

II Probenentnahmen und Messungen

Der Umfang der zur Überwachung der Umgebung kerntechnischer Anlagen durchzuführenden Probenentnahmen, Ortsdosis- und Radioaktivitätsmessungen ist für jedes zu überwachende Gebiet in zuvor beschriebenen Programmen festgelegt. Die in der „Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung“ genannten erforderlichen Nachweisgrenzen nach DIN 25 482 für radioaktive Stoffe in Messmedien geben die Art und die Größe der Proben sowie die Messgrößen vor. Diese wiederum bestimmen die anzuwendenden Messmethoden und die passende Probenaufbereitung. Andererseits gibt es auch Messgrößen, die keine Probenentnahme erfordern, wie die Gamma-Ortsdosis bzw. die Gamma-Dosisleistung und die insitu-Gammaspektrometrie der Bodenoberfläche.

II.1 Probenarten

An ausgewählten Orten sind die verschiedensten Probenarten zu überwachen, die im Wesentlichen den Bereichen

- Dosis und Dosisleistung
- Luft und Niederschläge (Primärmedien)
- Nahrungsketten auf dem Land und
- Wasser mit Nahrungskette im Wasser

zugeordnet werden können.

Zur Ermittlung der in der Umgebung einer kerntechnischen Anlage aufgetretenen **Gamma-Ortsdosis** werden strahlungsempfindliche Festkörperdosimeter – seit Oktober 2007 Thermolumineszenzdosimeter (TLD) - mindestens 2 m über Bodenniveau ausgehängt und die über etwa ein Jahr akkumulierte Gamma-Strahlendosis bei der anschließenden Auswertung der Dosimeter bestimmt. Diese Dosimeter erfassen auch die durch terrestrische und kosmische Strahleneinwirkung verursachten Anteile an der gesamten Dosis am betreffenden Auslegungsort.

Die ortsspezifischen Pegel streuen wegen der unterschiedlichen terrestrischen Strahleneinwirkung der näheren Umgebung des Auslegungsortes untereinander sehr stark. Um

mögliche nennenswerte Beiträge durch den Betrieb einer kerntechnischen Anlage ermitteln zu können, ist der Vergleich mit den Messergebnissen der Vorjahre notwendig. Allerdings ist dann auch zu berücksichtigen, ob der Auslegungsort eines Dosimeters verlegt oder gar gewechselt werden musste.

Die Neutronendosisleistungsmessung bei Zwischenlagern erfolgt in ähnlicher Weise wie die Ermittlung der äußeren Gammadosis. Hier werden redundant bestückte, neutronenempfindliche Dosimeterkarten in der sog. Bonner Kugel ein halbes Jahr lang auf dem Betriebsgelände der dort herrschenden Neutronenstrahlung ausgesetzt und anschließend ausgewertet. Parallel dazu erfolgt am gleichen Ort auch die Bestimmung des durch äußere Gammastrahlung bedingten Dosisanteils.

Neben den integrierenden Verfahren bei der Ermittlung der Langzeitdosis werden in der Umgebung der Kernkraftwerke außerdem **Ortsdosisleistungs-Messstellen** betrieben, deren Messwerte an eine Zentrale mit Alarmfunktion fernübertragen werden. Dieses Netz von derzeit 109 Messstellen mit gammaempfindlichen Strahlungsdetektoren ist ringförmig bzw. bei ausländischen Anlagen halbringförmig um die Kernkraftwerke angeordnet.

Als wichtigstes Primärmedium wird stets die bodennahe Luft auf ihren Gehalt an künstlich erzeugten radioaktiven Aerosolen überwacht. Hierzu werden üblicherweise feststehende Glasfaserfilter, teilweise mit Aktivkohlefilter verwendet, mit denen die Luft gefiltert wird. An allen Kernkraftwerksstandorten erfolgt durch die LUBW jeweils die gammaspektrometrische Messung der Filter bereits schon während der Luftprobenahme.

