



LOSEBLATTSAMMLUNG FS-78-15-AKU
EMPFEHLUNGEN ZUR ÜBERWACHUNG
DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Blatt: 2.5
Seite: 1 von 24
Stand: März 2009

Zur Dosisrelevanz einzelner Expositionspfade
- Eine Bewertung der Umgebungsüberwachungsprogramme für kerntechnische Anlagen -

Bearbeiter: A. Beutmann, Verein für Kernverfahrenstechnik und Analytik Rossendorf e.V.
B. Bucher, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Villigen
E. Kümmerle, Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich
W. Kukla, Kernkraftwerk Obrigheim
E. Pomplun, Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich
W. Seider, ehemals EnBW Kraftwerke AG, Kernkraftwerk Philippsburg
H. Völkle, Physikdepartement der Universität Fribourg
A. Wicke, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Gewichtung der Expositionspfade.....	2
3	Bewertung der Resultate.....	6
4	Kriterien zur Wahl und Bewertung der Überwachungsverfahren	7
5	Vergleich der Überwachungsprogramme Schweiz - Deutschland	9
6	Zusammenfassung	10
7	Literatur	11
8	Anhang	13
	Tabelle 1a: Abluftpfad; Effektive Dosis, berechnet für die Altersgruppe bis 1 Jahr für eine Normableitung von $3,7 \times 10^{10}$ Bq/Jahr je Nuklid	13
	Tabelle 1b: Abluftpfad; Effektive Dosis, berechnet für die Altersgruppe 1-2 Jahre für eine Normableitung von $3,7 \times 10^{10}$ Bq/Jahr je Nuklid	14
	Tabelle 1c: Abluftpfad; Effektive Dosis, berechnet für die Altersgruppe > 17 Jahre für eine Normableitung von $3,7 \times 10^{10}$ Bq/Jahr je Nuklid	15
	Tabelle 1d: Abwasserpfad; Effektive Dosis, berechnet für die Altersgruppe > 17 Jahre für eine Normableitung von $3,7 \times 10^{10}$ Bq/Jahr je Nuklid (Nahbereich)	16
	Tabelle 1e: Abwasserpfad; Effektive Dosis, berechnet für die Altersgruppe > 17 Jahre für eine Normableitung von $3,7 \times 10^{10}$ Bq/Jahr je Nuklid (Fernbereich).....	17
	Tabelle 2a: Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Abluft 2005 und berechnete effektive Dosen; Beispiel: KKW-1 (SWR) in Deutschland, Kaminhöhe: 100 m.....	18
	Tabelle 2b: Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Abluft 2005 und berechnete effektive Dosen; Beispiel: KKW-2 (DWR) in Deutschland, Kaminhöhe: 150 m	19
	Tabelle 2c: Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser 2005 und berechnete effektive Dosen; Beispiel: KKW-1 (SWR) in Deutschland, mittlerer Abfluss: $1985,6 \text{ m}^3/\text{s}$	20
	Tabelle 2d: Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser 2005 und berechnete effektive Dosen; Beispiel KKW-2 (DWR) in Deutschland, mittlerer Abfluss: $1985,6 \text{ m}^3/\text{s}$	21
	Tabelle 2e: Abluftpfad; Vergleich der genehmigten und der gemessenen jährlichen Ableitungen (Durchschnittswerte für 15 deutsche KKW)	22
	Tabelle 3: Berechnete Bevölkerungsdosen für Erwachsene für die verschiedenen Expositionspfade am Beispiel des Kernkraftwerkes Gösgen (für die Emissionsgrenzwerte und die tatsächlichen Abgaben 2007).....	23
	Tabelle 4: Das Routine - Überwachungsprogramm für Kernkraftwerke in der Schweiz.....	24



1 Einleitung

Vom Betreiber einer Kernanlage verlangt die Behörde eine lückenlose Bilanzierung sämtlicher Radioaktivitätsemissionen an die Umwelt und überprüft diese durch eigene Messungen. Die Immissionen in der Umwelt und die daraus resultierende Strahlenexposition der Bevölkerung sind i. Allg. im bestimmungsgemäßen Betrieb nicht direkt messbar und werden aus den bilanzierten Emissionen mittels Ausbreitungs- und Dosismodellen berechnet, denen konservative Annahmen bezüglich Aufenthalt, Ernährungs- und Lebensgewohnheiten zugrunde liegen. Die tatsächlichen Strahlendosen auf der Basis reeller Annahmen sind um mindestens ein bis zwei Größenordnungen kleiner. Die Immissionsüberwachung dient in Ergänzung der Emissionsüberwachung dem Nachweis, dass die Kernanlagen ihre Emissionsgrenzwerte (jährliche Obergrenzen für die Ableitung radioaktiver Stoffe) einhalten und die Umweltauswirkungen den gesetzlichen Grenzwerten genügen sowie den Grundsätzen, auf denen die Emissionsgrenzwerte basieren. Voraussetzung für eine optimale Umgebungsüberwachung ist die Wahl geeigneter Probenentnahme- und Messverfahren, insbesondere was Messempfindlichkeit, Anzahl, Ort, Zeitpunkt und Art der Kontrollen betrifft. Maßgeblich ist dabei die radiologische Relevanz der einzelnen Emissions- und Expositionspfade, und zwar sowohl beim bestimmungsgemäßen Betrieb als auch bei erhöhten, störfallbedingten Freisetzungen.

Da kein Überwachungssystem konstant fehlerfrei arbeitet, ist vor allem bei der Erfassung der Hauptexpositionspfade für genügend Redundanz zu sorgen. Bei der Begrenzung der radiologischen Auswirkungen auf Umwelt und Bevölkerung von Anlagen, die Radionuklide erzeugen oder verarbeiten, geht man in der Schweiz wie auch in Deutschland vom ICRP-Schutzziel von 1 mSv/Jahr aus [1]. Da dessen Einhaltung jedoch nicht im Einzelnen und dauernd überprüft werden kann, werden zusätzlich die radioaktiven Immissionen in der Umwelt (Luft, Wasser, Lebensmittel, Ortsdosen) durch die Strahlenschutzverordnungen beider Länder so begrenzt, dass die Strahlenexposition für Einzelpersonen in der Bevölkerung aus künstlichen Strahlenquellen in keinem Fall 1 mSv/Jahr übersteigen kann. Die zuständigen Behörden werden verpflichtet, eine entsprechende Überwachung durchzuführen und bei Überschreitungen den Verursacher zu eruiieren.

Für kontrollierbare Quellen, d. h. bei Anlagen, die im bestimmungsgemäßen Betrieb radioaktive Stoffe unter kontrollierten Bedingungen an die Umwelt abgeben, werden die Emissionsgrenzwerte so festgelegt, dass die dadurch verursachten Immissionen in jedem Fall die Einhaltung des o. g. Grenzwertes von 1 mSv pro Jahr gewährleisten. Dabei legt in der Schweiz die Genehmigungsbehörde für jede Anlage gemäß Strahlenschutzverordnung (StSV) [2] einen sogenannten quellenbezogenen Dosisrichtwert fest, d. h. sie teilt jedem Betrieb lediglich einen Bruchteil des Schutzzieles für die Bevölkerung von 1 mSv/Jahr zu, bei Kernkraftwerken z. B. 20 %, entsprechend 0,2 mSv/Jahr (30 %, entsprechend 0,3 mSv/Jahr, auch in der Schweiz, unter Berücksichtigung des Dosisbeitrages durch Direktstrahlung); auf dieser Basis werden die Emissionsgrenzwerte unter Anwendung konservativer Annahmen festgelegt. Damit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass an diesem Standort mehrere Betriebe durch Radioaktivitätsemissionen zur Umweltbelastung beitragen können. In Deutschland gilt analog ein Wert von 0,3 mSv pro Jahr [3]. Dabei werden einer Anlage maximale Abgaben genehmigt, die so festgelegt werden, dass unter Einschluss der Vorbelastung die Dosisgrenzwerte nicht überschritten werden.

2 Gewichtung der Expositionspfade

Bei der Wahl der geeigneten Überwachungsmaßnahmen ist von den möglichen Emissionspfaden (Luftpfad und Wasserpfad) auszugehen und deren Relevanz bezüglich der verschiedenen, in Frage kommenden radiologischen Expositionspfade zu berücksichtigen. Dabei sind drei Fälle zu unterscheiden:

- 1) bestimmungsgemäßer Betrieb;
- 2) kleine Störfälle mit Emissionen im Bereich der Emissionsgrenzwerte;
- 3) Unfälle mit deutlicher Überschreitung der Emissionsgrenzwerte.

Wie sich Radioaktivitätsfreisetzungen aus Kernanlagen in der Umwelt ausbreiten, verdünnen oder anreichern und wie sie schließlich zu einer Strahlenexposition des Menschen führen können, ist aus Abb. 1 ersichtlich (Quelle: [4], deutsche Übersetzung).

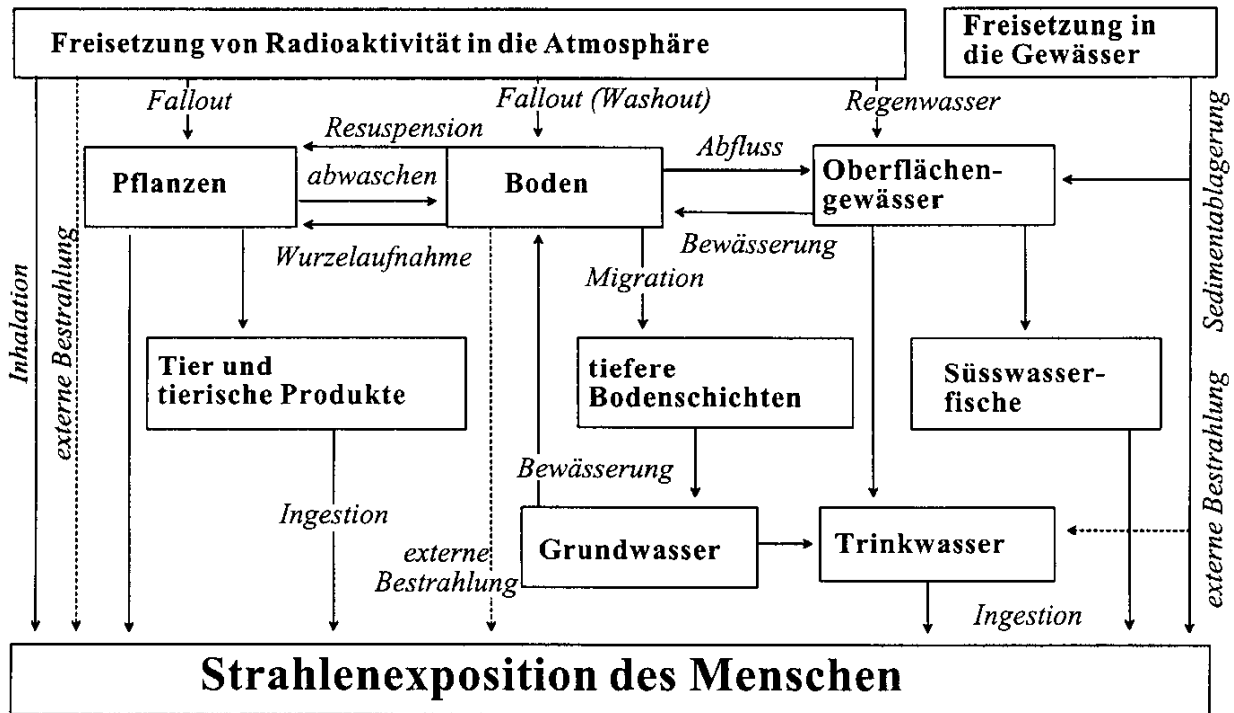


Abb. 1: Hauptexpositionspfade bei Radioaktivitätsfreisetzungen in die Umwelt; aus [4]

