

DIN 27165

ICS 45.060.01; 71.100.45

Einsprüche bis 2023-09-07

Entwurf**Sicherheitstechnische Bewertung von brennbaren Kältemitteln in Klimaanlage von Schienenfahrzeugen**

Safety evaluations of flammable refrigerants in air-conditioning systems of rail vehicles

Évaluation de la sécurité des fluides frigorigènes inflammables dans les systèmes de climatisation des véhicules ferroviaires

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-07-07 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an fsf@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF), Rolandstr. 4, 34131 Kassel.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 81 Seiten

DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF)

Inhalt

	Seite
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	9
4 Symbole und Abkürzungen	16
5 Anforderungen aus dem Risikomanagement-Prozess	16
6 Anforderungen an die Risikobewertung	19
6.1 Allgemeines	19
6.2 Drucktechnische Sicherheit	19
6.3 Elektrische Gefahren	19
6.4 Handhabbarkeit des BKG	20
6.5 Brandschutz	20
6.6 Gefahren durch Gasfreisetzung	20
6.6.1 Sicherheitsgrundsätze	21
6.6.2 Sicherheitskonzepte	21
6.6.3 Risikobewertung im Betriebsmodus (en: Operational mode risk assessment)	22
6.6.4 Eingruppierung der Risiken	25
6.6.5 Gefährdungsprotokollierung und Dokumentation	29
6.6.6 Auditierung und Wirksamkeitsprüfung von Sicherheitskonzepten	29
7 Anforderungen an die technische Ausführung, Konstruktion des BKS	30
7.1 Herleitung des BKG Designs	30
7.1.1 Allgemeines	30
7.1.2 Kältemittelkreislaufkomponenten und Rohrleitungen	31
7.1.3 Kältemittelfüllmenge	32
7.1.4 Heiße Oberflächen	33
7.1.5 Elektrische Betriebsmittel	33
7.1.6 BKG-Gehäusegestaltung	34
7.1.7 Gestaltung von E-Kästen im BKG	36
7.1.8 Sensorbasierte Konzentrationsüberwachung	37
7.2 Testanforderungen	37
7.2.1 Allgemeines	37
7.2.2 Prüfung zum Sicherheitskonzept	38
7.2.3 Korrosionsprüfung	39
7.2.4 Schwingungs- und Schockprüfung	39
7.2.5 Produktion und Serienprüfung des BKG	40
7.3 Anforderungen für die Montage des BfKS am Fahrzeug	40
7.4 Dokumentation und Kennzeichnung	40
7.4.1 Allgemeines	40
7.4.2 Dokumentation	41
7.4.3 Kennzeichnung	42
7.5 Zertifizierungen	43
8 Anforderungen an die Hersteller von Bahnklimageräten und -systemen für Sicherheit bei Instandhaltung	43
8.1 Allgemeines	43
8.2 Durchführung von Schulungen und Trainings	44
8.3 Anleitung für Wartung und Reparatur	44
8.4 Bereitstellung von Sicherheitshinweisen	45
9 Anforderungen für den sicheren Betrieb in Bahn-Betriebsstätten	45
9.1 Allgemeines	45
9.2 Anforderungen an den verantwortlichen Betreiber	47

9.3	Personal	47
9.4	Arbeits- und Betriebsstätten	48
9.5	Lüftungsbedingungen an Betriebsstätten	48
9.5.1	Allgemeines	48
9.5.2	Anforderungen für den Betrieb in gut belüfteten Bereichen	49
9.5.3	Anforderungen für den Betrieb in nicht gut belüfteten Bereichen	49
9.5.4	Betrieb in unbelüfteten Bereichen	49
9.6	Elektroinstallationen an den Betriebsstätten	50
9.7	Bedieneranweisung zur Handhabung von Alarmen	50
9.8	Transport der BKG	51
9.9	Unfälle	51
9.9.1	Allgemeines	51
9.9.2	Maßnahmen zur Unfallverhütung	52
9.9.3	Maßnahmen nach Unfällen	52
9.10	Betriebsanweisungen, Handbücher, Richtlinien an Betriebsstätten	53
10	Anforderungen an den Instandhaltungsbereich	53
10.1	Allgemeines	53
10.2	Wartung des Schienenfahrzeuges	54
10.3	Wartung am BKG mit Kältekreislaufinstandsetzung	54
10.3.1	Allgemeines	54
10.3.2	Sicherheit des Personals	54
10.3.3	Anforderungen an den Arbeitsbereich	55
10.3.4	Verwendete Werkzeuge und Ausrüstung	55
10.3.5	Vorbeugende Wartung und Inspektion	56
10.3.6	Maßnahmen und Verfahren zur Reparatur des Kältekreislaufes	56
10.3.7	Ausfall und Fehlervermeidung bei Wartung und Reparatur von Kälteanlagen	59
10.3.8	Handhabung, Rückgewinnung, Wiederverwendung und Entsorgung von Kältemittel	59
11	Außerbetriebnahme des Bahnklimagerätes	60
Anhang A (normativ)	Informationen zu Leckarten und Leckmassenstrom	61
A.1	Allgemeines	61
Anhang B (normativ)	Berechnungen zur Verdünnung kontaminierter Luft	63
B.1	Allgemeines	63
B.2	Verdünnung einer brennbaren Stofffreisetzung mit Luft	63
Anhang C (normativ)	Relevante Betriebsmodi einer BKG für das OMRA	66
C.1	Allgemeines	66
Anhang D (normativ)	Nachweisdokumente im Risikobewertungsprozess	68
D.1	Allgemeines	68
D.2	Technischer Vorschlag zum System	68
D.3	Manteldokument zur Sicherheitsnachführung	68
D.4	Projektspezifische Risikoanalysedokumente	68
D.5	Projektspezifische Nachweisdokumente	69
Anhang E (informativ)	Spezifikation der Kontrollvolumen von Bahnklimaanlagen	71
E.1	Allgemeines	71
E.2	Kontrollvolumen	71
Anhang F (informativ)	Beschreibung von Mechanismen zur Reduktion von Risiken	73
F.1	Allgemeines	73
F.2	Indirekter Wärmeübertrager	73
F.3	Wärmeüberträger Separierungsmechanismus, Absperrventile im Kältemittelkreislauf	73
F.4	Wärmeüberträger Zonenkonzept	74
F.5	Belüftungsmechanismen	75
F.6	Kältemittel-Leckageerkennung	75
F.7	Alarmsysteme	75
Anhang G (informativ)	Typische Zündquellen für die Risikobewertung	77
G.1	Allgemeines	77
G.2	Typische Zündquellen	77
Anhang H (informativ)	Verantwortlichkeiten der Akteure in den Lebenszyklusphasen	78
Literaturhinweise		80

Bilder

Bild 1 — Anwendung des CSM-Verfahrens mit Verweisen in diesem Dokument für die Risikobewertung von Gefährdungen durch Leckage-Ereignisse	18
Bild 2 — Grafisches Symbol ISO 7010-W021, Brennbare und entflammbare Materialien	43
Bild E.1 — Kontrollvolumen I bis VII für dachmontierte BKG	72
Bild F.1 — Beispiel für indirektes System	73
Bild F.2 — Beispiel für Verdampferabspernung und Anordnung der Absperrventile	74
Bild F.3 — Beispiel für Konzept der Bereichstrennung am Verdampfer	75

Tabellen

Tabelle 1 — Risikoakzeptanzkriterium für Kälteanlagen in BKG en	28
Tabelle A.1 — Klassifikation von Leckagetypen	62
Tabelle B.1 — Belüftungsumgebungen	64
Tabelle C.1 — Betriebsmodi im Lebenszyklus einer BKG	66
Tabelle G.1 — Typische Zündquellen (unvollständig) zur Berücksichtigung in der OMRA	77
Tabelle H.1 — Verantwortlichkeiten der Akteure in den Lebenszyklusphasen	78

Vorwort

Diese Norm enthält sicherheitstechnische Festlegungen.

Dieses Dokument wurde vom Arbeitsausschuss NA 087 00 07 AA „Heizung, Lüftung, Klima“ im DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF) erarbeitet.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Einleitung

Seit vielen Jahren sind Fluorkohlenwasserstoffe (FKW) die bevorzugten Kältemittel, die in Bahnanlagen zur Klimatisierung von Zügen verwendet werden. Die Verwendung dieser Kältemittel wird jedoch von der Regulativen, der Industrie und der Zivilgesellschaft aufgrund ihres Beitrags zur globalen Erwärmung als inakzeptabel angesehen. Die Verordnung (EU) Nr. 517/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates enthält Bestimmungen zur Reduzierung des Einsatzes von Fluorkohlenwasserstoffen, um die Emissionen dieser fluorierten Gase und die Auswirkungen ihres Einsatzes auf das Klima zu verringern. Die Verwendung von FKW-Kältemitteln ist in allen EU-Mitgliedstaaten, im Vereinigten Königreich und in den EFTA-Ländern geregelt. Die Menge, der auf dem Markt zur Verfügung stehenden fluorierten Gase wird mit der EU-weiten Einführung von Kontingenten in den nächsten Jahren schrittweise reduziert.

