

DIN EN ISO 21013-3

ICS 23.020.40; 23.060.40

Ersatz für
DIN EN 13648-3:2003-01

**Kryo-Behälter –
Druckentlastungseinrichtungen für den Kryo-Betrieb –
Teil 3: Bestimmung von Größe und Durchfluss (ISO 21013-3:2016);
Deutsche Fassung EN ISO 21013-3:2016**

Cryogenic vessels –
Pressure-relief accessories for cryogenic service –
Part 3: Sizing and capacity determination (ISO 21013-3:2016);
German version EN ISO 21013-3:2016

Réceptacles cryogéniques –
Dispositifs de sécurité pour le service cryogénique –
Partie 3: Détermination de la taille et du volume (ISO 21013-3:2016);
Version allemande EN ISO 21013-3:2016

Gesamtumfang 49 Seiten

DIN-Normenausschuss Druckgasanlagen (NDG)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 21013-3:2016) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 220 „Cryogenic vessels“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 268 „Kryo-Behälter und spezielle Einsatzgebiete der Wasserstofftechnologie“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 016-00-05 AA „Kryo-Behälter“ im DIN-Normenausschuss Druckgasanlagen (NDG).

In Bezug auf die Festlegungen in den Abschnitten 3, 4.3, 5, 6.1, 7.1, 7.2, 7.2.5, 7.3 und A.2 dieser Norm sollte DIN SPEC 4683, *Flüssighelium-Kryostate — Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung*, zusätzlich angewendet werden.

Diese Norm enthält neben den gesetzlichen Einheiten auch die Einheiten „gal“ (US-Gallonen) und „psi“ (pound per square inch), die in Deutschland nicht zugelassen sind. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Anwendung dieser Einheiten im nationalen amtlichen und geschäftlichen Verkehr aufgrund des Gesetzes über Einheiten im Messwesen nicht zulässig ist. Die Angabe dieser Einheiten dient lediglich als Hilfe im amtlichen und geschäftlichen Verkehr (z. B. bei Einfuhr und Ausfuhr) mit solchen Staaten, die diese Einheiten anwenden.

Umrechnung:

1 psi = 6 894,757 Pa

1 gal = $3,785\,411\,784 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 3,785\,411\,784 \text{ l}$

Änderungen

Gegenüber DIN EN 13648-3:2003-01 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Zusammenführung der inhaltlich ähnlichen ISO 21013-3:2006 und der EN 13648-3:2003 zu einem Dokument;
- b) Berechnungen für Einkondensierung atmosphärischer Luft aufgenommen;
- c) mathematisches Berechnungsmodell angepasst;
- d) Dokument neu strukturiert und an die aktuellen Gestaltungsregeln angepasst.

Frühere Ausgaben

DIN EN 13648-3: 2003-01

Deutsche Fassung

Kryo-Behälter —
Druckentlastungseinrichtungen für den Kryo-Betrieb —
Teil 3: Bestimmung von Größe und Durchfluss
(ISO 21013-3:2016)

Cryogenic vessels —
Pressure-relief accessories for cryogenic service —
Part 3: Sizing and capacity determination
(ISO 21013-3:2016)

