

	DIN ISO 20044 (VDE 0493-1-44)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etx Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE

ICS 13.040.01; 17.240

Einsprüche bis 2022-01-12

Entwurf

**Bestimmung der Radioaktivität in der Umwelt –
Luft: Aerosole –
Messverfahren mittels Sammlung auf Filtern
(ISO/CD 20044:2021);
Text Deutsch und Englisch**

Measurement of radioactivity in the environment –
Air: aerosols –
Test method using sampling by filter media
(ISO/CD 20044:2021);
Text in German and English

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-11-12 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 109 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE
DIN-Normenausschuss Radiologie (NAR)

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

Inhalt	Seite
Nationales Vorwort.....	5
Vorwort.....	6
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	10
2 Normative Verweisungen	10
3 Begriffe	10
4 Symbole.....	14
5 Kurzbeschreibung.....	15
6 Probenahme	17
6.1 Allgemeines	17
6.2 Kriterien für den Probenahmeort	17
6.3 Kriterien für die Dauer der Sammlung	17
6.4 Kriterien für die Probenahmekonfiguration.....	18
6.5 Kriterien für Filtermedien	20
6.6 Kriterien für die Messung des Luftvolumens und der Strömungsgeschwindigkeit.....	20
7 Von der Probenahme auf Filtern zum Bericht über die zeitversetzte Messung der abgelagerten Aktivität	20
8 Bestimmung der Aktivitätskonzentration in der Luft aus den Ergebnissen der zeitversetzten Messungen	21
8.1 Allgemeines	21
8.2 Modell der Auswertung.....	21
8.3 Relative Standardunsicherheit	21
8.4 Erkennungsgrenze	22
8.5 Nachweisgrenze	22
8.6 Darstellung der Ergebnisse für die Aktivitätskonzentration.....	22
9 Echtzeitmessungen mit einem kontinuierlich messenden Aerosolmonitor	22
9.1 Kontext.....	22
9.2 Beschreibung eines kontinuierlich messenden Aerosolmonitors	23
9.3 Überwachungsbetrieb mit einem kontinuierlich messenden Aerosolmonitor.....	24
10 Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle.....	25
10.1 Allgemeines	25
10.2 Identifikation der Probe, Handhabung und Lagerung	25
10.3 Probenahmekonfiguration	25
10.4 Dokumentation und Berichtswesen.....	26
Anhang A (informativ) Radionuklide in der Atmosphäre.....	27
Anhang B (informativ) Allgemeines zum Verhalten von Aerosolen.....	30

B.1	Allgemeines	30
B.2	Beispiele für in der Umgebungsluft gemessene Partikelgrößen	30
B.3	Verhalten der Aerosole	31
Anhang C (informativ) Beispiel und Charakterisierung eines Lufteinlasses		33
C.1	Beispiel eines Lufteinlasses	33
C.1.1	Prüfbedingungen	33
C.1.2	Charakteristika des geprüften Lufteinlasses	33
C.2	Charakterisierung der Probenahmekonfiguration	34
Anhang D (informativ) Beispiele für Filtereigenschaften		35
D.1	Charakteristika ausgewählter Filter	35
D.2	Druckabfall	36
D.3	Wirksamkeit der Rückhaltung	36
D.3.1	Einfluss der Strömungsgeschwindigkeit der Luft	36
D.3.2	Einfluss der Aerosolgrößen	37
D.3.3	Einfluss der Filterbelegung	37
Anhang E (informativ) Beispiel für einen Proben-Begleitschein		38
Anhang F (informativ) Charakterisierung der Transportstrecke		39
Anhang G (informativ) Beispiel für die Berechnung der Aktivitätskonzentration in der Luft mit zeitversetzter Messung		41
G.1	Beschreibung des Überwachungsverfahrens	41
G.2	Probenahme	41
G.2.1	Allgemeines	41
G.2.2	Tagesprobe	41
G.2.3	Monatsprobe	41
G.3	Bericht über die Messung und die Ergebnisse der Aktivitätskonzentration	42
G.3.1	Tagesprobe	42
G.3.2	Monatsprobe	42
G.3.3	Folgerung	44
Anhang H (informativ) Darstellung der empirischen Parametereinstellung eines kontinuierlich messenden Aerosolmonitors zur Erfassung minimaler Aktivitätskonzentrationen und seiner Ansprechzeit		45
H.1	Beschreibung der Überwachungsmethode	45
H.2	Ergebnisse der Überwachungsmessungen	49
H.2.1	Allgemeines	49
H.2.2	Einfluss durch Radon	49
H.2.3	Einfluss auf die Ansprechzeit	49
H.2.4	Einstellungen für die Nachweisgrenze	49
Literaturhinweise		50

Bilder

Bild 1 – Prinzip der kontinuierlichen Probenahme mit anschließender Messung	16
Bild 2 – Prinzip der kontinuierlichen Probenahme mit simultaner Messung.....	16
Bild 3 – Beispiel einer Probenahmekonfiguration für aerosolgetragene Radionuklide mit einem integrierten Filter.....	19
Bild B1 – Zeitliche Veränderung des AMAD von aerosolpartikelgebundenem ^{131}I und ^{137}Cs in Europa nach dem Fukushima-Daiichi Unfall.....	30
Bild B.2 – Mechanismen der Rückhaltung von Aerosolen auf einem Filter.....	31
Bild B.3 – Einfluss des Aerosoldurchmessers und des Luftdurchsatzes auf die Wirksamkeit der Rückhaltung eines Filters	32
Bild C1 – Beispiel eines Lufteinlasses mit Filter	34
Bild D.1 – Druckabfall über die Filter A, B und C als Funktion der Strömungsgeschwindigkeit der Luft	36
Bild D.2 – Rückhaltung der Filter A, B und C als Funktion der Strömungsgeschwindigkeit der Luft für ein Uranin-Aerosol mit 0,15 μm MMAD.....	37
Bild H.1 – Beta-äquivalente Aktivitätskonzentration (^{137}Cs) mit einer Ansprechzeit von 15 min.....	46
Bild H.2 – Alpha-äquivalente Aktivitätskonzentration (^{239}Pu) mit einer Ansprechzeit von 15 min.....	46
Bild H.3 – Alpha-äquivalente Aktivitätskonzentration (^{239}Pu) mit einer Ansprechzeit von 90 min.....	46
Bild H.4 – Beta-äquivalente Aktivitätskonzentration (^{137}Cs) mit einer Ansprechzeit von 15 min.....	47
Bild H.5 – Alpha-äquivalente Aktivitätskonzentration (^{239}Pu) mit einer Ansprechzeit von 15 min.....	47
Bild H.6 – Alpha-äquivalente Aktivitätskonzentration (^{239}Pu) mit einer Ansprechzeit von 90 min.....	47
Bild H.7 – Beta-äquivalente Aktivitätskonzentration (^{137}Cs) mit einer Ansprechzeit von 15 min.....	48
Bild H.8 – Alpha-äquivalente Aktivitätskonzentration (^{239}Pu) mit einer Ansprechzeit von 15 min.....	48
Bild H.9 – Alpha-äquivalente Aktivitätskonzentration (^{239}Pu) mit einer Ansprechzeit von 90 min.....	48

Tabellen

Tabelle 1 – Ansprechzeit für eine Festfilter-Berechnung für langlebige Radionuklide als Funktion der Messdauer T_C und des Zeitintervalls T_I	23
Tabelle 2 – Ansprechzeit für eine Schrittfilter-Berechnung für langlebige Radionuklide als Funktion der Transitzeit T_T und der Messdauer T_C	24

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument ISO/CD 20044:2021 „Measurement of radioactivity in the environment – Air: aerosols – Test method using filter media sampling“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die ISO erteilten Erlaubnis beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen ISO-Text.

Das internationale Dokument wurde vom SC 2 „Radiological protection“ des TC 85 „Nuclear energy, nuclear technologies, and radiological protection“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme und Abstimmung vorgelegt.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS nur 6 Wochen beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine "JA/NEIN"-Entscheidung möglich ist, wobei eine "NEIN"-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium DKE/GK 851 "Aktivitätsmessgeräte für den Strahlenschutz" der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de), Gemeinschaftsgremium mit dem DIN-Normenausschuss Radiologie (NAR) zuständig.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DKE (www.dke.de) und DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee [oder Projektkomitee] ISO/TC 85, *Nuclear energy, nuclear technologies, and radiological protection*, Unterkomitee SC 2, *Radiological protection* erarbeitet.

Einleitung

Jeder ist natürlicher Strahlung ausgesetzt. Die natürlichen Strahlenquellen sind kosmische Strahlung und natürlich vorkommende radioaktive Stoffe in Boden, Flora und Fauna, einschließlich des menschlichen Körpers. Menschliche Aktivitäten, die Strahlung und radioaktive Stoffe verwenden, tragen zusätzlich zu der Strahlenbelastung aus natürlichen Quellen bei. Einige dieser Aktivitäten, wie Bergbau und Verwendung von Erzen, die natürlich vorkommende radioaktive Stoffe (en: naturally-occurring radioactive materials, NORM) enthalten, und die Energieerzeugung aus der Verbrennung von Kohle, die solche Stoffe enthält, erhöhen die Belastung durch natürliche Strahlungsquellen. Kernkraftwerke und andere kerntechnische Anlagen verwenden radioaktive Stoffe und erzeugen während ihres Betriebs und beim Rückbau radioaktive Ableitungen und Abfall. Die Verwendung radioaktiver Stoffe in Industrie, Landwirtschaft und Forschung nimmt auf der gesamten Erde zu.

Alle diese menschlichen Aktivitäten erhöhen die Strahlenbelastung, die nur einen kleinen Anteil der globalen mittleren natürlichen Strahlenbelastung ausmacht. Die medizinische Anwendung von Strahlung ist die größte und weiter zunehmende menschliche Quelle von Strahlungsbelastungen in entwickelten Staaten. Sie schließt radiologische Diagnose, Strahlentherapie und interventionelle Radiologie ein.

Strahlenbelastung entsteht auch infolge beruflicher Tätigkeiten. Sie tritt sowohl bei Arbeitnehmern in Industrie, Medizin und Forschung auf, die Strahlung oder radioaktive Stoffe verwenden, als auch bei Flugpassagieren und Flugbesatzungen während des Flugs. Die mittlere berufliche Strahlenexposition liegt üblicherweise unterhalb des globalen Mittelwerts der natürlichen Strahlenbelastung (siehe Literaturhinweis 1).

Alle Anwendungen von Strahlung erhöhen so die möglichen Gesundheitsrisiken und Bedenken der Öffentlichkeit. Daher werden diese Belastungen regelmäßig untersucht, um:

- das Verständnis der globalen Niveaus und zeitlicher Trends der Belastung der Öffentlichkeit und der Arbeitnehmer zu erhöhen,
- die zur Belastung beitragenden Komponenten zu ermitteln, um Maßnahmen entsprechend ihrer relativen Bedeutung zu ergreifen,
- aufkommende Aspekte, die eine größere Aufmerksamkeit und weitere Untersuchungen erfordern können, zu identifizieren. Während die Dosis von Arbeitnehmern zumeist direkt gemessen wird, werden die Dosen der Bevölkerung üblicherweise durch indirekte Methoden bestimmt, die die Ergebnisse von Radioaktivitätsmessungen von Abfällen, flüssigen und/oder gasförmigen Ableitungen und/oder von Umweltproben verwenden.

Um sicherzustellen, dass die in Radioaktivitätsüberwachungsprogrammen erhaltenen Daten ihren Zweck erfüllen, ist es wichtig, dass die Beteiligten (z. B. Betreiber kerntechnischer Anlagen, Genehmigungs- und lokale Aufsichtsbehörden) geeigneten Verfahren und Vorgehensweisen für die Erzeugung repräsentativer Proben und für die Probenahme, Umgang, Lagerung, Vorbereitung und Messung der Prüfproben zustimmen. Eine Untersuchung der Gesamt-Messunsicherheit muss ebenfalls systematisch durchgeführt werden. Da zuverlässige, vergleichbare und „zweckmäßige“ Daten eine Grundanforderung für jede auf Radioaktivitätsmessungen basierende Entscheidung bezüglich der öffentlichen Gesundheit sind, sind Internationale Normen zu geprüften und validierten Radionuklid-Messverfahren ein wichtiges Werkzeug für die Erzeugung solcher Messergebnisse. Die Anwendung von Normen dient auch zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit der Messergebnisse über die Zeit und zwischen verschiedenen Prüflaboren. Labore wenden diese an, um ihre technische Kompetenz zu zeigen, und um Leistungstests während Labor-Vergleichsmessungen erfolgreich abzuschließen, zwei Voraussetzungen für den Erhalt einer nationalen Akkreditierung.

