

Integrale Leckratenprüfung des Sicherheitsbehälters mit der Absolutdruckmethode

Sicherheitstechnische Anforderungen

DIN
25 436

Integral leakage rate test of containment with the absolute pressure method

Diese Norm ist wortgleich mit der KTA-Regel 3405. Die KTA-Regel wurde im Auftrag des Kerntechnischen Ausschusses vom Normenausschuß Kerntechnik vorbereitet.

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich	1	5 Prüfungsvorbereitung	3
2 Begriffe	1	5.1 Meßgeräte	3
3 Anforderungen	2	5.2 Druckerzeuger	3
3.1 Meßsysteme	2	5.3 Prüfobjekt	3
3.1.1 Allgemeines	2	5.4 Anlagenteile	3
3.1.2 Gasdruckmessung	2	6 Durchführung der Prüfung	4
3.1.3 Gastemperaturmessung	2	7 Auswertung der Meßergebnisse	4
3.1.4 Gasfeuchtemessung	2	7.1 Allgemeines	4
3.1.5 Ermittlung der Gasvolumenänderung	2	7.2 Berechnung der reduzierten Drücke	4
3.2 Prüfer	2	7.3 Berechnung der Leckrate	5
4 Prüfprogramm	3	7.4 Berechnung der Vertrauensgrenzen der Leckrate	5
4.1 Allgemeines	3	7.4.1 Vertrauensgrenzen der integralen Leckrate	5
4.2 Prüfdruck	3	7.4.2 Vertrauensgrenzen des Leckratenwertes	5
4.2.1 Erste Prüfung	3	7.5 Umrechnung auf Auslegungsdruck	6
4.2.2 Wiederkehrende Prüfung	3	8 Bewertung des Ergebnisses	6
4.3 Beruhigungsdauer	3	8.1 Erste integrale Leckratenprüfung	6
4.4 Meßdauer	3	8.2 Wiederkehrende integrale Leckratenprüfungen	6
4.4.1 Erste Prüfung	3	9 Dokumentation	6
4.4.2 Wiederkehrende Prüfung	3	Anhang A Formelzeichen, Einheiten und Indizes	7
4.5 Prüfzeitpunkt	3	Anhang B Formblätter für die Beschreibung des Prüfzustandes und die Protokollierung der Durchführung der Prüfung	8
4.5.1 Erste Prüfung	3		
4.5.2 Wiederkehrende Prüfung	3		

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für die integrale Leckratenprüfung der Sicherheitsbehälter für Kernreaktoren mit der Absolutdruckmethode zur Ermittlung der Dichtheit von Sicherheitsbehältern.

2 Begriffe

2.1 Absolutdruckmethode

Die Absolutdruckmethode ist eine Meßmethode zur Leckratenbestimmung, bei der die Leckrate aus den zeitlichen Druckänderungen des mit Druck beaufschlagten Sicherheitsbehälters unter Berücksichtigung der Temperatur- und Feuchteänderungen der eingeschlossenen Gasmasse berechnet wird.

2.2 Auflösung

Unter Auflösung wird die erforderliche Änderung der Meßgröße verstanden, die gerade noch eine Änderung der Anzeige des Meßgerätes bewirkt.

2.3 Beruhigungsdauer

Die Beruhigungsdauer ist die Zeit nach Erreichen des Prüfdruckes bis zum Beginn der Meßdauer.

2.4 Freies Volumen

Das freie Volumen des Sicherheitsbehälters ist der Rauminhalt des Sicherheitsbehälters abzüglich der Volumina aller Einbauten des Sicherheitsbehälters, die beim Druckaufbau nicht mit Gas gefüllt werden können.

2.5 Integrale Leckrate

Die integrale Leckrate ist die Summe aller Teilleckraten.

2.6 Leckrate

Die Leckrate ist die Gasmasse, die pro Tag (d) aus dem Sicherheitsbehälter entweicht, bezogen auf die bei Prüfbeginn vorhandene Gasmasse im Sicherheitsbehälter.

2.7 Meßdauer

Die Meßdauer ist der zur Auswertung der integralen Leckratenprüfung verwendete Abschnitt der Messung.

Fortsetzung Seite 2 bis 30

Normenausschuß Kerntechnik (NKe) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, gestattet.

2.8 Meßfrequenz

Als Meßfrequenz wird die Anzahl n der Meßzyklen vermindert um eins pro Zeitintervall Δt definiert:

$$v = \frac{n-1}{\Delta t}$$

2.9 Prüfdauer

Die Prüfdauer setzt sich zusammen aus den Zeiten für die Druckaufbringung, Beruhigung, Messung und Druckabsenkung.

2.10 Prüfleckrate

Die Prüfleckrate ist die Leckrate beim Prüfzustand, wobei der Prüfzustand der thermodynamische Zustand des Gasinhaltes des Sicherheitsbehälters ist, bei dem die Prüfung durchgeführt wird.

2.11 Reduzierter Druck

Der reduzierte Druck ist der unter Berücksichtigung der Änderungen von Temperatur, Feuchte und Behältervolumen auf einen Bezugszustand umgerechnete Absolutdruck.