Réipients cryogéniques —
Dispositifs de sécurité pour le service cryogénique —
Partie 3: Détermination de la taille et du volume
(ISO 21013-3:2016)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 15. April 2016 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 Management-Zentrum des CEN-CENELEC 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, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, 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: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Symbole	7
4 Berechnung des Gesamt-Wärmeüberganges je Zeiteinheit von der warmen Wand (Außenmantel) zur kalten Wand (Innenbehälter)	12
4.1 Allgemeines	12
4.2 Unter Bedingungen ohne Brandeinwirkung	12
4.2.1 Vakuum-isolierte Behälter unter normalem Vakuum	12
4.2.2 Einrichtung zum Druckaufbau	13
4.2.3 Vakuum-isolierte Behälter unter Vakuumverlust und nicht vakuum-isolierte Behälter	13
4.2.4 Behälterbefestigungen und Rohrleitungen	14
4.3 Unter Brandeinwirkung	15
4.3.1 Unbeschädigter oder teilweise beschädigter Zustand des Isoliersystems unter Brandeinwirkung	15
4.3.2 Totalverlust des Isoliersystems unter Brandeinwirkung	16
4.4 Kondensation von Luft oder Stickstoff	16
4.4.1 Allgemeines	16
4.4.2 Vakuumverlust mit Luft und Stickstoff	16
4.4.3 Brandeinwirkung bei Vakuumverlust mit Luft oder Stickstoff	17
4.5 Wärmeübergang je Zeiteinheit (Watt)	18
4.5.1 Allgemeines	18
4.5.2 Normalbetrieb	18
4.5.3 Druckaufbauregler vollständig geöffnet	18
4.5.4 Unter Vakuumverlust	18
4.5.5 Brandeinwirkung mit Vakuumverlust, Vakuummantel und Isolierung unbeschädigt oder teilweise beschädigt	19
4.5.6 Brandeinwirkung mit Vakuumverlust, Isolierung nicht vorhanden	19
4.5.7 Gesamt-Wärmeübergang	19
5 Berechnung des durch Druckentlastungseinrichtungen abzuführenden Massenstromes	20
5.1 Abblasedruck P unterhalb des kritischen Drucks	20
5.2 Abblasedruck P gleich oder größer als der kritische Druck	20
5.3 Beispiel	21
6 Rohrleitungssysteme für Druckentlastungseinrichtungen	22
6.1 Druckverlust	22
6.1.1 Allgemeines	22
6.1.2 Sicherheitsventile	22
6.1.3 Berstscheiben	22
6.2 Berücksichtigung des Gegendrucks	22
6.3 Wärmeübergang	23

7	Bemessung von Druckentlastungseinrichtungen	24
7.1	Allgemeines	24
7.2	Bemessung von Sicherheitsventilen.....	25
7.2.1	Ausflussmassenstrom.....	25
7.2.2	Bestimmung kritischer gegenüber unterkritischer Strömung für Gase.....	25
7.2.3	Kritische Strömung.....	25
7.2.4	Unterkritische Strömung.....	26
7.2.5	Empfohlenes Analyseverfahren.....	27
7.2.6	Beispiel.....	30
7.3	Bemessung von Berstscheiben.....	36
7.3.1	Ausflussmassenstrom.....	36
7.3.2	Bestimmung kritischer gegenüber unterkritischer Strömung für Gase.....	36
7.3.3	Kritische Strömung.....	36
7.3.4	Unterkritische Strömung.....	37
7.3.5	Empfohlenes Analyseverfahren.....	37
7.3.6	Beispiel.....	41
	Anhang A (informativ) Kryostate	45
	Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie (2014/68/EG — Druckgeräte richtlinie)	46
	Literaturhinweise.....	47

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 21013-3:2016) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 220 „Cryogenic vessels“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 268 „Kryo-Behälter und spezielle Einsatzgebiete der Wasserstofftechnologie“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Dezember 2016, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Dezember 2016 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN 13648-3:2002.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinien.

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinien siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokuments ist.

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

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 21013-3:2016 wurde vom CEN als EN ISO 21013-3:2016 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung von Nationalen Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird normalerweise von ISO Technischen Komitees durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale Organisationen, staatlich und nicht-staatlich, in Liaison mit ISO, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) bei allen elektrotechnischen Themen zusammen.

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

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

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname wird als Information zum Nutzen der Anwender angegeben und stellt keine Anerkennung dar.

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

Das für dieses Dokument verantwortliche Komitee ist ISO/TC 220, *Cryogenic vessels*.

Diese zweite Ausgabe ersetzt die erste Ausgabe (ISO 21013-3:2006), die technisch überarbeitet wurde.

ISO 21013 besteht aus folgenden Teilen unter dem allgemeinen Titel *Cryogenic vessels — Pressure-relief accessories for cryogenic service*:

- *Part 1: Reclosable pressure-relief valves*
- *Part 2: Non-reclosable pressure-relief devices*
- *Part 3: Sizing and capacity determination*
- *Part 4: Pressure-relief accessories for cryogenic service*

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 21013 sieht eigene Berechnungsverfahren zur Ermittlung des erforderlichen abzuführenden Massenstromes für jede der folgenden festgelegten Bedingungen vor:

