

DIN EN ISO 12807

ICS 13.280; 27.120.30

**Kernbrennstofftechnologie –
Sicherer Transport von radioaktivem Material –
Dichtheitsprüfung der Verpackung (ISO 12807:2018);
Deutsche Fassung EN ISO 12807:2021**

Safe transport of radioactive materials –
Leakage testing on packages (ISO 12807:2018);
German version EN ISO 12807:2021

Sûreté des transports de matières radioactives –
Contrôle de l'étanchéité des colis (ISO 12807:2018);
Version allemande EN ISO 12807:2021

Gesamtumfang 102 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)

Nationales Vorwort

Der Text von ISO 12807:2018 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 85 „Nuclear energy, nuclear technologies, and radiological protection“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als EN ISO 12807:2021 durch das Technische Komitee CEN/TC 430 „Kernenergie, Kerntechnik und Strahlenschutz“ übernommen, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 062-07-41 AA „Sicherheit von Transportbehältern für radioaktive Stoffe“ im DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP).

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

Deutsche Fassung

**Kernbrennstofftechnologie —
Sicherer Transport von radioaktivem Material —
Dichtheitsprüfung der Verpackung (ISO 12807:2018)**

Safe transport of radioactive materials —
Leakage testing on packages (ISO 12807:2018)

Sûreté des transports de matières radioactives —
Contrôle de l'étanchéité des colis (ISO 12807:2018)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 18. Januar 2021 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC-Management-Zentrum oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	6
Vorwort	7
Einleitung	8
1 Anwendungsbereich	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	10
4 Symbole und Einheiten	13
5 Behördliche Anforderungen	16
5.1 Relevante Vorschriften	16
5.2 Behördliche Anforderungen an die Umschließung	16
6 Vorgehensweise zur Erfüllung der Anforderungen dieses Dokuments	16
6.1 Allgemeines	16
6.2 Qualitätsmanagementsystem	17
6.3 Vorgehensweise	17
6.3.1 Allgemeines	17
6.3.2 Bestimmung der zulässigen Aktivitätsfreisetzungsraten	18
6.3.3 Bestimmung der standardisierten Leckageraten	19
6.3.4 Bestimmung der zulässigen Prüfleckageraten für jedes Verifizierungsstadium	19
6.3.5 Auswahl der geeigneten Prüfverfahren	19
6.3.6 Durchführung der Prüfungen und Aufzeichnung der Ergebnisse	19
7 Bestimmung der zulässigen Aktivitätsfreisetzungsraten	19
7.1 Schritt 1: Erstellen einer Liste des radioaktiven Inhalts A_i	19
7.2 Schritt 2: Bestimmung der insgesamt freisetzbaren Aktivität R_I	19
7.3 Schritt 3: Bestimmung der maximal zulässigen Aktivitätsfreisetzungsraten R	20
8 Bestimmung der standardisierten Leckageraten	20
8.1 Allgemeines	20
8.2 Schritt 4: Bestimmen der Aktivitätsfreisetzungsrates durch Permeation RP	21
8.3 Schritt 5: Bestimmen der maximal zulässigen Aktivitätsfreisetzungsrates durch Lecks RG	21
8.4 Schritt 6: Bestimmen der Aktivitätskonzentration des Mediums im Umschließungssystem C	21
8.5 Schritt 7: Bestimmen der maximal zulässigen volumetrischen Leckagerates des Mediums L	22
8.6 Schritt 8: Bestimmen des maximal zulässigen äquivalenten Kapillarleckdurchmessers D	22
8.7 Schritt 9: Bestimmen der zulässigen standardisierten Leckagerates Q_{SLR}	22
9 Anforderungen an die Verifizierung des Umschließungssystems	23
9.1 Verifizierungsstadien des Umschließungssystems	23
9.1.1 Allgemeines	23
9.1.2 Designverifizierung	23
9.1.3 Verifizierung bei der Fertigung	24
9.1.4 Verifizierung vor Versand	24
9.1.5 Regelmäßige Verifizierung	24
9.1.6 Verifizierung bei Wartung	25
9.2 Anforderungen an die Verifizierung	25

9.2.1	Allgemeines	25
9.2.2	Schritt 10: Bestimmen der zulässigen Prüfleckagerate für jedes Verifizierungsstadium Q_{TDA} , Q_{TDN} , Q_{TF} , Q_{TS} , Q_{TP} und Q_{TM}	25
9.2.3	Schritt 11: Auswahl der geeigneten Prüfverfahren	25
10	Anforderungen an Dichtheitsprüfverfahren	26
10.1	Allgemeines	26
10.2	Schritt 12: Durchführen der Prüfung und Aufzeichnen der Ergebnisse	26
10.3	Prüfempfindlichkeit	26
10.4	Anforderungen an Prüfverfahren	26
10.4.1	Allgemeines	26
10.4.2	Prüfung	26
	Anhang A (informativ) Bevorzugte Dichtheitsprüfverfahren	27
A.1	Allgemeines	27
A.2	Kommentare und Vorsichtsmaßnahmen	27
A.2.1	Explosionsrisiken	27
A.2.2	Tracerstoffe	31
A.2.3	Leckageraten	31
A.2.4	Prüfling nicht benetzen	32
A.2.5	Partialdruck	32
A.2.6	Vakuumbedingungen	32
A.2.7	Durchführung der Leckageprüfung	32
A.3	Quantitative Verfahren	32
A.3.1	Druckabfallprüfung	32
A.3.2	Druckanstiegsprüfung	33
A.3.3	Vakuumverfahren (integral)	34
A.3.4	Überdruckverfahren	35
A.3.5	Drucklagerungsverfahren (Bombing)	36
A.4	Qualitative Verfahren	37
A.4.1	Blasenprüfverfahren	37
A.4.2	Blasenprüfung durch Auftragen von Flüssigkeit	39
A.4.3	Prüfgas (Schnüffelfverfahren)	40
A.4.4	Prüfgas (Sprühverfahren)	41
	Anhang B (informativ) Berechnungsverfahren	42
B.1	Allgemeines	42
B.2	Gasleckage	42
B.3	Korrelation zwischen Gas-Leckageraten unter verschiedenen Bedingungen	43
B.4	Gasgemisch	43
B.5	Korrelation auf Standardbedingungen	43
B.6	Flüssigkeitsleckage	44
B.7	Korrelation zwischen Flüssigkeitsleckageraten bei unterschiedlichen Bedingungen	44
B.8	Korrelation zwischen Gas- und Flüssigkeitsleckageraten	44
B.9	Aerosol-Leckage	44
B.10	Korrelation zwischen Gas- und Aerosol-Leckageraten	44
B.11	Vorsicht bei der Verwendung von Korrelationen	45
B.12	Oberflächenspannung	45
B.13	Permeation	45
B.14	Dichtheitsprüfung für Druckabfall und Druckanstieg	46
B.15	Korrektur für den Partialdruck des Prüfgases	46
B.16	Empfindlichkeit des Dichtheitsprüfverfahrens	46
	Anhang C (informativ) Umrechnungstabellen	47
	Anhang D (informativ) Arbeitsbeispiele	49
D.1	Allgemeines	49
D.2	Prüfleckageraten für Transportbehälter mit trockenem abgebranntem Brennstoff	50

D.2.1	Allgemeines	50
D.2.2	Schritt 1	50
D.2.3	Schritt 2	50
D.2.4	Schritt 3	50
D.2.5	Schritt 4 und Schritt 5	51
D.2.6	Schritt 6	51
D.2.7	Schritt 7	52
D.3	Prüfleckageraten für Transportbehälter mit nassem abgebranntem Brennstoff.....	52
D.3.1	Allgemeines	52
D.3.2	Schritt 1 und Schritt 6	52
D.3.3	Schritt 2	52
D.3.4	Schritt 3	53
D.3.5	Schritt 6	53
D.3.6	Schritt 7	53
D.3.7	Schritt 8	54
D.3.8	Schritt 9	54
D.3.9	Schritt 10.....	55
D.4	Druckanstiegsprüfung an einem Verschluss mit doppelten O-Ring-Dichtungen	55
D.4.1	Allgemeines	55
D.4.2	Schritt 11.....	55
D.5	Prüfung des Druckabfalls an einem Verschluss mit doppelten O-Ring-Dichtungen	57
D.5.1	Allgemeines	57
D.5.2	Prüfdaten	58
D.5.3	Prüfergebnisse.....	58
D.5.4	Bestimmung der Leckagerate	58
D.5.5	Bestimmung der standardisierten Leckagerate	58
D.5.6	Einfluss von Temperaturänderungen	59
D.6	Vergleich zwischen Druckanstiegs- und Druckabfallprüfung	59
D.7	Bestimmung eines unbekannten Prüfvolumens für die Druckanstiegs- oder Druckabfallprüfung	61
D.7.1	Allgemeines	61
D.7.2	Vorgehensweise	61
D.8	Gaspermeation	62
D.8.1	Allgemeines	62
D.8.2	Beispiel 1: Aktivitätsfreisetzung durch Permeation (Krypton)	63
D.8.3	Beispiel 2: Permeation des Prüfgases (Helium).....	65
D.9	Aerosol-Leckage.....	66
D.9.1	Fall 1	66
D.9.2	Fall 2	66
D.10	Korrelation zwischen Gas- und Flüssigkeitsleckageraten	67
D.10.1	Allgemeines	67
D.10.2	Schritt 1	67
D.10.3	Schritt 2	67
D.10.4	Schritt 3	67
D.10.5	Schritt 6	68
D.10.6	Schritt 7	68
D.10.7	Schritt 8	68
D.10.8	Schritt 9	69
D.10.9	Schritt 10.....	69
D.11	Korrelation zwischen Leckageraten verschiedener Gase	70
D.11.1	Allgemeines	70
D.11.2	Schritt 1	70
D.11.3	Schritt 2	70
D.11.4	Schritt 3	70
D.11.5	Schritt 4 und Schritt 5	70

