

DIN ISO 20045
(VDE 0493-1-45)
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 13.040.01; 17.240

Einsprüche bis 2021-08-25

Entwurf

Bestimmung der Radioaktivität in der Umwelt –
Luft: Tritium –
Messverfahren mit Sammlung mittels Gaswaschflaschen
(ISO/CD 20045:2021);
Text Deutsch und Englisch

Measurement of the radioactivity in the environment –
 Air: tritium –
 Test Method using bubbler sampling
 (ISO/CD 20045:2021);
 Text in German and English

Mesurage de la radioactivité dans l'environnement –
 Air: tritium –
 Méthode d'essai avec échantillonnage par barbotage
 (ISO/CD 20045:2021);
 Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-06-25 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 76 Seiten

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

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist ...

Inhalt	Seite
Nationales Vorwort.....	4
Vorwort.....	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich.....	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe, Abkürzungen und Symbole.....	8
3.1 Begriffe	9
3.2 Symbole, ihre Bedeutung und Einheiten	10
4 Kurzbeschreibung.....	11
5 Einflussgrößen.....	13
6 Geräte.....	13
6.1 Beschreibung und Anforderungen des Probenahmesystems.....	13
6.2 Lage des Probenahmekopfs	14
6.3 Durchfluss, Dauer der Probenahme und gesammeltes Luftvolumen	14
6.4 Einfanglösung.....	14
6.5 Bedienungsanleitung	14
7 Vorgehensweise	15
7.1 Probenahme	15
7.2 Probensammlung und -transport.....	16
7.3 Erhalt	16
7.4 Konservierung	16
7.5 Messung der Tritium-Aktivitätskonzentration	16
8 Angabe der Ergebnisse	17
8.1 Allgemeines	17
8.2 Berechnungen des tritiierten Wasserdampfs	17
8.2.1 Aktivitätskonzentration des tritiierten Wasserdampfs.....	17
8.2.2 Erkennungsgrenze für tritiierten Wasserdampf.....	18
8.2.3 Nachweisgrenze für tritiierten Wasserdampf	18
8.2.4 Grenzen des Vertrauensbereichs für tritiierten Wasserdampf	18
8.2.5 Einsatzbedingungen.....	19
8.3 Berechnung der gasförmigen Tritium-Bestandteile	19
8.3.1 Gasförmige Tritium-Bestandteile ohne signifikantem HTO-Niveau	20
8.3.1.1 Aktivitätskonzentration	20
8.3.1.2 Erkennungsgrenze	20
8.3.1.3 Nachweisgrenze	20
8.3.2 Gasförmige Tritium-Bestandteile mit signifikantem HTO-Niveau.....	21
8.3.2.1 Aktivitätskonzentration	21

	Seite
8.3.2.2 Erkennungsgrenze	22
8.3.2.3 Nachweisgrenze	22
8.3.3 Grenzen des Vertrauensbereichs für gasförmige Tritium-Bestandteile	23
8.3.4 Einsatzbedingungen	23
9 Prüfbericht	24
Anhang A (informativ) Technische Daten für Tritium	25
Anhang B (informativ) Bestimmung der Einfangeffizienz	27
B.1 Kurzbeschreibung	27
B.2 Einfangeffizienz der ersten Gaswaschflaschen-Probe	27
B.3 Typische Werte	29
Anhang C (informativ) Aufbewahrung von tritiierten wässrigen Lösungen	32
C.1 Prüfungen der tritiierten Einfanglösungen	32
C.2 Prüfungen der tritiierten wässrigen Lösung	32
C.3 Folgerung	32
Anhang D (informativ) Beispiel für Probenahme- und Berechnungsformulare	33
D.1 Probenahmeformulare	33
D.2 Berechnungsformulare	35
Anhang E (informativ) Beispiel für die Berechnung der Tritium-Aktivitätskonzentration in Luft	36
E.1 Berechnungsbeispiel ohne HTO-Beitrag in Gaswaschflaschen-Probe B3	36
E.2 Berechnungsbeispiel mit HTO-Beitrag in den Gaswaschflaschen-Proben B3 und B4	38
Literaturhinweise	40

Bilder

Bild 1 – Beispiel für die Darstellung eines Probenahmesystems für atmosphärische Luft mit zwei Modulen für die Sammlung atmosphärischen Tritiums	12
Bild 2 – Beispiel für die Darstellung einer Gaswaschflasche	15
Bild B.1 – Tritium-Transferrate von Gaswaschflasche B1 nach Gaswaschflasche B2 als Funktion der unter kontrollierten Bedingungen gesammelten Luft	30
Bild B.2 – Einfangeffizienz von Gaswaschflaschen-Proben als Funktion der Probenahmedauer unter kontrollierten Bedingungen	31

Tabellen

Tabelle 1 – Symbole, ihre Bedeutung und Einheiten	10
Tabelle 1 – Vier Fälle möglicher Ergebnisse für die Gaswaschflaschen-Proben B1 und B2	19
Tabelle 2 – Acht Fälle möglicher Ergebnisse für die Gaswaschflaschen-Proben B2, B3 und B4	23
Tabelle B.1 – Typische Werte für die Tritium-Einfangeffizienz und die katalytische Oxidationseffizienz	29
Tabelle E.1 – Berechnungsbeispiel ohne signifikante HTO-Aktivitätskonzentration in Gaswaschflaschen-Probe B3	36
Tabelle E.2 – Berechnungsbeispiel mit signifikanter HTO-Aktivitätskonzentration in Gaswaschflaschen-Probe B3	38

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument ISO/CD 20045:2021 „Measurement of radioactivity in the environment – Air: tritium – Test Method using bubbler sampling“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

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

Das internationale Dokument wurde vom ISO/TC 85/SC 2 „Radiological protection“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und den nationalen Mitgliedern zur Stellungnahme vorgelegt.

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.

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

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

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

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

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

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler 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. Im Besonderen sollten die für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten notwendigen Annahmekriterien 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 wird als Information zum Nutzen der Anwender angegeben und stellt keine Anerkennung dar.

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.

Einleitung

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

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

Strahlenbelastung entsteht auch infolge beruflicher Tätigkeiten. Sie tritt sowohl bei Arbeitnehmern in Industrie, Medizin und Forschung auf, die Strahlung oder radioaktive Stoffe verwenden, als auch bei Flugpassagieren und Flugbesatzungen während des Flugs. Die mittlere berufliche Strahlenexposition liegt üblicherweise unterhalb des globalen Mittelwerts der natürlichen Strahlenbelastung (siehe Literaturhinweis 1^{N1}).

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

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

Radioaktivität aus verschiedenen natürlich vorkommenden und künstlichen Quellen ist in der gesamten Umwelt vorhanden. Daher kann die Atmosphäre Radionuklide natürlichen oder menschgemachten Ursprungs enthalten, oder beides.

- Natürliche Radionuklide umfassen ^{40}K , ^3H , ^{14}C und jene aus den Zerfallsreihen von Thorium und Uran, insbesondere ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{234}U , ^{238}U und ^{210}Pb , die in Materialien natürlichen Ursprungs zu finden sind oder von technischen Prozessen emittiert werden, die natürlich vorkommende radioaktive Stoffe verwenden (z. B. dem Bergbau, der Verarbeitung von Mineralsanden oder Herstellung und Einsatz von Phosphatdünger).
- Menschgemachte Radionuklide, wie Transurane (Americium, Plutonium, Neptunium und Curium), ^3H , ^{14}C , ^{90}Sr und Gammastrahlung emittierende Radionuklide können ebenfalls in gasförmigen Ableitungen, Umweltproben (Wasser, Luft, Boden, Flora und Fauna), in Lebensmitteln und Tierfutter, als Ergebnis genehmigter Ableitungen in die Umwelt, Fallout aus Atomexplosionen in der Atmosphäre und aus Nuklearunfällen wie z. B. in Tschernobyl und Fukushima gefunden werden.

^{N1} Nationale Fußnote: Im Folgenden sind in der deutschen Übersetzung die Verweisungen auf die Literaturhinweise durch deren Nummer in eckigen Klammern angegeben.

