DIN EN ISO 16646:2026-06 (D)

Fusionsanlagen - Kriterien für die Auslegung und den Betrieb von Einschluss- und Lüftungssystemen von Tritiumfusionsanlagen und Anlagen zur Handhabung von Fusionsbrennstoff (ISO 16646:2024); Deutsche Fassung EN ISO 16646:2025

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort 9
Vorwort 10
Einleitung 11
1 Anwendungsbereich 12
2 Normative Verweisungen 12
3 Begriffe 12
4 Allgemeine Besonderheiten bezüglich des Einschlusses von Tritiumfusionsanlagen oder Anlagen zur Handhabung von Fusionsbrennstoff 20
4.1 Allgemeines 20
4.2 Für den Einschluss von Fusionsanlagen zu identifizierende Inventare 22
4.3 Spezifische Systeme oder Lasten in Fusionsanlagen 23
4.4 Allgemeine Beschreibung der Einschlusssysteme für Fusionsanlagen 23
4.4.1 Allgemeines 23
4.4.2 Erstes Einschlusssystem 27
4.4.3 Sekundäres Einschlusssystem 28
4.4.4 Brennstoffkreislaufsysteme 29
4.4.5 Werkstoffverträglichkeit mit Tritium 29
5 Funktionen und Sicherheitsaspekte für Einschluss- und Lüftungssysteme 30
5.1 Allgemeines 30
5.2 Hauptfunktionen 30
5.3 Allgemeine Grundsätze 32
5.4 Verfahren der Risikobewertung 32
5.4.1 Vorläufige Analyse 32
5.4.2 Risikobeurteilung 34
5.4.3 Sicherheitsklassifizierung 36
6 Architektur und Beschreibung der verschiedenen Einschlusssysteme 37
6.1 Allgemeines 37
6.2 Statischer Einschluss von radioaktivem Material 37
6.2.1 Eindämmungsbarrieren und -systeme 37
6.2.2 Isolationsfunktion (statische Eindämmung) 38
6.3 Lüftung der Volumen innerhalb des ersten Einschlusssystems 39
6.3.1 Allgemeines 39
6.3.2 Abluftprozess des Vakuumbehälters 40
6.3.3 Druckbegrenzer des primären Containments 40
6.3.4 Örtliches und/oder zentralisiertes Detritiierungssystem 41
6.3.5 Lüftung des Volumens zwischen der ersten und zweiten Eindämmungsbarriere des ersten Einschlusssystems 41
6.3.6 Kryogene Systeme 41
6.4 Lüftung der Volumen innerhalb des zweiten Einschlusssystems 42
6.4.1 Allgemeines 42
6.4.2 Lüftungssysteme von Räumen und Gebäuden 42
6.4.3 Detritiierungssysteme 42

6.4.4 Lokale Lüftungssysteme ... 43
6.4.5 Lüftung der Volumen, die außerhalb des sekundären Einschlusses liegen ... 43
6.4.6 Sonstige Lüftungssysteme, die nicht mit Sicherheitshüllen verbunden sind ... 43

7 Anforderungen an die Auslegung von Lüftungssystemen ... 45
7.1 Allgemeines ... 45
7.2 Dynamischer Einschluss ... 45
7.2.1 Allgemeines ... 45
7.2.2 Klassifizierung der Anlage in potenziell kontaminierte Bereiche (Einschluss-Klassifizierung) ... 45
7.2.3 Faktoren, die die Auslegung von Lüftungssystemen beeinflussen ... 48
7.2.4 Negative Überdruckwerte ... 48
7.2.5 Luftgeschwindigkeiten zwischen Bereichen ... 50
7.2.6 Grundlegendes Luftströmungsmuster und Luftreinigungssysteme ... 50
7.2.7 Klassifizierung in Lüftungsarten ... 52
7.2.8 Optimierung der Luftwechsel ... 52
7.2.9 Anordnung und Lage der Lüftungsleitungen ... 57
7.2.10 Erarbeitung des Lüftungsdiagramms und Berechnung der Druckabfälle ... 58
7.3 Filterung ... 58
7.3.1 Allgemeines ... 58
7.3.2 HEPA-Filter ... 59
7.3.3 Luftdetritiierungssystem ... 59
7.3.4 Andere Gaseinfang-Vorrichtungen ... 63

8 Management spezifischer Risiken ... 63
8.1 Steuerung brennbarer Gase in den Gebäuden ... 63
8.2 Steuerung kryogener Flüssigkeit/Gase in den Gebäuden ... 64
8.3 Steuerung der Umgebungsbedingungen ... 65
8.3.1 Kontamination mit luftgetragenem Tritium ... 65
8.3.2 Luftkonditionierung von Komponenten mit Sicherheitsklassifizierung ... 65
8.3.3 Lüftungssysteme der Kontrollräume ... 66
8.4 Verhinderung von Risiken, die mit Freisetzungen von Wärme, Gasen oder toxischen Dämpfen verbunden sind ... 67
8.5 Verhinderung von Risiken, die mit der Ablagerung von Stoffen in Lüftungsleitungen verbunden sind ... 68
8.6 Verhinderung einer Brandgefährdung ... 68
8.6.1 Abschottung ... 68
8.6.2 Brandabschnitte (Brandsektoren) ... 68
8.6.3 Brandbereiche ... 71
8.6.4 Containmentabschnitte ... 71
8.7 Berücksichtigung äußerer Gefährdungen ... 73

