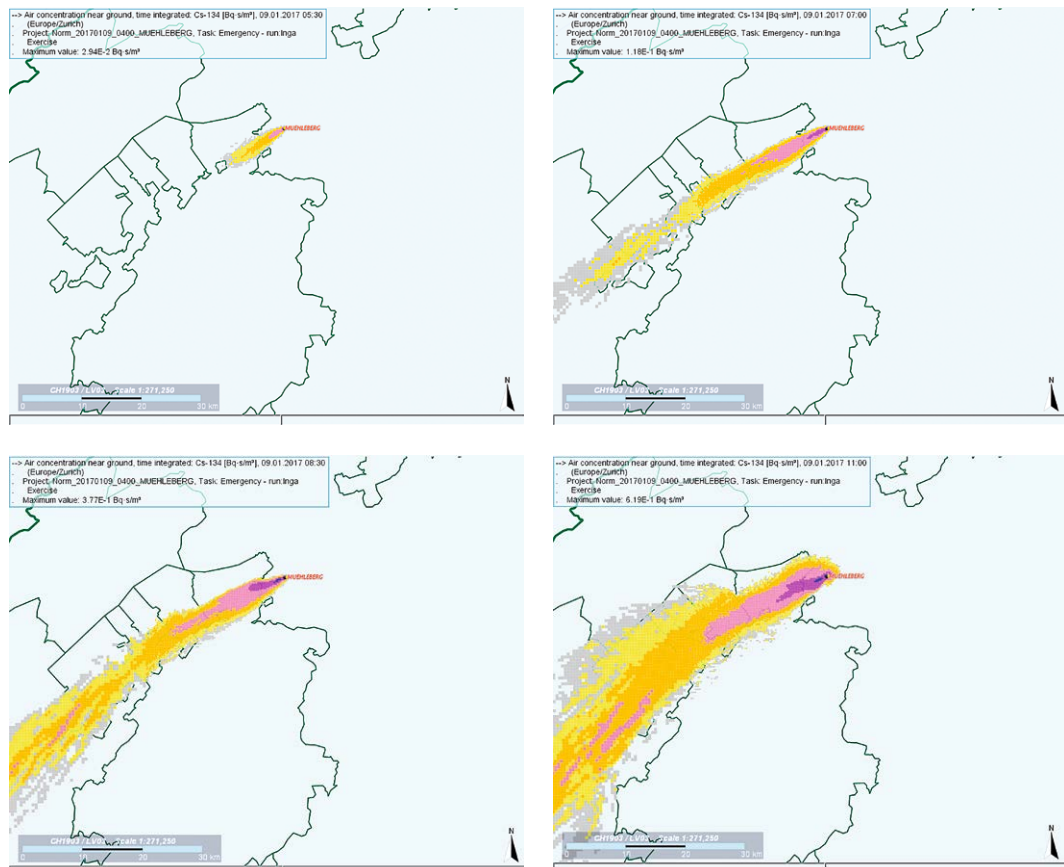
Hintergrund: Politische Grenzen

## Darstellung B.8: Beispiel einer JRODOS/COSMO-Simulation für KKL



Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 14. Dezember 2016 um 21:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 10 m über Boden, Dauer der Freisetzung 6 Stunden  
Ausbreitungssituation um 21:30 Uhr (links oben), 23:00 Uhr (rechts oben), am 15. Dezember 2016 um 00:30 Uhr (links unten) und 03:00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit  
Vordergrund: Integrierte Luftaktivität in Bodennähe als Funktion der Zeit bis zu einer Abwinddistanz von 48 km  
Hintergrund: Politische Grenzen

## Darstellung B.9: Beispiel einer JRODOS/COSMO-Simulation für KKM



Ausbreitungsrechnung mit einer fiktiven Freisetzung am 9. Januar 2017 um 5:00 Uhr Lokalzeit, effektive Abgabehöhe 10 m über Boden, Dauer der Freisetzung 6 Stunden  
Ausbreitungssituation um 05:30 Uhr (links oben), 07:00 Uhr (rechts oben), 08:30 Uhr (links unten) und 11:00 Uhr (rechts unten) Lokalzeit  
Vordergrund: Integrierte Luftaktivität in Bodennähe als Funktion der Zeit bis zu einer Abwinddistanz von 48 km  
Hintergrund: Politische Grenzen



# 8 Aeroradiometrische Messungen

## 8.1 Einleitung

Aeroradiometrische Messungen wurden in der Schweiz im Jahr 1986 aufgenommen. Die Methodik und Software für die Kalibrierung, Datenerfassung, Datenverarbeitung und Kartendarstellung wurden am Institut für Geophysik der ETH Zürich entwickelt (Schwarz 1991). In der Zeit von 1989 bis 1993 wurde die Umgebung der schweizerischen Kernanlagen jährlich aeroradiometrisch auf einer Fläche von jeweils rund 50 km<sup>2</sup> vermessen. Im Jahr 1994 ging man zu einem Zweijahresrhythmus über, wobei seither abwechselungsweise zwei bzw. drei Gebiete im Umfeld von Kernanlagen vermessen werden. 1992 und 1995 wurden ebenfalls am Institut für Geophysik der ETH Zürich zwei neue Messgeräte gebaut (16,8- und 4,0 Liter-Detektoren).