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

Zurzeit stehen Prüflaboren über einhundert Internationale Normen zur Messung von Radionukliden in verschiedenen Umgebungen zur Verfügung, die von Technischen Komitees der ISO (International Organization for Standardization), einschließlich denen des ISO/TC 85, bzw. der IEC (International Electrotechnical Commission) erstellt wurden.

Tritium (^3H) ist ein radioaktives Isotop des Wasserstoffs. Es ist ein rein Betastrahlung emittierendes Radionuklid mit einer Maximalenergie gleich 18,591 keV [1] und einer radioaktiven Halbwertszeit von 12,312 (0,025) Jahren [2]. Es kommt natürlich vor und wird ständig in der oberen Atmosphäre durch Wechselwirkung kosmischer Strahlung mit Stickstoff- und Sauerstoffkernen erzeugt [3].

In der Umwelt sind zwei hauptsächlich vorkommende chemische Formen sowohl natürlich als auch künstlich erzeugten Tritiums vorhanden. Die häufigste Form ist tritiiertes Wasser (HTO) [4]. Tritium kann auch in Form tritiierten Gases (HT oder T₂) vorhanden sein, üblicherweise in der Umgebung Tritium emittierender Anlagen [5], tritiiertem Methan (CH₃T) oder in verschiedenen organischen Formen des Tritiums, welche gewöhnlich in terrestrischen, Süßwasser- und marinen Ökosystemen zu beobachten sind [6], [7], [8].

Menschgemachte Tritiumgemische stammen aus radioaktiven Ableitungen kerntechnischer Anlagen, d. h. von Kernkraftwerken, Wiederaufarbeitungs- und Recyclinganlagen für bestrahlte Kernbrennstoffe, militärischer Verwendung, medizinischer Forschung und von früheren Atomexplosionen in der Atmosphäre (siehe [Anhang A](#)).

Dieses Dokument beschreibt die Verfahren zur Bestimmung der Aktivitätskonzentration luftgetragenen Tritiums nach seiner Probenahme mittels Gaswaschflaschen, die zum Einfang des tritiierten Wasserdampfs und tritiierten Gases in einer wässrigen Lösung verwendet werden. Das Verfahren kann für jede Art von Umweltstudie oder Umweltüberwachung verwendet werden.

Das Prüfverfahren wird zusammen mit einem Qualitätssicherungsmanagementsystem (ISO/IEC 17025) verwendet. Es kann angepasst werden, so dass die charakteristischen Grenzen, Nachweis- und Erkennungsgrenze, und Unsicherheiten sicherstellen, dass für die Messergebnisse der Tritium-Aktivitätskonzentration in Luft verifiziert werden kann, dass sie unterhalb von Richtwerten liegen, die von nationalen Gesetzgebern für geplante oder bestehende Situationen oder für Unfälle gefordert werden.

**Bestimmung der Radioaktivität in der Umwelt –
Luft: Tritium –
Messverfahren mit Sammlung mittels Gaswaschflaschen**

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument beschreibt ein Prüfverfahren zur Bestimmung der Aktivitätskonzentration luftgetragenen Tritiums durch Einfangen des Tritiums in einer in Gaswaschflaschen enthaltenen wässrigen Lösung. Aktivitätskonzentrationen luftgetragenen Tritiums werden in Becquerel je Normal-Kubikmeter (Bq Nm^{-3}) angegeben.

Die Gleichungen sind für ein Probenahmesystem mit vier Gaswaschflaschen angegeben. Sie können auch an Sammler mit nur einem Sammelmodul speziell für Aktivitätskonzentrationen tritiierten Wasserdampfs in der Luft angepasst werden.

Dieses Dokument behandelt nicht Ergebnisse von Laborproben in Becquerel je Liter der Einfanglösung nach ISO 9698 oder ISO 13168.

Die Nachweisgrenze des Prüfverfahrens liegt zwischen $2 \cdot 10^{-1} \text{ Bq} \cdot \text{Nm}^{-3}$ und $5 \cdot 10^{-1} \text{ Bq} \cdot \text{Nm}^{-3}$ bei einer Dauer der Probenahme von etwa 1 Woche.

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 4788, *Laboratory glassware – Graduated measuring cylinders*

ISO 11929-3, *Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the coverage interval) for measurements of ionizing radiation – Fundamentals and application – Part 3: Applications to unfolding methods*

ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

ISO/IEC Guide 99, *International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)*

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

ISO 80000-10, *Quantities and units – Part 10: Atomic and nuclear physics*

3 Begriffe, Abkürzungen und Symbole

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe, Symbole und Abkürzungen nach ISO/IEC Guide 99, ISO/IEC Guide 98-3, ISO 80000-10 und die folgenden. ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

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

3.1 Begriffe

3.1.1

tritiiertes Wasserdampf

(en: tritiated water vapour)

atmosphärischer Wasserdampf, bei dem ein Wasserstoffatom des Wasserstoffmoleküls durch ein Tritiumatom ersetzt ist

3.1.2

HTO

(en: HTO)

tritiierte Wasserdampf-Moleküle in der Atmosphäre

3.1.3

tritiiertes Gas

(en: tritiated gas)

Mischung von Tritiumgas in der Atmosphäre, bei der HT- und CH₃T-Moleküle die dominierende chemische Form sind

3.1.4

no-HTO

(en: no-HTO)

tritiierte Gas-Moleküle in der Atmosphäre

3.1.5

Aerosole

(en: aerosols)

Verteilung sehr kleiner fester Teilchen oder Flüssigkeitströpfchen in Luft oder Gas

3.1.6

Probenahmesystem

(en: sampling system)

Gerät zur Sammlung luftgetragenen Tritiums in einer in Gaswaschflaschen enthaltenen wässrigen Lösung. Es besteht aus einem Probenahmekopf, einer Transportleitung, einem Durchflusserwärmungssystem und Sammlern

Anmerkung 1 zum Begriff: Die gesammelten Proben werden off-line in einem Prüflabor analysiert.

3.1.7

Gaswaschflasche

(en: bubbler)

Glasbehälter, der das einfangende Wasser enthält

3.1.8

Sammeleinheit

(en: sampling unit)

Sammler des tritiierten Wasserdampfs, bestehend aus zwei Gaswaschflaschen in Reihe zum Einfang der Tritium-Formen HTO oder no-HTO

3.1.9

Sammler

(en: sampler)

Gerät einschließlich des montierten Probenahmesystems

3.1.10

Einfangeffizienz

(en: trapping efficiency)

Verhältnis der während der Probenahme gesammelten Aktivitätskonzentration des tritiierten Wasserdampfs zur Aktivitätskonzentration des tritiierten Wasserdampfs in der Atmosphäre

3.1.11

Oxidationseffizienz

(en: oxidizing efficiency)

Verhältnis der durch Oxidation des in tritiierten Wasserdampf umgewandelten gasförmigen Tritiums in der Atmosphäre in einem katalytischen Ofen zum Gehalt des gasförmigen Tritiums in der Atmosphäre während der Probenahme

3.1.12

Luftprobe

(en: air sample)

idealerweise repräsentativer Teil der punktuell, intermittierend oder kontinuierlich gesammelten atmosphärischen Luft, der auf seine Bestandteile untersucht wird

3.1.13

Gaswaschflaschen-Probe

(en: bubbler sample)

Gaswaschflasche, die einfangendes Wasser enthält

3.1.14

Prüfprobe

(en: test sample)

idealerweise repräsentativer Teil der von einem Prüflabor in einer Gaswaschflaschen-Probe für die Prüfung erhaltenen Tritium-Aktivitätskonzentration

3.1.15

Normbedingungen

(en: standard conditions)

Temperatur von 273 K (0 °C) bei einem Druck von 101 325 Pa

3.1.16

Normal-Kubikmeter

(en: normal cubic metre)

Einheit der Volumenmessung unter Normbedingungen gesammelter atmosphärischer Luft (Nm³)