Die kontinuierliche Verbesserung der Bahnklimageräte (BKG) im Hinblick auf die Reduzierung der Treibhausgasemissionen und der Energieeffizienz führt zum Einsatz von Technologien, bei denen brennbare Kältemittel verwendet werden. Die Verwendung dieser Kältemittel in BKG bedingt, dass die spezifischen Risiken bzw. Gefährdungen identifiziert und bezüglich einer ausreichenden Auswirkungsbegrenzung bewertet werden. Dies ist Bestandteil der Produktentwicklung, sodass die Zulieferkomponenten ausreichend spezifiziert und nachfolgend anforderungskonform in die BKG integriert werden können. Die Anforderungen sind dabei auch in Bezug auf verschiedenen Lebenszyklen und Betriebszustände auszurichten. Das betrifft z. B. Szenarien in der Fertigung und Inbetriebnahme sowie während des bestimmungsgemäßen und abweichenden Einsatzes im Fahrbetrieb, sowie in der Instandhaltung.

Das Austreten brennbarer Kältemittel kann zu Feuer, Explosion oder bei Zersetzung zur Entwicklung von toxischen Stoffen führen und ist damit als sicherheitsrelevant im Sinne der CSM-RA einzustufen. Für die Verwendung brennbarer Kältemittel im Bahnbetrieb ist die Gefährdungseinstufung „nicht signifikant“ anzustreben, damit keine darüberhinausgehenden zulassungsrelevanten Anforderungen bestehen.

Diese technisch untersetzte Prozess-Norm wurde entwickelt, um die sichere Verwendung brennbarer Kältemittel in BKG zu ermöglichen und so die Voraussetzung für die Gewährleistung der Produkthaftung des Herstellers von BKG mit brennbaren Kältemitteln zu schaffen. Dies dient damit gleichzeitig der Nachweisführung zur Sicherheit während der Nutzungsdauer.

Dieses Dokument enthält generische Anforderungen, so dass die spezifische Entwicklung und Nachweisführung zum BKG auf Basis eines in diesem Dokument beschriebenen und definierten akzeptablen Sicherheitsniveaus unter Beachtung der Kriterien der DIN EN 50126-1 (VDE 0115-103-1) erfolgen kann.

Für BKG ergänzt dieses Dokument DIN EN 378-1, DIN EN 378-2, DIN EN 378-3 und DIN EN 378-4 mit spezifischen zusätzlichen Anforderungen an die Konstruktion, den Betrieb, den Service, die Dokumentation und die Reparatur. Damit wird sichergestellt, dass geeignete Bewertungskriterien für die explizite Risikobewertung angewendet und z. B. abweichende Ausführungen zur Kältemittelfüllmenge, der Verwendung von Schmelzpfropfen, oder der Durchführung von Prüfungen für den Sicherheitsnachweis verwendet werden können. Es enthält Mindestanforderungen zur Beherrschung der Risiken für Personen, Vermögenswerte und die Umwelt.

1 Anwendungsbereich

Bahn-Klimasysteme (BKS) werden für die Klimatisierung von Führerstands-, Fahrgasträumen und Batterie-konditionierung verwendet. Im bestimmungsgemäßen Regelbetrieb heizt, kühlt und belüftet das Klimasystem den Führerstands- und/oder den Fahrgastraum entsprechend den vorgegebenen Anforderungen zur Klimatisierung bzw. temperiert das Klimasystem das Batteriesystem.

Dieses Dokument ist anzuwenden für Bahn-Kälteanlagen, die als betriebsfertige Kältesätze aufgebaut sind und mit brennbaren Kältemitteln der Klasse A2L, A2, A3 nach ISO 817:2014 betrieben werden. Der Betrieb der Kältemaschine zur Klimatisierung schließt den Wärmepumpenbetrieb ein.

Dieses Dokument legt Verfahren zur Erfassung und Bewertung von Gefährdungen durch Leckagen an Kältekreisläufen mit brennbaren Kältemitteln fest, die im betrieblichen Einsatz, durch Fehllhandlung, technischen Defekt, oder unfallartiges Geschehen auftreten können. Die Risikobewertung im Lebenszyklus mit den antizipierten Betriebsmodi wird durch die OMRA (Operational Mode Risk Assessment) erfasst, bei den Methoden wie HAZOP (Gefahren- und Betriebsfähigkeitsanalyse), FMECA (Fehlermodus-, Auswirkungs- und Kritikalitätsanalyse) oder FTA (Fehlerbaumanalyse) oder eine Kombination dieser Methoden verwendet werden.

Dieses Dokument definiert darauf aufbauend spezifische und zielgerichtete Vorgehensweisen und Prinzipien zur Risikoerfassung an BKS und zum Risiko-Management sowie die zugehörigen Validierungsschritte und Verfahren.

Dieses Dokument legt in Anlehnung und unter Berücksichtigung der DIN EN 50126-1 (VDE 0115-103-1), sowie DIN EN 50126-2 (VDE 0115-103-2) Anforderungen an den Klimaanlagen-, Fahrzeughersteller und den Betreiber fest, die sich für die Verwendung von brennbaren Kältemitteln ergeben.

Weiterhin werden nachfolgende Mindestanforderungen beschrieben.

Diese sind:

- Durchführung einer Risikoanalyse bezogen auf Leckagen von brennbaren Kältemitteln;
- Ermittlung von Risiken über den gesamten Lebenszyklus und beinhaltet z. B. den rollenden und stillstehenden Betrieb, sowie den bahnspezifischen Service und Wartung sowie Recycling und Stilllegung;
- Umsetzung risikominimierender Maßnahmen bei der Gestaltung und Konstruktion.

Das Dokument legt weiterhin Anforderungen an die Validierung und Überprüfung möglicher Sicherheitskonzepte und Schutzeinrichtungen, einschließlich Kältemittel-Leckageuntersuchungen, Ausbreitungssimulationen und Funktionstests der zugehörigen Schutzeinrichtungen fest.

Dieses Dokument entspricht damit verfahrensbezogen bereits den prozessualen Anforderungen der CSM und ist damit auch für andere Anwendungen wie z. B. Fahrzeuge im urbanen Bereich direkt anwendbar. Der Fokus liegt hierbei auf Gefährdungen, welche sich bei Leckage von brennbarem Kältemittel ergeben können, da die bereits etablierte Anlagentechnik den Sicherheitsanforderungen umfassend genügt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN EN 378-1, *Kälteanlagen und Wärmepumpen — Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen — Teil 1: Grundlegende Anforderungen, Begriffe, Klassifikationen und Auswahlkriterien*

DIN EN 378-2:2018-04, *Kälteanlagen und Wärmepumpen — Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen — Teil 2: Konstruktion, Herstellung, Prüfung, Kennzeichnung und Dokumentation; Deutsche Fassung EN 378-2:2016*

DIN EN 378-3, *Kälteanlagen und Wärmepumpen — Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen — Teil 3: Aufstellungsort und Schutz von Personen*

DIN EN 378-4:2019-12, *Kälteanlagen und Wärmepumpen — Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen — Teil 4: Betrieb, Instandhaltung, Instandsetzung und Rückgewinnung; Deutsche Fassung EN 378-4:2016+A1:2019*

DIN EN 12663-1, *Bahnanwendungen — Festigkeitsanforderungen an Wagenkästen von Schienenfahrzeugen — Teil 1: Lokomotiven und Personenfahrzeuge (und alternatives Verfahren für Güterwagen)*

DIN EN 12735-1, *Kupfer und Kupferlegierungen — Nahtlose Rundrohre für die Kälte- und Klimatechnik — Teil 1: Rohre für Leitungssysteme*

DIN EN 12735-2, *Kupfer und Kupferlegierungen — Nahtlose Rundrohre für die Kälte- und Klimatechnik — Teil 2: Rohre für Apparate*

DIN EN 14276-2, *Druckgeräte für Kälteanlagen und Wärmepumpen — Teil 2: Rohrleitungen — Allgemeine Anforderungen*

DIN EN 14624, *Leistung von mobilen Leckdetektoren und stationären Gasmeldern für alle Kältemittel*

DIN EN 45545-2, *Bahnanwendungen — Brandschutz in Schienenfahrzeugen — Teil 2: Anforderungen an das Brandverhalten von Materialien und Komponenten*

