



Überwachung der Radioiod- und Radioaerosolaktivität der Luft mit mobilem Sammler und nachfolgender nuklidspezifischer Auswertung

Bearbeiter: J. Narrog, Hesel, ehem. Umweltministerium Baden-Württemberg, Stuttgart
A. Neu, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe

Inhaltsverzeichnis

1	Zweck der Überwachungsmaßnahme	1
2	Messgröße, Maßeinheit und zu fordernde Nachweisgrenze	1
3	Messverfahren	1
3.1	Probenentnahme und Probenentnahmegesetz	1
3.2	Probenaufbereitung	3
3.3	Messung	4
3.4	Erreichbare Nachweisgrenze und Messunsicherheit	5
4	Bewertung des Verfahrens	6
5	Dokumentation	6
6	Besonderheiten, Bemerkungen	7
7	Literatur	7

1 Zweck der Überwachungsmaßnahme

Bei Störfällen oder Unfällen an Kernkraftwerken können u. U. größere Mengen an radioaktiven Iodisotopen sowie Aerosolen in die Atmosphäre gelangen und eine Gefährungskomponente für die Umgebung darstellen.

Zweck der Überwachungsmaßnahme ist die Ermittlung der Radioiod- und Radioaerosolkonzentration in der Umgebungsluft an ausgesuchten Messpunkten durch Messfahrten.

Das hier dargestellte Verfahren besteht nicht in der gleichzeitigen Iod- und Aerosolmessung während der Probenentnahme, wie z.B. bei einem Messgerät zur kontinuierlichen Luftüberwachung auf Radioiod und -Aerosole [1], sondern in der Probenentnahme am Ort und einer nachträglichen hochauflösenden gammaspektrometrischen Ausmessung, entweder unmittelbar anschließend im Messwagen oder in einem fahrbaren oder ortsfesten Labor.

2 Messgröße, Maßeinheit und zu fordernde Nachweisgrenze

Messgröße ist die durch Gammaskpektrometrie ermittelte Aktivitätskonzentration der Radioaerosole und der Radioiodisotope, insbesondere die des Iod-131. Die Maßeinheit ist Bq/m^3 . Die erforderliche Nachweisgrenze beträgt sowohl für Iod-131 als auch für die Aerosole 20 Bq/m^3 , der obere Messbereichsendwert beträgt jeweils 10^8 Bq/m^3 [2]. Diese Werte gelten gleichermaßen für Messungen des Betreibers und der unabhängigen Messstelle.

3 Messverfahren

3.1 Probenentnahme und Probenentnahmegesetz

Die Probenentnahme erfolgt an ausgewählten Messpunkten in der Umgebung der kerntechnischen Anlage z. B. im Zuge der Messfahrten mittels eines speziellen Probenentnahmegesetzes. Das im Handel erhältliche Probenentnahmegesetz [3] erfüllt die folgenden, vorher festgelegten Spezifikationen [4]:



LOSEBLATTSAMMLUNG FS-78-15-AKU

EMPFEHLUNGEN ZUR ÜBERWACHUNG DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Blatt: 3.2.4

Seite: 2 von 7

Stand: Februar 2009

- a) Zur Probenentnahme wird eine für Atemmasken handelsübliche Filterpatrone zur Abscheidung von Schwebstoffen, radioaktivem Iod und dessen Verbindungen verwendet, z. B. die Filterpatrone Typ „X-plore® Rd40“ oder „620 P3D“ der Firma Dräger, oder die Filterpatrone „Kombinationsfilter 89 mit Reaktor P3“ der Firma MSA-Auer. Das Schüttvolumen der Aktivkohle beträgt 0,3 Liter. Vorteile sind: relativ niedriger Preis, jederzeitige Nachlieferung bis zum turnusmäßigen Austausch (alle drei Jahre), einfache Montage durch Schraubgewinde, unproblematische Handhabung der beaufschlagten Filter und Vermeidung von Kontaminationen wegen des vorhandenen Gehäuses, auch bei ungeübtem Personal. Die zeitliche Frist der Filterpatrone für die Verwendung zu Atemschutzzwecken darf durchaus abgelaufen sein, ohne dass die Nutzung als geeignetes Filter beeinträchtigt wird.
- b) Das Gebläse weist eine Saugleistung von 3 m³ Luft/Stunde durch das beschriebene Filter auf.
- c) Unabhängig von der u. a. vom Verschmutzungsgrad des Filters abhängigen Saugleistung erfolgt nach einer vorgewählten Durchflussmenge von 0,5 m³ Luft (± 2 %) eine automatische Abschaltung. Dadurch ist eine gleichbleibende und einfache Umrechnung auf die Aktivitätskonzentration in der Luft gewährleistet.
- d) Das Gerät ist - da für mobilen Einsatz vorgesehen - an die Stromversorgung von Kraftfahrzeugen anschließbar (12-V-Kfz-Akku, Leistungsaufnahme 100 W).

