

**DIN ISO 16640
(VDE 0493-1-6640)**
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 „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.

VDE

ICS 13.030.30; 13.280

Einsprüche bis 2019-02-21

Entwurf

**Überwachung radioaktiver Gase in Ableitungen von Anlagen, die
Positronen emittierende Radionuklide und/oder Radiopharmaka
produzieren
(ISO/CD 16640:2018);
Text Deutsch und Englisch**

Monitoring radioactive gases in effluents from facilities producing positron emitting radionuclides and radiopharmaceuticals
(ISO/CD 16640:2018);
Text in German and English

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2018-12-21 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 144 Seiten

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

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

Inhalt

Seite

Nationales Vorwort.....	6
Vorwort.....	7
Einleitung	8
1 Anwendungsbereich	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	9
4 Symbole.....	16
5 Faktoren, die die Konstruktion des Überwachungssystems beeinflussen	17
6 Arten von Überwachungssystemen.....	18
7 Allgemeine Anforderungen an das Überwachungssystem	18
7.1 Allgemeines	18
7.2 Messbereich	18
7.3 Position des Detektors.....	18
7.3.1 Untergrund.....	18
7.3.2 Einfacher Zugang für Wartungsarbeiten	19
7.3.3 Umgebungsbedingungen	19
7.4 Messung des Fortluftstroms	19
8 Anforderungen an Bypass-Systeme.....	19
8.1 Allgemeines	19
8.2 Probenentnahmeorte.....	19
8.3 Kondensation.....	20
8.4 Wartung	20
8.5 Leckkontrollen	20
9 Anforderungen an Inline-Systeme.....	21
9.1 Allgemeines	21
9.2 Position des Detektors.....	21
9.3 Umweltbedingungen.....	22
10 Evaluierung und Modernisierung bestehender Systeme	22
11 Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle.....	22
Anhang A (informativ) Faktoren, die die Auslegung des Überwachungssystems beeinflussen	24
A.1 Einführung	24
A.2 Ziel der Überwachung	25
A.3 Überlegungen zu verschiedenen Überwachungssituationen	26
A.3.1 Allgemeines	26

A.3.2	Überwachung normaler Bedingungen	26
A.3.3	Überwachung anomaler Bedingungen.....	26
A.3.4	Aktionsschwellen.....	26
A.4	Überlegungen zu verschiedenen Überwachungssystemen.....	27
A.4.1	Inline-Überwachungssystem	27
A.4.2	Bypass-Überwachungssystem.....	28
A.4.3	Umfeld der Überwachung	28
A.4.4	Beschreibung des Überwachungssystems	31
Anhang B (informativ)	Bewertung der Unsicherheit der Fortluftmessung.....	34
B.1	Einführung	34
B.2	Symbole	34
B.3	Beschreibungen	36
B.3.1	Allgemeine Beschreibung	36
B.3.2	Echtzeit-Aktivitätskonzentration	38
B.3.3	Archivierte mittlere Aktivitätskonzentration	40
B.4	Bestimmung der freigesetzten Aktivität.....	42
B.4.1	Allgemeines.....	42
B.4.2	Methode mit Daten aus Echtzeitmessungen	42
B.4.3	Methode aus archivierten gemittelten Messdaten	44
B.5	Anwendungsbeispiele	46
B.5.1	Beschreibung des Messsystems.....	46
B.5.2	Messergebnisse	46
B.5.3	Echtzeitaufnahme.....	48
B.5.4	Archivierte Messresultate	49
B.5.5	Anmerkungen	50
Anhang C (informativ)	Qualitätssicherung.....	51
C.1	Einführung	51
C.2	Dokumentation	51
C.2.1	Allgemeines.....	51
C.2.2	Quellterm.....	51
C.2.3	Charakterisierung der Fortluftströmung	51
C.2.4	Auslegung und Konstruktion	51
C.3	Wartung und Inspektion	52
C.3.1	Allgemeines.....	52
C.3.2	Inspektionen	52
C.3.3	Überprüfung des Durchflusses im Probensystems.....	52
C.3.4	Kontinuierliche Durchflussmessgeräte.....	53
C.4	Kalibrierung	53
C.4.1	Allgemeines.....	53

C.4.2	Kalibrierung der Durchflussmessgeräte im Probensystem	53
C.4.3	Kalibrierung von Durchflussmessgeräten.....	54
C.4.4	Kalibrierung von Zeitmessgeräten.....	54
Anhang D (informativ)	Verifizierung der Mischung und der Probensystemleistung	55
D.1	Methoden zur Verifizierung des Mischens	55
D.1.1	Allgemeines	55
D.1.2	Methode zum Demonstrieren der Mischung der Gaskonzentrationen.....	55
D.1.3	Alternative Ansätze zum Demonstrieren des Mischens	56
D.2	Zeitpunkt der Überprüfung der Leistung des Probenentnahmesystems.....	57
D.3	Ansätze zur Verifizierung von Bypass-Probenentnahmelinien	57
D.3.1	Allgemeines	57
D.3.2	Beispiele für Inline-Probenentnahme	57
D.3.3	Laborsimulationen	58
D.3.4	Modellierung der Probenlinienabscheidung	58
Anhang E (informativ)	Techniken zur Messung des Durchflusses durch einen Kamin oder Kanal	59
E.1	Einleitung.....	59
E.2	Besondere Überlegungen zur Anwendung von ISO 10780 bei der Probenentnahme in Kaminen und Kanälen der Positronen-emittierenden Einrichtungen	60
E.2.1	Allgemeines	60
E.2.2	Staudruckrohre	60
E.2.3	Mittlere molare Masse der Kaminluft.....	60
E.2.4	Thermische Anemometer und akustische Durchflussmessgeräte	60
E.3	Umwandlung von Daten von Einzelpunkt- oder Einzelzeilenmessungen in den Gesamtdurchfluss.....	60
E.3.1	Allgemeines	60
E.3.2	Staudruckrohr	60
Anhang F (informativ)	Aktionsschwelle	62
F.1	Einführung	62
F.2	Aktionsschwellen für die Steuerungsüberwachung.....	64
F.3	Aktionsschwellen für die Aufzeichnung der Probenentnahme	65
F.4	Für gewählte Aktionsschwellen notwendige Systemempfindlichkeit	65
F.5	Systemleistung und Geräteausfallalarme.....	66
Literaturhinweise		67
Bilder		
Bild 1	– Diagramm zur Erläuterung des 1-%-Konzepts (noch zu korrigieren).....	21
Bild A.1	– Vernichtung von Positronen	24
Bild A.2	– Positionierung der Sonde im Kanal	27
Bild A.3	– Positionierung der Sonde am Kanal.....	27
Bild A.4	– Schematische Darstellung eines Bypass-Systems	28
Bild A.5	– Schirmsonde – Kompensationsmessung.....	29

Bild A.6 – System zur Detektion emittierter Gamma-Koinzidenzstrahlung	30
Bild A.7 – Sättigungseffekt	32
Bild B.1 – Bypass-Messsystem	36
Bild B.2 – Inline-Messsystem	37
Bild B.3 – Werte der Echtzeitmessungen der Aktivitätskonzentration	47
Bild B.4 – Aufzeichnungen der mittleren Aktivitätskonzentration	47

Tabellen

Tabelle A.1 – Eigenschaften erzeugter Radionuklide	24
Tabelle A.2 – Eigenschaften „parasitärer“ Radionuklide	24
Tabelle A.3 – Arten von Detektoren und Funktionsprinzipien	25
Tabelle B.1 – Im Beispiel verwendete Parameter	46
Tabelle B.2 – Mögliche Werte von y , $u(y)/y$, y^* und $y^\#$	48
Tabelle B.3 – Weitere mögliche Werte von y , $u(y)/y$, y^* und $y^\#$	49
Tabelle F.1 – Anleitung zur Bestimmung der Unsicherheit von Probenentnahme und Messung	63

Nationales Vorwort

Der internationale Norm-Entwurf ISO/CD 16640 „Monitoring radioactive gases in effluents from facilities producing positron emitting radionuclides and radiopharmaceuticals“ 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.

Dieses Dokument wurde vom SC 2 „Radiological protection“ des TC 85 „Nuclear energy, nuclear technologies, and radiological protection“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium 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.

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 Normungsorganisationen (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 Themen 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 empfangenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

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

Eine Erläuterung zum freiwilligen Charakter von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen, sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT) berücksichtigt, enthält der folgende Link www.iso.org/iso/foreword.html.

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

Dies ist die erste Ausgabe dieser Norm.

Überwachung radioaktiver Gase in Ableitungen von Anlagen, die Positronen emittierende Radionuklide und/oder Radiopharmaka produzieren

Einleitung

Dieses Dokument konzentriert sich auf die Überwachung der Aktivitätskonzentrationen radioaktiver Gase und/oder der Aktivität gasförmiger Ableitungen aus Anlagen, die Positronen emittierende Radionuklide bzw. Radiopharmaka produzieren. Solche Einrichtungen produzieren Nuklide kurzer Halbwertszeit, die für medizinische Zwecke oder Forschung verwendet werden. Zu diesen Einrichtungen gehören Beschleuniger, Radiopharmazie, Krankenhäuser und Universitäten. Dieses Dokument enthält leistungsbezogene Kriterien für die Verwendung von Luftüberwachungsgeräten einschließlich Sonden, Transportkanälen, Probenüberwachungsinstrumenten und Gasdurchflussmessverfahren. Dieses Dokument enthält auch Informationen zu den Zielen des Überwachungsprogramms, zur Qualitätssicherung, zur Entwicklung von Maßnahmen zur Luftüberwachung, zur Systemoptimierung und zur Überprüfung der Systemleistung.

Das Ziel, eine genaue Messung von im Luftstrom gut durchmischten radioaktiven Gasen zu erreichen, wird entweder durch direkte Messung (Inline) am Fortluftstrom oder durch Absaugung (Bypass) aus dem Fortluftstrom zur abstandsfernen Messung erreicht. Dieses Dokument legt Leistungskriterien und Empfehlungen fest, die dabei helfen, belastbare Messungen zu erhalten.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument konzentriert sich auf die Überwachung der Aktivitätskonzentrationen radioaktiver Gase und/oder der Aktivität, die in den gasförmigen Ableitungen aus Anlagen freigesetzt wird, die Positronen emittierende Radionuklide und Radiopharmazeutika produzieren. Solche Einrichtungen erzeugen kurzlebige Radionuklide, die für medizinische Zwecke oder Forschung verwendet werden und Gase wie typischerweise, aber nicht nur, ^{18}F , ^{11}C , ^{15}O , ^{13}N freisetzen können. Bei diesen Einrichtungen handelt es sich um Beschleunigeranlagen, Radiopharmazie, Krankenhäuser oder Universitäten. Dieses Dokument enthält leistungs-basierte Kriterien für die Konstruktion und den Einsatz von Luftüberwachungsgeräten einschließlich Sonden, Transportkanäle, Probenüberwachungsinstrumenten und Gasdurchflussmessverfahren. Dieses Dokument enthält auch Informationen zu den Zielen des Überwachungsprogramms, zur Qualitätssicherung, zur Entwicklung von Maßnahmen zur Überwachung der Luftüberwachung, zur Systemoptimierung und zur Überprüfung der Systemleistung.

Das Ziel, eine genaue Messung von im Luftstrom gut durchmischten radioaktiven Gasen zu erreichen, wird entweder durch direkte Messung (Inline) am Fortluftstrom oder durch Absaugung (Bypass) aus dem Fortluftstrom zur abstandsfernen Messung erreicht. Dieses Dokument legt Leistungskriterien und Empfehlungen fest, die dabei helfen, belastbare Messungen zu erhalten.

Die Kriterien und Empfehlungen dieses Dokuments zielen auf die Überwachung ab, die zur Einhaltung der Vorschriften und zur Kontrolle des Systems durchgeführt wird. Wenn bestehende Luftüberwachungssysteme nicht den Leistungskriterien und Empfehlungen dieses Dokuments entsprechen, wird eine Bewertung der Leistung des Systems empfohlen. Wenn Mängel festgestellt werden, sollte festgestellt werden, ob eine Nachrüstung erforderlich und praktikabel ist.

Die Kriterien und Empfehlungen dieses Dokuments gelten sowohl unter normalen als auch unter anomalen Betriebsbedingungen, vorausgesetzt, dass normale und anomale Bedingungen nicht die Erzeugung von Aerosolen oder Dämpfen beinhalten. Sobald die normalen und/oder anomalen Bedingungen Aerosole und Dämpfe erzeugen, gelten auch die Prinzipien der Aerosolsammlung nach ISO 2889.

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 10780:1994, *Stationary source emissions – Measurement of velocity and volume flowrate of gas streams in ducts*

ISO 2889:2010, *Sampling airborne radioactive materials from the stacks and ducts of nuclear facilities*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>;
- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>.

3.1

Präventionsvorrichtung

(en: abatement equipment)

Vorrichtungen, die verwendet wird, um die Verunreinigungskonzentration in dem durch einen Kamin oder Kanal abgegebenen Luftstrom zu reduzieren

3.2

Absorber

(en: absorbent)

Material, das durch Diffusion einen Bestandteil aufnimmt, so dass der Bestandteil in die Struktur des Absorptionsmittels (bei Feststoffen) eindringen oder sich darin auflösen kann (bei Flüssigkeiten)

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn eine chemische Reaktion während der Absorption stattfindet, wird der Prozess Chemisorption genannt.

3.3

Unfall(bedingungen)

(en: accident (conditions))

gestörte Bedingung, die zur Freisetzung anomaler Mengen von Radionukliden führen kann

3.4

Genauigkeit

(en: accuracy)

Grad der Übereinstimmung zwischen einer gemessenen Größe und dem wahren Wert der Messgröße

3.5

Aktionsschwelle

Eingreifschwelle

(en: action level)

Schwellenkonzentration einer Fortluftkontamination, ab der geeignete Maßnahme durchgeführt werden müssen

3.6

Adsorber

(en: adsorbent)

Material, im Allgemeinen ein Feststoff, der eine Substanz, die mit ihm in Kontakt steht, durch molekulare Kräfte im Nahbereich, die das adsorbierte Material an der Oberfläche des Materials binden, zurückhält

3.7

Analysator

(en: analyzer)

Gerät, das Daten über radiologische Eigenschaften des Gas(Luft-)flusses in einem Probenentnahmesystem oder -kanal nahezu in Echtzeit bereitstellt

Anmerkung 1 zum Begriff: In der Regel bewertet ein Analysator die Konzentration von Radionukliden in einem Luftprobenstrom. Einige Analysatoren sind jedoch direkt innerhalb oder außerhalb eines Kamins oder Kanals installiert.