2.12 Teilleckrate

Die Teilleckrate ist die Leckrate einer Leckstelle.

3 Anforderungen

3.1 Meßsysteme

3.1.1 Allgemeines

Bei der Wahl von Art, Zahl und Verteilung der Meßsysteme ist zu berücksichtigen, daß die Leckrate um so genauer bestimmbar ist, je

- kleiner die Standardabweichung s der reduzierten Drücke,
- größer die Meßdauer Δt ,
- größer die Zykluszahl n ,
- größer die Leckrate L und je
- größer der Prüfdruck p_a

ist.

3.1.2 Gasdruckmessung

Die Erfassung der Größe und der zeitlichen Änderung des Absolutdruckes im Sicherheitsbehälter soll durch Messung des Gasdruckes p_a oder Messung der Gasdrücke $p_{\bar{u}}$ und p_u erfolgen.

Die verwendeten Meßgeräte und -systeme müssen folgende Anforderungen erfüllen:

Auflösung	$\leq 0,01\%$
Meßunsicherheit	$\leq 0,03\%$
Fehlergrenzen	$\leq 1\%$

Die Gasdruckmeßstelle soll auf halber Höhe des Sicherheitsbehälters angeordnet sein. Das Druckmeßgerät ist über eine druckfeste und gasdichte Leitung so mit der Gasdruckmeßstelle zu verbinden, daß die Bildung von Wassersäcken durch Kondensat verhindert wird.

3.1.3 Gastemperaturmessung

3.1.3.1 Allgemeines

Die verwendeten Meßgeräte und -systeme müssen folgende Anforderungen erfüllen:

Auflösung	$\leq 0,05\text{ K}$
Meßunsicherheit	$\leq 0,1\text{ K}$
Fehlergrenzen	$\pm 3\text{ K}$

Die Meßfühler sind gegen Wärmestrahlung abzuschirmen.

3.1.3.2 Anzahl und Verteilung der Meßfühler

Bei der Festlegung von Anzahl und Verteilung der Meßfühler ist zu berücksichtigen, daß die Genauigkeit der Bestimmung der mittleren Gastemperatur vom meßtechnischen Auf-

wand und von der Größe der zeitlichen Änderung des Temperaturfeldes abhängt. Es sollen:

- bei unisoliertem Sicherheitsbehälter oder Sicherheitsbehältern kurz nach Außerbetriebsetzung der Anlage und ohne Luftumwälzung mindestens 1 Meßfühler je 1500 m^3 , jedoch nicht weniger als 20 Meßfühler und
- bei gut isoliertem Sicherheitsbehälter vor Inbetriebnahme oder nach längerem Stillstand der Anlage mit Luftumwälzung mindestens 1 Meßfühler je 3000 m^3 , jedoch nicht weniger als 10 Meßfühler

verwendet werden.

Die Einzelfühler sind im Sicherheitsbehälter in Horizontalschichten annähernd gleicher Schichtdicke so anzuordnen, daß die Anzahl der Fühler je Schicht ungefähr proportional zum Schichtvolumen ist. Die Schichtdicke soll $\leq 5\text{ m}$ sein. (Die Schichtdicke von $\leq 5\text{ m}$ gilt bei einem Größtwert des vertikalen Temperaturgradienten von $1,5\text{ K/m}$.) Bei gut isoliertem Sicherheitsbehälter vor Inbetriebnahme oder nach längerem Stillstand der Anlage mit Luftumwälzung sind größere Schichtdicken bis $\leq 10\text{ m}$ zulässig.

Bei Schichten, in welchen nur 1 Fühler vorgesehen ist, ist dieser im Schwerpunkt der Schicht anzuordnen. Schichten mit mehreren Fühlern (in der gleichen Ebene) sind so zu unterteilen, daß je Fühler annähernd gleiche Teilvolumina entstehen. Die Fühler sind jeweils im Schwerpunkt des Teilvolumens anzuordnen. Die Toleranz der Lage des Meßortes soll $\leq \pm 0,5\text{ m}$ sein.

Wird der Temperaturs Ausgleich durch Decken oder Wände behindert, sind die Meßfühler in den einzelnen Räumen so anzuordnen, daß die mittlere Raumtemperatur erfaßt wird. Dabei sind die vorhergenannten Kriterien für die Anzahl und Verteilung der Fühler im Raum zugrunde zu legen. Bei kleineren Räumen gleichen thermischen Verhaltens dürfen mehrere Räume je Fühler zusammengefaßt werden. Räume mit Wärmequellen $> 10\text{ kW}$ sind auch dann mit Meßfühlern zu versehen, wenn ihr Raumvolumen kleiner als 1500 m^3 ist.

3.1.4 Gasfeuchtemessung

3.1.4.1 Allgemeines

Die verwendeten Meßgeräte und -systeme müssen folgende auf den Wasserdampfdruck umgerechnete Forderungen erfüllen:

Auflösung	$\leq 0,3\text{ mbar}$
Meßunsicherheit	$\leq 0,5\text{ mbar}$
Fehlergrenzen	$\pm 1\%$ vom Prüfdruck

3.1.4.2 Anzahl und Verteilung der Meßfühler

Die Anzahl der Meßfühler soll 1 Gasfeuchtefühler je 10 Temperaturfühler betragen.