Außerdem sind folgende Varianten lieferbar oder wurden im Eigenbau gefertigt:

- A) Anstelle der Kfz-Stromversorgung ein tragbares Notstrom-Aggregat zur Stromversorgung mit 220-V-Spannung (mit Benzin oder Diesel betrieben).
- B) Anstelle einer Filterpatrone für Atemmasken ein kombiniertes Filter, das aus einem vorgeschalteten Aerosolfilter und einem nachgeschalteten Aktivkohlebett besteht. Dabei ist allerdings darauf zu achten, dass die Aktivkohle in diesem kombinierten Filter ein Schüttvolumen von mindestens etwa 150 ml und einen k-Faktor bei Umgebungsbedingungen (max. 30°C, 70 % Luftfeuchte) $k_u \geq 12$ aufweist [5]. Dieses Schüttvolumen ist erforderlich, um die ausreichende Verweilzeit

$$\tau = \frac{\text{Volumen der Aktivkohle}}{\text{Luftdurchsatz}} = \frac{150 \text{ ml}}{3000 \text{ l/h}} = 0,18 \text{ s}$$

zu gewährleisten. Der k-Faktor

$$k = \frac{\log. \text{ Dekontaminationsfaktor}}{\text{Verweilzeit}}$$

ist hingegen ein Leistungsindex für die Qualität der Aktivkohle [6].

- C) Flexible Verbindung von handelsüblicher Filterpatrone oder kombiniertem Filter (Aerosole, Iod) mit einem Luft ansaugendem Gerät durch Plastikschlauch. Dies hat den Vorteil, dass das ca. 23 kg schwere Gerät im Fahrzeug verbleiben kann und nur die Filterpatrone im Freien aufgestellt oder aufgehängt werden muss.
- D) Ein- und Ausschalten über Funksteuerung: Eine moderne Variante bedient sich des Mobilfunks und ist mit Mobiltelefon bestückt. Dann können derartige Geräte - vorsorglich ausgestattet mit neuem Filter - an geeigneten Orten aufgestellt und nach Bedarf ein- sowie ausgeschaltet werden.



3.2 Probenaufbereitung

Das Filter für eine Atemmaske (ebenso wie ein kombiniertes Aerosol- / Iodfilter) kann als Ganzes - nach Umhüllung mit einem Plastikbeutel als Kontaminationsschutz - in einer zylinderförmigen, hinreichend großvolumigen Messanordnung ohne jede weitere Bearbeitung gammaspektrometrisch gemessen werden.

Ein Öffnen der Filterpatrone sowie eine Trennung der beiden Filter erfordert etwas mehr Aufwand und ist für orientierende Messungen oft nicht nötig, da meistens das gesamte abgeschiedene Iod festgestellt werden soll und elementares Iod sich vorzugsweise, abhängig von der Transportdauer in der Atmosphäre, durch Anlagerung an Partikel auch auf dem vorgeschalteten Aerosolfilter befinden wird. Nach Zwischenfällen mit sehr geringer Iodfreisetzung über den Kamin oder sonstigen Iodfreisetzungen mit längeren Transportwegen bis zum Immissionsort ist zu erwarten, dass das freigesetzte, elementare Iod auf seinem Weg in der Atmosphäre teilweise Verbindungen eingeht oder sich anlagert, so dass am Probenentnahmeort nur noch ein Bruchteil in elementarer Form ankommt. Lediglich zur Beantwortung der Frage, welche Anteile des angesammelten Iods in welcher Form vorliegen, wäre eine Trennung der Filter nützlich (siehe unten), jedoch nicht unbedingt erforderlich, da auch die Möglichkeit besteht, die Filterpatrone um 180° zu drehen (auf den Kopf zu stellen) und ein zweites Mal zu messen. Wenn sich dabei kein Unterschied ergibt, befindet sich das Iod im Aktivkohlefilter; wenn hingegen alles Iod im Aerosolfilter adsorbiert worden ist, wird der Messwert um etwa den Faktor 3 kleiner sein, sofern - wie bei geringen Aktivitäten üblich - noch ohne Abstand (direkt auf dem Detektor) gemessen werden kann.