3.8

Biegung

Krümmung

(en: bend)

Richtungsänderung einer Probentransportleitung

3.9

Hauptstrom

(en: bulk stream)

Luftstrom in einem Kamin oder Kanal, im Gegensatz zur Probenflussrate

3.10

Bypass-System

(en: bypass system)

System, bei dem eine Probe aus dem Fortluftstrom entnommen und an einem entfernten Ort analysiert wird

3.11

Kalibrierung

(en: calibration)

Verfahren, das in einem ersten Schritt eine Beziehung zwischen den durch Messnormale bereitgestellten Messwerten und entsprechenden Angaben mit zugehörigen Messunsicherheiten herstellt und diese Information in einem zweiten Schritt dazu verwendet, einen Messwert zu erhalten

3.12

Variationskoeffizient

(en: coefficient of variation, COV)

Verhältnis der Standardabweichung einer Variablen zu ihrem Mittelwert

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Angabe des Variationskoeffizienten erfolgt üblicherweise in Prozent.

3.13

Konditionierungssystem

(en: conditioning system)

System, mit dem die Proben temperatur, der Druck, die Verdünnung oder andere Eigenschaften gesteuert werden

3.14

kontinuierlicher Luftmonitor

(en: continuous air monitor, CAM)

Monitor mit zugehörigen Detektoren, die Daten über Radionuklide in einem Probenstrom in annähernd Echtzeit bereitstellen

3.15

kontinuierliche Überwachung

(en: continuous monitoring)

kontinuierliche Messung einer oder mehrerer Proben nahezu in Echtzeit

3.16

Zyklotron

(en: cyclotron)

Teilchenbeschleuniger, der üblicherweise zur Herstellung von PET-Radionukliden verwendet wird, indem Protonen oder Deuteronen in ein geeignetes Target beschleunigt werden

3.17

Nachweisgrenze

(en: detection limit)

kleinster wahrer Messwert, der mit einer spezifizierten Wahrscheinlichkeit durch die Messprozedur nachweisbar ist

Anmerkung 1 zum Begriff: LLD (en: lower limit of detection) ist die Abkürzung für die untere Nachweisgrenze.

3.18

effektive Dosis

(en: effective dose)

Summe der von allen Organen oder Gewebeteilen eines Körpers absorbierten Dosen unter Berücksichtigung entsprechender Empfindlichkeiten

3.19

Fortluft

(en: effluent)

fortgeleiteter Luftstrom aus einem Prozess, einer Fabrik oder Anlage in die Umwelt

Anmerkung 1 zum Begriff: In diesem Dokument liegt der Fokus auf der Fortluft, die durch Kamin, Entlüftungen und Kanäle in die Atmosphäre abgegeben wird.

3.20

Emission

(en: emission)

Schadstoffe, die in die Umwelt gelangen

3.21

emittieren

(en: emit)

Schadstoffe in die Umwelt abgeben

3.22

Durchflussrate

(en: flow rate)

Rate, mit der Masse oder Volumen von Gas (Luft) eine (imaginäre) Querschnittsfläche entweder in einem Probenentnahmesystemrohr oder einem Kamin oder Kanal kreuzt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Geschwindigkeit, mit der das Volumen den (imaginären) Bereich kreuzt, wird Volumenstrom genannt; die Rate, mit der Masse die imaginäre Fläche kreuzt, wird entweder Massendurchflussrate oder volumetrische Durchflussrate unter Standardbedingungen genannt.

3.23

hydraulischer Durchmesser

(en: hydraulic diameter)

äquivalenter Kanaldurchmesser von Kanälen, die keinen runden Querschnitt haben

Anmerkung 1 zum Begriff: Im Allgemeinen ist es die vierfache Querschnittsfläche geteilt durch den Umfang.

3.24

Inline-System

(en: in-line system)

System, bei dem sich die Detektoranordnung entweder im oder unmittelbar am Fortluftstrom befindet

3.25

Mischer

(en: mixing element)

Vorrichtung, die in einem Kamin oder einer Leitung angeordnet ist, um die Vermischung von Verunreinigungen zu verstärken

3.26

Monitor

(en: monitor)

Messung einer Menge (z. B. Aktivitätskonzentration) des luftgetragenen radioaktiven Bestandteils oder des Gesamtgehalts an radioaktivem Material, kontinuierlich und hinreichend häufig, um eine Quantifizierung dieser Menge nahezu in Echtzeit oder Intervallen zu ermöglichen, die regulatorischen Anforderungen entsprechen

3.27

Düse

(en: nozzle)

Vorrichtung, die verwendet wird, um eine Probe aus einem Fortluftstrom zu extrahieren und die Probe zu einer Transportleitung oder einem Kollektor zu leiten

3.28

anomale Bedingungen

(en: off-normal conditions)

Bedingungen, die ungeplant sind und sich von Normalbedingungen absetzen

Anmerkung 1 zum Begriff: Beispiele sind Unfälle und Geräteausfall.

3.29

Positronen-Emissions-Tomographie

PET

(en: positron emission tomography)

stoffwechseldarstellendes Bildgebungsverfahren

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Test beinhaltet die Injektion eines radioaktiven Arzneimittels, wobei das Radionuklid ein Positronenemitter ist. Nach der Vernichtung des Positrons entstehen zwei 511-keV-Photonen und werden in entgegengesetzter Richtung emittiert. Diese Photonen werden im Scanner verwendet, um den Vernichtungspunkt zu bestimmen und daraus ein Bild zu berechnen.

3.30

mögliche Emissionen

(en: potential emissions)

Radionuklide, die bei Abwesenheit von Präventionsvorrichtungen in die Umwelt freigesetzt werden könnten

3.31

Präzision

(en: precision)

Grad der Übereinstimmung zwischen Indikationen, die durch wiederholte Messungen an denselben oder ähnlichen Objekten unter bestimmten Bedingungen gewonnen wurden

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Präzisionswert wird durch wiederholtes Testen einer homogenen Probe unter bestimmten Bedingungen erhalten. Die Genauigkeit einer Methode wird quantitativ entweder als die Standardabweichung, die aus den Ergebnissen einer Reihe von kontrollierten Bestimmungen berechnet wird, oder als der Variationskoeffizient der Messungen ausgedrückt.

3.32

Sonde

(en: probe)

umgangssprachliche Benennung für eine Vorrichtung, die in einen Kanal oder Kamin zur Messung von Volumenstrom oder Radioaktivität eingebracht wird

3.33

Profil

(en: profile)

Verteilung der Strömungsgeschwindigkeit des Gases über die Querschnittsfläche des Kamins oder Kanals

3.34

Qualitätssicherung

(en: quality assurance)

geplante und systematische Maßnahmen, die notwendig sind, um das Vertrauen zu schaffen, dass ein System oder eine Komponente im Betrieb zufriedenstellend funktioniert und dass die Ergebnisse sowohl korrekt als auch nachvollziehbar sind

3.35

Radionuklid

(en: radionuclide)

instabiles Isotop eines Elements, das spontan in ein anderes Isotop zerfällt oder sich in einen anderen Energiezustand umwandelt und Strahlung emittiert

3.36

Referenzmethode

(en: reference method)

Geräte und Anweisungen zur Bereitstellung von Ergebnissen, mit denen andere Verfahren verglichen werden können

Anmerkung 1 zum Begriff: Es wird angenommen, dass die Anwendung einer Referenzmethode korrekte Ergebnisse liefert.

3.37

repräsentative Probe

(en: representative sample)

Probe mit der gleichen Qualität und den gleichen Eigenschaften wie das Material seiner Quelle zum Zeitpunkt der Probenentnahme

3.38

Probe

(en: sample)

Teil eines zu untersuchenden Luftstroms oder eine oder mehrere getrennte Bestandteile aus einem Teil eines Luftstroms

3.39

Probenentnahmeort

(en: sample extraction location)

Ort der Entnahme einer Probe aus dem Hauptstrom, auch bekannt als Probenahmeort

3.40

Probenstrom

(en: sample stream)

Luft, die durch ein Überwachungssystem fließt

3.41

Probenentnahme

Probenahme

(en: sampling)

Verfahren zur Entnahme einer Probe aus dem Hauptstrom und deren Transport zu einem Monitor

3.42

Umgebung der Probenentnahme

(en: sampling environment)

Zustand der Strömung und des Gases innerhalb eines Kamins, der den Probenentnahmeprozess beeinflussen kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Zu den Faktoren gehören Druck, Temperatur und molekulare Zusammensetzung des Gases.

3.43

Probenentnahmeebene

Probenahmeebene

(en: sampling plane)

Querschnittsfläche an der Stelle der Probenentnahme

3.44

Probenentnahmesystem

Probenahmesystem

(en: sampling system)

System bestehend aus einem Zulauf, einer Transportleitung, einem Durchflussüberwachungssystem und einem Monitor

3.45

Empfindlichkeit

(en: sensitivity)

Änderung der Anzeige eines mechanischen, nuklearen, optischen oder elektronischen Geräts, das von Änderungen der variablen Größe beeinflusst wird, die vom Gerät erfasst werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Steigung einer Kalibrierkurve eines Messgeräts, wobei eine Kalibrierkurve die Ausgabe eines Messgeräts als Funktion der Eingabewerte anzeigt.

3.46

Normalbedingungen

(en: standard conditions)

Temperatur von 25 °C und Luftdruck von 101 325 Pa

Anmerkung 1 zum Begriff: Wird verwendet, um Luftdichten auf eine gemeinsame Basis zu konvertieren. Andere Temperatur- und Druckbedingungen dürfen verwendet und sollten konsistent angewendet werden.

3.47

Transportleitung

(en: transport line)

Teil eines Bypass-Systems zwischen der Austrittsebene der Düse und der Eintrittsebene einer Detektorkammer oder eines Gefäßes

3.48

turbulente Strömung

(en: turbulent flow)

durch eine Vermischung der Flusseigenschaften in großen Mengen gekennzeichnete Strömung

Anmerkung 1 zum Begriff: In einem Rohr ist die Strömung beispielsweise turbulent, wenn die Reynolds-Zahl größer als etwa 3 000 ist, und laminar, wenn die Reynolds-Zahl unter etwa 2 200 liegt. Bei laminarer Strömung gibt es nur eine geringe Vermischung.

3.49

Unsicherheit

(en: uncertainty)

Parameter, der die Verteilung der Mengenwerte charakterisiert, die einer Messgröße zugeordnet sind, basierend auf den verwendeten Informationen

Anmerkung 1 zum Begriff: Typischerweise wird die Unsicherheit mit einem gegebenen statistischen Vertrauensbereich angegeben (z. B. 95 %).

3.50

Unsicherheitsanalyse

(en: uncertainty analysis)

Verfahren zur Schätzung des Gesamteinflusses auf die Genauigkeit oder Genauigkeit einer abhängigen Variablen als Ergebnis von geschätzten Unsicherheiten unabhängiger Variablen

3.51

Dampf

(en: vapour)

gasförmiges Material, das bei Raumtemperatur flüssig oder fest ist, im Gegensatz zu nicht kondensierenden Gasen

Anmerkung 1 zum Begriff: Dämpfe werden in diesem Dokument als Gase verstanden und wurden aus Flüssigkeiten oder Feststoffen freigesetzt.

3.52

Geschwindigkeitsprofil

(en: velocity profile)

Verteilung der Geschwindigkeitswerte bei einem gegebenen Querschnitt in einem Kamin oder Kanal

3.53

Wandverlust

(en: wall loss)

Verlust von Probenbestandteilen an den Innenwänden eines Probenentnahmesystems

Anmerkung 1 zum Begriff: Quantitativ ist dies die Konzentration, die an den Wänden einer Düse, einer Transportleitung, eines Konditionier- oder Transportsystems anfällt, dividiert durch die Konzentration an der Eintrittsebene der Düse, der Transportleitung oder des Transportsystems.

4 Symbole

Formelzeichen, die in den Gleichungen in diesem Dokument verwendet werden, sind nachfolgend definiert.

A	Querschnittsfläche eines Kamins oder Kanals (m^2)
B	Verzerrung (<i>bias</i>), dimensionslos
B_L	Gesamtverzerrungsgrenze, dimensionslos
^cA	Fortluftaktivitätskonzentration (Bq/m^3)
C_{af}	Geschwindigkeitsmittelnder Korrekturfaktor zum Bestimmen der Strömungsrate in einem Kamin oder Kanal von einer durchschnittlichen Leitungsgeschwindigkeit, die mit einem akustischen Strömungsmesser dimensionslos genommen wird
C_P	Druckkoeffizient für ein Staurohr, dimensionslos
C_{pt}	Geschwindigkeits-Mittelung Korrekturfaktor zur Bestimmung der Durchflussrate in einem Kamin oder Kanal von einem einzigen Punkt Lesung mit einem Pitot-Rohr, dimensionslos
C_{ta}	Geschwindigkeits-Mittelung Korrekturfaktor zur Bestimmung der Durchflussrate in einem Kamin oder Kanal von einem einzigen Punkt Lesung mit einem thermischen Anemometer, dimensionslos
d_t	Innendurchmesser einer Transportsystemkomponente (z. B. Rohr) (m)
E	Mittlere Radionuklid-Kaminemissionsrate über die Integrationszeit (Bq s^{-1})
E_C	Unsicherheiten im Zusammenhang mit der Bestimmung des Kalibrierfaktors, dimensionslos
E_{QT}	Gesamtunsicherheit im Luftvolumen, dimensionslos
E_s	Ungewissheit beim Ablesen der Durchflussmessgeräteskala, dimensionslos
E_t	Unsicherheit in Zusammenhang mit der Messung der Abtastzeit, dimensionslos
F_k	Fluktuationskonstante, dimensionslos
L	Länge eines Rohrabschnitts (m)
L_c	Vertrauensgrenze
LLD	Untere Nachweisgrenze
M	Mittlere Molmasse eines Gases, (kg/mol)
M_P	Vermischung radioaktiver Schadstoffe im Gesamtabgasvolumen, bestimmt als Verhältnis der Konzentration im Probenvolumen zur Konzentration im freien Strom, dimensionslos
N	Anzahl der Punkte oder Beobachtungen
p	Druck (Pa)
p_{std}	Standarddruck, 101 325 Pa
Q	Volumen der Fortluft, das die Probe bei Strömungstemperatur, Druck und Gaszusammensetzung (m^3) produzierte
Q_T	Gesammelte Gesamtmenge an Gas (Luft), (m^3)
q	Volumenstrom, (m^3/s)
q_a	Volumetrische Durchflussrate bei aktuellen Temperatur- und Druckbedingungen (m^3/s)
q_{std}	Volumetrische Durchflussrate bei Standardbedingungen (25 °C und 101 325 Pa) (m^3/s)
R	Einzelgaskonstante für ein bestimmtes Gas (R_u/M) ($\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$)
R_u	Universal-Gaskonstante, $R_u = 8,314 \text{ J} / (\text{mol}\cdot\text{K})$

Re	Reynolds Zahl der Strömung in einem Rohr ($Re = \rho U_m d_t / \mu$), dimensionslos
r_n	Netto-Zählrate (Brutto minus Untergrund) aus der Stichprobe, Zählungen pro Sekunde (s^{-1})
S	Signal
s	Standardabweichung
T	Temperatur (K)
T_a	Temperatur im Kamin oder Kanal (K)
T_{std}	Standardtemperatur, 298 K
t	Zeit (s)
U_m	mittlere Geschwindigkeit von Gas (Luft) in einem Strömungsrohr ($m \cdot s^{-1}$)
V	Geschwindigkeit ($m \cdot s^{-1}$)
V_i	Geschwindigkeit im Zentrum des i -ten Elements ($m \cdot s^{-1}$)
V_{std}	Äquivalente Geschwindigkeit bei Standardbedingungen (25 °C und 101 325 Pa) ($m \cdot s^{-1}$)
T	Zeitraum, über den Stichproben durchgeführt werden (s)
μ	Dynamische Viskosität eines Gases (Pa·s)
ρ	Dichte ($kg \cdot m^{-3}$)
ρ_{std}	Dichte der Luft bei Standardbedingungen (25 °C und 101 325 Pa), 1 184 $kg \cdot m^{-3}$
ρ_w	Dichte von Wasser bei 4 °C, 1 000 $kg \cdot m^{-3}$
ε_d	Nachweiswahrscheinlichkeit, dimensionslos
ε_f	Sammeleffizienz, dimensionslos
λ	Zerfallskonstante (s^{-1})
θ	Fließwinkel (°) oder (rad)
δ	Unsicherheit
σ	Varianz

5 Faktoren, die die Konstruktion des Überwachungssystems beeinflussen

Dieses Dokument konzentriert sich auf die Verfahren der Überwachung radioaktiver Gase in Anlagenemissionen. Einige der Faktoren, die die Konstruktion des Systems beeinflussen, sind:

- Zweck der Überwachung;
- Zustand des Systems (normale oder anomale Bedingungen);
- Eigenschaften des Luftstroms und der radioaktiven Gase;
- gewünschte Messempfindlichkeit;
- Konzentrationen oder Gesamtemissionen, die Abhilfemaßnahmen auslösen (Aktionsschwellen).