Bei den ausländischen Anlagen gibt es keine aufsichtlichen Betretungsrechte für deutsche Behörden. Deshalb wird an grenznahen Standorten die behördliche Immissionsüberwachung auf deutschem Gebiet intensiviert vorgenommen. Die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz betreibt bei Bremgarten und bei Waldshut zwei

Messstationen mit nuklidspezifischer Überwachung, Datenfernübertragung und Alarmierungsfunktion. In der badischen Umgebung von Fessenheim werden an vier weiteren Stellen Aerosolfilter zur Luftüberwachung eingesetzt. An der Schweizer Grenze befindet sich in Waldshut zusätzlich eine Strahlenpegelmessstation mit online-Datenübertragung, in Albrbruck wird eine weitere Aerosolsammelstelle ständig betrieben.

Zur Bestimmung des Radioaktivitätseintrags mit **Niederschlägen** wird auch dieses Primärmedium ständig gesammelt und routinemäßig monatlich überprüft. Wegen der stark unterschiedlichen Niederschlagsmengen können die Nachweisgrenzen großen Schwankungen unterworfen sein.

Die Überwachung von **Gras** und **Boden** erfolgt zur Feststellung möglicher abgelagerter oder über die Wurzeln in den Bewuchs aufgenommener Radionuklide. Boden wird mittels zweier verschiedener Verfahren überwacht. Zum Einen werden Bodenproben eingeholt und im Labor ausgemessen, zum Anderen werden auch insitu-Messungen während Trainingsfahrten durchgeführt, die insbesondere für den Störfall vorgesehen sind, da sie eine schnelle Übersicht über die Bodenkontamination erlauben. Zum Einsatz kommt hierbei vorzugsweise ein tragbarer Messplatz mit Reinst-Germanium-Detektor zur Gewinnung hochauflösender Gammaskpektren.

Abhängig von den im überwachten Gebiet hauptsächlich erzeugten Lebensmitteln sowie den gebietstypischen Sonderkulturen werden verschiedenartigste **Nahrungsmittel** untersucht (z.B. Gemüse, Salat, Obst, Kartoffeln, Milch, Getreide und Wein. In seltenen Fällen werden auch weitere tierische Produkte in die Überwachung einbezogen. Wegen der radiologischen Bedeutung des kurzlebigen Iod-131, das vorwiegend in der Luft und angereichert in der **Milch** auftauchen kann, wird diese in den Sommermonaten intensiver als im Winter überwacht.

Im sogenannten Wasserpfad wird neben eingehenden Untersuchungen von repräsentativen **Trinkwasserproben** (Grundwasser aus Brunnen, aber z. T. auch Uferfiltrat oder Wasser aus oberflächennahen Einzelwasserversorgungen) auch abfließendes **Oberflächenwasser** überwacht, wobei

die Entnahmen vor und hinter der Einleitungsstelle der kerntechnischen Anlage(n) liegen.

Wegen der Affinität radioaktiver Spurenstoffe zu Schwebeteilchen im Wasser bietet sich die Untersuchung von **Schwebstoffen oder Sedimenten** als ein guter Indikator zur Feststellung außergewöhnlicher Radioaktivitätsableitungen an. Je nach Ausstattungsmöglichkeit der Probenentnahmeeinrichtung erhält man bei der Schwebstoffsammlung die Kurzzeitgeschichte über den Sammelzeitraum, bei Sedimenten hingegen meist die gesamte Historie für das Auftreten langlebiger Radionuklide.

Nicht zuletzt werden aus den zu überwachenden Vorfluterabschnitten Fische gefangen, um ihre genießbaren Teile auf den Gehalt an künstlichen radioaktiven Stoffen zu untersuchen.

II.2 Probenentnahme- und Messorte

Die Probenentnahmeorte wurden im Hinblick auf die Überwachungsziele aus der Strahlenschutzverordnung ausgewählt. Ein Teil von ihnen muss im Bereich der maximalen Beaufschlagung liegen. Die Orte müssen u. a. repräsentativ und gut zugänglich sein, sollen langfristig verfügbar sein und durch ein Medium überwacht werden, das möglichst den Anfang (z. B. Luft, Niederschlag) oder das Ende einer Nahrungskette (z. B. Milch) bildet. Aus Datenschutzgründen wird ihre Lage meist nur allgemein und ohne Angaben von Koordinaten beschrieben.

II.3 Probenahmeintervalle

Die Intervalle der Probenentnahmen und Messungen variieren je nach Art der Probenentnahme zwischen „ständig“ (z.B. kontinuierliche Dosisleistungsmessungen oder ständige Filterbestäubung) bis „jährlich“ (z. B. bei Dosimetern).