Seit den Messflügen 2001 kommt eine neu entwickelte Online-Datenauswertungs- und Kartierungssoftware zum Einsatz (Bucher 2001).

Im Jahre 1994 wurde die Aeroradiometrie in die Einsatzorganisation Radioaktivität des Bundes integriert. Als mögliche Einsatzfälle stehen Transport- und Industrieunfälle mit radioaktivem Material, KKW-Störfälle, Abstürze von Satelliten mit Nuklearreaktoren und «Dirty Bombs» im Vordergrund. Die jährlichen Messprogramme werden durch die Fachgruppe Aeroradiometrie zusammengestellt, die sich aus Mitgliedern der beteiligten Stellen zusammensetzt. Der Einsatz erfolgt unter der Regie der Nationalen Alarmzentrale (NAZ).

Während der Jahre 2004 und 2005 wurden die Messsysteme erneuert und dabei die Online-Datenauswertungs- und Kartierungssoftware im Messsystem integriert. 2006 wurde ein zweiter Detektor mit 16,8l Volumen beschafft, kalibriert und bei den Messflügen 2007 erstmals eingesetzt. Ende 2014 wurde der alte 16.8l Detektor sowie das Spektrometer durch einen neuen Detektor mit integriertem, digitalen Spektrometer ersetzt. 2015 erfolgte die Kalibrierung und der Einsatz bei den Messflügen. Im Jahre 2010 (Bucher et. al, 2010) wurde mithilfe der Auswertung der Langzeitdaten die Nachweisgrenze der Messmethode ermittelt: 0,02 µSv/h werden in 95 von 100 Fällen erkannt (Vertrauens-

bereich 95%). Dies entspricht ungefähr 20% der natürlichen externen Strahlung.

## 8.2 Messungen und Messresultate 2016

Im Juni 2016 wurde turnusgemäss die Umgebung der Kernkraftwerke Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL) sowie des Paul Scherrer Instituts, des Bundeszwischenlagers (BZL) und des Zentralen Zwischenlagers (ZZL, ZWILAG) gemessen. Im Rahmen der Messübung wurden auch Vergleichsmessungen mit dem neuen Messsystem des Kompetenzzentrums ABC der Armee durchgeführt. Weitere Messungen wurden über Städten (Luzern, Emmen, Zug, Cham, Baar) und im Vicosoprano durchgeführt. Zusätzlich wurden auch noch Messdaten zur Überprüfung der Kalibration erhoben. Im Folgenden werden nur die Resultate der Messungen in der Umgebung der Kernanlagen diskutiert. Die Ergebnisse sämtlicher Messungen werden in einem PSI-Bericht publiziert (Butterweck et al., 2017).

Die Messresultate im Messgebiet KKB, KKL, PSI, BZL und ZWILAG zeigten ein ähnliches Bild wie in vorangegangenen Messkampagnen. Im Bereich des KKB sind keine besonderen Werte bei der Ortsdosisleistung (Darstellung B.10) zu erkennen. KKB mit seinem Druckwasserreaktor konnte aeroradiometrisch weder aufgrund der Ortsdosisleistung (Darstellung B.10) noch aufgrund des MMGC-Verhältnisses erkannt werden. Das MMGC-Verhältnis steht für den Quotienten der Zählraten im Energiebereich von 400–1'400 keV und 1'400–3'000 keV. Da die meisten Spaltprodukte Gammalinien im Energiebereich unterhalb von 1'400 keV aufweisen, stellt das MMGC-Verhältnis ein empfindliches Instrument zur Lokalisierung künstlicher Radionuklide dar.

Im Gegensatz zum KKB können am Standort von KKL in der Darstellung B.10 erhöhte Messwerte erkannt werden. Das KKL mit seinem Siedewasserreaktor konnte anhand gestreuter, hochenergetischer Photonenstrahlung wie in früheren Jahren erkannt werden. Diese Strahlung wird durch das Aktivierungsprodukt <sup>16</sup>N erzeugt, welches bei Sie-