Heute stehen den Prüflaboratorien über einhundert Internationale Normen für die Messung von Radionukliden in verschiedenen Umgebungen zur Verfügung.

Fachgrundnormen helfen den Prüflaboratorien, den Messprozess zu steuern, indem sie die allgemeinen Anforderungen und Methoden zur Kalibrierung von Geräten und zur Validierung von Techniken festlegen. Diese Normen untermauern spezifische Normen, die die vom Personal durchzuführenden Prüfverfahren beschreiben, z. B. für verschiedene Probentypen. Die spezifischen Normen umfassen Prüfverfahren für:

- natürlich vorkommende Radionuklide (wie ^{40}K , ^3H , ^{14}C und solche aus der Thorium- und Uran-Zerfallsreihe, insbesondere ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{234}U , ^{238}U und ^{210}Pb), die aus natürlichen Prozessen gebildet oder durch technische Prozesse freigesetzt werden können, die natürlich vorkommende radioaktive Stoffe ver-

wenden, (z. B. beim Abbau der Erze in Minen, bei der Aufbereitung von Mineralsanden oder bei Produktion und Verwendung von Phosphatdünger);

- von Menschen erzeugte Radionuklide, wie Isotope der Transurane (Americium, Plutonium, Neptunium und Curium), ^3H , ^{14}C , und ^{90}Sr sowie gammastrahlende Radionuklide, finden sich im radioaktivem Abfall, in flüssigen und gasförmigen Ableitungen, in Matrices der Umwelt (Wasser, Luft, Boden und Biota), in Nahrungsmitteln und in Futtermitteln; infolge genehmigter Abgaben in die Umwelt, durch den Fallout der Explosionen von Kernwaffentests in der Atmosphäre und durch den Fallout im Ergebnis von Unfällen wie die von Tschernobyl und Fukushima.

Eine verlässliche Überwachung der Aktivitätskonzentration der Luft ist notwendig, um eine mögliche Exposition des Menschen jederzeit feststellen zu können, und um die Umsetzung der Vorgaben im Strahlenschutz und die entsprechenden Regulierungen zu verifizieren oder auch als Richtschnur zur Minderung des Gesundheitsrisikos. Exakte Messungen der Aktivitäten von Radionukliden in der Umwelt können auch im Zusammenhang mit dem Zivilschutz (en: homeland security) und dem Non-Proliferationsvertrag (NPT) gesehen werden.

Viele Radionuklide sind in der Umgebungsluft in gasförmiger oder aerosolgebundener Form vorhanden. Sie sind natürlichen und künstlichen Ursprungs mit Halbwertszeiten von weniger als einer Sekunde (^{214}Po) bis zu 15,7 Millionen Jahren (^{129}I). Beispiele für Werte der Aktivitätskonzentrationen dieser Umgebungsstrahlung sind in [Anhang A](#) angegeben.

Dieses Dokument beschreibt die Vorgehensweise zur Bestimmung von aerosolgebundenen Aktivitätskonzentrationen nach Anreicherung von Aerosolen auf einem zur Sammlung von Aerosolpartikeln geeigneten Filter. Das Verfahren kann für jegliche Untersuchungen und Überwachung im Umweltbereich eingesetzt werden.

Das Prüfverfahren wird im Kontext von Qualitätsmanagementsystemen (ISO/IEC 17025:2017 [2]) verwendet.

Gründe für die Durchführung eines Überwachungsprogramms sind:

Überwachung möglicher Quellen von Emissionen

- a) Bei einer bekannten potenziellen Emissionsquelle lassen sich die Daten aus dem Umwelt-Überwachungsprogramm mit den Daten über die Aktivität der in die Umgebung freigesetzten Radionuklide vergleichen. Bei einem Störfall lässt sich die zu erwartende Dosis aus den Daten des Überwachungsprogramms berechnen.

Bei der Messung von Radioaktivität in der Luft muss immer der Anteil von Radon und/oder der Radionuklide der Radon-Zerfallsreihe berücksichtigt werden, wenn die Auswertung nur auf der Zählrate und statistischen Teilchenverteilungen basiert und keine nuklidspezifische Information, wie z. B. aus spektrometrischen Messungen, zur Verfügung steht.

Die im Überwachungsprogramm verwendeten speziellen Probenahmetechniken hängen vom Zweck der Probenahme ab. Auch wenn die Aktivitätskonzentrationen luftgetragener Radionuklide sehr niedrig sind, kann aufgrund des Potenzials einer hohen Dosis im Falle einer Freisetzung eine routinemäßige Probenahme erfolgen. Die Probenahme in der Umwelt kann zur Bestimmung der folgenden Parameter verwendet werden:

- Kontrolle der Emission von radioaktiven Stoffen;
 - Messung der Aktivitätskonzentration luftgetragener radioaktiver Stoffe in der Umwelt zur Dosisabschätzung und der Empfehlung von Maßnahmen.
- b) Umweltüberwachung zur schnellen Bereitschaft in einem Notfall mit radiologischen Folgen und für radioökologische Untersuchungen

Die kontinuierliche Messung von Radionukliden in der Atmosphäre ermöglicht in einem Notfall sehr schnell die Bereitstellung von Messdaten. In dem allgemeinen Messprogramm ist die Erfassung der Aktivitätskonzentration nahe der Erkennungsgrenze erforderlich. Die Probenahme- und Messstandorte müssen derart verteilt sein, dass die kontaminierte Luft mit größtmöglicher Wahrscheinlichkeit erfasst werden kann.

Ziele sind:

- Überwachung von Radionukliden in der Atmosphäre,
- Trenderkennung,
- Überwachung der Untergrundstrahlung,

- Dosisabschätzung im Fall von kontaminierter Luft nach Freisetzung aus weit entfernten Quellen (z. B. Tschernobyl, Algeciras, Fukushima, Nuklearwaffen ...),
- Datengewinnung für radioökologische Untersuchungen und Forschung.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gibt eine Anleitung für:

- die Probenahme von Aerosolen durch Anreicherung auf Filtermedien. Dieser Teil berücksichtigt das spezifische Verhalten von Aerosolen in der Umgebungsluft (Anhang B),
- die Bestimmung der aerosolpartikelgebundenen Aktivitätskonzentration aus der bekannten Aktivität auf dem/im Filter,
- den operationellen Einsatz kontinuierlich arbeitender Luftmonitore mit simultaner Messung (real time).

Die Aktivitätskonzentration wird in Becquerel je Normkubikmeter Luft angegeben ($\text{Bq}\cdot\text{Nm}^{-3}$).

Dieses Dokument deckt nicht die vielfältig eingesetzten Messverfahren zur Bestimmung der Aktivität auf dem/im Filter im Detail ab (Gammaspektrometrie, Gesamtalpha- und Gesamtbetamessung, Flüssigszintillation, Alphaspektrometrie), die auf bestehenden Normen oder internen Methoden des für diese Messungen verantwortlichen Messlabors basieren. Dieses Dokument kann weiterhin nicht alle Aerosoleigenschaften in der sich ständig verändernden Zusammensetzung der Schwebstoffe in der Umgebungsluft vollständig berücksichtigen [3], [4].

Die hier beschriebenen Verfahren betreffen die Sammlung aerosolgebundener Radionuklide. Sie dienen der Konformität mit den nationalen und internationalen Anforderungen für Überwachungsprogramme und berücksichtigen Sicherheitsstandards der IAEA [5].

Vor Beginn der Probenahme müssen die Charakteristika des Probenahmeorts (Koordinaten, Vegetationstyp, Hindernisse) dokumentiert werden. Die Richtlinien der WMO umfassen die Kriterien für repräsentative Messungen von Temperatur, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Luftfeuchte und Niederschlag für alle global verteilten Wetterstationen [6].

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 16639:2017, *Surveillance of the activity concentrations of the airborne radioactive substances in the work-place of nuclear facilities*

ISO 11929-1:2019, *Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the coverage interval) for measurements of ionizing radiation – Fundamentals and application – Part 1: Elementary applications*

ISO/TR 22930-1, *Evaluating the performance of continuous air monitor – Part 1 Air monitor based on accumulation sampling techniques*

IEC 60761-1:2002, *Equipment for Continuous Monitoring of Radioactivity in Gaseous Effluents – Part 1: General Requirements*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Genauigkeit

en accuracy

Übereinstimmung zwischen einem Messwert und einem wahren Wert

3.2

aerodynamischer Äquivalentdurchmesser

AED

en **aerodynamic equivalent diameter**

Durchmesser einer Kugel mit einheitlicher Dichte, die dieselbe schwerkraftbedingte Sinkgeschwindigkeit aufweist wie ein Partikel eines unregelmäßig geformten Partikels, sowohl bezüglich Form als auch Dichte

3.3

aerodynamischer Durchmesser

AD

en **aerodynamic diameter**

Durchmesser einer Kugel mit der Dichte von $1\,000\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, welche die gleiche Sinkgeschwindigkeit sowohl in ruhender als auch in wirbelfrei strömender Luft hat wie die Partikel selbst

3.4

Aerosol

en **aerosol**

Verteilung von festen Partikeln oder Flüssigkeitströpfchen in der Luft oder einem anderen Gas

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Aerosol besteht nicht nur aus Aerosolpartikeln.

3.5

luftgetragene radioaktive Stoffe

en **airborne radioactive substances**

in der Luft als Staub, Rauch, Partikel, Nebel, Dämpfe oder Gase verteilte radioaktive Stoffe

3.6

Luftprobenahmegerät

en **air sampler**

Gerät, das dazu bestimmt ist, ein bekanntes Luftvolumen durch ein Filter oder ein anderes System zu leiten und dabei die luftgetragenen radioaktiven Stoffe auf dem/im Filter oder einem anderen System zu sammeln

3.7

medianer aktivitätsbezogener aerodynamischer Durchmesser

AMAD

en **activity median aerodynamic diameter**

medianer aerodynamischer Durchmesser, bezogen auf die luftgetragene Aktivität eines gegebenen Aerosols

3.8

Wirksamkeit der Rückhaltung in der Transportstrecke

en **collection efficiency of the transport line**

Verhältnis zwischen der Aerosolkonzentration auf dem Filter nach Durchlaufen der Transportstrecke und der tatsächlichen Aerosolkonzentration in der Luft am Lufteinlass für eine gegebene Partikelgröße

3.9

Filtereffizienz

en **collection efficiency of the media filter**

Verhältnis zwischen der auf dem Filter deponierten Aktivität und der Aktivität in der Luft vor dem Filter

3.10

kontinuierliche Überwachung

en **continuous monitoring**

aktive und ständige Überwachung der Aktivitätskonzentration in der Umgebung in nahezu Echtzeit

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieser Ansatz verwendet kontinuierlich arbeitende Monitore zur Bestimmung der Aktivitätskonzentration in Luft und kann Alarm geben, wenn vorgegebene Schwellen überschritten werden.

3.11

kontinuierlich (messender) Luftaerosolmonitor

KAM

en **continuous air monitor, CAM**

Gerät zur kontinuierlichen Überwachung der luftgetragenen Aktivitätskonzentration in nahezu Echtzeit

[QUELLE: ISO 16639:2017, 3.10]

3.12

Erkennungsgrenze

en **decision threshold**

Schätzwert der Messgröße, bei dessen Überschreitung durch ein aktuelles Ergebnis einer Messung mit einem gegebenen Messverfahren, das einen physikalischen Effekt quantifiziert, man entscheidet, dass der physikalische Effekt vorliegt

Anmerkung 1 zum Begriff: Für den Fall, dass das Messergebnis größer als die Erkennungsgrenze ist, ist die Erkennungsgrenze so festgelegt, dass die Wahrscheinlichkeit, dass der wahre Wert der Messgröße null ist, kleiner oder gleich einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit α ist.