Eventuell vorhandene äußere Kontaminationen an den handelsüblichen Filterpatronen sind zwar leicht entfernbar, es empfiehlt sich dennoch, die gebrauchten Filterpatronen in Klarsichtbeuteln zu verwahren, die außen kontaminationsfrei sein müssen, und sie so auszumessen. In jedem Fall ist ein Kontaminationsschutz des Detektors selbst vorzusehen (z.B. Plexiglasabdeckung, Polyäthylenbeutel als Haube, abziehbare Haftfolie o. ä.).

Das kombinierte Atemschutzfilter weist zwar nicht die Vorzüge einer Atemschutzpatrone, wohl aber den Vorteil einer Ausmessung in einer kleinvolumigen Messanordnung auf. Die Möglichkeit der einfachen Trennung der Filter, die Iod oder Aerosole zurückhalten, ist gegeben.

Das kombinierte Atemschutzfilter eignet sich daher im Allgemeinen nur für qualifizierte Messtrupps, während die Filterpatrone für Atemmasken mit ihrer einfachen und robusten Handhabung auch den Möglichkeiten von Strahlenspürtrupps entspricht.

Im Verlauf der Messungen nach dem Tschernobyl-Unfall erwies sich die (eingangs kurz erwähnte) Trennung der Filterbestandteile gemäß der im Folgenden beschriebenen Vorgehensweise oft als zweckmäßig und gut durchführbar. Sie ermöglicht es, die in der Aktivkohle abgeschiedenen organischen und elementaren Radioiodkomponenten eindeutig und quantitativ zu bestimmen.

Hierzu werden mit geeignetem Werkzeug (Körner und Durchschlag,) seitlich an der Filterpatrone ein oder zwei in Achsrichtung übereinanderliegende Löcher von ca. 5 bis 7 mm Durchmesser angebracht (siehe Abb. 1), wobei das erste Loch beim Fertigen des zweiten Loches vorübergehend mit Tesafilm o. ä. abgedeckt werden sollte, um ein Herausspritzen der Aktivkohleteilchen zu vermeiden. Die Kohleschüttung der so geöffneten Kammer lässt man vorsichtig, d.h. ohne Staubeentwicklung, in einen handelsüblichen Plastikbeutel mit Kordelzug rieseln, wobei die hinreichende Homogenität der Probe leicht zu erreichen und durch den Vorgang an sich nahezu schon gegeben ist. Der Plastikbeutel mit der Aktivkohle (ca. 1/3 Liter) wird in eine wiederverwertbare Passform, z. B. in eine abgeschnittene 1-Liter-Kautexflasche, verbracht und in bekannter, d. h. kalibrierter Geometrie gammaspektrometrisch ausgemessen.

Hinweis: Es gibt Atemschutzfilter, bei denen der Aktivkohlebereich in zwei hintereinander liegende Kammern unterteilt ist, so dass zum Entleeren zwei in Strömungsrichtung hintereinander angeordnete Löcher angebracht werden müssen.