Bei einer störfallbedingten Freisetzung von Radioaktivität spielt zusätzlich auch der zeitliche Verlauf eine wichtige Rolle, da gewisse Expositionspfade bereits unmittelbar nach Freisetzung relevant sind, andere dagegen erst später. Dieser Aspekt ist sowohl beim Aufstellen des Störfallmessprogramms als auch beim Vorbereiten und Anordnen von Schutzmaßnahmen für die Bevölkerung von Bedeutung. Abb. 2 zeigt, wann nach einem Störfall welche Expositionspfade relevant sein können. Die Wahl der Überwachungsmaßnahmen setzt somit nicht nur Kenntnisse der Probenentnahme- und Messtechnik voraus, sondern auch der Radioökologie, d. h. des Verhaltens von Radionukliden in der Umwelt.

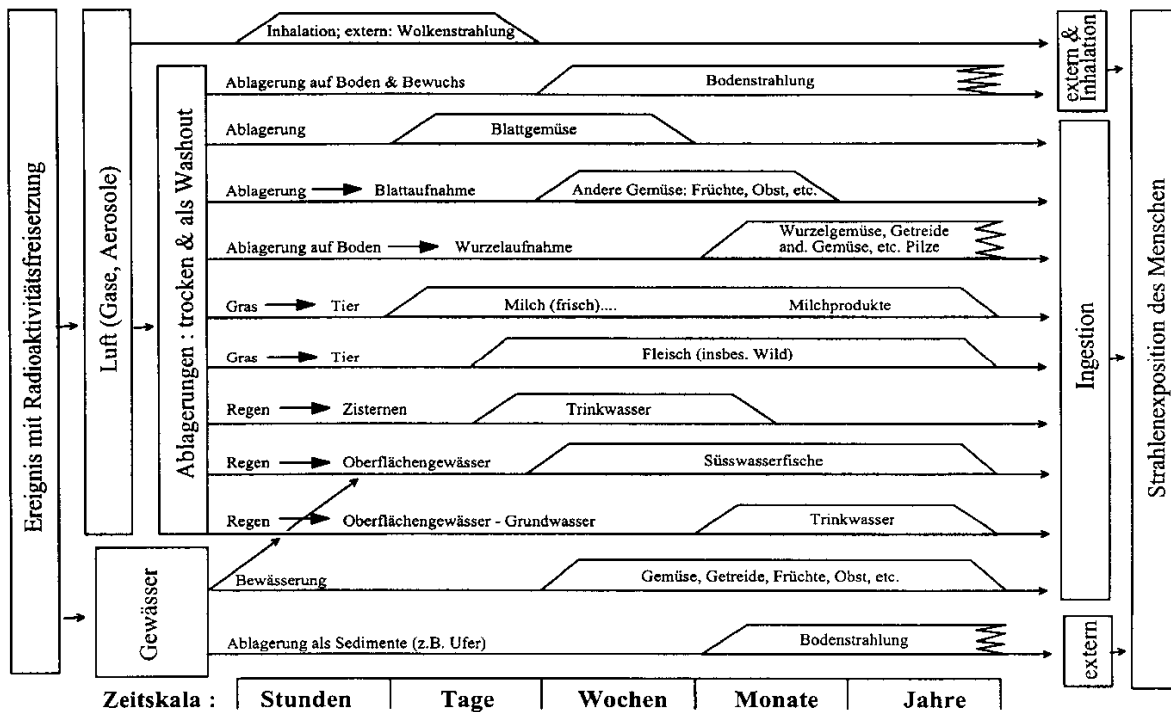


Abb. 2: Zeitlicher Verlauf der Relevanz der einzelnen Expositionsstufen nach einer störfallbedingten Radioaktivitätsfreisetzung

Zur Verdeutlichung der Expositionsrelevanz einzelner Radionuklide und Expositionsstufen werden im Folgenden die Ergebnisse verschiedener Modellrechnungen für den Abluft- und Abwasserpfad vorgestellt:

Die Berechnungen basieren auf dem Entwurf der deutschen Allgemeinen Verwaltungsvorschrift (AVV) [5] sowie den im Bundesanzeiger veröffentlichten Dosiskoeffizienten [6]. Nach der Ableitung mit der Fortluft aus dem Kamin oder mit dem Abwasser in den Vorfluter verhalten sich die Radionuklide in der Umwelt unterschiedlich. Damit ergeben sich für ihre Wirkung auf den Menschen über die verschiedenen Expositionsstufen (Beta- und Gamma-Submersion, Bodenstrahlung, Inhalation und Ingestion) unterschiedliche Werte. Die effektive Dosis an der ungünstigsten Einwirkungsstelle und die relativen Beiträge ausgewählter Radionuklide über die einzelnen Expositionsstufen werden nach Berechnungen unter Anwendung der AVV [5] für verschiedene Bevölkerungsgruppen angegeben.

Die Beiträge zur effektiven Dosis, die sich für eine normierte Emission von je $3,7 \times 10^{10}$ Bq/Jahr pro Radionuklid, für normierte Emissionsbedingungen und konservative Annahmen bezüglich Ausbreitungsbedingungen sowie Lebens- und Ernährungsgewohnheiten für Personen in der Umgebung einer Kernanlage ergeben, sind in den Tabellen 1a bis 1c (Abluftpfad) sowie in den Tabellen 1d und 1e (Abwasserpfad) für die häufigsten Radionuklide zusammengestellt.

Für diese Berechnungen wurden folgende Bedingungen vorausgesetzt:

- Jahresemission für jedes Radionuklid $3,7 \times 10^{10}$ Bq
- konstante Emissionsraten
- Emissionshöhe 100 m
- meteorologische Langzeitausbreitungsstatistik, Standort Forschungszentrum Jülich (Luftpfad)
- Abflussrate: $5000 \text{ m}^3/\text{s}$ (Wasserpfad)



LOSEBLATTSAMMLUNG FS-78-15-AKU
EMPFEHLUNGEN ZUR ÜBERWACHUNG
DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Blatt: 2.5
Seite: 5 von 24
Stand: März 2009

Werden die Expositionsrechnungen in den Tabellen 1a bis 1c für andere Emissionshöhen durchgeführt, ändern sich vor allem die Absolutwerte der effektiven Dosis, während die relativen Beiträge der einzelnen Radionuklide und auch der Expositionspfade zur effektiven Strahlenexposition ungefähr konstant bleiben. Bei anderen Ausbreitungsstatistiken (z. B. mehr Niederschlag) verändern sich die relativen Beiträge sowohl der Radionuklide als auch der einzelnen Expositionspfade zur Dosis.

In den Tabellen 2a bis 2d sind beispielhaft für deutsche Kernkraftwerke jährliche Genehmigungswerte, die Anteile am Radionuklidgemisch (gemäß Anhang 11, AVV [5]), die im Jahr 2005 bilanzierte Ableitungen sowie die daraus berechneten absoluten und relativen Beiträge einzelner Radionuklide zur effektiven Dosis zusammengestellt (ohne die Genehmigungswerte für I-131 und C-14). Die den Expositionsrechnungen für den Abluftpfad in den Tabellen 2a und 2b zugrunde liegenden Parameter, Randbedingungen sowie eine Zusammenfassung der Ergebnisse zeigt die folgende Übersicht:

Parameter und Randbedingungen für Expositionsrechnungen	Tabelle 2a		Tabelle 2b	
Reaktortyp	SWR		DWR	
Emissionshöhe <u>ohne</u> Berücksichtigung einer thermischen Überhöhung	100 m		150 m	
Gebäudeeinfluss	wird <u>nicht</u> berücksichtigt			
meteorologische Ausbreitungsstatistik	vom Standort Forschungszentrum Karlsruhe für das Jahr 2005 (Sommer/Ganzjahr)			
Dosiskoeffizienten	jeweils ungünstigste			
Zeit für Bodenablagerung	50 Jahre			
Zaunabstand	mit 100 m angenommen			
Ergebnisse				
ungünstigste Einwirkungsstellen für die Expositionspfade	Aufenthalt	Ingestion	Aufenthalt	Ingestion
Abstand zum Emittenten in m	100	610	100	460
Aufpunkt im Sektor	2 (45-75°)	2 (45-75°)	2 (45-75°)	6 (105-135°)
Ausbreitungsfaktor Gamma-Submersion in s/m ²	1,60E-04	5,24E-05	8,33E-05	1,30E-05
Washoutfaktor in 1/m ²				
Gesamtjahr	5,59E-09	3,75E-10	2,02E-09	1,74E-10
Sommerhalbjahr	6,44E-09	1,06E-09	5,76E-09	4,26E-10
Ausbreitungsfaktor in s/m ³				
Gesamtjahr	3,24E-11	1,86E-07	1,36E-15	6,11E-08
Sommerhalbjahr	6,20E-11	3,64E-07	2,59E-15	1,21E-07
Maximum der effektiven Dosis in Sv für Erwachsene	3,21E-06		6,16E-07	

Tabelle 2e zeigt beispielhaft für den Luftpfad den Vergleich zwischen den genehmigten und den gemessenen nuklidspezifischen Emissionen als Durchschnittswerte für 15 deutsche Kraftwerke.

Bei den Angaben für die Strahlenexposition der Bevölkerung in der Nahumgebung in den Tabellen 2a bis 2e handelt es sich um relativ ungenaue Schätzwerte ($\pm 50\%$), bedingt durch das Ausbreitungs- und Expositionsmodell, das in [5] zugrunde liegt. Die geringen Radioaktivitätsemissionen bei bestimmungsgemäßem Betrieb liegen im Bereich von wenigen Prozent des den Abgabelimiten (jährlich genehmigten Emissionsgrenzwerten) zugrunde gelegten Dosiskonzeptes von 0,2 mSv/Jahr (resp. 0,3 mSv/Jahr) für die Schweiz.