9 Dispositionen bezüglich des Managements und des Betriebs der Lüftungssysteme ... 74
9.1 Organisation und Betriebsverfahren ... 74
9.2 Technische Betriebsanweisungen ... 74
9.3 Fragen der Betriebsführung ... 76
9.4 Prüfverfahren und Wartung ... 76
9.4.1 Allgemeines ... 76
9.4.2 Qualifizierung ... 76
9.4.3 Inspektionsprüfungen vor der Inbetriebnahme ... 77
9.4.4 Annahmeprüfungen ... 77
9.4.5 Inbetriebnahmeprüfungen ... 78
9.4.6 Wartung und andere regelmäßige Prüfungen ... 79
9.5 Überwachung des Einschlusssystems ... 81
9.6 Steuerung des Lüftungssystems zur Verhinderung von Brandgefährdungen ... 81
9.6.1 Allgemeines ... 81
9.6.2 Brandschutzphilosophie ... 81

10 Mess- und Leittechniksystem (I & C, en: instrumentation and control) ... 83
10.1 Leittechnik ... 83

10.2 Messsystem ... 84
10.3 Alarme ... 85

Anhang A (informativ) Leitlinie für luftgetragene Kontaminationsrisiken ... 87
A.1 Leitlinie für die Klassifizierung der Art der Lüftung für Tritiumfusionsanlagen ... 87
A.2 Zugehörige empfohlene Lüftungskonfiguration ... 89

Anhang B (informativ) Beispiele für Detritiierungstechnologien ... 96
B.1 Bubbler-Verfahren ... 96
B.2 Molekularsieb-Verfahren ... 96
B.3 Nassabscheideverfahren ... 96
B.4 Tritiierte Aerosole ... 97

Anhang C (informativ) Beispiele für Sicherheitsklassifizierungen ... 98

Anhang D (informativ) Typische Werte für Leckraten ... 101
D.1 Typische Werte der Leckdichtheit für die Eindämmung und Lüftung von Räumen und Gebäuden ... 101
D.2 Typische Werte spezifischer Leckraten im Zusammenhang mit Lüftungskomponenten ... 102
D.2.1 Ventile und Klappen ... 102
D.2.2 Brandschutzklappen ... 103
D.2.3 Luftfiltereinrichtungen ... 103
D.2.4 Andere Komponenten ... 103

Anhang E (informativ) Anforderungen an Luftfilter von Lüftungssystemen, die in kerntechnischen Anlagen verwendet werden ... 104
E.1 Hintergrund im Zusammenhang mit alten Normen ... 104
E.2 Definitionen ... 105
E.3 Neue ISO-Normen ... 105
E.3.1 Allgemeines ... 105
E.3.2 Gruppen und Klassen von Luftfiltern ... 105
E.3.3 Spezifische Fälle von HEPA- und ULPA-Filtern ... 106
E.3.4 Gruppen und Klassen von Luftfiltern ... 108
E.4 Allgemeine Spezifikationen für kerntechnische Filter ... 109

Literaturhinweise ... 111

Bilder

Bild 1 — Beispiel für eine schematische Darstellung von Einschlusssystemen ... 27

Bild B.1 — Größenordnungen der Dekontaminationsfaktoren für verschiedene Detritiierungstechnologien ... 97

Bild E.1 — MPPS (Partikelgröße, bei der ein Filter seinen niedrigsten Abscheidegrad verzeichnet) für typische HEPA-Filter ... 107

Tabellen

Tabelle 1 — Typische Beispiele für statische Eindämmungsbarrieren und/oder -systeme ... 25

Tabelle 2 — Übliche Klassifizierung von Einschlussbereichen für andere Räume als Sicherheitshüllen ... 46

Tabelle 3 — Übliche/gelegentlich erwartete Kontamination in Volumen ... 47

Tabelle 4 — Leitlinie für negative Überdruckwerte ... 49

Tabelle 5 — Leitfaden für Luftwechselraten entsprechend allgemeiner Kontaminationsrisiken (Klasse C)..... 53

Tabelle 6 — Leitfaden für Luftwechselraten für Räume in Abhängigkeit davon, ob bei Routineabläufen Personal in den Räumen anwesend ist oder nicht..... 55

Tabelle 7 — Anleitung für die Temperaturbeständigkeit von Sicherheitskomponenten..... 66

Tabelle A.1 — Klassifizierung von Räumen für Tritiumfusionsanlagen..... 87

Tabelle A.2 —Typische informative Beispiele für Räume mit ständiger Kontamination und Kontamination im Störfall, an der Aerosole und Tritium beteiligt sind..... 88

Tabelle A.3 — Empfohlene Lüftungsanordnungen für verschiedene Einschlussklassen..... 90

Tabelle C.1 — Beispiele für Sicherheitsklassifizierungen..... 98

Tabelle D.1 —Typische Werte der Leckdichtheit für die Eindämmung und Lüftung von Räumen und Gebäuden hinsichtlich der Kontaminationsrisiken und Druckdifferenzen in Routine- oder Störfallsituationen..... 101

Tabelle D.2 — Typische Werte für Leckraten in Zusammenhang mit Containment und Lüftungskomponenten..... 103

Tabelle E.1 — Allgemeiner Vergleich der Filterklassifizierung nach neuen Normen..... 106

Tabelle E.2 — a) Filterklassifizierung: Zulässige Filterklassen (5/10 Abscheidegrad des Filters)..... 108

Tabelle E.2 — b) Filterklassifizierung: Zulässige Filterklassen (1/10 Abscheidegrad des Filters)..... 109