D.11.6 Schritt 6	70
D.11.7 Schritt 7	70
D.11.8 Schritt 8	71
D.11.9 Schritt 9	71
D.11.10 Schritt 10	72
D.12 Empfindlichkeit der Blasenprüfung (Eintauchen)	73
D.13 Umschließung für tritiumhaltiges Wasser	75
D.13.1 Allgemeines	75
D.13.2 Schritt 1	75
D.13.3 Schritt 2	75
D.13.4 Schritt 3	75
D.13.5 Schritt 6	75
D.13.6 Schritt 7	75
D.13.7 Schritt 8	76
D.13.8 Schritt 9	76
D.13.9 Schritt 10	76
D.13.10 Schritt 11	77
D.13.11 Schritt 12	77
D.14 Umschließung von Flüssigkeiten mit doppelter Umschließung und Berücksichtigung der Radiolyse	78
D.14.1 Allgemeines	78
D.14.2 Umschließungssystem	78
D.14.3 Rückhaltevermögen von Flüssigkeitsbehältern	79
D.14.4 Bestimmung der Gasbildungsrate durch Radiolyse	80
D.14.5 Bestimmung des Drucks in der inneren dichten Umschließung	80
D.14.6 Bestimmung des Leckdurchmessers	81
D.14.7 Bestimmung der Gesamtleckagemenge einer Flüssigkeit in einem Jahr	81
D.14.8 Bestimmung der Menge absorbierenden Materials, die erforderlich ist, um den Austritt von Flüssigkeiten aus dem Innenbehälter zu verhindern	82
D.15 Umschließung von Transportbehältern mit trockenem abgebranntem Brennstoff mit dem subatmosphärischen Druckverfahren	82
D.15.1 Allgemeines	82
D.15.2 Berechnungsdaten	83
D.15.3 Bewertung des Partialdrucks des Gasgemischs nach einem Brennstabversagen	83
D.15.4 Bewertung des internen Druckanstiegs im Transportbehälter in einem Jahr auf Grund interner Leckage	84
D.15.5 Bewertung des gesamten Innendruckanstiegs im Transportbehälter in 1 Jahr	84
Anhang E (informativ) Begründung	85
E.1 Allgemeines	85
Literaturhinweise	100

Europäisches Vorwort

Der Text von ISO 12807:2018 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 85 „Nuclear energy, nuclear technologies, and radiological protection“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und vom Technischen Komitee CEN/TC 430 „Kernenergie, Kerntechnik und Strahlenschutz“ als EN ISO 12807:2021 übernommen, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis August 2021, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis August 2021 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die Republik Nordmazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 12807:2018 wurde von CEN als EN ISO 12807:2021 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

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

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

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

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

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

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 85, *Nuclear energy, nuclear technologies, and radiological protection*, Unterkomitee SC 5, *Nuclear installations, processes and technologies* erarbeitet.

Diese zweite Ausgabe ersetzt die erste Ausgabe (ISO 12807:1996), die technisch überarbeitet wurde.

In diesem Dokument drückt das Wort „muss“ eine Anforderung aus, das Wort „sollte“ drückt eine Empfehlung aus, und das Wort „darf“ eine Erlaubnis, also weder eine Anforderung noch eine Empfehlung. Imperative Aussagen drücken ebenfalls Anforderungen aus. Um dieses Dokument zu erfüllen, müssen alle Abläufe in Übereinstimmung mit seinen Anforderungen, aber nicht zwingend mit seinen Empfehlungen ausgeführt werden.

Die Wörter „kann“, „könnte“ und „dürfte“ drücken Möglichkeiten, weniger eine Erlaubnis aus.

Das Wort „wird“ drückt aus, dass ein Ereignis sicher eintreten wird, ist jedoch keine Anforderung.

Einleitung

Das Dokument der International Atomic Energy Agency (IAEA) *Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material* legt die zulässige Freisetzung von Radioaktivität unter normalen Transportbedingungen sowie bei Unfällen während des Transports in Aktivität pro Zeiteinheit für Versandstücke des Typs B(U), des Typs B(M) und des Typs C für den Transport radioaktiven Materials fest. Im Allgemeinen ist es nicht praktikabel, die freigesetzte Aktivität direkt zu messen. Das übliche Verfahren besteht darin, die Aktivitätsfreisetzung in Bezug zu nicht radioaktivem Flüssigkeitsaustritt zu setzen, für den mehrere Dichtheitsprüfverfahren zur Verfügung stehen. Das geeignete Verfahren hängt jeweils von seiner Empfindlichkeit und seiner Anwendung für eine bestimmte Verpackung ab.

Die Vorschriften legen die zulässige Aktivitätsfreisetzung unter normalen Transportbedingungen und bei Unfällen während des Transports fest. Die Freisetzungsgrenzen der Aktivität können in maximal zulässigen Aktivitätsfreisetzungsraten für das radioaktive Material, das in einem Umschließungssystem befördert wird, angegeben werden.

Im Allgemeinen ist es nicht machbar, durch direkte Messung der freigesetzten Aktivität nachzuweisen, dass die Aktivitätsfreisetzungsgrenzen nicht überschritten werden. In der Praxis besteht das gängigste Verfahren für den Nachweis, dass ein Umschließungssystem eine angemessene Umschließung sicherstellt, in der Durchführung einer Prüfung der äquivalenten Gasleckagerate.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Prüfkriterien und Prüfverfahren für die Messung der Gasleckage fest, um nachzuweisen, dass Versandstücke für den Transport radioaktiven Materials die Anforderungen an sichere Verpackungen im Dokument *Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material* der International Atomic Energy Agency (IAEA) erfüllen, für die

- Designverifizierung,
- Verifizierung bei der Fertigung,
- Verifizierung vor Versand,
- regelmäßige Verifizierung, und
- Verifizierung bei Wartung.

Dieses Dokument beschreibt ein Verfahren, mit der die zulässige Aktivitätsfreisetzung radioaktiven Inhalts in einem Umschließungssystem unter vorgegebenen Prüfbedingungen zu äquivalenten Gasleckageraten in Bezug gesetzt werden kann. Dieser Ansatz wird als die Gasleckage-Prüfmethodik bezeichnet. Jedoch wird in diesem Dokument anerkannt, dass auch andere Verfahren zulässig sein könnten, sofern mit ihnen nachgewiesen werden kann, dass eine Freisetzung des radioaktiven Inhalts die behördlichen Anforderungen nicht übersteigt und diese mit der zuständigen Behörde abgestimmt werden.

Dieses Dokument stellt sowohl eine allgemeine als auch eine detaillierte Anleitung zu den komplexen Beziehungen zwischen einer Prüfung der äquivalenten Gasleckage und einer zulässigen Aktivitätsfreisetzungsbereit. Während die allgemeine Anleitung allgemein anerkannt ist, muss die Anwendung der detaillierten Anleitung mit der zuständigen Behörde während der Zertifizierung von Versandstücken Typ B(U), Typ B(M) oder Typ C vereinbart werden.

Es wird darauf hingewiesen, dass der Nachweis der Erfüllung der Anforderung nicht auf eine einzelne Methodik beschränkt ist.

Dieses Dokument verlangt keine bestimmten Prüfverfahren für Gasleckagen, legt jedoch Mindestanforderungen für jede Prüfung fest, die angewandt wird. Der Konstrukteur oder Lieferant des Versandstücks ist für die Abschätzung oder Bestimmung der maximal zulässigen Freisetzungsbereit von Radioaktivität in die Umgebung und für die Wahl der geeigneten Leckage-Prüfverfahren, die eine angemessene Empfindlichkeit aufweisen, verantwortlich.

Dieses Dokument bezieht sich gezielt auf Versandstücke Typ B(U), Typ B(M) oder Typ C, für die die behördlich festgesetzten Anforderungen an eine dichte Umschließung explizit festgelegt sind.

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).

International Atomic Energy Agency (IAEA), *Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach International Atomic Energy Agency (IAEA), *Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material* und die folgenden Begriffe.

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

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

3.1
Aktivitätsfreisetzungsrates
Verlust radioaktiven Inhalts pro Zeiteinheit durch Lecks oder durchlässige Wände eines Umschließungssystems

3.2
Blockierungsmechanismus
Mechanismus der Blockierung von möglichen Leckagepfaden durch flüssige oder feste Medien, so dass radioaktive Stoffe in der Umschließung zurückgehalten werden können

3.3
zuständige Behörde
jede nationale oder internationale Behörde, die als solche für einen beliebigen Zweck im Zusammenhang den *Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material* der International Atomic Energy Agency (IAEA) oder anderen anwendbaren Vorschriften eingesetzt oder anerkannt ist

3.4
Umschließungssystem
Gesamtheit der Komponenten eines Versandstückes, die das radioaktive Material während des Transportes dicht einschließen

3.5
Gasleckage-Prüfmethodik
Verfahren für die Festlegung einer Gasdichtheitsprüfung, die die zulässigen Aktivitätsfreisetzungsraten des radioaktiven Inhalts in einem Umschließungssystem zu äquivalenten Gasleckageraten unter bestimmten Prüfbedingungen in Bezug setzt

3.6
Leck
jede ungewollte Öffnung oder Öffnungen in einem Umschließungssystem, durch die Inhalt entweichen könnte

3.7
Leckage
Austritt eines Materials aus dem Umschließungssystem in die Umwelt durch ein oder mehrere Undichtheiten

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe auch *Permeation* (3.14).

3.8

Leckagerate

Menge Feststoffpartikel, von Flüssigkeiten oder von Gasen, die durch Lecks strömt, pro Zeiteinheit

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Begriffe Leckagerate kann sich auf das radioaktive Material (gasförmig, flüssig, fest oder jedes Gemisch daraus) oder auf das Prüffluid beziehen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Leckagerate fester Stoffe wird in Masse geteilt durch die Zeit angegeben. Die Leckagerate flüssiger Stoffe kann in Masse geteilt durch die Zeit oder in Volumen geteilt durch die Zeit angegeben werden. Die Leckagerate von Gasen wird durch das Produkt aus Druck und Volumen (das ist eine masseähnliche Einheit) geteilt durch die Zeit bei einer bekannten Temperatur angegeben.

3.9

dicht

allgemeiner Begriff, der angibt, dass ein Umschließungssystem den verlangten Dichtheitsgrad für einen bestimmten Inhalt erfüllt

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Anhang E, Abschnitt 8.