Informationen zu diesen Faktoren sind in den Anhängen A und F enthalten. Der Benutzer muss für einen bestimmten Standort, Prozess oder Umweltbedingungen ggf. zusätzliche spezifische Faktoren berücksichtigen. Die Auswirkungen dieser Faktoren auf das Überwachungssystem sollten bewertet werden.

6 Arten von Überwachungssystemen

Es gibt zwei allgemeine Arten von Positronen-Gas-Fortluftmonitoren im Einsatz; Der erste Typ, ein Bypass-System, verwendet ein Probenentnahmesystem, um eine repräsentative Probenmenge aus dem Kanal zu entnehmen und den radioaktiven Inhalt in einem Detektor außerhalb des Kanals zu analysieren. Die zweite Art ist ein Inline-System und verwendet Detektoren in oder um den Kanal herum, um die Radioaktivitätskonzentration im Luftstrom direkt zu analysiert.

Bei beiden Typen muss die Reaktion das Ansprechen der Detektoren auf andere Strahlungsquellen berücksichtigt und minimiert werden, um die Aktivitätskonzentration von radioaktivem Gas im Luftstrom genau zu messen. Zum Beispiel kann diese Minimierung durch die Verwendung einer Abschirmung oder eines Kompensationsdetektors erreicht werden.

7 Allgemeine Anforderungen an das Überwachungssystem

7.1 Allgemeines

Die folgenden Unterabschnitte enthalten Anleitungen und Anforderungen für den Entwurf eines Überwachungssystems.

7.2 Messbereich

Das Nachweissystem muss angemessen sein, um die festgelegte nachweisbare Mindestkonzentration (bei einem Vertrauensniveau von 95 %) zu einer angemessenen Messzeit unter Berücksichtigung des Untergrunds am Installationsort zu erfüllen, wie nachstehend erläutert wird.

Der obere Bereich des Systems muss in der Lage sein, bis zum ungünstigsten Fall der normalen Freigabe zu messen, was häufig eine Totzeitkorrektur im Erfassungssystem erfordert. Typischerweise können maximale Entladungen 50 MBq m^{-3} betragen.

Ableitungen nach einem Störfall sind zu quantifizieren und in den kumulierten Ableitungen der Anlage zu berücksichtigen (außer bei Ausfall der Lüftung).

Um Entladungen bestmöglich beurteilen zu können, muss zunächst sichergestellt werden, dass der Messbereich des Detektorsystems mit den eventuell vorhandenen Konzentrationen vereinbar ist. Wenn ein Erfassungssystem gesättigt ist (Überlastung), macht es die Auswertung der während des Vorfalls emittierten (oder freigesetzten) Aktivität unmöglich.

7.3 Position des Detektors

7.3.1 Untergrund

In beiden Arten von Überwachungssystemen (Inline oder Bypass) muss das Ansprechen der Detektoren auf andere Strahlungsquellen berücksichtigt und minimiert werden, um die Aktivitätskonzentration von radioaktivem Gas im Luftstrom genau zu messen. Daher sollte jeder Detektor so angeordnet sein, dass die Wirkung von Untergrundquellen minimiert wird. Untergrundquellen können umfassen:

- Beschleuniger (Zyklotron, Linearbeschleuniger);
- Filter;
- Transferleitungen;
- heiße Zellen / Abzüge;
- andere Fortluftkanäle;
- Quellenlager;
- Qualitätssicherungs-Ausrüstung;
- Wartebereiche für Patienten;
- Lagerung radioaktiver Abfälle.

Der empfindliche Teil des Überwachungssystems sollte ausreichend weit entfernt, ausreichend gut abgeschirmt oder ausreichend gut bezüglich der oben genannten Quellen der Untergrundstörung kompensiert sein, um die Systemempfindlichkeitsanforderungen zu erfüllen.

7.3.2 Einfacher Zugang für Wartungsarbeiten

Der Detektor, das Durchflussmesssystem und die zugehörige Ausrüstung sollten für die routinemäßige Wartung und Kalibrierung leicht zugänglich sein.

7.3.3 Umgebungsbedingungen

Die Auswirkungen von Temperatur, Feuchtigkeit, Schwingungen, Witterungsbedingungen und elektromagnetischen Störungen sollten bei der Auswahl des Systemstandorts berücksichtigt und gegebenenfalls angemessen kompensiert werden.

7.4 Messung des Fortluftstroms

Die Strömungsmessungen in dem Kamin, dem Kanal oder der Entlüftung sind sowohl für Inline- als auch für Bypass-Überwachungssysteme kritisch, da sie die Genauigkeit der berechneten Emissionen direkt beeinflussen. Der Luftstrom muss kontinuierlich gemessen werden, sofern nicht anderweitig nachgewiesen. Bei der Berechnung von Emissionen treten Fehler auf, wenn die Emissions- und Probenvolumeneinheiten nicht auf der gleichen Gasdichte basieren. In lokalen Vorschriften können die Bedingungen für die Gasdichte angegeben werden, die für die Meldung von Emissionen verwendet werden, und ob die Aktivitätskonzentration oder die emittierte Aktivität nachgewiesen wird. Bei der Berechnung der Fortluftmenge sollte der Benutzer entweder die Dichteunterschiede in der Luft berücksichtigen oder Messungen basierend auf einer Standarddichte verwenden. Bei Bypass-Systemen muss möglicherweise ein Korrektionsfaktor für das Verhältnis von entnommener Probe zur Fortluftaktivität angewandt werden, wenn die Differenz zwischen der Luftdichte und der Probe 10 % überschreitet.

Das Mehrpunkt-Durchflussmessgerät sollte für den Kanal ausgewählt werden. Das Gerät sollte nach den Empfehlungen des Herstellers platziert werden. Wenn keine Herstellerempfehlung vorliegt, sollte der Ort mindestens 10 hydraulische Durchmesser hinter einer Strömungsstörung und mindestens 5 hydraulische Durchmesser vor dem Ende des Kamins oder der nächsten Strömungsstörung liegen. Das Durchflussmessgerät sollte gemäß der Empfehlung des Herstellers jährlichen Mindestgenauigkeitsprüfungen unterzogen werden. Solche Überprüfungen können unter anderem den Vergleich mit manuellen Messungen, routinemäßigen Kalibrierungen oder unabhängig kalibrierten Überprüfungen der Messgeräte umfassen.

8 Anforderungen an Bypass-Systeme

8.1 Allgemeines

Wie in den Definitionen angemerkt, entnimmt ein Bypass-System eine Probe aus dem Fortluftstrom und analysiert sie an einem vom Entnahmeort entfernten Ort. Das Folgende sollte bei der Auswahl des Standortes für die Probenentnahme und des Detektors berücksichtigt werden.

8.2 Probenentnahmeorte

Eine repräsentative Probe wird am besten von dem Ort entnommen, an dem die radioaktiven Materialien in dem Hauptstrom gut vermischt sind. Das Belüftungssystem sollte so gestaltet sein, dass die Probe aus einem gut gemischten Strom entnommen werden kann. In diesem Fall darf die Probenentnahmesonde einen einzigen Einlass enthalten.

Nach einer sorgfältigen Bewertung sollten eine oder mehrere der folgenden Maßnahmen ergriffen werden, wenn diese Kriterien in Fortluftsystemen, die vor der Veröffentlichung dieses Dokuments entworfen und gebaut wurden, nicht erfüllt werden können:

- 1) Wahl eines anderen Ortes für die Probenentnahme;
- 2) Installation einer Vorrichtung, die das Mischen fördert;

- 3) Durchführung eines In-Situ-Tests, der zeigt, dass kein Risiko zu geringer Entnahme besteht (ISO 2889) oder
- 4) Anwendung geeigneter Korrekturfaktoren.

Die Kamin- oder Kanalgeometrie und der Luftstrom sollten vollständig berücksichtigt werden. Der Probenentnahmeort sollte nicht so nahe am Kaminausgang liegen, dass Windeffekte das Geschwindigkeitsprofil am Probenentnahmeort wesentlich beeinflussen können. Bei gut durchmischter Luftströmung liegen erfolgreiche Probenentnahmeorte typischerweise im Bereich von 5 bis 10 hydraulischen Durchmessern stromabwärts von einer Strömungsstörung und 3 oder mehr hydraulischen Durchmessern stromaufwärts von einer Strömungsstörung. Es gibt Fälle, in denen größere Entfernungen benötigt werden. Besondere Aufmerksamkeit sollte der Geometrie der Strömungseintrittsbedingungen gelten. Jede Zugabe eines kleinen Sekundärluftstroms nahe der Wand des Kamins oder der Leitung sollte vermieden werden. Biegungen, Ventilatoren, Kanalübergänge und ähnliche Störungen fördern das Mischen, können aber auch Verzerrungen in der Geschwindigkeit und dem Verunreinigungskonzentrationsprofil bewirken und die Luftströmung in den ersten 2 bis 3 hydraulischen Durchmessern stromabwärts behindern. Daher sollten Probenentnahmeorte, die solchen Störungen zu nahe sind, gegebenenfalls durch längere Probenentnahmeleitungen vermieden werden.

Zusätzlich zum physikalischen Hintergrund, eine repräsentative Probe zu erhalten, gibt es weitere Überlegungen beim Lokalisieren der Sonde und der zugehörigen Ausrüstung. Der Standort sollte leicht und sicher zugänglich sein, es sollte kein Problem für die Bedienungs- und Wartungsaktivitäten des Probenehmers darstellen, und es sollte in der Lage sein, Analyse- oder Probensammlungsvorrichtungen unterzubringen, die die Qualität der Probe nicht beeinträchtigen.

Die Probe sollte an einem Ort entnommen werden, an dem die Gasbestandteile in dem Volumenstrom gut vermischt sind. Wenn Nebenströme im Lüftungssystem vorhanden sind, sollte eine einheitliche Gaskonzentration validiert werden. Merkmale, die das Mischen verbessern, tun dies durch Erzeugen von großen Turbulenzen. Eine oder mehrere 90°-Windungen, konvergierende Luftströme, Mischkästen, Ringe und statische Mischer verbessern das Mischen. Drehflügel und Strömungsgleichrichter haben dagegen den gegenteiligen Effekt. Eine Zusammenfassung der Mischer und ihrer Testdaten findet sich in Maiello und Hoover (2011), NCRP Report 169 und ISO 2889, Anhang F. Die generischen Tests liefern Ergebnisse zu Merkmalen, die das Mischen fördern. Zuvor getestete Konfigurationen können verwendet und skaliert werden. Viele davon sind in Maiello und Hoover (2011) zusammengefasst.

8.3 Kondensation

Probentransportleitungen, Sammler und Analysatoren sollten so konstruiert sein, dass Kondensation von Dampf vermieden wird. Kondensation findet statt, wenn die Temperatur der Luft in der Probentransportleitung geringer als die Sättigungstemperatur des betreffenden Dampfes ist. Zur Vermeidung von Kondensation kann die Probentransportleitung thermisch isoliert und ggf. erwärmt werden. Experimentelle oder numerische Analysen sollten durchgeführt werden, um die Wirksamkeit von kondensationshemmenden Maßnahmen zu zeigen.

8.4 Wartung

Die Probenentnahmedüse sollte regelmäßig überprüft werden – bei HEPA-gefilterten Systemen alle 3 Jahre und bei ungefilterten Systemen jährlich – auf Ablagerungen von z. B. Fremdmaterialien, die die Leistung des Überwachungssystems beeinträchtigen können. Wenn Untergrund-Aerosolpartikel vorhanden sind, die Ablagerungen erzeugen können, sollte ein Reinigungsplan verhindern, dass mehr als 5 % der Einlassfläche einer Düse verschlossen werden. Wenn eine Reinigung nicht möglich oder gewünscht ist, sollte die Probenentnahmedüse ggf. ersetzt werden.

Wenn an der Probenentnahmedüse eine signifikante Kontamination festgestellt wird, sollte auch eine Reinigung oder ein Austausch der Probenentnahmeleitungen in Betracht gezogen werden.

8.5 Leckkontrollen

Ein Leck in einem Bypass-Überwachungssystem würde die beobachtete Konzentration relativ zur wahren Konzentration verringern. Vor der Inbetriebnahme des Systems, nach der Installation oder nach der Durchführung von wesentlichen Wartungs- oder Systemänderungen müssen als letzter Schritt Dichtheitskontrollen

durchgeführt werden. Die Inspektions- oder Testmethodik sollte für die Installation praktikabel sein und dokumentiert werden. Dichtheitsprüfungen müssen in Übereinstimmung mit der Betriebserfahrung regelmäßig durchgeführt werden. Eine Leckrate von $\leq 5\%$ wird als akzeptabel angesehen; Leckagen sollten jedoch im Hinblick auf die Überwachungsziele minimiert und gerechtfertigt werden.

9 Anforderungen an Inline-Systeme

9.1 Allgemeines

Bei Inline-Systemen ist die Detektoranordnung benachbart zum oder in den Fortluftkanal eingetaucht. Die zu berücksichtigenden Punkte beim Entwurf dieses Systemtyps werden nachstehend beschrieben.

9.2 Position des Detektors

Der Detektor muss sich dort befinden, wo der Fortluftstrom in dem Kanal oder Kamin gut vermischt ist.

Wenn sich zwei (oder mehr) Kamine oder Kanäle dicht beieinander befinden, besteht die Möglichkeit, dass eine gasförmige Ableitung in einem Kanal oder Kamin einen erhöhten Untergrundmesswert im benachbarten System verursacht. Dies kann zu einem hohen Untergrund im Überwachungssystem führen, was zu Ungenauigkeiten in den Entladungsergebnissen führt. Dies sollte vermieden werden, indem die in 7.3.1 beschriebenen Techniken verwendet werden, um einen falschen Alarm oder ein falsches Kontrollereignis zu vermeiden.