Die Verteilung der Meßfühler soll analog zur Verteilung der Temperaturfühler erfolgen.

Im Sicherheitsbehälter befindliche Räume mit Feuchtigkeitsquellen, wie z. B. Lagerbecken und Kondensationskammer, sollen durch zusätzliche Meßfühler erfaßt werden.

3.1.5 Ermittlung der Gasvolumenänderung

Zur Ermittlung der Gasvolumenänderung beim unisolierten Sicherheitsbehälter ist die Wandtemperatur des Sicherheitsbehälters an 6 bis 8 gleichmäßig über die Oberfläche des Sicherheitsbehälters verteilten Stellen zu messen. Die verwendeten Meßgeräte und -systeme müssen folgende Anforderungen erfüllen:

Auflösung	$\leq 1\text{ K}$
Meßunsicherheit	$\leq 3\text{ K}$
Fehlergrenzen	$\pm 5\text{ K}$

3.2 Prüfer

Der Prüfer muß theoretische Grundkenntnisse und praktische Erfahrungen besitzen, um die von ihm durchzufüh-

renden Prüfungen entsprechend den in dieser Norm genannten Anforderungen zu beherrschen. Dieses ist anhand der Prüfpraxis und der Ausbildung dem Sachverständigen nach § 20 des AtG nachzuweisen.

4 Prüfprogramm

4.1 Allgemeines

Rechtzeitig vor der Prüfung ist mit dem Sachverständigen nach § 20 AtG ein Prüfprogramm zu vereinbaren. Dieses muß insbesondere enthalten:

- Sollzustand des Prüfobjektes
- Anforderungen an die Meßsysteme
- Meßfrequenz
- Prüfintervalle
- Prüfzeitpunkt
- Fahrtdiagramm (Prüfdruck, Beruhigungsdauer, Prüfdruck, zulässige Druckänderungsgeschwindigkeit)
- zulässige Leckrate
(Der Betrag der zulässigen Leckrate des Sicherheitsbehälters ist auf der Basis der Störfallanalyse der jeweiligen Reaktoranlage und der gemäß § 28 StrlSchV vorgesehenen Schutzziele festzulegen.)
- Hinweise auf mögliche Leckstellen
- Art und Umfang der Dokumentation
- Maßnahmen zum Personenschutz

4.2 Prüfdruck

4.2.1 Erste Prüfung

Die erste Prüfung ist, ausgehend vom drucklosen Zustand, in zwei aufeinanderfolgenden Druckstufen durchzuführen und zwar bei 0,5 bar Überdruck und dem Auslegungsdruck. Für Anlagen mit einem Auslegungsdruck kleiner gleich 0,5 bar ist der Prüfdruck mit dem Sachverständigen nach § 20 AtG festzulegen.

4.2.2 Wiederkehrende Prüfung

Die wiederkehrende Prüfung der integralen Leckrate muß bei Auslegungsdruck möglich sein. Die wiederkehrende Prüfung ist ausgehend vom drucklosen Zustand mit einem Überdruck von 0,5 bar durchzuführen. Für Anlagen mit einem Auslegungsdruck kleiner gleich 0,5 bar ist der Prüfdruck mit dem Sachverständigen nach § 20 AtG festzulegen.

4.3 Beruhigungsdauer

Nach mittleren Druckänderungsgeschwindigkeiten größer 0,05 bar/h muß eine Beruhigungsdauer von mindestens 6 Stunden eingehalten werden, damit Störeinflüsse, wie z. B. die Gasspeicherung im Beton, vernachlässigt werden können.

4.4 Meßdauer

4.4.1 Erste Prüfung

Die Meßdauer soll 36 Stunden betragen, darf jedoch bis auf 18 Stunden verkürzt werden, wenn die Bedingung der Formel (9) erfüllt ist.

4.4.2 Wiederkehrende Prüfung

Die Meßdauer soll 24 Stunden betragen, darf jedoch bis auf 10 Stunden verkürzt werden, wenn der Vertrauensbereich bezogen auf die zulässige Leckrate kleiner gleich 0,6 ist und die gemessene obere Vertrauensgrenze kleiner gleich der zulässigen Leckrate ist.

4.5 Prüfzeitpunkt

4.5.1 Erste Prüfung

Die erste Prüfung muß nach der Druckprüfung durchgeführt werden.

4.5.2 Wiederkehrende Prüfung

Die wiederkehrende Prüfung ist in den für den Sicherheitsbehälter festgelegten Prüfzeitpunkten und -intervallen durchzuführen.

5 Prüfungsvorbereitung

5.1 Meßgeräte

Die Meßwerterfassung soll zentral außerhalb des Sicherheitsbehälters erfolgen. Dazu muß ein klimatisierbarer und ausreichend staubfreier Raum zur Verfügung stehen. Ort und Zugänglichkeit des Meßraumes müssen den einschlägigen Bestimmungen genügen.

