



Überwachung der Ablagerung radioaktiver Stoffe auf der Bodenoberfläche (Labormessung als Alternativmethode zur In-situ-Spektrometrie bei Störfällen)

Bearbeiter: H. Völkle, Universität Fribourg, Fribourg, Schweiz
J. Eikenberg, Paul Scherrer Institut, Villigen, Schweiz

Inhaltsverzeichnis

1	Zweck der Überwachungsmaßnahme.....	1
2	Messgröße, Maßeinheit und zu fordernde Nachweisgrenze.....	1
3	Messverfahren.....	2
3.1	Probenentnahme und Probenvorbereitung.....	2
3.2	Messung.....	4
3.3	Kalibrierung.....	5
3.4	Messunsicherheit und erreichbare Nachweisgrenze.....	5
4	Bewertung des Verfahrens.....	6
5	Dokumentation.....	6
6	Besonderheiten im Störfall - Materialliste für das Probenentnahmefahrzeug.....	6
7	Literatur.....	7

1 Zweck der Überwachungsmaßnahme

Zweck der Maßnahme ist die Bestimmung der als Folge eines Störfalles auf dem Boden trocken oder mit dem Niederschlag abgelagerten Radioaktivität. Dieses Verfahren ergänzt - als Alternativmethode zur In-situ-Messung - die übrigen nach einem Störfall durchzuführenden Untersuchungen, wie die Messung der Ortsdosen und die Bestimmung der Aktivität von Schwebstoffpartikeln in der Luft. Es setzt voraus, dass die Kontamination von Luft und/oder Boden nicht zu groß ist, so dass die Probenentnahmeequipen keiner zu hohen Strahlung ausgesetzt werden.

Das hier vorgeschlagene Verfahren basiert auf dem entsprechenden Programmpunkt der Routineüberwachung, wobei auf hohe Empfindlichkeit und Genauigkeit verzichtet wird zugunsten von Schnelligkeit bei Probenentnahme und Messung sowie zugunsten einer Erweiterung des Messbereiches nach oben; es beschränkt sich auf Probenentnahmen im Freien mit anschließender Labormessung. Verfahren mit direkter Messung im Freien mittels Großflächenzähler bzw. In-situ-Spektrometer sind in anderen Losen Blättern beschrieben.

In vereinfachter Form kann das hier vorgeschlagene Messprogramm auch dem periodischen Training der für Störfälle vorgesehenen Einsatzkräfte dienen, damit sich diese die notwendigen Kenntnisse der Umgebung aneignen können: beispielsweise Kenntnisse von Gelände, Zufahrtsstraßen, kritische Stellen für verschiedene Wind- und Wetterlagen, Besiedlungsstruktur, angebaute landwirtschaftliche Produkte etc. Periodische Übungen sind auch nützlich, um genügend Routine für die Messung (Probenentnahme, Probenvorbereitung, Bedienung der Messgeräte, Auswertung, Beurteilung und Interpretation der Ergebnisse) zu erhalten.

2 Messgröße, Maßeinheit und zu fordernde Nachweisgrenze

Messgröße ist die pro Flächeneinheit abgelagerte nuklidspezifische Aktivität, bezogen auf den Zeitpunkt der Probenentnahme, u. U. auch die spezifische Aktivität in der obersten Erdschicht oder in frischen Pflanzen. Maßeinheiten sind Bq/m² oder Bq/kg Frischmasse. Bei Störfallmessungen sind die Ergebnisse - falls Erde oder Pflanzen untersucht werden - grundsätzlich auf die Frischmasse zu beziehen.



Die zu fordernde Nachweisgrenze für die Analyse von Boden- und Bewuchsproben im Rahmen des Störfallmessprogramms beträgt nach REI [1] für Deutschland 10 Bq/kg Frischmasse, bezogen auf ^{60}Co (gegenüber 0,5 Bq/kg Trockenmasse beim Routinemessprogramm). Dies bedeutet beispielsweise für ^{137}Cs etwa 100 bis 200 Bq/m².