Anmerkung 2 zum Begriff: Wenn das Messergebnis y kleiner als die Erkennungsgrenze ist, wird entschieden, zu folgern, dass das Ergebnis nicht dem physikalischen Effekt zugeordnet werden kann; jedoch kann daraus nicht geschlossen werden, dass der physikalische Effekt nicht vorliegt.

[QUELLE: ISO 11929-1:2019, 3.12]

3.13

Alarmpegel des Detektors

en **detection alarm level**

Wert für die zeitintegrierte Aktivitätskonzentration, verknüpft mit einer akzeptablen Fehlalarmrate

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn der Alarmpegel erhöht wird, nimmt die Anzahl der Fehlalarme ab.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Alarmpegel kann aus betrieblichen Gründen höher eingestellt werden^{N1}.

[QUELLE: ISO TR 22930-1:2020, 3.5]

3.14

Nachweisgrenze

en **detection limit**

kleinster wahrer Wert der Messgröße, der mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit durch das Messverfahren erkannt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Mit der Erkennungsgrenze ist die Nachweisgrenze der kleinste wahre Wert der Messgröße, für den die Wahrscheinlichkeit für die falsche Entscheidung, dass der wahre Wert der Messgröße null ist, gleich einem vorgegebenen Wert β ist, wenn der wahre Wert in Wirklichkeit nicht null ist. Die Wahrscheinlichkeit für die Detektion ist damit $(1 - \beta)$.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Begriffe Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze werden in unterschiedlichen Normen nicht eindeutig verwendet (z. B. in Normen der chemischen Analytik und der Qualitätssicherung). Wenn diese Begriffe benutzt werden, ist jeweils anzugeben nach welcher Norm sie benutzt werden.

[QUELLE: ISO 11929-1:2019, 3.13]

3.15

heiße Teilchen

en **hot particle**

kleine Partikel mit hoher spezifischer Aktivität, signifikant höher als der Rest der Probe

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn ein „heißes Teilchen“ nicht erkannt wird, wird die hohe spezifische Aktivität fälschlich der gesamten Probe zugeordnet, wodurch das Messergebnis nicht mehr repräsentativ für das Probenvolumen ist.

^{N1} Nationale Fußnote: z. B. wenn am Standort der Probenahme dauerhaft eine höhere Radonaktivität vorherrscht.

3.16

Grenzen des Überdeckungsintervalls en **limits of the coverage interval**

Werte, die ein Überdeckungsintervall definieren

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Grenzen werden in ISO 11929 so berechnet, dass das Überdeckungsintervall den wahren Wert der Messgröße mit der vorgegebenen Wahrscheinlichkeit $(1 - \gamma)$ enthält.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Definition des Überdeckungsintervalls ohne weitere Festlegungen ist mehrdeutig. In diesem Dokument werden alternativ das probabilistisch symmetrische und das kürzeste Überdeckungsintervall benutzt.

Anmerkung 3 zum Begriff: Das Überdeckungsintervall ist in ISO 11929-1:2019, 3.4 als Intervall definiert, das basierend auf der verfügbaren Information die wahren Werte einer Messgröße mit einer festgelegten Wahrscheinlichkeit enthält.

[QUELLE: ISO 11929-1:2019, 3.16 modifiziert – Anmerkung 3 wurde hinzugefügt]

3.17

medianer aerodynamischer Durchmesser **MAD**

en **median aerodynamic diameter**

Wert für den aerodynamischen Durchmesser, für den 50 % der Partikel in einem Aerosol kleiner als der MAD und 50 % der Partikel in einem Aerosol größer als der MAD sind

3.18

Messgröße en **measurand**

zu messende Größe

[QUELLE: ISO 11929-1:2019, 3.3]

3.19

minmal erfassbare Aktivitätskonzentration en **minimum detectable activity concentration**

zeitintegrierte Aktivitätskonzentration oder Aktivitätskonzentrationsmessungen mit den ihnen zugeordneten Überdeckungsintervallen für eine vorgegebene Wahrscheinlichkeit $(1 - \gamma)$, verknüpft mit einem Alarmpegel S_0

[QUELLE: ISO TR 22930-1:2020, 3.9]

3.20

Modell der Auswertung en **model of evaluation**

Menge mathematischer Relationen zwischen allen gemessenen und anderen Größen, die bei der Auswertung der Messung einbezogen werden

[QUELLE: ISO 11929-1:2019, 3.11]

3.21

Ansprechzeit en **response time**

Zeitdauer nach einer stufenförmigen Änderung der Messgröße, bis das Ausgangssignal zum ersten Mal einen vorgegebenen Prozentsatz, üblicherweise 90 %, seines Endwertes erreicht

[QUELLE: IEC 60761-1:2002, 3.15]

3.22

Probenahme en **sampling**

Sammeln von radioaktiven Stoffen auf Filtermedien, Absorbern oder in Adsorbern, die nach der Sammlung analysiert werden

3.23

Lufteinlass

Probenahmekopf

en **sample head**

Einheit, durch die die Aerosole enthaltende Umgebungsluft angesaugt wird

3.24

Standardbedingungen

en **standard reference conditions**

Standardbedingungen dieses Dokuments sind 25 °C für die Temperatur und 1 013 hPa für den Druck

3.25

Prüfling

en **test sample**

Probe des Filters/Sammelmediums nach geeigneter Aufbereitung, die die Bestimmung der Aktivität auf und im Filter ermöglicht

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn keine Aufbereitung notwendig ist, so ist das Filter selbst der Prüfling.

3.26

Transitzeit

en **transit time**

Zeit, die das bewegliche Filter benötigt, um die messende Detektorfläche vollständig zu passieren, vorausgesetzt, dass der Detektor die gesamte Deposition auf und im Filter erkennt

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn v die Geschwindigkeit des Filterbands und L die Detektorapertur oder die Länge der Depositionsfläche bei einer als konstant anzunehmenden Weite w_D ist, ist die Transitzeit $t_T = L / v$.

3.27

Zuluftstrecke

en **transport line**

Rohr oder Rohrkombination, die den Lufteinlass mit der Position des Luftfilters verbindet

[QUELLE: ISO TR 22930-1:2020, 3.13]

3.28

Gesamtschwebstaub

TSM

en: **total suspended matter**

Trockengewicht der suspendierten Partikel, die nicht in einer Wasserprobe gelöst sind und von einer Filtrationsvorrichtung gesammelt und analysiert werden können

3.29

Messunsicherheit

en **uncertainty of measurement**

dem Messergebnis zugeordneter Parameter, der die Streuung der Werte charakterisiert, die vernünftigerweise der Messgröße zugeordnet werden können

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Unsicherheit, einer Messung, abgeleitet aus dem GUM [9], [10] enthält im Allgemeinen viele Beiträge. Einige dieser Beiträge werden aus der statistischen Verteilung der Ergebnisse einer Messreihe abgeleitet und können so durch experimentell ermittelte Standardabweichungen charakterisiert werden. Weitere Beiträge, die durch Standardabweichungen charakterisiert werden können, werden aus abgeschätzten oder bekannten Wahrscheinlichkeitsverteilungen ermittelt, die wiederum auf experimentell ermittelten Daten oder anderen Informationen beruhen.

4 Symbole

Die in diesem Dokument in Gleichungen verwendeten Symbole sind nachfolgend aufgelistet:

A Aktivität auf dem/im Filter zum Zeitpunkt der Messung (Bq)

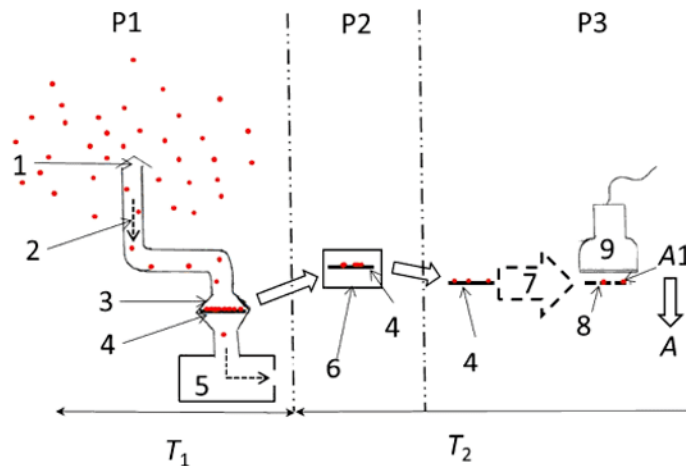
A^* Erkennungsgrenze der Aktivität auf dem/im Filter zum Zeitpunkt der Messung (Bq)

$A^{\#}$	Nachweisgrenze der Aktivität auf dem/im Filter zum Zeitpunkt der Messung (Bq)
Q_{TPN}	Volumenstrom bei einer Temperatur von 273,15 K und einem Luftdruck von 1 013,25 hPa ($\text{Nm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
ε_{S}	Sammeleffizienz der Transportstrecke
ε_{F}	Sammeleffizienz des Filters
T_1	Dauer der Probenahme (s)
T_2	Zeit zwischen dem Beginn der Probenahme und der Messung der Aktivität (s)
λ	Zerfallskonstante des gemessenen Radionuklids (s^{-1})
w	Umrechnungsfaktor für die Messung der Aktivität auf dem Filter. Er berücksichtigt die Kalibrierung des Detektors, die Emissionswahrscheinlichkeit und verschiedene Korrekturfaktoren für die Messung, wie z. B. für Selbstabsorption, Geometriefaktoren, Sammeleffizienz, Ausbeute bei chemischen Prozessen, Koinzidenzen ($\text{s} \cdot \text{Bq}^{-1}$)
$u(x)$	Standardunsicherheit der Größe x
$u_{\text{r}}(x)$	Relative Standardunsicherheit der Größe x
C^*	Erkennungsgrenze der über die Sammelzeit gemittelten Aktivitätskonzentration der Luft ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$)
$C^{\#}$	Nachweisgrenze der über die Sammelzeit gemittelten Aktivitätskonzentration der Luft ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$)
α, β	Wahrscheinlichkeit einer falsch positiven bzw. falsch negativen Entscheidung
k_p	Quantil der Standard-Normalverteilung für die Wahrscheinlichkeit p (z. B. $p = 1 - \alpha$, $1 - \beta$ oder $1 - \alpha$, $1 - \beta/2$)
Q_{S}	Strömungsgeschwindigkeit, in $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
a	Querschnittsfläche der Ansaugleitung, in m^2
ρ_{G}	Dichte des Gases, in $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
d	innerer Durchmesser der Ansaugleitung, in m
η_{G}	dynamische Viskosität, in $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
Re	Reynoldszahl, dimensionslos

5 Kurzbeschreibung

Die Überwachung der Aktivitätskonzentration aerosolgebundener Radionuklide in der Atmosphäre basiert auf dem Ansaugen bekannter Volumina der Umgebungsluft über einen Filter als Teil einer Probenahmekonfiguration und der Messung der auf und im Filter deponierten Aktivität. Im Allgemeinen kommen zwei Methoden zur Anwendung:

- Kontinuierliche Probenahme und spätere Messung (siehe [Bild 1](#)), bei der das Filter am Ende des Sammelprozesses entnommen und anschließend an ein Labor zur Messung der Aktivität auf dem Filter gesandt wird. Daraus wird die über die Probenahmedauer gemittelte Aktivitätskonzentration bestimmt.