Lage und Funktionsfähigkeit der Meßfühler sind zu prüfen. Das Ergebnis ist in den Formblättern des Anhangs B zu protokollieren.

Die Richtigkeit der Meßergebnisse aller installierten Meßsysteme ist stichprobenartig zu überprüfen. Bei Verwendung von Rechnern ist durch ein Testprogramm die ordnungsgemäße Funktion des Rechners zu prüfen.

Zur Absicherung der automatischen Datenerfassung und -verarbeitung ist zusätzlich eine vereinfachte Protokollierung von Hand vorzusehen.

5.2 Druckerzeuger

Bei der Bedienung der Druckerzeuger zur Herstellung des Prüfdruckes ist sicherzustellen, daß der Prüfdruck und die zulässige Druckänderungsgeschwindigkeit entsprechend Prüfprogramm nicht überschritten werden.

Ölabscheider, Luftkühler und Filter von Kompressoren sind so auszuwählen, daß ein möglichst geringer Feuchte- und Ölgehalt in der einzuspeisenden Luft gewährleistet ist.

5.3 Prüfobjekt

Grundsätzlich müssen sowohl für die erste als auch für alle nachfolgenden Leckratenprüfungen alle Durchdringungen des Sicherheitsbehälters bis zum ersten inneren oder äußeren Festpunkt sowie ihre ersten inneren oder äußeren Absperrreinrichtungen vorhanden sein.

Die Durchdringungen des Sicherheitsbehälters sind durch die vorgesehenen Absperrreinrichtungen mit betriebsgerechtem Antrieb abzuschließen. Hiervon ausgenommen sind Systeme, die der Aufrechterhaltung des bestimmungsgemäßen Betriebes während der Prüfung dienen und nicht abgeschlossen werden dürfen. Bei der ersten Prüfung dürfen ausnahmsweise Blindverschlüsse nur bei solchen Systemen verwendet werden, die im späteren Betrieb nicht mit der Atmosphäre des Sicherheitsbehälters direkt in Verbindung stehen, weiterhin bei der Sumpfsaugleitung und an den für die Auslösung der Notkühlmaßnahmen notwendigen Wirkdruckleitungen, falls nachgewiesen wird, daß der Einfluß dieser Systeme auf die Dichtheit des Sicherheitsbehälters vernachlässigbar ist.

Die inneren Schleusentore sind zu öffnen, die äußeren Schleusentore sind zu schließen und unter Verwendung der betriebsmäßigen Mechanik zu verriegeln.

5.4 Anlagenteile

Es ist sicherzustellen, daß alle Räume und Behälter im Sicherheitsbehälter, soweit sicherheitstechnisch zulässig, mit Prüfdruck beaufschlagt werden können.

Die Teilleckraten von Systemen im Sicherheitsbehälter sind zu ermitteln.

Es ist zu prüfen, ob Anlagenteile (z. B. Behälter, Betriebsinstrumentierung, Beleuchtung) durch den Prüfdruck beschädigt werden können oder ob die Betriebsinstrumentierung falsche Werte liefert (z. B. Feuermelder). Gegebenenfalls sind Maßnahmen zu treffen, um Druckeinwirkungen zu verhindern.

Der Zustand der Anlagenteile im Sicherheitsbehälter ist entsprechend Anhang B zu protokollieren.

6 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung ist entsprechend dem Prüfprogramm durchzuführen. Der Zustand der Sicherheitsbehälter-Absperreinrichtungen, insbesondere der Schleusen, darf während der Beruhigungs- und Meßdauer nicht verändert werden.

Es ist eine Meßfrequenz von mindestens 2/h zu wählen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß eine längere Meßdauer oder eine höhere Meßfrequenz die Genauigkeit der Ergebnisse wesentlich verbessert.

Damit Störeinflüsse wie z. B.:

- Umschichtung des Prüfgases nach Pumpende,
- Gasspeicherung in den Betoneinbauten des Sicherheitsbehälters und
- veränderliche systematische Meßfehler

erkannt und berücksichtigt werden können, muß je nach Art der Prüfung (erste oder wiederkehrende Prüfung) die im Prüfprogramm festgelegte Meßdauer eingehalten werden (siehe Abschnitt 4.4). Bei der wiederkehrenden Prüfung ergibt sich die Meßdauer und Meßfrequenz aus der geforderten Ergebnissenauigkeit. Die Leckratenprüfung darf abgebrochen werden, wenn die ermittelte obere Vertrauensgrenze kleiner oder gleich der zulässigen Leckrate ist (siehe Abschnitt 4.4).

Bei Auftreten meßtechnischer Störungen ist die Meßdauer nach Behebung der Störung entsprechend zu verlängern.

Während der Messung sind alle Meßgrößen in die zugehörigen physikalischen Größen zu überführen und die Zustandsgrößen des Gasgemisches im Sicherheitsbehälter zu bestimmen.