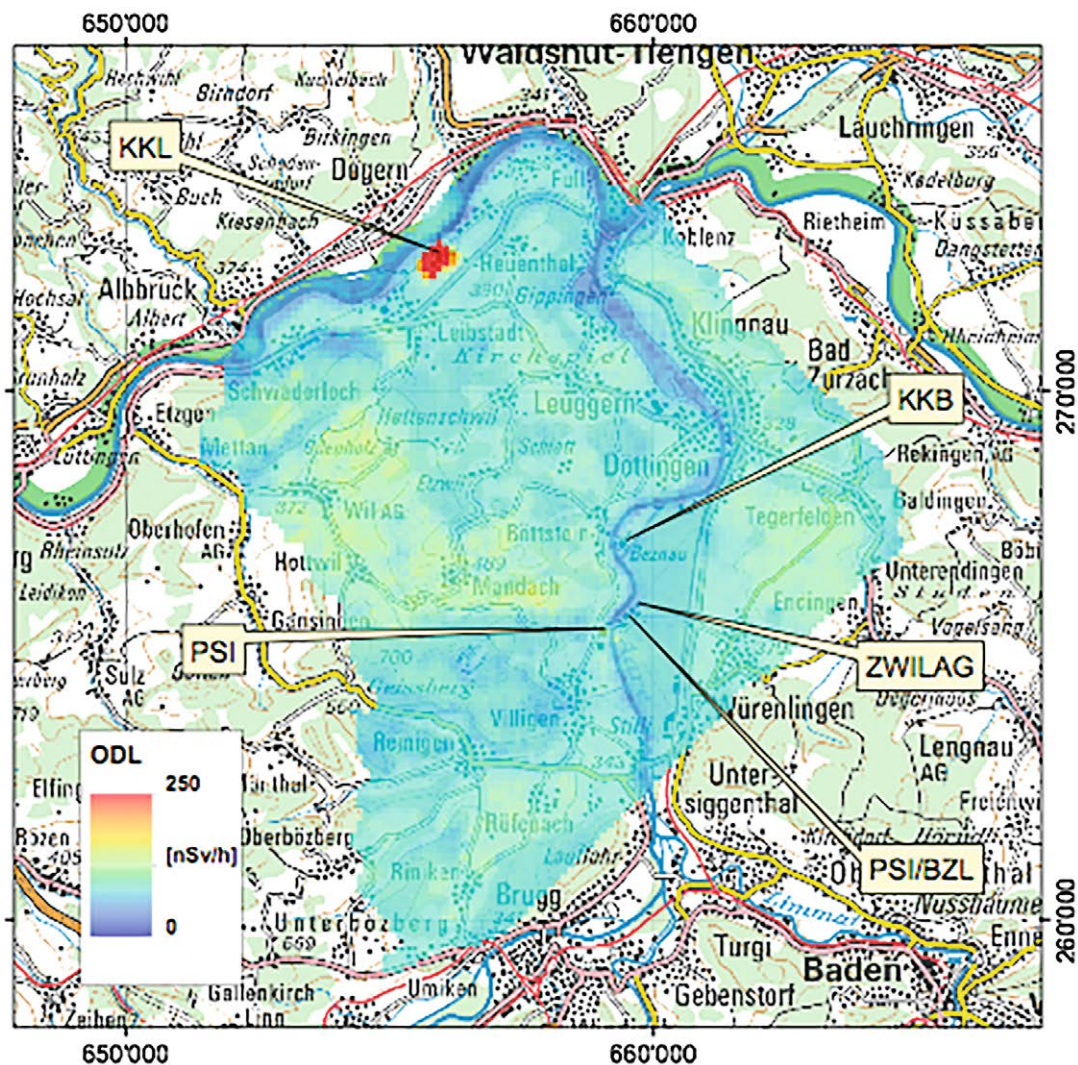


dewasserreaktoren durch die Frischdampfleitung in die Turbinen im Maschinenhaus gelangt. Da das Dach des Maschinenhauses vergleichsweise gering abgeschirmt ist, kann die hochenergetische Gammastrahlung des  $^{16}\text{N}$  aus der Luft gut gemessen werden.

Im Bereich des BZL und des ZWILAG konnten keine Signale identifiziert werden, die von den eingelagerten Abfällen stammen könnten. Auch bei dieser

Messkampagne konnte im Bereich des PSI die Abluftfahne anhand der kurzlebigen Positronenstrahler und der damit verbundenen charakteristischen Gammalinie bei 511 keV (Annihilationsstrahlung) detektiert werden. Ausserhalb der Betriebsareale sind keine erhöhten Werte erkennbar. Unterschiede sind auf Einflüsse der Topographie wie Untergrund, Vegetation und Gewässer zurückzuführen.

**Darstellung B.10:** Ortsdosisleistung 2016 im Messgebiet KKB, KKL, PSI, BZL, ZWILAG (ZZL). Kartendaten PK200 © Bundesamt für Landestopografie.



### 8.3 Langzeitanalyse

Bereits in den Jahren 2001 (Bucher, 2001) und 2010 (Bucher & Rybach, 2010) wurden Langzeitanalysen der Messdaten in der Umgebung der Kernkraftwerke durchgeführt. Inzwischen stehen nun Messdaten über rund 25 Jahre zur Verfügung, die nun erneut auf mögliche Trends untersucht wurden. Dabei wird dasselbe Verfahren wie in Bucher & Rybach (2010) verwendet, bei dem aus

den bestimmten Ortsdosisleistungen mit Hilfe von orts- und zeitabhängigen Anteilen die Nettodosisleistung bestimmt wird. Die orts- und zeitabhängigen Anteile werden mit einfachen statistischen Methoden aus allen verfügbaren Messdaten hergeleitet. Dieselbe Methode wird auch bei der Auswertung der mit TLD erhobenen Dosen und beim Bestimmen der Nettodosisleistung für die MADUK-Stationen eingesetzt. Die Datenlücke beim Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG im Jahre

2002 ist darauf zurückzuführen, dass aufgrund der Teilnahme an einer internationalen Messübung nur sehr wenig Flugzeit für das Messgebiet zur Verfügung stand und deshalb nur der unmittelbare Teil um die Kernanlagen befliegen werden konnte.