Legende

P1 Phase der Probenahme, **P2** Phase der Filterentnahme, Verpackung, Transport und Aufbewahrung, **P3** Phase der Filteraufbereitung und Aktivitätsmessung

T_1 Sammelzeit, T_2 Zeit zwischen Ende der Probenahme und Zeitpunkt der Messung

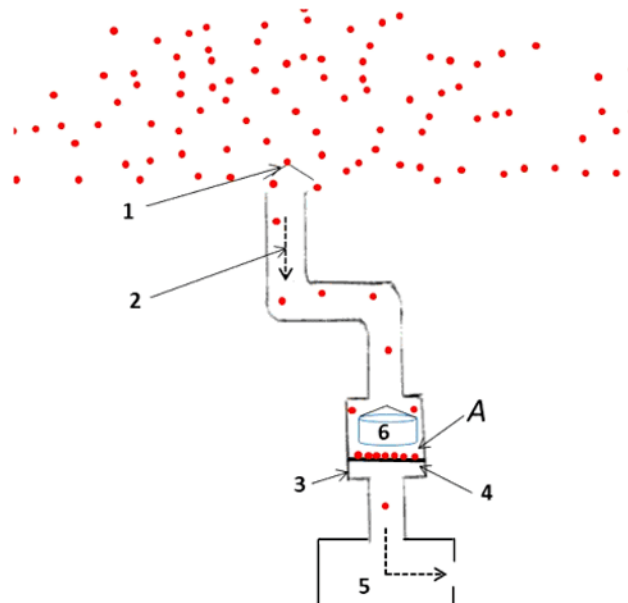
A_1 Aktivität des Prüflings zum Zeitpunkt der Messung

A Aktivität auf dem und im Filter zum Zeitpunkt der Messung (abgeleitet aus A_1)

1 Lufteinlass, 2 Luftführung, 3 Filterhalter, 4 Filter, 5 Pumpe und Luftdurchflussmessung, 6 Transporteinheit für das Filter, 7 Aufbereitung des Filters, 8 Prüfling, 9 Aktivitätsmessung

Bild 1 – Prinzip der kontinuierlichen Probenahme mit anschließender Messung

- Echtzeit-Messung mittels kontinuierlicher Luftüberwachung von Aerosolen durch Messung während der Probenahme auf dem Filter (siehe Bild 2), bei der während der Anreicherung der Aktivität auf dem Filter gleichzeitig der Luftdurchfluss und mittels eines Strahlungsdetektors die im Filter abgelagerte Aktivität gemessen werden. Die Ergebnisse der Aktivitätskonzentration stehen unmittelbar zur Verfügung.



Legende

1 Lufteinlass, 2 Luftführung, 3 Filterhalter, 4 Filter, 5 Pumpe und Luftdurchflussmessung, 6 Strahlungsdetektor, A Aktivität auf dem Filter.

Bild 2 – Prinzip der kontinuierlichen Probenahme mit simultaner Messung

Zur Bestimmung der Aktivitätskonzentration ist die Kenntnis der folgenden Parameter erforderlich:

- Der Prozess der Probenahme: die Repräsentativität des Probenahmeortes, mögliche Verluste in der Luftstrecke, die Wirksamkeit des Filters zur Anreicherung der Aerosole, das Luftprobevolumen und die Unsicherheiten dieser Verfahrensschritte,
- die Messung der Aktivität: das Verfahren zur Filteraufbereitung (wenn erforderlich), die Aktivität auf dem Filter am Ende der Probenahme und die verknüpften charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze und die Grenzen des Überdeckungsintervalls für die zeitlich versetzte Messung bzw. bei der Direktmessung in Echtzeit während der Probenahme).

6 Probenahme

6.1 Allgemeines

Für eine simultane Messung muss die Probenahme kontinuierlich erfolgen. Für zeitlich versetzte Messungen darf der Probenwechsel täglich oder wöchentlich erfolgen (außer für sehr kurzlebigen Radionukliden). Aber auch Monats- oder Quartalsproben dürfen für Bereiche akzeptiert werden, in denen mittlere Aktivitätskonzentrationen luftgetragener Radionuklide von sehr wenigen mBq/m³ zu erwarten sind.

6.2 Kriterien für den Probenahmeort

Wenn die Messergebnisse repräsentativ für eine größere Region sein sollen, müssen die Empfehlungen der Weltorganisation der Meteorologie (WMO, en: World Meteorological Organisation) [4] für die Auswahl eines für die Erfassung aerosolgebundener Radionuklide geeigneten Standorts als Richtschnur betrachtet werden. Die Repräsentativität einer „Beobachtung“ ist das Maß dafür, wie nahe der für einen bestimmten Zweck ermittelte Wert dem tatsächlichen Wert am Ort der Beobachtung kommt. Daher ist es keine feste konstante Qualität einer Beobachtung, sondern sie resultiert aus einer gemeinsamen Bewertung der Geräte, Messintervalle und Exposition im Vergleich zu den Erfordernissen einer bestimmten Anwendung. Beispielsweise sollten synoptische Beobachtungen für einen Bereich von bis zu 100 km um die Station repräsentativ sein, für kleinräumige Skalen oder lokale Anwendungen kann der betrachtete Bereich auch 10 km oder kleinräumiger sein.

Jeder Probenahmeort, wie auch die Anzahl der Probenahmeorte, muss entsprechend den Zielen und der Strategie der Umweltüberwachung bestimmt werden, insbesondere:

- Überwachung der Umgebung kerntechnischer Anlagen,
- Überwachung von Bereichen mit einer aus zurückliegenden oder aktuellen Tätigkeiten resultierenden erhöhten natürlichen Radioaktivität,
- Überwachung der Aktivitätskonzentration in der Umwelt eines Staats (regionale Untergrundstrahlung, Ereignisse mit freigesetzten radioaktiven Stoffen).

Die Auswahl der Orte hängt von der Topografie, der Klimatologie, der Zonenzuordnung (urban, industriell, landwirtschaftlich, Zugänglichkeit, ...) und potenzieller Freisetzungsorte usw. ab.

Wenn ein potenzieller Freisetzungsort überwacht wird, müssen die Probenahmeorte frei von Hindernissen im näheren Umkreis sein, so dass Luft ohne Behinderung eingesaugt werden kann. Wenn diese Bedingung nicht für einem 360-Grad-Umkreis erfüllt werden kann, muss sie zumindest für die wahrscheinlichste und die am wenigsten wahrscheinliche Windrichtung, bezogen auf die zu überwachende Emissionsquelle, erfüllt werden.

6.3 Kriterien für die Dauer der Sammlung

Die Dauer der Sammlung sollte auf einer möglichen Bedrohungslage, dem Überwachungszweck und der aus Strahlenschutz Zwecken geforderten Nachweisgrenze für die Aktivitätskonzentration der Luft beruhen.

ANMERKUNG Für kurzlebige Radionuklide gilt, je länger die Sammelzeit desto höher die Nachweisgrenze

6.4 Kriterien für die Probenahmekonfiguration

Die Probenahmekonfiguration besteht aus einer Pumpe zum Ansaugen der Außenluft, einem Filter mit seinem Filterhalter zur Sammlung von Aerosolen, der Luftstrecke und dem Lufteinlass (siehe [Bilder 1 und 2](#)). Störungen durch Wände, Dächer, Rohrleitungen usw. müssen vermieden werden.

Das Größenspektrum der angesaugten Aerosolpartikel wird von der Konstruktion des Lufteinlasses maßgeblich bestimmt, wie auch von der vorherrschenden Strömungsgeschwindigkeit der Luft direkt am Lufteinlass und der Windgeschwindigkeit während der gesamten Dauer der Probenahme. Die Probenahmekonfiguration darf sich nicht negativ auf die zu überwachende Umgebung auswirken; sie muss es erlauben, die lungengängigen Aerosolpartikel ($< 10 \mu\text{m}$) zu sammeln.

Wenn es wegen der lokalen Bedingungen nicht möglich ist, die Probenahmekonfiguration im Gelände zu installieren, wird diese durch ein Gebäude oder eine stabile Konstruktion gegen Wettereinflüsse geschützt. Der Lufteinlass wird in diesem Fall außerhalb auf einem Flachdach so vertikal und achsensymmetrisch errichtet, dass er unabhängig von der Windrichtung eine optimale Lösung darstellt. Um mögliche Einflüsse von Turbulenzen entlang der Dachkanten zu minimieren, muss der Lufteinlass im Zentrum der Dachfläche installiert werden. Die Installation des Lufteinlasses auf einem Dach könnte aufgrund von Details der Dachkonstruktion unmöglich sein. In diesem Fall kann die Installation an einer Außenwand des Gebäudes im Rahmen der allgemeinen Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt begründet sein. Der Lufteinlass darf auch an einer Außenwand des Gebäudes angebracht und die Luft über eine kurze Rohrleitung, die an die Luftstrecke angeschlossen ist, geleitet werden.

Weitere Faktoren, die bei der Installation der Probenahmekonfiguration im Gebäudeinnern beachtet werden müssen, sind:

- Großvolumige Sammler werden so installiert, dass ihr Luftauslass stromabwärts der Sammeleinrichtung angeordnet ist, um zu vermeiden, dass Abluft erneut beprobt wird.
- Wenn die Zuluftkonstruktion auf einer horizontalen Oberfläche (z. B. einem Dach) installiert ist, sollte die Abluft nicht zur Oberfläche (des Daches) geleitet werden, wo sie durch Resuspension erhöhte Konzentrationen in der angesaugten Zuluft verursachen könnte.

Das Design der Lufteinlasses muss eine möglichst repräsentative Probenahme der Umgebungsluft erlauben. Daher sollte diese Repräsentativität für die Nenn-Sammelrate oder durch einen Ringvergleich verschiedener Probenahmekonfigurationen charakterisiert werden (siehe [Anhang C](#)).

Der Lufteinlass sollte auf freiem Grund so platziert sein, der eine Oberfläche repräsentiert, auf der Hindernisse mindestens 10-mal so weit entfernt sind, wie sie hoch sind.

Ein hindernisfreier Bereich mit einem Abstand von 1 m um den Lufteinlass wird empfohlen.

Um den Einfluss einer Resuspension von auf der Bodenfläche abgelagerten Aerosolen zu minimieren, muss der Lufteinlass mindestens in einer Höhe von 1,5 m oberhalb des Bodens sein.

Wenn der Sammler in einem Gebäude platziert ist, sollte der Lufteinlass nicht auf der einem bekannten Emitter abgewandten Gebäudeseite (Lee-Seite) angeordnet werden, da Turbulenzen Abweichungen von der Repräsentativität verursachen könnten.

Ein hinreichend großer Abstand zwischen dem Lufteinlass und dem Luftauslass ist erforderlich, um zu vermeiden, dass Abluft erneut beprobt wird.

Der Lufteinlass sollte einen Regen- bzw. Schneeschutz aufweisen. Zusätzlich ist es erforderlich, ihn gegen das Einsaugen von Insekten zu schützen, wozu der Lufteinlass mit einem korrosionsbeständigen Gitter mit einer Maschenweite von 5 mm ausgestattet wird. Der Einfluss des Gitters auf die Rückhaltung von Aerosolen muss bei der Kalibrierung beachtet werden.

Die Einlassleitung der Luftstrecke muss beheizbar sein, um Kondensationseffekte auf den Rohren und auf dem Filter bei Temperaturen unterhalb des Taupunkts zu vermeiden. Der korrosionsbeständige Filterhalter muss hinreichend an die Größe des Filters angepasst sein und sollte zur Vermeidung der Ansaugung von Falschluf abgedichtet werden.

Die Probenahme verändert üblicherweise die Größenverteilung der Aerosolpartikel in der Probe im Vergleich zu der Größenverteilung in der anströmenden Zuluft. Die wesentlichen die Repräsentativität der Probenahme beeinflussende Parameter sind:

Luftströmungen in der Atmosphäre, Turbulenzen der Luft, die Umgebung der gesamten Probenahmestelle und ihre Einflüsse auf die atmosphärischen Luftströmungen, die Größenverteilung der Aerosolpartikel, das Oberflächen-Massen-Verhältnis der Aerosolpartikel, die Gesamtkonfiguration des Probenahmesystems und der Luftdurchfluss der angesaugten Luft.

Was die Konstruktion der Zuluftführung betrifft, sind zwei Möglichkeiten grundsätzlich geeignet:

- (A) Probenahmesystem mit einem integrierten Filterhalter (siehe Bild 3)
- (B) Probenahmesystem mit einem räumlich getrennten Filterhalter

Um Verluste bei der Aerosolsammlung zu vermeiden, sollte die Zuluftstrecke bis zum Filter nicht länger als 3 m sein und ohne Knicke und Querschnittsänderungen verlegt werden. Der Radius einer Biegung sollte nicht kleiner sein als das 3-Fache des Innendurchmessers des Zuluftrohrs.