3.2 Symbole, ihre Bedeutung und Einheiten

Tabelle 1 – Symbole, ihre Bedeutung und Einheiten (1 von 2)

Symbol	Bedeutung und Einheit
w	Korrektionsfaktor für die Tritium-Aktivitätskonzentration der Prüfprobe, in Liter (l ⁻¹)
c_A	Tritium-Aktivitätskonzentration der Prüfprobe, in Becquerel je Liter (Bq · l ⁻¹)
$u(c_A)$	Standardunsicherheit der Tritium-Aktivitätskonzentration der Prüfprobe, in Becquerel je Liter (Bq · l ⁻¹)
c_A^*	Erkennungsgrenze der Tritium-Aktivitätskonzentration der Prüfprobe, in Becquerel je Liter (Bq · l ⁻¹)
$c_A^\#$	Nachweisgrenze der Tritium-Aktivitätskonzentration der Prüfprobe, in Becquerel je Liter (Bq · l ⁻¹)
A	Tritium-Aktivität in der Gaswaschflaschen-Probe, in Becquerel (Bq)
v	Wasservolumen der Gaswaschflaschen-Probe am Ende der Probenahme, in Liter (l)
q_p	Durchfluss des Probenahmesystems in Normal-Kubikmeter je Stunde (Nm ³ · h ⁻¹) unter Normbedingungen
t_p	Dauer der Probenahme, in Stunden (h)

Tabelle 1 (2 von 2)

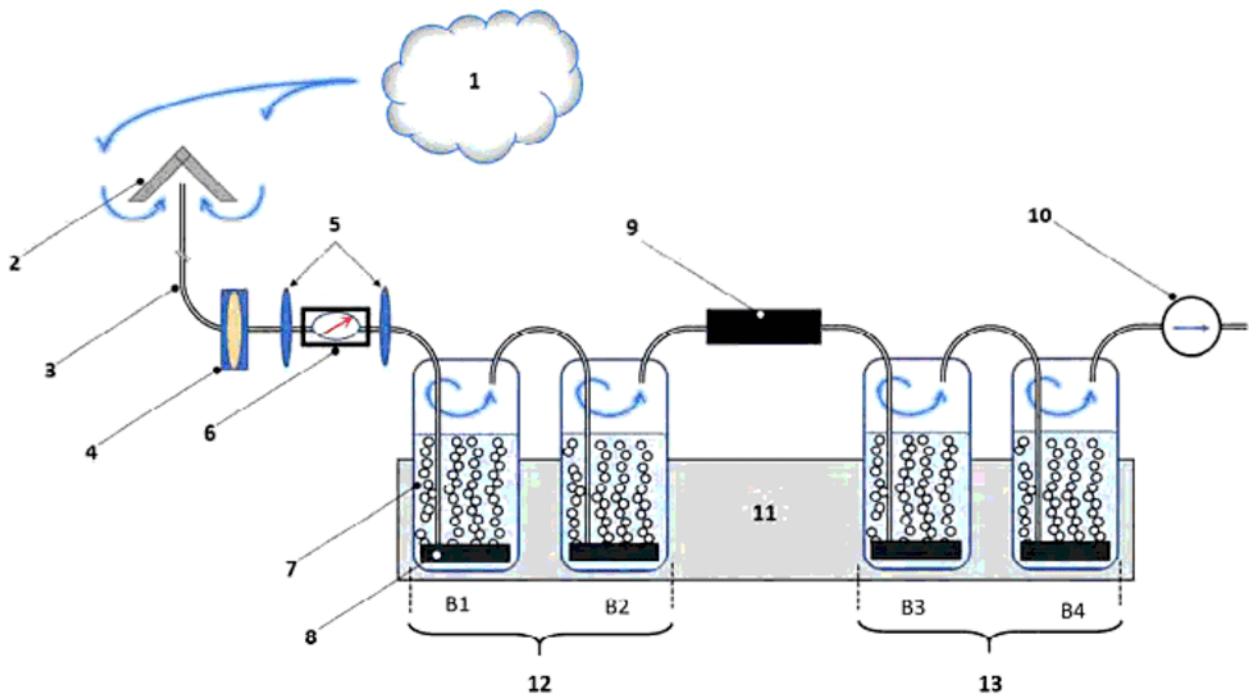
Symbol	Bedeutung und Einheit
V	Gesammeltes Luftvolumen, in Normal-Kubikmeter (Nm^3), mit $V = q_p \cdot t_p$
ε_{B1}	Einfangeffizienz der ersten Gaswaschflaschen-Probe (B1)
ε_B	Einfangeffizienz der anderen Gaswaschflaschen-Proben (B2, B3 und B4)
ε_F	Oxidationseffizienz des katalytischen Ofens
C_v	Aktivitätskonzentration des atmosphärischen tritierten Wasserdampfs, in Becquerel je Normal-Kubikmeter ($\text{Bq} \cdot \text{Nm}^{-3}$)
C_g	Aktivitätskonzentration des atmosphärischen tritierten Gases, in Becquerel je Normal-Kubikmeter ($\text{Bq} \cdot \text{Nm}^{-3}$)
C_v^* und C_g^*	Erkennungsgrenzen der Aktivitätskonzentration des atmosphärischen tritierten Wasserdampfs bzw. Gases, in Becquerel je Normal-Kubikmeter ($\text{Bq} \cdot \text{Nm}^{-3}$)
$C_v^\#$ und $C_g^\#$	Nachweisgrenzen der Aktivitätskonzentration des atmosphärischen tritierten Wasserdampfs bzw. Gases, in Becquerel je Normal-Kubikmeter ($\text{Bq} \cdot \text{Nm}^{-3}$)
$C_v^{\Delta}, C_v^{\triangleright}$ und $C_g^{\Delta}, C_g^{\triangleright}$	Untere bzw. obere Grenze des Vertrauensbereichs der Aktivitätskonzentration des atmosphärischen tritierten Wasserdampfs bzw. Gases, in Becquerel je Normal-Kubikmeter ($\text{Bq} \cdot \text{Nm}^{-3}$)
k	Überdeckungsfaktor, mit $k = 1, 2, 3, \dots$
$u(y)$	Dem Parameter y zugeordnete Standardunsicherheit ($k = 1$)
$U(y)$	Erweiterte Unsicherheit, berechnet durch $U(y) = k \cdot u(y)$ mit $k > 1$
$u_{\text{rel}}(y)$	Dem Parameter y zugeordnete relative Standardunsicherheit, berechnet durch $u_{\text{rel}}(y) = u(y) \cdot y^{-1}$
$U_{\text{rel}}(y)$	Relative erweiterte Unsicherheit, berechnet durch $U_{\text{rel}}(y) = k \cdot u_{\text{rel}}(y)$ mit $k > 1$

4 Kurzbeschreibung

Die Gaswaschflaschen-Methode besteht aus dem Einfangen der Tritiumbestandteile der Luft aus der Atmosphäre in einer wässrigen Lösung. Die beprobte Luft wird kontinuierlich gepumpt und durch einen spezifischen Generator in kleine Bläschen überführt.

Nach der Filterung fester Aerosolbestandteile durch den Staubfilter durchströmt die gesammelte Luft ein erstes Sammelmodul aus zwei Gaswaschflaschen. Diese Einheit sammelt den tritierten atmosphärischen Wasserdampf. Ein zweites Modul, spezifisch für no-HTO-Bestandteile, kann in Reihe angeschlossen werden. In diesem Fall muss die gesammelte Luft durch einen katalytischen Ofen geleitet werden, in dem die no-HTO-Bestandteile in HTO umgewandelt werden. Diese Einheit sammelt verbliebenes HTO, das nicht vom ersten Modul gesammelt wurde, und no-HTO-Bestandteile, die in HTO umgewandelt wurden.

Das Luftvolumen, das durch die Probenahmesysteme geleitet wurde, wird durch ein Durchfluss- und ein Volumenmessgerät überwacht (Bild 1).