3.10

Medium

jedes Fluid, das selbst radioaktiv sein könnte oder nicht, und das radioaktives Material durch ein oder mehrere Lecks mitführen könnte

3.11

molekulare Strömung

Strömung von Gas durch ein Leck unter derartigen Bedingungen, dass die mittlere freie Weglänge größer als die größte Abmessung eines Querschnitts des Lecks ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Die molekulare Strömungsrate hängt vom Partialdruckgradienten ab.

3.12

Versandstück

Verpackung zusammen mit ihrem radioaktiven Inhalt, die zum Transport bereitgestellt wird

3.13

Verpackung

Anordnung von Komponenten, die für die vollständige Umhüllung des radioaktiven Inhalts erforderlich ist

3.14

Permeation

Durchgang eines Fluids durch eine feste durchlässige Barriere (auch wenn dort keine Undichtheiten vorhanden sind) durch einen Adsorptions-Diffusions-Desorptionsmechanismus

Anmerkung 1 zum Begriff: Permeation sollte nicht als eine Freisetzung von Aktivität betrachtet werden, solange das Fluid selbst nicht radioaktiv ist. In diesem Dokument wird Permeation nur für Gase angewandt.

3.15

Permeationsrate

Gasmenge, die pro Zeiteinheit durch eine durchlässige Wand dringt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Permeationsrate hängt vom Partialdruckgradienten ab.

3.16

qualitativ

bezieht sich auf Dichtheitsprüfverfahren, die das Vorhandensein eines Lecks erkennen, jedoch nicht die Leckagerate oder die Gesamtleckagemenge messen

3.17

quantitativ

Dichtheitsprüfverfahren, die die Gesamtleckagerate(n) eines Umschließungssystems oder von Teilen davon messen

3.18 Empfindlichkeit

3.18.1

Empfindlichkeit eines Leckdetektors

kleinste nutzbare Reaktion des Detektors auf das Austreten eines Prüffluids, das heißt, die Leckagerate, die eine wiederholbare Veränderung der Detektoranzeige erzeugt

3.18.2

Empfindlichkeit eines Dichtheitsprüfverfahrens

kleinste nachweisbare Leckagerate, die mit dem Prüfverfahren erkannt werden kann

3.19

standardisierte Leckagerate

SLR

unter bekannten Bedingungen bewertete Leckagerate, normalisiert zur Strömung trockener Luft unter Referenzbedingungen bei einem Druck vor dem Leck von $1,013 \times 10^5$ Pa, einem Druck nach dem Leck von 0,0 Pa und einer Temperatur von 298 K (25 °C)

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheiten für die standardisierte Leckagerate werden angegeben in $\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ SLR.

3.20

standardisierte Helium-Leckagerate

SHeLR

unter bekannten Bedingungen bewertete Helium-Leckagerate, normalisiert zur Strömung trockenen Heliums unter Referenzbedingungen bei einem Druck vor dem Leck von $1,013 \times 10^5$ Pa, einem Druck nach dem Leck von 0,0 Pa und einer Temperatur von 298 K (25 °C)

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Einheiten für die standardisierte Helium-Leckagerate werden angegeben in $\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (SHeLR).

3.21

Prüfgas oder Tracergas

Gas, das für die Erkennung von Leckagen oder zur Messung der Leckagerate verwendet wird

3.22

viskose Strömung

kontinuierlicher Gasstrom durch ein Leck unter solchen Bedingungen, dass die mittlere freie Weglänge sehr klein im Vergleich mit den kleinsten Abmessungen eines Querschnitts des Lecks ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Strömung kann laminar oder turbulent sein. Die viskose Strömung hängt vom Gesamtdruckgradienten ab.

4 Symbole und Einheiten

In diesem Dokument werden die folgenden Symbole und Einheiten verwendet.

Symbol	Definition	Einheit
A_i	Aktivität von Radionuklid i	Bq
A_2	Menge (Aktivität) von radioaktivem Material, mit Ausnahme radioaktiver Stoffe in besonderer Form, gemäß Definition in den geltenden Dokumenten, die in den <i>Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material</i> der International Atomic Energy Agency (IAEA) aufgeführt sind	Bq
A_{2i}	A_2 -Wert von Radionuklid i	Bq
a	Kapillarlänge/Lecklänge	m
C	mittlere Aktivität pro Volumeneinheit; das Symbol dient zur Vereinfachung in Bild 1 und steht für die Verwendung entweder von C_A oder von C_N	$\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$
C_A	mittlere Aktivität pro Volumeneinheit des Mediums, das aus dem Umschließungssystem bei einem Unfall während des Transports austreten könnte	$\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$
C_N	mittlere Aktivität pro Volumeneinheit des Mediums, das aus dem Umschließungssystem unter normalen Transportbedingungen austreten könnte	$\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$
D	Kapillardurchmesser/Leckdurchmesser	m
D	maximal zulässiger Durchmesser; das Symbol dient zur Vereinfachung in Bild 1 und steht für die Verwendung entweder von D_A oder von D_N	m
D_A	maximal zulässiger äquivalenter Kapillarleckdurchmesser bei einem Unfall während des Transports	m
D_B	Blasendurchmesser	m
D_N	maximal zulässiger äquivalenter Kapillarleckdurchmesser unter normalen Transportbedingungen	m
FC_{iA}	freigesetzter Anteil des Radionuklids i aus dem radioaktiven Inhalt in das Umschließungssystem bei einem Unfall während des Transports	—
FC_{iN}	freigesetzter Anteil des Radionuklids i aus dem radioaktiven Inhalt in das Umschließungssystem unter normalen Transportbedingungen	—
FE_{iA}	Anteil des Radionuklids i , der für die Freisetzung aus dem Umschließungssystem in die Umgebung bei einem Unfall während des Transports verfügbar ist	—
FE_{iN}	Anteil des Radionuklids i , der für die Freisetzung aus dem Umschließungssystem in die Umgebung unter normalen Transportbedingungen verfügbar ist	—
g	Erdbeschleunigung	$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
g_0	Konstante	$g_0 = 1 \text{ kg m N}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
H	Prüfdauer	s
h	Flüssigkeitshöhe	m
L	Volumetrische Leckagerate	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
L	maximal zulässige volumetrische Leckagerate; das Symbol dient zur Vereinfachung in Bild 1 und steht für die Verwendung entweder von L_A oder von L_N	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Symbol	Definition	Einheit
L_A	maximal zulässige volumetrische Leckagerate des Mediums bei Druck p_A bei einem Unfall während des Transports	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
L_N	maximal zulässige volumetrische Leckagerate des Mediums bei Druck p_N , unter normalen Transportbedingungen	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
M	relative Molekularmasse	$\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$
M_i	relative Molekularmasse der Komponente i	$\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$
M_{mix}	relative Molekularmasse des Gemischs	$\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$
p_A	Druck im Umschließungssystem bei einem Unfall während des Transports	Pa
p_N	Druck im Umschließungssystem unter normalen Transportbedingungen	Pa
p_d	stromabseitiger Druck	Pa
p_i	Partialdruck einer Komponente i des Gasgemischs	Pa
p_{mix}	Gesamtdruck des Gasgemischs	Pa
p_s	Referenzdruck	$p_s = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$
p_t	Partialdruck des Prüfgases	Pa
p_u	stromaufseitiger Druck	Pa
p_1	Gasdruck bei Beginn der Prüfung	Pa
p_2	Gasdruck am Ende der Prüfung	Pa
Q	Leckagerate	$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Q_{SLR}	standardisierte Leckagerate; das Symbol dient zur Vereinfachung in Bild 1 und steht für die Verwendung entweder von $Q_{A(\text{SLR})}$ oder von $Q_{N(\text{SLR})}$	$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Q_A	zulässige Leckagerate des Mediums bei einem Unfall während des Transports, sie wird berechnet aus L_A	$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
$Q_{A(\text{SLR})}$	zulässige standardisierte Leckagerate (SLR) bei einem Unfall während des Transports	$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Q_m	Leckagerate bei molekularer Strömung	$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Q_{mix}	Leckagerate bei einem Gasgemisch	$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Q_N	zulässige Leckagerate des Mediums unter normalen Transportbedingungen, sie wird berechnet aus L_N	$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
$Q_{N(\text{SLR})}$	zulässige standardisierte Leckagerate (SLR) unter normalen Transportbedingungen	$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Q_p	Permeationsrate	$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Q_{TDA}	bei der Designverifizierung zulässige Prüfleckagerate; sie wird bestimmt aus $Q_{A(\text{SLR})}$	$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Q_{TDN}	bei der Designverifizierung zulässige Prüfleckagerate; sie wird bestimmt aus $Q_{N(\text{SLR})}$	$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Q_{TF}	zulässige Prüfleckagerate des Prüfgases bei der Verifizierung bei Fertigung	$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Q_{TM}	zulässige Prüfleckagerate des Prüfgases bei der Verifizierung bei Wartung	$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Q_{TP}	zulässige Prüfleckagerate des Prüfgases bei der wiederholten Verifizierung	$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Q_{TS}	zulässige Prüfleckagerate des Prüfgases bei der Verifizierung vor dem Versand	$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Q_v	Leckagerate bei viskoser Strömung	$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