DIN EN 50126-1 (VDE 0115-103-1):2018-10, *Bahnanwendungen — Spezifikation und Nachweis von Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS) — Teil 1: Generischer RAMS-Prozess; Deutsche Fassung EN 50126-1:2017*

DIN EN 50126-2 (VDE 0115-103-2), *Bahnanwendungen — Spezifikation und Nachweis von Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS) — Teil 2: Systembezogene Sicherheitsmethodik*

DIN EN 50155 (VDE 0115-200), *Bahnanwendungen — Fahrzeuge — Elektronische Betriebsmittel*

DIN EN 60079-29-1 (VDE 0400-1), *Explosionsfähige Atmosphäre — Teil 29-1: Gasmessgeräte — Anforderungen an das Betriebsverhalten von Geräten für die Messung brennbarer Gase*

DIN EN 61025, *Fehlzustandsbaumanalyse*

DIN EN 61373 (VDE 0115-1066), *Bahnanwendungen — Betriebsmittel von Bahnfahrzeugen — Prüfungen für Schwingen und Schocken*

DIN EN 61882 (VDE 0050-8), *HAZOP-Verfahren (HAZOP-Studien) — Anwendungsleitfaden*

DIN EN 62502 (VDE 0050-3), *Verfahren zur Analyse der Zuverlässigkeit — Ereignisbaumanalyse (ETA)*

E DIN EN ISO 19659-1, *Bahnanwendungen — Heizung, Lüftung und Klimatisierung von Schienenfahrzeugen — Teil 1: Begriffe und Definitionen*

DIN EN IEC 60079-10-1 (VDE 0165-101), *Explosionsgefährdete Bereiche — Teil 10-1: Einteilung der Bereiche — Gasexplosionsgefährdete Bereiche*

EN IEC 60812, *Ausfalleffektanalyse (FMEA und FMECA)*

ISO 817:2014, *Refrigerants — Designation and safety classification*

TRGS 722, *Technische Regeln für Gefahrstoffe — Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Gemische*

Durchführungsverordnung (EU) Nr. 402/2013 der Kommission vom 30. April 2013 über die gemeinsame Sicherheitsmethode für die Evaluierung und Bewertung von Risiken und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 352/2009

Richtlinie 2014/68/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Mai 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung von Druckgeräten auf dem Markt (Druckgeräte-Richtlinie)

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

DIN und DKE stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- DIN-TERMinologieportal: verfügbar unter <https://www.din.de/go/din-term>
- DKE-IEV: verfügbar unter <http://www.dke.de/DKE-IEV>

3.1

Sicherheitskonzept

Reihe von Maßnahmen, die zusammen eine sichere Konstruktion und einen sicheren Betrieb eines BKS gewährleistet

3.2

Risikomanagementverfahren

strukturierte und dokumentierte Vorgehensweise zur Identifikation von Gefährdungen bei Änderungen an Teilsystemen des Eisenbahnsystems, der Risikoeinschätzung, der Festlegung von Sicherheitsmaßnahmen zur Beherrschung mit entsprechender Nachweisführung

3.3

Risikobewertung im Betriebsmodus

Gesamtprozess aus Risikoanalyse und Risikobewertung eines BKG in unterschiedlichen Betriebsmodi

3.4

verantwortlicher Betreiber

verantwortlicher Akteur

Person, Körperschaft oder Arbeitgeber, die oder der zu einem bestimmten Zeitpunkt die Betriebskontrolle am Betriebsstandort hat

Anmerkung 1 zum Begriff: Der verantwortliche Betreiber enthält Akteure, wie Beförderer, Halter, Hersteller und deren Schnittstellen im Sinne der Richtlinie (EU) 2016/798.

3.5

Signifikanz

Merkmal für Notwendigkeit der Anwendung des Risikomanagementverfahrens im Sinne der gemeinsamen Sicherheitsmethode (CSM)

Anmerkung 1 zum Begriff: Sicherheitsmethode (CSM) gemäß Durchführungsverordnung (EU) Nr. 402/2013 mit den Änderungen durch Durchführungsverordnung (EU) 2015/1136.

3.6

brennbare Atmosphäre

Gemisch mit Luft unter atmosphärischen Bedingungen aus brennbaren Stoffen in Form von Gasen oder Dämpfen, das entzündbar ist und eine eigenständige Flammenausbreitung ermöglicht

Anmerkung 1 zum Begriff: Zum Beispiel ein Gemisch aus brennbarem Kältemittel mit Luft unter atmosphärischen Bedingungen.

[QUELLE: DIN EN IEC 60079-10-1 (VDE 0165-101):2022-02, 3.2, modifiziert — die Wörter „explosives Gas“ wurden durch „brennbar“ ersetzt, Anmerkungen 1 und 2 wurden weggelassen]

3.7

Entflammbarkeitsgrenze

Funktion von Temperatur und Feuchtigkeit

Anmerkung 1 zum Begriff: Für die Entflammbarkeit von Kältemitteln definiert ISO 817:2014 Testbedingungen von 50 % relativer Luftfeuchtigkeit bei 23,0 °C und 101,3 kPa für Brenngeschwindigkeits- und LFL/UFL-Messungen. Der Effekt einer reduzierten unteren Zündgrenze und einer erhöhten oberen Zündgrenze bei höheren Betriebsfeuchtigkeits- und -temperaturniveaus kann in der Betriebsmodus-Risikobewertung berücksichtigt werden.

3.7.1

untere Zündgrenze

LFL

Konzentration eines brennbaren Gases oder Dampfes in Luft, unterhalb derer die Gasatmosphäre nicht brennbar ist

3.7.2

obere Zündgrenze

UFL

Konzentration eines brennbaren Gases oder Dampfes in Luft, oberhalb derer die Gasatmosphäre nicht brennbar ist

[QUELLE: DIN EN IEC 60079-10-1 (VDE 0165-101):2022-02, 3.6.13, modifiziert — In der Definition wurden die Wörter „oder Nebel“ nach „Dampf“ entfernt. Außerdem wurde am Ende nach „oberhalb“ „keine explosionsfähige Gasatmosphäre gebildet“ in „die Gasatmosphäre ist nicht brennbar“ geändert]

3.8

Arten der Kältemittelleckage

Informationen zu Leckagearten (schleichende Leckagen, kleine Leckagen, große Leckagen und Bruchleckagen), Häufigkeiten und Freisetzungsraten

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Arten der Kältemittelleckage unterstützen Hersteller und Betreiber bei der Risikobewertung zusätzlich zu den entwickelten Informationen nach 6.6.3.3.

Anmerkung 2 zum Begriff: Anhang C enthält zusätzliche Informationen zu Art, Größe, Häufigkeit und Leckraten von Leckagen.

3.8.1

schleichende Leckage

Freisetzung von Kältemittel aus druckbeaufschlagten Geräten mit einer Leckrate, die während der typischen Betriebszeit nicht zu einer Fehlfunktion des Kühlprozesses in einem Zeitraum von Monaten bis Jahren führt

Anmerkung 1 zum Begriff: Informationen zu Leckarten und Leckmassenstrom siehe Anhang C.

Anmerkung 2 zum Begriff: Schleichende Leckagen gleichbedeutend mit flüchtigen Leckagen, resultieren aus Mängeln von Komponenten oder Verbindungen, die während des Betriebs als erhöht dicht eingestuft werden, und führen nicht

zu einer Fehlfunktion und/oder einem Reparaturbedarf des Kältemittelkreislaufes in einem Zeitraum von Monaten bis Jahren.

Anmerkung 3 zum Begriff: Weitere Informationen siehe DIN EN IEC 60079-10-1 (VDE 0165-101):2022-02, C.4.6.

3.8.2

kleine Leckage

Freisetzung von Kältemittel aus unter Druck stehenden Geräten, was ab dem Auftreten zu einer Störung des Kühlprozesses in einem Zeitraum von Tagen bis Monaten führt

Anmerkung 1 zum Begriff: Informationen zu Leckarten und Leckmassenstrom siehe Anhang C.

3.8.3

große Leckage

Freisetzung von Kältemittel aus unter Druck stehenden Geräten, was ab dem Auftreten zu einer Störung des Kühlprozesses in einem Zeitraum von Stunden bis Tagen führt

Anmerkung 1 zum Begriff: Informationen zu Leckarten und Leckmassenstrom siehe Anhang C.

3.8.4

bruchartige Leckage

bruchartige Freisetzung von Kältemittel aus unter Druck stehenden Geräten, meist durch äußere Ereignisse (wie Unfälle, Feuer, unsachgemäße Wartung) hervorgerufen, die zu einer Störung des Kühlprozesses in einem Zeitraum von Minuten bis Stunden führt

Anmerkung 1 zum Begriff: Informationen zu Leckarten und Leckmassenstrom siehe Anhang C.