In den Darstellungen B.11, B.13 und B.15 sind die Mittelwerte der Ortsdosisleistungen mit dem zugehörigen Schwankungsbereich (zweifache Standardabweichung) für jedes Messjahr aufgetragen. Die Ortsdosisleistungen blieben über die Jahre innerhalb des Schwankungsbereichs konstant. Die Änderungen von Jahr zu Jahr sind auf unterschiedliche Bedingungen am Boden (Bodenfeuchte) und in der Atmosphäre (Radon und seine Folgeprodukte) zurückzuführen. Je feuchter der Boden, desto grösser wird die Selbstabsorption des Bodens und damit umso tiefer die gemessene Ortsdosisleistung. Radon und seine Folgeprodukte in der Atmosphäre führen bei der Aeroradiometrie zu einer Überschätzung der Ortsdosisleistung am Boden von bis zu 10 nSv/h.

In den Darstellungen B.12, B.14 und B.16 sind die gemittelten Nettodosisleistungen mit den zugehörigen Schwankungsbereichen (doppelte Standardabweichung, 95 %-Vertrauensintervall) sowie den Minimal- und Maximalwerten für jedes Messjahr aufgetragen. Die mittlere Nettodosisleistung liegt bei Null. Der Schwankungsbereich ist über die Jahre sehr ähnlich und im Messgebiet KKG am kleinsten. In den meisten Jahren und Messgebieten sind die Verteilungen der Nettodosisleistungen inklusive Minimal- und Maximalwerte symmetrisch. Zu grösseren Abweichungen in den Nettodosisleistungen sowohl in positiver wie negativer Richtung kommt es im Bereich von ausgeprägter Topographie (steile Hänge) und am Übergang von Land zu Wasser (z.B. Klingnauer Stausee, Wohler Stausee, Aare). Die Verteilung bleibt dabei aber meist symmetrisch. Beim Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG weist das Jahr 1993 einen deutlich grösseren Streubereich auf als die anderen Jahre. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die zugehörigen Messungen an drei verschiedenen Tagen durchgeführt wurden und damit unterschiedliche Verhältnisse betreffs Bodenfeuchte sowie Radon und seine Folgeprodukte herrschten. Beim Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG sind in den Jahren 2004 und 2010 Asymmetrien in positiver Richtung zu erkennen. Im Jahre 2004 sind diese auf ein  $^{58}\text{Co}$ -Signal auf dem Gelände von KKB (Bucher et al., 2005), im Jahre 2010 auf die detektierte Fortluftfahne des PSI (Bucher et al., 2011) zurückzuführen. Beim Messgebiet KKG (Darstellung B.14) ist im Jahre 1995 der Maximalwert auf eine industrielle

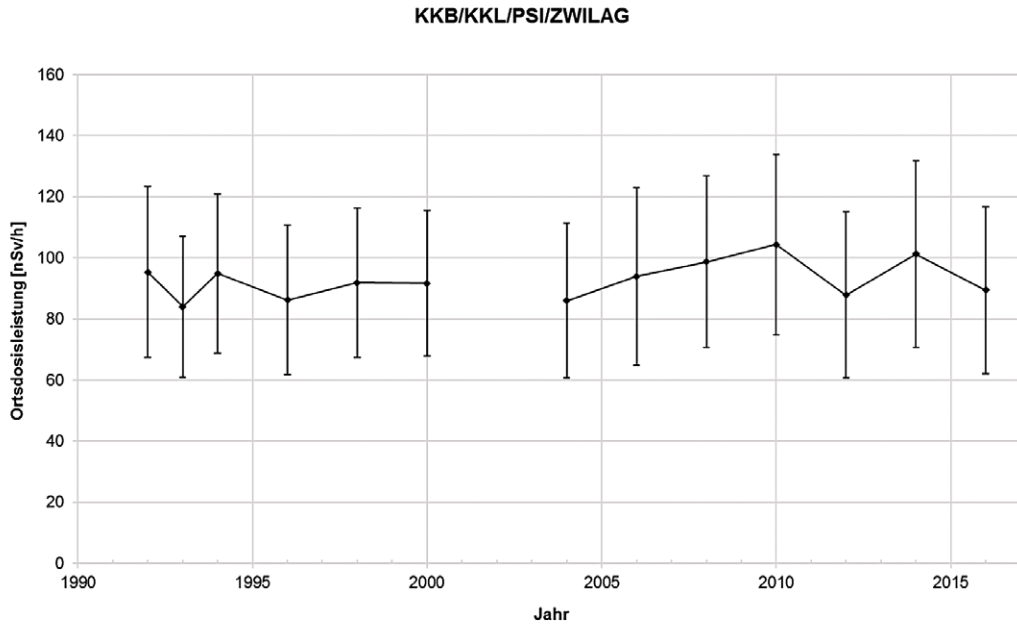
Bestrahlungsanlage (Schwarz et al., 1996) zurückzuführen. Bei den anderen auffälligen Maximalwerten konnten in den Spektren keine durch Tätigkeiten des Menschen verursachten Signale gefunden werden. Beim Messgebiet KKM (Darstellung B.16) fällt der Maximalwert für das Jahr 1999 auf. In den gemessenen Spektren in diesem Gebiet konnten aber keine durch Tätigkeiten des Menschen verursachten Signale gefunden werden.