Legende

- 1 Zu überwachende atmosphärische Luft
- 2 Probenahmekopf
- 3 Verbindungsleitung
- 4 Staubfilter
- 5 Wasserfilter
- 6 Massendurchfluss- und Volumenmessgerät
- 7 Gaswaschflasche mit einfangendem Wasser
- 8 Bläschengenerator
- 9 Katalytischer Ofen
- 10 Pumpe
- 11 Kühler
- 12 Erstes Modul für den HTO-Einfang (Gaswaschflaschen B1 und B2)
- 13 Zweites Modul für den no-HTO-Einfang und den Einfang verbliebenen HTOs (Gaswaschflaschen B3 und B4)

Bild 1 – Beispiel für die Darstellung eines Probenahmesystems für atmosphärische Luft mit zwei Modulen für die Sammlung atmosphärischen Tritiums

Am Ende der Probenahme muss die Einfangflüssigkeit getrennt gesammelt und so schnell wie möglich zum Prüflabor transportiert werden.

Die Tritium-Aktivitätskonzentration jeder Gaswaschflaschen-Probe, in Becquerel je Liter der Gaswaschflaschen-Probe, muss mittels eines Flüssigszintillators bestimmt werden, wie in ISO 9698 oder ISO 13168 [9], [10] beschrieben.

Die Tritium-Aktivitätskonzentration in der Atmosphäre muss unter Beachtung des Folgenden berechnet werden:

- gesammeltes Luftvolumen;
- Wasservolumen jeder Gaswaschflaschen-Probe am Ende der Probenahme;
- Aktivitätskonzentration jeder Gaswaschflaschen-Probe;
- HTO-Einfangeffizienz und, wenn gefordert;
- Oxidationseffizienz der Umwandlung im katalytischen Ofen.

5 Einflussgrößen

Die Probenahme der atmosphärischen Luft kann durch viele Parameter beeinflusst werden. Diese Einflussgrößen können als kontrollierbare oder nicht kontrollierbare Parameter kategorisiert werden. Kontrollierbare Parameter können mittels der Anforderungen dieses Dokuments überwacht werden. Nicht kontrollierbare Parameter sind eng verbunden mit Umweltbedingungen wie der Lufttemperatur und Luftfeuchte oder der Umgebungstemperatur am Ort der Probenahme.

Kontrollierbare Größen sind:

- Luftdurchfluss;
- Höhe der Einfangflüssigkeit in der Gaswaschflasche;
- Bläschenbildung in jeder Gaswaschflasche;
- Temperatur der Gaswaschflaschen-Probe während der Sammlung der Luft;
- Wirksamkeit des Ofens während der Erhitzung;
- hermetischer Abschluss des Probenahmesystems;
- Bedingungen der Probenahme und Filterung der atmosphärischen Luft stromaufwärts der Sammeleinrichtung.

6 Geräte

6.1 Beschreibung und Anforderungen des Probenahmesystems

Das Probenahmesystem muss umfassen:

- einen Probenahmekopf zum Schutz vor direkt einfallendem Regen oder Spritzwasser;
- eine Verbindungsleitung, so kurz wie möglich, zwischen dem Probenahmekopf und dem Sammelsystem, wasserdicht, luftdicht und staubdicht. Die Art des Materials der Verbindungsleitung muss die Rückhaltung von Wasserdampf und isotope Reaktionen mit Wasserstoff reduzieren. Es wird empfohlen, die Verbindungsleitung vor Kondensation und in der Winterzeit vor Frost zu schützen;
- einen Staubfilter stromaufwärts des ersten Sammelmoduls, um chemische Lumineszenz und Lösch-effekte der zu messenden Probe zu begrenzen. Der Staubfilter muss periodisch gewechselt werden, um ein Verstopfen zu vermeiden;
- ein Massendurchfluss- und ein Volumenmessgerät, das mit einer Überwachung des Pumpendurchflusses ausgestattet ist und von stromaufwärts und stromabwärts angeordneten Wasserfiltern geschützt wird. Das Massendurchfluss- und das Volumenmessgerät müssen periodisch kalibriert werden, um ihre Genauigkeit sicherzustellen;
- mindestens ein Sammelmodul aus zwei in Reihe geschalteten Gaswaschflaschen mit jeweils einem Bläschengenerator, um den Austausch zwischen dem gesammelten atmosphärischen tritiierten Wassers und dem Einfangwasser zu verbessern. Es wird empfohlen, Gaswaschflaschen aus Glas zu verwenden, um das Risiko von Kreuzkontaminationen nach der Verwendung, Waschung und Trocknung zu vermeiden;

- wenn erforderlich, um gasförmige Tritiumaktivitäten und nach dem ersten Modul verbliebenes HTO zu sammeln:
 - einen katalytischen Ofen zur Umwandlung der Tritiumbestandteile von no-HTO in HTO durch Oxidation und;
 - einem zweiten Modul aus zwei in Reihe geschalteten Gaswaschflaschen mit jeweils einem Bläschengenerator, um den Austausch zwischen durch den katalytischen Ofen konvertiertem HTO und dem Sammelwasser zu verbessern. Es wird empfohlen, die Oxidationseffizienz des katalytischen Ofens zu kennen (siehe [Tabelle 1](#)). Die Wirksamkeit des Konversionskatalysators hängt von der Temperatur des Ofens und der Art des als Katalysator für die Umwandlung der interessierenden Form von Tritium verwendeten Materials ab;
- einer Pumpe, stromabwärts des Sammelmoduls / der Sammelmodule;
- einem Kühler, um die Verdunstung von Wasser in den Gaswaschflaschen zu reduzieren, und sicherzustellen, dass die Temperatur im Bereich zwischen 2 °C und 15 °C bleibt.

6.2 Lage des Probenahmekopfs

Der Probenahmekopf muss am Probenahmeort entsprechend den Luftbedingungen angeordnet werden (Freiraum, vorherrschender Wind usw.). Zur Begrenzung der Beladung des Staubfilters und vor Spritzwasser muss der Probenahmekopf einen Meter oberhalb des Probenahmebereichs (Dach oder anderes) angebracht werden.

6.3 Durchfluss, Dauer der Probenahme und gesammeltes Luftvolumen

Der Durchfluss muss bekannt, kontinuierlich und konstant sein, um die Repräsentativität der Probenahme sicherzustellen. Das gesammelte Luftvolumen wird aus den Daten des Durchflussmessgeräts und der Dauer der Probenahme berechnet. Das Ergebnis dieses Volumens muss in Normal-Kubikmeter (Nm^3) unter Normbedingungen angegeben werden. Unter diesen Bedingungen wird der Luftdurchfluss in Normal-Kubikmetern je Stunde ($\text{Nm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) angegeben.

Eine periodische Verifizierung der Kalibrierung des Durchflussmessgeräts entsprechend dem Internationalen System muss die Genauigkeit und die Unsicherheit der Messungen des Probenvolumens sicherstellen.

6.4 Einfanglösung

Es kann jede Art farblosen Wassers ohne enthaltene biologische Aktivität verwendet werden. Die Niveaus der Tritiumaktivität der Einfanglösung selbst müssen vernachlässigbar gegenüber der überwachten Tritiumaktivität sein. Das Wasser der Einfanglösung muss nach Vereinbarung mit dem Prüflabor ausgewählt werden (z. B. deionisiertes Wasser, Mineralwasser oder tiefes Grundwasser). Das Niveau der Tritiumaktivität der Einfanglösung muss mit geeigneter Leistung überwacht werden (Nachweis- und Erkennungsgrenze), bevor sie verwendet wird.

Wenn das Probenahmesystem bei Umgebungstemperaturen unter 0 °C arbeitet, könnte es erforderlich sein, ein Frostschutzmittel in die Einfanglösung zu geben. Diese Zugabe kann chemische Lumineszenz und Löscheffekte verursachen.

Vor Beginn der Probenahme und an deren Ende muss das Volumen oder die Masse der Einfanglösung in jeder Gaswaschflasche mittels kalibrierter Messzylinder nach den Anforderungen der ISO 4788 oder durch eine Waage mit bekannter Genauigkeit gemessen werden.