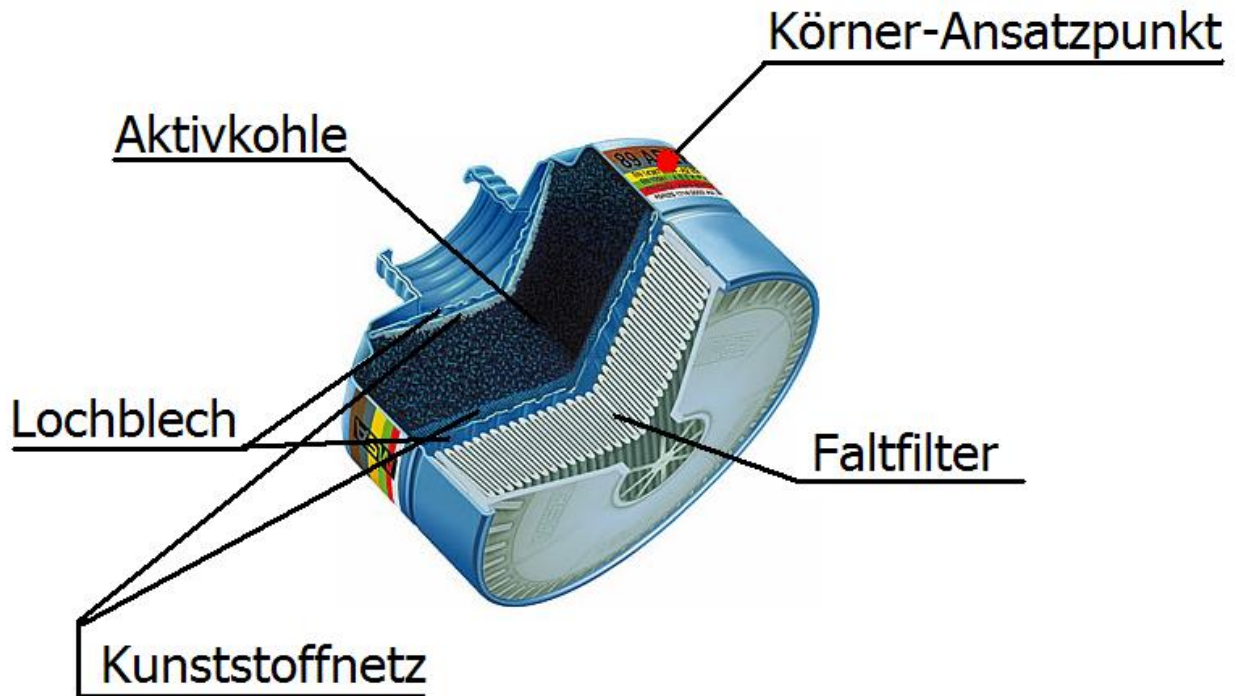


Abb. 1: Filterpatrone für Atemschutzfilter mit nur einer Aktivkohlekammer. In dieser Skizze des Aufbaus einer Filterpatrone der Auergesellschaft bezeichnet der Begriff Faltfilter ein gefaltetes Aerosolfilter.

3.3 Messung

Zur Messung kann jedes hochauflösende Gamma-Spektrometer verwendet werden, sofern der Zählwirkungsgrad des Messkopfes bezüglich der Filterpatrone bzw. des Filters geeignet und bekannt ist. Dies ist beim derzeitigen Stand der Entwicklung optimal nur mit einem Germanium-Halbleiterdetektor in einem ortsfesten oder gut ausgestatteten fahrbaren Labor oder Messwagen möglich. Für die Verwendung im Messwagen kommt hauptsächlich ein tragbarer Germaniumdetektor in Frage. Dieser wiegt mit flüssigem Stickstoff für maximal 24 Stunden typischerweise etwa 8 kg (ohne Elektronik und Abschirmung). Die Abschirmung - ein 3 cm starker Bleizylinder - hat ein Gewicht von etwa 12 kg. Zuzüglich der Elektronik wiegt die Messeinheit insgesamt ca. 25 bis 30 kg. Wenn eine Stromversorgung vorhanden ist, eignen sich auch elektrisch gekühlte Germaniumdetektoren.

Alternativ könnte, z. B. für Relativmessungen, als Detektor auch ein NaI- oder LaBr-Kristall in Betracht kommen, der zwar bezüglich des Auflösungsvermögens der Gamma-Linien erhebliche Nachteile aufweist, andererseits jedoch sofort einsatzbereit ist, weil er nicht mit flüssigem Stickstoff gekühlt werden muss.

