

**DIN EN ISO 11665-3
(VDE 0493-1-6653)**
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 17.240

Einsprüche bis 2020-01-29

Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN ISO 11665-3
(VDE 0493-1-6653):2015-11

Entwurf
Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt –
Luft: Radon-222 –
Teil 3: Punktmessverfahren der potenziellen Alpha-Energiekonzentration der kurzlebigen Radon-Folgeprodukte
(ISO/FDIS 11665-3:2019);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 11665-3:2019

Measurement of radioactivity in the environment –

Air: radon-222 –

Part 3: Spot measurement method of the potential alpha energy concentration of its short-lived decay products

(ISO/FDIS 11665-3:2019);

German and English version prEN ISO 11665-3:2019

Mesurage de la radioactivité dans l'environnement –

Air: radon 222 –

Partie 3: Méthode de mesure ponctuelle de l'énergie alpha potentielle volumique de ses descendants à vie courte

(ISO/FDIS 11665-3:2019);

Version allemande et anglaise prEN ISO 11665-3:2019

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-11-29 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 48 Seiten

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

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist ...

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments prEN ISO 11665-3:2019 „Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Luft: Radon-222 – Teil 3: Punktmessverfahren der potenziellen Alpha-Energiekonzentration der kurzlebigen Radon-Folgeprodukte“, (Schluss-Entwurf) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

Die Internationale Organisation für Normung (ISO) und das Europäische Komitee für Normung (CEN) haben vereinbart, dass ein auf ISO-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei ISO und CEN zur Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dem entsprechend ist das internationale Dokument ISO/FDIS 11665-3:2019 „Measurement of radioactivity in the environment – Air: radon-222 – Part 3: Spot measurement method of the potential alpha energy concentration of its short-lived decay products“ unverändert in den Schluss-Entwurf prEN ISO 11665-3:2019 übernommen worden.

Da die Deutsche Fassung noch nicht endgültig mit der Englischen und Französischen Fassung abgeglichen ist, ist die englische Originalfassung des ISO/FDIS entsprechend der diesbezüglich durch die ISO erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen ISO-Text.

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

Dokumente, die bei CEN als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

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) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnitsnummer, 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.

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 11665-3 (VDE 0493-1-6653):2015-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die Einleitung wurde ergänzt;
- b) die Formulierung des Textes wurde punktuell redaktionell überarbeitet und konkretisiert, ohne die Anforderungen zu ändern;
- c) die Literaturhinweise wurden aktualisiert.

Inhalt

Seite

Vorwort	3
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe und Symbole	5
3.1 Begriffe	5
3.2 Symbole	6
4 Messprinzip	6
5 Geräte und Einrichtungen	7
6 Probenahme	8
6.1 Allgemeines	8
6.2 Zweck der Probenahme	8
6.3 Merkmale der Probenahme	8
6.4 Bedingungen der Probenahme	9
6.4.1 Allgemeines	9
6.4.2 Aufbau der Probenahmeeinrichtung	9
6.4.3 Dauer der Probenahme	9
6.4.4 Volumen der Luftprobe	9
7 Nachweisverfahren	9
8 Messung	9
8.1 Verfahren	9
8.2 Einflussgrößen	10
8.3 Kalibrierung	10
9 Darstellung der Ergebnisse	11
9.1 Allgemeines	11
9.2 Potenzielle Alpha-Energiekonzentration	11
9.3 Standardunsicherheit	11
9.4 Erkennungsgrenze	12
9.5 Nachweisgrenze	13
9.6 Vertrauensbereiche	13
10 Prüfbericht	13
Anhang A (informativ) Beispiele von Protokollen für die Gesamt-Alphazählung	15
Anhang B (informativ) Berechnung der Koeffizienten $k_{218\text{Po},j}$, $k_{214\text{Pb},j}$ und $k_{214\text{Bi},j}$	16
B.1 Allgemeines	16
B.2 Bestimmungsverfahren	16
B.2.1 Bestimmung der Anzahl der Alphazerfälle	16
B.2.2 Bestimmung der Aktivitätskonzentration eines jeden Radon-Folgeprodukts	16

	Seite
B.2.3 Bestimmung der Koeffizienten $k_{218\text{Po},j}$, $k_{214\text{Pb},j}$ und $k_{214\text{Bi},j}$	17
B.3 Anwendung des Thomas-Protokolls.....	17
B.3.1 Messverfahren.....	17
B.3.2 Bestimmung der Koeffizienten $k_{218\text{Po},j}$, $k_{214\text{Pb},j}$ und $k_{214\text{Bi},j}$	18
Anhang C (informativ) Messverfahren mittels Gesamt-Alphazählung nach Thomas.....	20
C.1 Allgemeines.....	20
C.2 Geräte und Einrichtungen.....	20
C.3 Probenahme.....	20
C.4 Messverfahren.....	20
C.5 Darstellung der Ergebnisse.....	20
C.5.1 Potenzielle Alpha-Energiekonzentration.....	20
C.5.2 Standardunsicherheit.....	21
C.5.3 Erkennungsgrenze.....	21
C.5.4 Nachweisgrenze.....	22
C.6 Beispiel.....	22
Literaturhinweise.....	23
Bilder	
Bild 1 – Schema eines Punktmesssystems für die Bestimmung der potenziellen Alpha-Energiekonzentration der kurzlebigen Radon-Folgeprodukte.....	8
Tabellen	
Tabelle A.1 – Beispiele von Protokollen für die Gesamt-Alphazählung.....	15
Tabelle C.1 – Zählergebnisse.....	22
Tabelle C.2 – Messergebnisse.....	22