Am Beispiel des schweizerischen Kernkraftwerkes Gösgen-Däniken sind in der Tabelle 3 die berechneten Strahlendosen (in Sv/Jahr sowie in Prozent, bezogen auf die Summe) für Personen in der Umgebung und für die verschiedenen Expositionspfade, berechnet durch die Bewilligungsbehörde, das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), zusammengestellt. Dabei werden zwei Fälle betrachtet: Ausschöpfen der Emissionsgrenzwerte und tatsächliche Emissionen von 2007. Die Berechnungen basieren auf der Richtlinie G-14 „Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen“ [7] (siehe auch www.ensi.ch).

3 Bewertung der Resultate

Die in den Tabellen zusammengestellten Daten bezüglich der Strahlenexposition der Bevölkerung in der Nahumgebung durch Ableitungen radioaktiver Stoffe aus deutschen und schweizerischen Kernanlagen ergeben die nachfolgenden Schlussfolgerungen. Sie zeigen insbesondere, welches die wesentlichen Beiträge zu den verschiedenen Expositionspfaden sind und ermöglichen so eine Optimierung der Umgebungsüberwachungsprogramme.

- 3.1. Beim Abluftpfad stammt der überwiegende Teil der Strahlenexposition im Normalbetrieb vom C-14: Bei der Schweizer Anlage Gösgen (DWR) knapp 90 % und bei den Beispielen für deutsche Kernkraftwerke 98 % (SWR) und 91 % (DWR). In der Umgebung Schweizer Anlagen (Kernkraftwerke, Paul Scherrer Institut sowie einigen Kehrlichtverbrennungsanlagen) werden seit Jahren C-14-Messungen an Baumblättern durch die Abt. Klima- und Umwelphysik der Universität Bern durchgeführt (Prof. Th. Stocker). Sie ergeben in der Nahumgebung dieser Anlagen Erhöhungen gegenüber dem weltweiten C-14-Pegel von bis zu 20 % (dies entspricht einer zusätzlichen jährlichen Strahlenexposition von wenigen μSv). Dem ist beizufügen, dass der C-14-Pegel in der Nordhemisphäre in den 50er- und 60er-Jahren bis etwa doppelt so hoch war wie der weltweite, natürliche (kosmogene) C-14-Pegel. Da die Dosis durch C-14 den relativ grössten Beitrag ausmacht, regen die Autoren an, dass versuchsweise auch in der Umgebung deutscher Kernanlagen C-14-Messungen an Baumblättern durchgeführt werden.
- 3.2. Beim Abwasserpfad macht Tritium den grössten Anteil der Strahlenexposition im Normalbetrieb aus: Bei der schweizerischen Anlage Gösgen (DWR) etwa 95 % und bei den Beispielen für deutsche Anlagen 63 % (SWR) und 97 % (DWR).
- 3.3. Setzt man die (konservativ) berechnete Strahlenexposition der Bevölkerung in der Nahumgebung zum Dosiskonzept der Behörde in Bezug (0,3 mSv/Jahr in Deutschland und 0,2 mSv/Jahr in der Schweiz ohne Einbezug der Direktstrahlung), so beträgt die berechnete Dosis 0,002 % (DWR) und 0,001 % (SWR) des Schutzziels. Das Ausschöpfen der Abgabegrenzwerte beim KKW Gösgen (DWR) würde zu hypothetischen Dosen von 0,13 % des Schutzziel-Wertes führen. Dies zeigt, dass die Behörden bei der Festlegung der Emissionsgrenzwerte eine zusätzliche Sicherheitsmarge eingebaut haben.
- 3.4. Die hier beschriebenen Berechnungen der Strahlenexposition gehen von konservativen Annahmen bezüglich Lebens- und Ernährungsgewohnheiten aus, insbesondere häufiger oder dauernder Aufenthalt am kritischen Ort, Trinkwasser- und Fischkonsum aus dem Vorfluter sowie Verzehr von Lebensmitteln, die hauptsächlich in der Nahumgebung des Werkes erzeugt werden. Die tatsächlichen Dosen unter realistischen Annahmen dürften (auch in der Nahumgebung) um mindestens eine Größenordnung tiefer liegen. Diese Rechnungen stellen somit einen hypothetischen „worst case“ dar und keinesfalls die tatsächliche Strahlenexposition von Personen, die in der Nähe eines Kernkraftwerkes wohnen. Eine realistische Dosisberechnung bedingt eine genauere Erhebung über die Lebens- und Ernährungsgewohnheiten der Bevölkerung und die Herkunft der verzehrten Lebensmittel.
- 3.5. Die sehr niedrigen Emissionen moderner Kernkraftwerke sind auf eine fortlaufende technische und betriebliche Optimierung zurückzuführen. Solche Maßnahmen sind u. a. ein Brennstoff und Brenn-



elementhüllen schonender Betrieb, die Reduktion der Emissionen von Iod, Aerosolen und Edelgasen über den Abluftpfad durch Abklingstrecken, Verzögerungstrecken, Filter- und Aktivkohleanlagen sowie die Reduktion der Ableitungen von Spalt- und Aktivierungsprodukten über den Abwasserpfad mittels Ionenaustauscher oder durch Verdampfen der Abwässer. Einzig beim C-14 in der Abluft sowie beim H-3 im Abwasser wurden solche Massnahmen bisher nicht als sinnvoll erachtet und daher auch nicht eingeführt. Da insbesondere die C-14-Produktion im Kernreaktor aus physikalischen Gründen direkt mit der Leistung gekoppelt ist, werden für dieses Radionuklid von den Genehmigungsbehörden auch keine Emissionsgrenzwerte festgelegt. Bei allen übrigen Emissionen radioaktiver Stoffe führten die genannten Massnahmen bei bestimmungsgemäßem Betrieb zu deutlichen Reduktionen, was auch bei der Strahlenexposition der Bevölkerung zu einer Abnahme führte.

4 Kriterien zur Wahl und Bewertung der Überwachungsverfahren

Die Eignung und Empfindlichkeit der Überwachungsmaßnahmen bezüglich der zu überwachenden Emissionspfade ist zu bewerten. Hierzu können die radiologische Relevanz der einzelnen Expositionspfade (siehe Tab. 3 und 4) sowie die im Folgenden aufgelisteten Kriterien herangezogen werden. Da die verwendeten Messverfahren z. T. mehrere Expositionspfade gleichzeitig erfassen, ergeben sich Überlappungen, aber auch eine erwünschte, zusätzliche Redundanz für das gesamte Überwachungssystem.

Tabelle 4 enthält eine Übersicht der in der Schweiz bei der KKW-Überwachung routinemäßig eingesetzten Messverfahren sowie weiterer technischer Einzelheiten betreffend Probenentnahme (Anzahl Stellen, Häufigkeit) und Messung (Art der Messung, erreichbare Nachweisgrenze). Um eine möglichst lückenlose Überwachung - sowohl zeitlich als auch räumlich - zu gewährleisten, ist eine Optimierung der Überwachungsprogramme zwischen dem wünschbaren und dem möglichen, unter Berücksichtigung der Emissionen und der lokalen Gegebenheiten, angezeigt. Die Vorgaben für die Immissionsüberwachung deutscher KKW sind in der REI [8] festgelegt.

a) Die für die einzelnen Messmethoden zu fördernde Messempfindlichkeit (Nachweisgrenze) haben sich an den Abgabelimiten und/oder den Immissionsgrenzwerten zu orientieren; dabei ist gemäß DIN-Norm 25 482 [9] zwischen Erkennungs- und Nachweisgrenze zu unterscheiden. Die Erkennungsgrenze bezieht sich auf die Einzelmessung und gibt an, ab welcher Schwelle, bei vorgegebenem Messverfahren und statistischer Signifikanz, eine real vorhandene Aktivität als solche erkannt wird. Die Irrtumswahrscheinlichkeit, dass eine von Null verschiedene Aktivität festgestellt wird, wenn in Wirklichkeit keine vorhanden ist, soll $\leq \alpha$ sein (Fehler 1. Art). Die Nachweisgrenze dient der Prüfung von typisierten Messverfahren, um festzustellen, ob sie für die Routinekontrolle geeignet sind. Die Wahrscheinlichkeit, dass eine real vorhandene, von Null verschiedene Aktivität nicht als solche erkannt wird, soll $\leq \beta$ sein (Fehler 2. Art).

Die DIN-Norm 25 482 schlägt vor, $\alpha = \beta = 0,025$ zu wählen. Damit ergeben sich die Quantile der standardisierten Normalverteilung $k_{1-\alpha} = k_{1-\beta} = 1,96$ und der Vertrauensbereich $(1-\gamma) = 95\%$ (« 2σ -Statistik»). Im einfachsten Fall unterscheiden sich Erkennungsgrenze und Nachweisgrenze um rund einen Faktor 2, wobei die Erkennungsgrenze tiefer liegt.

Die Herleitung von Nachweisgrenzen sei am Beispiel der Überwachung von Gewässern, ausgehend von den Immissionsgrenzwerten, dargelegt. Solche Immissionsgrenzwerte sind in der schweizerischen Strahlenschutzverordnung (StSV) [2] in Art. 102 für Wasser und Luft für den öffentlich zugänglichen Bereich definiert. Diese führen bei Dauerexposition zu je 0,2 mSv/Jahr über Atemluft (bei 20 m³/Tag) und Trinkwasser (bei 2,2 Liter/Tag). Einzelne Betriebe dürfen durch Radioaktivitätsemissionen an die Umwelt diese Richtwerte allerdings nur zu einem Bruchteil ausschöpfen, entsprechend der Vorgabe des quellenbezogenen Dosisrichtwertes gemäß Art. 7 der StSV für jeden einzelnen Betrieb. Die Emissionen von Kernkraftwerken dürfen beispielsweise zu höchstens 0,3 mSv/Jahr bei Einzelpersonen der Umgebungsbevölkerung führen. Dieser Wert gilt für alle Expositionspfade, inklusive Direktstrahlung und bezieht sich auf eine fiktive, konservativ festgelegte Personengruppe, die in [7] definiert ist. Berücksichtigt man weiter, dass die radiologische Belastung auf mehreren Pfaden erfolgen kann, beispielsweise drei, und dass mehrere Radionuklide zur



Dosis beitragen können, beispielsweise sechs, ergeben sich Immissionswerte für ein Radionuklid auf einem Pfad, die 0,01 mSv/Jahr (d. h. 1/20 von 0,2 mSv/Jahr) entsprechen. Dies führt zu folgenden geforderten Nachweisgrenzen beispielsweise für Wasser. Zum Vergleich sind nachfolgend die entsprechenden schweizerischen Toleranzwerte für flüssige Lebensmittel aufgeführt:

Radionuklid	geforderte NWG Bq/L	Toleranzwert (FIV) ¹⁾ Bq/L
H-3	300	1000
Co-60	1	10
Sr-90	0,3	1
I-131	0,4	10
Cs-137	0,7	10
Am-241	0,02	0,1

¹⁾ FIV= Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe. Immissionen radioaktiver Stoffe dürfen gemäß der schweizerischen StSV im öffentlich zugänglichen Bereich in der Luft im Jahresmittel zu höchstens $\frac{1}{300}$ von CA und in öffentlich zugänglichen Gewässern zu $\frac{1}{50}$ von LE führen. CA (vgl. Anhang 3, Spalte 11 der StSV) ist der Richtwert für die Luft am Arbeitsplatz (entsprechend 20 mSv/Jahr) und LE (vgl. Anhang 3, Spalte 9 der StSV) ist die Freigrenze, wobei die Ingestion von einem kg des betreffenden Stoffes zu 0,01 mSv führen würde.

b) Zu prüfen ist die Frage, wie spezifisch das gewählte Verfahren auf bestimmte Radionuklide oder Emissionspfade anspricht, ob andere Beiträge unspezifisch miterfasst werden und wieweit eine Unterscheidung möglich ist. Beispielsweise ist bei der Messung der Ortsdosis und der Ortsdosisleistung eine Unterscheidung zwischen Wolkenstrahlung durch Edelgase in der Abluftfahne, durch Bodenstrahlung infolge abgelagerter radioaktiver Aerosole oder durch natürliche Radioaktivität a priori nicht möglich.

c) Ein weiteres Kriterium ist die Diskriminierung des (natürlichen) Untergrundes oder einer Vorbelastung durch andere Quellen, z. B. den Tschernobyl-Unfall oder den Kernwaffen-Fallout. Beispielsweise kann bei der Messung von Cs-137 im Erdboden a priori nicht zwischen Fallout, Tschernobyl-Beitrag und Abgaben einer Kernanlage unterschieden werden. Soll also eine langjährige Akkumulation infolge Cs-137-Abgaben über die Abluft eines Betriebes erfasst werden, ist ein zusätzlicher Aufwand, z. B. Nullpegelmessungen, Erdbodenprofile, Vergleichsproben mit anderen unbeeinflussten Stellen etc. erforderlich. Auch bei der Messung der Ortsdosen oder der Ortsdosisleistung ist eine Diskriminierung gegenüber natürlichen Dosisbeiträgen und insbesondere gegenüber den witterungsbedingten Variationen der Ortsdosen a priori nicht möglich. Mit der Methode der ortsspezifischen Parameter, die zuerst von J. CZARNECKI angewandt worden war, kann jedoch bei der Auswertung der Umgebungsdosimeter eine bessere Nachweisempfindlichkeit bezüglich der Emissionen über die Abluft erreicht werden [10].

d) Wichtig sind auch die räumliche und die zeitliche Auflösung der Messergebnisse sowie die Repräsentativität der Proben. Radioaktivitätsabgaben können kontinuierlich über längere Zeiträume erfolgen, sie können aber auch (z. B. bei kleinen Betriebsstörungen) sehr kurzzeitig sein. Dementsprechend sind die daraus resultierenden Immissionen mehr oder weniger über die gesamte Umgebung des Werkes oder nur lokal begrenzt in einem bestimmten Ausbreitungssektor verteilt. Viele Überwachungsverfahren messen entweder mit hoher Empfindlichkeit, aber gemittelt (d. h. gesammelt) über einen längeren Zeitraum oder dann mit geringerer Empfindlichkeit aber mit besserer räumlicher und zeitlicher Auflösung, z. B. eine wöchentliche Wasser-Sammelprobe aus einem Fluss im Gegensatz zu einer momentanen Stichprobe. Bei der Beurteilung der Probe bezüglich ihrer Repräsentativität ist daher im Bezug auf das Überwachungsziel im konkreten Fall zu unterscheiden, ob eine (örtliche und/oder zeitliche) Stichprobe erforderlich ist, oder ob Sammel- und/oder Mischproben denselben Zweck erfüllen. Am Beispiel der Milch ist demnach zu wählen zwischen einer Probe



von einer Einzelkuh, von einem einzelnen Hof, aus einer lokalen Milchsammelstelle, von einem regionalen Milchverband oder als abgepackte Milch (z. B. pasteurisiert) aus dem Handel.

e) Ein anderes Bewertungskriterium ist die Schnelligkeit einer Überwachungsmethode. Gewisse Parameter können vor Ort fernüberwacht werden, wie etwa die Ortsdosisleistung oder die Aerosolaktivität. Bei anderen Messverfahren werden die Proben vor Ort gesammelt, wie z. B. Sedimente aus Flüssen, und anschließend im Labor analysiert, oder die Messgröße wird über einen längeren Zeitraum integriert, wie etwa bei der quartalsweisen Aufsummierung der Ortsdosen der Umgebungsdosimeter, und die Auswertung der Daten erfolgt später im Labor. Bei Störfällen stehen in der Regel einfachere Verfahren im Vordergrund, die zwar weniger empfindlich und weniger genau sind, dafür aber den Katastrophenschutzdiensten rasch die nötigen Daten für das Treffen von Schutzmaßnahmen oder zur Überprüfung ihrer Wirksamkeit liefern.

f) Ein weiterer Aspekt ist der erforderliche präparative, apparative, zeitliche und finanzielle Aufwand, sowohl bei der Probenentnahme als auch bei der Messung und Auswertung der Daten, sowie die Frage, ob Probenentnahmen und Messungen (z. B. in einem Störfall) speziell ausgebildetes und qualifiziertes Personal erfordern (z. B. In-situ-Gamma-Spektrometrie), oder ob diese u. U. durch ad-hoc aufgebotene Hilfskräfte durchgeführt werden können.

g) Schließlich ist zu prüfen, in welchen Fällen ortsfeste Probenentnahme- und /oder Messgeräte vorgewählten Probenentnahme- und / oder Messorten vorzuziehen sind und wann mobile (tragbare) Mess- und Sammelgeräte an entsprechend der momentanen Situation ausgewählten Stellen einzusetzen sind. Kontinuierliche Sammlungen und Messungen können in der Regel jedoch nur mit fest installierten Geräten durchgeführt werden. Auch für die Verfolgung des zeitlichen Verlaufes einer Messgröße sind ortsfeste Messpunkte sinnvoller. Bei Stör- und Unfällen muss jedoch bei der Wahl der Probenentnahme- und Messorte auch die momentane meteorologische Situation (z. B. Ausbreitungsrichtung) berücksichtigt werden, so dass ad-hoc gewählte Probenentnahmestellen dann u. U. sinnvoller sind.

h) Die Computer- und Fernmeldetechnik ermöglicht eine automatische Fernüberwachung etwa der Ortsdosisleistung, der Gesamtbeta- oder der künstlichen Radioaktivität der Aerosole, oder von Iod in der Luft. Solche Netze haben den Vorteil einer raschen Frühwarnung bei Stör- und Unfällen. Sie können jedoch die genaueren, empfindlicheren und zuverlässigeren Feld- und Labormessung nur ergänzen, nicht aber ersetzen; dies gilt auch für Störfälle und die Erfolgskontrolle bei angeordneten Schutzmaßnahmen. Aufbau und Betrieb solcher automatischer Überwachungsnetze sind mit nicht geringen Kosten bei Beschaffung, Unterhalt und Betrieb verbunden. Aus Gründen der Sicherheit und der Redundanz wird man einerseits genügend Messpunkte planen und andererseits eher einfachere Geräte, dafür aber solche mit hoher Betriebssicherheit einsetzen, um die Anzahl von Ausfällen oder von ungläubwürdigen, falsch-positiven Messresultaten klein zu halten. Andernfalls wird der Aufwand für die Betreuung der Stationen oder für zusätzliche Abklärungsmessungen bei zweifelhaften Resultaten die Laboratorien unverhältnismäßig belasten.

5 Vergleich der Überwachungsprogramme Schweiz - Deutschland

Die Überwachungsprogramme für die Kernkraftwerke werden in der Schweiz vom Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Gesundheit (BAG) aufgestellt. Beide Institutionen koordinieren auch die Durchführung der Überwachungsprogramme. An den Messungen sind weitere Laboratorien des Bundes, der Hochschulen und die Kantonalen Laboratorien (letztere für die Lebensmittelüberwachung) beteiligt. Ein Teil der Messungen wird vom Betreiber der Kernkraftwerke durchgeführt; es besteht jedoch keine strikte Trennung zwischen Betreiber- und Behördenprogramm wie in Deutschland. Die Auswahl der Probenentnahmestellen und der Messverfahren geschieht in Angleichung an die entsprechenden Programme und Grundsätze in Deutschland. Ein regelmäßiger Erfahrungsaustausch findet im Rahmen der Deutsch - Schweizerischen Kommission für die Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen (DSK) und im Arbeitskreis Umweltüberwachung (AKU) des Fachverbandes für Strahlenschutz statt. Ein Vergleich der Überwachungsprogramme der beiden Länder zeigt keine grundsätzlichen Unterschiede. Die



Routineüberwachung der Ortsdosen in der Umgebung der Kernanlagen wurde in der Schweiz mit der Inbetriebnahme des MADUK-Netzes 1994 automatisiert. Für die Radioaktivität der Aerosole besteht ein landesweites Warn- und Überwachungsnetz, in das zu einem späteren Zeitpunkt auch die Umgebung der Kernanlagen integriert werden soll. Damit steht auch in der Schweiz eine dem deutschen KFÜ entsprechende automatische Überwachung zur Verfügung. Bei Stör- und Unfällen werden die Messprogramme in der Schweiz in enger Zusammenarbeit der Aufsichtsbehörde (ENSI) mit der Nationalen Alarmzentrale (NAZ) durchgeführt und koordiniert, wobei alle verfügbare Laborkapazität für die Messorganisation eingesetzt wird. Die hierfür vorgesehenen mobilen Probenentnahme- und Messequipen führen periodisch Übungen durch, wobei primär Ortsdosen gemessen und Aerosolfilter-, Gras- und Regen/Schneeproben etc. erhoben werden. Ferner steht für diesen Fall auch ein Aero-Gammaspektrometer mit einem 16-Liter-NaI-Detektor in einem Hubschrauber zur Verfügung.