- vakuum-isolierte Behälter mit unbeschädigtem Isoliersystem (Außenmantel plus Isoliermaterial) unter normalem Vakuum, Außenmantel bei Umgebungstemperatur, Innenbehälter bei der Temperatur des Inhaltes beim festgelegten Abblasedruck;
- vakuum-isolierte Behälter mit unbeschädigtem Isoliersystem (Außenmantel plus Isoliermaterial) unter normalem Vakuum, Außenmantel bei Umgebungstemperatur, Innenbehälter bei der Temperatur des Inhaltes beim festgelegten Abblasedruck, Druckregler des druckaufbauenden Systems arbeitet in vollem Umfang;
- vakuum-isolierte oder nicht vakuum-isolierte Behälter mit unbeschädigtem Isoliersystem, aber unter Vakuumverlust bei vakuum-isolierten Behältern, Außenmantel bei Umgebungstemperatur, Innenbehälter bei der Temperatur des Inhaltes beim festgelegten Abblasedruck oder vakuum-isolierte oder nicht vakuum-isolierte Behälter mit unbeschädigtem oder teilweise beschädigtem Isoliersystem, aber unter Vakuumverlust bei vakuum-isolierten Behältern sowie unter Brandeinwirkung, Innenbehälter mit Temperatur des Inhaltes beim festgelegten Abblasedruck;
- vakuum-isolierte Behälter, die Fluide mit einer Sättigungstemperatur unterhalb 75 K bei 1 bar enthalten, mit unbeschädigtem Isoliersystem, jedoch unter Vakuumverlust mit Luft oder Stickstoff im Vakuumraum;
- vakuum-isolierte Behälter, die Fluide mit einer Sättigungstemperatur unterhalb 75 K bei 1 bar enthalten, mit unbeschädigtem Isoliersystem, jedoch Vakuumverlust mit Luft oder Stickstoff im Vakuumraum sowie unter Brandeinwirkung;
- Behälter mit völlig defektem Isoliersystem und Brandeinwirkung.

Es muss eine gute Ingenieurspraxis, basierend auf fundierten Kenntnissen in theoretischer Physik angewendet werden, um den abzuführenden Massenstrom zu ermitteln, wenn für eine Anwendungsbedingung keine geeigneten Berechnungsverfahren vorhanden sind.

In Anhang A sind Empfehlungen für Druckentlastungseinrichtungen für Kryostate angegeben.

2 Normative Verweisungen

Die vorliegende Norm enthält keine normativen Verweisungen.

3 Symbole

A	Arithmetischer Mittelwert der Innen- und Außenflächen des Isoliermaterials des Behälters	m^2
A_B	Tatsächlicher engster Strömungsquerschnitt eines Rohrelements	m^2
A_e	Gesamte Oberfläche des Rohrleitungsnetzbereichs vom Außenmantel bis zur Stelle x	m^2
A_F	Engster Strömungsquerschnitt (Bezugsfläche) in einem Rohrleitungsnetz	m^2
A_{Fd}	Engster Strömungsquerschnitt (Bezugsfläche) im Rohrleitungsnetz nach dem Sicherheitsventil	m^2
A_{Fu}	Engster Strömungsquerschnitt (Bezugsfläche) im Rohrleitungsnetz vor dem Sicherheitsventil	m^2
A_i	Gesamte äußere Oberfläche des Innenbehälters	m^2
A_j	Gesamtoberfläche des Rohrleitungsnetzbereichs zwischen Innen- und Außenmantel (Zwischenraum)	m^2
A_L	Größerer Strömungsquerschnitt bei einem Rohrelement, das zwei unterschiedliche Größen an Strömungsquerschnitten enthält	m^2
A_n	Querschnittsfläche der Behälterbefestigung oder des Rohrleitungswerkstoffs	m^2
A_R	Flächenverhältnis, A_S/A_L	—
A_S	Kleinerer Strömungsquerschnitt bei einem Rohrelement, das zwei unterschiedliche Größen an Strömungsquerschnitten enthält	m^2
A_V	Tatsächlicher Strömungsquerschnitt (Öffnungsfläche) eines Sicherheitsventils	mm^2
A_{Va}	Tatsächlicher Strömungsquerschnitt (Öffnungsfläche) des zur abschließenden Analyse ausgewählten Sicherheitsventils	mm^2
A_{V1}	Erforderlicher Mindestwert des Strömungsquerschnitts (Öffnungsfläche) des Sicherheitsventils	mm^2
A_2	Äußere Wärmeübergangsfläche des Umgebungsluftverdampfers	m^2
c_p	Spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck beim Durchschnitt von T_n und T_e	$kJ/(kg \cdot K)$
C_V	Durch Versuche bestimmter Durchfluss durch ein Rohrelement oder eine Einrichtung	$gal/min/psi$
e_1	Nennstärke des Isoliermaterials, normales Vakuum, ohne Brandeinwirkung	m
e_3	Mindeststärke des Isoliermaterials, unter Berücksichtigung von Vakuumverlust, ohne Brandeinwirkung	m
e_5	Dicke des unter Brandeinwirkung verbleibenden Isoliermaterials	m