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von ISO Technischen Komitees 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 erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

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

Eine Erläuterung der Bedeutung ISO-spezifischer Benennungen und Ausdrücke, die sich auf Konformitätsbewertung beziehen, sowie Informationen über die Beachtung der Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) zu technischen Handelshemmnissen (TBT, en: Technical Barriers to Trade) durch ISO enthält der folgende Link: www.iso.org/iso/foreword.html.

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

Diese zweite Ausgabe ersetzt die erste Ausgabe (ISO 11665-3:2012), die geringfügig geändert wurde. Die Änderungen im Vergleich zur Vorgängerausgabe sind folgende:

- Aktualisierung der Einleitung;
- Aktualisierung der Literaturhinweise.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 11665 kann auf der ISO-Internetseite abgerufen werden.

Alle Rückmeldungen und Fragen zu diesem Dokument sind erbeten an die Nationale Normungsorganisation des Lesers. Eine vollständige Liste dieser Organisationen ist auf www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Die Radonisotope 222, 220, 219 sind radioaktive Gase, die durch Zerfall der Radiumisotope 226, 224 und 223 entstehen, welche wiederum Folgeprodukte von ^{238}U , ^{232}Th und ^{235}U sind. All diese Radionuklide sind in der Erdkruste enthalten (siehe ISO 11665-1:2019, Anhang A für weitere Informationen). Durch den Zerfall von Radon entstehen feste Elemente, die ebenfalls radioaktiv sind und die schließlich stabiles Blei bilden [1].

Beim Zerfall emittiert Radon Alphateilchen und bildet feste Folgeprodukte (Polonium, Wismut, Blei usw.), welche ebenfalls radioaktiv sind. Die potenzielle Gefahr des Radons für den Menschen entsteht vor allem durch seine festen Folgeprodukte und nicht durch das Gas selbst. Je nachdem, ob sie an atmosphärische Aerosole angelagert sind oder nicht, können Radon-Folgeprodukte inhaliert und entsprechend ihrer Größe in unterschiedlichen Tiefen des bronchopulmonalen Trakts deponiert werden [2] [3] [4] [5].

Radon gilt heute als die Hauptursache für die natürliche Strahlenexposition des Menschen. Der UNSCEAR-Bericht (2006) [6] legt dar, dass weltweit Radon rund 52 % der globalen mittleren Exposition durch natürliche Strahlung verursacht. Die radiologische Wirkung des Isotops 222 (48 %) ist weit signifikanter als die des Isotops 220 (4 %), während das Isotop 219 als vernachlässigbar angesehen wird (siehe ISO 11665-1:2019, Anhang A). Deshalb ist in diesem Dokument mit dem Begriff Radon nur das Isotop ^{222}Rn gemeint.

Die Radon-Aktivitätskonzentration kann zeitlich und örtlich über eine oder mehrere Größenordnungen variieren. Die Exposition durch Radon und seine Folgeprodukte variiert erheblich von Ort zu Ort. Sie hängt erstens von der Menge des aus dem Boden und den Baumaterialien emittierten Radons und zweitens vom Grad der Anreicherung sowie den Wetterbedingungen an den Expositionsorten ab.

Da Radon sich vorzugsweise in umschlossenen Räumen wie Häusern anreichert, verursacht Radon in Innenräumen den Hauptbeitrag zur Exposition der Bevölkerung. Das aus dem Erdreich über Öffnungen eindringende Radon wird als die Hauptquelle für Radon in Innenräumen angesehen. Andere Quellen sind in anderen Normen der Reihe ISO 11665 und, für Wasser, in den Normen der Reihe ISO 13164 [7] beschrieben.

Radon dringt durch Diffusion, die von dem immer bestehenden Gefälle der Radonkonzentration im Bodenuntergrund und innerhalb des Gebäudes herrührt, und durch Konvektion in Abhängigkeit von den Druckunterschieden zwischen der Raumluft und der im Bodenuntergrund enthaltenen Luft in Gebäude ein. Die Radonkonzentration in der Raumluft hängt von der Radonkonzentration im Bodenuntergrund, der Gebäudestruktur, der technischen Ausstattung (Kamin, Belüftungssystem u. a.), Umwelteigenschaften des Gebäudes (Temperatur, Luftdruck usw.) und dem Lifestyle der Bewohner ab.

Um das Risiko für Personen zu begrenzen, wurden von der Weltgesundheitsorganisation ein nationaler Referenzwert von $100 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ empfohlen [5]. Wenn dieser nicht eingehalten werden kann, sollten $300 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ nicht überschritten werden. Diese Empfehlung wurde von den EU-Mitgliedsstaaten für die Festlegung von nationalen Referenzwerten für die Radonaktivität in Innenräumen übernommen. Die Referenzwerte für die mittlere jährliche Aktivitätskonzentration in Luft darf nicht höher als $300 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ sein [5].