3.9

Kontrollvolumen

theoretisches Volumen, das einen Raum darstellt, für das bewertet wird, ob eine brennbare Atmosphäre als Folge eines Kältemittellecks und eines Belüftungszustands entstehen kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Es kann durch den Innen- oder Außenbereich der Fahrzeugabmessungen (VD) und/oder durch bestimmte Gehäuseteilvolumen des BKG begrenzt sein.

Anmerkung 2 zum Begriff: Eine Beschreibung der Kontrollvolumen ist in Anhang A enthalten.

3.10

brennbares Kältemittel

Kältemittel der Toxizitätsklassifizierung A mit einer Brennbarkeitsklassifizierung der Klasse 2L, 2 oder 3

Anmerkung 1 zum Begriff: Klassifikationen siehe ISO 817:2014.

3.10.1

Selbstentzündungstemperatur

niedrigste Temperatur, bei der unter festgelegten Bedingungen eine Entzündung eines brennbaren Gases oder Dampfes im Gemisch mit Luft eintritt

[QUELLE: DIN EN IEC 60079-10-1 (VDE 0165-101):2022-02, 3.6.11, modifiziert — In der Definition wurden die Wörter „inert gas“ nach „air“ entfernt]

3.10.2

Reaktionsschwellentemperatur

niedrigste Temperatur eines Stoffes, bei der oder über die sich eine Chemikalie in normaler Atmosphäre in Gegenwart einer externen Zündquelle wie einer offenen Flamme, einer heißen Oberfläche oder einem Funken spontan zersetzen kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Als Schätzung können die folgenden Werte verwendet werden: $RTT = AIT - 100\text{ K}$.

3.11

Belüftung

Luftwechsel mit Luftbewegung, welche der Verdünnung von Kältemittelumgebungskonzentrationen aus Leckagen dient

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Definition 3.11 bezieht sich auf die Vermeidung von brennbarer Atmosphäre und nicht auf die Definition der Klimatisierung des Fahrzeugs nach der Definition in E DIN EN ISO 19659-1.

3.12

Belüftung

Funktion, die den Austausch eines Luftvolumens in einem Kontrollvolumen innerhalb einer definierten Zeit ermöglicht und im Rahmen des Sicherheitskonzepts berücksichtigt werden kann

3.12.1

natürliche Belüftung

Bewegung von Luft durch Erzeugung eines Luftwechsels zur Verdünnung von Kältemittelumgebungskonzentrationen durch Vermischung auf Grund von natürlichen Druckgradienten

Anmerkung 1 zum Begriff: Für die Belüftung im Freien wird normalerweise eine angenommene Mindestwindgeschwindigkeit von 0,15 m/s für Bereiche mit Hindernissen und 0,3 m/s für Bereiche ohne Hindernisse zugrunde gelegt, die praktisch ständig vorhanden sein werden (siehe DIN EN IEC 60079-10-1 (VDE 0165-101):2022-02, Tabelle C.1).

3.12.2

maschinelle Belüftung

Bewegung von Luft durch einen maschinell erzeugten Luftwechsel zur Verdünnung von Kältemittelumgebungskonzentrationen durch Vermischung mit dem maschinellen Luftstrom

3.13

nicht kontaminierte Außenluft

Luft, die aus der freien Atmosphäre ohne zündfähige Volumenanteile in ein oder aus einem betrachteten Kontrollvolumen strömt

3.14

bestimmungsgemäßer Betrieb

Nutzung des BKG nach Benutzerhandbuch des Herstellers

Anmerkung 1 zum Begriff: Die bestimmungsgemäße Verwendung umfasst alle in 6.6.1 beschriebenen Betriebsarten.

[QUELLE: DIN EN ISO 12100:2011-03, 3.23, modifiziert — Die Wörter „eine Maschine“ wurden durch „das BKG“ ersetzt und Anmerkung 1 zum Begriff wurde hinzugefügt]

3.14.1

Normalbetrieb

Betriebszustand, wenn das Gerät innerhalb seiner vorgesehenen Parameter und ohne das Vorhandensein von Kältemittelkreislaufleckagen arbeitet

Anmerkung 1 zum Begriff: Ausfälle (wie der Ausfall von Komponenten oder Brüche), die eine Abschaltung und dringende Reparatur erfordern, gelten nicht als Teil des normalen Betriebs.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Normalbetrieb umfasst Anfahr- und Abschaltbedingungen.

Anmerkung 3 zum Begriff: Normalbetrieb kann das Auftreten von schleichenden Kältemittelleckagen beinhalten.

[QUELLE: DIN EN IEC 60079-10-1 (VDE 0165-101):2022-02, 3.7.1, modifiziert — Eingangsbeschreibung, Anmerkungen 1, 2, Anmerkung 3 ist hinzugekommen]

3.14.2

vernünftigerweise vorhersehbarer Missbrauch

Umgang mit dem BKG in einer Weise, die nicht vom Hersteller beabsichtigt ist, die sich jedoch aus leicht vorhersehbarem menschlichem Verhalten oder, in Ermangelung solcher Informationen, aus allgemein bekannten Nutzungsmustern ergeben kann

[QUELLE: DIN EN ISO 12100:2011-03, 3.24, modifiziert — Das Wort „eine Maschine“ wurde durch „BKG“ ersetzt]

3.15

Betriebsmodus

Anlagenzustand des BKG in einem Entwicklungs- Fertigungs- oder einem Zustand des Bahnbetriebes

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Anlagenzustand wird charakterisiert durch:

- den Bahnbetriebszustand des BKG (z. B. Personenbeförderung, Rangierbetrieb, Stillstandsbetrieb, Reparatur und Wartung, Lagerung, Transport);
- die BKG-Betriebsart (z. B. Automatik, Temperaturerhaltung, Vorkonditionierung, Standby, Service);
- den BKG-Betriebszustand (z. B. Kühlung, Heizung, Lüften).

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Lebenszyklusphase Produktion des Systems im Werk des Herstellers wird in diesem Dokument nicht beschrieben, kann aber nach denselben Risikobewertungsprinzipien dieses Dokumentes bewertet werden.

3.16

Standby-Modus

Betriebsart, in der ein vorbestimmter Innentemperaturbereich während Nicht-Betriebsaktivität des Fahrzeugs aufrechterhalten wird (üblicherweise ohne Anwesenheit von Passagieren)

[QUELLE: E DIN EN ISO 19659-1:2023-05, 3.1.4.14, modifiziert]

3.17

Vorkonditionierungsmodus

Betriebsart, bei der die Innentemperatur gesenkt oder erhöht wird (üblicherweise ohne Anwesenheit von Passagieren)

[QUELLE: E DIN EN ISO 19659-1:2023-05, Kombination aus 3.1.4.4 und 3.1.4.9]

3.18

klimatisierter Aufenthaltsraum

klimatisierter Fahrzeuginnenraum

Räume innerhalb eines Fahrzeugs, die durch ein Bahnklimatisierungssystem klimatisiert werden und sowohl Fahrgastbereiche als auch Personalbereiche erfassen

3.19

Bahnklimasystem

Gesamtheit der Geräte und Komponenten für die Klimatisierung eines Schienenfahrzeuges

3.20

Bahnklimagerät

BKG

alle Funktionen, die für die Luftaufbereitung erforderlich sind und besteht typischerweise aus Luftbehandlungsgerät, Verdichter-Verflüssiger-Sektion und der Steuerungs- und Regelungssektion

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein BKG kann ein- oder mehrere betriebsfertige Kältesätze beinhalten.

3.20.1

Luftbehandlungsgerät

Bereich des Bahnklimagerätes in dem die Gruppe der Komponenten zum Bewegen, Filtern und/oder Mischen, Heizen und/oder Kühlen der Luft untergebracht ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Bereich ist gleichbedeutend mit dem komfortluftführenden Bereich des BKG.

Anmerkung 2 zum Begriff: siehe Definition aus E DIN EN ISO 19659-1:2023-05, 3.2.3.1.

3.20.2

Verdichter-Umgebungswärmeübertrager-Sektion

Bereich des BKG, in dem der Umgebungswärmeübertrager, Verdichter und zugehörige Rohrleitungen angeordnet sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Verdichter Verflüssiger Sektion ist ein baulich begrenzter Bereich gleicher Funktionalität, der mit Öffnungen für den Luftdurchsatz versehen ist.

3.21

Kältesatz

betriebsfertiger Kältesatz

Teilsystem des Bahnklimagerätes bestehend aus einer Kompressionskälteanlage mit einem Kältemittel, das zur Kühlung oder Erwärmung der zu klimatisierenden Luft oder eines Kälteträgers dient

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Kälteanlage kann als System mit Direktverdampfung oder als indirektes System ausgeführt sein.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Kälteanlage kann auch zur Kühlung anderer Systeme eines Fahrzeuges, z. B. Batteriesystem, gestaltet und verwendet sein.