Symbol	Definition	Einheit
R	Allgemeine Gaskonstante	$R = 8,31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
R	maximal zulässige Aktivitätsfreisetzungsrates; das Symbol dient zur Vereinfachung in Bild 1 und steht für die Verwendung entweder von R_A oder von R_N	$\text{Bq} \cdot \text{s}^{-1}$
R_A	maximal zulässige Aktivitätsfreisetzungsrates des Inhalts bei einem Unfall während des Transports	$\text{Bq} \cdot \text{s}^{-1}$
R_N	maximal zulässige Aktivitätsfreisetzungsrates des Inhalts unter normalen Transportbedingungen	$\text{Bq} \cdot \text{s}^{-1}$
RG	maximal zulässige Aktivitätsfreisetzungsrates des gasförmigen Inhalts; das Symbol dient zur Vereinfachung in Bild 1 und steht für die Verwendung entweder von RG_A oder von RG_N	$\text{Bq} \cdot \text{s}^{-1}$
RG_A	maximale Aktivitätsfreisetzungsrates des gasförmigen Inhalts bei einem Unfall während des Transports unter einer möglichen Permeation	$\text{Bq} \cdot \text{s}^{-1}$
RG_N	maximale Aktivitätsfreisetzungsrates des gasförmigen Inhalts unter normalen Transportbedingungen nach einer möglichen Permeation	$\text{Bq} \cdot \text{s}^{-1}$
RI_A	freisetzbare Aktivität von Radionuklid i bei einem Unfall während des Transports	Bq
RI_N	freisetzbare Aktivität von Radionuklid i unter normalen Transportbedingungen	Bq
RI_T	freisetzbare Gesamtaktivität aller Radionuklide; das Symbol dient zur Vereinfachung in Bild 1 und steht für die Verwendung entweder von RI_{TA} oder von RI_{TN}	Bq
RI_{TA}	freisetzbare Gesamtaktivität aller Radionuklide bei einem Unfall während des Transports	Bq
RI_{TN}	freisetzbare Gesamtaktivität aller Radionuklide unter normalen Transportbedingungen	Bq
RP	Aktivitätsfreisetzungsrates durch Permeation; das Symbol dient zur Vereinfachung in Bild 1 und steht für die Verwendung entweder von RP_A oder von RP_N	$\text{Bq} \cdot \text{s}^{-1}$
RP_A	Aktivitätsfreisetzungsrates durch Permeation bei einem Unfall während des Transports	$\text{Bq} \cdot \text{s}^{-1}$
RP_N	Aktivitätsfreisetzungsrates durch Permeation unter normalen Transportbedingungen	$\text{Bq} \cdot \text{s}^{-1}$
S	Empfindlichkeit der Leckagerates	$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
SHeLR	Standardisierte Helium-Leckagerates	$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \text{ SHeLR}$
SLR	Standardisierte Leckagerates	$\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \text{ SLR}$
T	absolute Fluidtemperatur	K
T_0	Referenztemperatur	$T_0 = 298 \text{ K}$
T_1	Gastemperatur zu Beginn der Prüfung	K
T_2	Gastemperatur am Ende der Prüfung	K
u	Geschwindigkeit	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
V	Gasvolumen	m^3
V_A	Volumen des Mediums bei einem Unfall während des Transports	m^3
V_N	Volumen des Mediums unter normalen Transportbedingungen	m^3

Symbol	Definition	Einheit
μ	dynamische Viskosität des Fluids	Pa·s
μ_i	Viskosität der Komponente <i>i</i>	Pa·s
μ_{mix}	Viskosität des Gemischs	Pa·s
ν	Blasenbildungsrate	s ⁻¹
ρ	Dichte	kg m ⁻³
ρ_g	Gasdichte	kg m ⁻³
ρ_l	Flüssigkeitsdichte	kg m ⁻³
σ	Oberflächenspannung der Flüssigkeit	N m ⁻¹

5 Behördliche Anforderungen

5.1 Relevante Vorschriften

Weitere Angaben zu relevanten Vorschriften enthält Anhang E, 5.1.

5.2 Behördliche Anforderungen an die Umschließung

Weitere Angaben zu den Anforderungen an die Umschließung für Versandstücke Typ B(U), Typ B(M) und Typ C enthält Anhang E, 5.2.

6 Vorgehensweise zur Erfüllung der Anforderungen dieses Dokuments

6.1 Allgemeines

Die Erfüllung der Anforderungen an die Umschließung von Versandstücken darf entweder durch Messung der Freisetzungsrates des radioaktiven Inhalts oder durch andere Verfahren nachgewiesen werden. Dieses Dokument zeigt, wie die Anforderungen an eine Umschließung für Versandstücke durch eine äquivalente Gasdichtheitsprüfung nachgewiesen werden können. Alle gemessenen Prüflückageraten müssen zur potenziellen Freisetzung des umschlossenen Materials durch Prüfungen an Prototypen oder Modellen, Verweis auf frühere Nachweise, Berechnungen oder begründete Argumentationen in Bezug gesetzt werden.

Dieses Dokument beruht auf den folgenden Annahmen:

- a) Das radioaktive Material, das aus dem Versandstück freigesetzt werden könnte, könnte in jeder der folgenden Formen oder einer Kombination davon vorliegen:
 - flüssig;
 - gasförmig;
 - fest;
 - Flüssigkeiten mit gelösten Feststoffen;
 - Feststoffpartikel in einem Gas (Aerosole).

Die maximal zulässige Aktivitätsfreisetzungsrates kann als ein maximal zulässiger Leckdurchmesser ausgedrückt werden, wenn die physikalische Form und die Eigenschaften des radioaktiven Inhalts berücksichtigt werden.

- b) Die Annahme eines stationären Zustands ist eine angemessene Näherung.
- c) Für die Messung von Gasströmungsraten kann ein Prüfverfahren für Gasleckagen angewandt werden. Diese Raten können mathematisch auf den Durchmesser einer einzelnen geraden Kapillare bezogen werden, was in den meisten Fällen als konservative Darstellung eines oder mehrerer Lecks betrachtet wird.
- d) Prüfverfahren für Gasleckagen können für den Nachweis der Erfüllung der behördlichen Anforderungen an Umschließungen verwendet werden, wenn der Durchmesser der einzelnen geraden Kapillaren, die mit dem Leckageprüfung in 6.1 c) in Zusammenhang steht, gleich oder kleiner als der maximal zulässige Leckdurchmesser in 6.1 a) ist.

Für Betrachtungen der Aktivitätsfreisetzung oder Rückhaltung nach diesem Dokument sollten die Phänomene der viskosen Strömung, der molekularen Strömung, der Permeation und der Blockierung berücksichtigt werden.

6.2 Qualitätsmanagementsystem

Ein Managementsystem nach internationalen, nationalen oder anderen Normen muss entwickelt und angewandt werden. Um die konsistente Qualität der in diesem Dokument beschriebenen Tätigkeiten zu gewährleisten, wird zur Anwendung von ISO 9001:2015 geraten.

Weitere Angaben zu den behördlichen Anforderungen an das Managementsystem enthält Anhang E, 6.2.

6.3 Vorgehensweise

6.3.1 Allgemeines

Mit dem Fließdiagramm in Bild 1 als Anleitung muss die nachfolgend beschriebene Vorgehensweise angewandt werden. Der Text in jedem Kasten im Fließdiagramm gibt das Ergebnis des jeweiligen Ablaufschritts an.

Schritt 1 bis Schritt 8 in Bild 1 beziehen sich auf die Umschließung des radioaktiven Inhalts, während Schritt 10 bis Schritt 12 sich auf die Leckage eines Prüfgases beziehen. Schritt 9 ist ein Referenzschritt, der die Umschließung des radioaktiven Inhalts mit der Leckage eines Prüfgases verknüpft.

Da das freisetzbare radioaktive Material sowohl gasförmig als auch flüssig oder fest oder eine Kombination daraus sein könnte, muss der für die jeweilige Form des radioaktiven Materials geltende Teil der nachfolgend beschriebenen Vorgehensweise eingehalten werden, um die zulässigen standardisierten Leckageraten zu erhalten.

Bild 1 ist für den allgemeinen Fall erstellt. In manchen Fällen müssen nicht alle Schritte ausgeführt werden, zum Beispiel bei nur einem einzigen Radionuklid in flüssiger Form. In anderen Fällen, wie beispielsweise bei einem Gemisch radioaktiver Materialien in verschiedenen Formen könnte es notwendig sein manche Schritte in einem iterativen Ablauf zu wiederholen. In jedem Fall wird es aber erforderlich sein, die entsprechenden Schritte in Bild 1 für normale Transportbedingungen sowie bei einem Unfall während des Transports auszuführen.