Um das Risiko für die Gesamtbevölkerung zu reduzieren, sollten Bauvorschriften eingeführt werden, die vorbeugende Radonmessungen in im Bau befindlichen Gebäuden und Messungen zur Radon-Begrenzung in bestehenden Gebäuden vorschreiben. Radonmessungen sind erforderlich, da Bauvorschriften alleine nicht sicherstellen können, dass die Radonkonzentration unterhalb des Referenzwerts liegt.

Schwankungen der potenziellen Alpha-Energiekonzentration der kurzlebigen Radon-Folgeprodukte im Bereich von wenigen Nanojoule je Kubikmeter bis zu einigen Tausend Nanojoule je Kubikmeter werden gemessen.

Die potenzielle Alpha-Energiekonzentration der kurzlebigen Radon-222-Folgeprodukte in der Atmosphäre kann mittels Punktmessungen und integrierender Messverfahren erfolgen (siehe ISO 11665-1). Dieses Dokument befasst sich mit Punktmessungen. Eine Punktmessung der potenziellen Alpha-Energiekonzentration bezieht sich auf den Moment, in dem die Messung stattfindet und ist nicht kennzeichnend für die Jahresexposition. Diese Art der Messung ist daher nicht für die Ermittlung der Jahresexposition zu verwenden.

ANMERKUNG Die Quellen von ^{222}Rn und seinen kurzlebigen Folgeprodukten in der Atmosphäre und andere Messverfahren werden allgemein in ISO 11665-1 beschrieben.

**Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt –
Luft: Radon-222 –
Teil 3: Punktmessverfahren der potenziellen Alpha-Energiekonzentration der
kurzlebigen Radon-Folgeprodukte**

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument beschreibt Punktmessverfahren für die Bestimmung der Aktivitätskonzentration der kurzlebigen ^{222}Rn -Folgeprodukte in der Luft und zur Berechnung der potenziellen Alpha-Energiekonzentration.

Dieses Dokument gibt Hinweise für die Punktmessung der potenziellen Alpha-Energiekonzentration, bei der die Probenahme während einiger Minuten an einem bestimmten Ort durchgeführt wird und zu den Bedingungen beim Einsatz der Messgeräte.

Dieses Messverfahren ist anwendbar für die schnelle Bestimmung der potenziellen Alpha-Energiekonzentration. Das erhaltene Ergebnis kann nicht extrapoliert werden, um eine potenzielle Alpha-Energiekonzentration der kurzlebigen ^{222}Rn -Folgeprodukte während eines Jahres abzuschätzen. Deshalb ist diese Art der Messung nicht für die Bewertung der Jahresexposition einsetzbar oder zur Bestimmung, ob die Belastung der Bevölkerung durch Radon oder Radonfolgeprodukte verringert werden muss.

Dieses Messverfahren ist für Luftproben mit einer potenziellen Alpha-Energiekonzentration größer als 5 nJ m^{-3} anwendbar.

ANMERKUNG ^{220}Rn -Folgeprodukte sind nicht Gegenstand dieses Dokuments.

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 11665-1, *Measurement of radioactivity in the environment – Air: radon-222 – Part 1: Origins of radon and its short-lived decay products and associated measurement methods*

ISO/IEC 17025, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

IEC 61577-1, *Radiation Protection Instrumentation – Radon and radon decay product measuring instruments – Part 1: General principles*

IEC 61577-3, *Radiation Protection Instrumentation – Radon and radon decay product measuring instruments – Part 3: Specific requirements for radon decay product measuring instruments*

3 Begriffe und Symbole

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 11665-1.

3.2 Symbole

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Symbole nach ISO 11665-1 und die Folgenden.

