DIN EN 17527:2022-05 (D)

Helium-Kryostate - Schutz gegen Drucküberschreitung; Deutsche Fassung EN 17527:2021

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort 6

Einleitung 7

1 Anwendungsbereich 8

2 Normative Verweisungen 8

3 Begriffe 8

4 Symbole 14

5 Prozessablaufdiagramme 17
5.1 Prozessablaufdiagramm zu Gefährdungsbeurteilung und Schutzkonzepten 17
5.2 Prozessablaufdiagramm zur Szenario-spezifischen Dimensionierung von Heliumkreislauf-PRD 19

6 Gefährdungsbeurteilung 20
6.1 Allgemeine Informationen zur Gefährdungsbeurteilung 20
6.2 Für die Dimensionierung relevante Ursachen für unzulässigen Druckanstieg 20
6.2.1 Verlust des Isoliervakuums 20
6.2.2 Verlust des Strahlrohrvakuums 20
6.2.3 Quench einer supraleitenden Vorrichtung 21
6.2.4 Leckage von kryogenem Fluid 21
6.2.5 Dielektrischer Durchschlag 21
6.2.6 Einschluss von kryogenem Fluid 21
6.3 Ursachen für unzulässigen Druckanstieg, die einzuschränken sind 22
6.3.1 Thermoakustische Schwingung 22
6.3.2 Kryogenes Pumpen 22
6.3.3 Ausfall der Stromversorgung 22
6.3.4 Druckstoß 22
6.3.5 Gefrieren 23
6.3.6 Rückströmen 23
6.3.7 Andere Ursachen für Drucküberschreitung 23
6.3.8 Erdbeben 23
6.3.9 Brand 23
6.4 Kombinierte Szenarien 24
6.5 Gefährdungsbeurteilung vor der Bestellung 24
6.6 Gefährdungsbeurteilung in der Auslegungsphase 24

7 Schutzkonzepte 25
7.1 Allgemeines 25
7.2 Einstufiges Schutzkonzept 25
7.3 Mehrstufige Schutzkonzepte 26
7.3.1 Allgemeines 26
7.3.2 Druckabsicherung von Hochdruck-Helium-Kryostaten 27
7.3.3 Druckabsicherung von Niederdruck-Helium-Kryostaten 27
7.3.4 Druckabsicherung von subatmosphärischen Helium-Kryostaten 28
7.3.5 Druckabsicherung von He-II-Kryostaten 28
7.3.6 Druckabsicherung von Ultra-Tieftemperatursystemen 28

8 Dimensionierung von Druckentlastungseinrichtungen 28

8.1 Verfahren zur Dimensionierung von Druckentlastungseinrichtungen 28
8.2 Berechnung des Mindest-Abblasequerschnitts 29
8.3 Berechnung der Fluidzustandseigenschaften unter Abblasebedingungen 29
8.3.1 Berechnung des Abblasedrucks 29
8.3.2 Berechnung des spezifischen Volumens 30
8.4 Berechnung des Abblase-Massenstroms 32
8.4.1 Allgemeines 32
8.4.2 Verlust des Isoliervakuums 32
8.4.3 Verlust des Strahlrohrvakuums 33
8.4.4 Quench einer supraleitenden Vorrichtung 34
8.4.5 Leckage von kryogenem Fluid 37
8.4.6 Dielektrischer Durchschlag 37
8.4.7 Berechnung der spezifischen Enthalpieänderung 38
8.5 Berechnung der Massenstromdichte 39
8.5.1 Allgemeines 39
8.5.2 Einfluss der stromaufwärtigen Rohrleitung 40
8.5.3 Einfluss der stromabwärtigen Rohrleitung 42
8.6 Berechnung der Ausflussziffer 42
8.6.1 Allgemeines 42
8.6.2 Anpassung der Ausflussziffer von PRV 43
8.7 Transferleitungssysteme 43
8.8 Dimensionierung der PRD des Vakuumbehälters 44

9 Druckentlastungseinrichtungen 44
9.1 Allgemeines 44
9.2 Druckentlastungsventile 45
9.3 Berstscheiben 45
9.4 Kombinationen von Druckentlastungsventilen und Berstscheiben 45
9.5 Magnetische Druckentlastungseinrichtungen 45
9.6 Druckentlastungseinrichtungen für Isoliervakuumbehälter 46
9.7 Mechanische Befestigung von Druckentlastungseinrichtungen 46
9.8 Werkstoffe für Druckentlastungseinrichtungen 46

10 Stofffreisetzung 46
10.1 Allgemeines 46
10.2 Abblaseleitungen und Abblasesysteme 46

11 Betriebs-, Instandhaltungs- und Inspektionsanweisungen 47
11.1 Allgemeines 47
11.2 In die Betriebs-, Instandhaltungs- und Inspektionsanweisungen aufzunehmende spezifische Anweisungen 47
11.2.1 Betriebsanweisungen für Druckentlastungseinrichtungen 47
11.2.2 Wiederkehrende Prüfungen von Druckentlastungseinrichtungen 48
11.2.3 Druckentlastungsventile 48
11.2.4 Berstscheiben 48
11.2.5 Instandhaltung 48