6 Zusammenfassung

a) Die radiologische Umweltbelastung moderner Kernkraftwerke ist sehr gering und oft auch mit empfindlichsten Messverfahren kaum mehr nachweisbar. Die daraus resultierenden Strahlendosen bei der Umgebungsbevölkerung werden auf der Basis der Emissionsdaten berechnet und betragen, auch bei konservativen Annahmen bezüglich Lebens- und Ernährungsgewohnheiten, höchstens wenige $\mu\text{Sv}/\text{Jahr}$. Hiervon entfällt beim bestimmungsgemäßen Betrieb der überwiegende Anteil auf C-14, da die übrigen Radioaktivitätsemissionen durch verbesserte Rückhalte- und Aufbereitungstechniken für Abluft (Filter für Aerosole, Iod und Edelgase) und Abwässer (Filterieren, Ionenaustauscher, Verdampfen etc.) in den letzten Jahrzehnten laufend gesenkt wurden. Geht man von realistischeren Annahmen aus, ergeben sich Dosiswerte, die noch eine weitere Größenordnung tiefer liegen. Geringfügige, aber radiologisch unbedeutende Umweltweltauswirkungen wurden in der Nahumgebung von schweizerischen Kernkraftwerken beim C-14 festgestellt, dass hier routinemässig in Baumblättern überwacht wird. Die Werte liegen bis maximal 20 % über dem aktuellen weltweiten C-14-Pegel der Biosphäre. Im Jahr 2007 war dieser als Folge der Kernwaffenversuche der 60er-Jahre noch rund 5,5 % höher als die natürliche kosmogene Kohlenstoff-14-Konzentration von 226 Bq/kg Kohlenstoff. Diese würde bei Dauerexposition über die Nahrung zu einer Dosis von 14 μSv pro Jahr führen. Vergleichbare C-14-Werte wie bei den Kernkraftwerken wurden in der Schweiz auch in der Nähe von Kehrlichtverbrennungsanlagen und Sondermüllöfen nachgewiesen.

b) Die Überwachungsprogramme für den Routinebetrieb in Deutschland und in der Schweiz stimmen weitgehend überein, und es werden vergleichbare Probenentnahme- und Messverfahren angewendet. Die Umgebungsüberwachung ist eine Ergänzung der Emissionsüberwachung und erfasst sowohl die kurzzeitigen Expositionspfade, wie Luft, Aerosole und Gewässer, wie auch jene, in denen längerfristige Akkumulationen stattfinden können, etwa Boden, Pflanzen, Lebensmittel, Fische und Flusssedimente. Bei den Immissionen durch die C-14-Ableitungen kann die zu erwartende relative Erhöhung in Pflanzen im Vergleich zum weltweiten, natürlichen und fallout-bedingten C-14-Pegel direkt aus der Reaktorleistung berechnet werden. Eine routinemässige direkte Überwachung ist daher nicht zwingend. Sie erlaubt jedoch – wie die Messungen in der Schweiz zeigen – eine indirekte Verifizierung der aus den Ableitungen berechneten Immissionen.

c) Für die Umgebungsmessungen bei Stör- und Unfällen spielen die automatischen Netze der Fernüberwachung, insbesondere für die Ortsdosisleistung und Aerosol/Iod-Aktivität der Luft, eine wichtige Rolle. Sie werden ergänzt durch Probenentnahme- und Messfahrten zur Erfassung der Ortsdosen, durch Entnahme von Luft/Iod-, Gras-, Niederschlags- und weiterer Proben, durch In-situ-Gammaspektrometrie und Aero-Gammaspektrometrie. Maßgeblich für die Wahl solcher Ad-hoc-Programme sind jedoch Art des Störfalles und momentane Ausbreitungsbedingungen.

d) Wichtig ist schließlich die ganzheitliche Interpretation der gewonnenen Überwachungsdaten. Dies bedingt eine klare Formulierung von Ziel und Zweck der Messungen, nämlich die Erfassung der Umweltauswirkungen der zu überwachenden Anlage und die Bestimmung der daraus resultierenden Strahlenexposition der Bevölkerung. Für die Bearbeitung wissenschaftlicher Fragen sind solche Monitoringprogramme oft zu unge-



nau. Die Interpretation der Messungen hat sich wesentlich an deren Aussagekraft, d. h. der Repräsentativität und Signifikanz der Daten zu orientieren. Bei der statistischen Aufbereitung der Ergebnisse sind auch solche ohne Befund, d. h. mit Werten unter der Erkennungsgrenze zu berücksichtigen. Die Bewertung der Ergebnisse und der Strahlendosen hat im Vergleich zu anderen antropogenen Umweltauswirkungen und gesundheitlichen Risiken zu erfolgen.

e) Qualitätssichernde Maßnahmen haben auch bei der Umweltüberwachung in den letzten Jahren immer mehr Bedeutung erlangt [11].

Akkreditierung: Eine Akkreditierung erfolgt nach der Norm EN ISO/IEC 17025 [12] und ist die formelle Anerkennung der fachlichen Kompetenz einer Stelle, z. B. eines analytischen Laboratoriums, für die im Geltungsbereich der Akkreditierung (z. B.: Methoden zur Bestimmung von Cs-137 in Milch) genau definierte(n) Aufgabe(n) (z. B.: Umweltüberwachung). Die Akkreditierung dient dazu, die Eignung eines Labors zur Durchführung einer Prüfung (Messung) zu dokumentieren und ermöglicht dadurch eine verbesserte gegenseitige Akzeptanz der Untersuchungsbefunde, insbesondere privater Auftraggeber im nationalen und internationalen Bereich. Die Akkreditierung wird durch eine staatliche Stelle oder eine staatlich beauftragte Stelle erteilt (z. B. in der Schweiz durch das Bundesamt für Metrologie und Akkreditierung (METAS) beim Staatssekretariat für Wirtschaft (SECO). In Deutschland akkreditiert der bei der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) ansässige Deutsche Kalibrierdienst (DKD) oder einer der über den Deutschen Akkreditierungsrat (DAR) ausgewiesenen Akkreditierer.

Zertifizierung: Eine Zertifizierung erfolgt nach der Norm EN ISO 9001 [13] und ist die Prüfung eines Unternehmens oder Betriebs durch einen unabhängigen Dritten zum Erhalt eines Zertifikates, das die Übereinstimmung (Konformität) des Unternehmens oder einzelner Unternehmensbereiche mit bestimmten (international anerkannten) Anforderungen oder Normen ausdrückt. Oder kurz gesagt: Die Bescheinigung der organisatorischen Kompetenz.

7 Literatur

- [1] 1990 Recommendations of the ICRP; Publ. Nr. 60, Annals of the ICRP, Vol. 21, Nos. 1-2, 1991; Pergamon Press Oxford/UK.
- [2] Schweizerische Strahlenschutzverordnung (StSV) vom 22.6.1994, Stand 1. Januar 2008.
- [3] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I, S.1714), <http://www.bfs.de/>
- [4] Measurement of radionuclides in food and the environment. A Guidebook. IAEA, Vienna, Technical reports series no 295 (1989)
- [5] Allgemeine Verwaltungsvorschrift (AVV) zu § 47 StrlSchV: Ermittlung der Strahlenexposition durch die Ableitung radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen oder Einrichtungen, Entwurf vom 13.05.2005
- [6] Bekanntmachung der Dosiskoeffizienten zur Berechnung der Strahlenexposition vom 23. Juli 2001; Bundesanzeiger Nr. 160a vom 28.08.2001, Bundesanzeiger Verlag.
- [7] Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung aufgrund von Emissionen radioaktiver Stoffe aus Kernanlagen. Richtlinie G-14 für die schweizerischen Kernanlagen. Ausgabe Februar 2008, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, Villigen/CH sowie Jahresberichte der HSK und des Bundesamtes für Gesundheit zu Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz (<http://www.hsk.ch/deutsch/infos/start2.htm> sowie <http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00043/00065/02239/index.html?lang=de>)
- [8] Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen: Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, GMBI. Nr. 14-17 vom 23.3.2006, S.253 – S.336
- [9] DIN-Norm Nr. 25 482, Teil 5: Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen: Zählende hochauflösende gammaspektrometrische Messungen ohne Berücksichtigung des Pro-



- benbehandlungseinflusses; Juni 1993; Normenausschuss Kerntechnik (NKe) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin.
- [10] B. Bucher, F. Cartier, H. Völkle: Bestimmung der Nettodosisleistung mittels Thermolumineszenz – Umgebungsdosimetern und automatischen Dosisleistungsmessnetzen, Blatt 3.4.1, Stand: Dez. 2007, in „Empfehlungen zur Überwachung der Umweltradioaktivität“, Loseblattsammlung des Arbeitskreises Umweltüberwachung, Fachverband für Strahlenschutz e.V.(Hrsg.), FS-78-15-AKU, ISSN 1013-4506, März 2004, www.fs-ev.de
- [11] R. Otto, H. Völkle, H. Wershofen, Chr. Wilhelm: Qualitätsmanagement und Qualitätssicherung in Radio Aktivitätsmesslaboratorien, Blatt 5.2, Stand: Jan. 2004, in „Empfehlungen zur Überwachung der Umweltradioaktivität“, Loseblattsammlung des Arbeitskreises Umweltüberwachung, Fachverband für Strahlenschutz e.V.(Hrsg.), FS-78-15-AKU, ISSN 1013-4506, März 2004, www.fs-ev.de
- [12] EN ISO/IEC 17025: Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien, August 2005
- [13] EN ISO 9001:2008: Qualitätsmanagementsysteme - Anforderungen, Dezember 2008



LOSEBLATTSAMMLUNG FS-78-15-AKU
EMPFEHLUNGEN ZUR ÜBERWACHUNG
DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Blatt: 2.5
Seite: 13 von 24
Stand: März 2009

8 Anhang

Tabelle 1a: Abluftpfad; Effektive Dosis, berechnet für die Altersgruppe bis 1 Jahr für eine Normableitung von $3,7 \times 10^{10}$ Bq/Jahr je Nuklid