Die Zustandsgrößen und der ermittelte reduzierte Druck sind zur laufenden Überwachung während der Prüfung grafisch darzustellen.

Die Meßwertverarbeitung sollte durch eine programmgesteuerte Rechenanlage erfolgen.

Bei Ausfall von einzelnen Meßfühlern während der Prüfung darf die Prüfung fortgesetzt werden, wenn aus deren vorausgegangenem Meßwertverlauf erkennbar ist, daß die Meßwerte der ausgefallenen Fühler durch lineare Interpolation aus den Meßwerten der benachbarten Fühler ermittelt werden können. Die reduzierten Drücke dürfen gegenüber dem vorhergehenden Verlauf nur einen Versatz von höchstens 0,03 % aufweisen.

Abweichende Maßnahmen dürfen nur zugelassen werden, wenn deren Einfluß auf das Prüfergebnis nachweisbar gering ist.

Läßt sich während der Prüfzeit die Zufuhr von Gasen von außen in den Sicherheitsbehälter nicht vermeiden oder wird Gas über ein Leckabsaugesystem abgeführt, so ist deren Masse durch Messung des Volumenstromes und des Gaszustandes (Druck, Temperatur) zu bestimmen. Eine Rückspeisung in den Sicherheitsbehälter ist nicht zulässig.

7 Auswertung der Meßergebnisse

7.1 Allgemeines

Folgende Meßgrößen sind zu bestimmen:

- Gasdruck p_a
- Gastemperatur T_r
- Partialdruck p_d
- Volumenverhältnis V/V_0

Die Auswertung ist in drei Schritten durchzuführen:

- Berechnung der reduzierten Drücke
- Berechnung der Leckrate
- Berechnung der Vertrauensgrenzen der Leckrate

7.2 Berechnung der reduzierten Drücke

Da sich die Zustandsgrößen Temperatur, Feuchte und das Behältervolumen gegenüber dem Bezugszustand zeitlich ändern können, sind die Drücke auf diesen umzurechnen.

Der so reduzierte Druck ist dann:

$$p_b = (p_a - p_d) \frac{V \cdot T_0}{V_0 \cdot T} \quad (1)$$

Zur Bestimmung des Partialdruckes ist die relative Feuchte φ_j auf den Wasserdampfdruck p_{dj} nach folgenden Gleichungen umzurechnen:

$$p_{dj} = \varphi_j \cdot p_{sj} \quad (2)$$

$$\ln p_{sj} = 56,88 - \frac{6891,3}{T_{rj}} - 5,32 \cdot \ln T_{rj} \quad (3)$$

(p_s in mbar)

Die mittlere absolute Gastemperatur des Gasgemisches im Sicherheitsbehälter ist durch massenproportionale Mittelung nach folgender Gleichung zu bestimmen:

$$T_r = \frac{\sum V_j}{\sum \frac{V_j}{T_{rj}}} \quad (4)$$

Bei Temperaturgradienten $< 0,5 \text{ K/m}$ ist jedoch eine volumenproportionale Mittelwertbildung nach:

$$T_r = \frac{\sum V_j \cdot T_{rj}}{\sum V_j} \quad (5)$$

zulässig.

Der mittlere Wasserdampfdruck ist nach folgender Gleichung volumenproportional zu ermitteln:

$$p_d = \frac{\sum V_j \cdot p_{dj}}{\sum V_j} \quad (6)$$

Die der mittleren Wandtemperaturänderung entsprechende relative Gasvolumenänderung ist unter Vernachlässigung der Einspannzonen des Sicherheitsbehälters und der Temperaturdehnung der Einbauten nach folgender Gleichung:

$$\frac{V}{V_0} \approx 1 + \gamma_w (T_w - T_{w0}) \quad (7)$$

$$T_w = \frac{\sum T_{wj}}{k} \quad (8)$$

zu bestimmen.

Bei Änderungen der mittleren Wandtemperatur $\leq 6 \text{ K}$ darf die dadurch bewirkte Volumenänderung vernachlässigt werden (Ergebnisfehler $\leq 0,02 \%$).

Bei den geltenden Auslegungsbedingungen (z. B. Konstruktionsform und Werkstoffwahl) darf die druckabhängige Volumenänderung des Sicherheitsbehälters vernachlässigt werden.

Treten beim reduzierten Druck Abweichungen vom linearen Verlauf auf, muß in jedem Fall geprüft werden, ob für 2 unmittelbar aneinander anschließende Berechnungsabschnitte (1) und (2) von je mindestens 5 Stunden Meßdauer mit gleicher Meßfrequenz und gleicher Anzahl von Meßzyklen [$n(1) = n(2) = n$] die Neigungen der Ausgleichsgeraden B(1) und B(2) übereinstimmen. Die folgende Bedingung muß erfüllt sein:

$$\frac{|B(1) - B(2)|}{\sqrt{(s(1))^2 + (s(2))^2}} \cdot \sqrt{\sum t_i^2 - \frac{1}{n}(\sum t_i)^2} < t_{\alpha_1} \quad (9)$$

Die Faktoren für t_{α_1} sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1. Statistischer Faktor t_{α_1} für verschiedene Anzahl n von Meßzyklen

Anzahl n der Meßzyklen je Berechnungsabschnitt	Wert für t_{α_1}
3	4,3
4	2,8
5	2,4
6	2,3
7	2,2
10	2,1
20	2,03
30	2,0
50	1,98
100	1,97
über 100	1,96

Bei Nichterfüllung der Bedingung der Formel (9) müssen aus dem Gesamtverlauf der reduzierten Druckwerte zwei Abschnitte herausgegriffen werden, die diese Bedingung erfüllen.