**Bild 1 – Diagramm zur Erläuterung des 1%-Konzepts
(noch zu korrigieren)**

9.3 Umweltbedingungen

Wenn Detektoren außerhalb von Gebäuden am Kamin platziert oder ohne Temperaturregelung installiert werden, können die Temperaturen extreme Höhen und Tiefen erreichen. Dies kann zu Schäden am Überwachungssystem und zu Ungenauigkeiten bei den Messwerten aufgrund erhöhter Untergrundwerte oder Änderung der Empfindlichkeit führen. Bei Verwendung temperaturempfindlicher Detektoren sollte der Einfluss von Temperaturschwankungen bei der Auswahl des Detektortyps und des Einbauorts berücksichtigt werden. Bei Bedarf sollte eine angemessene Kompensation vorgenommen werden.

10 Evaluierung und Modernisierung bestehender Systeme

Wenn ein vorhandenes Luftüberwachungssystem nicht den Leistungsanforderungen und Empfehlungen dieses Dokuments entspricht, wird eine Bewertung der Leistung des Systems, einschließlich des Standortes und der Umgebung der Sonden, der Detektoren und anderer Geräte, empfohlen. Wenn Mängel festgestellt werden, sollte in der Bewertungsstudie hinsichtlich Nachrüstung eine Aussage gemacht werden. Um zu einer geeigneten Lösung zu gelangen, müssen die konkurrierenden Faktoren optimiert werden. Die Bewertung bestehender Systeme sollte unter Verwendung bewährter Techniken durchgeführt werden, z. B. der britischen Umweltagentur, Best-Practice-Techniken (BVT), Leitlinien für die Überwachung der Umweltstrahlung (Leonard 2007).

Es gibt auch Fälle, in denen die Leistungsüberprüfung eines Überwachungssystems ratsam ist. Diese beinhalten:

- wenn der beprobte Fortluftstrom möglicherweise nicht gut durchmischt ist;
- wenn ein bestehendes System zusätzlichen neuen regulatorischen Anforderungen unterliegt;
- wenn sich das Potenzial zur Schadstoffemission erheblich verändert hat;
- wenn ein bestehendes System wesentliche Änderungen erfahren hat, z. B.:
 - Änderung des Strömungsflusses über die ursprünglichen Entwurfsgrenzen hinaus;
 - Hinzufügen eines neuen Fortluftstroms in einer Weise, die den gut gemischten Zustand an der Entnahmestelle (Umgebungssystem) oder des Detektors (Inline-System) stört;
 - Hinzufügen neuer Untergrundquellen in der Nähe des Messsystems, die die Messergebnisse beeinflussen könnten;
 - Änderung der Systembetriebsparameter außerhalb des Auslegungsbereichs;
- bei unzureichender Dokumentation.

11 Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle

Die Ziele eines Qualitätssicherungsprogramms (QS-Programm) bestehen darin, den Betreibern, den Genehmigungsbehörden und der Öffentlichkeit die Belastbarkeit der Luftüberwachungsdaten zuzusichern und etwaige Mängel in der Ausrüstung und den Verfahren des Überwachungssystems zu ermitteln, um Korrekturmaßnahmen durchführen zu können. Zu den Werkzeugen, die zur Erreichung dieser Ziele verwendet werden, gehören Dokumentation, Wartung, Inspektion und Kalibrierung. Informationen zu einem Luftprobenentnahmesystem, die sich auf dieses Kriterium beziehen, sind in [Anhang C](#) enthalten.

Jede Einrichtung zur Überwachung radioaktiver Luftemissionen muss über ein QS-Programm verfügen, das die qualitätsbezogenen Aktivitäten des Luftüberwachungsprogramms berücksichtigt. Ein spezifischer QS-Plan sollte entwickelt und umgesetzt werden. Er sollte zumindest die Qualitätsaspekte der Probenentnahme und Überwachung radioaktiver Ableitungen in folgenden Bereichen berücksichtigen:

1. Organisation
 - organisatorische Verantwortlichkeiten;
 - Verwaltungskontrollen;
 - Berichts- und Benachrichtigungssystem;
 - Dokumentation;
 - Personalqualifikation und –ausbildung.
2. Design des Überwachungssystems
 - Quellterme;
 - Auswahl von Entnahme- oder Detektororte;
 - Auswahl von Überwachungsgeräten.
3. Betriebsverfahren
 - Systembetriebsverfahren;
 - Kalibrierverfahren;
 - Korrektionsfaktoren;
 - Datenanalyse und Berichte;
 - Wartung und Funktionsüberprüfung;
 - Aufstellung nicht-konformer Aspekte;
 - Korrekturmaßnahmen.

Anhang A (informativ)

Faktoren, die die Auslegung des Überwachungssystems beeinflussen

A.1 Einführung

Das hauptsächlich für Radiopharmazeutika und Forschung produzierte PET-Nuklid ist ^{18}F , gefolgt von ^{11}C und ^{15}O . Deren Eigenschaften sind in der folgenden Tabelle aufgeführt. Die jährlichen Abgabemengen in Form von gasförmigen Ableitungen können je nach Anlage zwischen einigen MBq und einigen TBq variieren.

Tabelle A.1 – Eigenschaften erzeugter Radionuklide

Radionuklid	Halbwertszeit	β_+	γ
^{18}F	110 min	634 keV	511 keV
^{11}C	20 min	960 keV	511 keV
^{15}O	2 min	1 732 MeV	511 keV

Diese Radionuklide emittieren β^+ -Teilchen (Positronen), deren Vernichtung zur Emission von zwei entgegengesetzt gerichteten 511-keV-Photonen führt (Bild A.1). Diese Eigenschaft wird in der Nuklearmedizin für die PET-Bildgebung genutzt.

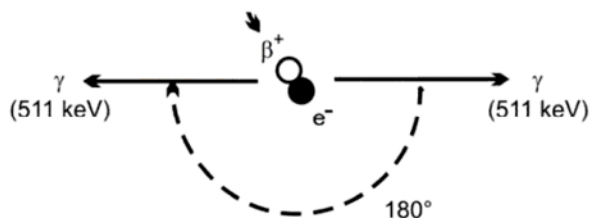


Bild A.1 – Vernichtung von Positronen

Zusätzlich zu diesen Radionukliden werden andere, „parasitäre“ Radionuklide erzeugt, wenn das Target durch das Zyklotron bestrahlt wird (durch Aktivierung der Luft des Bunkers, des Inhalts des Targets oder bestimmter Materialien). Die am häufigsten von den Betreibern unter den gasförmigen Ableitungen identifizierten Gase sind ^{41}Ar , das durch Aktivierung der Luft am Zyklotron erzeugt wird, und ^{13}N , das durch Aktivierung des Targetinhalts erzeugt und am Ende der Bestrahlung in der Synthesezelle freigesetzt wird. Ihre Eigenschaften sind in Tabelle A.2 aufgeführt.

Tabelle A.2 – Eigenschaften „parasitärer“ Radionuklide

Radionuklid	Halbwertszeit	β_+	γ	β^-
^{13}N	10 min	1,19 MeV	511 keV	–
^{41}Ar	2 h	–	1,29 MeV	1,19 MeV

Die erste zu lösende Frage ist die nach dem bestgeeigneten Detektor für Messungen der gasförmigen Ableitung. Die drei häufigsten Arten von Detektoren sind: Proportionalzähler, Szintillator und Halbleiterdetektor. Sie alle erzeugen elektrische Impulse, die von der Elektronik verstärkt, detektiert und gezählt werden. Jeder erfasste Impuls wird „Zählimpuls“ genannt. Der Benutzer muss den Fluss der Photonen kennen. Auf diese Weise hat er eine Anzahl von Impulsen proportional zur Anzahl der Photonen wie: $I = k \times \varphi$.

Dabei ist

- I die Zählrate (Signalstärke), in Zählimpulsen je Sekunde;
- φ der Photonenfluss (Anzahl der Photonen, die je Sekunde durch das Fenster des Detektors laufen);
- k die Nachweiswahrscheinlichkeit des Detektors.

Die folgende Tabelle zeigt die Funktionsweisen der genannten Detektoren:

Tabelle A.3 – Arten von Detektoren und Funktionsprinzipien

Detektorart	Funktionsprinzip
Proportionalzähler	Ionisierung eines Gases
Szintillator	Emission von Fluoreszenz- oder Phosphoreszenzphotonen
Halbleiter	Ionisierung eines Festkörpers

A.2 Ziel der Überwachung

Es gibt viele mögliche Ziele für das Programm zur Überwachung der Abführung von Abgasen. Die Gründe für die Auswahl eines spezifischen Ziels und Ansatzes sollten gut dokumentiert sein. Einige mögliche Ziele der Luftüberwachung sind:

- Erfüllung regulatorischer Anforderungen;
- Bewertung der Notwendigkeit eines ständigen Überwachungsprogramms;
- ein Überwachungsprogramm vorzugsweise mit einem Inline-System einzurichten oder die Notwendigkeit, ein Bypass-System zu bewerten;
- Messung der Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Umwelt durch Überwachung;
- dazu beizutragen, dass Personen in der Umgebung keinen radioaktiven Freisetzungen ausgesetzt sind, die die festgelegten Grenzwerte überschreiten;
- dazu beizutragen, die möglichen Folgen der normalen und anomalen Einleitungen einer Anlage zu bewerten und die Auswahl geeigneter Korrekturmaßnahmen anzuleiten. Dies kann die Aufsummierung radioaktiver Kontaminationen umfassen, die über verschiedene Zeiträume an die Umwelt abgegeben werden.

Die Entwicklung eines technisch vertretbaren Überwachungsprogramms (Inline- oder Bypass-System) erfordert ein klares Verständnis dieser Ziele.

Viele Ziele beziehen sich auf den Arbeits- oder Umweltschutz und die Einhaltung von Vorschriften. Wenn die Überwachungsziele nicht verstanden werden, kann dies zu ungeeigneten oder wirkungslosen Systemauslegungen und -implementierungen führen. Die Planung und Umsetzung eines Überwachungsplans in einer bestimmten Einrichtung umfasst technische Entscheidungen, bei denen widersprüchliche Anforderungen entstehen, wenn die geeignetste Maßnahme getroffen wird, mit der die Faktoren der Sicherheit der Angestellten und der Öffentlichkeit, physische Anlagenbeschränkungen und andere Betriebs- und Sicherheitsfaktoren sicherzustellen ausgewogen umgesetzt werden.

Die verschiedenen Ziele für Überwachungssysteme schließen sich in den meisten Überwachungssituationen für Fortluft nicht aus. Ein Überwachungssystem zur Erfüllung eines Ziels kann auch andere Ziele erfüllen. Ebenso kann eine Reihe von Ansätzen verfolgt werden, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen.

A.3 Überlegungen zu verschiedenen Überwachungssituationen

A.3.1 Allgemeines

Besondere Aufmerksamkeit sollte den möglichen Wechselwirkungen zwischen den Betriebsbedingungen der Anlage, Luftschadstoffen, Steuer- und Belüftungskomponenten und Umweltparametern, die sich auf das Überwachungssystem auswirken können, gewidmet werden.

Das Messsystem (einschließlich der Sonde, ihrer Positionierung, der Datenanalyse-Methode usw.) muss sowohl im normalen als auch im Notfallbetrieb gut funktionieren. Es ist daher wichtig, jetzt beide Fälle zu unterscheiden.

A.3.2 Überwachung normaler Bedingungen

Im Allgemeinen sind normale Betriebsbedingungen die erwarteten Bedingungen mit einer erwarteten Bandbreite. Dies sind in der Regel die durchschnittlichen Betriebsbedingungen und deren statistische Varianz. Die normalen Betriebsbedingungen können je nach den in Betrieb befindlichen Prozessen einen großen Bereich von Temperatur- und Luftströmungsraten haben. Das Fortluftüberwachungssystem sollte so gewählt werden, dass es diese Bedingungen erfüllt. Das Fortluftabgabesystem kann auch mit einem Fortluftkontrollsystem (Reinigungssystem) arbeiten, das Partikel- und Gasemissionen auf ein akzeptables Niveau reduziert. Die Fortluftüberwachung sollte so ausgelegt sein, dass sie unter diesen Betriebsbedingungen zuverlässig funktioniert.

Der normale Betrieb einer Anlage ist definiert als die Betriebssituation, für die die Anlage ausgelegt wurde, ohne Berücksichtigung möglicher Vorfälle oder Unfälle. Dies beinhaltet die Vermeidung von Material- oder menschlichem Versagen, das zu einer unvorhergesehenen Freisetzung von Ableitungen in die Umwelt führen könnte.

Unter normalen Bedingungen muss das Messsystem eine gute Abschätzung der abgeführten Aktivität liefern, insbesondere um sicherzustellen, dass sie innerhalb der zulässigen Grenzen liegt. Die Hauptanforderung ist daher die Fähigkeit des Systems, einen bestimmten Ausstoßgrad zu messen, der durch die Aktivitätskonzentration der Ableitungen und durch die Luftströmungsrate gekennzeichnet ist. Außerdem muss das System Echtzeitinformationen bereitstellen, die für die Überwachung des aktuellen Betriebs nützlich sind.

A.3.3 Überwachung anomaler Bedingungen

Die Hauptereignisse, die zu außergewöhnlichen Entladungen über die Lüftungssysteme des Systems führen können, sind mit Leckage des Targets, des Transfersystems zu Synthese oder der Synthesekits, des Containments oder des Targets verbunden. Um diese Situation zu lösen, ist es wichtig, sie auf der Grundlage der Messung der abgegebenen Emissionen korrekt identifizieren zu können.

Unter Umständen (wenn die Ableitungen höher sind als die erwartete Betriebssituation) muss das Messgerät frühzeitig warnen, damit geeignete Maßnahmen durchgeführt werden können.

A.3.4 Aktionsschwellen

Um einen Störfall aufzulösen, ist es wichtig, ihn anhand der Messung der abgegebenen Emissionen korrekt identifizieren zu können.

Zu diesem Zweck muss vorab eine Alarmschwelle (Interventionsschwelle) festgelegt werden. Sie entspricht der Abgabe radioaktiver gasförmiger Ableitungen (Bq/m^3), die nicht mehr dem normalen Betrieb des Systems zuzuordnen ist. Es sind dann geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um den Grund für die Ableitung zu ermitteln und möglicherweise zu begrenzen. In vielen Installationen ist der Alarmschwellenwert derzeit folgendermaßen definiert:

- basierend auf dem Luftdurchfluss (m^3/h) und der jährlichen zulässigen Ableitungsgrenze (Bq/Jahr), angegeben als maximale stündliche Aktivität (Bq/h). Wird dieser Schwellenwert überschritten, wird der Jahresgrenzwert überschritten. Übersteigt die geleistete Tätigkeit diese Grenze, können die radiologi-

schen Auswirkungen auf die Bevölkerung die im Rahmen der Folgenabschätzung festgelegten übersteigen;

- basierend auf der Anwendung praktischer Grenzwerte für die Konzentration in der Luft, die für jedes Radionuklid spezifisch sind. Diese Methode basiert auf der Hypothese der Inhalation durch eine Person, der Konzentration am Auslass sowie der Einhaltung der vorgeschriebenen jährlichen Inkorporationsgrenze

Diese beiden Methoden sind nicht ausreichend. Die Alarmschwelle sollte nicht entsprechend der Belastung der Bevölkerung definiert werden, die bei einem Ereignis in dieser Art von Anlage nicht unmittelbar gefährdet ist. Die Alarmschwelle sollte es jedoch ermöglichen, eine normale Situation von einer Störfallsituation zu unterscheiden, um die Betreiber zu alarmieren und ihnen zu ermöglichen, Abhilfe zu schaffen.