3.22

dauerhaft technisch dicht

Anlagenteile, die so ausgeführt sind, dass sie aufgrund ihrer Konstruktion technisch dicht bleiben oder ihre technische Dichtheit durch Wartung und Überwachung ständig sichergestellt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Anlagenteile, die auf Dauer technisch dicht sind, verursachen durch ihre Bauart in ihrer Umgebung im ungeöffneten Zustand keine explosionsgefährdeten Bereiche.

Anmerkung 2 zum Begriff: In den kältetechnischen Normen werden gleichbedeutend die Begriffe „dauerhaft geschlossene Kälteanlage“ (siehe DIN EN 378-1) und „hermetisch dichte Kälteanlage“ (siehe DIN EN ISO 14903) verwendet. Die dort beschriebenen Anforderungen weichen von den im vorliegenden Dokument beschriebenen Anforderungen ab.

Anmerkung 3 zum Begriff: DIN EN 1127-1 verwendet gleichbedeutend zu „auf Dauer technisch dicht“ den Begriff „erhöhte Dichtheit“.

[QUELLE: TRGS 722]

3.23

Alarmsystem

so beschaffen, dass es bei Kältemittelaustritt und Erreichung eines vorgegebenen Grenzwertes alarmiert

Anmerkung 1 zum Begriff: „optional“ und nur „verbindlich“, wenn ein entsprechendes Sicherheitskonzept verwendet wird. Siehe Anmerkungen im Text.

3.24

Betriebsort

Ort, an dem ein Fahrzeug mit BKS oder das BKG während der bestimmungsgemäßen Verwendung betrieben, geprüft, repariert oder abgestellt werden kann

3.25

Gefahrenbereich

Gefahrenbereichsklassifizierung basierend auf der Häufigkeit des Auftretens und der Dauer einer explosionsfähigen Atmosphäre

[QUELLE: DIN EN IEC 60079-10-1 (VDE 0165-101):2022-02, 3.3.1, 3.3.2 und 3.3.3, modifiziert und zusammengefasst zum „Gefahrenbereich“]

3.25.1

Zone

durch brennbare bzw. entzündbare Gase, Dämpfe oder Nebel explosionsgefährdeter Bereich

Anmerkung 1 zum Begriff: Es gibt folgende Zonen:

- Zone 0: Bereich, in dem gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln ständig, über lange Zeiträume oder häufig vorhanden ist;
- Zone 1: Bereich, in dem sich im Normalbetrieb gelegentlich eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln bilden kann;
- Zone 2: Bereich, in dem im Normalbetrieb eine gefährliche explosionsfähige Atmosphäre als Gemisch aus Luft und brennbaren Gasen, Dämpfen oder Nebeln normalerweise nicht auftritt, und wenn doch, dann nur selten und für kurze Zeit.

[QUELLE: GefStoffV, Anhang I Nr. 1.7]

3.25.2

Ausdehnung der Zone

Ausdehnung der Gefahrenzone

Entfernung in beliebiger Richtung von der Freisetzungsquelle bis zu dem Ort, an dem ein Gas/Luft-Gemisch durch Luft auf eine Konzentration unterhalb der unteren Zündgrenze verdünnt wird

[QUELLE: DIN EN IEC 60079-10-1 (VDE 0165-101):2022-02, 3.3.7]

3.26

Freimessen

Messvorgang bei dem die Umgebung zu einer potenziellen oder vorhandenen Leckage mittels eines qualifizierten Messgerätes auf sicheren Abstand zu einer zündfähigen Atmosphäre untersucht wird

3.27

Service-Werkstatt

Gebäude oder Serviceeinrichtung, in der Wartung und Reparatur des BKG oder des Fahrzeugs von zertifiziertem Personal durchgeführt werden

3.28

Serviceventil

Anschlussmöglichkeit mit Zugang in den Kältemittelkreislauf für Wartungs- und Instandhaltungszwecke des Kältesystems, der es ermöglicht, den Kältemittelkreislauf zu befüllen, zu entleeren, zu evakuieren und auf Druck zu prüfen

3.29

Reparatur von Kältemittelkreisläufen

Tätigkeit mit Öffnung des Kältemittelkreislaufes

3.30

giftige Atmosphäre

Mischung von Luft mit Gasen und Dämpfen unter atmosphärischen Bedingungen, die für Menschen schädlich oder tödlich sein können

Anmerkung 1 zum Begriff: Zum Beispiel ein Gemisch aus giftigem Kältemittel oder Zersetzungsprodukten mit Luft unter atmosphärischen Bedingungen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Ein giftiger Stoff ist ein Stoff in Form von Gas, Dampf, Flüssigkeit oder Gemischen, der gesundheitsschädlich oder tödlich sein kann oder aufgrund akuter oder chronischer Exposition die Fluchtfähigkeit einer Person beeinträchtigen kann z. B. durch Kontakt, Einatmen oder Verschlucken.

4 Symbole und Abkürzungen

Abkürzung	Definition (en)	Definition (de)
AIT	Auto Ignition Temperatur	Selbstentzündungstemperatur
CSM-RA	Common Safety Method for Risk Assessment	Gemeinsame Sicherheitsmethode zur Bewertung von Risiken
CSM	Common Safety Method	Risikomanagementverfahren nach CSM-RA
CV	Control Volume	Kontrollvolumen
BfKS	Cooling Compact Unit	Betriebsfertiger Kältesatz
BKG	Railway Air Conditioning Unit	Bahnklimagerat
BKS	Railway Air Conditioning System	Bahnklimasystem
KWS	Chiller Unit	Kaltwassersatz
LBG	Air Treatment Unit	Luftbehandlungsgerät
LFL	Lower Flammable Limit	Untere Zündgrenze
OMRA	Operational Mode Risk Assessment	Risikobewertung im Betriebsmodus
PSA	Personal Protective Equipment	Persönliche Schutzausrüstung
RTT	Reaction Threshold Temperature	Reaktionsschwellentemperatur
SDS	Safety datasheet for chemicals	Sicherheitsdatenblatt für Chemikalien
SOI	Source of Ignition	Zündquelle
UFL	Upper Flammable Limit	Obere Zündgrenze
VVS	Condenser Compressor Unit	Verflüssiger-Verdichter-Sektion

5 Anforderungen aus dem Risikomanagement-Prozess

Bei der Verwendung brennbarer Kältemittel im Bahnbetrieb ist eine Gefährdungseinstufung erforderlich.

ANMERKUNG Das Risikomanagementverfahren an Eisenbahnsystemen ist in der CSM-RA (EU) Nr. 402/2013 und der ergänzenden Änderung Durchführungsverordnung (EU) 2015/1136 gesetzlich geregelt, und unabhängig von der Frage der Signifikanz, generell auf die Risikobewertung und das Sicherheitsmanagement eines BKG mit brennbarem Kältemittel anwendbar.

Das CSM-Verfahren sieht über alle Lebenszyklusphasen ein kontinuierlich geführtes Gefährdungsmanagement beginnend bei der Gefährdungsidentifikation bis zum Nachweis der Gefährdungsbeherrschung vor. (siehe Anhang H)

Bereits zu Beginn eines Projektes, sollten alle Akteure, die in den einzelnen Phasen des Lebenszyklusses zum BKS mitwirken, in die Durchführung des Risikobewertungsverfahrens eingebunden werden (siehe 6.6.3: Operational Mode Risk Assessment, Anhang H).

Bei der Analyse von Risiken bietet der CSM-RA-Prozess drei alternative Grundsätze, für die Nachweisführung zur Risikoakzeptanz ermittelter Risiken.

Diese Grundsätze sind:

- Anwendung von Regelwerken,
- Vergleich mit ähnlichen Systemen (Referenzsystem), und
- explizite Risikoabschätzung.

Die Nachweisführung zur Gefährdungsbeherrschung eines identifizierten Risikos kann die Anwendung mehrerer der oben genannten Grundsätze erfordern. Teilergebnisse aus den Risikoanalysen müssen sich im Rahmen der Risikobewertung zum Sachverhalt ergänzen und darauf anwendbar sein.

Bild 1 zeigt ein Schema des CSM-Verfahrens sowie die Verweise auf die relevanten Teile in diesem Dokument.