Anhang A (informativ) Thermodynamische Eigenschaften von Helium 49
A.1 Grundlagen 49
A.2 Prozesspfad beim Abblasen 50

Anhang B (informativ) Zusätzliche Informationen zur Gefährdungsbeurteilung 53
B.1 Verlust des Isoliervakuums 53
B.2 Verlust von Strahlrohrvakuums 54
B.3 Quench einer supraleitenden Vorrichtung 55
B.3.1 Allgemeines 55
B.3.2 Wichtigste Kühlszenarien 56
B.4 Leckage von kryogenem Fluid 58
B.4.1 Allgemeines 58
B.4.2 Leck-vor-Bruch-Verhalten 58

B.4.3 Werkstoffeigenschaften ... 58
B.4.4 Thermomechanische Spannungen ... 58
B.5 Dielektrischer Durchschlag ... 58
B.6 Thermoakustische Schwingung ... 60
B.7 Kryogenes Pumpen ... 61
B.8 Qualitative Gefährdungsbeurteilung ... 62
B.8.1 Allgemeines ... 62
B.8.2 Wahrscheinlichkeitsniveau ... 64
B.8.3 Schweregrad ... 64
B.8.4 Kritikalitätsmatrix ... 65
B.8.5 HAZOP-Tabelle ... 67

Anhang C (informativ) Schutzkonzepte ... 68
C.1 Einstufiges Schutzkonzept ... 68
C.2 Mehrstufige Schutzkonzepte ... 69
C.2.1 Allgemeines ... 69
C.2.2 Druckabsicherung von supraleitenden Magnetsystemen ... 69
C.2.3 Druckabsicherung von supraleitenden Hochfrequenz-Kavitäten ... 71
C.2.4 Druckabsicherung von subatmosphärischen Heliumsystemen ... 72
C.2.5 Druckabsicherung von He-II-Systemen ... 73
C.2.6 Druckabsicherung von Ultra-Tieftemperatursystemen ... 74

Anhang D (informativ) Dimensionierung von Druckentlastungseinrichtungen ... 76
D.1 Übereinstimmung zwischen EN ISO 4126-7:2013/A1:2016/EN ISO 21013-3:2016 und Abschnitt D.2 ... 76
D.2 Fallspezifisches Modell zur Dimensionierung von Druckentlastungseinrichtungen ... 79
D.2.1 Allgemeines ... 79
D.2.2 Berechnung des Mindest-Abblasequerschnitts ... 80
D.2.3 Bestimmung der Fluidgeschwindigkeit ... 80
D.2.4 Berechnung der Ausflussfunktion ... 81
D.3 Einfluss der stromaufwärtigen Rohrleitung ... 83
D.4 Ausflussziffer ... 85
D.5 Beispiele für Berechnungen des engsten Strömungsquerschnitts ... 85
D.5.1 Beispiel 1 — Vertikaler He-I-Magnetkryostat ... 85
D.5.2 Beispiel 1 unter Berücksichtigung einer stromabwärtigen Rohrleitung ... 91
D.5.3 Beispiel 2 — Kryostat mit suprafluidem He-II, geschützt durch zwei in Reihe geschaltete PRD — Unterkritische Entlastung ... 92
D.5.4 Beispiel 3 — Kryostat mit suprafluidem He-II, geschützt durch zwei in Reihe geschaltete PRD — Überkritische Entlastung ... 99

Anhang E (informativ) Bauarten von Druckentlastungseinrichtungen ... 107
E.1 Anwendungsnormen ... 107
E.2 Produktnormen ... 108
E.2.1 Zweck, Voraussetzungen ... 108
E.2.2 Vollhub-Druckentlastungsventile ... 110
E.2.3 Normal-Druckentlastungsventile ... 111
E.2.4 Proportional-Druckentlastungsventile ... 111
E.2.5 Pilotgesteuerte Druckentlastungsventile ... 111
E.2.6 Gesteuerte Druckentlastungsventile mit pneumatischer Zusatzbelastung ... 112
E.2.7 PRV mit magnetischer Betätigung ... 112
E.2.8 Spezifische kryogene PRV-Merkmale ... 113
E.3 Berstscheiben ... 114
E.3.1 Funktionscharakteristiken ... 114
E.3.2 Metallberstscheiben ... 114
E.3.3 Graphitberstscheiben ... 115
E.3.4 Langzeitverhalten ... 115
E.3.5 Leckageraten ... 116
E.4 Druckentlastungsventil/Berstscheiben-Kombinationen ... 116
E.5 Druckentlastungseinrichtungen für Vakuumbehälter ... 117

Literaturhinweise ... 118