Als oberste Messgrenze für den äußersten Notfall, bei dem kurze Einsätze von Probenentnahme- und Messequipen noch verantwortbar sind, kann eine Ortsdosisleistung durch auf dem Boden abgelagerte Radioaktivität von maximal 1 mSv/h angenommen werden. Für ^{137}Cs entspricht dies einer Oberflächenkontamination von maximal 400 MBq/m². Eine Probe von 10 x 10 cm² Erde bei einer Schichtdicke von 1 cm, also mit einem Volumen von 100 ml, ergäbe somit eine Aktivität von rund 4 MBq. Dies kann mit einem Ge-Gammaspektrometer bei geöffneter Bleiabschirmung - als Punktquelle betrachtet - in 1 m Entfernung noch gemessen werden. Für die in einem solchen Fall beschränkten Anforderungen bezüglich Messgenauigkeit genügt eine Kalibrierung für Punktquellen im gleichen Abstand. Bei einer Verminderung der Probenmenge um einen Faktor 100 wäre die Messung auch in normaler Messgeometrie, wie der einer Dose oder eines kleinen Mess-Schälchens, möglich. Das Vermindern der Probenmenge oder das Umfüllen in ein kleineres Messgefäß darf allerdings bei solchen Aktivitäten zur Vermeidung von Kontaminationen nur in einem geeigneten Labor mit Handschuhkasten und nicht im Messlabor vorgenommen werden. Wichtig ist auch, dass die Probe vorher homogenisiert wird, da sonst das Ergebnis unter Umständen nicht repräsentativ ist.

Die untere Nachweisgrenze kann auch - analog dem Lösen Blatt 3.2.5.1 - für ^{137}Cs bei 3700 Bq/m², entsprechend 10 nSv/h oder 0,088 mSv/a, festgelegt werden. Eine Probe von 30 x 30 cm² ergibt dann bei 1 cm Schichtdicke ein Probenvolumen von 1 Liter und eine Aktivität von rund 300 Bq. Für ^{137}Cs ist demzufolge mit einem Messbereich zwischen 300 Bq und 4 MBq zu rechnen, wobei die größten Aktivitäten in 10- bis 100-ml- Mess-Schälchen oder als Punktquelle in 1 m Abstand zu messen sind.

3 Messverfahren

Wichtige Voraussetzung für dieses Überwachungsverfahren ist, dass es durch Messfahrten zur Bestimmung der Ortsdosisleistung und durch nuklidspezifische Messungen der Aktivität von Schwebstoffpartikeln in der Luft (Filterbeaufschlagung und Laboranalyse) ergänzt wird. Des Weiteren sind diese Messungen erst nach stattgefundenen Ablagerung von Radionukliden auf Boden und Bewuchs sinnvoll, also nicht schon während des Vorbeizugs der radioaktiven Wolke. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei gleicher Aktivitätskonzentration in der Luft die Bodenkontamination nach einer nassen Deposition (*wash out*) um etwa eine Größenordnung höher sein kann als bei trockener Ablagerung (*dry fall out*).

3.1 Probenentnahme und Probenvorbereitung

Die Auswahl der geeigneten Probenentnahme- und Messstellen wird erleichtert durch Kenntnis von Art, Zusammensetzung und Menge der freigesetzten Aktivität, der durch die Freisetzung betroffenen Windsektoren sowie der Entfernung, in der die größten Kontaminationen erwartet werden. Es ist angezeigt, für verschiedene Wetterlagen und Sektoren Messparcours vorzubereiten und geeignete Probenentnahmestellen im Voraus auszuwählen. Geeignete Stellen im Sinne der Repräsentativität liegen im offenen, ebenen Gelände (d. h. nicht an einem Abhang oder in einer Senke), nicht in unmittelbarer Nähe von Gebäuden, Bäumen oder andern Hindernissen. Befinden sich Gebäude, Bäume oder andere Hindernisse zwischen der Emissionsquelle und der Probenentnahmestelle, sollte der Abstand zwischen der letzteren und dem Hindernis größer als das Doppelte von dessen Höhe sein. Für den Einsatz sind detaillierte Karten sowie gute Ortskenntnis beim Einsatzpersonal notwendig.