Es wird daher empfohlen, die Alarmschwelle von der Aktivität, die während einer herkömmlichen Produktion abgegeben wird, unter Berücksichtigung einer ausreichenden Marge zu definieren, um unerwünschte Warnungen zu vermeiden. Der Wert dieser Alarmschwelle sollte begründbar sein. Da jede Installation anders ist, basiert diese Methode im Wesentlichen auf Rückmeldungen der Betreiber. Dieser Schwellenwert muss im Falle einer Änderung der Anlage oder der Produktion (Synthese eines neuen Moleküls, neue Produktionslinie usw.) neu bewertet werden.

Da die Alarmschwellen aufgrund einer außergewöhnlichen Situation überschritten werden, wird empfohlen, sie zu archivieren und gegebenenfalls den zuständigen Behörden zu melden, damit sie unmittelbar über die aufgetretene Störung informiert werden.

A.4 Überlegungen zu verschiedenen Überwachungssystemen

A.4.1 Inline-Überwachungssystem

Bei den Inline-Systemen wird die Sonde entweder direkt im Kanal (Bild A.2) oder am Kanal (Bild A.3) positioniert. Die Geometrie der Sonde hängt von ihrer Positionierung ab: sie ist im Allgemeinen zylindrisch, wenn sie in den Kanal eingesetzt wird, und rechteckig, wenn sie daran platziert wird.

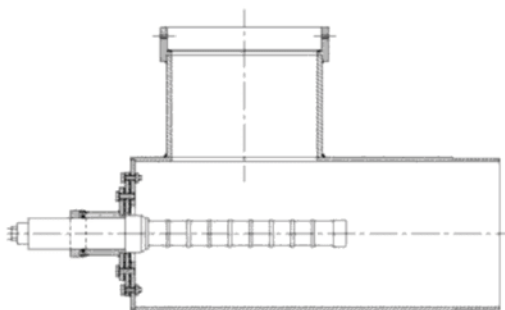


Bild A.2 – Positionierung der Sonde im Kanal

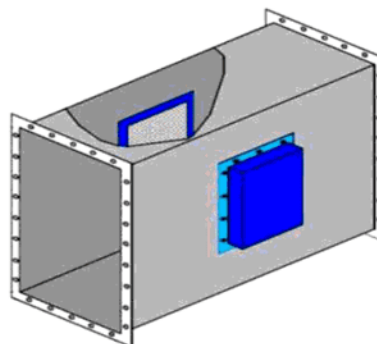


Bild A.3 – Positionierung der Sonde am Kanal

Wenn keine besonderen Einschränkungen vorliegen, ist die Installation einer Live-Messung mit einer am Fortluftkanal positionierten Sonde die empfohlene Methode, da sie die meisten Vorteile bietet (keine Störung des Durchflusses, keine Verzögerung, keine zusätzlichen Parameter usw.).

Es ist unbedingt darauf zu achten, dass die Sonde richtig im Fortluftkanal positioniert ist, um Messungen in einer toten oder inhomogenen Zone zu vermeiden. Die Positionierung der Sonde am dem Kanal ermöglicht es, die oben erwähnten Nachteile zu vermeiden und gleichzeitig die direkte Erfassung aller Rückstände zu ermöglichen.

A.4.2 Bypass-Überwachungssystem

Bei Bypass-Systemen befindet sich die Sonde in einem Tank entfernt vom Fortluftkanal (Bild A.4). Die Messung wird an einer aus dem Hauptkanal entnommenen Probe durchgeführt.

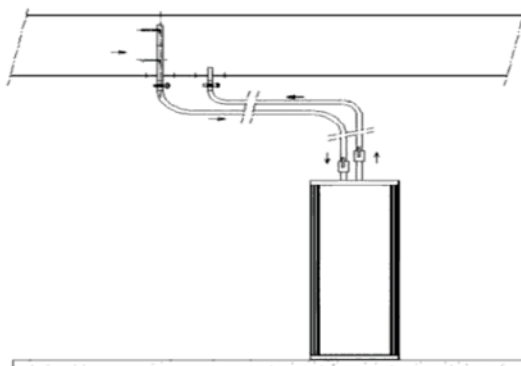


Bild A.4 – Schematische Darstellung eines Bypass-Systems

Das Fassungsvermögen des Tanks kann zwischen einem und einhundert Litern variieren. Mehrere Oberflächen- oder zylindrische Sensoren können positioniert werden. Ihre Detektionsfläche ist im Allgemeinen kleiner als die der Sonden, die auf dem Kanal installiert sind. Bei identischen Sonden entspricht die Leistung dieser Vorrichtung denjenigen Sonden, die sich auf dem Fortluftkanal befinden. Dieses System ist aber effektiver, wenn:

- die Aktivität der Fortluft zu hoch ist und zur Sättigung der Sonden führt, die sich auf dem Kanal befinden;
- die Untergrundstrahlung in der Nähe des Messpunkts im Kanal zu hoch ist;
- die Sonde nicht unter zufriedenstellenden Bedingungen im Fortluftkanal installiert werden kann (Stau des Lüftungsraums, Gewichtsbeschränkungen, unzureichende Abmessungen des Kanals usw.).

Diese Lösung stößt jedoch auf einige Schwierigkeiten, die berücksichtigt werden müssen:

- das Problem der Repräsentativität der genommenen Probe;
- die Installation zusätzlicher Ausrüstung (Probenentnahmepumpe, Rohrleitungen, Tank usw.), die regelmäßig überprüft und gewartet werden muss;
- die Verzögerung der Messung, abhängig von der Größe des Tanks (Dauer der Erneuerung der Luft im Tank) und seiner Entfernung von der Entnahmestelle im Entnahmerohr.

Das Bypass-Messsystem ist eine Alternative zur Inline-Messung, wenn bei letzterer Einschränkungen vorliegen. Es kann unter vielen Bedingungen favorisiert werden, aber die Frage der repräsentativen Probe (Probenentnahmeort, Probenentnahmerate) und der Reaktionszeit des Messsystems müssen berücksichtigt werden. Wenn die Kinetik dieses Systemtyps als langsam berechnet wird, könnte das Bypass-Messsystem mit einer direkten Messwarnsonde kombiniert werden, um eine schnelle Erkennung einer zufälligen Situation zu ermöglichen.

A.4.3 Umfeld der Überwachung

A.4.3.1 Allgemeines

Das Vorhandensein von radioaktiven Luftverunreinigungen in Form kondensierbarer Dämpfe oder reaktiver Gase, wie bestimmte Formen von Radioiod, im Fortluftstrom ist eine ernsthafte Störung der Probe, wenn keine Vorkehrungen bei der Konstruktion und dem Betrieb des Probenentnahmesystems getroffen werden. Ablagerungen in langen Transportleitungen und Kondensation aufgrund von Temperaturänderungen in der Leitung sollten vermieden werden. Die inneren Oberflächen der Probenentnahmesonde und der Transportleitung sollten aus nicht-reaktiven Materialien bestehen oder damit beschichtet sein, um Oberflächenwechselwirkungen mit der Probe zu minimieren. Die Möglichkeit zur chemischen Umwandlung eines Teils der Probe, die durch den Probentransportprozess induziert werden, wie die Umwandlung von molekularem Iod-

gas in organischen Ioddampf, sollte verstanden und im Probenentnahmesystem berücksichtigt werden. Es kann notwendig sein, die Probe selbst zu konditionieren, etwa die Temperatur gezielt zu verändern oder die Probe gezielt mit einem Trägergas zu verdünnen. Das Vorhandensein nicht radioaktiver Bestandteile, die Phasenänderungen erfahren könnten, die zu einem Verlust oder zu einer Verzerrung der Probe führen könnten, wie z. B. die Kondensation von Wasserdampf, sollte bei der Konstruktion des Probensystems ebenfalls berücksichtigt werden.

Im Allgemeinen sollte die Umgebung der Sonde – Untergrund, Temperatur, Feuchtigkeit, Schwingungen usw. – sorgfältig untersucht werden, bevor sie an einem Ort installiert wird, an dem der Einfluss dieser Parameter begrenzt ist. Kompensationsmaßnahmen werden bei Bedarf durchgeführt.

Unabhängig von der verwendeten Technologie beeinflussen die Installationsbedingungen die Leistung der Sonden, insbesondere durch Förderung der Homogenität des gemessenen Flusses und durch Begrenzung des Vorhandenseins von Störstrahlung.

A.4.3.2 Untergrundstrahlung

Eine der Haupteinschränkungen in diesen Anlagen ist die Nähe von Messsystemen zu den Produktionsstandorten (Zyklotron), die Handhabung und Zirkulation von radioaktiven Produkten (Filtrationssysteme, Transferstraßen, Synthesezellen, andere Fortluftkanäle, Fortluft, Lager für radioaktive Quellen und Abfall usw.). Unter diesen Bedingungen ist die Wahl einer Technologie oder einer Methode zur Begrenzung der Auswirkungen von Veränderungen der radiologischen Umgebung auf die Messung notwendig.

Um das Risiko von Interferenzen durch Untergrundstrahlung (Störstrahlung) mit den Messergebnissen zu vermeiden, muss die Sonde so positioniert werden, dass diese Strahlung minimiert wird. Idealerweise ist die Sonde entfernt von äußeren Strahlungsquellen angeordnet.

Wenn dies aufgrund der Konfiguration der Installation oder Platzmangel nicht möglich ist, sollten die folgenden Lösungen in Betracht gezogen werden:

- Abschirmung an Sonde oder Tank eines Bypass-Systems;
- Installation einer zweiten Sonde (Schirmsonde) in der Nähe der Messsonde. Diese ist für die Messung von Störstrahlung verantwortlich. Diese kann in Echtzeit von den Messergebnissen abgezogen werden (Kompensationsmessung). Die verwendeten Sonden müssen identisch sein und am Fortluftkanal übereinander liegen (Bild A.5). Im folgenden Diagramm misst die erste Sonde Gamma- und β^+ -Strahlungen (dünnes Fenster zwischen Sonde und Kanal), während die zweite Sonde nur Gammastrahlung misst;

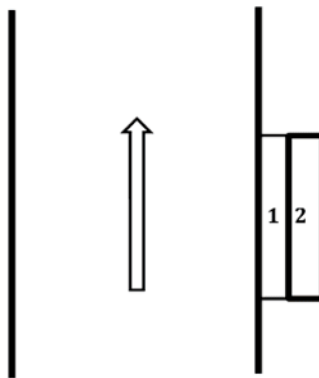


Bild A.5 – Schirmsonde – Kompensationsmessung

- die Wahl eines Bypass-Systems zur Fernpositionierung externer Strahlungsquellen;
- die Wahl eines Sondentyps, der vorzugsweise β^+ -Strahlung detektiert (abhängig vom Füllgas), um den Anteil der störenden Gammastrahlung bei der Messung zu begrenzen;
- die Wahl eines Systems, das Gammastrahlung in Koinzidenz nachweist (Bild A.6). Wie bei der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) werden die Sonden so angeordnet, dass sie die bei der Vernichtung gleichzeitig emittierten Photonen detektieren.

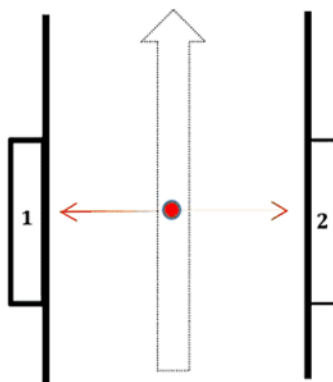


Bild A.6 – System zur Detektion emittierter Gamma-Koinzidenzstrahlung

Es ist wichtig, zu beachten, dass die Größe der Sonde ihre Empfindlichkeit gegenüber Untergrundstrahlung beeinflusst. Diese Empfindlichkeit steigt mit dem Volumen und der Detektionsoberfläche der Sonde. Bei Proportionalzählern erhöht sich beispielsweise die Empfindlichkeit gegenüber Untergrundstrahlung mit der Anzahl der Anodendrähte. Daher ist es notwendig, ein Gleichgewicht zwischen der Nachweiswahrscheinlichkeit der Sonde und ihrer Empfindlichkeit gegenüber Untergrundstrahlung zu finden.

A.4.3.3 Temperatur

Hinsichtlich der Umgebungstemperatur können zu große Schwankungen die Messung stören, insbesondere bei NaI-Szintillationsdetektoren. Es ist die Lichtausbeute des Szintillators, die (insbesondere im Fall des NaI-Szintillators) zunimmt, wenn die Temperatur ansteigt. Die Temperaturschwankungen können sich auch auf die mit der Sonde verbundene Elektronik auswirken. Es wird empfohlen, ein Messgerät zu verwenden, das nicht empfindlich auf Änderungen der Umgebungstemperatur reagiert, und es vorzugsweise innerhalb der Installation in einem temperierten Raum zu positionieren. Ansonsten – wenn begründbar – kann die Verwendung eines Szintillationsdetektors zugelassen werden. Es wird aber dringend abgeraten, einen solchen Detektor direkt auf dem Dach der Installation oder an einem Ort zu platzieren, an dem die Temperatur nicht stabil ist. Zusätzlich ist ein geeigneter Korrekturfaktor anzuwenden.

In einigen Kernkraftwerken verwendet das Inline-Strahlenschutzsystem NaI-Detektoren. Da die Szintillationsausbeute von der Temperatur abhängt, kann eine Quelle ^{241}Am in den Kristall integriert werden, um durch einen Referenzpeak die Drift in Echtzeit zu überwachen und die notwendigen Verstärkungskorrekturen anzuwenden. Diese oder andere Stabilisierungsmethoden sollten in Betracht gezogen werden, wenn sich die Umweltbedingungen auf die Genauigkeit des Detektors auswirken können.

Im Fall einer Bypass-Überwachung sollte der erwartete Temperaturbereich an potenziellen Probenentnahmestellen unter normalen Betriebsbedingungen und glaubwürdigen Störfallbedingungen bestimmt werden. Oft ist die Fortlufttemperatur sehr stabil. Temperaturänderungen können jedoch für das Sammeln einer Probe unter nicht-Normalbedingungen wichtig sein.