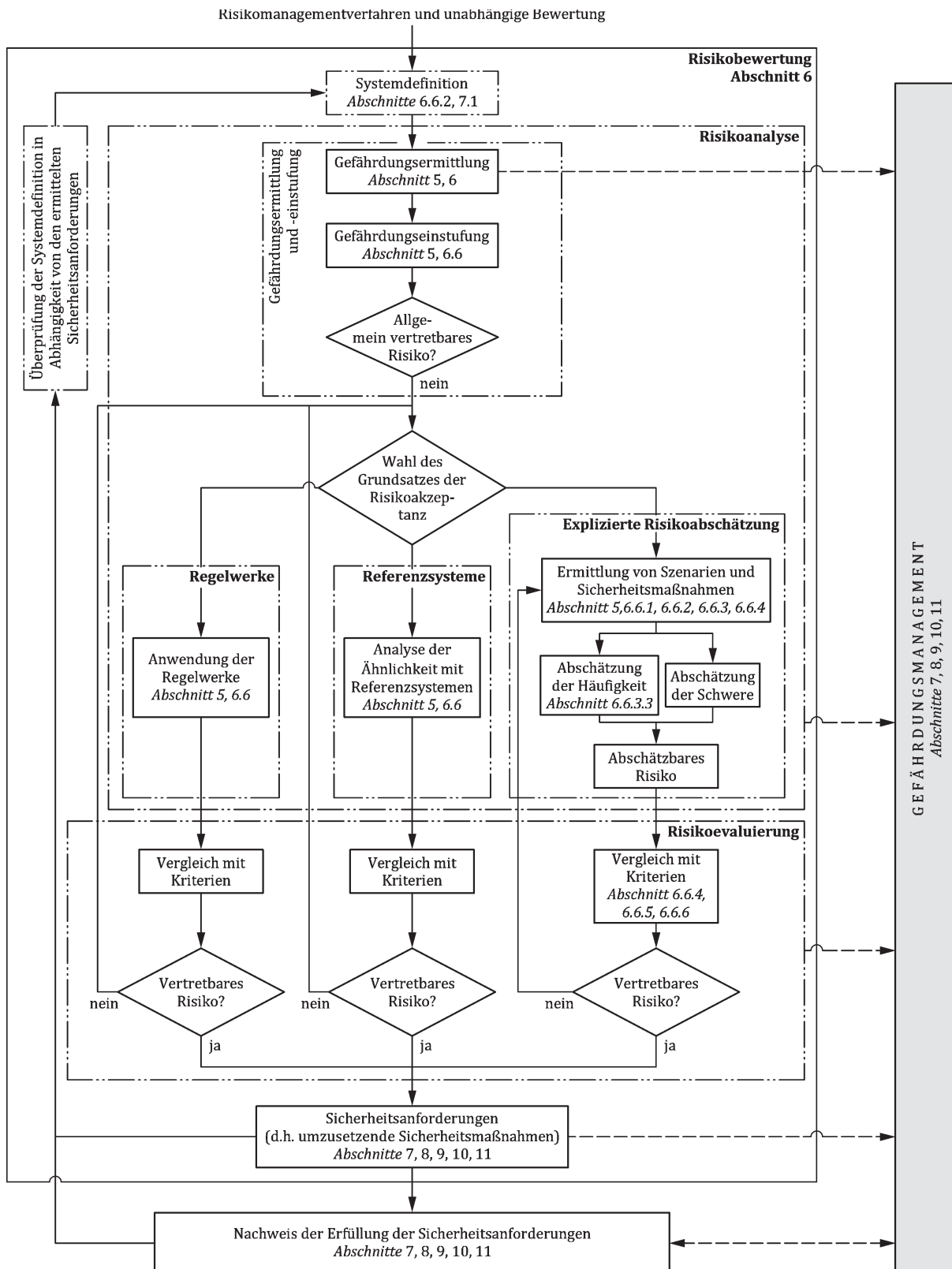


Bild 1 — Anwendung des CSM-Verfahrens mit Verweisen in diesem Dokument für die Risikobewertung von Gefährdungen durch Leckage-Ereignisse

6 Anforderungen an die Risikobewertung

6.1 Allgemeines

Der Risikobewertungsprozess ist ein mehrstufig iterativer Prozess, in dem alle mit dem BKS in Verbindung stehenden Betriebsarten des Bahnbetriebes überprüft und die relevanten Risiken durch die Kombination der Detektion, Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Schadens und der Schwere dieses Schadens abgeschätzt werden.

Die Anforderung an die Risikobewertung zum BKS definiert sich aus dem Nachweis zur Beherrschung identifizierter Gefahren zum Betrieb des BKG bei Anwendung des Standes der Technik, bei dem Nachweis zur Wirksamkeit eingeführter Designanpassungen, und des Vergleiches zu bestehenden Referenzsystemen.

Das Risikobewertungsverfahren zu Gefährdungen durch Leckagen am Kältemittel-Kreislauf wird mit den entsprechenden Teilen der einschlägigen Verfahrensbeschreibungen aus DIN EN 50126-1 (VDE 0115-103-1) und DIN EN 50126-2 (VDE 0115-103-2) verknüpft.

Dabei steht bei der Nachweisführung der Personenschutz als Schutzziel im Fokus, und wird in den folgenden Abschnitten mit konkreten Anforderungen unter Berücksichtigung der definierten Restrisikoakzeptanz unter-
setzt.

Mit Bezug auf die Änderung „brennbares Kältemittel“ zum BKS sind insbesondere die Inhalte aus 6.6 und darauf aufbauend die Umsetzung der Sicherheitskonzepte nach 6.6.1 für die Risikobewertung relevant.

Bei der Anwendung des Risikobewertungsverfahrens, müssen mindestens die im Anhang D aufgeführten Nachweis- und Analysedokumente erbracht werden.

6.2 Drucktechnische Sicherheit

Die drucktechnische Sicherheit muss über den betrachteten Lebenszeitraum eines BKG sichergestellt werden.

Für die Nachweisführung ist die Einhaltung der Anforderungen zur Druckgeräterichtlinie 2014/68/EU sowie der DIN EN 378-2 maßgeblich und über die Nutzungsdauer durch entsprechende Instandhaltungsvorgaben abzusichern.

Mängel an kältemittelführenden Bauteilen müssen nach ihrer Feststellung umgehend durch das Wartungs- und Instandhaltungspersonal behoben werden

6.3 Elektrische Gefahren

Bei dem Einsatz von elektrischen Betriebsmitteln ist grundsätzlich von einer elektrischen Gefährdung auszugehen. Das Risiko (als Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Verletzungsschwere) steigt mit der Wahrscheinlichkeit einer Beschädigung durch äußere Einwirkungen. Elektrische Gefährdungen werden hierbei in die zwei Gruppen primäre und sekundäre Gefährdungen unterteilt.

Primärgefährdungen führen zu Verletzungen, die durch den Strom direkt verursacht werden.

Für die primären Gefährdungen ergibt sich keine relevante Änderung gegenüber den bisher eingesetzten BKG.

Bei dem Einsatz von brennbaren Kältemitteln insbesondere der Sicherheitsklasse A3 muss als Sekundärgefährdung zusätzlich die Gefährdung bei Gasfreisetzung nach 6.6 berücksichtigt werden.

Elektrische Funken, Lichtbögen und erhitzte Teile elektrischer Einrichtungen und Betriebsmittel stellen potenzielle Zündquellen dar, die je nach Sicherheitskonzeption hinsichtlich ihres Auftretens und Wirksamkeit in der Risikobewertung berücksichtigt werden müssen.

Für den Instandhaltungsfall ist es wichtig, dass die elektrischen Betriebsmittel für die Arbeitsumgebung geeignet sind, soweit mit Undichtigkeiten im Falle eines Defektes oder falscher Handhabung der Anlage z. B. bei einer auszuführenden Reparatur zu rechnen ist.

6.4 Handhabbarkeit des BKG

Die Ziele des Arbeits- und Gesundheitsschutzes mit Bezug auf die Anwendung brennbarer Kältemittel bestehen in folgenden Punkten:

- Ausrichtung der technischen Systemgrenzen auf eine bestimmungsgemäße Verwendung unter Berücksichtigung vorhersehbarer Fehlanwendungen;
- Vermeidung von Gefährdungen, welche von dem technischen System oder dessen Umgebung ausgehen können;
- Vermeidung schwerer bzw. wahrscheinlicher Verletzungen;
- Beseitigung oder Minderung von Risiken (z. B. durch Schutzmaßnahmen), die Einflüsse auf die Gesundheit haben.

Die für die Erreichung der Sicherheitsziele erforderlichen Mindestanforderungen an Hersteller der BKG werden im Abschnitt 8, die erforderlichen Mindestanforderungen für den sicheren Betrieb an den Betreiber des BKS im Abschnitt 9 und Abschnitt 10 erfasst.

6.5 Brandschutz

Der Schutz vor Brand- und Flammenausbreitungs- und Explosionsgefahren sollte verschiedene Maßnahmen zur Vorbeugung umfassen.