Nuklid	Eff. Dosis in Sv/a	Relative Beiträge in %				
		Beta-Subm.	Gamma-Subm.	Bodenstr.	Inhalation	Ingestion
H-3	9,88E-10	0,0	0,0	0,0	35,6	64,4
C-14	9,66E-08	0,0	0,0	0,0	0,01	100,0
Ar-41	8,97E-10	0,3	99,7	0,0	0,0	0,0
Co-58	4,98E-07	0,0	0,14	43,2	0,5	56,1
Co-60	1,85E-05	0,0	0,01	76,4	0,15	23,5
Kr-85m	2,07E-10	0,5	99,5	0,0	0,0	0,0
Kr-85	3,64E-12	29,9	70,1	0,0	0,0	0,0
Kr-87	5,39E-10	1,3	98,7	0,0	0,0	0,0
Kr-88	1,35E-09	0,17	99,8	0,0	0,0	0,0
Sr-90	9,34E-05	0,0	0,0	0,0	0,13	99,9
I-129	1,97E-04	0,0	0,0	1,4	0,03	98,6
I-131	1,05E-05	0,0	0,0	0,3	0,5	99,2
Xe-131m	3,85E-11	0,8	99,2	0,0	0,0	0,0
Xe-133m	4,82E-11	1,4	98,6	0,0	0,0	0,0
Xe-133	6,75E-11	0,3	99,7	0,0	0,0	0,0
Xe-135m	3,11E-10	0,15	99,8	0,0	0,0	0,0
Xe-135	1,72E-10	0,8	99,2	0,0	0,0	0,0
Xe-138	8,45E-10	0,4	99,6	0,0	0,0	0,0
Cs-134	8,80E-06	0,0	0,01	42,9	0,2	56,8
Cs-137	2,14E-05	0,0	0,0	66,0	0,15	33,9
Th-232	4,04E-04	0,0	0,0	19,9	16,7	63,4
U-234	3,30E-05	0,0	0,0	0,09	29,3	70,6
U-235	3,75E-05	0,0	0,0	17,8	23,5	58,7
U-238	3,10E-05	0,0	0,0	3,3	27,4	69,2
Pu-238	2,70E-04	0,0	0,0	0,01	21,7	78,3
Pu-239	2,84E-04	0,0	0,0	0,01	21,6	78,4
Pu-240	2,84E-04	0,0	0,0	0,01	21,6	78,4
Pu-241	3,76E-06	0,0	0,0	0,5	21,9	77,6
Am-241	2,50E-04	0,0	0,0	0,4	21,1	78,5
Cm-242	3,07E-05	0,0	0,0	0,0	25,8	74,2
Cm-244	1,95E-04	0,0	0,0	0,01	22,5	77,5



LOSEBLATTSAMMLUNG FS-78-15-AKU
EMPFEHLUNGEN ZUR ÜBERWACHUNG
DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Blatt: 2.5
Seite: 14 von 24
Stand: März 2009

Tabelle 1b: Abluftpfad; Effektive Dosis, berechnet für die Altersgruppe 1-2 Jahre für eine Normableitung von $3,7 \times 10^{10}$ Bq/Jahr je Nuklid

Nuklid	Eff. Dosis in Sv/a	Relative Beiträge in %				
		Beta-Subm.	Gamma-Subm.	Bodenstr.	Inhalation	Ingestion
H-3	9,26E-10	0,0	0,0	0,0	54,2	45,8
C-14	1,47E-07	0,0	0,0	0,0	0,01	100,0
Ar-41	8,97E-10	0,3	99,7	0,0	0,0	0,0
Co-58	4,34E-07	0,0	0,16	46,4	0,9	52,5
Co-60	1,62E-05	0,0	0,01	81,6	0,3	18,1
Kr-85m	1,97E-10	0,6	99,4	0,0	0,0	0,0
Kr-85	3,58E-12	30,4	69,6	0,0	0,0	0,0
Kr-87	5,38E-10	1,3	98,7	0,0	0,0	0,0
Kr-88	1,34E-09	0,17	99,8	0,0	0,0	0,0
Sr-90	4,18E-05	0,0	0,0	0,0	0,5	99,5
I-129	1,88E-04	0,0	0,0	1,4	0,05	98,5
I-131	1,11E-05	0,0	0,0	0,3	0,7	99,0
Xe-131m	3,63E-11	0,9	99,1	0,0	0,0	0,0
Xe-133m	4,65E-11	1,5	98,5	0,0	0,0	0,0
Xe-133	6,38E-11	0,4	99,6	0,0	0,0	0,0
Xe-135m	3,10E-10	0,15	99,8	0,0	0,0	0,0
Xe-135	1,72E-10	0,8	99,2	0,0	0,0	0,0
Xe-138	8,44E-10	0,4	99,6	0,0	0,0	0,0
Cs-134	6,76E-06	0,0	0,02	52,4	0,5	47,1
Cs-137	1,75E-05	0,0	0,0	75,8	0,3	23,9
Th-232	2,28E-04	0,0	0,0	33,2	48,7	18,1
U-234	2,85E-05	0,0	0,0	0,1	51,1	48,8
U-235	3,33E-05	0,0	0,0	18,8	39,3	41,9
U-238	2,64E-05	0,0	0,0	3,7	47,7	48,7
Pu-238	1,32E-04	0,0	0,0	0,02	72,3	27,6
Pu-239	1,39E-04	0,0	0,0	0,01	72,2	27,8
Pu-240	1,39E-04	0,0	0,0	0,02	72,2	27,8
Pu-241	1,99E-06	0,0	0,0	1,0	73,3	25,8
Am-241	1,25E-04	0,0	0,0	0,7	72,1	27,1
Cm-242	1,56E-05	0,0	0,0	0,0	67,6	32,4
Cm-244	9,16E-05	0,0	0,0	0,01	71,3	28,7



LOSEBLATTSAMMLUNG FS-78-15-AKU
EMPFEHLUNGEN ZUR ÜBERWACHUNG
DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Blatt: 2.5
Seite: 15 von 24
Stand: März 2009

Tabelle 1c: Abluftpfad; Effektive Dosis, berechnet für die Altersgruppe > 17 Jahre für eine Normableitung von $3,7 \times 10^{10}$ Bq/Jahr je Nuklid

Nuklid	Eff. Dosis in Sv/a	Relative Beiträge in %				
		Beta-Subm.	Gamma-Subm.	Bodenstr.	Inhalation	Ingestion
H-3	7,80E-10	0,0	0,0	0,0	72,6	27,4
C-14	8,28E-08	0,0	0,0	0,0	0,02	100,0
Ar-41	6,41E-10	0,4	99,6	0,0	0,0	0,0
Co-58	2,22E-07	0,0	0,22	60,8	2,1	36,9
Co-60	9,67E-06	0,0	0,01	91,3	0,7	8,0
Kr-85m	1,20E-10	0,9	99,1	0,0	0,0	0,0
Kr-85	2,76E-12	39,5	60,5	0,0	0,0	0,0
Kr-87	3,85E-10	1,8	98,2	0,0	0,0	0,0
Kr-88	9,49E-10	0,25	99,8	0,0	0,0	0,0
Sr-90	2,48E-05	0,0	0,0	0,0	1,4	98,6
I-129	1,61E-04	0,0	0,0	1,0	0,13	98,9
I-131	1,68E-06	0,0	0,0	1,1	2,6	96,3
Xe-131m	2,15E-11	1,5	98,5	0,0	0,0	0,0
Xe-133m	2,96E-11	2,3	97,7	0,0	0,0	0,0
Xe-133	3,76E-11	0,6	99,4	0,0	0,0	0,0
Xe-135m	2,21E-10	0,22	99,8	0,0	0,0	0,0
Xe-135	1,23E-10	1,2	98,8	0,0	0,0	0,0
Xe-138	6,01E-10	0,6	99,4	0,0	0,0	0,0
Cs-134	1,01E-05	0,0	0,01	23,5	0,4	76,1
Cs-137	1,76E-05	0,0	0,0	47,2	0,5	52,3
Th-232	3,23E-04	0,0	0,0	14,7	74,1	11,2
U-234	2,91E-05	0,0	0,0	0,06	70,3	29,7
U-235	3,07E-05	0,0	0,0	12,8	60,2	27,0
U-238	2,60E-05	0,0	0,0	2,3	67,0	30,6
Pu-238	2,76E-04	0,0	0,0	0,01	86,9	13,1
Pu-239	3,01E-04	0,0	0,0	0,0	86,9	13,1
Pu-240	3,01E-04	0,0	0,0	0,01	86,9	13,1
Pu-241	5,76E-06	0,0	0,0	0,2	86,9	12,9
Am-241	2,41E-04	0,0	0,0	0,2	86,6	13,1
Cm-242	1,42E-05	0,0	0,0	0,0	90,3	9,7
Cm-244	1,43E-04	0,0	0,0	0,01	87,0	13,0



LOSEBLATTSAMMLUNG FS-78-15-AKU
EMPFEHLUNGEN ZUR ÜBERWACHUNG
DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Blatt: 2.5
Seite: 16 von 24
Stand: März 2009

Tabelle 1d: Abwasserpfad; Effektive Dosis, berechnet für die Altersgruppe > 17 Jahre für eine Normableitung von $3,7 \times 10^{10}$ Bq/Jahr je Nuklid (Nahbereich)

Nuklid	Eff. Dosis in Sv/a	Relative Beiträge in %				
		Bodenstrahlung		Ingestion		
		Ufersediment	Trinkwasser	Fischverzehr	Viehtränke	Beregnung
H-3	1,26E-11	0	23,7	0,2	29,0	47,0
Cr-51	3,24E-11	22,6	18,4	35,2	4,7	19,2
Mn-54	2,64E-09	81,3	4,4	4,0	0,1	10,1
Co-57	4,36E-10	60,6	7,9	7,3	1,5	22,7
Co-58	1,03E-09	55,0	11,6	10,7	2,0	20,7
Fe-59	1,56E-09	27,7	18,5	17,4	5,7	30,7
Co-60	4,05E-08	92,3	1,4	1,3	0,3	4,8
Zn-65	1,31E-08	4,4	4,9	18,0	11,1	61,6
Sr-89	1,10E-09	0	38,0	10,6	3,6	47,8
Sr-90	3,45E-08	0	13,4	3,7	1,3	81,6
Nb-95	1,63E-09	0,5	5,6	10,7	23,8	59,5
Ru-103	4,79E-10	31,7	24,4	23,0	0,7	20,2
Ag-110m	7,10E-09	2,6	6,5	0,6	13,9	76,4
Te-123m	2,54E-09	0,2	9,0	0,1	12,6	78,1
Sb-124	1,42E-09	2,0	28,5	26,5	2,9	40,1
I-131	6,23E-09	0,2	48,6	26,3	9,3	15,6
Cs-134	7,29E-08	6,9	4,3	59,0	3,4	26,5
Cs-137	6,90E-08	25,5	3,1	42,6	2,5	26,3
La-140	4,43E-10	3,3	30,9	64,1	0,1	1,7
Cm-244	7,22E-08	0,05	27,6	6,3	0,1	66,0

Abflussrate (fiktiv): 5000 m³/s



LOSEBLATTSAMMLUNG FS-78-15-AKU
EMPFEHLUNGEN ZUR ÜBERWACHUNG
DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Blatt: 2.5
Seite: 17 von 24
Stand: März 2009

Tabelle 1e: Abwasserpfad; Effektive Dosis, berechnet für die Altersgruppe > 17 Jahre für eine Normableitung von $3,7 \times 10^{10}$ Bq/Jahr je Nuklid (Fernbereich)