Bei kontinuierlicher Sammlung z.B. von Oberflächenwasserproben überwiegt die monatliche bzw. vierteljährliche Auswertung, wohingegen bei stichprobenartigen Probenahmen die halbjährliche Überwachung überwiegt (z.B. Fische). Aus technischen und physikalischen Gründen können die Probenentnahmefrequenzen höher liegen als

sich aus den berichteten Werten ersehen lässt (z.B. Aerosolfilter- und Wasserproben).

Grundsätzlich ist bei pflanzlichen und tierischen Produkten die Art und Weise der Erzeugung bestimmend für den Zeitraum und die Intervalle der Überwachung. Dies bedeutet, dass die Mehrzahl der Proben in der ausklingenden Wachstumsperiode zu nehmen ist und dann die Probenahmeintervalle am kleinsten sind. So werden Milchproben grundsätzlich monatlich während der Grünfütterzeit genommen, Freilandblattgemüse, Obst und Getreide im jeweils erntereifen Zustand.

Die bei Sammelproben mitgeteilten Aktivitäten werden jeweils auf die Mitte des Sammelzeitraumes bezogen.

II.4 Probenaufbereitung

Im Allgemeinen ist der physikalischen Bestimmung des Radioaktivitätsgehalts bei einer Probe ein chemisches oder physikalisches Aufbereitungsverfahren vorzuschalten. Ziel dieser zum Teil aufwändigen Verfahren ist im Wesentlichen einerseits die Konzentrierung der Proben auf kleine Volumina, um die in der einschlägigen Richtlinie geforderten Nachweisgrenzen zu erreichen, andererseits aber auch die Abtrennung von Einzelnukliden wie z.B. Tritium, Strontium-90, Uran und ähnliches. Dabei wird grundsätzlich nach den vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit herausgegebenen „Messanleitungen für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt und zur Erfassung radioaktiver Emissionen aus kerntechnischen Anlagen“* und den Empfehlungen des Arbeitskreises „Umweltüberwachung“ des Fachverbands für Strahlenschutz** vorgegangen. Stets sind die aufbereiteten Proben für die jeweilige physikalische Aktivitätsbestimmung so zu präparieren, dass eine quantitative Aussage mit hinreichendem Vertrauensni-

* Verlag Urban & Fischer, München, Jena; (Erstausgabe: 1994); ISBN 3-437-21596-5, aktueller Stand: (Lieferung 1 bis 7) 1.3.2006; bzw. <http://www.bmu.de / Strahlenschutz / Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt>

** Fachverband für Strahlenschutz e.V.: Empfehlungen zur Überwachung der Umweltradioaktivität - Loseblattsammlung des Arbeitskreises Umweltüberwachung (AKU); FS-78-15-AKU, (1979), Stand: 6. Teillieferung (Papierversion) März 2004; ISSN 1013-4506; aktuell unter www.FS-eV.de;

veau von $k_{1-\gamma} = 99,7\%$ und möglichst guter Reproduzierbarkeit erhalten wird.

II.5 Messmethoden

Die Aktivitätsgehalte an gammastrahlenden Radionukliden werden mit Hilfe hochauflösender Halbleitergammapektrometer bestimmt, mit denen auch die Art der in der Probe enthaltenen gammastrahlenden Nuklide ermittelt werden kann (nuklidspezifische Identifikation).

Der Tritiumgehalt in wässrigen Proben wird durch Ausmessen eines Teils der Gesamtprobe in einem Flüssigszintillationszähler bestimmt. Andere spezielle Einzelnuklide wie z.B. Strontium-90, Transurane oder Uranfolgeprodukte werden nach gezielter radiochemischer Trennung nuklidspezifisch ausgemessen:

- in Methandurchflusszählern mit 50 mm Ø-Schälchen (Strontium-90 nach der Nachbildung von Yttrium-90) bzw.
- mit α -Sperrschichtzählern oder einer Gitterionisationskammer,
- mit γ -empfindlichen Halbleiterspektrometern.

Die Messmethoden werden so gewählt, dass sie bei üblicher Vorgehensweise die in der einschlägigen Richtlinie aus dem Jahr 2006 genannten, vorgeschriebenen Nachweisgrenzen für das dort genannte Leitnuklid grundsätzlich erreichen.