C_i	Aktivitätskonzentration des Nuklids i , in Becquerel je Kubikmeter
$E_{AE,i}$	Energie des Alphateilchen, dass durch Zerfall des Nuklids i entsteht, in Joule
$E_{AET,i}$	gesamte Energie des Alphateilchen, dass potenziell durch Zerfall des Nuklids i entsteht, in Joule
$E_{PAE,i}$	potenzielle Alphaenergie des Nuklids i , in Joule
$E_{PAEC,i}$	potenzielle Alpha-Energiekonzentration des Nuklids i , in Joule je Kubikmeter
$E_{PAEC,i}^*$	Erkennungsgrenze der potenziellen Alpha-Energiekonzentration des Nuklids i , in Joule je Kubikmeter
$E_{PAEC,i}^\#$	Nachweisgrenze der potenziellen Alpha-Energiekonzentration des Nuklids i , in Joule je Kubikmeter
$E_{PAEC,i}^\triangleleft$	untere Grenze des Vertrauensbereichs der potenziellen Alpha-Energiekonzentration des Nuklids i , in Joule je Kubikmeter
$E_{PAEC,i}^\triangleright$	obere Grenze des Vertrauensbereichs der potenziellen Alpha-Energiekonzentration des Nuklids i , in Joule je Kubikmeter
I_j	j -te Anzahl der Ereignisse im Zeitintervall zwischen t_j und t_{cj}
$I_{0,j}$	j -te Anzahl der Untergrundereignisse im Zeitintervall zwischen t_j und t_{cj}
$k_{i,j}$	Konstante, die sich auf die j -te, Anzahl der Zählereignisse des Radon-Folgeprodukts i bezieht, sie ist abhängig von den Zerfallskonstanten der Radon-Folgeprodukte, der Dauer der Probenahme t_s und den Zeiten t_j und t_{cj} , je Quadratsekunde
N_i	Anzahl der Atome des Nuklids i
n	Anzahl der Zählereignisse in Abhängigkeit vom verwendeten Zählprotokoll
Q	Durchflussrate der Probenahme, in Kubikmeter je Sekunde
t_{cj}	Endzeitpunkt der j -ten Zählung, in Sekunden seit Beginn
t_j	Startzeitpunkt der j -ten Zählung, in Sekunden seit Beginn
t_s	Dauer der Probenahme, in Sekunden
U	erweiterte Unsicherheit gegeben durch $U = k \cdot u()$ mit $k = 2$
$u()$	dem Messergebnis zugeordnete Standardmessunsicherheit
$u_{rel}()$	relative Standardmessunsicherheit
V	Probenvolumen, in Kubikmeter
ε_c	Zähleffektivität, in Impulse je Zerfall
λ_i	Zerfallskonstante des Nuklids i , je Sekunde

4 Messprinzip

Die Punktmessung der potenziellen Alpha-Energiekonzentration der kurzlebigen ^{222}Rn -Radon-Folgeprodukte beruht auf den folgenden Elementen:

- Entnahme einer Stichprobe von kurzlebigen Radon-Folgeprodukten zum Zeitpunkt t aus einem Luftvolumen, das repräsentativ für die zu untersuchende Atmosphäre ist, durch ein hocheffektives Membranfilter;

- b) mehrmalige Messungen der Gesamtanzahl der Alphazerfälle der gesammelten Folgeprodukte unter Verwendung eines Detektors, der für Alphateilchen empfindlich ist; die Zählung beginnt nach dem Ende der Probenahme;
- c) Berechnung der Aktivitätskonzentrationen der verschiedenen Radon-Folgeprodukte auf der Grundlage der radioaktiven Zerfallsgesetze und der Ergebnisse der Zählungen während festgelegter Intervalle, die zu festgelegten Zeiten wiederholt werden.

Durch das Gesamt-Alphaessverfahren wird die Anzahl der Alphateilchen, die von kurzlebigen Radon-Folgeprodukten emittiert werden, bestimmt. Die ^{222}Rn -Zerfallsreihe zeigt, dass bei 99,98 % der Zerfälle von ^{218}Po Alphateilchen emittiert werden. ^{218}Po kann deshalb als reiner Alphastrahler betrachtet werden. ^{214}Pb und ^{214}Bi sind keine Alphastrahler, sie tragen jedoch zu den Alphateilchen bei, die durch ^{214}Po emittiert werden.

Nach der Probenahme der Luft wird die Gesamt-Alphaaktivität mittels Zählung während verschiedener Zeitintervalle bestimmt. Wegen des schnellen Zerfalls der Radon-Folgeprodukte unterliegt die Isotopenzusammensetzung der Probe während der Sammlung und der Zählintervalle einer ständigen Veränderung. Durch wiederholte Messungen der Gesamt-Alphaaktivität wird der Zerfall der Probe erfasst und daraus werden die Beiträge der verschiedenen Folgeprodukte, die in der ursprünglich gesammelten Luftprobe enthalten sind, berechnet.

ANMERKUNG Obwohl der Anteil von ^{222}Rn und dessen Folgeprodukten im Allgemeinen höher ist, können Proben der Umgebungsluft auch eine signifikante Aktivität von Radionukliden der ^{220}Rn -Zerfallsreihe sowie andere luftgetragene langlebige Radionuklide enthalten. In solchen Fällen müssen die Gleichungen und Verfahren, die in diesem Dokument angegeben sind, so verändert werden, dass sie den Beitrag dieser zusätzlichen Radionuklide berücksichtigen.

5 Geräte und Einrichtungen

Das Gerät muss ein Probenahmesystem und ein Nachweissystem einschließen, bestehend aus einem Detektor, der mit einem Zählsystem verbunden ist (siehe [Bild 1](#)). Die verwendeten Messgeräte müssen die Anforderungen nach [IEC 61577-1](#) und [IEC 61577-3](#) erfüllen.