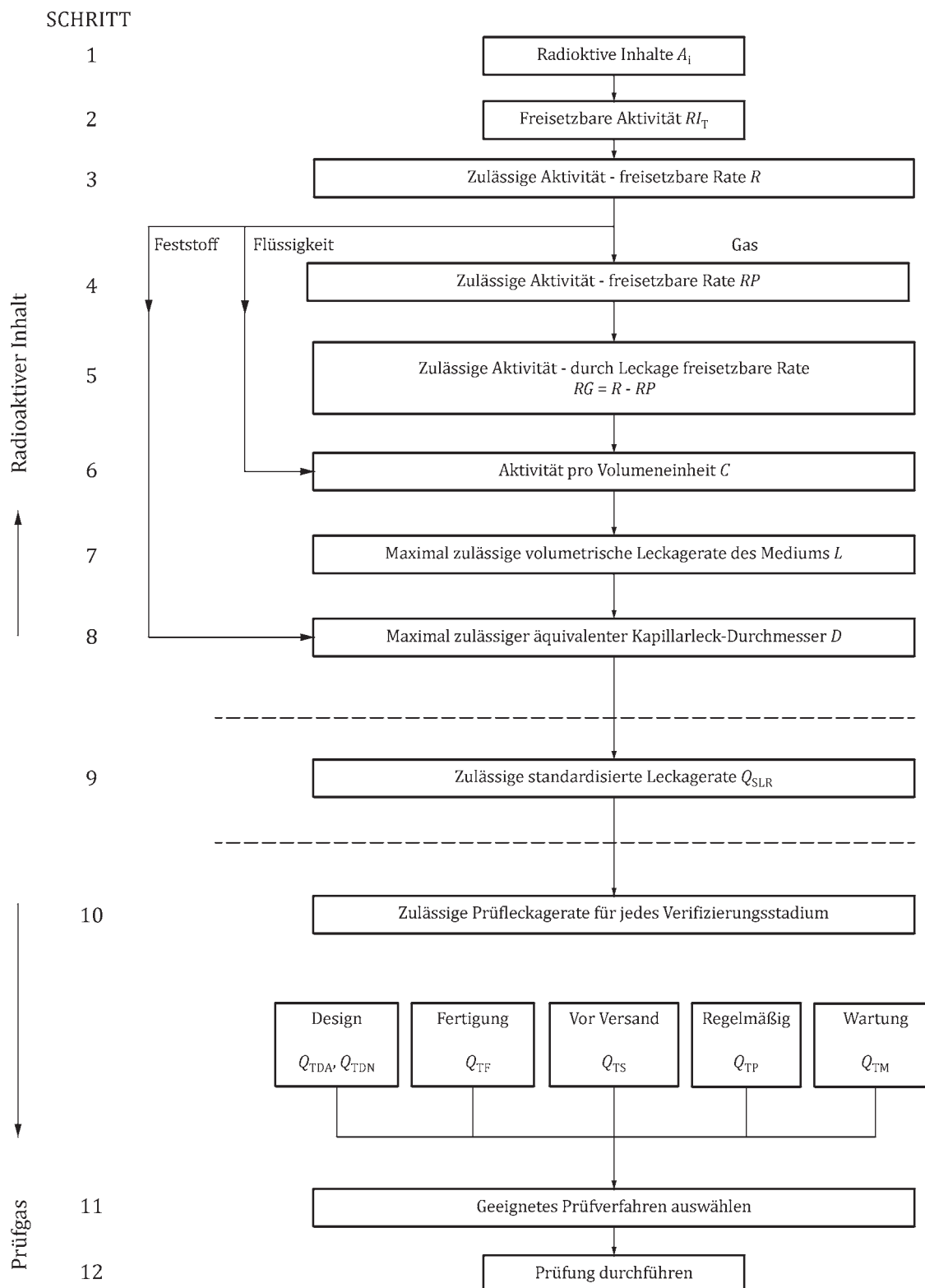


Bild 1 — Fließdiagramm für die Gasleckage-Prüfmethodik

6.3.2 Bestimmung der zulässigen Aktivitätsfreisetzungsraten

Ein Verzeichnis des freisetzbaren radioaktiven Inhalts muss erstellt und der freisetzbare Inhalt muss mit den behördlichen Anforderungen an eine dichte Umschließung verglichen werden. Siehe Schritt 1 bis Schritt 3 in Bild 1 und Abschnitt 7.

6.3.3 Bestimmung der standardisierten Leckageraten

Die zulässigen Aktivitätsfreisetzungsraten müssen in äquivalente standardisierte Leckageraten umgerechnet werden. Siehe Schritt 4 bis Schritt 9 in Bild 1 und Abschnitt 8.

6.3.4 Bestimmung der zulässigen Prüfleckageraten für jedes Verifizierungsstadium

Die angemessenen Gasleckageraten müssen für die Verifizierung des Designs, bei der Fertigung, vor Versand, die wiederholte Verifizierung und die Verifizierung bei Wartung bestimmt werden. Siehe Schritt 10 in Bild 1 und 9.2.

6.3.5 Auswahl der geeigneten Prüfverfahren

Geeignete Gasleckage-Prüfverfahren müssen für die Verifizierung des Designs, bei der Fertigung, vor Versand, die regelmäßige Verifizierung und die Verifizierung bei Wartung ausgewählt werden. Siehe Schritt 11 in Bild 1 und 9.2.

6.3.6 Durchführung der Prüfungen und Aufzeichnung der Ergebnisse

Die erforderlichen Prüfungen müssen durchgeführt werden und die Ergebnisse müssen aufgezeichnet werden. Siehe Schritt 12 in Bild 1 und Abschnitt 10.

7 Bestimmung der zulässigen Aktivitätsfreisetzungsraten

Die zulässigen Aktivitätsfreisetzungsraten müssen anhand Schritt 1 bis Schritt 3 für normale Transportbedingungen und für einen Unfall während des Transports bestimmt werden.

7.1 Schritt 1: Erstellen einer Liste des radioaktiven Inhalts A_i

Diese liefert ein Verzeichnis des radioaktiven Inhalts und umfasst die Aktivität und die physikalischen Merkmale jedes Radionuklids. Möglicherweise kann es erforderlich sein, den Inhalt als separate Phasen zu betrachten, also Flüssigkeiten, Gase und Feststoffe. Aerosole können als Gase betrachtet werden. Gelöste Feinpartikel können als Flüssigkeit betrachtet werden.

Ist es unpraktisch, den tatsächlichen radioaktiven Inhalt zu bestimmen, muss der Anwender den radioaktiven Inhalt verbindlich abschätzen und dieser muss von der zuständigen Behörde akzeptiert werden.

7.2 Schritt 2: Bestimmung der insgesamt freisetzbaren Aktivität RI_T

In manchen Fällen kann der radioaktive Inhalt sich in mehr als einem Behälter im Umschließungssystem befinden. Ein Beispiel für einen solchen Fall ist ein abgebranntes Brennelement in einer Transportverpackung. In diesem Fall könnte bei normalen Transportbedingungen oder bei einem Unfall während des Transports nur ein Bruchteil des radioaktiven Inhalts aus dem innersten Behälter in das Umschließungssystem freigesetzt werden, also FC_{iN} , FC_{iA} und von diesem Bruchteil darf lediglich ein weiterer Bruchteil für die Freisetzung aus dem Umschließungssystem in die Umwelt zur Verfügung stehen, also FE_{iN} , FE_{iA} . Der numerische Wert jedes Freisetzunganteils hängt vom jeweiligen Radionuklid ab und wenn der radioaktive Inhalt aus einem Gemisch von Radionukliden besteht, könnten sich viele anteilige Freisetzungswerte ergeben. Ferner könnten sich die anteiligen Freisetzungswerte für normale Transportbedingungen von jenen bei einem Unfall während des Transports unterscheiden, auch für das gleiche Radionuklid.

Die freisetzbaren Anteile hängen ab von Faktoren wie

- a) der chemischen und physikalischen Form des Materials innerhalb des Umschließungssystems bei normalen Transportbedingungen und bei Unfällen während des Transports,

- b) den möglichen Freisetzungsarten, wie beispielsweise Permeation von Gasen, Mobilität von Aerosolen oder Partikeln, Reaktionen mit Wasser oder anderen Stoffen im System sowie der Löslichkeit, oder
- c) den maximalen Temperaturen, Drücken, Vibrationen, mechanischen Beanspruchungen oder Verformungen und ähnlichen, denen das umschlossene Material unter normalen Transportbedingungen und bei Unfällen während des Transports ausgesetzt werden würde. Diese müssen mittels Prüfungen an Prototypen oder Modellen in Bezug auf frühere Nachweise, Berechnungen oder eine begründete Argumentation bestimmt werden.

Kann ein Freisetzungsanteil nicht quantifiziert werden, muss ein Wert von 1,0 angenommen werden. Die Werte der Freisetzungsanteile erfordern normalerweise eine Abstimmung mit der zuständigen Behörde.

Für normale Transportbedingungen ist die freisetzbare Aktivität des Radionuklids i , RI_{iN} in Becquerel:

$$RI_{iN} = FC_{iN} \times FE_{iN} \times A_i$$

und für den gesamten Inhalt

$$RI_{TN} = \sum_i RI_{iN}$$

Bei Unfällen während des Transports ist die freisetzbare Aktivität des Radionuklids i , RI_{iA} in Becquerel:

$$RI_{iA} = FC_{iA} \times FE_{iA} \times A_i$$

und für den gesamten Inhalt

$$RI_{TA} = \sum_i RI_{iA}$$

7.3 Schritt 3: Bestimmung der maximal zulässigen Aktivitätsfreisetzungsraten R

Mit den Daten aus Schritt 1 und Schritt 2 werden die Radionuklide, die aus dem Versandstück freigesetzt werden könnten und ihre physikalische Form identifiziert. Dann muss für jedes Radionuklid der Wert A_2 ermittelt werden bzw. bei Gemischen muss ein äquivalenter Wert für A_2 verwendet werden (siehe Paragraph 405 in der Ausgabe 2012 der *Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material*) der International Atomic Energy Agency (IAEA). Anschließend müssen die behördlichen Anforderungen an die Umschließung gemäß E.5.2 berechnet werden. In diesem Stadium werden die Anforderungen an die Umschließung in Einheiten Aktivität pro Stunde oder Aktivität in einem Zeitraum von einer Woche angegeben. Da Gasleckageprüfraten normalerweise in Strömungseinheiten pro Sekunde angegeben werden, müssen die Zeiteinheiten der behördlichen Anforderungen an die Umschließung zwecks Kompatibilität in Sekunden umgerechnet werden. In diesem Dokument wird angenommen, dass eine Leckage mit einer gleichmäßigen Rate während des behördlichen Zeitraums (1 h bei normalen Transportbedingungen/1 Woche bei einem Unfall während des Transports) erfolgt. Andere Zeitmittelungsverfahren dürfen verwendet werden, sofern sie von der zuständigen Behörde akzeptiert werden. Wenn alle obigen Faktoren berücksichtigt sind, sind die zulässigen Aktivitätsfreisetzungsraten bestimmt.

8 Bestimmung der standardisierten Leckageraten

8.1 Allgemeines

Standardisierte Leckageraten müssen mit Schritt 4 bis Schritt 9 sowohl für normale Transportbedingungen als auch für Unfälle während des Transports bestimmt werden.

Wenn die standardisierten Leckageraten relativ niedrig sind, kann die zuständige Behörde in manchen Fällen die Verwendung eines spezifizierten an Stelle eines berechneten Wertes für die standardisierte Leckagerate erlauben. Auch wenn die standardisierten Leckageraten relativ hoch sind, kann die zuständige

Behörde zustimmen, dass Dichtheitsprüfungen unangemessen oder unnötig sind oder die Verwendung eines spezifizierten an Stelle eines berechneten Wertes für die standardisierte Leckagerate erlauben. Siehe Anhang E, Abschnitt 8.

In diesem Abschnitt wird das Verfahren für die Bestimmung der standardisierten Leckagerate (aus der die Prüfleckagerate bestimmt werden kann) für alle Leckagemechanismen beschrieben. Mit der Vorgehensweise in Schritt 4 bis Schritt 9 müssen maximal zulässige standardisierte Leckageraten festgelegt werden, die zahlenmäßig äquivalent mit den entsprechenden behördlichen Anforderungen an die Umschließung sind.

Die Kenntnis des radioaktiven Inhalts, seiner Eigenschaften und des Umschließungssystems der Verpackung ist wesentlich, um die Anforderungen in Schritt 4 bis Schritt 9 zu erfüllen.

8.2 Schritt 4: Bestimmen der Aktivitätsfreisetzungsrates durch Permeation *RP*

Für radioaktives Gas muss die Aktivitätsfreisetzungsrates durch Permeation bestimmt werden. Siehe B.13.