A.4.3.4 Zusammensetzung der Ableitung

Die Zusammensetzung der gasförmigen Ableitung unter Normal- und Störfallbedingungen sollte bei der Entwicklung eines Lüftungssystems für diese Art von Anlage berücksichtigt werden. Radioaktive und nicht radioaktive Bestandteile sollten identifiziert werden. Ein wichtiges Beispiel ist die Anwesenheit von starken Säuren oder ätzenden Dämpfen, die eine schnelle Verschlechterung eines Kanals, einer Düse oder einer Proben-transportleitung verursachen könnten, wenn nicht eine geeignete Kompensation durch die Auswahl geeigneter Materialien für die Konstruktion dieser Elemente bereitgestellt wird. Der Feuchte der Fortluft kann auch ein bedeutender Faktor bei der Gestaltung dieser Elemente aufgrund möglicher Wechselwirkungen mit Verunreinigungs-komponenten, Kondensation usw. sein.

Darüber hinaus sollten physikalisch-chemische Formen von tatsächlich verworfenen Radionukliden identifiziert werden. Eine neuere Studie hat gezeigt, dass bestimmte Moleküle, die am Ausgang des Synthesemo-

duls gasförmig ausgestoßen werden, in dieser Form bis zum Austritt (Schornstein) verbleiben; während andere während ihrer Ableitung durch den Lüftungskanal zu Aerosolen werden können.

A.4.3.5 Zugänglichkeit und Positionierung

Die Ausrüstung (Sonde, Luftstromsensor, Probenentnahmedüse usw.) muss leicht zugänglich sein, insbesondere für Wartungs- und Servicearbeiten.

Für das Inline-System muss, um die Sonde im Fortluftkanal zu positionieren, sichergestellt werden, dass der Luftstrom an dieser Stelle gut durchmischt wird, um eine homogene Volumenaktivität zu erhalten. Die Positionierung der Sonde in einem gebogenen Teil (Bild A.2) ist aufgrund der Größe der Sonde im Vergleich zur Größe des Kanals und der Störung der resultierenden Luftstromgeschwindigkeit zu vermeiden. Diese Art der Positionierung hat jedoch, wenn sie näher an den Produktions- oder Synthesestellen durchgeführt wird, den Vorteil, dass eine ungewöhnliche Freisetzung schnell erkannt und der Alarm ausgelöst werden kann (Warnsonde).

Bei den Bypass-Systemen bestehen die Hauptschwierigkeiten in der Positionierung des Probenentnahmeorts und der Repräsentativität der entnommenen Probe (die Volumenaktivität der Probe muss der des Hauptstroms ähnlich sein). Es wird empfohlen, den Probenentnahmeort in einem gut gemischten Fluss zu positionieren, um eine Probenentnahmesonde mit einer einzigen Düse zu verwenden. Um den Probenentnahmeort an einem Ort zu positionieren, an dem die Strömung homogen ist, sollte der Probenentnahmeort nicht zu nahe am Auslass des Kanals sein, um die vom Wind erzeugten Turbulenzen zu begrenzen, und auch nicht zu nahe an einem Element, das den Luftstrom stören könnte (Ventilator, Knie, Kanalabzweig usw.).

Wenn die Probenentnahme in einem inhomogenen Fluss (für eine bereits bestehende Anlage) durchgeführt wird, ist es offensichtlich ratsam, einen anderen Probenort zu wählen. Wenn dies nicht möglich ist, wird die Installation vorgeschalteter Geräte empfohlen, um das Mischen zu fördern oder einen Vor-Ort-Test durchzuführen, um zu zeigen, dass die Probenaktivität nicht unterschätzt wird.

A.4.4 Beschreibung des Überwachungssystems

A.4.4.1 Erkennung der unteren Messgrenze der Sonde (Nachweisgrenze)

Die Nachweisgrenze der Sonde wird in Impulsen je Sekunde ausgedrückt. Unterhalb dieses Werts sind Ereignisse nicht messbar. Es ist daher wichtig, dass die Nachweisgrenze so niedrig wie möglich ist. Sie ist wie folgt definiert:

$$LD(cps) = 2 \times 1,96 \times \sqrt{2} \times \sqrt{\frac{R_0}{T}}$$

Dabei ist

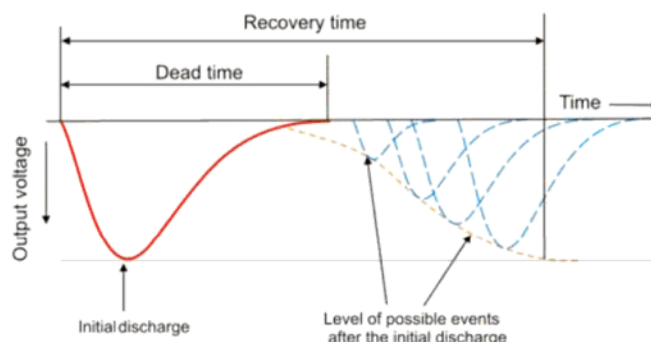
T die mit der Nachweisgrenze verbundene Messzeit in s;

R_0 das von der Sonde gemessene Untergrundrauschen, in Impulsen je s.

Der Faktor ($2 \times 1,96 \times \sqrt{2}$) entspricht einem Vertrauensniveau von 95 % (dieser Wert wird in diesem Dokument allgemein empfohlen).

A.4.4.2 Sättigung der Sonde

Die Zählrate der Sonde ist begrenzt durch die Totzeit, bezogen auf die für die Sonde verwendete Technologie, die Materialien, aus denen sie besteht, und die zugehörige Elektronik. Sie hängt mit der minimalen Dauer zweier getrennt darstellbarer Impulse zusammen (Bild A.7). Eine kurze Totzeit macht es somit möglich, eine große Anzahl von Impulsen zu erkennen.



Legende

Recovery time	Erholzeit
Dead time	Totzeit
Output voltage	Ausgangsspannung
Initial discharge	Erste Entladung
Time	Zeit
Level of possible events	Umfang möglicher Ereignisse

Bild A.7 – Sättigungseffekt^{N1}

Über die maximale Anzahl der Sonden hinaus können einige der Impulse nicht mehr erkannt werden. Das nennt man Sättigung der Sonde. In diesem Dokument wird festgelegt, dass diese maximale Zählrate mindestens größer sein muss als 50 MBq/m^3 , unabhängig vom emittierten Radionuklid. Im Allgemeinen sollte die Art der gewählten Sonde an diese Einschränkung angepasst sein. Daher empfiehlt es sich, die Geometrie der Sonde so zu wählen, dass das Risiko von Sättigung im Falle hoher Aktivitätskonzentration begrenzt wird. Eine zweite kollimierte Sonde sollte nahe an der Hauptsonde installiert werden, um den Betrieb im Falle der Sättigung der Hauptsonde sicherzustellen. Die erste Sonde ist für die Messung von niedrigen und mittleren Aktivitätskonzentrationen geeignet, während die zweite Sonde für die Messung höherer Aktivitätskonzentrationen bestimmt ist.

A.4.4.3 Messgenauigkeit

Priorität: Sicherstellen, dass die geeignete Technik auf die am besten geeignete Weise installiert wird (risikobasiert).

Vorschlag: Wenn möglich, eine Schätzung basierend auf kontinuierlichen Messungen und der gleichen Präzisionsmessung durchführen (angepasst an das Risiko = Auswirkungen auf die Bevölkerung).

A.4.4.4 Kalibrierfaktor für den Detektor

Der Kalibrierfaktor ermöglicht es, die von der Sonde gemessene Anzahl von Impulsen je Sekunde in die Volumenaktivität (Bq/m^3) umzuwandeln. Dieser Faktor berücksichtigt die Tatsache, dass die von der Sonde durchgeführte Messung „nicht perfekt“ ist (geringe Nachweiswahrscheinlichkeit, Totzeit, Nachweisgrenze usw.). Dieser Faktor wirkt sich direkt auf die Messung abgeleiteter Aktivitäten aus.

Der sondenspezifische Kalibrierfaktor wird vom Hersteller festgelegt. Im Allgemeinen wird die Sonde in einer geschlossenen Kammer mit bekanntem Volumen in Gegenwart eines Luftrührers mit einer bekannten Aktivität von ^{18}F angeordnet. Die Suspension (in Form von Mikrotröpfchen) wird unter Verwendung eines Systems der Vernebelung mit Druckluft durchgeführt. Einige Hersteller haben auch Versuche vor Ort durchgeführt, um die Größenordnung der mit dieser Methode erhaltenen Werte zu bestätigen.

^{N1} Nationale Fußnote: Im ISO-Originalentwurf wird hier fälschlich die Unterschrift von Bild A.6 wiederholt.

Ein Gesamtkalibrierfaktor sollte bestimmt werden. Dies hängt sowohl von dem vom Hersteller bestimmten Kalibrierfaktor der Sonde als auch von einem Faktor ab, der sich auf die Geometrie der Anlage und ihre Konfiguration (insbesondere den Untergrund) bezieht. Der Kalibrierfaktor kann daher für dieselbe Art von Sonde von einer Installation zur anderen unterschiedlich sein.

Der Kalibrierfaktor kann auch abhängig von der Energie des Positrons variieren. Bei Anlagen, die mehrere Radionuklide erzeugen (^{18}F , ^{11}C , ^{15}O usw.), wird der Wert des Kalibrierfaktors üblicherweise manuell ausgewählt. In diesem Fall sollte der kritischste Kalibrierfaktor ausgewählt werden.

A.4.4.5 Strömungsgeschwindigkeit der gasförmigen Ableitung

Die Kenntnis des Fortluftstroms ist bei jeder endgültigen Berechnung einer Freisetzungsrates oder Gesamtfreisetzung wichtig. Der Bereich der Gasausströmungsgeschwindigkeiten ist auch wichtig bei der Konstruktion und Steuerung des Überwachungs-(und Probenentnahme-)Systems. Der Durchfluss kann sich ändern, wenn sich die Prozesse erhöhen oder verringern, Ventilatoren für Wartungsarbeiten ein- oder ausgeschaltet werden, Türen geöffnet oder geschlossen werden oder Heiz- und Kühlsysteme betrieben werden.

Das Problem der Luftstrommessung ist in diesem Dokument wichtig, da sich sein Wert direkt auf die Schätzung der von der Anlage freigesetzten Aktivität auswirkt. Da die Messergebnisse der Sonde in Bq/m^3 ausgedrückt werden, basiert die Schätzung der gesamten freigesetzten Aktivität tatsächlich auf dem Wert des Luftdurchflusses (m^3/h), der während der Messung berücksichtigt wurde.

Der zu messende Luftstrom muss auf Höhe des Messsystems bestimmt werden. Der Sensor, der am Ende des Lüftungssystems positioniert ist, befindet sich oft in der Nähe des Schornsteins der Anlage und ist daher täglichen und jährlichen Temperatur- und Druckschwankungen ausgesetzt. Daher empfiehlt es sich, ein Luftstrommesssystem einzurichten, das nicht auf diese Temperatur- und Druckschwankungen reagiert. Dafür gibt es eine Vielzahl von Technologien, die für diese Art der Messung verwendet werden können (Thermoanemometer, Staurohr usw.). Geräte wie der Luftmengenmesser, das Elektronikmodul und die Benutzerschnittstelle sind mit der Sonde verbunden und beeinflussen auch die Messergebnisse.

Das Dokument legt die geeignete Positionierung des Sensors fest, um sicherzustellen, dass der Luftstrom aus einer homogenen Strömung gemessen wird (siehe 8.2). Wenn die Positionierung des Sensors diese Kriterien wegen Einschränkungen in Bezug auf die Gestaltung des Lüftungssystems nicht erfüllen kann, sollte sichergestellt werden, dass die Luftströmung an der Messstelle im gesamten Abschnitt des Kanals homogen ist.

Bei einem Bypass-System muss die Dichte der Luft in der Leitung mit der Dichte der Luft in der Messkammer identisch sein, damit die in der Messkammer erhaltenen Ergebnisse auf die freigesetzte Aktivität im Kanal extrapoliert werden können. Dieses Dokument legt die Notwendigkeit eines Korrekturfaktors fest, wenn zwischen den beiden Dichten eine Abweichung von mehr als 10 % besteht (siehe 7.4).

Anhang B (informativ)

Bewertung der Unsicherheit der Fortluftmessung

B.1 Einführung

Echtzeit-Luftüberwachungsgeräte messen die Aktivitätskonzentration in einem Lüftungskanal vor der Freisetzung. Diese Geräte enthalten Datenaufzeichnungen mit Zeitstempel der in Echtzeit gemessenen Aktivitätskonzentration und auch in den meisten Fällen, um die Dokumentation von Aufzeichnungen zu ermöglichen, die über längere oder kürzere Zeiträume gemittelte Aktivitätskonzentration, abhängig von der verfügbaren Archivierungskapazität.

Ziel dieses informativen Anhangs ist es, zu beschreiben, wie die gesamte freigesetzte Aktivität über einen bestimmten Zeitraum, ihre Standardunsicherheit und verbundene charakteristische Grenzen aus den erfassten Messungen bestimmt werden.