In der Darstellung B.17 sind als Vergleich für die gemittelten Ortsdosisleistungen aus der Aeroradiometrie die Tageswerte der Ringmittelwerte aus dem MADUK-Messnetz aufgetragen. Dabei wurden jeweils die Werte für die Tage verwendet, an denen die Messflüge stattfanden. Die Werte schwanken im Bereich von bis 10 nSv/h. Dies ist hauptsächlich auf die schwankende Bodenfeuchte und die damit verbundene ändernde Selbstabsorption des Bodens zurückzuführen. Radon und seine Folgeprodukte in der Atmosphäre spielen bei den Ortsdosisleistungen am Boden eine vernachlässigbare Rolle, da der Beitrag zum Messsignal im Verhältnis zum Beitrag des Bodens vernachlässigbar ist.

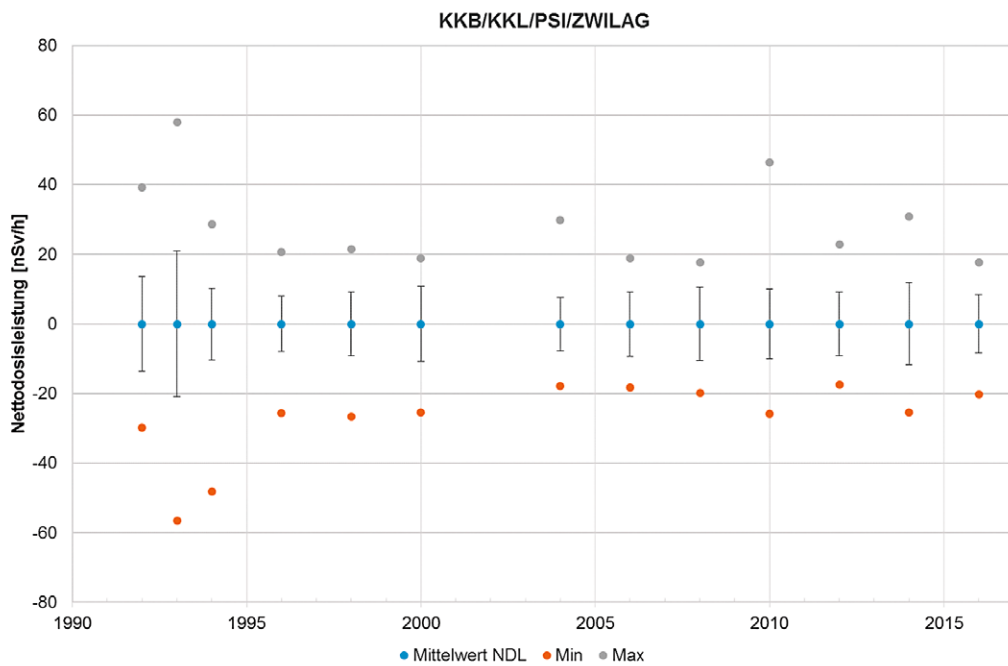
Auf Basis der Langzeitanalyse der aeroradiometrischen Messungen in der Umgebung der Kernanlagen lassen sich keine Trends erkennen. Die Unterschiede in den Ortsdosisleistungen von Jahr zu Jahr liegen innerhalb des Schwankungsbereichs aufgrund natürlicher Faktoren. Spezielle Messwerte der Aeroradiometrie werden in den jährlichen Berichten beschrieben und dokumentiert. Diese lassen sich über die Nettodosisleistungen ebenfalls gut erkennen. Die Nettodosisleistungen weisen über die Jahre ebenfalls keinen Trend auf. Die Streubereiche über die Jahre sind ähnlich. Für Maximalwerte, die deutlich über das Vierfache des Streubereichs (Standardabweichung) hinausgehen, konnten die Ursachen bestimmt werden.