Die Anforderungen des Brandschutzes sind ausgerichtet auf die Gewährleistung der Personensicherheit im Falle eines technischen Defektes, verbunden mit der Entstehung von toxischen Brandgasen und thermisch kritischen Situationen. Aus diesem Grund steht die Anlagensicherheit hinsichtlich der möglichen Fehlere Auswirkungen im Fokus.

Durch die normgerecht risikoorientiert ausgerichtete Ausführung der Konstruktion und die werkstofftechnische Nachweisführung nach DIN EN 45545-2, wird das Brandrisiko und das Schadensausmaß auf ein akzeptables Minimum reduziert.

Das Risiko der Flammenausbreitung, die Toxizität und Explosionsgefahr des brennbaren Kältemittels werden auf Grund der Vorbedingung einer Gasfreisetzung am Kältemittelkreislauf explizit und zusammenfassend in 6.6 behandelt.

6.6 Gefahren durch Gasfreisetzung

Die Freisetzung brennbarer Kältemittel kann zu Feuer oder Explosion (Kältemittel Typ A2L, A2, A3) und/oder Zersetzung in giftige Säuren (Kältemittel Typ A2L, A2) führen.

Da bei der Ausführung der Kältemittelkreisläufe die Bedingungen für dauerhaft technische Dichtigkeit entsprechend 3.22 umgesetzt werden, beziehen sich die durchzuführenden Risikoanalysen auf ungewollte Leckagen (Dennoch-Leckagen), welche durch Fehlhandlung, technischen Defekt oder unfallartiges Geschehen während des Lebenszyklus der BKG auftreten können.

Im Fall einer auftretenden Leckage an kältemittelführenden Komponenten und einer Weiterleitung des gasförmigen Kältemittels in Personenaufenthaltsbereiche kann es bei einer zündfähigen Konzentration (z. B. bei unzureichender Verdünnung/unzureichender Durchlüftung der durchströmten Bereiche und ggf. vorhandenen Zündquellen) zu einer Brand- und Explosionsgefahr kommen.

Ein erhebliches Gefährdungsereignis ist möglich, wenn die Ereignisse

- Leckage,
- Ausbildung einer brennbaren Atmosphäre,
- Bestehen einer effektiven SOI zeit- und ortsgleich auftreten.

Zu den erheblichen Gefahren im Zusammenhang mit dem Austreten von brennbaren Kältemitteln in einem vorübergehenden Gefahrenbereich gehören:

- Brand- und Flammenausbreitung: entzündetes austretendes Kältemittel oder in einem Raum homogenisiert, als Flammenstrahl oder Flammenball;
- Explosion: Ansammlung von ausgetretenem Kältemittel, das zu einer entzündlichen Konzentration und Entzündung in einem geschlossenen Raum führt, mit einem erheblichen Explosionsüberdruck;
- Toxizität aufgrund der Verdrängung von Sauerstoff wie in ISO 817:2014 beschrieben;
- Toxizität aufgrund von Zersetzungsprodukten im Falle einer Kältemittelreaktion oder -verbrennung, die eine giftige Atmosphäre erzeugt.

ANMERKUNG 1 Giftige Säuren oder Zersetzungsprodukte bestehen aus Fluorwasserstoff (HF), Carbonylfluorid (COF₂), AEGL-Werte für HF sind im chemischen Datenblatt CAS-Nr. 7664-39-3.

ANMERKUNG 2 Mögliche Gefährdungen in Bezug auf übliche Kälteanlagen sind in DIN EN 378-1:2021-06, Anhang G, beschrieben.

ANMERKUNG 3 Der Begriff „Feuer- und Flammenausbreitungs- und Explosionsgefahren“ bezieht sich auf die Definition aus DIN EN IEC 60079-10-1 (VDE 0165-101).

6.6.1 Sicherheitsgrundsätze

Die Erarbeitung und Bewertung eines Sicherheitskonzeptes zum Einsatz von brennbaren Kältemitteln nach 6.6.2 erfordert die Anwendung nachfolgender Sicherheitsgrundsätzen:

- Analyse und Bewertung von Leckagen nach -häufigkeit und -massenstrom mittels einer Charakterisierung (siehe 6.6.3.3);
- Analyse, Bewertung von Risiken aus Leckagen (siehe 6.6.3.5), diese so weit wie sinnvollerweise praktisch möglich reduzieren (siehe 6.6.4.2);
- Anwendung von geeigneten Schutzmaßnahmen, um ermittelte Risiken zu mindern, die nicht beseitigt werden können (siehe 7.2.2);
- Information an die Benutzer über das Restrisiko und Angabe, ob gegebenenfalls spezifische Maßnahmen zur Reduzierung der damit verbundenen Risiken ergriffen werden sollten (siehe 6.6.5);
- Bestätigung der Ergebnisse des Risikobewertungsprozesses mit den Anforderungen in 6.6.4.3.

6.6.2 Sicherheitskonzepte

Die Ausführung zum BKS zur Einhaltung der allgemeinen und spezifischen Anforderungen zur Beherrschung brennbarer oder giftiger Atmosphären wird nach CSM-RA in einem Systemdefinitionsdocument geführt. Darin werden die technischen Anpassungen zur Umsetzung des Sicherheitskonzeptes entsprechend des erreichten Entwicklungsstandes fortgeschrieben.

Das Entwicklungskonzept detaillierend, werden die allgemeinen und spezifischen Anforderungen an die Konstruktion gestellt, Schutzsysteme sowie Anpassungen oder Implementierung eines Sicherheitsmanagementsystems für den Betrieb formuliert und anhand der erbrachten Nachweisdokumente, der Ausführungs- bzw. Änderungsvorschlag validiert.

Abhängig von den Ergebnissen der Risikoanalysen und des Risikominderungsmechanismus kann das Sicherheitskonzept bei Anwendbarkeit folgende Elemente enthalten:

- Verwendung von Komponenten des Kältemittelkreislaufes, die eine Konstruktion darstellen und aufrechterhalten, die für die bahnspezifische Anwendung geprüft sind;
- Ausführung des Kältemittelkreislaufes als dauerhaft technisch dicht;
- Sicherstellen, dass der Belüftungsmechanismus funktioniert und eine angemessene Belüftung sichergestellt und aufrechterhalten wird, sofern dies für die Risikominderung relevant ist;
- Integriertes Alarmsystem zur Leckagediagnose;
- vorbeugende Wartungstechniken zur Risikominderung, sofern für die Risikominderung relevant;
- Auslegung der Kältemittelfüllmenge auf das technisch notwendige Maß;
- Bewertung von Zündquellen, ggf. Reduzierung heißer Oberflächen;
- die in 7.2 „Testanforderungen“ aufgeführten Anforderungen erfüllen;

Anhang F zeigt Beispiele für mögliche Konstruktionen zur Beherrschung identifizierter Risiken;

- Sicherstellen, dass kontinuierliche Maßnahmen ergriffen werden, um Leckagen zu reduzieren.

Wenn Änderungen am Sicherheitskonzept durchgeführt werden oder dieses überarbeitet wird ist eine erneute Risikoabschätzung erforderlich.

ANMERKUNG Die Sicherstellung einer ausreichenden Belüftung bezieht sich auf die Definition 3.11 und 3.13 zur Verdünnung von Emissionen aus Leckagen.

6.6.3 Risikobewertung im Betriebsmodus (en: Operational mode risk assessment)

6.6.3.1 Allgemeines

Der gesamte Lebenszyklus des Systems ist in verschiedene Phasen untergliedert, die jeweils entsprechende Aktivitäten im Sicherheitsmanagement erfordern.

Der Hersteller des BKG führt gemeinsam mit den anderen Akteuren wie z. B. Fahrzeughersteller und Betreiber, eine Risiko- und Gefährdungsanalyse in den jeweiligen Betriebsmodi für den gesamten Lebenszyklus durch.

In Anlehnung an den in DIN EN 50126-1 (VDE 0115-103-1) beschriebenen Prozess ergeben sich die Aufgaben zu den Projektphasen nach Anhang C und Anhang H.

Der Umfang dieser zu bewertenden Maßnahmen und die Zuständigkeiten (Verantwortlichkeiten und Mitwirkungspflichten) muss zwischen den involvierten Parteien vereinbart werden.

Die Ergebnisse aus der OMRA sind zwischen den beteiligten Akteuren abzustimmen und auszutauschen.

Typische Akteure sind:

- der Fahrzeughersteller als Systemintegrator des Klimagerätes in das Klimasystems;

- der Klimagerätehersteller;
- der Fahrzeugbetreiber;
- der Instandhalter; und
- der Fahrzeughalter.