Das Zuluftrohr sollte aus korrosionsbeständigem Stahl mit einer glatten Innenwandung bestehen. Plastikmaterialien haben den Nachteil, sich möglicherweise elektrostatisch aufzuladen^{N2}. Gewellte Schläuche und mit Drahtgeflecht verstärkte Schläuche wirken als Fallen für luftgetragene Partikel. Bei geschweißten Rohren muss auf glatte Schweißnähte geachtet werden. Das gilt insbesondere für Flanschverbindungen.



Bild 3 – Beispiel einer Probenahmekonfiguration für aerosolgetragene Radionuklide mit einem integrierten Filter

6.5 Kriterien für Filtermedien

Der Rückhaltegrad des eingesetzten Filters muss während der Probenahme und Nennvolumenstrom charakterisiert werden (siehe [Anhang D](#)).

^{N2} Nationale Fußnote: Und damit zu Aerosolfallen zu werden.

Die mechanische Stabilität des Filtermaterials muss für hohe Volumenströme und lange Probenahmedauern geeignet sein.

Die Auswahl des Filtermaterials sollte mit dem Analyselabor abgestimmt werden, um die geometrischen Beschränkungen und Beschränkungen bezüglich der Messung zu berücksichtigen.

6.6 Kriterien für die Messung des Luftvolumens und der Strömungsgeschwindigkeit

Das gesammelte Luftvolumen muss kontinuierlich gemessen werden, die Ergebnisse als Normkubikmeter bei einer Temperatur von 273,15 K und einem Druck von 1 013,25 hPa angegeben werden, um auch Ergebnisse unterschiedlicher Standorte und Probenahmedauern vergleichen zu können.

Das gesammelte Luftvolumen kann direkt oder indirekt gemessen werden. Für die direkte Messung wird ein Volumenmessgerät verwendet. Für indirekte Messungen wird ein Durchflussmessgerät (für Masse oder Volumen) verwendet, dass die genaue Kenntnis der Sammeldauer erfordert; die Messung des Massenflusses wird empfohlen, da es unabhängig von Informationen zu den Umgebungsbedingungen (Luftdruck und Temperatur) ist.

Das Durchfluss-/Volumenmessgerät muss stromabwärts des Filters angeordnet werden.

Für Messungen, die nicht auf der Messung des Massen- oder Volumenstroms beruhen, muss die Temperatur und der Druck nahe dem Messpunkt gemessen werden, um die Dichte der Luft berechnen zu können. Das Messergebnis muss auf die Standardbedingungen von Temperatur und Luftdruck (d. h. 273,15 K und 1 013,25 hPa) umgerechnet werden. Die Messdauer von Temperatur und Druck sollte 1 h nicht überschreiten. Zusätzlich muss der Druck stromabwärts des Filters und nahe bei dem Durchfluss-/Volumenmessgerät, das für die Berechnung des in Nm^3 ausgedrückten Luftvolumens verwendet wird, gemessen werden.

Die relative Gesamtunsicherheit der Messung des gesammelten Luftvolumens sollte kleiner als 5 % sein mit $k = 1$.

Grundsätzlich wird eine laminare Strömung für die Aerosol-Probenahme empfohlen, um Partikelverluste aufgrund von Diffusions- und Trägheitskräften für ultrafeine wie auch grobe Partikel zu minimieren. Zusätzlich muss der Druckabfall zwischen Lufteinlass und Messgeräten im Bereich von wenigen hPa gehalten werden. Die Verluste durch Diffusionseffekte bei laminarer Strömung können durch kürzestmögliche horizontale Transportstrecken und möglichst hohe Strömungsgeschwindigkeiten geringgehalten werden. Verluste von Partikel im Supermikrometerbereich können durch die Vermeidung von Krümmungen und horizontal verlaufenden Teilen der Transportstrecke minimiert werden ([Anhang F](#)).

7 Von der Probenahme auf Filtern zum Bericht über die zeitversetzte Messung der abgelagerten Aktivität

Nach Beendigung der Probenahme wird das Probenahmelabor:

- das Filter entnehmen, dessen Unversehrtheit und die Homogenität der Belegung visuell überprüfen, das Filter in ein Transportbehältnis packen und dabei sicherstellen, dass das Filter nicht beschädigt wird und keine Materialverluste zwischen dem Ort der Probenahme und dem Messlabor auftreten, auch nicht bei einer möglichen Zwischenlagerung,

ANMERKUNG 1 Wenn „heiße Teilchen“ auf dem Filter vermutet werden, sollte vor dem Versand des Filters an das Messlabor ein Verfahren zur Verortung der „heißen Teilchen“ in der auf dem Filter abgelagerten Aktivität durchgeführt werden. Im einfachsten Fall kann dieses bei großen Filterflächen die Oberfläche mit einem Oberflächenkontaminationsmonitor oder mittels einer autoradiographischen Untersuchung erfolgen.

- ist verantwortlich für die Kennzeichnung des Filters, um die Zuordnung der Ergebnisse der Aktivitätsmessungen zu Probenahmedauer und Probenahmeort sicherzustellen.

Das Messlabor:

- empfängt das Filter, bereitet dieses zu einem geeigneten Prüfling auf, führt eine geeignete Messung der Aktivität durch und stellt das Ergebnis der Messung der auf dem Filter abgelagerten Aktivität bereit,

- ist verantwortlich dafür, das Messergebnis des Prüflings dem empfangenen Filter exakt zuzuordnen.

ANMERKUNG 2 Für einige Radioaktivitätsmessverfahren muss der Prüfling vor der Messung in besonderer Weise aufbereitet werden (Wägung, Trocknung, Mineralisierung, Auflösung, pressen, schneiden, veraschen usw.), um eine für die Messung geeignete Prüfprobe zu erhalten.

Der Bericht des Messlabors muss die folgenden Informationen enthalten:

- 1) Verweisung auf dieses Dokument, wenn ein oder ein internes Verfahren für die Messung der auf dem Filter abgelagerten Aktivität verwendet wurde,
- 2) Identifizierung des Filters,
- 3) Wahrscheinlichkeiten α , β und $(1 - \gamma)$ mit $\alpha = \beta$,
- 4) der Wert der auf dem Filter abgelagerten Aktivität zum Zeitpunkt der Messung und die diesem zugeordneten charakteristischen Grenzen (Erkennungsgrenze, Nachweisgrenze, Überdeckungsintervall) mit der angenommenen Wahrscheinlichkeit über eine falsch negative Entscheidung und der Wahrscheinlichkeit für das Überdeckungsintervall der Messgröße, die von den Beteiligten (Probenahmelabor und Messlabor) vorgegeben wurden,
- 5) die relative Standardunsicherheit für den Kalibrierfaktor. Der Kalibrierfaktor wird als Zählrate des Prüflings je Aktivität auf dem Filter angegeben,
- 6) Angaben zusätzlicher Informationen, die zur Bewertung des Ergebnisses relevant sein können.

8 Bestimmung der Aktivitätskonzentration in der Luft aus den Ergebnissen der zeitversetzten Messungen

8.1 Allgemeines

Die Aktivitätskonzentration in der Luft, die aus den Ergebnissen der Messung der auf einem Filter abgelagerten Aktivität berechnet wird, repräsentiert einen über die Gesamtdauer der Probenahme gemittelten Wert T_1 (siehe Bild 1). Diese Methode erlaubt keine Rückschlüsse auf dynamische Änderungen der Aktivitätskonzentration während der Probenahme. Es wird also eine konstante Ablagerung der Aktivität auf dem Filter über den gesamten Zeitverlauf der Probenahme angenommen.

8.2 Modell der Auswertung

Als Messgröße wird die gemittelte Aktivitätskonzentration in der Luft über die gesamte Probenahmedauer wie folgt ausgedrückt:

$$C = \frac{\lambda \cdot A}{Q_{TPN} \cdot \epsilon_S \cdot \epsilon_F \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot T_1}) \cdot e^{-\lambda \cdot T_2}} \quad (1)$$

Für Radionuklide mit langen Halbwertszeiten (T_1 und T_2 vernachlässigbar im Vergleich zur Halbwertszeit), wird die gemittelte Aktivitätskonzentration in der Luft über die Probenahmedauer wie folgt ausgedrückt:

$$C = \frac{A}{Q_{TPN} \cdot T_1 \cdot \epsilon_S \cdot \epsilon_F} \quad (2)$$

8.3 Relative Standardunsicherheit

Die relative Standardunsicherheiten für λ , T_1 und T_2 werden als vernachlässigbar betrachtet, womit sich die relative Standardunsicherheit für die gemittelte Aktivitätskonzentration in der Luft über die Probenahmedauer wie folgt ergibt:

$$u_r(C) = \sqrt{u_r^2(A) + u_r^2(Q_{TPN}) + u_r^2(\epsilon_S) + u_r^2(\epsilon_F)} \quad (3)$$

8.4 Erkennungsgrenze

Für die Erkennungsgrenze der gemittelten Aktivitätskonzentration der Luft über die Probenahmedauer wird wie folgt ausgedrückt:

$$C^* = \frac{\lambda \cdot A^*}{Q_{TPN} \cdot \varepsilon_S \cdot \varepsilon_F \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot T_1}) \cdot e^{-\lambda \cdot T_2}} \quad (4)$$

Für Radionuklide mit langen Halbwertszeiten (T_1 und T_2 vernachlässigbar im Vergleich zur Halbwertszeit), wird die Erkennungsgrenze der gemittelten Aktivitätskonzentration in der Luft über die Probenahmedauer wie folgt ausgedrückt:

$$C^* = \frac{A^*}{Q_{TPN} \cdot T_1 \cdot \varepsilon_S \cdot \varepsilon_F} \quad (5)$$

8.5 Nachweisgrenze

Für die Nachweisgrenze der gemittelten Aktivitätskonzentration der Luft über die Probenahmedauer wird wie folgt ausgedrückt:

$$C^{\#} = C^* \cdot \left\{ \frac{\frac{A^{\#}}{A^*} \cdot [1 - k_p^2 \cdot u_r^2(w)]}{1 - k^2 \cdot [u_r^2(w) + u_r^2(Q_{TPN}) + u_r^2(\varepsilon_S) + u_r^2(\varepsilon_F)]} \right\} \quad (6)$$

Mit der Bedingung $u_r^2(w) + u_r^2(Q_{TPN}) + u_r^2(S) + u_r^2(\varepsilon_F) < \frac{1}{k_p^2}$, da ansonsten die Methode für den Messzweck nicht geeignet ist.

8.6 Darstellung der Ergebnisse für die Aktivitätskonzentration

Die Aktivitätskonzentration C wird mit der Erkennungsgrenze C^* verglichen:

Wenn $C \leq C^*$, wird das Ergebnis der Messung ausgedrückt als $\leq C^*$

Wenn $C > C^*$, wird das Ergebnis der Messung ausgedrückt als $C \pm k_p \cdot u(C)$

Ein Beispiel für die Berechnung der Aktivitätskonzentration und der zugeordneten charakteristischen Grenzen ist in [Anhang G](#) angegeben.

9 Echtzeitmessungen mit einem kontinuierlich messenden Aerosolmonitor

9.1 Kontext

Die Bestimmung der Aktivitätskonzentration in der Luft durch zeitversetzte Messung eines Filters gibt keinen Aufschluss über die Veränderung der Aktivitätskonzentration während der Probenahme. Diese Information liegt erst nachträglich vor, und wenn ein unerwartetes radiologisch relevantes Ereignis mit großem Potential auftritt, würden Schutzmaßnahmen erst verspätet eingeleitet werden können.

Hier bietet sich der Einsatz von kontinuierlich messenden Aerosolmonitoren durch die Notwendigkeit an, bei einer Überschreitung von vorbestimmten Alarmpegeln rechtzeitig und so verlässlich wie möglich alarmieren und geeignete Maßnahmen zur Reduzierung der Exposition der betroffenen Bevölkerung einleiten zu können. Die Leistungsfähigkeit eines kontinuierlich messenden Aerosolmonitors hängt sowohl von metrologischen Aspekten ab wie von der Fähigkeit, die geringstmögliche Aktivitätskonzentration bei einer noch akzeptablen Fehlalarmrate zu messen, wie auch von einer kurzen Ansprechzeit, um schnell reagieren zu können. Somit wäre die ideale Leistungsfähigkeit eine so niedrig wie mögliche Nachweisgrenze für die Aktivitätskonzentration bei gleichzeitiger sehr kurzer Ansprechzeit, aber leider stehen diese beiden Kriterien im Widerspruch. Daher ist es wichtig, dass der kontinuierlich messende Aerosolmonitor und die gewählten Einstellungen sowie die Alarmschwellen mit den Anforderungen des Überwachungsprogramms abgestimmt sind.