Bei der Auswertung der aeroradiometrischen Messungen werden neben den Ortsdosisleistungen weitere Grössen wie nuklidspezifische Aktivitäten und Verhältnisse von Zählraten verschiedener Spektrenbereiche bestimmt. Das «Man Made Gross Count (MMGC)» Verhältnis ist betreffend künstlicher Radionuklide wesentlich empfindlicher als die Ortsdosisleistung bzw. die Nettodosisleistung, liefert aber nur ein qualitatives Ergebnis. Damit lassen sich aber bereits Beiträge künstlicher Radionuklide unterhalb des Streubereichs der Nettodosisleistungen detektieren und nötigenfalls mit Bodenmessungen weiter untersuchen

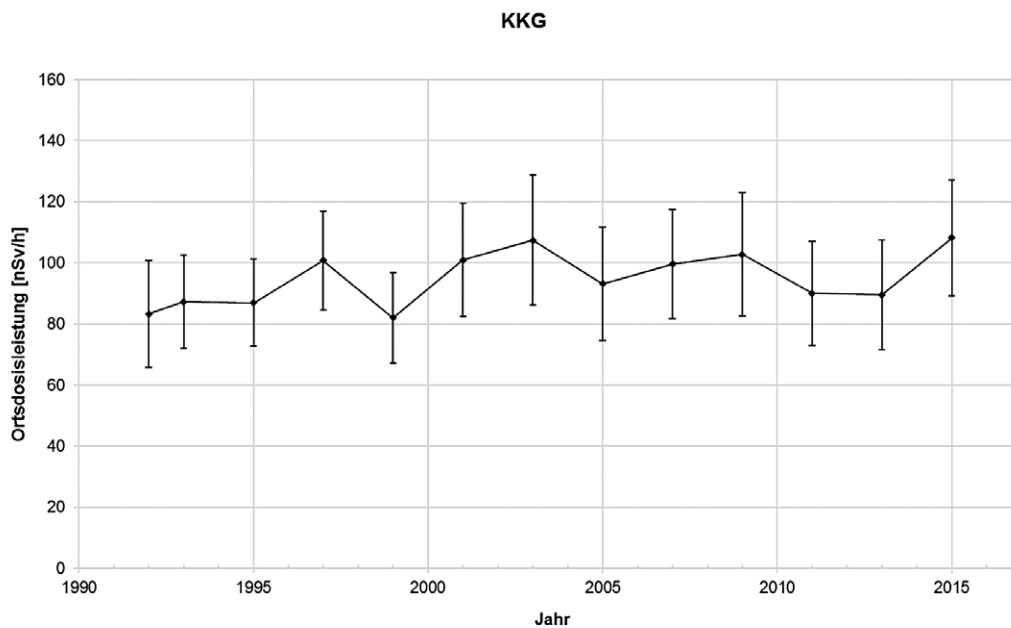
**Darstellung B.11:** Mittlere Ortsdosisleistung mit doppelter Standardabweichung im Messgebiet KKB, KKL, PSI und ZWILAG für die jährlichen Messungen



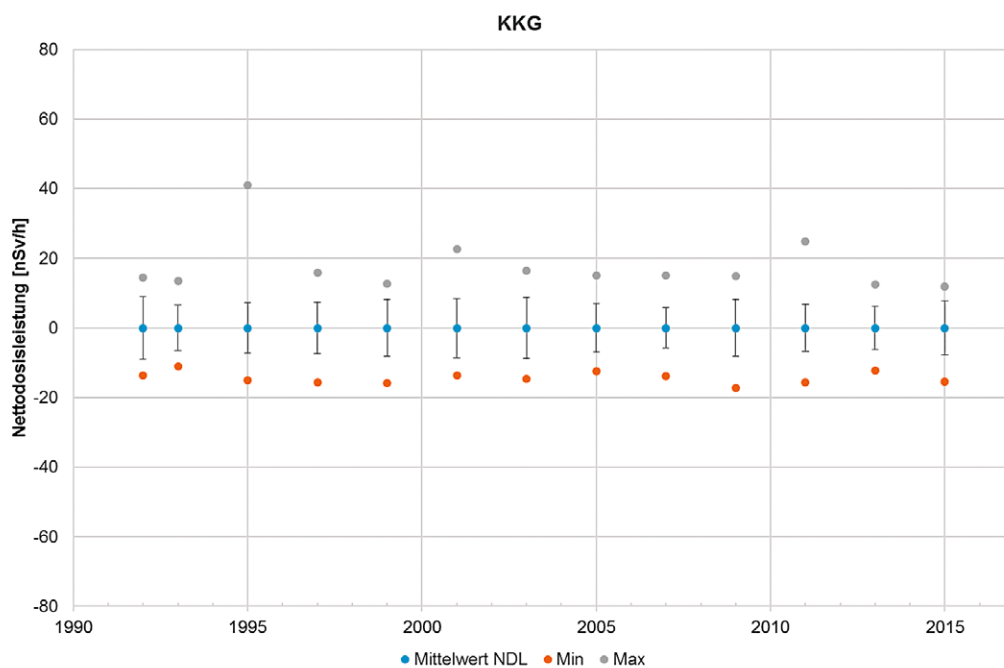
**Darstellung B.12:** Mittlere Nettodosisleistung mit doppelter Standardabweichung sowie Minimal- und Maximalwert im Messgebiet KKB, KKL, PSI und ZWILAG für die jährlichen Messungen