Außer den Radioiodisotopen werden die im Aerosolfilter der Filterpatrone quantitativ absorbierten Radioaerosole gammaspektrometrisch miterfasst. Deshalb können in der Regel in einem Messvorgang sowohl die Radioiodisotope als auch die anderen radioaktiven Aerosole gemessen werden. Wegen der natürlichen Aerosolaktivität (Radon-Folgeprodukte auf dem Filter) wird, wenn es auf das Erreichen der geforderten Nachweisgrenze ankommt, eine Abklingzeit von wenigstens einer Stunde nach Ende der Sammelzeit bis zum Beginn der Messung empfohlen.

Falls größere Aktivitäten auf dem Filter aufgesammelt wurden und zu bestimmen sind, ist selbstverständlich die Totzeit der Messanordnung zu berücksichtigen. Erforderlichenfalls ist die Intensität der vom Filter ausgehenden Strahlung in definierter Weise abzuschwächen (z. B. größere Abstände, Ausblendung, Unterteilung, kürzere Sammelzeiten, geringere Saugleistung).



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

Blatt: 3.2.4
Seite: 5 von 7
Stand: Februar 2009

3.4 Erreichbare Nachweisgrenze und Messunsicherheit

Die erreichbare Nachweisgrenze hängt insbesondere von der Saugleistung durch die Filterpatrone und von der Sammelzeit, von der Güte des verwendeten Gamma-Spektrometers, der Messgeometrie sowie der Messzeit ab. Für die Nachweisgrenze für I-131 mit dem Faktor 4,6 für die statistische Sicherheit [7] ($R_{\min} = 4,6 \cdot \sqrt{2R_0/t_m}$) gilt

$$C_{\min} = \frac{4,6 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{R_0/t_m}}{h \cdot \eta \cdot f \cdot s \cdot t_s},$$

- wobei R_0 = Nulleffekt über der Basis der 364-keV-Gamma-Linie in cps (z. B. $R_0 \sim 0,8$ cps mit gut abgeschirmtem NaI-Kristall für die 364-keV-Gamma-Linie des I-131);
 t_m = Messzeit in s;
 h = Gamma-Emissionswahrscheinlichkeit (in relativen Einheiten);
für die 364-keV-Gamma-Linie des I-131 ist $h = 0,82$ (d. h. 82 %).
 η = Zählwirkungsgrad des Detektors bei 364 keV für die Messgeometrie (in relativen Einheiten); z. B. wurde bei einem Ge-Detektor von ca. 12 % relative Efficiency für ein planares Glasfaserfilter von 5 cm Durchmesser oder eine kleinvolumige Probe, direkt aufgelegt, ein Wirkungsgrad $\eta \sim 0,035$ gemessen; der Wirkungsgrad muss jedoch für jeden Detektor und jede benützte Geometrie zweckmäßigerweise auch für einen größeren Abstand (z. B. 0,3 m) eigens bestimmt werden und bekannt sein.
 f = Abscheidegrad des Filters (~ 1)
 s = Luftdurchsatz, Saugleistung in m^3/h (z. B. $3 m^3/h$)
 t_s = Sammel- oder Saugzeit (z. B. 10 Minuten = $1/6$ h)
 $s \cdot t_s$ = Durchflussmenge in m^3 (z. B. $0,5 m^3$)
 C_{\min} = erreichbare Nachweisgrenze der I-131-Aktivitätskonzentration der Luft in Bq/m^3

Für einen tragbaren Germanium-Detektor mit leichter Abschirmung (wie in 3.3 genannt) wurden z. B. folgende Werte ermittelt:

- R_0 = 0,3 cps
 η = 0,035 für ein planares Filter von ca. 5 cm Durchmesser
 η = 0,018 für die Filterpatrone einer Atemmaske.