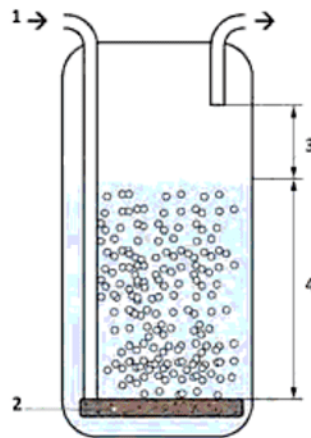
6.5 Bedienungsanleitung

Die Bedienungsanleitung muss festgelegt werden und folgendes berücksichtigen:

- eine eindeutige Kennzeichnung der Gaswaschflasche;
- einen hermetischen Abschluss des Probenahmesystems;

- ein ausreichendes Volumen der Einfanglösung, um einen vertikalen Mindestweg der Bläschen sicherzustellen. Es wird empfohlen, einen vertikalen Bläschenweg zu Beginn der Probenahme von 7 cm und am Ende der Probenahme von nicht weniger als 4 cm zu haben (siehe Bild 2);
- eine ausreichende freie Höhe oberhalb des Wasser-Niveaus der Gaswaschflaschen-Probe, um den mechanischen Übertrag von Wasser aus einer Gaswaschflasche in die nächste zu begrenzen;
- einen Luftdurchfluss, der einen guten Austausch des HTO zwischen den Bläschen und der Einfanglösung ermöglicht.

ANMERKUNG Zum Beispiel kann der Luftdurchfluss für Probenahmedauern von einigen Stunden bis zu einer Woche in einem Bereich von 10 bis 50 Normal-Litern je Stunde liegen.



Legende

- 1 Luftdurchfluss
- 2 Bläschengenerator
- 3 Freie Höhe
- 4 Vertikaler Bläschenweg

Bild 2 – Beispiel für die Darstellung einer Gaswaschflasche

Es müssen Vorkehrungen getroffen werden, um eine Kreuzkontamination der Geräte zu vermeiden. Zum Beispiel können die folgenden Vorkehrungen getroffen werden:

- eine systematische Reinigung der Sammelbehälter (z. B. per Geschirrspülmaschine mit Trocknung);
- eine systematische Reinigung des Bläschengenerators (z. B. mit Löschpapier);
- eine Kontrolle der „Abwesenheit“ von Kontamination des Probenahmesystems, z. B. durch Sammlung einer Atmosphäre mit niedriger Tritium-Aktivitätskonzentration während Wartungsarbeiten oder nachdem das Probenahmesystem ersetzt wurde. Es wird auch empfohlen, das System auf die „Abwesenheit“ von Kontamination zu überprüfen, wenn es einer ungewöhnlichen Aktivitätskonzentration atmosphärischen Tritiums ausgesetzt war.

7 Vorgehensweise

7.1 Probenahme

Zweck der Probenahme ist, in der Atmosphäre vorkommende Tritiumformen für eine quantitative Analyse in einem Prüflabor zu sammeln.

Gaswaschflaschen-Proben müssen repräsentativ für die überwachte oder untersuchte Örtlichkeit sein. Konsequenterweise muss das Probenahmesystem so angeordnet werden, dass Umgebungscharakteristika wie der örtliche Naturraum, Barrieren oder vorherrschende Winde berücksichtigt werden.

Die Probenahme muss kontinuierlich mit einem konstanten Durchfluss erfolgen.

Durchfluss und Probenahmedauer müssen so eingestellt werden, dass eine geeignete Leistung erreicht wird. Ein gesammeltes Volumen von 5 Nm^3 korrespondiert mit einem Durchfluss von etwa $30 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ bei einer Probenahmedauer von einer Woche und erlaubt eine Nachweisgrenze für HTO von $0,2 \text{ Bq} \cdot \text{Nm}^{-3}$.

Die Probenahme atmosphärischer Luft zur Überwachung oder Untersuchung erfolgt oft außerhalb von Gebäuden, unmittelbar in der betreffenden Umgebung. Üblicherweise können in einer kontrollierten Einsatzumgebung die Werte empfohlener Parameter hinreichend kontrolliert werden, sodass Luftfeuchte und Temperatur ignoriert werden können. Jedoch können extreme Umweltbedingungen das Probenahmesystem beeinflussen und die Sammlung der Luft unterbrechen, z. B. verursacht eine feuchtwarme oder trockenkalte Luft starke Schwankungen der relativen Luftfeuchte. Diese Schwankungen können einen signifikanten Einfluss auf das schließlich am Ende der Probenahme in der ersten Gaswaschflaschen-Probe gesammelte Wasservolumen haben [11], [12].

7.2 Probensammlung und -transport

Gesammelte Gaswaschflaschen-Proben werden vom Probenahmesystem abgeschlossen und so schnell wie möglich hermetisch verschlossen. Alternativ kann das Volumen der Gaswaschflaschen-Proben in-situ bestimmt und in einem speziellen Behälter aufbewahrt werden. In diesem Fall muss der Behälter so schnell wie möglich hermetisch verschlossen und eindeutig gekennzeichnet werden. Zusätzlich wird empfohlen, den Behälter vollständig zu füllen, damit kein Luftspalt oberhalb der Flüssigkeit verbleibt, sodass der Austausch des Tritiums mit der Luftfeuchtigkeit minimiert wird.

Die Proben und die diesen zugeordneten Informationen werden in das Prüflabor gebracht (siehe [Anhang D](#)). Transport und Konservierung müssen entsprechend den Empfehlungen des Prüflabors erfolgen (siehe [Anhang C](#)).

7.3 Erhalt

Die Gaswaschflaschen-Proben müssen nach der Probenahme so schnell wie möglich in das Prüflabor geliefert werden. Das Labor muss die Vollständigkeit der erhaltenen Proben überprüfen, wie z. B. die Anzahl der Proben, ihre Unversehrtheit, Kennzeichnung oder andere nützliche Informationen.

Das Labor sollte arbeitsspezifische Proben berücksichtigen und ein Verfahren zur Vermeidung von Kreuzkontamination durch Handhabung oder Vorbereitung der Probe verwenden.

7.4 Konservierung

Die Analysen der Proben müssen so bald wie möglich nach Erhalt durchgeführt werden.

Mit der gegebenen Art der Proben (gefilterte Luft und Probenmedium ohne enthaltene biologische Aktivitäten) ist es möglich, diese bei Raumtemperatur des Labors zu lagern (d. h. ohne Kühlung und ohne Schutz vor der Beleuchtung des Labors) ohne dass in den versiegelten Gaswaschflaschen-Proben oder hermetisch verschlossenen Behältern über bis zu zwei Monate eine Abnahme der Tritium-Aktivitätskonzentration auftritt (siehe [Anhang C](#)).

7.5 Messung der Tritium-Aktivitätskonzentration

Das Prüflabor muss Prüfmengen der Gaswaschflaschen-Proben mittels Flüssigszintillation nach ISO 9698 oder ISO 13168 zählen.

Das Volumen der Gaswaschflaschen-Proben muss durch einen kalibrierten Messzylinder nach ISO 4788 oder durch Wägen bestimmt werden. In diesem Fall ist es erlaubt, 1 l Einfanglösung genau gleich 1 kg zu setzen.

8 Angabe der Ergebnisse

8.1 Allgemeines

Nur c_{A1} und c_{A3} werden für die Bestimmung der Tritiumaktivität in der Atmosphäre in Becquerel je Normal-Kubikmeter verwendet. Die Tritium-Aktivitätskonzentration der Gaswaschflaschen-Proben B2 und B4 können für die Überprüfung der Qualität der Sammlung verwendet werden.

Bei der Quantifizierung der Unsicherheit der Probenahme müssen Einfang- und Oxidationseffizienz mit den diesen zugeordneten Unsicherheiten berücksichtigt werden. Tabelle B1 in [Anhang B](#) gibt typische Werte für Einfang- und Oxidationseffizienz bei den üblichen Einsatzbedingungen.