Für diese Messung können alle Arten von Proben erhoben werden, sofern sie eine qualitative und quantitative Aussage über die pro Flächeneinheit abgelagerte Aktivität erlauben oder die Bestimmung der spezifischen Aktivität in der obersten Bodenschicht oder im Bewuchs ermöglichen. Als Beispiele seien genannt: Gras, großblättrige Pflanzen und Blattgemüse, Erdboden, Staub, Abwischproben, Schnee, Niederschlag etc. Wichtig



ist, dass die Probe sowohl bezüglich Probenentnahmestelle als auch bezüglich des Probenmaterials repräsentativ ist.

Auf eine aufwändige Probenaufbereitung, wie sie beim Routinemessprogramm vorgesehen ist, kann verzichtet werden. Sinnvoll sind lediglich ein Homogenisieren bei Erdbodenproben und ein Zerkleinern bei Pflanzen. Bei Gemüse ist zudem ein Rüsten, d. h. Herrichten wie für den Verzehr, angezeigt, indem die nicht essbaren Pflanzenteile entfernt werden. Proben mit hoher Aktivität sind mit Vorteil gleich bei der Probenentnahme in geeignete, gut schließende Wegwerf-Messgefäße einzufüllen, damit im Labor kein Umfüllen mehr erforderlich ist. Dabei sind Plastikhandschuhe sowie weiteres Schutzmaterial zu verwenden. Für Störfallmessungen sind billige Wegwerf-Messgefäße, z.B. ½- oder 1-Liter-Dosen, den teureren und daher in der Regel mehrfach verwendeten Ringschalen vorzuziehen; sie benötigen auch weniger Platz beim Lagern, und eine Dekontamination kann entfallen.

Bei Boden- und Grasproben ist es wichtig, ein einheitliches Probenentnahmeverfahren und eine einheitliche Probenbehandlung anzuwenden, damit vergleichbare Ergebnisse erzielt werden. Insbesondere ist bei Grasproben die Fläche und die Flächenbelegung (kg/m^2), bei Erdboden die Fläche und die Schichtdicke sowie in beiden Fällen das Frisch- und gegebenenfalls auch das Trockengewicht anzugeben.

Des Weiteren ist dafür zu sorgen, dass bei Probenentnahme und Messung Personen, Messgeräte oder Proben nicht durch Unvorsichtigkeit kontaminiert werden. Dem Strahlen- und Kontaminationsschutz der beteiligten Personen ist Rechnung zu tragen, indem geeignetes Schutzmaterial (vgl. Materialliste in Kapitel 6) mitgenommen und verwendet wird. Die Proben dürfen nur in dichter und nicht kontaminierter Verpackung in das Messlabor gebracht werden. Für Probenaufbereitung bzw. -Vorbereitung ist ein entsprechend ausgerüstetes separates Labor bereitzuhalten, damit dies nicht im Messlabor durchgeführt werden muss. Die Probe ist nur so lange im Messlabor zu belassen, wie es für die Aktivitätsmessung erforderlich ist. Personen, die sich in kontaminiertem Gelände aufgehalten haben, erhalten erst nach gründlicher Kontrolle auf Kontamination (Schuhe, Kleider, Geräte etc.) Zutritt zum Labor. Vor der Analyse der Proben wird mit einem Kontaminationsmonitor die ungefähre Aktivität derselben ermittelt, damit die Probenmenge im Bedarfsfall für die Aktivitätsmessung verkleinert werden kann.

Praktische Hinweise:

- **Gras:** Etwa $1/4$ bis $1/2 \text{ m}^2$ Gras oder Rasen wird mit einer Schere (z. B. Akku-Rasenschere) möglichst nahe am Boden, aber ohne Erde, abgeschnitten und in Plastikbeutel oder Wegwerfdose eingefüllt. Dabei ist bei der Probenbeschreibung die Probenentnahmefläche auszumessen sowie das Flächengewicht in kg Frischgewicht/ m^2 anzugeben.
- **Pflanzen und Gemüse:** Großblättrige Pflanzen und Gemüse, wie z. B. Salat oder Spinat, werden in Plastikbeutel oder Wegwerfdosen eingefüllt, wobei das Frischgewicht zu bestimmen und anzugeben ist. Gemüseproben sind nur in erntereifem Zustand zu erheben und müssen vor der Messung gewaschen und verzehrsbereit gerüstet werden. Das Messergebnis ist auf das kg Frischgewicht (verzehrsbereit) zu beziehen.
- **Boden:** Bodenproben, insbesondere auch dort, wo kein Bewuchs vorhanden ist, oder an den Stellen, wo bereits Grasproben erhoben wurden, werden als $10 \times 10 \text{ cm}^2$ bis etwa $30 \times 30 \text{ cm}^2$ (je nach Aktivität) große Schicht, Schichtdicke ca. 1-2 cm, entnommen, indem mit flacher Schaufel oder Spaten sorgfältig die oberste Bodenschicht abgehoben und in Plastikbeutel oder Wegwerfdosen eingefüllt wird. Dabei sind Fläche und Dichte der erhobenen Schicht anzugeben. Eine Probenaufbereitung ist, falls die Probenentnahme nur Tage oder wenige Wochen nach dem Zwischenfall erfolgt, nicht erforderlich, d. h. die Proben sind mit Steinen und Wurzeln, aber möglichst ohne Bewuchs, in frischem Zustand zu messen. Das Resultat ist in Bq/m^2 anzugeben. Für spätere Untersuchungen und, falls eine höhere Messempfindlichkeit und Reproduzierbarkeit gefordert wird, ist jedoch die Aktivität in Bq/kg Trockengewicht sinnvoller. Dies erfordert jedoch



eine Probenentnahme mit vollständiger Probenaufbereitung, wie sie beim Routineüberwachungsprogramm durchgeführt wird. In der Spätphase nach einem Unfall, d. h. einige Monate bis Jahre danach, sind unter Umständen auch Proben aus verschiedenen Erdschichten, wie 0-2 cm, 2-4 cm, 4-6 cm, etc. von Nutzen, denn sie ermöglichen die Integration der abgelagerten Radioaktivität über die Bodentiefe, d. h. die Bestimmung der gesamten abgelagerten Aktivität und von deren Verteilungsmuster. Diese Angaben sind vor allem dann von Nutzen, wenn Prognosen über die spätere Kontamination der Pflanzen über Wurzel Aufnahme erstellt werden sollen.

- **Abwischproben:** Von glatten, ebenen Oberflächen wie Hausdächern, Mauern, Autos, etc. wird mit befeuchtetem Lappen oder Papier (Filter oder Zellstoff) von einer ausgemessenen Fläche der Staub möglichst vollständig abgewischt und (mit dem Lappen) in eine Wegwerfdose eingefüllt. Die Größe der abgewischten Fläche ist anzugeben.
- **Staubproben:** Auf geteerten oder gepflasterten Straßen oder Plätzen wird der Staub von einer vorher ausgemessenen Fläche zusammengekehrt oder z. B. mit Autostaubsauger weggesaugt und direkt in eine Wegwerfdose eingefüllt. Die beprobte Fläche ist anzugeben.
- **Staubniederschlag oder Regen:** Die Sammlung erfolgt mittels Fotoschalen von beispielsweise 0,5 bis 1 m Seitenlänge. Dies ist allerdings nur möglich, wenn vor einer Freisetzung oder der Ablagerung mit dem Niederschlag genügend Zeit zur Verfügung steht, um die Schalen aufzustellen. Sammelfläche und Sammeldauer sind anzugeben.
- **Niederschlag:** Nach stattgefundenen Niederschlägen können Regenproben (wenn nicht anders möglich) auch aus Pfützen entnommen werden, wobei allerdings die Niederschlagsmenge bekannt sein sollte. Bei der Entnahme von Schneeproben ist gleich zu verfahren wie für die Entnahme von Erdbodenproben. Die beprobte Fläche ist anzugeben.

3.2 Messung

Die Messung der Proben erfolgt in fest installierten Messlabors oder in einem mobilen Labor (Messwagen) mit abgeschirmtem Ge-Detektor. Empfohlen werden als Messgeometrie verschließbare ½- oder 1-Liter-Dosen (allenfalls 1-Liter-Ringschalen) mit gut schließendem Deckel. Bei höheren Aktivitäten können auch kleinere Messbehälter verwendet werden, oder die Proben werden bei geöffneter Bleiabschirmung in 1 m Entfernung als Punktquellen gemessen.