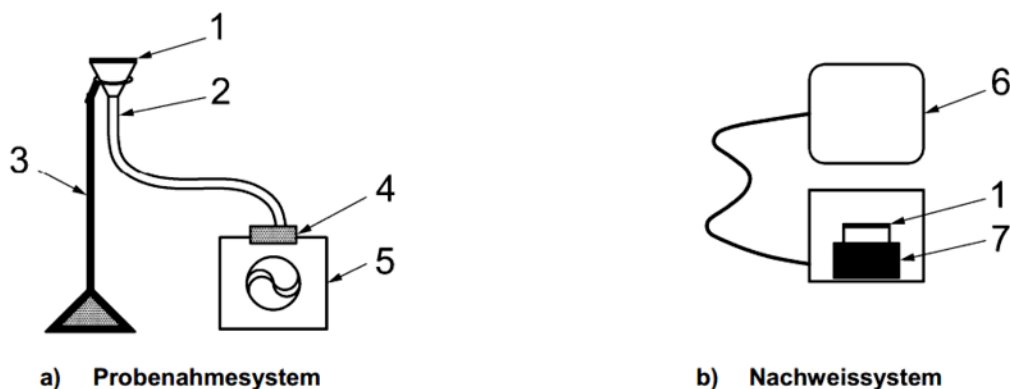
Das Probenahmesystem muss die folgenden Komponenten einschließen:

- a) einen offenen Filterhalter, der einen einfachen und schnellen Filterwechsel gestattet;
- b) eine Pumpe;
- c) ein hocheffektives Membranfilter (HEPA-Filter mit einer minimalen Sammeleffektivität von 99,97 % bei einer Teilchengröße von $0,3\ \mu\text{m}$);
- d) ein Durchfluss- und ein Zeitmessgerät.

Geeignete Detektoren schließen ein:

- einen Photoelektronenvervielfacher, verbunden mit einem empfindlichen Szintillator [$\text{ZnS}(\text{Ag})$, zum Beispiel];
- einen Siliziumhalbleiter, der für Alphateilchen empfindlich ist.

Der mit dem Impulszähler verbundene Detektor muss eine empfindliche Nachweisfläche besitzen, deren Durchmesser mindestens so groß ist wie die des Membranfilters.



Legende

1	Membranfilter	5	Pumpe
2	Filterhalter	6	Zählsystem
3	Stativ	7	Detektor
4	Durchfluss- und Zeitmessgerät		

Bild 1 – Schema eines Punktmesssystems für die Bestimmung der potenziellen Alpha-Energiekonzentration der kurzlebigen Radon-Folgeprodukte

6 Probenahme

6.1 Allgemeines

Die Stichprobe ist repräsentativ für die potenzielle Alpha-Energiekonzentration der kurzlebigen ^{222}Rn -Folgeprodukte an einem bestimmten Ort und zu einem vorgegebenen Zeitpunkt.

6.2 Zweck der Probenahme

Der Zweck der Probenahme ist die unterbrechungsfreie Sammlung aller Aerosole, gleich welcher Größe (angelagerter und nicht angelagerter Anteil), die sich während der Dauer der Probenahme (weniger als 1 h) in der Umgebungsluft befinden und Träger von kurzlebigen Radon-Folgeprodukten sind.

6.3 Merkmale der Probenahme

Die angelagerten und nicht angelagerten Anteile der kurzlebigen Radon-Folgeprodukte müssen kontinuierlich (ohne Unterbrechung) direkt aus der untersuchten Atmosphäre mittels Ansaugen und Filterung eines bekannten Luftvolumens durch ein hocheffektives Membranfilter gesammelt werden. Die Probenahme der Luft muss richtungsunabhängig sein.

Damit die emittierten Alphateilchen korrekt gezählt werden, muss das Probenahmesystem so gestaltet sein, dass die Ablagerung auf der Oberfläche des Filters erfolgt und das Überdecken von Aerosolen verhindert wird.

Das Probenahmesystem muss unter Bedingungen eingesetzt werden, die das Verstopfen des Membranfilters ausschließen, was Selbstabsorption der auf dem Filter gesammelten Alphateilchen oder eine Reduzierung der Förderrate hervorrufen würde.

6.4 Bedingungen der Probenahme

6.4.1 Allgemeines

Die Probenahme muss erfolgen wie in ISO 11665-1 festgelegt. Ort, Datum und Zeitpunkt der Probenahme müssen aufgezeichnet werden.

6.4.2 Aufbau der Probenahmeeinrichtung

Der Aufbau der Probenahmeeinrichtung muss erfolgen wie in ISO 11665-1 beschrieben.

6.4.3 Dauer der Probenahme

Wegen des schnellen Abklingens der Aktivität der ^{222}Rn - Folgeprodukte, besonders des ^{218}Po , sollte die Dauer der Probenahme üblicherweise höchstens 20 min betragen. Eine längere Dauer würde die Nachweisgrenze des Verfahrens nicht erhöhen.

6.4.4 Volumen der Luftprobe

Das Volumen der Luftprobe muss durch kontinuierliche Messung des Durchflusses während der Probenahme mit einer kalibrierten Messeinrichtung (z. B. einer kritischen Düse) festgestellt werden (siehe IEC 61577-3).

7 Nachweisverfahren

Der Nachweis muss mittels eines Szintillationsdetektors mit silberaktiviertem Zinksulfid ZnS(Ag) oder mittels eines Halbleiterdetektors (für Alphateilchen) erfolgen, wie in ISO 11665-1 beschrieben.