8.3 Schritt 5: Bestimmen der maximal zulässigen Aktivitätsfreisetzungsrates durch Lecks *RG*

Wenn der Inhalt ein radioaktives Gas enthält, muss die Freisetzungsrates durch Permeation, wie in Schritt 4 bestimmt, von der behördlichen Anforderung an die Umschließung, die in Schritt 3 bestimmt wurde, abgezogen werden.

Ist $RG < 0$, so erfüllt das Versandstück nicht die behördliche Anforderung.

Bleibt der Druck im Umschließungssystem während des gesamten Transports niedriger als der Außendruck, kann Aktivität nur durch Permeation und molekulare Strömung (falls diese gegenüber der laminaren Strömung vorherrscht), die durch die Partialdrücke der radioaktiven Stoffe verursacht wird, freigesetzt werden.

8.4 Schritt 6: Bestimmen der Aktivitätskonzentration des Mediums im Umschließungssystem *C*

Die Aktivität pro Volumeneinheit im Medium, die aus dem Umschließungssystem in die Umgebung austreten könnte, muss als C_N bzw. C_A für normale Transportbedingungen bzw. bei einem Unfall während des Transports bezeichnet werden. Die Werte für C_N und C_A hängen von der Aktivität jedes Radionuklids und dem Anteil des Gesamtinhalts, der für die Freisetzung in den Umschließungsraum und dann für die Freisetzung in die Umgebung verfügbar ist, ab.

Für ein Mediumvolumen von V_N wird C_N , in Becquerel pro Kubikmeter ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$) wie folgt bestimmt:

$$C_N = \frac{RI_{TN}}{V_N}$$

Für ein Mediumvolumen von V_A wird C_A , in Becquerel pro Kubikmeter ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$) wie folgt bestimmt:

$$C_A = \frac{RI_{TA}}{V_A}$$

8.5 Schritt 7: Bestimmen der maximal zulässigen volumetrischen Leckagerate des Mediums L

Wenn die Daten aus Schritt 3 bzw. Schritt 5, wenn Permeation berücksichtigt werden muss, durch die Daten aus Schritt 6 geteilt werden, erhält man die Daten für Schritt 7. Dies ergibt die maximal zulässige volumetrische Strömungsrate des Mediums, die aus dem Versandstück durch ein Leck entweichen könnte. In diesem Schritt wird das Medium auf Betriebsdruck- und -temperaturbedingungen sein.

Unter normalen Transportbedingungen muss die maximal zulässige volumetrische Leckagerate für das Medium L_N in Kubikmetern pro Sekunde ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) mit der folgenden Gleichung bestimmt werden:

$$L_N = \frac{R_N}{C_N}$$

Bei einem Unfall während des Transports muss die maximal zulässige volumetrische Leckagerate für das Medium L_A in Kubikmetern pro Sekunde ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) mit der folgenden Gleichung bestimmt werden:

$$L_A = \frac{R_A}{C_A}$$

8.6 Schritt 8: Bestimmen des maximal zulässigen äquivalenten Kapillarleckdurchmessers D

Für Flüssigkeiten kann die volumetrische Strömungsrate aus Schritt 7 mit dem Poiseuille-Gesetz in einen Durchmesser eines einzelnen Lecks umgerechnet werden [Gleichung (B.7)].

Für Gase und Aerosole müssen die volumetrischen Leckageraten L_N und L_A aus Schritt 7 mit den folgenden Gleichungen in zulässige Leckageraten Q_N und Q_A in Pascal Kubikmeter pro Sekunde ($\text{Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) umgerechnet werden:

$$Q_N = L_N \times p_N$$

$$Q_A = L_A \times p_A$$

Für Leckageraten von Gasen und Aerosolen darf ein Durchmesser für ein einzelnes Leck mit dem Knudsen-Gesetz berechnet werden [Gleichung (B.1)].

Für Feststoffe, einschließlich Partikel, und einige Flüssigkeiten könnte es durch Bewertung der Merkmale des radioaktiven Materials wie Partikelgröße oder Fluid-Viskosität unter Umständen möglich sein, einen Grenzdurchmesser festzulegen, durch den das radioaktive Material nicht strömt, sodass durch diesen Blockierungsmechanismus [siehe Anhang E, 6.1 C b)] keine Freisetzung von Aktivität erfolgt. Die Verwendung eines solchen Blockierungsmechanismus muss von der zuständigen Behörde akzeptiert werden.

8.7 Schritt 9: Bestimmen der zulässigen standardisierten Leckagerate Q_{SLR}

Wenn der maximal zulässige äquivalente Kapillarleckdurchmesser in Schritt 8 bestimmt wurde, darf der Wert dieses Durchmessers in Gleichung (B.1) für die Bestimmung der zulässigen standardisierten Leckagerate verwendet werden (siehe Beispiele in D.3, D.10, D.11 und D.13).

Wenn der Gesamtdruck im Umschließungssystem niedriger als der Außendruck ist, zum Beispiel, wenn der Anfangsdruck im Umschließungssystem niedriger als der Außendruck und Q_{SLR} so ist, dass der Innendruck während des gesamten Transports niedriger als der Außendruck bleibt (siehe Beispiel in D.15) und eine molekulare Strömung vorherrschend ist, muss nur die durch die Partialdrücke der radioaktiven Stoffe verursachte molekulare Strömung betrachtet werden. Hierfür sollte der erste Summand in Gleichung (B.1)

auf Null gesetzt werden. Im zweiten Summanden müssen die Eigenschaften der radioaktiven Stoffe (Molekularmasse, Partialdruck) verwendet werden. Diese Bewertung muss für jeden relevanten radioaktiven Stoff vorgenommen werden und die Ergebnisse müssen miteinander verknüpft werden.

Standardisierte Leckageraten müssen für normale Transportbedingungen sowie für einen Unfall während des Transports bestimmt werden, mit D_A wird $Q_{A(SLR)}$ bestimmt und mit D_N wird $Q_{N(SLR)}$ bestimmt. Liegt das radioaktive Material in mehr als einer Form vor, müssen die Werte für D_A , $Q_{A(SLR)}$, D_N und $Q_{N(SLR)}$ für jede Form bestimmt werden.

Es muss der strengste Wert für $Q_{A(SLR)}$ ermittelt werden, um zu bestimmen, ob dieser Wert noch strenger gefasst werden muss, um die Aktivitätsfreisetzungen in den anderen Formen zu berücksichtigen.

Ebenso muss der strengste Wert für $Q_{N(SLR)}$ ermittelt werden, um zu bestimmen, ob dieser Wert noch strenger gefasst werden muss, um die Aktivitätsfreisetzungen in den anderen Formen zu berücksichtigen.

Obige Bestimmungen und Bewertungen ergeben die Werte für $Q_{A(SLR)}$ und $Q_{N(SLR)}$, die in Schritt 10 zu verwenden sind.

9 Anforderungen an die Verifizierung des Umschließungssystems

9.1 Verifizierungsstadien des Umschließungssystems

9.1.1 Allgemeines

Die Einhaltung der Anforderungen an die Umschließung von Versandstücken muss durch Verifizierung des Designs, bei der Fertigung, vor Versand, regelmäßige Verifizierung und Verifizierung bei der Wartung nachgewiesen werden. Für jedes Prüfungsstadium muss ein Satz Prüfanforderungen festgelegt werden.

Die Verifizierungsverfahren müssen nachweisen, dass alle behördlichen Anforderungen an die Umschließung sowohl unter normalen Transportbedingungen als auch bei einem Unfall während des Transports erfüllt werden. Daher sind Dichtheitsprüfungen nur ein Teil der Verifizierungsverfahren. Es muss ein Satz Verfahren für die verschiedenen Verifizierungsstadien festgelegt werden, die für die zuständige Behörde akzeptabel sind.

Der Zusammenbau muss nach einem schriftlichen Qualitätssicherungsverfahren erfolgen, das eine Checkliste für die Überprüfung umfasst, ob alle Teile des Umschließungssystems die geltenden Anforderungen erfüllen, vorhanden und vorschriftsmäßig gesichert sind.

9.1.2 Designverifizierung

Die Designverifizierungsverfahren müssen nachweisen, dass das Design des Versandstücks alle behördlichen Anforderungen an die Umschließung sowohl unter normalen Transportbedingungen als auch bei einem Unfall während des Transports erfüllt.

Mit der Prüfung der Verpackung muss nachgewiesen werden, dass ihre Leckagerate kleiner oder gleich der maximal zulässigen Prüfleckagerate Q_{TDN} bzw. Q_{TDA} ist.

Die maximal zulässigen Prüfleckageraten sind Q_{TDN} bzw. Q_{TDA} für Prüfungen unter normalen Transportbedingungen bzw. bei einem Unfall während des Transports. Werden die Prüfungen unter Bedingungen (wie Temperatur und Druck) ausgeführt, die sich von den normalen und unfallspezifischen Bedingungen unterscheiden, muss nachgewiesen werden, dass die gemessenen Leckageraten aussagekräftig und repräsentativ sind.

Weitere Informationen zu den behördlichen Vorgaben enthält Anhang E, 9.1.2.

9.1.3 Verifizierung bei der Fertigung

Die Verifizierungsverfahren bei der Fertigung müssen nachweisen, dass jede Verpackung eines bestimmten Designs so hergestellt wird, dass die behördlichen Anforderungen an die Umschließung bei normalen Transportbedingungen und bei einem Unfall während des Transports erfüllt werden, unter der Annahme, dass das Versandstück vor dem Versand richtig zusammengebaut und die Verpackung ordnungsgemäß instand gehalten wird.

Mit der Prüfung der Verpackung muss nachgewiesen werden, dass ihre Leckagerate kleiner oder gleich der maximal zulässigen Prüfleckagerate Q_{TF} ist. Die gesamte Umschließung mit Grundmaterial, Schweißnähten, Dichtungen, Verschlüssen, Ventilen, Berstscheiben oder anderen Begrenzungselementen muss geprüft werden, mit Ausnahme solcher Teile, deren Leckagerate nachweislich vernachlässigbar ist.