Es ist von Vorteil, die Funktionen von Probenentnahmefahrzeug und Messfahrzeug zu trennen, da Messung und Probenentnahmefahrten ohnehin nicht gleichzeitig durchgeführt werden können und das Messfahrzeug zur Messung nicht in kontaminiertem Gelände stehen soll, sondern in Gegenwindrichtung zur Emissionsquelle. Sinnvoll ist auch eine transportable Messeinrichtung, bestehend aus einem tragbaren Ge-Detektor, einer transportablen, d. h. demontierbaren Bleiabschirmung und einem Vielkanalanalysator mit integrierter Hochspannung und Verstärkern, die behelfsmäßig in einem geeigneten Gebäude vor Ort in Betrieb genommen wird. Für den Transport muss die Bleiabschirmung genügend fest am Boden des Fahrzeuges verankert sein, sodass sie bei einem Unfall nicht zu Verletzungen führen kann (vgl. auch LB 3.2.6).

Vor der Analyse der Probe mit dem Ge-Detektor ist mit einem Kontaminationsmonitor oder einem Dosisleistungsmessgerät die Größenordnung der Aktivität zu ermitteln. Die Proben werden während einiger Minuten gemessen, mindestens aber so lange, bis im Gammaskpektrum die Linien die zu einer Auswertung notwendige Anzahl Impulse aufweisen. Die Auswertung der Gammaskpektren erfolgt mit der im Vielkanalanalysator eingebauten Software oder durch eine kommerzielle Software im angeschlossenen PC. Diese sollte auch eine Berechnung der statistischen Zählunsicherheit sowie die Bestimmung von Erkennungsgrenzen und Nachweisgrenzen umfassen, die letzteren auch für wichtige Nuklide, die nicht nachgewiesen wurden. Des Weiteren ist eine Korrektur der Selbstabsorption vorzunehmen und das Ergebnis auf den Zeitpunkt der Probenentnahme zu berechnen. In einem Störfall können die Gammaskpektren u. U. sehr



viele Linien enthalten, sodass die Auswertung möglicherweise länger dauern wird als die eigentliche Messung. Man sollte sich daher auf die wichtigsten Linien der Hauptnuklide beschränken, die Spektren aber auf einem geeigneten Datenträger für eine spätere ausführlichere Auswertung archivieren. Es ist deshalb sehr nützlich, wenn möglichst rasch der Nuklidvektor der Freisetzung bekannt ist.

Wichtig ist auch eine gewisse Redundanz bei den Mess- und Auswertegeräten durch Bereithalten von Reserve-Detektor und Messelektronik. Für den äußersten Notfall sollte auch noch die manuelle Auswertung, d. h. Ablesen von Peakflächen (cps) und Peakposition (keV) vom Bildschirm des Vielkanalanalysators und weitere Auswertung mittels Taschenrechner geübt werden. Dazu gehören auch alle zur Auswertung notwendigen Hilfsmittel wie Katalog der Gamma-Linien, Kurven der Ansprechwahrscheinlichkeit des Detektors für die verwendeten Messgeometrien sowie Tabellen zur Zeit- und Selbstabsorptionskorrektur. Letztere ist besonders bei Proben geringer Dichte (z. B. locker eingefüllten Grasproben) angezeigt, falls der Detektor mit wässriger Lösung kalibriert wurde. Weitere sinnvolle Unterlagen sind Bedienungsanleitung für Messgeräte und Rechner. Nach jeweils einigen Messungen sollte man sich durch eine Nulleffektmessung vergewissern, dass der Detektor nicht kontaminiert wurde. Die gemessenen Proben sind nicht im Messlabor zu lagern. Es ist zu bedenken, welche Proben als Belege oder für weitere Analysen (z. B. Strontium- oder Plutonium-Bestimmungen) aufzubewahren sind.

3.3 Kalibrierung

Die Kalibrierung erfolgt mit Standardlösungen in derselben Messgeometrie (z. B. 1-Liter-Ringschale, 1/2- oder 1-Liter-Dose, kleine Schale, 100 ml-Weithalsflasche etc.). Für die Messung von Proben mit von Wasser stark abweichender Dichte wie z.B. Erde oder Gras, sind entsprechende Koeffizienten oder Kurven für die Selbstabsorptionskorrektur bereitzuhalten, ebenso für die gebräuchlichsten Messgeometrien, im weiteren für Punktquellen in 1 m Abstand vom Detektor.