Damit erhält man folgende Nachweisgrenzen der I-131-Aktivitätskonzentration in der Luft (mit $0,5 m^3$ durchgesetztem Luftvolumen):

Bei einem planaren Filter nach einer Messzeit von 10 Minuten

$$C_{\min} = \frac{4,6 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{0,3/600}}{0,82 \cdot 0,035 \cdot 1 \cdot 0,5} Bq/m^3 \approx 10 Bq/m^3,$$

bei einer Filterpatrone nach einer Messzeit von 10 Minuten

$$C_{\min} = \frac{4,6 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{0,3/600}}{0,82 \cdot 0,018 \cdot 1 \cdot 0,5} Bq/m^3 \approx 20 Bq/m^3$$

Die geforderte Nachweisgrenze von $20 Bq/m^3$ ist demnach bei der benutzten Saugleistung von $3 m^3/h$ und einer Saugzeit von 10 Minuten, abhängig von Detektor und Messgeometrie, mit einer Messzeit von etwa 10 Minuten erreichbar. Allerdings wurde vorausgesetzt, dass sich andere Radionuklide, die möglicherweise



ebenfalls im Filter angesammelt wurden und äußere Einstrahlung nicht störend bemerkbar machen. Auf jeden Fall ist neben einer Erhöhung der Saugleistung eine Vergrößerung der Sammelzeit effektiver, und zwar etwa quadratisch wirksamer als eine Vergrößerung der Messzeit, da für das Erreichen der Nachweisgrenze die Beziehung $s \cdot t_s \cdot \sqrt{t_m} = \text{constant}$ gilt.

Zur Ermittlung der in der Luft tatsächlich vorliegenden I-131-Aktivitätskonzentration C ist in der oben angegebenen Formel für C der Zähler ($4,6 \cdot \sqrt{2R_0 / t_m}$) durch die über der 364-keV-Gamma-Linie des I-131 gemessene Nettoimpulsrate (ebenfalls in cps) zu ersetzen, so dass folgt:

$$C = \frac{R - R_0}{h \cdot \eta \cdot f \cdot s \cdot t_s}$$

Der Anteil der Probenentnahme an der Gesamtmessunsicherheit kann relativ gering gehalten werden. Die vorher eingestellte Durchflussmenge der Luft wird - wie erwähnt - auf $\pm 2\%$ genau eingehalten. Der Abscheidegrad der Filterpatrone für Aerosole einschließlich aerosolgebundenem und elementarem Iod liegt über 99,9%, aber auch für organisches Iod noch um 99%. Bei hoher Luftfeuchte wird allerdings weniger Methyljodid abgeschieden; dieses wäre gegebenenfalls zu beachten.

Bei der Probenentnahme sollte besonderes Augenmerk darauf gerichtet werden, dass die Luftprobe repräsentativ für das fragliche Gebiet ist. So sollte die Luftprobe z. B. nicht im Unterholz eines Waldes genommen werden, wo mit einer mangelhaften Luftdurchmischung und Vorfilterung durch Blätter, Nadeln etc. zu rechnen ist.

4 Bewertung des Verfahrens

Das Verfahren ermöglicht ohne großen zusätzlichen Zeitbedarf die Luftprobenentnahme an den ausgewählten Messpunkten. Als vorteilhaft ist die Iod- und Aerosolprobenentnahme in einem Arbeitsgang anzusehen.

Weitere Vorteile sind die Flexibilität und die relative Preiswürdigkeit des einfachen Probenentnahmegertes, das auch durch weniger qualifiziertes Personal bedient werden kann.

Bei größeren Freisetzungen ist es wegen der Gefahr der Kontamination des Messgerätes ohnehin zweckmäßig, in Bereichen höherer Luftkontamination nur Dosisleistungen sowie gegebenenfalls Oberflächenkontaminationen zu messen, darüber hinaus jedoch lediglich Proben, z. B. auch Filterproben aus kleinem, definiertem Luftvolumen mit Hand-Saugpumpen zu nehmen und die Messapparaturen zur Ausmessung dieser Proben außerhalb des betroffenen Gebietes zu verwenden.

5 Dokumentation

Die Kennzeichnung der Filter erfolgt zweckmäßigerweise durch vor der Probenentnahme angebrachte Aufkleber gemäß dem Los Blatt 3.2.7 [8].

Alle Parameter, die für die Bestimmung der Messgrößen und die Auswertung von Bedeutung sind, sollten möglichst in einem vor der Messfahrt vorbereiteten Protokollblatt erfasst werden. Dies ist insbesondere zur Nachvollziehbarkeit und ggf. Kontrolle der Ergebnisse von Bedeutung. Auch das Notieren besonderer Begebenheiten am jeweiligen Messort kann bei der Aufklärung von ungewöhnlichen oder unerwarteten Ergebnissen sehr nützlich sein.