II.6 Erkennungs- und Nachweisgrenzen, Messunsicherheit

Die Nachweisgrenze eines Verfahrens nach DIN 25 482 berücksichtigt neben der jeweiligen Erkennungsgrenze eine vorgewählte Größe $k_{1-\beta}$ zur korrekten Entscheidung für einen Anteil $1-\beta$ der Messungen, dass ein „Aktivitätsbeitrag in der Probe festgestellt“ ist. Für diesen Anteil $1-\beta$ der Messungen wird richtigerweise kein Alarm verfehlt. Für die Erkennungsgrenze wird in analoger Weise eine statistische Kenngröße $k_{1-\alpha}$ vorgegeben, die beschreibt, für welche Anteile $1-\alpha$ der Messungen korrekterweise die Entscheidung „Aktivitätsbeitrag in der Probe nicht festgestellt“ möglich sind, d.h. Es wird bei $1-\alpha$ Messungen kein Fehlalarm auftreten. Im vorliegenden Bericht wurde

$$k_{1-\alpha} = 3$$

gewählt, was bedeutet, dass nur bei

$$\alpha = 0,14 \%$$

der gesamten Messungen eine unkorrekte Entscheidung über einen Aktivitätsbeitrag in der Probe gefällt wurde (Fehlalarm). Andererseits sind die Messungen demzufolge mit

$$1-2\alpha = 99,7 \%$$

vertrauenswürdig***.

Für die Kenngröße $k_{1-\beta}$ ist bei der nachfolgenden Tabelle grundsätzlich der Wert 1,645 gewählt, was einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % (Alarmverfehlung) und einem Vertrauensbereich von 90 % entspricht. Am Schluss dieses Kapitels werden die bei üblichen Probengrößen und den routinemäßig vorgewählten Messdauern erreichten Nachweisgrenzen genannt.

Die Messunsicherheit wird in den Ergebnistabellen stets als „Fehler des Messwerts“ angegeben, der auf die jeweilige Messgröße bezogen wird, d.h. als „relativer Fehler mit dem Faktor $k_V=1$ für die statistische Sicherheit“. Grundsätzlich wird im vorliegenden Bericht nur die zufallsbedingte Komponente aufgrund statistisch verteilter Zählereignisse mitgeteilt. Gegenüber anderen Fehlern, möglichen systematischen Fehlern bei den einzelnen Messungen, stellt diese Komponente den größten Beitrag zur Messunsicherheit dar. Unsicherheiten bei Probenentnahmen oder Probenaufbereitungen sind darin nicht enthalten.