3.4 Messunsicherheit und erreichbare Nachweisgrenze

Die gesamte Messunsicherheit setzt sich aus den Beiträgen der Probenaufbereitung und denjenigen der Messung zusammen, d. h. Zählstatistik und Beiträge zur Unsicherheit aus Wägung, Kalibrierung, Auswertesoftware und verwendeten kernphysikalischen Daten, etc. (Details siehe internationale Norm DIN ISO 11929 [2], siehe LB 3.1.7 und LB 5.5). Während sich der Anteil der Zählstatistik einfach errechnen lässt, müssen die anderen Beiträge aufgrund der Erfahrungen (z. B. aus Ringversuchen) abgeschätzt und daraus ein Unsicherheitsbudget berechnet werden.

Gegenüber den Messungen im Routinemessprogramm ergeben sich für die Schnellmessungen nach Störfällen zwar höhere Nachweisgrenzen, die Messung ist aber immer noch empfindlich genug. Beispielsweise ist bei einer Messdauer von nur zehn Minuten gegenüber 900 Minuten bei der Routinemessung die Nachweisgrenze um einen Faktor 10 höher. Für ^{131}I ergibt sich für einen 30 %-HPGe-Detektor mit 1-Liter-Ringschale bei einer Messzeit von 1.000 Minuten eine Nachweisgrenze von rund 0,5 Bq (berechnet nach DIN ISO 11929, Teil 5, mit $k_{1-\alpha} = 3$ und $k_{1-\beta} = 1.6$); für ^{137}Cs etwa das 2- bis 4-fache.

Umgerechnet auf eine Erdprobe von 30 cm x 30 cm (900 cm²) mit 1 cm Schichtdicke (d. h. rund 1 Liter Probenvolumen) entspricht dies 50 Bq/m² für ^{131}I und 100 bis 200 Bq/m² für ^{137}Cs , womit die eingangs gestellte Forderung von 100 - 200 Bq/m² erfüllt ist. Werden kleinere Flächen beprobt, z. B. 10 cm x 10 cm (100 cm²) mit 1 cm Schichtdicke (d. h. 100 ml Probenmenge) ist zwar die Nachweisgrenze für die Probe etwas besser, wegen der 10-mal kleineren Probenentnahmefläche aber insgesamt schlechter. Außerdem sind die Proben in diesem Fall u. U. nicht mehr genügend repräsentativ.

Für Pflanzen (Gras) liegt die Nachweisgrenze in derselben Größenordnung. Für Gras kann von rund 2,5 kg Frischmasse pro m² oder 0,3 kg Trockenmasse pro m² ausgegangen werden. Bei einer Dichte von 0,3 g/cm³ für getrocknetes Gras entspricht dies einem Probenvolumen von 1 Liter. Für die Messung in getrockneter Form



erreicht man somit für ^{131}I eine Nachweisgrenze von $0,5 \text{ Bq/m}^2$ und für ^{137}Cs von 1 bis 2 Bq/m^2 . Für die Messung in frischer Form beträgt die Nachweisgrenze etwas das 10-Fache.

4 Bewertung des Verfahrens

Das Verfahren (d. h. Probenentnahme im Feld, Probenmessung im Labor oder Messfahrzeug mit hochauflösender Gammaskpektrometrie) ermöglicht es, bei nur geringem Arbeitsaufwand in Bezug auf Probenentnahme, Probenvorbereitung und Messung rasch eine qualitative und quantitative Bestimmung der nach einem Störfall auf dem Boden oder dem Bewuchs abgelagerten Radioaktivität (Nuklidvektor und Flächenaktivität) vorzunehmen. Damit verfügt die Einsatzleitung (Katastrophenstab) über die nötigen Grundlagen für Dosisprognosen und Entscheidungsgrundlagen für die Planung von Schutzmaßnahmen für die Bevölkerung.