f_T	Widerstandsbeiwert von Rohrleitungen	—
h	Enthalpie des Fluides unter den Bedingungen von v	kJ/kg
h_r	Spezifische Enthalpie an der Eintritts- und Austrittsseite des Sicherheitsventils	kJ/kg
K_A	Strömungswiderstandsfaktor eines Rohrelementes in Bezug auf A_F	—
K_B	Strömungswiderstandsfaktor eines Rohrelementes in Bezug auf A_B	—
K_b	Koeffizient des unterkritischen Strömungszustands	—
K_{dr}	Reduzierte Ausflussziffer	—
$K_{dr,a}$	Reduzierte Ausflussziffer der zu A_{V1} nächstgrößeren erhältlichen Ventilöffnungsfläche	—
$K_{dr,1}$	Reduzierte Ausflussziffer des anfänglich untersuchten Ventils	—
k_n	Mittlere Wärmeleitfähigkeit einer einzelnen Behälterbefestigung oder Rohrleitung, zwischen T und T_a	W/(m · K)
K_R	Strömungswiderstandsfaktor des gesamten Rohrleitungsnetzes in Bezug auf die Bezugsfläche A_F	—
K_{RC}	Strömungswiderstandsfaktor am Übergang zwischen kritischer und unterkritischer Strömung	—
K_{Rd}	Gesamt-Strömungswiderstandsfaktor des Rohrleitungsnetzes nach dem Sicherheitsventil	—
K_{Ru}	Gesamt-Strömungswiderstandsfaktor des Rohrleitungsnetzes vor dem Sicherheitsventil	—
K_{SUM}	Gesamt-Strömungswiderstandsfaktor eines Rohrleitungsnetzwerks in Reihe oder eines parallelen Rohrleitungsnetzwerks	—
K_V	Durch Versuche ermittelter Durchfluss durch ein Rohrelement oder eine Einrichtung	m ³ /h/bar
k_1	Mittlere Wärmeleitfähigkeit des Isoliermaterials, normales Vakuum, Bedingungen ohne Brandeinwirkung	W/(m · K)
k_3	Mittlere Wärmeleitfähigkeit des Isoliermaterials mit Luft oder gasförmiger Ladung, Bedingungen ohne Brandeinwirkung	W/(m · K)
L	Latente Verdampfungswärme der tiefkalten Flüssigkeit bei Abblasebedingungen	kJ/kg
l	Länge, Rohrelement	m
L_a	Latente Verdampfungswärme der tiefkalten Flüssigkeit bei einem Druck von 1,013 bar	kJ/kg
l_n	Länge der Behälterbefestigung oder Rohrleitung im Vakuumzwischenraum	m
L'	Expansionsverhältnis zwischen Enthalpie und Volumen bei kritischen oder allgemeinen Strömungszuständen für Gasfluide	kJ/kg