Nuklid	Effektive Dosis in Sv/a	Relative Beiträge in %				
		Bodenstrahlung		Ingestion		
		Ufer- sediment	Trinkwasser	Fisch- verzehr	Viehtränke	Beregnung
H-3	1,26E-11	0	23,7	0,2	29,0	47,0
Cr-51	8,61E-11	70,8	6,9	13,2	1,8	7,2
Mn-54	1,84E-08	97,3	0,6	0,6	0,01	1,5
Co-57	2,37E-09	92,8	1,5	1,3	0,3	4,2
Co-58	5,21E-09	91,1	2,3	2,1	0,4	4,1
Fe-59	4,73E-09	76,2	6,1	5,7	1,9	10,1
Co-60	3,14E-07	99,0	0,2	0,2	0,04	0,6
Zn-65	1,63E-08	23,4	3,9	14,4	8,9	49,4
Sr-89	1,10E-09	0	38,0	10,6	3,6	47,8
Sr-90	3,45E-08	0	13,4	3,7	1,3	81,6
Nb-95	1,63E-09	0,5	5,6	10,7	23,8	59,5
Ru-103	1,60E-09	79,5	7,3	6,9	0,2	6,0
Ag-110m	7,10E-09	2,6	6,5	0,6	13,9	76,4
Te-123m	2,54E-09	0,2	9,0	0,1	12,6	78,1
Sb-124	1,42E-09	2,0	28,5	26,5	2,9	40,1
I-131	6,30E-09	1,3	48,1	26,0	9,2	15,4
Cs-134	1,01E-07	32,9	3,1	42,5	2,4	19,1
Cs-137	1,68E-07	69,5	1,3	17,5	1,0	10,8
La-140	5,26E-10	18,6	26,0	53,9	0,05	1,4
Cm-244	7,24E-08	0,4	27,5	6,2	0,1	65,7

Abflussrate (fiktiv): $5000 \text{ m}^3/\text{s}$



LOSEBLATTSAMMLUNG FS-78-15-AKU
EMPFEHLUNGEN ZUR ÜBERWACHUNG
DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Blatt: 2.5
Seite: 18 von 24
Stand: März 2009

Tabelle 2a: Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Abluft 2005 und berechnete effektive Dosen; Beispiel: KKW-1 (SWR) in Deutschland, Kaminhöhe: 100 m

Nuklid	Anteil am Radionuklidgemisch gem. AVV [5]	Genehmigungswerte	Ableitungen 2005	Eff. Dosis	Dosisanteil
	%	Bq/a	Bq/a	Sv/a	%
Ar-41			1,90E+09	1,25E-10	0,004
Kr-85	2		7,60E+10	1,30E-11	< 0,001
Kr-85m	2		1,50E+09	1,83E-11	0,001
Kr-87	1		5,80E+09	2,25E-10	0,007
Kr-88	3		2,20E+08	2,14E-11	0,001
Kr-89	3		9,00E+09	1,62E-09	0,051
Xe-131m	2		1,40E+09	3,05E-12	0,000
Xe-133	70		3,70E+11	1,42E-09	0,044
Xe-133m			--	--	--
Xe-135	2		4,70E+11	5,86E-09	0,183
Xe-135m	2		5,70E+11	1,29E-08	0,402
Xe-137	8		3,90E+11	7,63E-09	0,238
Xe-138	5		2,50E+11	1,54E-08	0,480
Summe Gase		1,10E+15	2,15E+12		
I-131	elementar		3,50E+07	5,06E-09	0,158
I-131	organisch		1,10E+07	1,62E-11	0,001
I-131	aerosolgeb.		2,90E+06	4,19E-10	0,013
Summe Iod		1,80E+10	4,89E+07		
Cr-51			6,80E+06	2,05E-12	< 0,001
Mn-54			4,70E+07	1,90E-09	0,059
Co-57			3,70E+04	2,57E-13	< 0,001
Co-58	10		1,80E+06	2,72E-11	0,001
Fe-59			1,30E+05	2,78E-12	< 0,001
Co-60	40		8,10E+06	8,08E-11	0,003
Zn-65			3,60E+06	9,04E-10	0,028
Nb-95			1,40E+04	4,62E-13	< 0,001
Zr-95			--	--	--
Ru-103			2,00E+04	1,06E-13	< 0,001
Ru-106			--	--	--
Ag-110m			--	--	--
Sb-124			--	--	--
Cs-134	15		--	--	--
Cs-137	34		4,80E+04	4,81E-11	0,002
Ba-140			4,40E+06	2,64E-11	0,001
La-140			3,10E+06	2,56E-12	< 0,001
Ce-141			2,60E+05	6,81E-13	< 0,001
Ce-144			7,90E+04	4,65E-12	< 0,001
Sr-89			1,30E+06	2,04E-11	0,001
Sr-90	1		2,80E+04	2,00E-11	0,001
Cm-242			3,40E+03	3,66E-13	< 0,001
Cm-244			1,70E+03	2,45E-12	< 0,001
Summe Schwebstoffe		3,70E+10	7,67E+07		
H-3		---	3,20E+10	1,36E-09	0,042
C-14	CO ₂	---	4,10E+11	3,15E-06	98,224
C-14	übrige *)	---	--	--	--
Summe C-14		---	4,10E+11	3,15E-06	98,224
Summe				3,21E-06	100,000

*) übrige Verbindungen: Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe



LOSEBLATTSAMMLUNG FS-78-15-AKU
EMPFEHLUNGEN ZUR ÜBERWACHUNG
DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Blatt: 2.5
Seite: 19 von 24
Stand: März 2009

**Tabelle 2b: Ableitungen radioaktiver Stoffe mit der Abluft 2005 und berechnete effektive Dosen;
Beispiel: KKW-2 (DWR) in Deutschland, Kaminhöhe: 150 m**

Nuklid	Anteil am Radionuklidgemisch gem. AVV [5]	Genehmigungswerte	Ableitungen 2005	Eff. Dosis	Dosisanteil
	%	Bq/a	Bq/a	Sv/a	%
Ar-41			1,20E+12	4,10E-08	6,650
Kr-85	2		3,40E+10	3,04E-12	< 0,001
Kr-85m	2		3,30E+08	2,09E-12	< 0,001
Kr-87	1		--	--	--
Kr-88	3		2,40E+09	1,22E-10	0,020
Kr-89	0		--	--	--
Xe-131m	1		5,70E+10	6,46E-11	0,010
Xe-133	80		1,50E+10	3,00E-11	0,005
Xe-133m			2,00E+08	3,10E-13	< 0,001
Xe-135	10		3,20E+10	2,07E-10	0,034
Xe-135m	0		--	--	--
Xe-137	0		--	--	--
Xe-138	1		6,00E+07	1,92E-12	< 0,001
Summe Gase		1,10E+15	1,34E+12		
I-131	elementar		9,00E+03	4,44E-13	< 0,001
I-131	organisch		1,00E+04	5,04E-15	< 0,001
I-131	aerosolgeb.		--	--	--
Summe Iod		1,10E+10	1,90E+04		
Cr-51			6,30E+04	1,06E-14	< 0,001
Mn-54			4,10E+03	1,29E-13	< 0,001
Co-57			--	--	--
Co-58	10		4,20E+03	4,19E-14	< 0,001
Fe-59			--	--	--
Co-60	15		3,60E+04	1,87E-11	0,003
Zn-65			--	--	--
Nb-95			--	--	--
Zr-95			--	--	--
Ru-103			--	--	--
Ru-106			--	--	--
Ag-110m			1,90E+05	2,52E-11	0,004
Sb-124			--	--	--
Cs-134	15		--	--	--
Cs-137	34		1,60E+04	1,04E-11	0,002
Ba-140			--	--	--
La-140			--	--	--
Ce-141			--	--	--
Ce-144			--	--	--
Sr-89			--	--	--
Sr-90	1		--	--	--
Cm-242			--	--	--
Cm-244			--	--	--
Summe Schwebstoffe		3,00E+10	3,13E+05		
H-3		---	2,30E+11	1,38E-08	2,239
C-14	CO ₂	---	6,00E+10	1,53E-07	24,820
C-14	übrige *)	---	1,60E+11	4,08E-07	66,187
Summe C-14		---	2,20E+11	5,61E-07	91,007
Summe				6,16E-07	100,000

*) übrige Verbindungen: Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe



LOSEBLATTSAMMLUNG FS-78-15-AKU
EMPFEHLUNGEN ZUR ÜBERWACHUNG
DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Blatt: 2.5
Seite: 20 von 24
Stand: März 2009

Tabelle 2c: Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser 2005 und berechnete effektive Dosen; Beispiel: KKW-1 (SWR) in Deutschland, mittlerer Abfluss: 1985,6 m³/s

Nuklid	Anteil am Radionuklidgemisch gem. AVV [5]	Genehmigungswerte	Ableitungen 2005	Eff. Dosis	Dosisanteil
	%	Bq/a	Bq/a	Sv/a	%
H-3		1,80E+13	5,10E+11	4,36E-10	63,053
Cr-51			5,80E+07	1,28E-13	0,019
Mn-54			8,80E+06	1,59E-12	0,229
Co-57			8,70E+04	2,58E-15	0,000
Co-58	19		5,90E+06	4,16E-13	0,060
Fe-59			--	--	--
Co-60	20		4,40E+07	1,21E-10	17,547
Zn-65			6,50E+07	5,78E-11	8,357
Sr-89			2,30E+06	1,72E-13	0,025
Sr-90	1		--	--	--
Nb-95			5,70E+04	6,34E-15	0,001
Zr-95			--	--	--
Ru-103			--	--	--
Ru-106			--	--	--
Ag-110m			5,90E+05	2,85E-13	0,041
Te-123m			--	--	--
Sb-124			--	--	--
Sb-125			--	--	--
I-131	10		3,10E+07	1,31E-11	1,900
Cs-134	20		2,40E+06	1,19E-11	1,722
Cs-137	30		1,00E+07	4,69E-11	6,779
Ba-140			1,00E+07	8,51E-13	0,123
La-140			1,20E+07	3,62E-13	0,052
Ce-141			5,80E+05	1,47E-14	0,002
Ce-144			6,80E+05	1,89E-13	0,027
Fe-55			1,80E+07	4,36E-13	0,063
Ni-63			--	--	--
Summe ohne ³H		1,50E+11	2,69E+08	2,55E-10	36,947



LOSEBLATTSAMMLUNG FS-78-15-AKU
EMPFEHLUNGEN ZUR ÜBERWACHUNG
DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Blatt: 2.5
 Seite: 21 von 24
 Stand: März 2009

Tabelle 2d: Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Abwasser 2005 und berechnete effektive Dosen; Beispiel KKW-2 (DWR) in Deutschland, mittlerer Abfluss: 1985,6 m³/s