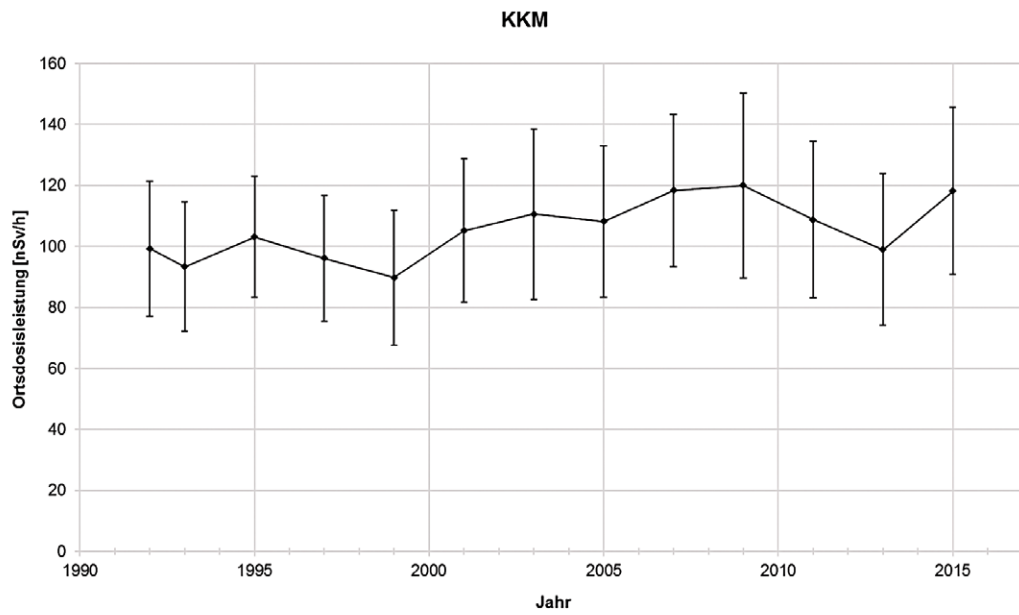
**Darstellung B.13:** Mittlere Ortsdosisleistung mit doppelter Standardabweichung im Messgebiet KKG für die jährlichen Messungen



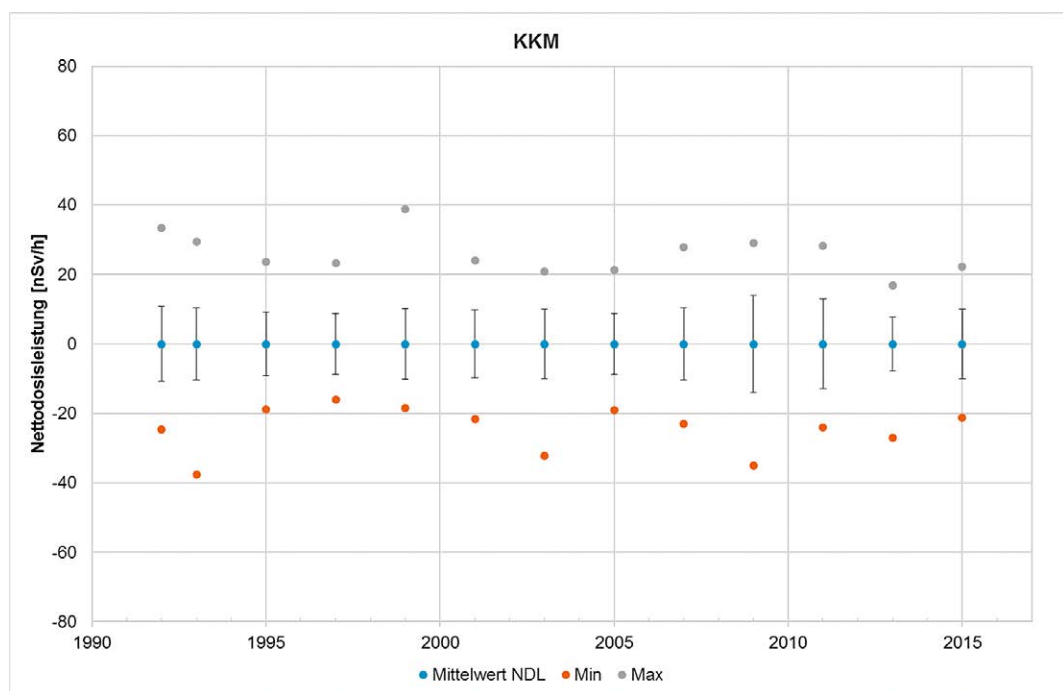
**Darstellung B.14:** Mittlere Nettodosisleistung mit doppelter Standardabweichung sowie Minimal- und Maximalwert im Messgebiet KKG für die jährlichen Messungen



**Darstellung B.15:** Mittlere Ortsdosisleistung mit doppelter Standardabweichung im Messgebiet KKM für die jährlichen Messungen