Es sollte darauf hingewiesen werden, dass Nachweisempfindlichkeit eines kontinuierlich messenden Aerosolmonitors niemals die einer Bestimmung der Aktivitätskonzentration mittels einer zeitversetzten Messung erreichen kann. Das erste Verfahren erfolgt zudem im Freien unter stark wechselnden Umgebungsbedingungen (Radon, Wetter) während das zweite Verfahren in einem Labor unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt wird. Daher erfolgt für kontinuierlich messende Aerosolmonitore weniger die Angabe der Nachweisgrenze als die der Erkennungsgrenze für die Aktivitätskonzentration erfolgt. Somit kann keine der beiden Verfahren das andere ersetzen, sie ergänzen sich vielmehr.

9.2 Beschreibung eines kontinuierlich messenden Aerosolmonitors

In den meisten Fällen ist ein kontinuierlich messender Aerosolmonitor auf die Überwachung langlebigerer Radionuklide ausgelegt und es gibt zwei Arten:

- 1) **Mit einem Festfilter, was bedeutet, dass die Aktivitätskonzentration über die Änderung der während der Probenahme auf dem Filter abgelagerten Aktivität bestimmt wird.**

Das Modell der Auswertung wird wie folgt ausgedrückt:

$$C(t) = \frac{A(t, T_C) - A(t - T_I, T_C)}{Q_{TPN} \cdot T_I} \quad (7)$$

Die niedrigste nachweisbare Aktivitätskonzentration wird wie folgt charakterisiert:

$$C_{\min} \text{ ist proportional zu } \frac{1}{T_I} \cdot \sqrt{\frac{1}{T_C}} \quad (8)$$

Dabei ist

$C(t)$ die zum Zeitpunkt t gemessene Aktivitätskonzentration, in $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$

$C_{\min}$ die niedrigste nachweisbare Aktivitätskonzentration, in $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$

$A(t, T_C)$ der Messwert der auf dem Filter abgelagerten Aktivität mit der Messdauer T_C zum Zeitpunkt t , in Bq

T_C die Messdauer, in s

T_I das Zeitintervall, in s

Die Ansprechzeit nach diesem Auswerteverfahren hängt von T_C und T_I ab, wie in Tabelle 1 gezeigt.

Tabelle 1 – Ansprechzeit für eine Festfilter-Berechnung für langlebige Radionuklide als Funktion der Messdauer T_C und des Zeitintervalls T_I

T_C min	T_I min								
	1	5	10	20	30	40	45	50	60
1	1,6	5,0	9,5	18,5	27,5	36,5	41,0	45,5	54,5
5	5,0	7,8	11,8	20,5	29,5	38,5	43,0	47,5	56,5
10	9,5	11,8	15,5	23,7	32,3	41,1	45,5	50,0	59,0
20	18,5	20,5	23,7	31,1	39,0	47,3	51,6	55,8	64,5
30	27,5	29,5	32,3	39,0	46,6	54,5	58,5	62,7	71,0
40	36,5	38,5	41,1	47,3	54,5	62,1	66,0	70,0	78,1
45	41,0	43,0	45,5	51,6	58,5	66,0	69,8	73,8	81,7
50	45,5	47,5	50,0	55,8	62,7	70,0	73,8	77,6	85,5
60	54,5	56,5	59,0	64,5	71,0	78,1	81,7	85,5	93,1

ANMERKUNG 1 Tabelle 1 und Gleichung (8) zeigen, dass die niedrigste nachweisbare Aktivitätskonzentration abnimmt, wenn T_C und T_I zunehmen, das gilt auch für die Ansprechzeit.

ANMERKUNG 2 Für kurzlebige Radionuklide sind die Ergebnisse der nach dieser Gleichung berechneten Aktivitätskonzentration unbrauchbar.

- 2) Mit einem Schrittfilter, was bedeutet, dass die Aktivitätskonzentration proportional zu der während der Probenahme auf dem Filter abgelagerten Aktivität ist und dem folgenden Modell der Auswertung entspricht.

$$C(t) \text{ ist proportional zu } \frac{A(t, T_C)}{Q_{TPN} \cdot T_T} \quad (9)$$

Dabei ist

T_T die Transitzeit, in s

Die Ansprechzeit nach diesem Auswerteverfahren hängt von T_C und T_T ab, wie in Tabelle 2 gezeigt.

Tabelle 2 – Ansprechzeit für eine Schrittfilter-Berechnung für langlebige Radionuklide als Funktion der Transitzeit T_T und der Messdauer T_C

T_C min	T_T min								
	1	10	20	30	60	120	180	240	300
1	1,3	7,4	14,2	21,3	41,5	82,5	123,5	164,4	205,4
5	4,8	9,7	16,3	23,1	43,6	84,5	125,5	166,4	207,4
10	9,3	13,3	19,4	26,0	46,2	87,1	128,0	169,0	210,0
20	18,3	21,6	26,6	32,4	51,9	92,4	133,2	174,2	215,1
30	27,3	30,3	34,7	39,9	58,1	98,0	138,6	179,4	220,3
40	36,3	39,3	43,1	47,9	64,9	103,8	144,1	184,8	225,6
50	45,3	48,3	51,8	56,2	72,2	109,8	149,8	190,3	231,0
60	54,3	57,3	60,7	64,7	79,8	116,1	155,6	195,9	236,5
120	108,3	111,3	114,6	118,0	129,3	159,6	194,6	232,3	271,4
180	162,3	165,3	168,6	171,9	182,0	207,9	239,3	273,8	310,3
240	216,2	219,2	222,6	225,9	235,9	258,6	287,2	319,1	353,3

ANMERKUNG 3 Tabelle 2 und Gleichung (9) zeigen, dass die niedrigste nachweisbare Aktivitätskonzentration abnimmt, wenn T_C und T_T zunehmen, das gilt auch für die Ansprechzeit.

ANMERKUNG 4 Bei Schrittfiltersystemen ist der Einfluss der Radon- und Thoronfolgeprodukte auf die Auswertung geringer als bei Festfiltern.

9.3 Überwachungsbetrieb mit einem kontinuierlich messenden Aerosolmonitor

Jeder Gerätehersteller nutzt üblicherweise seine eigenen Auswertelgorithmen, um den Einfluss der Radon- und Thoronfolgeprodukte mehr oder weniger herauszurechnen. Diese Algorithmen sind üblicherweise „Black boxes“ und patentrechtlich geschützt, die Prüfungen zur Zertifizierung werden in Prüflaboren unter genau definierten Bedingungen durchgeführt, die die variierenden Umgebungsbedingungen beim Einsatz eines kontinuierlich messenden Aerosolmonitors im Außenbereich nur unzureichend abdecken.

Daher muss der Betreiber des kontinuierlich messenden Aerosolmonitors die Alarmschwelle empirisch bestimmen, um die Fehlalarmrate zu reduzieren; dies korrespondiert mit der niedrigsten durch den Monitor nachweisbaren Aktivitätskonzentration, nachdem das Ansprechvermögen des Monitors in Abwesenheit hoher Aktivitätskonzentrationen unter genauer Prüfung über eine mehr oder weniger lange Zeitspanne während der kritischsten Momente, in denen der Radoneinfluss maximal ist, analysiert wurde. Ein Beispiel für diese empirische Bestimmung ist in [Anhang H](#) gezeigt.

10 Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle

10.1 Allgemeines

Die Qualität des Probenahmeverfahrens muss in allen Phasen des Überwachungsprogramms gesichert sein:

- 1) Probenahme, Identifikation der Probe, Handhabung der Probe, Lagerung;
- 2) Funktionstüchtigkeit der Probenahmekonfiguration;
- 3) Berichtswesen

10.2 Identifikation der Probe, Handhabung und Lagerung

Die gesammelten Filterproben müssen eindeutig gekennzeichnet werden, um sicherzustellen, dass ein Filter aus einem Probenahmeort nicht mit Filtern aus anderen Orten verwechselt wird. Die Probenbezeichnungen müssen auf allen Umschlägen mit den Filtern oder anderen Aufbewahrungsbehältnissen aufgebracht werden, um die Wahrscheinlichkeit einer Falschetikettierung einer Probe zu reduzieren. Mindestens die folgenden Informationen in Bezug auf die Probe müssen enthalten sein: Datum der Probenahme, Zeitangaben über die Sammelzeit (Probenahmedauer), Probenvolumen, Probenahmeort, für die Gewinnung der Probe verwendete Gerätekonfiguration, Windrichtung und Windgeschwindigkeit am Probenahmeort. Ein Beispiel für einen Probebegleitschein ist in [Anhang E](#) gezeigt.

Die Proben sollten vorsichtig gehandhabt werden, um Kreuzkontaminationen zu vermeiden, und sie sollten in geeignet gekennzeichneten Behältern aufbewahrt werden, um Verluste zu vermeiden. Die Lagerung der Proben vor ihrer Messung und zwischen Messungen, wenn mehrere Messungen notwendig sind, sollte eindeutig organisiert werden.

10.3 Probenahmekonfiguration

Die Genauigkeit der Probenahme und die Kalibrierung von Durchflussmessgeräten müssen für eine genaue und verlässliche Messung von radioaktiven Stoffen geeignet sein.

Kalibrierung

Luft-Durchflussmessgeräte, Differenzdruckanzeiger und andere für die Bestimmung des Volumenstroms der Sammler und Monitore verwendete Geräte sollten mit einer Ablesegenauigkeit innerhalb von 15 % kalibriert werden.

Eine Funktionsprüfung der Messgeräte sollte mindestens jährlich vorgenommen werden. Die Abweichung des Messwerts vom Prüfwert darf 20 % nicht überschreiten.

Funktionsprüfung

Die Funktionstüchtigkeit von kontinuierlich arbeitenden Luftaerosolmonitoren sollte regelmäßig überprüft werden. Der störungsfreie Betrieb sollte täglich durch Kontrolle der Anzeige des Volumenstroms und anderer interner Prüfgrößen kontrolliert werden, wenn anderweitige elektronische Prüfgrößen nicht verfügbar sind.

Funktion der Volumenstrommessung der Probenahme

Alle Probenahmekonfigurationen, die für quantitative Messungen der Aktivitätskonzentration verwendet werden, müssen eine Messung des (Luft)Probenvolumens ermöglichen.

Eine Undichtheit im Probenahmesystem oder um das Filter herum kann zu einer fehlerhaften Anzeige des Volumenstroms führen und die Funktionsfähigkeit der Probensammlung beeinträchtigen. Daher muss das Probenahmesystem bereits bei der Erstinstallation akribisch auf Undichtheiten geprüft werden und weiter fortlaufend während der Wartungen und regelmäßigen Inspektionen. Die Inspektion sollte praxisorientiert sein und die Ergebnisse dokumentiert werden.

Die Leckrate sollte im laufenden Betrieb nicht höher als 5 % des Nenn-Volumenstroms sein. Der Verlust am Filtersammler sollte niedriger als 5 % sein.