B.2 Symbole

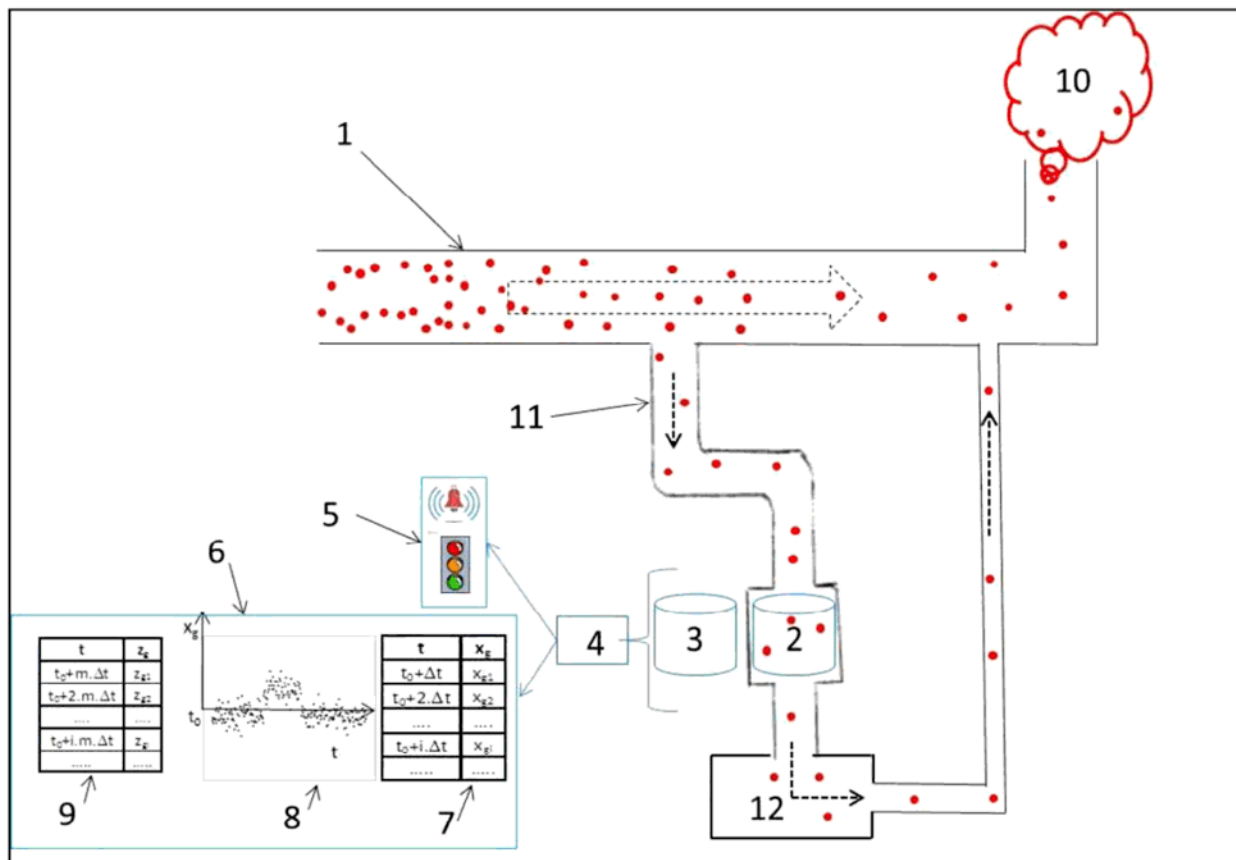
t	Zeitstempel
t_0	Anfangszeit
Δt	Dauer der Datenaufnahme (s)
$\overline{x_b}$	Schätzer der Grundaktivitätskonzentration in Abwesenheit eines nachzuweisenden physikalischen Ereignisses ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$)
x_{bj}	Gesamtmessung der Grundaktivitätskonzentration in Abwesenheit eines nachzuweisenden physikalischen Ereignisses zum Zeitpunkt $t_{0+j} \cdot \Delta t$ ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$)
n_{bx}	Anzahl der Messungen von x_{bj} zur Bestimmung von $\overline{x_b}$
s_{bx}	Standardabweichung von x_{bj}
x_{gi}	Gesamtmessung der Aktivitätskonzentration zum Zeitpunkt $t_{0+i} \cdot \Delta t$ ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$)
r_{gi}	Gesamtzählrate gemessen zum Zeitpunkt $t_{0+i} \cdot \Delta t$ ($\text{c} \cdot \text{s}^{-1}$)
r_{gci}	Gesamtzählrate gemessen vom Schirmdetektor (kompensierte Messung) zum Zeitpunkt $t_{0+i} \cdot \Delta t$ ($\text{c} \cdot \text{s}^{-1}$)
C_T	Messzeit (s)
I_{gi}	Gesamtstrom gemessen zum Zeitpunkt $t_{0+i} \cdot \Delta t$ (A)
I_{gci}	Gesamtstrom gemessen vom Schirmdetektor (kompensierte Messung) zum Zeitpunkt $t_{0+i} \cdot \Delta t$ (A)
k_l	Gesamtstrom (A)
r_{bj}	Gesamtzählrate gemessen in Abwesenheit eines nachzuweisenden physikalischen Ereignisses zum Zeitpunkt $t_{0+j} \cdot \Delta t$ ($\text{c} \cdot \text{s}^{-1}$)
r_{bcj}	Gesamtzählrate des Schirmdetektors in Abwesenheit des nachzuweisenden physikalischen Ereignisses zum Zeitpunkt $t_{0+j} \cdot \Delta t$ ($\text{c} \cdot \text{s}^{-1}$)
I_{bj}	Gesamtstrom gemessen in Abwesenheit des zu messenden physikalischen Ereignisses zum Zeitpunkt $t_{0+j} \cdot \Delta t$ (A)
I_{bcj}	Gesamtstrom gemessen vom Schirmdetektor (kompensierte Messung) in Abwesenheit des nachzuweisenden physikalischen Ereignisses zum Zeitpunkt $t_{0+j} \cdot \Delta t$ (A)
x_i	Schätzer der Aktivitätskonzentration zum Zeitpunkt $t_{0+i} \cdot \Delta t$ ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$)

x^*	Erkennungsgrenze für die Aktivitätskonzentration ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)
$x^\#$	Nachweisgrenze der Aktivitätskonzentration ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)
$\overline{z_b}$	Schätzer der mittleren Grundaktivitätskonzentration über ein Zeitintervall $m\cdot\Delta t$ in Abwesenheit des zu detektierenden physikalischen Ereignisses ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)
z_{bj}	Gesamtergebnis der mittleren Grundvolumenaktivität in Abwesenheit des zu detektierenden physikalischen Ereignisses über einen Zeitraum $m\cdot\Delta t$ zum Zeitpunkt $t_{0+j}\cdot\Delta t$ ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)
n_{bz}	Anzahl der Messungen von z_{bj} zur Bestimmung von $\overline{z_b}$
s_{bz}	Standardabweichung von z_{bj}
z_{gi}	Gesamtergebnis der mittleren Aktivitätskonzentration über ein Zeitintervall $m\cdot\Delta t$ zum Zeitpunkt $t_{0+i}\cdot m\cdot\Delta t$ ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)
z_i	Schätzer der mittleren Aktivitätskonzentration über ein Zeitintervall $m\cdot\Delta t$ zum Zeitpunkt $t_{0+i}\cdot m\cdot\Delta t$ ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)
z^*	Erkennungsgrenze für die mittlere Aktivitätskonzentration ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)
$z^\#$	Nachweisgrenze der mittleren Volumenaktivität ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)
D_R	Dauer des Zeitintervalls über das die Entladungsaktivität berechnet wird (s)
y	Schätzer der Entladungsaktivität über ein Zeitintervall der Dauer D_R (Bq)
y^*	Erkennungsgrenze der Entladungsaktivität über ein gegebenes Zeitintervall der Dauer D_R (Bq)
$y^\#$	Nachweisgrenze der Entladungsaktivität über ein gegebenes Zeitintervall der Dauer D_R (Bq)
Q	Luftvolumenstrom im Lüftungskanal ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)
w	Umrechnungsfaktor ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}/\text{c}\cdot\text{s}^{-1}$ im Zählmodus, $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}\text{A}^{-1}$ im Strommodus)
F	Kalibrierfaktor ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}/\text{c}\cdot\text{s}^{-1}$ im Zählmodus, $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}\text{A}^{-1}$ im Strommodus)
P	Verhältnis zwischen der Aktivitätskonzentration am Ausgang des Probenentnahmesystems einschließlich Transportkanäle und der Aktivitätskonzentration im Belüftungskanal
$k_{1-\alpha}$	Quantil einer Normalverteilung mit einer Wahrscheinlichkeit $1-\alpha$
$k_{1-\beta}$	Quantil einer Normalverteilung mit einer Wahrscheinlichkeit $1-\beta$
$k = k_{1-\alpha} = k_{1-\beta}$	

B.3 Beschreibungen

B.3.1 Allgemeine Beschreibung

Zur Messung der Aktivitätskonzentration in einem Lüftungskanal gibt es zwei Arten von Messungen. Im ersten Fall wird eine Probe eines kontinuierlichen Luftstroms mit Hilfe eines Bypass-Systems aus dem Lüftungskanal entnommen und anschließend gemessen (Bild B.1).



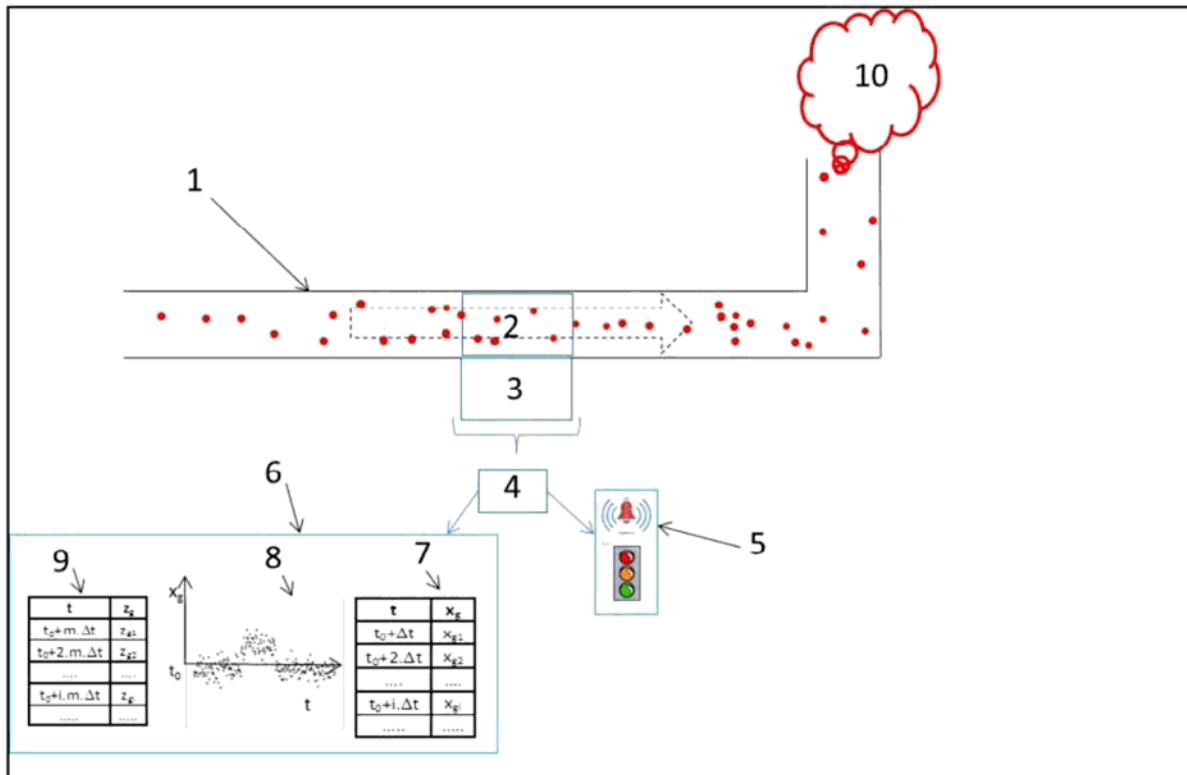
Legende

- 1 Lüftungskanal
- 2 Detektor
- 3 Schirmdetektor (Möglichkeit zur kompensierten Messung)
- 4 Verarbeitungsalgorithmus
- 5 Alarmeinheit
- 6 Anzeige und Verarbeitung von Daten
- 7 Darstellung der Echtzeiterfassungsergebnisse der Aktivitätskonzentration im Lüftungskanal
- 8 graphische Anzeige
- 9 Archivierung der Messergebnisse (Durchschnitt)
- 10 freigesetzte Aktivität
- 11 Probenkanal
- 12 Probenpumpe

Bild B.1 – Bypass-Messsystem

Die zweite Methode besteht darin, die Aktivitätskonzentration direkt mit Hilfe von Detektoren zu messen, die um oder innerhalb des Lüftungskanals angeordnet sind (Bild B.2).

In beiden Fällen gibt es eine Einheit zum Anzeigen und Verarbeiten von Daten, die eine Darstellung der Echtzeiterfassungsergebnisse der Aktivitätskonzentration im Lüftungskanal und eine Archivierung der mittleren Volumenaktivitäten über mehr oder weniger lange Zeiträume umfasst.



Legende

- 1 Lüftungskanal
- 2 Detektor
- 3 Schirmdetektor (Möglichkeit zur kompensierten Messung)
- 4 Verarbeitungsalgorithmus
- 5 Alarmeinheit
- 6 Anzeige und Verarbeitung von Daten
- 7 Darstellung der Echtzeiterfassungsergebnisse der Aktivitätskonzentration im Lüftungskanal
- 8 graphische Anzeige
- 9 Archivierung der Messergebnisse (Durchschnitt)
- 10 freigesetzte Aktivität

Bild B.2 – Inline-Messsystem

B.3.2 Echtzeit-Aktivitätskonzentration

B.3.2.1 Messung und Schätzer

Der gemessene Wert der Aktivitätskonzentration ist in der Regel eine Gesamtmessung x_{gi} , während der Schätzwert der Aktivitätskonzentration der Nettowert x_i ist:

$$x_i = x_{gi} - \overline{x_b} \quad (\text{B.1})$$

mit

$$\overline{x_b} = \frac{\sum_{j=1}^{n_{bx}} x_{bj}}{n_{bx}} \quad (\text{B.2})$$

Die Bestimmung der gemessenen Aktivitätskonzentration ist gegeben durch folgende Terme, entsprechend der Art der mit dem gewählten Detektor durchgeführten primären Messung:

- im Zählmodus ohne Kompensation

$$x_{gi} = r_{gi} \cdot w \quad (\text{B.3})$$

und

$$x_{bj} = r_{bj} \cdot w \quad (\text{B.4})$$

- im Strommodus ohne Kompensation

$$x_{gi} = I_{gi} \cdot w \quad (\text{B.5})$$

und

$$x_{bj} = I_{bj} \cdot w \quad (\text{B.6})$$

- im Zählmodus mit Kompensation

$$x_{gi} = (r_{gi} - r_{gci}) \cdot w \quad (\text{B.7})$$

und

$$x_{bj} = (r_{bj} - r_{bcj}) \cdot w \quad (\text{B.8})$$

- im Strommodus mit Kompensation

$$x_{gi} = (I_{gi} - I_{gci}) \cdot w \quad (\text{B.9})$$

und

$$x_{bj} = (I_{bj} - I_{bcj}) \cdot w \quad (\text{B.10})$$

mit

$$w = \frac{F}{P} \quad (\text{B.11})$$

ANMERKUNG Im Falle einer Inline-Messung ([Bild B.2](#)) ist in Gleichung (B.11) die Durchdringung $P = 1$.