Die Tritium-Aktivitätskonzentrationen der Gaswaschflaschen-Proben B1, B2, B3 und B4, d. h. die aufgezeichneten c_{A1} , c_{A2} , c_{A3} und c_{A4} , das am Ende der Probenahme gesammelte Volumen, d. h. die aufgezeichneten v_1 , v_2 , v_3 und v_4 , die Erkennungsgrenzen für Tritium, d. h. die aufgezeichneten c_{A1}^* , c_{A2}^* , c_{A3}^* und c_{A4}^* , und die Nachweisgrenzen für Tritium, d. h. die aufgezeichneten $c_{A1}^\#$, $c_{A2}^\#$, $c_{A3}^\#$ und $c_{A4}^\#$, werden nach ISO 9698 oder ISO 13168 berechnet.

Zur Berechnung der charakteristischen Grenzen der Nachweisgrenze und der Erkennungsgrenze werden oft $\alpha = \beta = 0,05$ und $k_{1-\alpha} = k_{1-\beta} = k = 1,65$ gewählt.

Andere verwendete Formelzeichen sind in [Abschnitt 3](#) definiert.

Üblicherweise sind die Werte der Tritium-Aktivitätskonzentrationen c_{A2} und c_{A4} niedriger als die Werte der Tritium-Aktivitätskonzentrationen c_{A1} bzw. c_{A3} oder kleiner oder gleich dem Niveau der Erkennungsgrenze. Anderenfalls besteht ein Verdacht, dass ein Fehler bei der Probenahme, eine fehlerhafte Kennzeichnung der Gaswaschflaschen-Proben, ein nicht versiegelter Deckel, der den Austausch mit der atmosphärischen Luft erhöhte, oder eine weitere Auffächerung der Prüfproben vorliegt.

8.2 Berechnungen des tritiierten Wasserdampfs

8.2.1 Aktivitätskonzentration des tritiierten Wasserdampfs

Die Aktivitätskonzentration C_v des tritiierten Wasserdampfs wird mit Gleichung (1) berechnet:

$$C_v = c_{A1} \cdot \frac{v_1}{V \cdot \varepsilon_{B1}} \quad (1)$$

Die kombinierte relative Unsicherheit wird mit Gleichung (2) berechnet:

$$u_{\text{rel}}(C_v) = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(c_{A1}) + u_{\text{rel}}^2(v_1) + u_{\text{rel}}^2(V) + u_{\text{rel}}^2(\varepsilon_{B1})} \quad (2)$$

ANMERKUNG Ein Verfahren zur Bestimmung der Einfangeffizienz ε_{B1} ist in [Anhang B](#) angegeben.

Für eine Probenahmedauer von 168 h und einen Durchfluss von 30 Normal-Litern je Stunde können die folgenden Werte für die Einfangeffizienz der Gaswaschflaschen-Probe B1 und der diesen zugeordneten Standardunsicherheit standardmäßig verwendet werden: $\varepsilon_{B1} = 0,856$ und $u_{\text{rel}}(\varepsilon_{B1}) = 0,078$ (siehe [Anhang B, Tabelle B.1](#)).

8.2.2 Erkennungsgrenze für tritiierten Wasserdampf

Die Erkennungsgrenze für den tritiierten Wasserdampf wird mit Gleichung (3) berechnet:

$$C_v^* = c_{A1}^* \cdot \frac{v_1}{V \cdot \varepsilon_{B1}} \quad (3)$$

8.2.3 Nachweisgrenze für tritiierten Wasserdampf

Die Nachweisgrenze für den tritiierten Wasserdampf wird mit Gleichung (4-1) berechnet:

$$C_v^{\#} = \frac{2 \cdot C_v^* + k^2 \cdot \frac{w_1}{t} \cdot \frac{v_1}{V \cdot \varepsilon_{B1}}}{1 - k^2 \cdot \left(u_{\text{rel}}^2(w_1) + u_{\text{rel}}^2(v_1) + u_{\text{rel}}^2(V) + u_{\text{rel}}^2(\varepsilon_{B1}) \right)} \quad (4-1)$$

Dieser Ausdruck für die Nachweisgrenze für HTO kann auch mit Gleichung (4-2) berechnet werden:

$$C_v^{\#} = \frac{1 - k^2 \cdot u_{\text{rel}}^2(w_1)}{1 - k^2 \cdot \left(u_{\text{rel}}^2(w_1) + u_{\text{rel}}^2(v_1) + u_{\text{rel}}^2(V) + u_{\text{rel}}^2(\varepsilon_{B1}) \right)} \cdot \frac{c_{A1}^{\#}}{c_{A1}^*} \cdot C_v^* \quad (4-2)$$

Dabei ist

w_1 der Korrektionsfaktor für die Tritium-Aktivitätskonzentration der Prüfprobe aus der Gaswaschflaschen-Probe B1.

Für die Berechnung der Nachweisgrenze für HTO nach Gleichung (4-1) müssen der Korrektionsfaktor w_1 , seine relative Unsicherheit $u_{\text{rel}}^2(w_1)$ und die Zähldauer t vom Prüflabor angegeben werden.

Für die Berechnung der Nachweisgrenze für HTO nach Gleichung (4-2) müssen die relative Unsicherheit $u_{\text{rel}}^2(w_1)$, die Erkennungsgrenze c_{A1}^* und die Nachweisgrenze $c_{A1}^{\#}$ vom Prüflabor angegeben werden.

8.2.4 Grenzen des Vertrauensbereichs für tritiierten Wasserdampf

Die untere Grenze C_v^{Δ} und die obere Grenze C_v^{∇} des Vertrauensbereichs werden mit den Gleichungen (5) und (6) berechnet (siehe ISO 11929-3):

$$C_v^{\Delta} = C_v \cdot \left(1 - k_p \cdot u_{\text{rel}}(C_v) \right); p = \omega \cdot \left(1 - \frac{\gamma}{2} \right) \quad (5)$$

$$C_v^{\nabla} = C_v \cdot \left(1 + k_q \cdot u_{\text{rel}}(C_v) \right); q = 1 - \omega \cdot \frac{\gamma}{2} \quad (6)$$

Dabei ist

$\omega = \phi \cdot \left(\frac{C_v}{u(C_v)} \right)$, wobei ϕ die Verteilungsfunktion der standardisierten Normalverteilung ist.

$1-\gamma$ die Wahrscheinlichkeit für den Vertrauensbereich der Messgröße, wobei $\omega = 1$ gesetzt werden darf, wenn $C_v \geq 4 \cdot u(C_v)$. In diesem Fall ist:

$$C_v^{\Delta}, C_v^{\nabla} = C_v \cdot \left(1 \pm k_{1-\frac{\gamma}{2}} \cdot u_{\text{rel}}(C_v) \right) \quad (7)$$

$\gamma = 0,05$ und $k_{1-\frac{\gamma}{2}} = 1,96$ werden oft standardmäßig gewählt.

8.2.5 Einsatzbedingungen

Die Bedingungen für die Berechnung der HTO-Aktivitätskonzentration in der Atmosphäre sind für vier mögliche Fälle in [Tabelle 1](#) angegeben.

Ein Beispiel für die Berechnung der HTO-Aktivitätskonzentration für ein anfängliches Wasservolumen von 0,160 l und einen Durchfluss von 30 Normal-Litern je Stunde über eine Woche ist in [Anhang E](#) angegeben.

Tabelle 1 – Vier Fälle möglicher Ergebnisse für die Gaswaschflaschen-Proben B1 und B2

Fall	B1	B2	Berechnung von C_v
1	$c_{A1} \pm u(c_{A1})$	$c_{A2} \pm u(c_{A2})$	C_v berechnet nach Gleichung (1)
2	$c_{A1} \pm u(c_{A1})$	$\leq c_{A2}^*$	$u_{\text{rel}}(C_v)$ berechnet nach Gleichung (2)
3	$\leq c_{A1}^*$	$\leq c_{A2}^*$	C_v^* berechnet nach Gleichung (3)
4	$\leq c_{A1}^*$	$c_{A2} \pm u(c_{A2})$	Das Messergebnis muss bestätigt werden, da $c_{A2} \leq c_{A1}^*$

Wenn Fall 4 bestätigt wird und die relative erweiterte Unsicherheit $U_{\text{rel}}(c_{A2})$ größer oder gleich 60 % ist (Erweiterungsfaktor $k = 2$), wird Fall 3 für die Berechnung der HTO-Aktivitätskonzentration in der Atmosphäre angenommen. Anderenfalls sind weitere Untersuchungen erforderlich, um die möglichen Ursachen dieser Anomalie zu bestimmen, wie z. B. fehlerhafte Kennzeichnung von Gaswaschflaschen-Proben, ein nicht versiegelter Deckel, der den Austausch mit der atmosphärischen Luft erhöhte, oder eine weitere Aufächerung der Prüfproben vorliegt.