10.4 Dokumentation und Berichtswesen

Die Ergebnisse der Überwachung auf die Aktivitätskonzentration aerosolgebundener Radionuklide müssen dokumentiert werden. Die Berichte sollten folgendes beinhalten:

- 1) Zweck der Messung der Aktivitätskonzentration;
- 2) Ergebnisse der Messungen der Aktivitätskonzentration mit den zugeordneten Unsicherheiten, wie für den Messzweck geeignet;
- 3) Dokumentation aller Parameter, die zur Berechnung der Aktivitätskonzentration und der Unsicherheiten eingesetzt wurden, einschließlich Durchfluss, Wirksamkeit der Sammelkonfiguration, Wirksamkeit des Filters, Selbstabsorption, Dauer der Sammlung, meteorologische Bedingungen und Detektorzähleffizienz;
- 4) Probenahmeort;
- 5) Gerätemodell und Seriennummer der verwendeten Probenahmekonfiguration;
- 6) Dokumentation zur Kalibrierung, Wartung, Reparaturen und Änderungen jedes einzelnen Messgeräts. Jeder Bericht muss datiert sein und den Berichtersteller eindeutig identifizieren. Jeder Bericht muss auf den vorhergegangenen aufbauen und leicht zugänglich sein;
- 7) eine vollständige Historie des Lebenszyklus der Probenahmekonfiguration, Kalibrierungsdaten, Zertifikate für alle Standards und Angaben zu Kalibrierungsgerätschaften;
- 8) Dokumentation der Analyse der Kalibrierungsunsicherheit;
- 9) alle Verfahren, die zur Kalibrierung genutzt wurden;
- 10) die zur Messung der Aktivität für die Quantifizierung der Aktivitätskonzentration eingesetzten Messgeräte können mit folgenden Angaben gekennzeichnet werden:
 - Datum der aktuellen Kalibrierung;
 - Initialen oder ein anderer Bezeichner zur Identifizierung der Person, die die Kalibrierung vorgenommen hat;
 - Fälligkeitsdatum der nächsten Kalibrierung;
 - Seriennummer des Messgeräts oder eine andere eindeutige Kennung, um das Messgerät eindeutig zu identifizieren.
- 11) Routineberichte zur Qualitätskontrolle;
- 12) die Berichte über alle Leistungstests des Systems;
- 13) Berichte über die Einweisung und die Fortbildung des eingesetzten Betriebs- und Führungspersonals, das für die Durchführung des Probenahmeprogramms zuständig ist.

Anhang A (informativ)

Radionuklide in der Atmosphäre

In der Umgebungsluft finden sich ungefähr 70 Radionuklide. Sie sind entweder natürlichen oder künstlichen Ursprungs, wobei einzelne Radionuklide sowohl natürlichen wie auch künstlichen Ursprungs sein können (wie z. B.: ^3H , ^{22}Na , ^{85}Kr , ^{14}C , ^{129}I). Ungefähr 30 Radionuklide bilden sich direkt in der Atmosphäre und haben Halbwertszeiten von weniger als eine Sekunde (^{214}Po) bis hin zu 15,7 Millionen Jahren (^{129}I).

Die Mehrzahl der Radionuklide in der Luft liegen als Aerosol(partikel) vor oder bilden sich durch Kondensation oder Anlagerung an bereits existierende Aerosole (organisches Material, Minerale, Seesalz, Umweltverunreinigungen usw.), wobei verschiedene Mechanismen dafür verantwortlich sind, wie Adsorption, Koaleszenz, Wechselwirkung zwischen den Aerosolen oder der Einfluss von elektrischen Ladungen. Einige Radionuklide liegen gasförmig vor und bleiben meist in diesem Zustand, da es keine oder nur geringe Wechselwirkung untereinander gibt und in einigen Fällen deren Halbwertszeit zu kurz ist für Sorptionsprozesse an Aerosolen. Im Rahmen dieses Dokuments werden nur die aerosolgebundenen Radionuklide in der Umgebungsluft betrachtet.

Die höchsten Aktivitätskonzentrationen in der Umgebungsluft sind auf die natürlich vorhandenen Radionuklide zurückzuführen. Der weltweit durch Messung der Betaaktivität ermittelte Wert kann diesen im Wesentlichen zugeordnet werden und für ihre Messung werden nur vergleichsweise geringe Luftvolumina benötigt. Im Vergleich dazu sind die Aktivitätskonzentrationen der künstlichen Radionuklide, die bereits in der Umwelt vorhanden sind oder durch kerntechnische Anlagen im Normalbetrieb freigesetzt werden, gering und sie können nur identifiziert werden, indem große Luftvolumina gefiltert und die Aerosole auf dem Filter gammaspektrometrisch gemessen werden.

Die Aufenthaltszeit dieser Radionuklide in der Atmosphäre schwankt und hängt von der Halbwertszeit, der Deposition und von Resuspensionsmechanismen ab.

Bei den aerosolgebundenen Radionukliden in der Atmosphäre wird unterschieden zwischen denen, die in den oberen Schichten der Atmosphäre gebildet werden (kosmischer Ursprung) und jenen, die in der Erdkruste gebildet werden (terrestrisch):

- Radionuklide kosmischen Ursprungs werden durch die kosmische Strahlung gebildet. Die bekanntesten und am leichtesten messbaren Radionuklide sind ^7Be und ^{22}Na mit ausreichend langen Halbwertszeiten;
- Radionuklide terrestrischen Ursprungs stammen einerseits von den Zerfallsreihen der primordialen Radionuklide des Urans und des Thoriums und andererseits von ^{40}K . Das gasförmige ^{222}Rn , das der Zerfallsreihe des ^{238}U entspringt, exhaliert aus dem Erdreich, verteilt sich in der bodennahen Luft, wo es kontinuierlich über eine Zerfallsreihe von 11 Radionukliden mit 7 Hauptnukliden zerfällt: ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po , ^{210}Pb , ^{210}Bi , ^{210}Po .

Diese Radionuklide deponieren auf festen und flüssigen Oberflächen. Sie werden aber leicht wieder durch Resuspension fester Partikel (Staub) oder Flüssigkeiten (Spray) durch den Einfluss von Wind oder durch landwirtschaftliche Tätigkeiten, Tagebau usw. in die Atmosphäre eingetragen; dazu gehören auch Emissionsprozesse nach Überführung von Radionukliden in Biomasse: Feuer, Bioaerosole (Pollen, Sporen usw.). Vulkanausbrüche sind gesonderte Mechanismen, da sie zusätzlich primordiale Radionuklide in die Atmosphäre eintragen können, aber auch ^{210}Po , das vor der Eruption in der Magmakammer akkumuliert wurde.

Die zweite große Gruppe von partikelgebundenen Radionukliden in der Atmosphäre wird künstlich erzeugt: während Kernwaffenversuchen, Nuklearunfällen und während des Normalbetriebs nuklearer Einrichtungen. In der Nähe einzelner kerntechnischer Anlagen lässt sich aerosolgebundenes oder durch heterogene Nukleation gebildetes ^{129}I detektieren. Im Normalbetrieb von Kernkraftwerken ist die Freisetzung künstlicher Radionuklide in die Atmosphäre im Rahmen der gesetzlich vorgegebenen Genehmigungsgrenzen gestattet; zu diesen Radionukliden gehören auch $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{60}Co , ^{58}Co , die gelegentlich in geringer Konzentration in der direkten Nähe der Abluftanlagen auftreten. Bei kleineren Zwischenfällen ließen sich aerosolgebundenes ^{106}Ru - ^{106}Rh

und ^{131}I messen. Während Reaktorkatastrophen (Tschernobyl oder Fukushima) waren zeitweise Iodisotope (^{131}I , ^{132}I), Cäsiumisotope (^{134}Cs , ^{136}Cs , ^{137}Cs), Tellurisotope ($^{129\text{m}}\text{Te}$, ^{129}Te , ^{132}Te) und ^{140}La in Frankreich gemessen worden.

Als Überbleibsel der durch die Kernwaffenversuche oder die o. g. Katastrophen in der Atmosphäre verursachten Fallouts lassen sich in Frankreich in der Luft nur noch ^{90}Sr und ^{137}Cs im Spurenbereich messen, wie auch in noch geringerer Konzentration Plutoniumisotope, nachdem Aerosole aus mehreren 100 000 m³ Luft auf einem Filter angereichert wurden.

Tabelle A1 zeigt die in der Erdatmosphäre (über einem Kontinent) hauptsächlich vorkommenden aerosolgebundenen natürlichen und durch den Menschen produzierten Radionuklide, ihre Halbwertszeiten und die Bereiche ihrer Konzentration.

Tabelle A1 – Hauptsächlich vorkommende natürliche und von Menschen produzierte aerosolgebundene Radionuklide in der Erdatmosphäre (über einem Kontinent)

Radionuklid	Halbwertszeit	Aktivitätskonzentration in der bodennahen Luft (mBq/m ³)	Referenzen
^{218}Po	3,07 min	3 000 – 20 000	1
^{214}Pb	26,9 min	500 – 3 500	1
^{214}Po	162 µs	150 – 3 000	1, 2
^{212}Pb	10,64 h	200 – 600	3
^{210}Bi	5,01 d	0,1 – 2	4
^7Be	53,3 d	0,5 – 10	5
^{210}Pb	22,3 y	0,02 – 4	5, 6
^{210}Po	138,4 d	0,01 – 0,3	7
^{40}K	$1,3 \times 10^9$ y	0,001 – 0,1	6
^{232}Th	$1,4 \times 10^{10}$ y	0,000 4 – 0,003	6
^{238}U	$4,5 \times 10^9$ y	0,000 5 – 0,003	6
^{22}Na	2,6 y	0,000 2 – 0,001 2	8, 9
^{137}Cs	30,05 y	0,000 05 – 0,005	6
^{90}Sr	28,8 y	0,000 03 – 0,001 4	6, 10
$^{239+240}\text{Pu}$	24 100 y und 6 561 y	0,000 005 – 0,000 2	11
^{238}Pu	87,74 y	0,000 000 02 – 0,000 01	10, 12

Referenzen

1	Pruthvi Rani K.S., Paramesh L., Chandrashekara M.S. Journal of Environmental Radioactivity, 138, (2015) 438-443.
2	Laguionie P., Solier L., Maro D., Pellerin G., Hebert D., Connan O., Morillon M., Rapport IRSN/PRP-ENV/SERIS/2015-00032.
3	Werzi R. Applied Radiation and Isotopes, 68 (2010) 340-344.
4	Đługosz-Lisiecka M., Bem H. Journal of Radioanalytical Nuclear Chemistry (2012) 293:135-140.
5	Persson B., Holm E. Journal of Environmental Radioactivity, 138 (2014) 364-374.
6	Baeza A., Rodríguez-Perulero A., Guillen J. Journal of Environmental Radioactivity, 165 (2016) 24-31.
7	Baskaran M. Journal of Environmental Radioactivity, 102 (2011) 500-513.
8	Steinmann P., Zeller M., Beuret P., Ferreri G., Estier S. Journal of Environmental Radioactivity, 124 (2013) 68-73.
9	Jasiulionis R., Wershofen H. Journal of Environmental Radioactivity, 79 (2005) 157-169.
10	Wershofen, H., Arnold, D. Report of the PTB Trace Survey Station for the years 1998-2003. 2005. PTB-Bericht Ra-45, Braunschweig, ISSN0341-6747, ISBN3-86599-431-7.
11	Hölgge Z., Journal of Environmental Radioactivity 99 (2008) 1653-1655.
12	Kierepko R., Mietelski J. W., Ustrnul Z., Anczkiewicz R., Wershofen H., Hölgge Z., Kapala J., Isajenko K. Science of the Total Environment 569-570 (2016) 937-947.

Anhang B (informativ)

Allgemeines zum Verhalten von Aerosolen

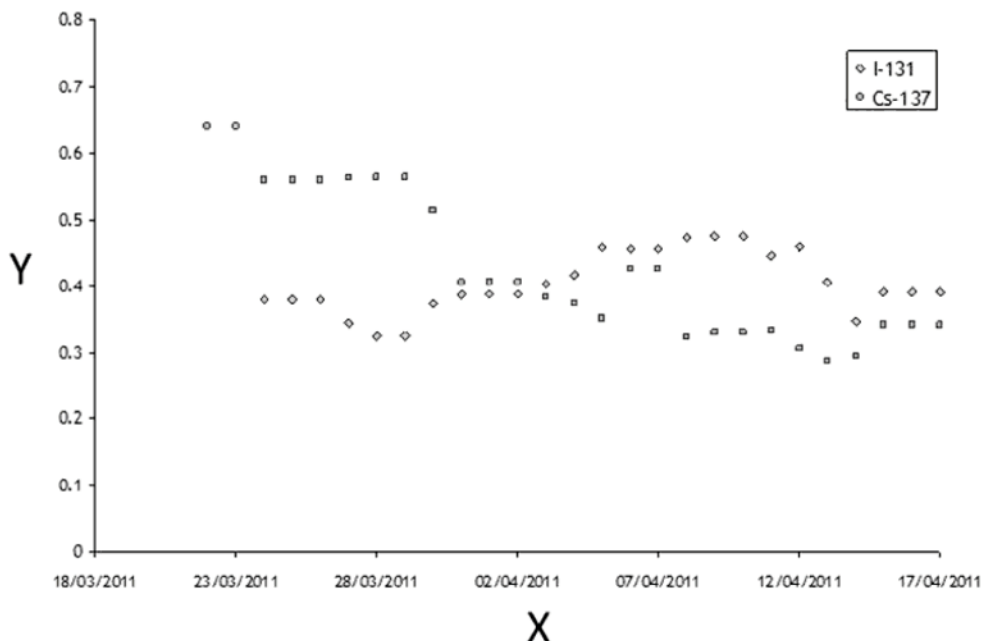
B.1 Allgemeines

Für dieses Dokument werden die Aerosole als zumeist polydispers angenommen. Die Partikelgrößenverteilung der Aerosole ist im Allgemeinen lognormal verteilt und wird durch zwei Parameter definiert: den Median der aerodynamischen Durchmesser (MAD) und die geometrische Standardabweichung (σ_g).