*** Für die Ergebnisse aus Rheinland-Pfalz sind im Einzelnen andere Werte möglich

Nuklid (a)	untersuchtes Medium (b) (Messgröße und Einheit)											
	Gammastrahlung	Aerosole	Niederschlag	Boden	Bodenoberfläche (d)	Bewuchs	Nahrungsmittel	Milch	Oberflächenwasser	Sediment	Fisch	Trinkwasser
	mSv/a bzw. nSv/h	Bq/m ³	Bq/l	Bq/kg TM	Bq/m ²	Bq/kg FM	Bq/kg FM	Bq/l	Bq/l	Bq/kg TM	Bq/kg FM	Bq/l
	$1 \cdot 10^{-1}$ (c)											
	(1·10⁻¹ Sv/a)											
Störfallmessungen (Tab. A4 und B4)	5·10⁻¹ (1·10⁻² Sv/h)											
H-3			8·10 ⁰			8·10 ⁰			8·10 ⁰			8·10 ⁰ (1·10⁻¹)
Be-7	3·10 ⁻⁴		4...7·10 ⁻¹	6...8·10...·10 ⁰		5·10 ⁰						3...5·10 ⁻¹
Co-58	3·10 ⁻⁵		3...8·10 ⁻²	6...8·10 ⁻¹		7·10 ⁻¹	4...40·10 ⁻²		4·10 ⁻²	1·10 ⁰	3·10 ⁻¹	4...5·10 ⁻²
Co-60	1·10 ⁻⁵ (4·10⁻⁴)		2...5·10 ⁻² (5·10⁻²)	6...10·10 ⁻¹ (5·10⁻¹) bzw. (1·10⁻¹) (d)	1,5·10 ² (2·10²)	2...8·10 ⁻¹ (5·10⁻¹) bzw. (1·10⁻¹) (d)	2·10 ⁻¹ (2·10⁻¹)	1·10 ⁻¹ (2·10⁻¹)	5·10 ⁻² (5·10⁻²)	2·10 ⁰ (5·10⁰)	2·10 ⁻¹ (2·10⁻¹)	2...5·10 ⁻² (5·10⁻²)
Sr-90						1...5·10 ⁻² (4·10⁻²)	3·10 ⁻² (4·10⁻²)	<5·10 ⁻² (2·10⁻²)	1·10 ⁻³			1·10 ⁻² (2·10⁻²)
Nb-95	3·10 ⁻⁵		3...8·10 ⁻²	7...10·10 ⁻¹		7·10 ⁻¹	4...40·10 ⁻²	6...8·10 ⁻²	4·10 ⁻²	1,5·10 ⁰	3·10 ⁻¹	4...6·10 ⁻²
Zr-95	6·10 ⁻⁵		6...15·10 ⁻²	1,5...2·10 ⁰		1,5·10 ⁰	7...70·10 ⁻²	9...15·10 ⁻²	7·10 ⁻²	2,5·10 ⁰	3...6·10 ⁻¹	7...10 ⁻²
Ru-106	1,5·10 ⁻⁴		1,5...4·10 ⁻¹	6...8·10 ⁰		5·10 ⁰	4...30·10 ⁻¹	4...7·10 ⁻¹	3·10 ⁻¹	7·10 ⁰	1...2·10 ⁰	2...3·10 ⁻¹
I-131 (e)	1·10 ⁻²	1...100·10 ⁻¹	2...3·10 ⁰	2...3·10 ⁰		1,5...3·10 ⁰	7...70·10 ⁻²	1·10 ⁻² (1·10⁻²)	1...50·10 ⁻¹	4...40·10 ⁰	2...4·10 ⁰	5...500·10 ⁻²
Cs-134	2·10 ⁻⁵		2...5·10 ⁻²	7...9·10 ⁻¹		7·10 ⁻¹	4...40·10 ⁻²	6...9·10 ⁻²	3·10 ⁻²	1·10 ⁰	1...3·10 ⁻¹	3...4·10 ⁻²
Cs-137	2·10 ⁻⁵		2...5·10 ⁻²	7...9·10 ⁻¹		7·10 ⁻¹	4...40·10 ⁻²	5...8·10 ⁻²	2...4·10 ⁻²	8·10 ⁻¹	1...3·10 ⁻¹	3...4·10 ⁻²
Ba-140	4·10 ⁻³		3...6·10 ⁰	5...7·10 ⁰		5·10 ⁰	2...20·10 ⁻¹	3...4·10 ⁻¹	3...6·10 ⁻²	8...30·10 ⁰	3...5·10 ⁰	1...2·10 ⁻¹
(a)	Die fett gedruckten Nuklide sind in der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung (REI 2006) als Bezugsnuklide genannt; zum Vergleich mit den erreichten Nachweisgrenzen werden die dort geforderten Nachweisgrenzen in Klammern angegeben.											
(b)	Probengrößen und Messzeiten variierten bei den einzelnen Medien beträchtlich; übliche Messzeiten liegen bei Aufnahme von Gammaskpektren im Labor zwischen 10 und 50 Stunden. Bei manchen Medien wie Milch oder Bewuchs konnten die geforderten, tiefen Nachweisgrenzen wiederholt nicht erreicht werden. Dies hängt vor allem mit der Anwendung der DIN 25 482 und der Verwendung hoher statistischer Sicherheitsfaktoren zusammen.											
(c)	Die angegebene Nachweisgrenze ist auf die Gesamtheit der Dosimeter im Überwachungsgebiet bezogen.											
(d)	Die Nachweisgrenzenforderung kommt aus der Störfall-Überwachung. REI-Anhänge A4 bzw. B4											
(e)	Bei kurzlebigen Radionukliden wird auf den Probenahmezeitpunkt / die Mitte des Sammelzeitraumes bezogen.											