M	Molare Masse	kg/mol
$m_{\max}$	Maximale Speicherkapazität des Behälters	kg
N	Normale Verdunstungsgeschwindigkeit (NER)	%/Tag
P	Abblasedruck, Innenbehälter	bar
P_b	Druck, Austritt des Sicherheitsventils	bar
P_{b10}	Austrittsdruck des Sicherheitsventils bei einem nachgelagerten Eigengedruck von 10 %	bar
P_{exit}	Druck am Austritt des Rohrleitungsnetzes	bar
P_i	Druck, Eintritt des Sicherheitsventils	bar
P_S	Druck, Ansprechdruck des Sicherheitsventils	bar
Q_m	Massenstrom	kg/h
Q_{ma}	Massenstrom eines Sicherheitsventils innerhalb eines gegebenen Rohrleitungsnetzes	kg/h
Q_{mNER}	Massenstrom aufgrund der normalen Verdunstungsgeschwindigkeit	kg/h
R	Allgemeine Gaskonstante	J/(mol · K)
r	Rohrkrümmen-Übergangsradius	m
T	Abblasetemperatur, Innenbehälter	K
T_a	Maximale Umgebungstemperatur, Bedingungen ohne Brandeinwirkung	K
$T_{b,Pb}$	Temperatur am Austritt des Sicherheitsventils	K
T_{b10}	Temperatur am Austritt des Sicherheitsventils bei einem nachgelagerten Eigengedruck von 10 %	K
T_e	Außentemperatur unter einer gegebenen Bedingung	K
$T_{\text{exit,Pb}}$	Temperatur am Austritt des Rohrleitungsnetzes	K
T_f	Äußere Umgebungstemperatur, Bedingungen mit Brandeinwirkung	K
T_i	Temperatur, Eintritt des Sicherheitsventils	K
T_n	Fluidtemperatur an einer bestimmten Anfangsstelle des Durchflusses entlang des Rohrleitungsnetzes	K
T_{sat}	Sättigungstemperatur eines Fluides bei einem Druck von 1 bar	K
T_x	Fluidtemperatur an einer gegebenen Stelle x entlang des Rohrleitungsnetzes	K

U_p	Gesamt-Wärmeübergangszahl eines Rohrleitungsnetzes unter gegebenen Temperaturbedingungen	$W/(m^2 \cdot K)$
U_1	Wärmeübergangszahl des Isoliermaterials, normales Vakuum, Bedingungen ohne Brandeinwirkung	$W/(m^2 \cdot K)$
U_2	Konvektive Wärmeübergangszahl des Umgebungsluftverdampfers	$W/(m^2 \cdot K)$
U_3	Wärmeübergangszahl des Isoliermaterials bei Sättigung mit Luft oder gasförmiger Ladung, Bedingungen ohne Brandeinwirkung	$W/(m^2 \cdot K)$
U_{3a}	Wärmeübergangszahl, Luft- oder Stickstoffkondensation, Vakuumverlust, Bedingungen ohne Brandeinwirkung	W/m^2
U_5	Wärmeübergangszahl des Isoliermaterials des Behälters bei Sättigung mit Luft oder gasförmiger Ladung, Bedingungen mit Brandeinwirkung	$W/(m^2 \cdot K)$
U_{5a}	Wärmeübergangszahl, Luft- oder Stickstoffkondensation, Vakuumverlust, Bedingungen mit Brandeinwirkung	W/m^2
w_n	Wärmeeinfall durch eine einzelne Behälterbefestigung oder Rohrleitung	W/K
W_T	Gesamt-Wärmeübergang unter festgelegten Bedingungen	Watt [W]
W_{T1}	Gesamt-Wärmeübergang bei Normalbetrieb	Watt [W]
W_{T1NER}	Gesamt-Wärmeübergang bei normaler Verdunstungsgeschwindigkeit (NER) bei Normalbetrieb	Watt [W]
W_{T2}	Gesamt-Wärmeübergang bei Normalbetrieb, einschließlich der Einrichtung zum Druckaufbau	Watt [W]
W_{T2NER}	Gesamt-Wärmeübergang bei normaler Verdunstungsgeschwindigkeit (NER) bei Normalbetrieb, einschließlich der Einrichtung zum Druckaufbau	Watt [W]
W_{T3}	Gesamt-Wärmeübergang, Vakuumverlust, unbeschädigte Isolierung, Bedingungen ohne Brandeinwirkung, $T_{sat} > 75\text{ K}$	Watt [W]
W_{T3a}	Gesamt-Wärmeübergang, Vakuumverlust, unbeschädigte Isolierung, Bedingungen ohne Brandeinwirkung, $T_{sat} \leq 75\text{ K}$	Watt [W]
W_{T5}	Gesamt-Wärmeübergang, Vakuumverlust, unbeschädigte Isolierung, Bedingungen mit Brandeinwirkung, $T_{sat} > 75\text{ K}$	Watt [W]
W_{T5a}	Gesamt-Wärmeübergang, Vakuumverlust, unbeschädigte Isolierung, Bedingungen mit Brandeinwirkung, $T_{sat} \leq 75\text{ K}$	Watt [W]
W_{T6}	Gesamt-Wärmeübergang, Vakuumverlust, beschädigte Isolierung, Bedingungen mit Brandeinwirkung	Watt [W]
W_1	Wärmeübergang durch das Isoliersystem, normales Vakuum, Bedingungen ohne Brandeinwirkung	Watt [W]
W_2	Wärmeübergang durch die Einrichtung zum Druckaufbau, vollständig geöffneter Regler	Watt [W]