Beide Abschnitte müssen sich über insgesamt 36 Stunden erstrecken und in zeitlicher Folge drei aufeinander folgende volle Halbwellen erfassen.

Falls nach Auswahl des Abschnittes die Bedingung noch nicht erfüllt ist, muß die Meßdauer um mindestens 12 Stunden verlängert werden.

7.3 Berechnung der Leckrate

Die nach Abschnitt 7.2 ermittelten reduzierten Druckwerte sind linear auszugleichen, da bei Leckraten $\leq 5\%/d$ der zeitliche Druckabfall so gering ist, daß der exponentielle Druckverlauf durch einen linearen Druckverlauf angenähert werden kann.

Die Steigung B und der Ordinatenabschnitt A der Ausgleichsgeraden sind nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate nach folgenden Gleichungen (nach A. Linder, Statistische Methoden, Birkhauser Verlag, Basel 1964) zu bestimmen:

$$B = \frac{n \cdot \sum (t_i \cdot p_{bi}) - \sum t_i \cdot \sum p_{bi}}{n \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2} \quad (10)$$

$$A = \frac{1}{n} (\sum p_{bi} - B \cdot \sum t_i) \quad (11)$$

Aus Steigung und Ordinatenabschnitt der Ausgleichsgeraden ist die integrale Leckrate nach folgender Formel zu bestimmen:

$$L_{\text{integral}} = - \frac{B}{A} \quad (12)$$

Bei der integralen Leckratenprüfung werden gemessene Teilleckraten berücksichtigt. Die Massenänderung Δm ist entsprechend folgender Formel umzurechnen:

$$L_{\text{Teil}} = \frac{1}{\Delta t} \frac{\Delta m}{m} \quad (13)$$

Werden Volumenströme gemessen, kann folgende Formel verwendet werden:

$$L_{\text{Teil}} = \frac{\dot{V}_{Gz} \cdot \bar{P}_{l,Gz} \cdot \bar{T}_{SB}}{V_{SB} \cdot \bar{P}_{la} \cdot \bar{T}_{Gz}} \quad (14)$$

Dabei muß das freie Volumen des Sicherheitsbehälters bekannt sein. Die Unsicherheit darf höchstens $\pm 5\%$ betragen. Teilleckraten, die einen Massenzuwachs im Sicherheitsbehälter bewirken, erhalten ein positives Vorzeichen. Teilleckraten, die einen Massenverlust im Sicherheitsbehälter

bewirken, dürfen nur dann berücksichtigt werden, wenn die Leckstellen nach der Prüfung dauerhaft beseitigt werden. Sie erhalten ein negatives Vorzeichen. Die Leckrate ist aus folgender Gleichung zu bestimmen:

$$L = L_{\text{integral}} + \sum L_{\text{Teil}} \quad (15)$$

7.4 Berechnung der Vertrauensgrenzen der Leckrate

7.4.1 Vertrauensgrenzen der integralen Leckrate

Die Standardabweichung der reduzierten Drücke ist (nach A. Linder, 1964) nach folgenden Formeln zu berechnen:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (A + B \cdot t_i - p_{bi})^2}{n - 2}} \quad (16)$$

für die Steigung der Ausgleichsgeraden

$$s_B = s \cdot \sqrt{\frac{n}{n \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2}} \quad (17)$$

für den Ordinatenabschnitt der Ausgleichsgeraden

$$s_A = s \cdot \sqrt{\frac{\sum t_i^2}{n \cdot \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2}} \quad (18)$$

Der Vertrauensbereich für die nach Abschnitt 7.3 errechnete integrale Leckrate ist 2mal s_L . s_L berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$s_L = \left(1 + \frac{s_A}{A} \cdot \frac{|B|}{s_B} \right) \cdot \frac{s_B}{A} \cdot t_{\alpha_2} \quad (19)$$

$$\text{Ist } \frac{|B|}{s_B} \cdot \frac{s_A}{A} \ll 1 \text{ darf } s_L = \frac{s_B}{A} \cdot t_{\alpha_2} \quad (20)$$

als Näherung angenommen werden.