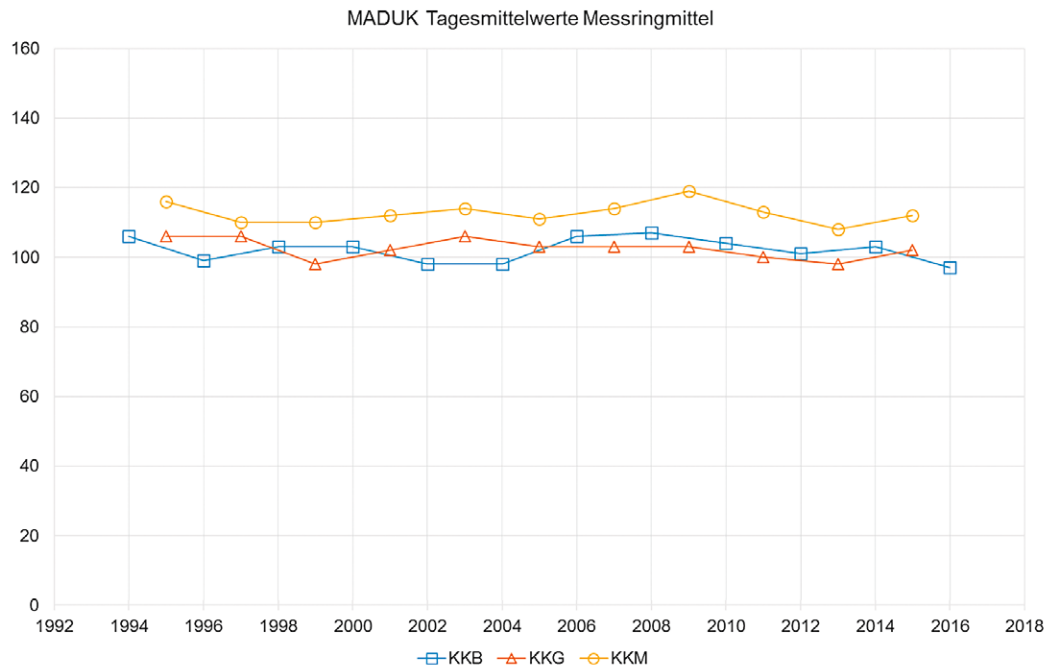


**Darstellung B.16:** Mittlere Nettodosisleistung mit doppelter Standardabweichung sowie Minimal- und Maximalwert im Messgebiet KKM für die jährlichen Messungen





**Darstellung B.17:** Tageswerte der Ringmittelwerte in den MADUK-Messringen KKB/KKL, KKG und KKM.



## 8.4 Literatur

Schwarz, G. F., 1991: Methodische Entwicklungen zur Aerogammaspektrometrie. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geophysik Nr. 23, Schweizerische Geophysikalische Kommission.

Schwarz, G. F., Rybach, L., Bärlocher, Chr., 1996: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM95. Bericht für das Jahr 1995 zuhanden der Fachgruppe Aeroradiometrie.

Bucher, B., 2001: Methodische Weiterentwicklungen in der Aeroradiometrie. Dissertation Nr. 13973, ETH Zürich.

Bucher, B., Butterweck, G., Rybach, L., Schwarz, G., 2005: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM04. PSI Bericht Nr. 05-10. ISSN 1019-0643.

Bucher, B., Butterweck, G., Rybach, L., Schwarz, G., Mayer, S., 2011: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM10. PSI Bericht Nr. 11-02. ISSN 1019-0643.

Bucher, B., Rybach, L., 2010: Flächendeckende Langzeitanalyse der Strahlung in der Umgebung der Schweizer Kernanlagen mit Hilfe der Aeroradiometrie, in: Natürliche und künstliche Radionuklide in unserer Umwelt, 42. Jahrestagung des Fachverbands für Strahlenschutz e.V., FS-2010-153-T, ISSN 1013-4506, TÜV Media GmbH, Köln.

Butterweck, G., Bucher, B., Rybach, L., Schwarz, G., Hofstetter-Boillat, B., Hohmann, E., Mayer, S., Danzi, C., Scharding, G., 2017: Aeroradiometric Measurements in the Framework of the Swiss Exercises ARM16. PSI Bericht Nr. 17-01, ISSN 1019-0643.

**Herausgeber**

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI  
CH-5200 Brugg  
Telefon +41 (0)56 460 84 00  
info@ensi.ch  
www.ensi.ch

**Zusätzlich zu diesem Strahlenschutzbericht...**

...informiert das ENSI in weiteren jährlichen Berichten aus seinem Arbeits- und Aufsichtsgebiet (Erfahrungs- und Forschungsbericht, Aufsichtsbericht, Tätigkeits- und Geschäftsbericht des ENSI-Rates).

ENSI-AN-10020  
ISSN 1661-2914

© ENSI, Juni 2017

ENSI-AN-10020  
ISSN 1661-2914

ENSI, CH-5200 Brugg, Industriestrasse 19, Telefon +41 (0)56 460 84 00, [www.ensi.ch](http://www.ensi.ch)