

# 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 Einschuss .....	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	Luftdetrithierungssystem.....	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	Alarmer.....	85
<b>Anhang A (informativ) Leitlinie für luftgetragene Kontaminationsrisiken.....</b>		<b>87</b>
A.1	Leitlinie für die Klassifizierung der Art der Lüftung für Tritiumfusionsanlagen.....	87
A.2	Zugehörige empfohlene Lüftungskonfiguration .....	89
<b>Anhang B (informativ) Beispiele für Detritierungstechnologien .....</b>		<b>96</b>
B.1	Bubbler-Verfahren.....	96
B.2	Molekularsieb-Verfahren .....	96
B.3	Nassabscheideverfahren.....	96
B.4	Tritiierte Aerosole .....	97
<b>Anhang C (informativ) Beispiele für Sicherheitsklassifizierungen .....</b>		<b>98</b>
<b>Anhang D (informativ) Typische Werte für Leckraten .....</b>		<b>101</b>
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
<b>Anhang E (informativ) Anforderungen an Luftfilter von Lüftungssystemen, die in kerntechnischen Anlagen verwendet werden .....</b>		<b>104</b>
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
<b>Literaturhinweise .....</b>		<b>111</b>

## **Bilder**

<b>Bild 1</b>	<b>— Beispiel für eine schematische Darstellung von Einschlussystemen .....</b>	<b>27</b>
<b>Bild B.1</b>	<b>— Größenordnungen der Dekontaminationsfaktoren für verschiedene Detritierungstechnologien .....</b>	<b>97</b>
<b>Bild E.1</b>	<b>— MPPS (Partikelgröße, bei der ein Filter seinen niedrigsten Abscheidegrad verzeichnet) für typische HEPA-Filter .....</b>	<b>107</b>

## **Tabellen**

<b>Tabelle 1</b>	<b>— Typische Beispiele für statische Eindämmungsbarrieren und/oder -systeme.....</b>	<b>25</b>
<b>Tabelle 2</b>	<b>— Übliche Klassifizierung von Einschlussbereichen für andere Räume als Sicherheitshüllen.....</b>	<b>46</b>
<b>Tabelle 3</b>	<b>— Übliche/gelegentlich erwartete Kontamination in Volumen.....</b>	<b>47</b>
<b>Tabelle 4</b>	<b>— Leitlinie für negative Überdruckwerte.....</b>	<b>49</b>

<b>Tabelle 5 — Leitfaden für Luftwechselraten entsprechend allgemeiner Kontaminationsrisiken (Klasse C).....</b>	<b>53</b>
<b>Tabelle 6 — Leitfaden für Luftwechselraten für Räume in Abhängigkeit davon, ob bei Routineabläufen Personal in den Räumen anwesend ist oder nicht.....</b>	<b>55</b>
<b>Tabelle 7 — Anleitung für die Temperaturbeständigkeit von Sicherheitskomponenten.....</b>	<b>66</b>
<b>Tabelle A.1 — Klassifizierung von Räumen für Tritiumfusionsanlagen.....</b>	<b>87</b>
<b>Tabelle A.2 — Typische informative Beispiele für Räume mit ständiger Kontamination und Kontamination im Störfall, an der Aerosole und Tritium beteiligt sind.....</b>	<b>88</b>
<b>Tabelle A.3 — Empfohlene Lüftungsanordnungen für verschiedene Einschlussklassen.....</b>	<b>90</b>
<b>Tabelle C.1 — Beispiele für Sicherheitsklassifizierungen .....</b>	<b>98</b>
<b>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 .....</b>	<b>101</b>
<b>Tabelle D.2 — Typische Werte für Leckraten in Zusammenhang mit Containment und Lüftungskomponenten.....</b>	<b>103</b>
<b>Tabelle E.1 — Allgemeiner Vergleich der Filterklassifizierung nach neuen Normen .....</b>	<b>106</b>
<b>Tabelle E.2 — a) Filterklassifizierung: Zulässige Filterklassen (5/10 Abscheidegrad des Filters)....</b>	<b>108</b>
<b>Tabelle E.2 — b) Filterklassifizierung: Zulässige Filterklassen (1/10 Abscheidegrad des Filters)....</b>	<b>109</b>