Der MAD wird üblicherweise als Zahl oder auch als massebezogen (MMAD) ausgedrückt. Bei radioaktiven Aerosolen ist es der mediane, auf die Aktivitätsverteilung bezogene aerodynamische Durchmesser der Aerosole (AMAD) (siehe Definition 3.7).

B.2 Beispiele für in der Umgebungsluft gemessene Partikelgrößen

Es wurde festgestellt, dass z. B. wenige Tage nach dem Unfall von Tschernobyl 70 % der in Westeuropa erfassten radioaktiven Aerosole eine Partikelgrößenverteilung zwischen $0,1\ \mu\text{m}$ und $10\ \mu\text{m}$ aufwiesen (mit Ausnahme für ^{131}I), mit einem AMAD von $0,6\ \mu\text{m}$.



Legende

X Datum

Y Medianer aerodynamischer Durchmesser, bezogen auf die Aktivitätsverteilung der Aerosole – AMAD – μm

Bild B1 – Zeitliche Veränderung des AMAD von aerosolpartikelgebundenem ^{131}I und ^{137}Cs in Europa nach dem Fukushima-Daiichi Unfall

Schon kurze Zeit nach seiner Freisetzung in die Umwelt lag das Radionuklid ^{137}Cs in aerosolpartikelgebundener Form vor. Größere Werte für den AMAD ($0,6\ \mu\text{m}$ bis $0,7\ \mu\text{m}$) wurden bei der Ankunft dieser Luftmassen in Europa gemessen. Im weiteren Zeitverlauf nahmen die Werte auf $0,3\ \mu\text{m}$ bis $0,4\ \mu\text{m}$ ab. Dies lässt sich mit Bildung größerer Partikel (mit einem AMAD von $2\ \mu\text{m}$) unmittelbar nach der Freisetzung in Japan und der sich

anschließenden Abnahme des AMAD im Transportverlauf erklären. Die niedrigeren Werte in Europa sind das Ergebnis der Sedimentation und des Auswaschens der größeren Partikel durch Regen während des Transports.

Für Iod waren die repräsentativen Durchmesser für den AMAD bei Ankunft dieser Luftmassen in Europa kleiner als $0,4\ \mu\text{m}$. Der Unterschied zu den repräsentativen Durchmessern für ^{137}Cs erklärt sich durch die Tatsachen, dass 1) Iod im Verlauf des Transports in den gasförmigen Zustand übergeht (bis zu 80%), und 2) ein Teil des gasförmigen Iods während des Transports von Aerosolen aller Größen adsorbiert wird, insbesondere von der Feinfraktionen von Aerosolen, wodurch der repräsentative AMAD herabgesetzt wurde.

B.3 Verhalten der Aerosole

Das Verhalten der Aerosole in der Umgebungsluft, in den Zuleitungen der Probenahme oder auf dem Filter hängt wesentlich von den Größen der Partikel und den Freiheitsgraden zwischen den Molekülen des Trägergases ab.

Bei großen Aerosolpartikeln ($> 1\ \mu\text{m}$) wird das Trägergas als Kontinuum betrachtet und das Verhalten der Aerosolpartikel damit über die Gesetze der Fluidodynamik bestimmt. Diese Partikel weisen eine große Trägheit auf, wodurch die Ablagerung in den Leitungen bei Richtungsänderung des Trägerfluids und auf dem Filter begünstigt wird. Zusätzlich lagern sich die Partikel durch die Schwerkraft ab.

Bei kleinen Aerosolpartikeln ($< 10^{-2}\ \mu\text{m}$) wirkt das Trägergas als diskontinuierliches Fluidum, die Diffusion der Partikel im Trägergas wird durch die Gesetze der Gaskinetik bestimmt, also auf der molekularen Ebene. Diese Partikel lagern sich durch die Brownsche Bewegung schnell an den Wänden der Zuluftleitung, auf dem Filter oder auch an anderen Partikeln in der Umgebungsluft ab bzw. an.

Wenn Partikel und Räume zwischen den Molekülen des Trägergases in der gleichen Größenordnung sind, handelt es sich um einen Übergangsbereich. Die Partikel dieser Größenordnung weisen dann die höchste Mobilität und die geringste Rückhaltung auf.

Dieses Verhalten der Aerosole erklärt die Mechanismen der Rückhaltung von Aerosolen auf einem Filter (Bild B.2):

- Rückhaltung durch Trägheit (1);
- Rückhaltung durch Diffusion (2);
- Rückhaltung durch Interzeption (3);
- Rückhaltung durch elektrostatische Effekte.

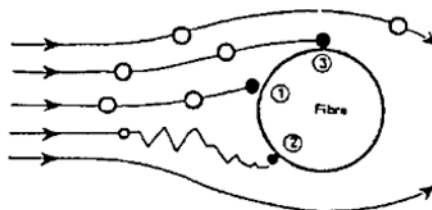
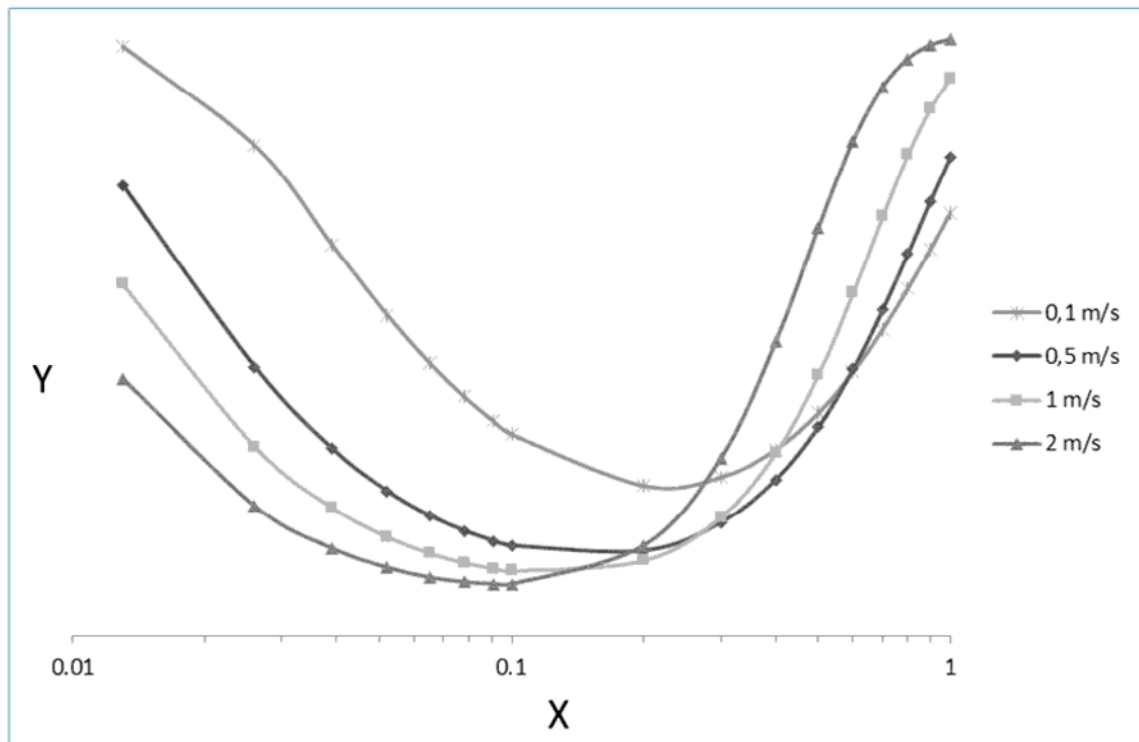


Bild B.2 – Mechanismen der Rückhaltung von Aerosolen auf einem Filter

Bild B.3 zeigt die charakteristische Wirksamkeit der Aerosolrückhaltung auf einem Filter als Funktion der Partikelgröße und der Geschwindigkeit des Luftdurchsatzes. Es sollte beachtet werden, dass die Filtereffizienz üblicherweise bei Aerosolen mit einem aerodynamischen Durchmesser in der Größenordnung von $0,1\ \mu\text{m}$ ein Minimum aufweist, außer im Fall elektrostatisch aufgeladener Filter, bei denen der Einfang durch elektrische Ladungseffekte sein Minimum im nm-Bereich hat.



Legende

- X Aerosoldurchmesser (μm)
Y Wirksamkeit der Rückhaltung

Bild B.3 – Einfluss des Aerosoldurchmessers und des Luftdurchsatzes auf die Wirksamkeit der Rückhaltung eines Filters

Anhang C (informativ)

Beispiel und Charakterisierung eines Lufteinlasses

C.1 Beispiel eines Lufteinlasses

C.1.1 Prüfbedingungen

Dieser Anhang zeigt beispielhaft Ergebnisse von Prüfungen der Wirksamkeit der Probenahme anhand eines Lufteinlasses wie er in Frankreich im Rahmen der Umweltüberwachung üblich ist.

Zweck dieser Prüfung in einem Windkanal ist, die Wirksamkeit der Probenahme am Lufteinlass für trockene Aerosole mit einer Partikelgröße von $2\text{ }\mu\text{m}$ bis $12\text{ }\mu\text{m}$ und Windgeschwindigkeiten zwischen $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ und $10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ zu bestimmen. Dazu wurden mit einer Vibrationsapparatur Aerosole von getrocknetem Fluoreszin mit einer geometrischen Standardabweichung von 1,1 erzeugt. Während der Prüfung wird der Lufteinlass so im Windkanal angeordnet, dass seine Achse senkrecht zur Strömungsrichtung ist.

Das Aerosol wird stromaufwärts des Gebläses in den Luftstrom injiziert und gleichzeitig stromabwärts durch den zu qualifizierenden Lufteinlass angesaugt, der mit einem Sammelfilter und einem isokinetischen Sammler ausgestattet ist. Die Analyse des stromabwärts des isokinetischen Sammlers angeordneten Filters erlaubt die Berechnung der Massenkonzentration des Aerosols im Gebläse.

Die Wirksamkeit der Probenahme durch den Lufteinlass ist gleich dem Verhältnis der durch den zu prüfenden Lufteinlass gewonnenen Massenkonzentration des Aerosols zur Massenkonzentration im Windkanal.

C.1.2 Charakteristika des geprüften Lufteinlasses

Der Lufteinlass erfolgt mit einem Nenndurchfluss von $100\text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ verwendet. Das Filter mit 51 mm Durchmesser wird unmittelbar am Lufteinlass platziert (Bild C.1). Die Leistungsmerkmale des Lufteinlasses sind Tabelle C.1 gezeigt.

Tabelle C.1 – Leistungsmerkmale des Lufteinlasses vor einem Festfilter

Windgeschwindigkeit (m/s)	Wirksamkeit der Probenahme am Lufteinlass	Unsicherheit
2	1,18	0,12
	1,08	0,09
	1,03	0,09
	0,95	0,08
	0,87	0,07
10	1,01	0,09
	0,82	0,06
	0,85	0,07
	0,89	0,07
	0,87	0,07

Die Unsicherheit ist für einen Erweiterungsfaktor $k = 2$ angegeben.