Die maximal zulässige Prüfleckagerate Q_{TF} muss der strengere der Werte Q_{TDN} und Q_{TDA} sein. Wenn die Prüfbedingungen von den Bedingungen des ungünstigsten Falles bei normalen Transportbedingungen bzw. bei einem Unfall während des Transports abweichen, müssen die Prüfleckageraten so ausgewählt werden, dass mit den Prüfungen nachgewiesen werden kann, dass das Versandstück keine höheren als die maximal zulässigen Leckageraten bei normalen Transportbedingungen und bei einem Unfall während des Transports aufweist.

Weitere Informationen zu den behördlichen Vorgaben enthält Anhang E, 9.1.3.

9.1.4 Verifizierung vor Versand

Die Verifizierungsverfahren vor dem Versand müssen nachweisen, dass vor jedem Versand und nach dem Einladen des Inhalts das Versandstück so zusammengebaut und die Verpackung so instand gehalten wird, dass die behördlichen Anforderungen an die Umschließung während des Transports unter allen Bedingungen (normaler Transport und Unfall) erfüllt werden. Die Verfahren müssen zu diesem Zweck belegen, dass das Versandstück ordnungsgemäß zusammengebaut und die Verpackung korrekt instand gehalten wird und dass die Umschließungsfunktion hergestellt ist.

Mit der Verifizierung vor dem Versand muss nachgewiesen werden, dass die Leckagerate der Verpackung kleiner oder gleich der maximal zulässigen Prüfleckagerate Q_{TS} ist.

Die maximal zulässige Prüfleckagerate Q_{TS} muss der jeweils strengere der Werte für Q_{TDN} und Q_{TDA} sein. Wenn die Prüfbedingungen von den Bedingungen des ungünstigsten Falles bei normalen Transportbedingungen bzw. bei einem Unfall während des Transports abweichen, müssen die Prüfleckageraten so ausgewählt werden, dass mit den Prüfungen nachgewiesen werden kann, dass das Versandstück keine höheren als die maximal zulässigen Leckageraten bei normalen Transportbedingungen und bei einem Unfall während des Transports aufweist.

Weitere Informationen zu Ausnahmen enthält Anhang E, Abschnitt 8.

Weitere Informationen zu den behördlichen Vorgaben enthält Anhang E, 9.1.4.

9.1.5 Regelmäßige Verifizierung

Mit regelmäßigen Verifizierungen muss nachgewiesen werden, dass Versandstücke, die nach einem zugelassenen Design hergestellt wurden, auch nach wiederholter Verwendung weiterhin die behördlichen Anforderungen an die Umschließung erfüllen.

Das Versandstück muss geprüft werden, um nachzuweisen, dass seine Leckagerate kleiner oder gleich der maximal zulässigen Prüfleckagerate Q_{TP} ist. Auf Grund der möglichen Schwierigkeiten durch die Demontage von Komponententeilen, den Umfang der Umschließung und die Anzahl der Dichtungen, die geprüft werden sollen, muss der numerische Wert für Q_{TP} von der zuständigen Behörde akzeptiert werden.

Die Zeit zwischen regelmäßigen Prüfungen muss für die zuständige Behörde annehmbar sein.

Weitere Informationen zu den behördlichen Vorgaben enthält Anhang E, 9.1.5.

9.1.6 Verifizierung bei Wartung

Mit den Verifizierungsverfahren bei der Wartung muss nachgewiesen werden, dass das Umschließungssystem durch Wartung, Reparatur oder Austausch von Komponenten nicht beschädigt wurde.

Die Verifizierung bei Wartung muss durchgeführt werden, bevor ein Versandstück wieder in Gebrauch geht, um nachzuweisen, dass seine Leckagerate kleiner oder gleich der maximal zulässigen Rate Q_{TM} ist.

Verifizierungsprüfungen bei der Wartung müssen nur für die betroffenen Bereiche oder Dichtungen durchgeführt werden und können mit der Verifizierung vor dem Versand kombiniert werden.

Weitere Informationen zu den behördlichen Vorgaben enthält Anhang E, 9.1.6.

9.2 Anforderungen an die Verifizierung

9.2.1 Allgemeines

Die angemessene zulässige Prüfleckagerate für jedes Verifizierungsstadium wie in 9.1 beschrieben muss bestimmt werden, um nachzuweisen, dass das Umschließungssystem die behördlichen Anforderungen an Umschließungen erfüllt und es müssen geeignete Prüfverfahren ausgewählt werden.

9.2.2 Schritt 10: Bestimmen der zulässigen Prüfleckagerate für jedes Verifizierungsstadium Q_{TDA} , Q_{TDN} , Q_{TF} , Q_{TS} , Q_{TP} und Q_{TM}

Die Ergebnisse aus Schritt 9 müssen für die Festlegung der zulässigen Prüfleckageraten berücksichtigt werden.

$Q_{A(SLR)}$ sollte für die Bestimmung von Q_{TDA} und $Q_{N(SLR)}$ für die Bestimmung von Q_{TDN} berücksichtigt werden. Für Q_{TF} , Q_{TS} , Q_{TP} und Q_{TM} sollte jeweils der strengere der Werte für $Q_{A(SLR)}$ bzw. $Q_{N(SLR)}$ berücksichtigt werden.

Ebenso muss der strengere der Werte für die zulässigen standardisierten Leckageraten, die für normale Transportbedingungen und für einen Unfall während des Transports berechnet wurden, für die Bestimmung der angemessenen zulässigen Prüfleckagerate in Schritt 10 ermittelt werden.

Weitere Informationen zur Bestimmung der standardisierten Leckageraten und zur Berücksichtigung verschiedener Prüfbedingungen (d. h. verschiedene Prüfgase, Betriebstemperaturen und -drücke während der Messung) sind B.2 und Anhang E, Abschnitt 8 zu entnehmen.

9.2.3 Schritt 11: Auswahl der geeigneten Prüfverfahren

Für jede in Schritt 10 festgelegte zulässige Prüfleckagerate (Design, Fertigung, vor Versand, regelmäßig oder Wartung), muss ein geeignetes Prüfverfahren gewählt und geeignete Prüfanweisungen festgelegt werden.

Tabelle A.1 führt einige geeignete Prüfverfahren auf.

10 Anforderungen an Dichtheitsprüfverfahren

10.1 Allgemeines

Alle Dichtheitsprüfungen müssen nach einem schriftlichen Qualitätssicherungsprogramm ausgeführt werden. Mit Prüfungen muss sichergestellt werden, dass die Anforderungen an Dichtheitsprüfungen erfüllt werden. Wenn sich bei einer Prüfung bei der Fertigung, vor dem Versand oder einer Verifizierung zeigt, dass die tatsächliche Leckagerate höher als der maximal zulässige Wert ist, müssen Maßnahmen ergriffen werden, um die Leckagerate auf den zulässigen Wert zu senken.

10.2 Schritt 12: Durchführen der Prüfung und Aufzeichnen der Ergebnisse

Die erfolgreiche Durchführung dieses Schritts weist nach, dass die behördlichen Anforderungen an die Umschließung erfüllt werden. Die Minimalanforderungen an Gasleckage-Prüfverfahren, die anzuwenden sind, sind in 10.3 und 10.4 beschrieben.

10.3 Prüfempfindlichkeit

Die Empfindlichkeit jedes Dichtheitsprüfverfahrens, die durch Verweis auf geltende Literatur oder durch Prüfung bestimmt wird, muss als geeignet gelten, wenn sie kleiner oder gleich der halben zulässigen Prüfleckagerate für das Prüfgas/Prüfgas laut Bestimmung in Schritt 10 in 9.2.2 ist.

Die Dichtheitsprüfverfahren, die für den Prüfling angewandt werden, müssen sorgfältig betrachtet werden. Beispielsweise sind die Gasdruckabfallprüfung (A.3.1, Tabelle A.2) und die Gasdruckanstiegsprüfung (A.3.2, Tabelle A.2) abhängig vom geprüften Gasvolumen und daher muss die Empfindlichkeit dieser Prüfungen angepasst werden (sowohl für das Volumen als auch für die Zeit). In vielen Fällen kann die Empfindlichkeit eines Leckage-Prüfverfahrens deutlich verändert werden, indem Volumen, Druck, Temperatur, Gemischzusammensetzung oder Zeit verändert werden. Leckage-Prüfverfahren, die unter kontrollierten Laborbedingungen durchgeführt werden, sind normalerweise empfindlicher als die gleichen Verfahren unter Feldbedingungen.

10.4 Anforderungen an Prüfverfahren

10.4.1 Allgemeines

Dichtheitsprüfverfahren müssen mit dem Prüfling kompatibel sein und, wenn sie für das Umschließungssystem angewandt werden, müssen sie eine ausreichende Empfindlichkeit aufweisen, um die Einhaltung der Prüfanforderungen für die Verifizierung von Umschließungssystemen nachzuweisen.

Zulässige Prüfleckageraten und Prüfempfindlichkeiten müssen anhand der Aktivitätsfreisetzungsraten bestimmt werden, um die Anforderungen an die Verifizierung von Umschließungssystemen zu erfüllen.

Die Prüfungen müssen so ausgeführt werden, dass falsch-positive Ergebnisse ausgeschlossen sind. Dies könnte beinhalten, dass das Vorhandensein eines Prüfgesetzes und einer Treibkraft (Druckdifferenz) gewährleistet werden muss.

Alle erforderlichen Sicherheitsvorkehrungen müssen getroffen werden.

Es müssen Dichtheitsprüfverfahren erstellt und von Personal, das nach ISO 9712 oder einer gleichwertigen Norm qualifiziert ist, überprüft werden. Alle Dichtheitsprüfungen müssen von qualifiziertem Personal durchgeführt werden. Personal sollten nach ISO 9712 oder einer gleichwertigen Norm qualifiziert sein.

10.4.2 Prüfung

Der Benutzer muss sicherstellen, dass das ausgewählte Verfahren für die jeweilige Situation relevant ist und die Prüfung richtig ausgeführt wird.

Die Prüfungen müssen nach 10.4.1 durchgeführt werden und müssen dokumentiert werden.