W_3	Wärmeübergang durch das Isoliersystem, Vakuumverlust, Bedingungen ohne Brandeinwirkung	Watt [W]
W_{3a}	Wärmeübergang durch Luft- oder Stickstoffkondensation, Vakuumverlust, Bedingungen ohne Brandeinwirkung	Watt [W]
W_4	Wärmeübergang durch Behälterbefestigungen und Rohrleitungen im Zwischenraum	Watt [W]
W_5	Wärmeübergang durch Behälterwände, unbeschädigte Isolierung, Bedingungen mit Brandeinwirkung	Watt [W]
W_{5a}	Wärmeübergang durch Luft- oder Stickstoffkondensation, Vakuumverlust, Bedingungen mit Brandeinwirkung	Watt [W]
W_6	Wärmeübergang durch Behälterwände, beschädigte Isolierung, Bedingungen mit Brandeinwirkung	Watt [W]
x	Stelle entlang des Rohrleitungsnetzes	m
X	Anzahl der Lagen der Superisolation	—
Y	Wärmeübergang U_{3a} oder U_{5a}	—
Z_i	Realgasfaktor bei Druck P_i und Temperatur T_i	—
φ	Druckverhältnis P_{exit}/P	—
κ	Isentropenexponent	—
λ_1	Koeffizient des unterkritischen Strömungszustands	—
λ_2	Koeffizient des unterkritischen Strömungszustands	—
v	Spezifisches Volumen von kritischem Fluid oder Fluid, das lediglich aus Gas besteht, bei einer gegebenen Temperatur beim Abblasedruck P	m ³ /kg
v_{b10}	Spezifisches Volumen am Austritt des Sicherheitsventils bei einem nachgelagerten Eigengedruck von 10 %	m ³ /kg
$v_{b,Pb}$	Spezifisches Volumen am Austritt des Sicherheitsventils, bewertet bei h_r und einem Versuchswert von P_b	m ³ /kg
$v_{d\text{max}}$	Maximaler Durchschnittswert des nachgelagerten spezifischen Volumens $v_{d\text{max}}$, entsprechend dem angestrebten Grenzwert für den Gegendruck	m ³ /kg
v_{d10}	Durchschnittswert des nachgelagerten spezifischen Volumens bei einem nachgelagerten Eigengedruck von 10 %	m ³ /kg
$v_{\text{exit},Pb}$	Spezifisches Volumen am Austritt des Rohrleitungsnetzes, bewertet bei P_{exit} und $T_{\text{exit},Pb}$	m ³ /kg
$v_{\text{exit}10}$	Spezifisches Volumen am Austritt des Rohrleitungsnetzes bei einem nachgelagerten Eigengedruck von 10 %	m ³ /kg

v_g	Spezifisches Volumen von gesättigtem Gas bei Abblasedruck P	m^3/kg
v_{ga}	Spezifisches Volumen von gesättigtem Gas bei einem Druck von 1,013 bar	m^3/kg
v_i	Spezifisches Volumen, Eintritt des Sicherheitsventils	m^3/kg
v_l	Spezifisches Volumen von gesättigter Flüssigkeit bei Abblasedruck P	m^3/kg
v_{la}	Spezifisches Volumen von gesättigter Flüssigkeit bei einem Druck von 1,013 bar	m^3/kg
v_u	Durchschnittliches spezifisches Volumen von strömendem Fluid vor dem Eintritt des Sicherheitsventils	m^3/kg
ψ	Ausdruck zur Bestimmung von Q_m und T bei kritischen Strömungsbedingungen oder bei vollständig mit Gas gefülltem Behälter	$\text{m}^{3/2} \cdot \text{kg}^{1/2} / \text{kJ}$

4 Berechnung des Gesamt-Wärmeüberganges je Zeiteinheit von der warmen Wand (Außenmantel) zur kalten Wand (Innenbehälter)

4.1 Allgemeines

P (in bar absolut) ist der tatsächliche Abblasedruck im Behälter, der zur Berechnung des durch die Druckentlastungseinrichtungen abzuführenden Massenstroms verwendet wird.