Nuklid	Anteil am Radionuklidgemisch gem. AVV [5]	Genehmigungswerte	Ableitungen 2005	Eff. Dosis	Dosisanteil
	%	Bq/a	Bq/a	Sv/a	%
H-3		4,80E+13	1,60E+13	1,37E-08	97,286
Cr-51			--	--	--
Mn-54			4,90E+05	8,83E-14	0,001
Co-57			4,10E+04	1,22E-15	0,000
Co-58	19		4,10E+06	2,89E-13	0,002
Fe-59			--	--	--
Co-60	20		2,00E+07	5,51E-11	0,392
Zn-65			3,10E+05	2,76E-13	0,002
Sr-89			--	--	--
Sr-90	1		1,40E+05	3,29E-13	0,002
Nb-95			8,40E+04	9,34E-15	0,000
Zr-95			--	--	--
Ru-103			--	--	--
Ru-106			--	--	--
Ag-110m			2,90E+06	1,40E-12	0,010
Te-123m			4,30E+04	7,44E-15	0,000
Sb-124			1,30E+06	1,26E-13	0,001
Sb-125			5,80E+05	3,99E-14	0,000
I-131	10		1,20E+06	5,09E-13	0,004
Cs-134	20		7,40E+06	3,67E-11	0,261
Cs-137	30		6,10E+07	2,86E-10	2,036
Ba-140			--	--	--
La-140			--	--	--
Ce-141			--	--	--
Ce-144			--	--	--
Fe-55			9,90E+06	2,40E-13	0,002
Ni-63			2,20E+07	2,99E-13	0,002
Summe ohne ³H		5,50E+10	1,31E+08	3,82E-10	2,714



LOSEBLATTSAMMLUNG FS-78-15-AKU
EMPFEHLUNGEN ZUR ÜBERWACHUNG
DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Blatt: 2.5
Seite: 22 von 24
Stand: März 2009

Tabelle 2e: Abluftpfad; Vergleich der genehmigten und der gemessenen jährlichen Ableitungen (Durchschnittswerte für 15 deutsche KKW)

Art	Nuklid	Maximal zulässige Ableitungen (genehmigt)	Bilanzierte Ableitungen (gemessen)	Verhältnis
		Bq/Jahr	Bq/Jahr	%
Edelgase	Ar-41	---	1,50E+11	---
	Kr-85m	2,40E+13	1,30E+10	0,058
	Kr-85	2,40E+13	3,00E+11	1,25
	Kr-87	1,20E+13	2,80E+09	0,023
	Kr-88	3,60E+13	1,40E+10	0,039
	Xe-131m	1,20E+13	1,10E+11	0,92
	Xe-133m	---	3,90E+10	---
	Xe-133	1,00E+15	8,90E+11	0,089
	Xe-135m	---	1,80E+10	---
	Xe-135	1,20E+14	2,20E+11	0,18
Xe-138	1,20E+13	4,50E+08	0,0038	
Summe		1,20E+15	1,80E+12	0,15
Aerosole	Co-58	2,50E+09	2,50E+05	0,01
	Co-60	1,00E+10	2,70E+06	0,027
	Cs-137	3,80E+09	1,70E+04	0,0045
	Cs-134	8,50E+09	4,40E+05	0,0052
	Sr-90	2,50E+08	2,60E+04	0,01
	I-131	---	3,10E+06	---
Summe		2,50E+10	6,50E+06	0,026
Sonstige	I-131 (1)	5,00E+09	1,40E+07	0,28
	I-131 (2)	5,00E+09	6,00E+06	0,12
	H-3 (3)	1,10E+13	4,40E+11	4,0
	C-14 (4)	---	1,90E+11	---
	C-14 (2)	---	2,80E+11	---

- (1) elementare Form
- (2) organische Form
- (3) HTO
- (4) CO₂



LOSEBLATTSAMMLUNG FS-78-15-AKU
EMPFEHLUNGEN ZUR ÜBERWACHUNG
DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Blatt: 2.5
Seite: 23 von 24
Stand: März 2009

Tabelle 3: Berechnete Bevölkerungsdosen für Erwachsene für die verschiedenen Expositionspfade am Beispiel des Kernkraftwerkes Gösgen (für die Emissionsgrenzwerte und die tatsächlichen Abgaben 2007)

Emissionspfad		Expositionspfad	Dosis bei Ausschöpfung der Genehmigungswerte		Dosis aufgrund der tatsächlichen Abgabewerte 2007	
			Sv/Jahr	%	Sv/Jahr	%
Abluft	Edelgase	Wolkenstrahlung	3,14E-06	12,20	3,50E-08	11,50
	Aerosole	Wolkenstrahlung	3,00E-10	0,00116	1,96E-14	0,0000064
		Bodenstrahlung	1,20E-05	46,6	7,80E-11	0,0256
		Inhalation	2,10E-08	0,082	1,03E-12	0,00034
		Ingestion Milch	1,40E-06	5,44	2,85E-11	0,0094
		Ingestion landw. Prod.	1,80E-06	7,00	1,94E-11	0,0064
		Ingestion Fleisch	4,70E-06	18,3	2,05E-11	0,0067
	Iod	Inhalation	4,20E-08	0,163	≤ 1,00E-11 ^{†)}	≤ 0,0033
		Ingestion	1,10E-06	4,27	≤ 3,00E-10 ^{†)}	≤ 0,099
	C-14	Ingestion landw. Prod.	(2,45E-7*)	(0,95*)	2,45E-07	80,52
Summe Abluft			2,44E-05	95,0	2,80E-07	92,18
Abwasser	Spalt- und Aktivierungsprodukte und H-3 ^{&)}	Trinkwasser	3,00E-07	1,16	2,37E-08	7,8
		Ingestion Fisch	1,00E-06	3,88	9,60E-11	0,032
Summe Abwasser			1,30E-06	5,04	2,38E-08	7,8
Summe total			2,57E-05	100	3,04E-07	100

*) für C-14 wurden keine Genehmigungswerte festgelegt; um auch in der Spalte „Dosis bei Ausschöpfung der Genehmigungswerte“ die prozentualen Dosisanteile berechnen zu können, wurde für C-14 ersatzweise der Wert der tatsächlichen Ableitungen eingesetzt.

†) = Nachweisgrenze

&) = Die H-3-Ableitungen über das Abwasser betragen 2007: $1,6 \times 10^{13}$ Bq, entsprechend (bei Dauerexposition) einer Jahresdosis über Trinkwasser von $2,3 \times 10^{-8}$ Sv, also über 95 % der Strahlenexposition des Wasserpfades.

Dosisrechnung: - ohne Alpha-Strahler in Abluft und Abwasser
- ohne Tritium in Abluft und
- ohne Bewässerung sowie externe Dosen durch Ufersediment

Quelle: Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, Villigen/Schweiz: Emissionen aus Kernanlagen und daraus berechnete Dosen für die Umgebungsbevölkerung. Jahresberichte der HSK [7]



Tabelle 4: Das Routine - Überwachungsprogramm für Kernkraftwerke in der Schweiz

Überwachungsziel		Messung	Methode	Stellen	Aufbereitung	Messung, erreichbare Nachweisgrenze und Maßeinheit
Gamma-OD		TLD	k/Q	30-50	---	TLD: 0,1 mSv/a mit OSP-Methode; 0,02 mSv/Quartal
Gamma-ODL		Ionisationskammer	k ¹⁾	nur bei Bedarf	----	Ionisationskammer: 5 nSv/h (≈ 1 min.)
		GM-ZR+DFÜ	k ²⁾	12-18	---	GM-Zählrohr: 20 nSv/h (≈ 10 min.)
Gamma-Strahlung		in-situ-Messung	St/J	4	---	1 Bq/kg Erde oder 50 Bq/m ²
		Messfahrten	St/J	nur bei Bedarf	---	Ionisationskammer: 5 nSv/h (bei ca. 1 min.)
Luft: Aerosole		Aerosolfilter	k/M	1-2	evtl. V/P	Gamma: 1 Bq/m ³ (M) [bei 30-50 m ³ /h]
			evtl. V/P			Gamma: 0,3 Bq/m ³ (W) [bei 500 m ³ /h HVS]
Gase i. d. Luft:	Iod	Aktivkohle	nicht routinemässig	nur bei Bedarf	---	Gamma: ≈ 1 mBq/m ³ (W) [bei 30 m ³ /h]
	Edelgase	Aktivkohle			speziell	⁸⁵ Kr: 0,1 Bq/m ³ ; ³⁷ Ar: 0,5 mBq/m ³
	³ H (HTO)	Luftfeuchte			---	³ H: 0,2 Bq/m ³ [Liquid-Scint. Counting]
	¹⁴ C	Baumblätter			St/J	2-4
Boden-Ablagerung		Niederschläge	k/M	1-2	E	Gamma: 20 mBq/L (M); ³ H: 1 Bq/L (M)
		Vaselineplatten	k/M	4-16	V	Gamma: 0,5 Bq/m ² (M)
		Erdboden	St/HJ	4	T/S/H	Gamma: 1 Bq/kg; ⁹⁰ Sr: 0,2 Bq/kg
		Gras	St/HJ	4	T/M	Gamma: 1 Bq/kg; ⁹⁰ Sr: 0,02 Bq/kg
Landwirtschaftliche Produkte		Milch	St/HJ	4-7	L	Gamma: 0,2 Bq/L; ⁹⁰ Sr: 0,01 Bq/L
		Getreide	St/J	1-4	---	Gamma: 1 Bq/kg; ⁹⁰ Sr: 0,02 Bq/kg
		Gemüse	St/n. Bed	1-10	evtl. T/R	Gamma: 1 - 2 Bq/kg frisch
Wasser		Oberflächenwasser	k/W	2	E	Gamma: 30 mBq/L; ³ H: 10 Bq/L
		Grundwasser	St/HJ	2-4	E	Gamma: 30 mBq/L; ³ H: 10 Bq/L
Wasserpfad		Sedimente	St/HJ	1-2	T/S/H	Gamma: 1 Bq/kg Trockengewicht
		Wasserpflanzen	St/J	1-2	T/L	Gamma: 0,2 Bq/kg Trockengewicht
		Fische	St/HJ	1-2	R/L	Gamma: 0,3 Bq/kg frisch (filetiert)

Legende: ¹⁾ direkte Messung und Registrierung vor Ort; ²⁾ direkte Messung mit Datenfernübertragung; OD = Ortsdosis; ODL = Ortsdosisleistung; OSP - Methode = Methode der ortsspezifischen Parameter; k = kontinuierliche Sammlung/Messung; St = Stichprobe; n. B. = nach Bedarf; n. r. = nicht routinemässig; W = wöchentlich; M = monatlich; Q = vierteljährlich; HJ = halbjährlich; J = jährlich; V = veraschen; P = pressen; E = eindampfen; T = trocknen; S = sieben; H = homogenisieren; M = mahlen; L = lyophilisieren; R = rüsten (d. h. essbereit machen)