Anhang A (informativ)

Bevorzugte Dichtheitsprüfverfahren

A.1 Allgemeines

Zum komplexen Thema der Dichtheitsprüfverfahren existieren zahlreiche Bücher und eingereichte Dokumente. Einige davon sind in den Literaturhinweisen aufgelistet. Zweck dieses Anhangs ist es, dem Benutzer bei der Auswahl der geeigneten Prüfverfahren zu helfen. Daher enthält dieser Anhang eine Kurzbeschreibung geeigneter Dichtheitsprüfverfahren, ihren Empfindlichkeitsbereich, ihre Vorteile und Einschränkungen sowie Informationen zu sicherheitsrelevanten Erwägungen.

Der Anwender ist für die Festlegung eines detaillierten Prüfverfahrens verantwortlich, das für die jeweilige Situation geeignet ist. Dieser Anhang ist in vielen Fällen nicht detailliert genug und der Benutzer sollte sich daher weitere Informationen aus anderen Quellen beschaffen. Der Benutzer ist ferner dafür verantwortlich, dass das Prüfverfahren richtig angewandt wird.

Dichtheitsprüfverfahren, die nicht in diesem Dokument aufgeführt werden, dürfen verwendet werden, wenn sie die Minimalanforderungen dieses Dokuments erfüllen und von der zuständigen Behörde akzeptiert werden.

Praktische Dichtheitsprüftechniken für die Messung der Dichtheit von Verpackungen wurden überarbeitet und geeignete Prüfungen für Verpackungen radioaktiver Stoffe identifiziert und für den Gebrauch empfohlen.

Es wurden detaillierte Abläufe für die empfohlenen Verfahren entwickelt, bei denen die relevanten Faktoren für die jeweiligen Behältertypen besonders betrachtet wurden.

Diese Verfahren und ihre Nachweisgrenze sind in Tabelle A.1 aufgeführt. Für die meisten Verfahren muss die tatsächliche Empfindlichkeit für jede Anwendung berechnet werden, da sie von Druck, Zeit, Volumen, Temperatur und den Gaseigenschaften abhängt. Die Verfahren sind in Tabelle A.1 und im Text nach quantitativen und qualitativen Verfahren eingestuft. Quantitative Verfahren liefern Messungen der Gesamtleckage. Qualitative Verfahren ermöglichen die Lokalisierung einzelner Lecks. Falls möglich sollten die qualitativen Verfahren anhand von Prüflecks überprüft werden.

Die empfohlenen Verfahren für die Dichtheitsprüfung werden mit schematischen Darstellungen in Tabelle A.2 aufgeführt. Die Tabelle enthält eine Kurzfassung des Prüfverfahrens, die Nachweisgrenze und Anwendbarkeit jedes Verfahrens und soll als Anleitung für die Auswahl eines Prüfverfahrens für einen bestimmten Behälter dienen.

A.2 Kommentare und Vorsichtsmaßnahmen

A.2.1 Explosionsrisiken

Für Prüflinge mit hohem Auslegungsdruck oder großem Gasvolumen oder beiden sind Vorkehrungen gegen Explosionsgefahren zu treffen. Bei einem großen Gasvolumen können auch mäßige Gasdrücke gefährlich sein. Verringern Sie den Druck auf einen bekanntermaßen sicheren Wert oder füllen Sie den Prüfling mit einer Flüssigkeit oder einem Feststoff, sodass nur ein kleines Gasvolumen für die Prüfung verbleibt. Aus Sicherheitserwägungen könnte es besser sein, den Prüfling einer hydrostatischen Druckprüfung auszusetzen. Wird eine Flüssigkeit verwendet, ist sicherzustellen, dass sie die Dichtheitsprüfung nicht beeinträchtigen kann.

Die Prüfungen können bei anderen Drücken und Temperaturen als den im Betrieb verwendeten durchgeführt werden, wenn der Einfluss der Differenzen auf die Geometrie und Leistung des Umschließungssystems vernachlässigbar ist oder wenn die Betriebsbedingungen keine ausreichende Druckdifferenz für aussagekräftige Ergebnisse liefern. Die Strömungsrichtung aus dem Leck während der Prüfung sollte die gleiche wie im Betrieb sein; eine Strömung in Gegenrichtung muss begründet werden.

Tabelle A.1 — Prüfeempfindlichkeiten für Dichtheitsprüfungen

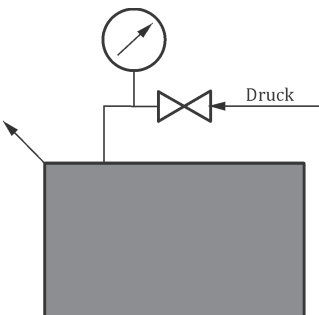
Unterabschnitt	Prüfverfahren	Nachweisgrenze des Prüfverfahrens $\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ SLR
	Quantitative Verfahren	
A.3.1	Druckabfallprüfung	10^{-2} bis 10^{-6} ^a
A.3.2	Druckanstiegsprüfung	10^{-2} bis 10^{-6} ^a
A.3.3	Vakuumverfahren (integral)	10^{-4} bis 10^{-10}
A.3.4	Überdruckverfahren (evakuierte Hülle Gasdetektor)	10^{-4} bis 10^{-9}
A.3.5	Drucklagerungsprüfung (Bombing)	10^{-4} bis 10^{-9}
	Qualitative Verfahren	
A.4.1	Blasenprüfverfahren	10^{-4} ^{b,c}
A.4.2	Blasenprüfung (Auftragen von Flüssigkeit)	10^{-4} ^b
A.4.3	Prüfgas (Schnüffelfverfahren)	10^{-4} bis 10^{-7}
A.4.4	Prüfgas (Vakuumverfahren, lokal)	10^{-4} bis 10^{-7}

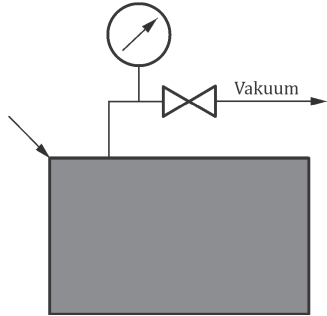
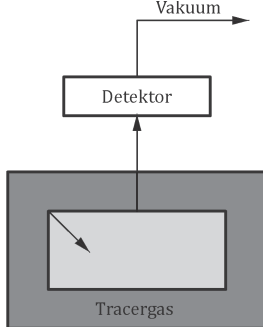
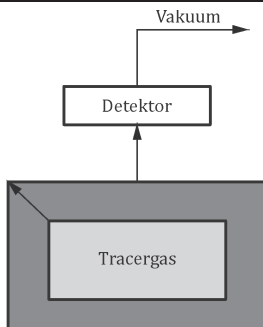
^a Die Empfindlichkeit hängt von Volumen, Druck, Zeit, Gaseigenschaften und Temperaturstabilität ab.

^b Eine höhere zuverlässige Empfindlichkeit kann durch Verwendung von Prüflecks zur Überprüfung der verwendeten Prüfausrüstung und -technik erzielt werden.

^c Gasblasenverfahren umfassen Heißwasserblasen-, Vakuumblasen- und Überdruckblasenverfahren.

Tabelle A.2 — Übersicht Dichtheitsprüfungen

Entsprechender Unterabschnitt	Abbildung
A.3 Quantitative Verfahren	
A.3.1 Druckabfallprüfung Bei diesem Verfahren wird der Prüfling oder der Zwischenraum unter Druck gesetzt und der Druckabfall gemessen. Die Empfindlichkeit des Verfahrens ist umgekehrt proportional zum Prüfvolumen. Dieses Verfahren ist besonders hilfreich für Prüfungen von doppelten O-Ring-Dichtungen, bei denen durch das kleine Zwischenraumvolumen das Verfahren sehr empfindlich ist und die primäre Dichtung nicht undicht werden darf. Nachweisgrenze des Prüfverfahrens: $10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ bis $10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ SLR.	

Entsprechender Unterabschnitt	Abbildung
A.3.2 Druckanstiegsprüfung Bei diesem Verfahren wird der Prüfraum auf 10^3 Pa oder weniger evakuiert und der Druckanstieg während eines festgelegten Prüfzeitraums gemessen. Das Verfahren ist für Prüflinge mit Druckanschlüssen geeignet, kann aber auch für die Prüfung von doppelten O-Ring-Dichtungen eingesetzt werden. Die Prüfempfindlichkeit ist umgekehrt proportional zum Prüfvolumen. Nachweisgrenze des Prüfverfahrens: $10^{-2} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ bis $10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ SLR.	
A.3.3 Vakuumverfahren (integral) Bei diesem Verfahren wird der an einen Gasdetektor angeschlossene Prüfling evakuiert und der Prüfling in eine mit einem Prüfgas (meist Helium oder ein Halogen-Gemisch) gefüllte Hülle gelegt. Das Verfahren ist für große Prüflinge mit einer wiederherstellbaren Dichtung geeignet. Werden mehrere Dichtungen verwendet (z. B. eine doppelte O-Ring-Dichtung), kann das Verfahren für jede Dichtung angewandt werden. Nachweisgrenze des Prüfverfahrens: $10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ bis $10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ SLR.	
A.3.4 Überdruckverfahren Bei diesem Verfahren wird der Prüfling mit Prüfgas (meist Helium oder Halogen) beaufschlagt, während er sich in einer an einen Gasdetektor angeschlossenen Vakuumkammer befindet. Das Verfahren ist für große Prüflinge mit einer wiederherstellbaren Dichtung geeignet. Werden mehrere Dichtungen verwendet (z. B. eine doppelte O-Ring-Dichtung), kann das Verfahren für jede Dichtung angewandt werden. Nachweisgrenze des Prüfverfahrens: $10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ bis $10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ SLR.	
A.3.5 Drucklagerungsprüfung (Bombing-Verfahren) Bei diesem Verfahren wird der Prüfling von außen über eine bestimmte Zeit in einer Hülle mit dem Prüfgas (meist Helium) beaufschlagt und anschließend in eine an einen Gasdetektor angeschlossene evakuierte Hülle verlegt. Das Verfahren ist ideal für geschweißte Kapselungen von sehr kleiner Größe bis zur Grenze der Druckkammer. Das innere freie Volumen des Prüflings sollte mindestens 10 mm^3 betragen. Dieses Verfahren kann im Labor ebenso wie in der Fertigung angewandt werden. Das Verfahren sollte sorgfältig validiert und durchgeführt werden. Nachweisgrenze des Prüfverfahrens: $10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ bis $10^{-9} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ SLR.	