T_a (in K) ist die maximale Umgebungstemperatur für Bedingungen ohne Brandeinwirkung (wie z. B. durch eine Vorschrift oder Norm festgelegt).

T_f (in K) ist die äußere Umgebungstemperatur unter Brandeinwirkung, in diesem Teil von ISO 21013 festgelegt als 922 K.

T (in K) ist die Abblasetemperatur im Behälter, die berücksichtigt werden muss.

- a) Bei unterkritischen Fluiden ist T die Sättigungstemperatur der Flüssigkeit beim Druck P .
- b) Bei kritischen oder überkritischen Fluiden wird T nach 5.2 berechnet.

4.2 Unter Bedingungen ohne Brandeinwirkung

4.2.1 Vakuum-isolierte Behälter unter normalem Vakuum

W_1 ist der Wärmeübergang je Zeiteinheit (in Watt) durch Wärmeeinfall durch das Isoliersystem.

$$W_1 = (U_1 \cdot A)(T_a - T) \quad (1)$$

Dabei ist

U_1 die Gesamt-Wärmeübergangszahl des Isoliermaterials unter normalem Vakuum, in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

$$U_1 = \frac{k_1}{e_1};$$

- k_1 die mittlere Wärmeleitfähigkeit des Isoliermaterials unter normalem Vakuum, zwischen T und T_a , in $W/(m \cdot K)$;
- e_1 die Nenndicke des Isoliermaterials, in Meter;
- A der arithmetische Mittelwert der Innen- und Außenflächen des Isoliermaterials des Behälters, in m^2 .

4.2.2 Einrichtung zum Druckaufbau

W_2 ist der Wärmeübergang je Zeiteinheit (in Watt) durch die Einrichtungen zum Druckaufbau mit vollständig geöffnetem Regler. W_2 wird aus der Art (Umgebungsluft, Wasser oder Dampf, elektrisch, usw.) und Auslegung des Druckaufbaukreislaufts ermittelt. Beispielsweise im Falle eines Umgebungsluftverdampfers.

$$W_2 = (U_2 \cdot A_2)(T_a - T) \quad (2)$$

Dabei ist

U_2 die konvektive Wärmeübergangszahl des Umgebungsluftverdampfers, in $W/(m^2 \cdot K)$;

A_2 die äußere Wärmeübergangsfläche des Verdampfers, in m^2 .

Für eine erste Annäherung darf folgende Formel herangezogen werden:

$$U_2(T_a - T) = 19\,000 \text{ W/m}^2 \text{ bei } T \leq 75 \text{ K} \quad (3)$$

$$U_2(T_a - T) = 2\,850 \text{ W/m}^2 \text{ bei } T > 75 \text{ K} \quad (4)$$

4.2.3 Vakuum-isolierte Behälter unter Vakuumverlust und nicht vakuum-isolierte Behälter

W_3 ist der Wärmeübergang je Zeiteinheit (in Watt) durch Wärmeeinfall durch das Isoliermaterial.

$$W_3 = (U_3 \cdot A)(T_a - T) \quad (5)$$

Dabei gilt:

falls die Isolierung bei Wärmeleitung, Konvektion und Strahlungswärmeübergang von 328 K in vollem Umfang wirksam ist, darf U_3 mittels Formel (6) berechnet werden.

$$U_3 = \frac{k_3}{e_3} \quad (6)$$

U_3 ist die Gesamt-Wärmeübergangszahl des Isoliermaterials bei Sättigung mit gasförmiger Ladung oder Luft bei Atmosphärendruck, je nachdem, welcher Wert größer ist, in $W/(m^2 \cdot K)$;

k_3 ist die mittlere Wärmeleitfähigkeit des Isoliermaterials, gesättigt mit gasförmiger Ladung oder Luft bei Atmosphärendruck, je nachdem, welches den größeren Koeffizienten ergibt, zwischen T und T_a , in $W/(m \cdot K)$. Werte für k_3 für Gase sind in Tabelle 1 angegeben;

e_3 ist die Mindestdicke des Isoliermaterials, in Meter, unter Berücksichtigung der Herstellungstoleranzen oder der Auswirkungen eines plötzlichen Vakuumverlustes.