8 Messung

8.1 Verfahren

Die Messung muss wie folgt durchgeführt werden:

- Wähle die Dauer t_s der Probenahme.
- Plane die Zählstufen mit n Zählungen, lege Start- t_j und Endzeitpunkt t_{cj} für jedes Intervall zur Zählung von I_j fest. Den verschiedenen Sätzen werden die Ziffern von $j = 1$ bis $j = n$ zugeordnet. Vor einer jeden Zählung kann eine spezifische Wartezeit erforderlich sein.

ANMERKUNG Beispiele für die Protokolle der Gesamt-Alpha-zählung sind in [Anhang A](#) aufgeführt.

- Baue das Nachweissystems (Detektor und Impulszähleinrichtung) auf.
- Bestimme den Untergrundwert des Membranfilters. Vor der Probenahme ist das neue Filter in Übereinstimmung mit den Angaben des Herstellers gegenüber dem Detektor anzubringen. Messe die Gesamt-Alphaereignisse des neuen Filters mittels n aufeinanderfolgenden Gesamt-Alpha-zählungen während der für die gewählte Zählstufe festgelegten Dauern $t_{cj} - t_j$:

- $t = 0$ bis $t = t_1$ Warten, keine Zählung wenn $t_1 > 0$;
- $t = t_1$ bis $t = t_{c1}$ Zählung von $I_{0,1}$;
- $t = t_{cj-1}$ bis $t = t_j$ Warten, keine Zählung wenn $t_j > t_{cj-1}$;
- $t = t_j$ bis $t = t_{cj}$ Zählung von $I_{0,j}$.

Wenn $n > 1$, wiederhole die Stufen 3) und 4) bis $j = n$.

- Zeichne die Werte von $I_{0,j}$ für $j = 1$ bis $j = n$ auf.

- f) Wähle den Messort und lege diesen fest.
- g) Baue das Probenahmesystem auf.
- h) Entnehme eine Stichprobe der Luft, die während der Dauer der Probenahme t_s repräsentativ für die zu untersuchende Atmosphäre ist.
- i) Zeichne Ort und Zeitpunkt (Datum, Stunde und Minuten) der Probenahme auf.
- j) Nach Beendigung der Probenahme: entnehme das Membranfilter aus der Probenahmeeinrichtung und setze dieses nach Herstellerangaben gegenüber dem Detektor ein. Wegen der kurzen Halbwertszeiten der ^{222}Rn - Folgeprodukte, müssen die Alphateilchen innerhalb weniger Minuten nach der Probenahme vor Ort nachgewiesen werden.
- k) Ermittle die Gesamt-Alphaereignisse mittels n aufeinanderfolgenden Gesamt-Alphazählungen entsprechend den festgelegten Dauern $t_{cj} - t_j$ der Zählstufen:
 - 1) $t = 0$ bis $t = t_1$ Warten, keine Zählung wenn $t_1 > 0$;
 - 2) $t = t_1$ bis $t = t_{c1}$ Zählung von I_1 ;
 - 3) $t = t_{cj-1}$ bis $t = t_j$ Warten, keine Zählung wenn $t_j > t_{cj-1}$;
 - 4) $t = t_j$ bis $t = t_{cj}$ Zählung von I_j .Wenn $n > 1$, wiederhole die Stufen 3) und 4) bis $j = n$.
- l) Zeichne die Werte von I_j für $j = 1$ bis $j = n$ auf.
- m) Berechne die potenzielle Alpha-Energiekonzentration.

8.2 Einflussgrößen

Verschiedene Größen können zu einer systematischen Messunsicherheit führen und zu nicht repräsentativen Ergebnissen führen. In Abhängigkeit vom Messverfahren und der Überwachung von allgemeinen Einflussgrößen, die in IEC 61577-1 und ISO 11665-1 festgelegt sind, müssen insbesondere die folgenden Größen berücksichtigt werden:

- a) Einfluss des Luftdrucks auf die Probenahme;
- b) Einfluss der Lagerbedingungen des Membranfilters vor der Probenahme; die Lagerbedingungen müssen so gewählt sein, dass eine Kontamination mit Radon-Folgeprodukten vermieden wird;
- c) Oberflächenkontamination des Detektors; der Detektor muss vor der Messung auf Oberflächenkontamination überprüft werden;
- d) mögliche Anwesenheit anderer Alphaemitter (Radium, Radonisotope usw.) auf dem Membranfilter oder in der Umgebungsluft.

Die in den Betriebsanleitungen der Messgeräte gegebenen Empfehlungen des Herstellers müssen befolgt werden.

8.3 Kalibrierung

Das gesamte Messgerät (die Probenahme- und die Nachweiseinrichtung, d. h. der Detektor und die Elektronik) muss kalibriert werden wie in ISO 11665-1 festgelegt.

Das Verhältnis zwischen der vom Nachweissystem gemessenen Variablen und der in der Luft vorliegenden potenziellen Alpha-Energiekonzentration der Radon-Folgeprodukte muss unter Verwendung von radioaktiven Referenzquellen oder anderen Normalen (z. B. eine Referenzatmosphäre), die durch internationale Vergleichsprüfungen anerkannt sind, festgestellt werden.

