

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 Einschlussysteme für Fusionsanlagen.....	23
4.4.1 Allgemeines.....	23
4.4.2 Erstes Einschlussystem.....	27
4.4.3 Sekundäres Einschlussystem.....	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 Einschlussysteme.....	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 Einschlussystems.....	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 Detritierungssystem.....	41
6.3.5 Lüftung des Volumens zwischen der ersten und zweiten Eindämmungsbarriere des ersten Einschlussystems.....	41
6.3.6 Kryogene Systeme.....	41
6.4 Lüftung der Volumen innerhalb des zweiten Einschlussystems.....	42
6.4.1 Allgemeines.....	42
6.4.2 Lüftungssysteme von Räumen und Gebäuden.....	42
6.4.3 Detritierungssysteme.....	42

6.4.4	Lokale Lüftungssysteme.....	43
6.4.5	Lüftung der Volumen, die außerhalb des sekundären Einschusses 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	Luftdetritierungssystem.....	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 luftgetragendem 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 Einschussystems.....	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 Detritierungstechnologien		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 Einschlussystemen	27
Bild B.1	— Größenordnungen der Dekontaminationsfaktoren für verschiedene Detritierungstechnologien	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