8.3 Berechnung der gasförmigen Tritium-Bestandteile

Üblicherweise kann gasförmiges Tritium außerhalb von Bereichen in der Nähe von Tritium erzeugenden oder verwendenden Anlagen nicht mit signifikanten Ergebnissen gemessen werden. Wenn jedoch gasförmige Tritium-Bestandteile in Gegenwart eines signifikanten HTO-Niveaus gemessen werden, muss ein Teil des HTO vom primären Ergebnis der Messung der Aktivitätskonzentration in Gaswaschflaschen-Probe B3 abgezogen werden. Entsprechende Größen werden als $C_{g(c_{A2} \leq c_{A2}^*)}$ aufgezeichnet, wenn HTO nicht signifikant ist, anderenfalls als $C_{g(c_{A2} > c_{A2}^*)}$.

8.3.1 Gasförmige Tritium-Bestandteile ohne signifikantem HTO-Niveau

8.3.1.1 Aktivitätskonzentration

Die Aktivitätskonzentration $C_{g(c_{A2} \leq c_{A2}^*)}$ der gasförmigen Tritium-Bestandteile wird mit Gleichung (8) berechnet:

$$C_{g(c_{A2} \leq c_{A2}^*)} = c_{A2} \cdot \frac{v_3}{V \cdot \varepsilon_B \cdot \varepsilon_F} \quad (8)$$

Die kombinierte relative Unsicherheit wird mit Gleichung (9) berechnet:

$$u_{\text{rel}} C_{g(c_{A2} \leq c_{A2}^*)} = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(c_{A3}) + u_{\text{rel}}^2(v_3) + u_{\text{rel}}^2(V) + u_{\text{rel}}^2(\varepsilon_B) + u_{\text{rel}}^2(\varepsilon_F)} \quad (9)$$

Für eine Probenahmedauer von 168 h und einen Durchfluss von 30 Normal-Litern je Stunde können die folgenden Werte für die Einfangeffizienz der Gaswaschflaschen-Probe B3 und der diesen zugeordneten Standardunsicherheit standardmäßig verwendet werden: ($\varepsilon_B = 0,856$; $u_{\text{rel}}(\varepsilon_B) = 0,078$); ($\varepsilon_F = 0,999$; $u_{\text{rel}}(\varepsilon_F) = 0,033$) (siehe [Anhang B, Tabelle B.1](#)).

8.3.1.2 Erkennungsgrenze

Die Erkennungsgrenze $C_{g(c_{A2} \leq c_{A2}^*)}^*$ für die gasförmigen Tritium-Bestandteile wird mit Gleichung (10) berechnet:

$$C_{g(c_{A2} \leq c_{A2}^*)}^* = c_{A3}^* \cdot \frac{v_3}{V \cdot \varepsilon_B \cdot \varepsilon_F} \quad (10)$$

8.3.1.3 Nachweisgrenze

Die Nachweisgrenze $C_{g(c_{A2} \leq c_{A2}^*)}^\#$ für die gasförmigen Tritium-Bestandteile wird mit Gleichung (11-1) berechnet:

$$C_{g(c_{A2} \leq c_{A2}^*)}^\# = \frac{2 \cdot C_g^*(c_{A2} \leq c_{A2}^*) + k^2 \cdot \frac{w_3}{l} \cdot \frac{v_3}{V \cdot \varepsilon_B \cdot \varepsilon_F}}{1 - k^2 \cdot (u_{\text{rel}}^2(w_3) + u_{\text{rel}}^2(v_3) + u_{\text{rel}}^2(V) + u_{\text{rel}}^2(\varepsilon_B) + u_{\text{rel}}^2(\varepsilon_F))} \quad (11-1)$$

Die Nachweisgrenze für die gasförmigen Tritium-Bestandteile kann auch mit Gleichung (11-2) berechnet werden:

$$C_{g(c_{A2} \leq c_{A2}^*)}^\# = \frac{1 - k^2 \cdot u_{\text{rel}}^2(w_3)}{1 - k^2 \cdot (u_{\text{rel}}^2(w_3) + u_{\text{rel}}^2(v_3) + u_{\text{rel}}^2(V) + u_{\text{rel}}^2(\varepsilon_B))} \cdot \frac{c_{A3}^\#}{c_{A3}^*} \cdot C_{g(c_{A2} \leq c_{A2}^*)}^* \quad (11-2)$$

Dabei ist

w_3 der Korrektionsfaktor für die Tritium-Aktivitätskonzentration der Prüfprobe aus der Gaswaschflaschen-Probe B3.

Für die Berechnung der Nachweisgrenze für die gasförmigen Tritium-Bestandteile ohne signifikantem HTO-Niveau in der Gaswaschflaschen-Probe 2 nach Gleichung (11-1) müssen der Korrektionsfaktor w_3 , seine relative Unsicherheit $u_{\text{rel}}^2(w_3)$ und die Zähldauer t vom Prüflabor angegeben werden.

Für die Berechnung der Nachweisgrenze für die gasförmigen Tritium-Bestandteile ohne signifikantem HTO-Niveau in der Gaswaschflaschen-Probe 2 nach Gleichung (11-2) müssen die relative Unsicherheit $u_{\text{rel}}^2(w_3)$, die Erkennungsgrenze c_{A3}^* und die Nachweisgrenze $c_{A3}^\#$ vom Prüflabor angegeben werden.

8.3.2 Gasförmige Tritium-Bestandteile mit signifikantem HTO-Niveau

8.3.2.1 Aktivitätskonzentration

Die Aktivitätskonzentration $C_{g(c_{A2} > c_{A2}^*)}$ der gasförmigen Tritium-Bestandteile wird mit Gleichung (12) berechnet:

$$C_{g(c_{A2} > c_{A2}^*)} = \frac{A_3 - (1 - \varepsilon_B) \cdot A_2}{V \cdot \varepsilon_B \cdot \varepsilon_F} \quad (12)$$

Die kombinierte relative Unsicherheit wird mit Gleichung (13) berechnet:

$$u_{\text{rel}} C_{g(c_{A2} > c_{A2}^*)} = \sqrt{\frac{A_3^2 \cdot u_{\text{rel}}^2(A_3) + ((1 - \varepsilon_B) \cdot A_2)^2 \cdot u_{\text{rel}}^2(A_2) + (A_2 - A_3)^2 \cdot u_{\text{rel}}^2(\varepsilon_B)}{C_{g(c_{A2} > c_{A2}^*)}^2 \cdot V \cdot \varepsilon_B \cdot \varepsilon_F} + u_{\text{rel}}^2} \quad (13)$$

Dabei ist

$$u_{\text{rel}}^2 = u_{\text{rel}}^2(\varepsilon_F) + u_{\text{rel}}^2(V) \quad (14)$$

$$A_2 = c_{A2} \cdot v_2 \quad (15)$$

$$A_3 = c_{A3} \cdot v_3 \quad (16)$$

$$u_{\text{rel}}^2(A_2) = u_{\text{rel}}^2(c_{A2}) + u_{\text{rel}}^2(v_2) \quad (17)$$

$$u_{\text{rel}}^2(A_3) = u_{\text{rel}}^2(c_{A3}) + u_{\text{rel}}^2(v_3) \quad (18)$$

$$C_{g(c_{A2} > c_{A2}^*)} \cdot V \cdot \varepsilon_B \cdot \varepsilon_F = c_{A3} \cdot v_3 - (1 - \varepsilon_B) \cdot c_{A2} \cdot v_2 \quad (19)$$

Für eine Probenahmedauer von 168 h und einen Durchfluss von 30 Normal-Litern je Stunde können die folgenden Werte für die Einfangeffizienz der Gaswaschflaschen-Probe B3, für die Oxidationseffizienz des katalytischen Ofens und der diesen zugeordneten Standardunsicherheiten standardmäßig verwendet werden: ($\varepsilon_B = 0,856$; $u_{\text{rel}}(\varepsilon_B) = 0,078$); ($\varepsilon_F = 0,999$; $u_{\text{rel}}(\varepsilon_F) = 0,033$) (siehe [Anhang B](#), [Tabelle B.1](#)).