9 Darstellung der Ergebnisse

9.1 Allgemeines

Die Berechnung der potenziellen Alpha-Energiekonzentration der kurzlebigen ^{222}Rn - Folgeprodukte beruht auf der Aktivitätskonzentration eines jeden kurzlebigen Folgeprodukts wie auch auf der gesamten potenziellen Alpha-Energiekonzentration.

Die Berechnung der Aktivitätskonzentrationen von ^{218}Po , ^{214}Pb und ^{214}Bi beruht auf den verschiedenen Zählungen der Gesamtalphaereignisse I_j , dem Untergrund $I_{0,j}$, der Zähleffektivität, der Durchflussrate und der Dauer der Probenahme. Darüber hinaus müssen die folgenden Hypothesen zugrunde gelegt werden:

- a) die kurzlebigen Radon-Folgeprodukte sind die einzigen alpha-emittierenden Nuklide in der untersuchten Luft;
- b) ihre jeweilige Aktivitätskonzentration verändert sich während der Probenahme nicht;
- c) die Zähleffektivität ist für jedes Folgeprodukt gleich.

Zur Berechnung der Aktivitätskonzentration eines jeden Folgeprodukts werden Gleichungen angewendet, mit denen die Anzahl der Atome eines jeden Folgeprodukts, die sich nach Ende der Probenahme auf dem Filter befanden, berechnet wird, basierend auf den in den verschiedenen Zeitintervallen erfolgten Zählungen der Gesamt-Alphaereignisse (siehe [Anhang B](#)).

9.2 Potenzielle Alpha-Energiekonzentration

Die potenzielle Alpha-Energiekonzentration der kurzlebigen ^{222}Rn - Folgeprodukte muss mittels Gleichung (1) berechnet werden:

$$E_{\text{PAEC},^{222}\text{Rn}} = \sum_i \frac{E_{\text{PAE},i}}{V} = \sum_i \left(\frac{E_{\text{AET},i} \cdot N_i}{V_i} \right) = \sum_i \left(\frac{E_{\text{AET},i} \cdot C_i}{\lambda_i} \right) \quad (1)$$

$$E_{\text{PAEC},^{222}\text{Rn}} = \omega \cdot \sum_j \sum_i \frac{E_{\text{AET},i} \cdot k_{i,j}}{\lambda_i} \cdot (I_j - I_{0,j}) \quad (2)$$

Dabei ist

$$C_i = \frac{1}{\varepsilon_c \cdot Q} \cdot \sum_j k_{i,j} \cdot (I_j - I_{0,j}) = \omega \cdot \sum_j k_{i,j} \cdot (I_j - I_{0,j}) \quad (3)$$

$$\omega = \frac{1}{\varepsilon_c \cdot Q} \quad (4)$$

Die Berechnung von $k_{i,j}$ ist im [Anhang B](#) ausführlich beschrieben.

ANMERKUNG Im Fall von ^{218}Po ist $E_{\text{AET},i} = E_{\text{AE},^{218}\text{Po}} + E_{\text{AE},^{214}\text{Po}}$ und im Fall von ^{214}Pb , ^{214}Bi und ^{214}Po ist $E_{\text{AET},i} = E_{\text{AE},^{214}\text{Po}}$.

9.3 Standardunsicherheit

Die Unsicherheiten des Durchflusses der Probenahme, der Zähleffektivität und der Anzahl der Zählereignisse (einschließlich des Untergrunds) müssen berücksichtigt werden.

Die Unsicherheiten der Zerfallskonstanten, der Dauer der Probenahme und der Dauer der Zählungen werden als vernachlässigbar betrachtet. Die Unsicherheit von $k_{i,j}$ wird deshalb vernachlässigt.

Hypothesen:

- a) alle Variablen sind unabhängig;
- b) die Anzahlen der Zählereignisse $I_{0,j}$ und I_j sind poissonverteilte Zufallsvariablen.

Unter diesen Bedingungen werden die Unsicherheiten der Anzahlen der Zählereignisse $I_{0,j}$ und I_j ausgedrückt durch:

$$u^2(I_{0,j}) = I_{0,j} \text{ und } u^2(I_j) = I_j \quad (5)$$

I_j hängt sowohl von der Aktivität eines jeden Folgeprodukts als auch von der Zeit ab, die nach dem Ende der Probenahme vergangen ist. Die Unsicherheit der Zählung, die aus der Varianz von I_j geschätzt wird, schließt deshalb auch Unsicherheiten ein, die von Variablen hervorgerufen werden, von denen I_j abhängt.

Nach ISO/IEC Guide 98-3 [8] muss die Standardunsicherheit von $E_{\text{PAEC},222\text{Rn}}$ nach Gleichung (6) berechnet werden:

$$u(E_{\text{PAEC},222\text{Rn}}) = \sqrt{\omega^2 \cdot \sum_j [(K_{i,j}) \cdot (I_j + I_{0,j})] + (E_{\text{PAEC},222\text{Rn}})^2 \cdot u_{\text{rel}}^2(\omega)} \quad (6)$$

Dabei ist

$$u_{\text{rel}}^2(\omega) = u_{\text{rel}}^2(\varepsilon_c) + u_{\text{rel}}^2(Q) \quad (7)$$

$$K_{i,j} = \left[\sum_i \left(\frac{E_{\text{AET},i} \cdot k_{i,j}}{\lambda_i} \right) \right]^2 \quad (8)$$