B.3.2.2 Standardunsicherheit

Es wird gezeigt, dass

- im Zählmodus mit und ohne Kompensation

$$u^2(x_i) = \frac{w}{C \cdot T} \cdot x_i + u^2(x_i = 0) + \frac{u^2(w)}{w^2} \cdot x_i^2 \quad (\text{B.12})$$

- im Strommodus mit und ohne Kompensation

$$u^2(x_i) = k_i \cdot w \cdot x_i + u^2(x_i = 0) + \frac{u^2(w)}{w^2} \cdot x_i^2 \quad (\text{B.13})$$

mit

$$u^2(x_i = 0) = s_{\text{bx}}^2 \left[1 + \frac{n_{\text{bx}} - 1}{n_{\text{bx}} \cdot (n_{\text{bx}} - 3)} \right] \quad (\text{B.14})$$

s_{bx} ist die Standardabweichung von x_{bj} , mit

$$s_{\text{bx}} = \sqrt{\frac{1}{n_{\text{bx}} - 1} \sum_{j=1}^{n_{\text{bx}}} (x_{\text{bj}} - \bar{x}_{\text{b}})^2} \quad (\text{B.15})$$

B.3.2.3 Nachweis- und Erkennungsgrenze

Die Erkennungsgrenze ist gegeben durch die Gleichung

$$x^* = k \cdot u(x_i = 0) \quad (\text{B.16})$$

dann ist nach Gleichung (B.14)

$$x^* = k \cdot s_{\text{bx}} \sqrt{1 + \frac{n_{\text{bx}} - 1}{n_{\text{bx}} \cdot (n_{\text{bx}} - 3)}} \quad (\text{B.17})$$

Die Nachweisgrenze ist gegeben durch folgende Gleichungen

- im Zählmodus mit und ohne Kompensation

$$x^{\#} = \frac{2 \cdot x^* + \frac{k^2 \cdot w}{C \cdot T}}{1 - k^2 \cdot \frac{u^2(w)}{w^2}} \quad (\text{B.18})$$

- im Strommodus mit und ohne Kompensation

$$x^{\#} = \frac{2 \cdot x^* + k^2 \cdot k_i \cdot w}{1 - k^2 \cdot \frac{u^2(w)}{w^2}} \quad (\text{B.19})$$

B.3.3 Archivierte mittlere Aktivitätskonzentration

B.3.3.1 Messung und Schätzer

Der Mittelwert der archivierten Aktivitätskonzentration ist in der Regel ein Bruttoergebnis z_{gi} als Schätzer der mittleren Aktivitätskonzentration ist der Nettowert z_i , gegeben durch

$$z_i = z_{gi} - \overline{z_b} \quad (B.20)$$

und

$$\overline{z_b} = \frac{\sum_{j=1}^{n_{bz}} z_{bj}}{n_{bz}} \quad (B.21)$$

B.3.3.2 Standardunsicherheit

Wir erinnern uns, dass für m aufeinanderfolgende Messungen von x_j , z_i auch beschrieben werden kann als

$$z_i = \frac{\sum_{j=m(i-1)+1}^{m_i} x_j}{m} \quad (B.22)$$

Wobei nach Gleichung (B.1) $x_i = x_{gi} - \overline{x_b}$

Im Allgemeinen wird die Varianz beschrieben als

$$u^2(z_i) = \frac{1}{m^2} \left[\sum_{j=m(i-1)+1}^{m_i} u^2(x_j) + 2 \sum_{j=m(i-1)+1}^{m_i-1} \sum_{k=m(i-1)+2}^{m_i} u(x_j, x_k) \right] \quad (B.23)$$

Der Term mit $u(x_j, x_k)$ ist die Kovarianz.

Die Gleichungen (B.12) und (B.13) angewendet auf Gleichung (B.23) ergibt

– im Zählmodus

$$\begin{aligned} u^2(z_i) = & \frac{w}{m \cdot C \cdot T} z_i + \frac{u^2(x_j = 0)}{m} + \frac{u^2(w)}{w^2} z_i^2 + \frac{2}{m^2} \sum_{j=m(i-1)+1}^{m_i-1} \sum_{k=m(i-1)+2}^{m_i} u(x_j, x_k) \\ & - \frac{2}{m^2} \sum_{j=m(i-1)+1}^{m_i-1} \left[x_k \sum_{j=m(i-1)+2}^{m_i} x_j \right] \cdot \frac{u^2(w)}{w^2} \end{aligned} \quad (B.24)$$

– im Strommodus

$$\begin{aligned} u^2(z_i) = & \frac{k_i \cdot w}{m} z_i + \frac{u^2(x_j = 0)}{m} + \frac{u^2(w)}{w^2} z_i^2 + \frac{2}{m^2} \sum_{j=m(i-1)+1}^{m_i-1} \sum_{k=m(i-1)+2}^{m_i} u(x_j, x_k) \\ & - \frac{2}{m^2} \sum_{j=m(i-1)+1}^{m_i-1} \left[x_k \sum_{j=m(i-1)+2}^{m_i} x_j \right] \cdot \frac{u^2(w)}{w^2} \end{aligned} \quad (B.25)$$

In vielen Fällen, in denen Messungen von ionisierender Strahlung durchgeführt werden, sind die x_j nicht korreliert. Man kann daher den Kovarianzterm (x_j, x_k) vernachlässigen.

Außerdem hat der Term $x_k \sum_{j=m(i-1)+2}^{m_i} x_j$ die gleiche Größenordnung wie z_i^2 und wenn er multipliziert wird mit $\frac{u^2(w)}{w^2} < 1$, kann dieser Term vernachlässigt werden. Ist dies nicht der Fall, wird in allen Fällen die Bewertung von $u^2(z_i)$ überschätzt.

Damit kann nun näherungsweise betrachtet werden:

- im Zählmodus mit und ohne Kompensation

$$u^2(z_i) = \frac{w}{m C T} z_i + \frac{u^2(x_j = 0)}{m} + \frac{u^2(w)}{w^2} z_i^2 \quad (\text{B.26})$$

- im Strommodus mit und ohne Kompensation

$$u^2(z_i) = \frac{k_i \cdot w}{m} z_i + \frac{u^2(x_j = 0)}{m} + \frac{u^2(w)}{w^2} z_i^2 \quad (\text{B.27})$$

ANMERKUNG In Analogie zu den Gleichungen (B.12) und (B.13) zeigen die Gleichungen (B.22) und (B.24), dass z_i der Mittelwert von m Werten von x_j ist, entspricht einer Aktivitätskonzentration mit einer Messzeit von mCT im Zählmodus oder mit einem Strom-Quantum von k_i/m im Strommodus.

Entsprechend den Gleichungen (B.26) und (B.27) ist $u^2(z_i = 0) = \frac{u^2(x_j = 0)}{m}$, wenn $u^2(x_j = 0)$ aus den Gleichungen (B.14) und (B.15) bekannt ist, aber in vielen Fällen sind die Werte von x_{gi} kurzlebig und nur die Aufzeichnungen von z_{gi} verbleiben im Archiv.

In diesem Fall ist in Analogie zu den Gleichungen (B.14.) und (B.15)

$$u^2(z_i = 0) = s_{bz}^2 \left[1 + \frac{n_{bz} - 1}{n_{bz} \cdot (n_{bz} - 3)} \right] \quad (\text{B.28})$$

s_{bz} ist die Standardabweichung von z_{bj} , mit

$$s_{bz} = \sqrt{\frac{1}{n_{bz} - 1} \sum_{j=1}^{n_{bz}} (z_{bj} - \bar{z}_b)^2} \quad (\text{B.29})$$

B.3.3.3 Nachweis- und Erkennungsgrenze

Die Erkennungsgrenze ist gegeben durch den Term

$$z^* = k \cdot u(z_i = 0) \quad (\text{B.30})$$

Wenn $u^2(x_j = 0)$ aus den Gleichungen (B.14) und (B.15) bekannt ist,

ist

$$z^* = k \cdot \frac{u(x_j = 0)}{\sqrt{m}} \quad (\text{B.31})$$

Ansonsten gilt nach den Gleichungen (B.28) und (B.29)

$$z^* = k \cdot s_{bz} \sqrt{1 + \frac{n_{bz} - 1}{n_{bz} \cdot (n_{bz} - 3)}} \quad (\text{B.32})$$

Angenommen dass z_i einer Aktivitätskonzentration mit einer Zählzeit von $m \cdot CT$ oder einer Strommenge $\frac{k_l}{m}$ entspricht, dann ist in Analogie zu den Gleichungen (B.18) und (B.19) die Nachweisgrenze gegeben durch

- im Zählmodus mit und ohne Kompensation

$$z^\# = \frac{2 \cdot z^* + \frac{k^2 \cdot w}{m \cdot CT}}{1 - k^2 \cdot \frac{u^2(w)}{w^2}} \quad (\text{B.33})$$

- im Strommodus mit und ohne Kompensation

$$z^\# = \frac{2 \cdot z^* + k^2 \cdot \frac{k_l}{m} \cdot w}{1 - k^2 \cdot \frac{u^2(w)}{w^2}} \quad (\text{B.34})$$

B.4 Bestimmung der freigesetzten Aktivität

B.4.1 Allgemeines

Die freigesetzte Aktivität kann entweder aus den mit Zeitstempeln versehenen Ergebnissen der Aktivität, gemessen in Echtzeit innerhalb einer Erfassungszeit Δt , oder aus den archivierten Ergebnissen der mittleren Aktivitätskonzentrationen über einen Zeitraum von $m \cdot \Delta t$.

Die erste kann im laufenden Betrieb verwendet werden, wenn eine tatsächliche Freisetzung durch Überschreiten einer Alarmschwelle für die Aktivitätskonzentration detektiert wird und die Datenaufnahme in Echtzeit geschieht.

Im Gegensatz dazu wird der zweite verwendet, wenn nur archivierte Ergebnisse der mittleren Aktivitätskonzentration vorliegen.

B.4.2 Methode mit Daten aus Echtzeitmessungen

B.4.2.1 Allgemeines

In diesem Fall entspricht die Dauer $D_R = n \cdot \Delta t$, aus der die freigesetzte Aktivität berechnet wird, n aufeinanderfolgenden Messungen x_{gi} mit den Zeitintervallen Δt .

B.4.2.2 Schätzer

Der Schätzer y der gesamten über eine Dauer D_R abgegebenen Aktivität wird dann geschrieben als

$$y = \Delta t \cdot Q \cdot \sum_{i=1}^n x_i = \Delta t \cdot Q \cdot \sum_{i=1}^n x_{gi} - \overline{x_b} \quad (\text{B.35})$$

Mit $\overline{x_b} = \frac{\sum_{j=1}^{n_{bx}} x_{bj}}{n_{bx}}$ aus Gleichung (B.2).

B.4.2.3 Standardunsicherheit

Im Allgemeinen wird die Varianz wie folgt geschrieben

$$u^2(y) = \Delta t^2 \cdot Q^2 \cdot \left\{ \sum_{i=1}^n u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n u(x_i, x_j) \right\} + \Delta t^2 \cdot u^2(Q) \cdot \left[\sum_{i=1}^n x_i \right]^2 \quad (\text{B.36})$$

Der Term mit $u(x_j, x_k)$ ist die Kovarianz.

Die Gleichungen (B.12) und (B.13) angewendet auf Gleichung (B.36) ergibt

– im Zählmodus

$$u^2(y) = \frac{w \Delta t Q}{C T} y + \Delta t^2 \cdot Q^2 \cdot \left[n \cdot u^2(x=0) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n u(x_i, x_j) - 2 \sum_{j=1}^{n-1} \left[x_j \sum_{i=j+1}^n x_i \right] \cdot \frac{u^2(w)}{w^2} \right] + \left[\frac{u^2(Q)}{Q^2} + \frac{u^2(w)}{w^2} \right] \cdot y^2 \quad (\text{B.37})$$

– im Strommodus

$$u^2(y) = w \cdot k_1 \cdot \Delta t \cdot Q \cdot y + \Delta t^2 \cdot Q^2 \cdot \left[n \cdot u^2(x=0) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n u(x_i, x_j) - 2 \sum_{j=1}^{n-1} \left[x_j \sum_{i=j+1}^n x_i \right] \cdot \frac{u^2(w)}{w^2} \right] + \left[\frac{u^2(Q)}{Q^2} + \frac{u^2(w)}{w^2} \right] \cdot y^2 \quad (\text{B.38})$$

Es wurde bereits gezeigt, dass die x_j nicht allgemein korreliert sind, so dass der Kovarianzterm vernachlässigt werden kann, und wenn der Term $\sum_{j=1}^{n-1} \left[x_j \sum_{i=j+1}^n x_i \right]$ nicht berücksichtigt wird, wird in jedem Fall

$u^2(y)$ überbewertet.

Es kann näherungsweise angenommen werden, dass

– im Zählmodus mit und ohne Kompensation

$$u^2(y) = \frac{w \Delta t Q}{C T} y + \Delta t^2 \cdot Q^2 \cdot n \cdot u^2(x_i=0) + \left[\frac{u^2(Q)}{Q^2} + \frac{u^2(w)}{w^2} \right] \cdot y^2 \quad (\text{B.39})$$

– im Strommodus mit und ohne Kompensation

$$u^2(y) = w \cdot k_1 \cdot \Delta t \cdot Q \cdot y + \Delta t^2 \cdot Q^2 \cdot n \cdot u^2(x_i=0) + \left[\frac{u^2(Q)}{Q^2} + \frac{u^2(w)}{w^2} \right] \cdot y^2 \quad (\text{B.40})$$

aus den Gleichungen (B.40) und (B.41) wird mit $u^2(x_i=0)$ aus Gleichung (B.14)

$$u^2(y=0) = \Delta t^2 \cdot Q^2 \cdot n \cdot u^2(x_i=0) = \Delta t^2 \cdot Q^2 \cdot n \cdot \left[1 + \frac{n_{\text{bx}} - 1}{n_{\text{bx}} \cdot (n_{\text{bx}} - 3)} \right] s_{\text{bx}}^2 \quad (\text{B.41})$$

mit s_{bx} bestimmt nach Gleichung (B.15).

B.4.2.4 Nachweis- und Erkennungsgrenze

Die Erkennungsgrenze ist gegeben durch den Term

$$y^* = k \cdot u(y=0) \quad (\text{B.42})$$

Wenn $u^2(x_i = 0)$ aus den Gleichungen (B.14) und (B.15) bekannt ist,

ist

$$y^* = k \cdot \Delta t \cdot Q \cdot \sqrt{n} \cdot u(x_i = 0) = k \cdot \Delta t \cdot Q \cdot \sqrt{n} \cdot s_{bx} \sqrt{1 + \frac{n_{bx} - 1}{n_{bx} \cdot (n_{bx} - 3)}} \quad (\text{B.43})$$

die Nachweisgrenze ist gegeben durch die Verhältnisse

- im Zählmodus mit und ohne Kompensation

$$y^{\#} = \frac{2 \cdot y^* + \frac{k^2 \cdot w \cdot \Delta t \cdot Q}{C T}}{1 - k^2 \cdot \left[\frac{u^2(w)}{w^2} + \frac{u^2(Q)}{Q^2} \right]} \quad (\text{B.44})$$

- im Strommodus mit und ohne Kompensation

$$y^{\#} = \frac{2 \cdot y^* + k^2 \cdot w \cdot k_l \cdot \Delta t \cdot Q}{1 - k^2 \cdot \left[\frac{u^2(w)}{w^2} + \frac{u^2(Q)}{Q^2} \right]} \quad (\text{B.45})$$

B.4.3 Methode aus archivierten gemittelten Messdaten

B.4.3.1 Allgemeines

In diesem Fall entspricht die Dauer $D_R = n \cdot m \cdot \Delta t$, aus der die freigesetzte Aktivität berechnet wird, n aufeinanderfolgenden Messungen z_{gi} mit den Zeitintervallen $m \cdot \Delta t$.

B.4.3.2 Schätzer

Der Schätzer y der gesamten über eine Dauer D_R abgegebenen Aktivität wird dann geschrieben als

$$y = m \cdot \Delta t \cdot Q \cdot \sum_{i=1}^n z_i = m \cdot \Delta t \cdot Q \cdot \sum_{i=1}^n z_{gi} - \overline{z_b} \quad (\text{B.46})$$

Mit $\overline{z_b} = \frac{\sum_{j=1}^{n_{bz}} z_{bj}}{n_{bz}}$ aus Gleichung (B.21).

B.4.3.3 Standardunsicherheit

Im Allgemeinen wird die Varianz wie folgt geschrieben