Zusätzlich zu den bereits für die Durchführung des Routinemessprogramms vorhandenen Geräten, Instrumenten und Verbrauchsmaterialien sind, außer der in Kapitel 6 aufgelisteten Ausrüstung des Probenentnahmefahrzeuges, keine zusätzlichen Anschaffungen erforderlich.

5 Dokumentation

Die Gammaskpektren sind in geeigneter Form auf Datenträger für eine spätere Auswertung zu archivieren. Dabei sind auch alle weiteren Angaben über Probenentnahme (Ort [Koordinaten], Datum, Zeit, Menge, Fläche etc.), Probenvorbereitung (Frisch- und Trockenmasse) und Messung (Detektor, Messgeometrie, Probenvolumen, Messdauer, Start der Messung) festzuhalten. Nützlich sind auch Angaben über den Zeitpunkt des Durchzuges der radioaktiven Wolke und, falls stattgefunden, die Menge des Niederschlages. Zur Dokumentation dienen auch Karten vom Gebiet der Probenentnahmestellen, u. U. ergänzt durch Fotos. Es empfiehlt sich, für diese Messungen geeignete Meldeformulare vorzubereiten, in die alle notwendigen Informationen eingetragen werden.

6 Besonderheiten im Störfall - Materialliste für das Probenentnahmefahrzeug

- Kontaminationsmonitor und Dosisleistungsmessgerät (mit Reservebatterien) in Plastikbeuteln.
- Persönliche Dosimeter mit Warnschwelle für alle beteiligten Personen.
- Material zur Probenentnahme: Plastikbeutel (verschiedene Größen) mit Clips zum Verschließen, dicht schließende Plastikdosen von 1/2 Liter Volumen (kalibrierte Messgeometrie), Schaufel, Sieb, Spaten, Gartenschere, Plastikeimer, Handbesen mit Schaufel, Papier- oder Zellstofftücher für Abwischproben, dazu Wasser oder Alkohol, Messband, Fotoschalen (ca. $50 \times 70 \text{ cm}^2$, mit Rand von 5 bis 10 cm), eventuell Autostaubsauger, Schnüre, Schere, Messer, Markierstifte, Anhänge- und Klebeetiketten, Klebestreifen, Schreibgeräte, Notizpapier, Küchen- oder Feder-Waage.
- Weitere nützliche Gegenstände: Karten, Taschenlampe, Taschenrechner, Mobiltelefon oder Smartphone mit GPS, Fernglas, Fotoapparat, Liste mit wichtigen Telefonnummern, Ausweise; das Probenentnahmefahrzeug sollte (für die Polizei) speziell als solches gekennzeichnet sein.



7 Literatur

- [1] Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI), GMBI. Nr. 29 vom 19.08.1993, S. 502-528 (mit den Anhängen A und D) und GMBI. Nr. 9/10 vom 20.03.1996, S. 195-246 (mit den Anhängen B, C1 und C2)
- [2] DIN ISO 11929 Bestimmung der charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und Grenzen des Vertrauensbereichs) bei Messungen ionisierender Strahlung – Grundlagen und Anwendungen“ (ISO 18589-6:2009), Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin, 2010
- [3] Wilfrid B. Mann et al.: A Handbook of Radioactivity Measurements Procedures, National Council on Radiation Protection Measurements, NCRP-Report Nr. 58, 2nd Ed. (1985)
- [4] W. B. Mann, A. Rytz and A. Spornol: Radioactivity Measurements, Principles and Practice, Pergamon Press, 1990 (Previously published as Vol. 38, No. 8 (1988) I. J. of Applied Radiation and Isotopes).
- [5] Messanleitungen für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt und zur Erfassung radioaktiver Emissionen aus kerntechnischen Anlagen, Hrsg.: Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Urban&Fischer Verlag (Oktober 2000)
- [6] Empfehlungen zur Überwachung der Umweltradioaktivität, Loseblattsammlung des Arbeitskreises Umweltüberwachung im Fachverband für Strahlenschutz. FS-78/15-AKU, ISSN 1013-4506
- [7] Environmental Measurements Laboratory (EML) Procedures Manual, former HASL-300, US Dep. of Energy (27th Ed. Nov. 1990; revised February 1992)

Bitte beachten Sie den Hinweis im Losen Blatt 1.3 „Erläuterungen zur Loseblattsammlung“.