Die Berechnung der charakteristischen Grenzen (siehe ISO 11929 [9]) erfordert die Berechnung von $\tilde{u}(\tilde{E}_{\text{PAEC},222\text{Rn}})$, d. h. der Standardunsicherheit von $E_{\text{PAEC},222\text{Rn}}$ als Funktion ihres mittels Gleichung (9) berechneten wahren Werts:

$$\tilde{u}(\tilde{E}_{\text{PAEC},222\text{Rn}}) = \sqrt{\omega^2 \cdot \sum_j [(K_{i,j}) \cdot (\tilde{I}_j + I_{0,j})] + (\tilde{E}_{\text{PAEC},222\text{Rn}})^2 \cdot u_{\text{rel}}^2(\omega)} \quad (9)$$

9.4 Erkennungsgrenze

Die Erkennungsgrenze $E_{\text{PAEC},222\text{Rn}}^*$ wird aus Gleichung (9) mit $\tilde{E}_{\text{PAEC},222\text{Rn}} = 0$ erhalten (siehe ISO 11929 [9]), d. h. jedes $\tilde{C}_i = 0$ und $\tilde{I}_j = I_{0,j}$. Dies ergibt Gleichung (10):

$$E_{\text{PAEC},222\text{Rn}}^* = k_{1-\alpha} \cdot \tilde{u}(0) = k_{1-\alpha} \cdot \omega \cdot \sqrt{2 \cdot \sum_j [(K_{i,j}) \cdot I_{0,j}]} \quad (10)$$

$\alpha = 0,05$ mit $k_{1-\alpha} = 1,65$ wird häufig als Standard gewählt.

9.5 Nachweisgrenze

Die Nachweisgrenze $E_{\text{PAEC},222\text{Rn}}^{\#}$ wird mittels Gleichung (11) berechnet (siehe ISO 11929 [9]):

$$E_{\text{PAEC},222\text{Rn}}^{\#} = a + \sqrt{a^2 + (k_{1-\beta}^2 - k_{1-\alpha}^2) \cdot \tilde{u}^2(\tilde{E}_{\text{PAEC}} = 0)} = a + \sqrt{a^2 + (k_{1-\beta}^2 - k_{1-\alpha}^2) \cdot \tilde{u}^2(0)} \quad (11)$$

Dabei ist

$$a = k_{1-\alpha} \cdot \tilde{u}(0) + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{k_{1-\beta}^2}{E_{\text{PAEC}}} \right) \cdot [u^2(E_{\text{PAEC}}) - \tilde{u}^2(0)] \quad (12)$$

Wenn $\alpha = \beta$ folgt $E_{\text{PAEC}}^{\#} = 2 \cdot a$.

$\alpha = \beta = 0,05$ mit $k_{1-\alpha} = k_{1-\beta} = 1,65$ wird häufig als Standard gewählt.

9.6 Vertrauensbereiche

Die untere, $E_{\text{PAEC},222\text{Rn}}^{\triangleleft}$, und die obere, $E_{\text{PAEC},222\text{Rn}}^{\triangleright}$, Vertrauensgrenze müssen unter Anwendung der Gleichungen (13) and (14) berechnet werden (siehe ISO 11929 [9]):

$$E_{\text{PAEC},222\text{Rn}}^{\triangleleft} = E_{\text{PAEC},222\text{Rn}} - k_p \cdot u(E_{\text{PAEC},222\text{Rn}}); \quad p = \omega \cdot (1 - \gamma/2) \quad (13)$$

$$E_{\text{PAEC},222\text{Rn}}^{\triangleright} = E_{\text{PAEC},222\text{Rn}} - k_q \cdot u(E_{\text{PAEC},222\text{Rn}}); \quad q = 1 - \omega \cdot \gamma/2 \quad (14)$$

Dabei ist

$\omega = \Phi(y/u(y))$, mit Φ als Verteilungsfunktion der standardisierten Normalverteilung;

$\omega = 1$ darf gesetzt werden, wenn $E_{\text{PAEC},222\text{Rn}} \geq 4 \cdot u(E_{\text{PAEC},222\text{Rn}})$, in diesem Fall ist

$$E_{\text{PAEC},222\text{Rn}}^{\triangleleft\triangleright} = E_{\text{PAEC},222\text{Rn}} \pm k_{1-\gamma/2} \cdot u(E_{\text{PAEC},222\text{Rn}}) \quad (15)$$

$\gamma = 0,05$ mit $k_{1-\gamma/2} = 1,96$ wird häufig als Standard gewählt.

10 Prüfbericht

10.1 Der Prüfbericht muss die Anforderungen der ISO/IEC 17025 erfüllen und die folgenden Angaben enthalten:

- Verweisung auf dieses Dokument, d. h. auf ISO 11665-3:2---
- Messverfahren (Punktmessung);
- Probenkennzeichnung;
- Art der Probenahme (aktiv);
- Beginn der Probenahme (Datum, Stunde und Minuten);
- Ende der Probenahme (Datum, Stunde und Minuten);
- Dauer der Probenahme;