8.3.2.2 Erkennungsgrenze

Die Erkennungsgrenze $C_{g(c_{A2} > c_{A2}^*)}^*$ für die gasförmigen Tritium-Bestandteile wird mit den Gleichungen (20) und (21) berechnet:

$$C_{g(c_{A2} > c_{A2}^*)}^* = \sqrt{k^2 \cdot D + C_{g(c_{A2} \leq c_{A2}^*)}^{*2}} \quad (20)$$

Dabei ist

$$D = \frac{A_2^2}{V^2 \cdot \varepsilon_F^2} \cdot \left\{ \frac{(1 - \varepsilon_B)^2}{\varepsilon_B^2} \cdot \left(u_{\text{rel}}^2(c_{A2}) + u_{\text{rel}}^2(v_2) + u_{\text{rel}}^2(v_3) + u_{\text{rel}}^2(w_3) \right) + u_{\text{rel}}^2(\varepsilon_B) \right\} + \left\{ \frac{v_3 \cdot A_2 \cdot (1 - \varepsilon_B) \cdot c_{A3}^{\#} \cdot (1 - k^2 \cdot u_{\text{rel}}^2(w_3)) - 2 \cdot c_{A3}^*}{V^2 \cdot \varepsilon_B^2 \cdot \varepsilon_F^2 \cdot k^2} \right\} \quad (21)$$

Dabei ist

$C_{g(c_{A2} > c_{A2}^*)}^*$ mit Gleichung (10) berechnet;

A_2 mit Gleichung (15) berechnet.

Für die Berechnung der Erkennungsgrenze für die gasförmigen Tritium-Bestandteile mit signifikantem HTO-Niveau in der Gaswaschflaschen-Probe 2 nach den Gleichungen (20) und (21) müssen die aus den Daten für die Gaswaschflaschen-Probe B3 berechneten relative Unsicherheit $u_{\text{rel}}^2(w_3)$, Erkennungsgrenze c_{A3}^* und Nachweisgrenze $c_{A3}^{\#}$ vom Prüflabor angegeben werden.

8.3.2.3 Nachweisgrenze

Die Nachweisgrenze $C_{g(c_{A2} > c_{A2}^*)}^{\#}$ für die gasförmigen Tritium-Bestandteile wird mit Gleichung (22) berechnet:

$$C_{g(c_{A2} > c_{A2}^*)}^{\#} = C_{g(c_{A2} \leq c_{A2}^*)}^{\#} + 2 \cdot \frac{C_{g(c_{A2} > c_{A2}^*)}^* - C_{g(c_{A2} \leq c_{A2}^*)}^* - k^2 \cdot \frac{A_2}{V \cdot \varepsilon_F} \cdot \left(u_{\text{rel}}^2(\varepsilon_B) - \frac{1 - \varepsilon_B}{\varepsilon_B} u_{\text{rel}}^2(w_3) + u_{\text{rel}}^2(v_3) \right)}{1 - k^2 \cdot \left(u_{\text{rel}}^2(w_3) + u_{\text{rel}}^2(v_3) + u_{\text{rel}}^2(V) + u_{\text{rel}}^2(\varepsilon_B) \right)} \quad (22)$$

Dabei ist

$C_{g(c_{A2} \leq c_{A2}^*)}^*$ mit Gleichung (10) berechnet;

$C_{g(c_{A2} \leq c_{A2}^*)}^{\#}$ mit Gleichung (11) berechnet;

A_2 mit Gleichung (15) berechnet und

$C_{g(c_{A2} > c_{A2}^*)}^*$ mit Gleichung (20) berechnet.

Für die Berechnung der Nachweisgrenze für die gasförmigen Tritium-Bestandteile mit signifikantem HTO-Niveau in der Gaswaschflaschen-Probe 2 nach Gleichung (22) muss die relative Unsicherheit $u_{\text{rel}}^2(w_3)$ vom Prüflabor angegeben werden.

8.3.3 Grenzen des Vertrauensbereichs für gasförmige Tritium-Bestandteile

Die untere Grenze C_g^{Δ} und die obere Grenze C_g^{∇} des Vertrauensbereichs werden mit den Gleichungen (23) und (24) berechnet (siehe ISO 11929-3):

$$C_g^{\Delta} = C_g \cdot \left(1 - k_p \cdot u_{\text{rel}}(C_g)\right); \quad p = \omega \cdot \left(1 - \frac{\gamma}{2}\right) \quad (23)$$

$$C_g^{\nabla} = C_g \cdot \left(1 + k_q \cdot u_{\text{rel}}(C_g)\right); \quad q = 1 - \omega \cdot \frac{\gamma}{2} \quad (24)$$

Dabei ist

$\omega = \phi \cdot \left(\frac{C_g}{u(C_g)} \right)$, wobei ϕ die Verteilungsfunktion der standardisierten Normalverteilung ist.

$1 - \gamma$ die Wahrscheinlichkeit für den Vertrauensbereich der Messgröße, wobei $\omega = 1$ gesetzt werden darf, wenn $C_g \geq 4 \cdot u(C_g)$. In diesem Fall ist:

$$C_g^{\Delta}, C_g^{\nabla} = C_g \cdot \left(1 \pm k_{1-\frac{\gamma}{2}} \cdot u_{\text{rel}}(C_g)\right) \quad (25)$$

$\gamma = 0,05$ und $k_{1-\frac{\gamma}{2}} = 1,96$ werden oft standardmäßig gewählt.

8.3.4 Einsatzbedingungen

Die Bedingungen für die Berechnung der Aktivitätskonzentration der gasförmigen Tritium-Bestandteile in der Atmosphäre sind für acht mögliche Fälle in Tabelle 2 angegeben.

Ein Beispiel für die Berechnung der Aktivitätskonzentration der gasförmigen Tritium-Bestandteile in der Atmosphäre für ein anfängliches Wasservolumen von 0,160 l und einen Durchfluss von 30 Normal-Litern je Stunde über eine Woche ist in Anhang E angegeben.

Tabelle 2 – Acht Fälle möglicher Ergebnisse für die Gaswaschflaschen-Proben B2, B3 und B4
(1 von 2)

Fall	B2	B3	B4	Berechnung von C_g
1	$\leq c_{A2}^*$	$c_{A3} \pm u(c_{A3})$	$c_{A4} \pm u(c_{A4})$	$C_{g(c_{A2} \leq c_{A2}^*)}$ berechnet nach Gleichung (8)
2	$\leq c_{A2}^*$	$c_{A3} \pm u(c_{A3})$	$\leq c_{A4}^*$	$u_{\text{rel}}(C_{g(c_{A2} \leq c_{A2}^*)})$ berechnet nach Gleichung (9)
3	$\leq c_{A2}^*$	$\leq c_{A3}^*$	$\leq c_{A4}^*$	$C_{g(c_{A2} \leq c_{A2}^*)}$ berechnet nach Gleichung (10)
4	$\leq c_{A2}^*$	$\leq c_{A3}^*$	$c_{A4} \pm u(c_{A4})$	Das Messergebnis muss bestätigt werden, da $c_{A4} \leq c_{A3}^*$
5	$c_{A2} \pm u(c_{A2})$	$\leq c_{A3}^*$	$c_{A4} \pm u(c_{A4})$	