6 Besonderheiten, Bemerkungen

Für Störfallmessungen, bei denen Alterungs- und Vergiftungserscheinungen der Filter ausgeschlossen werden können und die Luftfeuchte wegen der kurzen Zeit keine so wesentliche Rolle spielt, reicht - wie bereits in 3.1 erwähnt - eine Verweildauer des Iods von 0,18 s im Aktivkohleteil aus.

Da das Schüttvolumen der Aktivkohle der Filterpatrone nicht nur 150 ml, sondern tatsächlich mehr als 0,3 l beträgt, kann die maximale Saugleistung eines für Atemschutzfilter und ähnliche Filter geeigneten Gebläses etwa 6 m³/h betragen. Die Saugleistung von 6 m³/h würde eine Durchflussmenge von 1 m³ Luft in zehn Minuten ermöglichen. Damit könnte die erforderliche Nachweisgrenze von 20 Bq/m³ bereits mit einer Messzeit von fünf Minuten erreicht werden. Dies hätte bei Störfallmessungen, bei denen es bekanntlich auf Schnelligkeit ankommt, Vorteile.

Eine Ausdehnung der Sammelzeit von zehn auf zwanzig Minuten hätte bei einer Saugleistung von 3 m³/h allerdings dieselbe Wirkung (Luftmenge 1 m³). Bei leichteren Störfällen erscheint eine Ausdehnung der Sammelzeit durchaus vertretbar; bei schwereren Störfällen, bei denen zehn Minuten Sammelzeit ein oberes Limit darstellen, ist hingegen das Erreichen der Nachweisgrenze wenig bedeutsam.

Sofern radioaktive Aerosole und Iod-131 routinemäßig entsprechend den Losen Blättern 3.1.4 und 3.1.5 gemessen werden, können unter Umständen auch die Störfallmessungen entsprechend - allerdings mit kurzer Sammelzeit - durchgeführt werden. Zwar ist hier der Luftdurchsatz für diesen Zweck relativ gering, jedoch wird dies durch die sehr empfindliche Messapparatur größtenteils ausgeglichen. Diese Messapparatur kann allerdings - u. a. wegen der schweren Abschirmung - nur ortsfest oder in einem Spezialfahrzeug installiert werden.

7 Literatur

- [1] R. Aures, J. Bieringer, E. Frenzel, A. Neu, Th. Steinkopff, H. Völkle, H. Wershofen: Ausgewählte Verfahren zur Überwachung der bodennahen oder höheren Atmosphäre auf gammastrahlende, aerosolgebundene Radionuklide und gasförmiges Iod im Routinebetrieb sowie im Störfall: Loseblatt-sammlung des AKU, Blatt 3.4.7 vom Juli 2007; FS-78-15-AKU;
- [2] Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: "Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen" GMBI. Nr. 14-17 vom 23.3.2006, S. 254ff
- [3] mab Solutions - Münchener Apparatebau GbR, Dettenheim, früher: Firma Münchener Apparatebau mab-Strahlenmesstechnik Ottobrunn
- [4] Besprechung zwischen J. G. Wilhelm (KfK), B. Funsch (LfU Bad-Württ.), Dr. Friedrich (LfU Bad-Württ.) und J. Narrog am 11.02.1976
- [5] J. G. Wilhelm: Persönliche Mitteilung
- [6] J. G. Wilhelm: Iodfilter in Kernkraftwerken, Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Luxemburg, 1976, Nr. V/1531/76-D, S. 56
- [7] J. Narrog, W. Kukla, A. Neu, M. Rietschel, E. Rose, M. Vilgis, M. Winter: Berichterstattung gemäß der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen, Loseblattsammlung des AKU, Blatt-Nr. 2.4, FS-78-15-AKU
- [8] D. Wittekind: Einheitliche Erfassung und Kennzeichnung der Probenahme- und Messbedingungen bei Messfahrten, Loseblattsammlung des AKU, Blatt-Nr. 3.2.7, FS-78-15-AKU

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