Die Faktoren für t_{α_2} sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2. Statistischer Faktor t_{α_2} für verschiedene Anzahl n von Meßzyklen

Anzahl n der Meßzyklen	Wert für t_{α_2}
4	13,1
6	5,6
8	4,3
10	3,83
15	3,37
20	3,20
30	3,05
50	2,94
100	2,87
200	2,84
500	2,82
über 500	2,81

Die Vertrauensgrenzen sind wie folgt zu berechnen:

$$L + s_L \text{ und } L - s_L \quad (21)$$

7.4.2 Vertrauensgrenzen des Leckratenwertes

Die Vertrauensgrenzen der Leckrate sind aus dem Vertrauensbereich für die integrale Leckrate und dem Fehler der Teilleckraten-Messung zu berechnen.

$$\frac{s_{L_{\text{Teil}}}}{L_{\text{Teil}}} = \sqrt{\left(\frac{G_{VGz}}{V_{Gz}}\right)^2 + \left(\frac{G_{VSB}}{V_{SB}}\right)^2 + \left(\frac{G_{PlGz}}{Pl_{Gz}}\right)^2 + \left(\frac{G_{Pla}}{Pl_a}\right)^2 + \left(\frac{G_{Tr}}{Tr}\right)^2 + \left(\frac{G_{TGz}}{TGz}\right)^2} \quad (22)$$

$$s_L = \sqrt{(s_{L_{\text{integr.}}})^2 + (s_{L_{\text{Teil}}})^2} \quad (23)$$

7.5 Umrechnung auf Auslegungsdruck

Neben der zulässigen Leckrate $L_{1\text{zul}}$ beim Auslegungsdruck $p_{\text{ü}1}$ ist die Leckrate $L_{2\text{zul}}$ beim Druck $p_{\text{ü}2}$ nach folgender Beziehung zu bestimmen:

$$\text{Falls } \frac{L_2}{L_1} \leq \left(\frac{p_{\text{ü}2}}{p_{\text{ü}1}} \right)^{1/2} \text{ ist, ergibt sich für}$$

$$L_{2\text{zul}} = L_{1\text{zul}} \cdot \frac{L_2}{L_1} \quad (24)$$

$$\text{Falls } \frac{L_2}{L_1} > \left(\frac{p_{\text{ü}2}}{p_{\text{ü}1}} \right)^{1/2} \text{ ist, ergibt sich für}$$

$$L_{2\text{zul}} = L_{1\text{zul}} \left(\frac{p_{\text{ü}2}}{p_{\text{ü}1}} \right)^{1/2} \quad (25)$$

wobei L_2 die bei der ersten integralen Leckratenprüfung beim Druck der wiederkehrenden gemessenen Leckrate, L_1 die bei der ersten integralen Leckratenprüfung bei Auslegungsdruck gemessene Leckrate, $p_{\text{ü}2}$ der Druck der wiederkehrenden Prüfung und $p_{\text{ü}1}$ der Auslegungsdruck ist. Der Vertrauensbereich darf bei der ersten integralen Leckratenprüfung 4 % der zulässigen Leckrate nicht überschreiten, d. h.

$$\text{bei Auslegungsdruck } \frac{s_{L1}}{L_{1\text{zul}}} \leq 0,02 \quad (26)$$

$$\text{beim Druck der wiederkehrenden Prüfung } \frac{s_{L2}}{L_{1\text{zul}}} \leq 0,02 \quad (27)$$

Der Vertrauensbereich darf bei der wiederkehrenden Prüfung 60 % der zulässigen Leckrate $L_{2\text{zul}}$ nicht überschreiten, d. h.

$$\frac{s_L}{L_{2\text{zul}}} \leq 0,3 \quad (28)$$

Hinweis: Wenn eine der gemessenen Leckraten (L_1 , L_2) oder beide gemessenen Leckraten sehr klein sind ($\leq 0,01\%/d$), müssen Sondervereinbarungen zwischen den Beteiligten getroffen werden.

8 Bewertung des Ergebnisses

8.1 Erste integrale Leckratenprüfung

Der Sicherheitsbehälter ist ausreichend dicht, wenn die obere Vertrauensgrenze der gemessenen Leckrate die zulässige Leckrate nicht überschreitet, d. h. wenn

$$(L + s_L) \leq L_{1\text{zul}} \text{ ist.}$$

8.2 Wiederkehrende integrale Leckratenprüfungen

Der Sicherheitsbehälter ist ausreichend dicht, wenn die obere Vertrauensgrenze der gemessenen Leckrate die zulässige Leckrate nicht überschreitet, d. h. wenn

$$(L + s_L) \leq L_{2\text{zul}} \text{ ist.}$$

9 Dokumentation

Die Vorbereitung und die Durchführung der Prüfungen sind zu protokollieren. Das Protokoll ist vom Prüfer und vom Sachverständigen vor Ort abzuzeichnen. Hierzu sind Formblätter entsprechend dem Anhang zu benutzen. Die Protokolle der Meßgrößen sind beizufügen. Es ist ein Prüfbericht über das Ergebnis der Prüfung anzufertigen.

Anhang A

Formelzeichen und Einheiten

Formelzeichen	Bezeichnung	Einheit
A	Ordinatenabschnitt der Ausgleichsgeraden	bar
B	Steigung der Ausgleichsgeraden	bar/h
G	Fehlergrenze	—
k	Anzahl der Meßfühler	—
L, L_{Teil}	Leckrate, Teilleckrate	z. B. %/d
$m, \Delta m$	Gasmasse, Gasmassendifferenz	kg
n	Anzahl der Meßzyklen	—
p	Druck	bar
p_a	Absolutdruck gegenüber Vakuum	bar
p_b	reduzierter Druck	bar
p_d	Wasserdampfdruck	bar
p_l	Druck trockener Luft	bar
p_s	Sättigungsdruck	bar
p_u	Atmosphärendruck	bar
$p_{\bar{u}}$	Druck gegenüber Atmosphärendruck	bar
s	Standardabweichung der reduzierten Drücke	bar
s_A	Standardabweichung von A	bar
s_B	Standardabweichung von B	bar/h
$2s_L$	Vertrauensbereich	z. B. %/d
$t, \Delta t$	Zeit, Zeitdifferenz	h, d
t_α	statistischer Faktor	—
$T, \Delta T$	Temperatur, Temperaturdifferenz	K
T_r	Gastemperatur im Sicherheitsbehälter	K
T_w	Wandtemperatur	K
V	freies Volumen	m ³
γ_w	temperaturabhängiger kubischer Ausdehnungskoeffizient	1/K
ν	Meßfrequenz	1/h
φ	relative Feuchte	%

Indizes und Sonderzeichen

Als laufende Indizes werden i und j verwendet. Zeitabhängige Größen werden mit $i = 1, \dots, n$ indiziert, örtliche Größen mit $j = 1, \dots, k$.

Der Index 0 bezeichnet den Bezugszustand der Auswertung (z. B. V_0).

Zeitliche Mittelwerte werden durch einen waagerechten Strich (z. B. $\bar{T}$) gekennzeichnet, Ströme durch einen Punkt (z. B. $\dot{V}$ ist der Volumenstrom). Der Index SB (z. B. T_{SB}) kennzeichnet den Sicherheitsbehälter und Gz (z. B. $\dot{V}_{Gz}$) die Gasuhr.

Anhang B

Formblätter

Dieser Anhang enthält Formblätter für die Beschreibung des Prüfzustandes und für die Protokollierung der Durchführung der Prüfung. Diese umfassen:

- Formblatt 1: Deckblatt für das Protokoll
- Formblatt 2: Allgemeines
- Formblatt 3: Beschreibung des Prüfzustandes, Sicherheitsbehälter
- Formblatt 4: Beschreibung des Prüfzustandes, Montageöffnungen
- Formblatt 5: Beschreibung des Prüfzustandes, Materialschleusen
- Formblatt 6: Beschreibung des Prüfzustandes, Personenschleusen
- Formblatt 7: Beschreibung des Prüfzustandes, Personennotschleusen
- Formblatt 8: Beschreibung des Prüfzustandes, Schnellschlußklappen der Lüftungsanlage
- Formblatt 9: Beschreibung des Prüfzustandes, Rohrleitungsdurchführungen
- Formblatt 10: Beschreibung des Prüfzustandes, Kabeldurchführungen
- Formblatt 11: Beschreibung des Prüfzustandes, Leckabsaugesystem
- Formblatt 12: Beschreibung des Prüfzustandes; Dampferzeugersysteme; übrige druckführende Systeme
- Formblatt 13: Beschreibung des Prüfzustandes; Lagerbecken; Sonstige Einbauten des Sicherheitsbehälters; Lüftung des Sicherheitsbehälters; Reaktorschutz- oder Steuersysteme
- Formblatt 14: Beschreibung des Prüfzustandes, Isolierung/Betoneinbauten innerhalb des SB
- Formblatt 15: Beschreibung des Prüfzustandes, Ort und NW aller Öffnungen
- Formblatt 16: Beschreibung des Prüfzustandes, Verschluß aller Öffnungen
- Formblatt 17: Beschreibung des Prüfzustandes, Wärmequellen
- Formblatt 18: Beschreibung der Druckerzeuger und Installationsschema
- Formblatt 19: Beschreibung der Meßsysteme, Gasdruckmessung
- Formblatt 20: Beschreibung der Meßsysteme, Gastemperaturmessung
- Formblatt 21: Beschreibung der Meßsysteme, Gastemperaturmessung
- Formblatt 22: Beschreibung der Meßsysteme, Gastemperaturmessung
- Formblatt 23: Beschreibung der Meßsysteme, Gasfeuchtemessung
- Formblatt 24: Beschreibung der Meßsysteme, Gasfeuchtemessung
- Formblatt 25: Beschreibung der Meßsysteme, Gasfeuchtemessung
- Formblatt 26: Beschreibung der Meßsysteme, sonstige Meßsysteme
- Formblatt 27: Durchführung der Prüfung

Formblatt 1: Deckblatt für das Protokoll

Kernkraftwerk _____

Block _____

Standort _____

Protokoll
der
Leckratenprüfung
des Sicherheitsbehälters

Das Protokoll umfaßt Seiten, Blätter

Ort, Datum

Der Leiter der Leckratenprüfung

Der Sachverständige
§ 20 AtG