Die Risiko- und Gefährdungsanalyse basiert auf den sicherheitsrelevanten Bewertungen des CSM-Verfahrens Bild 1.

Fehlermöglichkeiten und Gefährdungen, vom BKG ausgehend, müssen in der OMRA systematisch identifiziert werden. Hierbei werden sicherheitsrelevante Fälle während des Betriebseinsatzes des BKG analysiert. Weiter werden auch Fehlermöglichkeiten und Gefährdungen, die sich bei der Wartung, der Instandhaltung, oder dem Transport und Lagerung ergeben, adressiert.

Die OMRA umfasst neben dem bestimmungsgemäßen Gebrauch, auch Betriebsbedingungen wie Fehllhandlung, technischer Defekt oder unfallartiges Geschehen, die vernünftigerweise nicht auszuschließen sind.

DIN EN 50126-2 (VDE 0115-103-2) beschreibt allgemeine Methoden zur Risikoermittlung und -reduzierung, die nachfolgenden Normen und Verfahren werden für die OMRA empfohlen:

- Ereignisbaumanalyse (ETA) nach DIN EN 62502 (VDE 0050-3);
- Auswirkungen auf Fehlermodi und kritische Analyse (FMCEA) nach EN IEC 60812;
- Fehlerbaumanalyse (FTA) nach DIN EN 61025;
- Gefahren- und Betriebsfähigkeitsanalyse (HAZOP) nach DIN EN 61882 (VDE 0050-8).

ANMERKUNG DIN EN ISO 12100 beschreibt Maßnahmen und Verfahren zur Risikobestimmung und -minderung, die in der Entwurfsphase berücksichtigt werden müssen.

6.6.3.2 Betriebsmodi (Operational Modes)

Betriebsmodi stellen Phasen innerhalb des Lebenszyklus eines BKS dar. Die Untergliederung des Lebenszyklus mit den Phasen Entwicklung, Produktion, Betrieb und Entsorgung in jeweilige Betriebsmodi dient der gezielten Analyse der Risiken, indem sie sowohl die situationsbezogene Betrachtung fördert als auch das Bestreben nach vollständiger Abbildung des Lebenszyklus unterstützt. Das OMRA sollte mindestens die in Anhang F aufgeführten Betriebsmodi einbeziehen. Dabei muss sichergestellt werden, dass die Systemgrenzen und die Wechselwirkung zwischen BKG und Systemumgebung vollständig und umfassend abgebildet werden.

In der Betrachtung müssen auch Unfälle und externe gefährliche Ereignisse (Zusammenstöße, Brände, Evakuierung, Paniksituationen, usw.) berücksichtigt werden, die in den Lebensphasen eintreten können.

Für alle betrachteten Betriebsmodi müssen in der Analyse jeweils die Randbedingungen für ein gefährliches Ereignis nach 6.6 festgestellt werden. Dazu gehören die Identifizierung zum Leckageentstehungsereignis, beispielhaft das Vorhandensein der Stromversorgung, Ventilatoren (Verflüssiger, Verdampfer) in Betrieb, Kühl- oder Heizbetrieb, Anwesenheit von Personen. Neben dem bestimmungsgemäßen Handeln muss jeweils auch vorhersehbare Fehllhandlung (z. B. bei Service und Wartung der BKG) in Erwägung gezogen werden.

6.6.3.3 Bewertung zu Leckraten und Häufigkeiten für die Charakterisierung

Genaue Kenntnisse über die Art der Leckage, die Leckageursache und Häufigkeit sind die Grundlage für die Durchführung einer OMRA. Dieses Wissen ist von großem Wert für einen sicheren Betrieb, Qualitätsverbesserung und -management, vorausschauende Wartung, Kosteneinsparungen und andere Faktoren. Die Leckagen müssen für den gesamten Lebenszyklus des BKG charakterisiert werden. Der Lebenszyklus umfasst alle in

6.6.3.2 aufgeführten Betriebsarten. Die Charakterisierung der Lecks sollte wie folgt durchgeführt werden, ist aber nicht darauf beschränkt:

- Ort des Lecks, Ursachen, Art des Lecks, -größe, -geschichte, Abschätzung des Massenstroms nach Anhang A, Abschätzung der Zeit bis zum Systemausfall bzw. bis zur Fehlererkennung;
- Auftreten und Häufigkeit von Leckagen bezogen auf das BKG pro Jahr;
- Ermittlung des Leckmassenstromes durch Vermessung des defekten Bauteils, hierbei muss die betrieblich relevante Drucklage und der Aggregatzustand des Kältemittels am Leck berücksichtigt werden.

Unterstützende Informationen können sein: Kältemittelmanagement in den Wartungswerkstätten und bei Reparaturarbeiten, Literatur, Normen, Bewertungen, Erfahrungsberichte, Versuche, Berechnungen, Simulationen, Informationen aus einer anonymisierten Hersteller-Leckage-Datenbank.

Die Leckagen können nach 3.8 gruppiert und nach Anhang A klassifiziert werden.

ANMERKUNG Beschreibungen wie „häufig“, „wahrscheinlich“, „gelegentlich“, „selten“ und entsprechen der Wertigkeit nach DIN EN 50126-1 (VDE 0115-103-1); die Beschreibungen „unwahrscheinlich“, „höchst unwahrscheinlich“ entsprechen der Wertigkeit gemäß Durchführungsverordnung (EU) 2015/1136, Anwendungsbeispiele sind im Anhang A aufgeführt.

Sind genaue Angaben zu Leckagen nicht bekannt, müssen diese abgeschätzt werden. Mit Hilfe von Anhang A können die Massenströme so bestimmt werden, dass sinnvolle Annahmen für die OMRA getroffen werden können. Das Leckageereignis muss für jeden einzelnen Fall des OMRA bewertet und beschrieben werden, um die oben aufgeführten geeigneten Leckageeigenschaften abzuschätzen. Alle Leckdaten müssen dokumentiert und während des OMRA-Prozesses kontinuierlich verbessert werden.

6.6.3.4 Kontrollvolumen

Zur systematischen Umsetzung des OMRA wird die Angabe von CV empfohlen, in denen eventuell austreten- des Kältemittel vorhanden sein kann. Die CVs müssen so definiert werden, dass Gefahrenbereiche abgedeckt werden. Dazu ist die Kenntnis zur Ausdehnung der Zone erforderlich.

Für jedes CV müssen, falls zutreffend, eine unerwartete Freisetzung von Kältemittel und die Belüftungsbedin- gungen berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 1 DIN EN IEC 60079-10-1 (VDE 0165-101):2022-02, Bild C.3 zeigt ein Beispiel für transiente Massenbi- lanz und Konzentration von Kältemittel und Luft.

Die CV sollten die wesentlichen Volumina des BKG, die nähere Umgebung des BKS und des Schienenfahrzeuges umfassen, in die freigesetztes Kältemittel strömen oder verdünnt werden oder eindringen kann.

Für die Betrachtung des Verdampfers müssen mindestens geeignete Kontrollvolumen festgelegt werden, die es erlauben, Leckagen aus Bauteilen (Schraub-, Lötverbindungen, Rohre, Bögen, Auflager) des Verdampfers in Kontrollvolumen zum Fahrgastraum und nach außen zu betrachten.

Bei indirekt ausgeführten Kälteanlagen ist es notwendig, die CV so zu definieren, dass bei Leckagen ein Über- tritt von brennbarem Kältemittel in das Sekundärmedium und eine Freisetzung an anderer Stelle berücksich- tigt wird.

ANMERKUNG 2 Anhang E zeigt Beispiele geeigneter Kontrollvolumen für ein dachmontiertes BKG. Andere BKGe (siehe E DIN EN ISO 19659-1 Deckenmontage, Bodenmontage, Unterflurmontage usw.) erfordern je nach konstruktiven Unter- schieden modifizierte Kontrollvolumina.

Aufgrund des möglichen Schwergasverhaltens im Falle austretenden Kältemittels müssen bei der Festlegung äußerer Kontrollvolumen auch Gruben oder Schächte einbezogen werden, wenn sie in einem Betrachtungsfall vorhanden sind.

6.6.3.5 Risikobewertung für brennbare Kältemittel

Die Risikobewertung für brennbare Kältemittel muss die Art der Freisetzung wie unten beschrieben bewerten und auf den in 6.6.3.3 und 6.6.3.4 gesammelten Informationen basieren. Schleichende Kältemittelleckagen gelten als vernachlässigbare Kältemittelfreisetzungen, die generell möglich sind, aber in ihrer typischen Betriebszeit nicht zu einer Störung des Kühl- oder Heizprozesses und nur bei annähernder Hermetisierung, z. B. geschlossener Folierung des BKG zur Bildung einer brennbaren Atmosphäre führen können.

Als Kältemittelleckagen, die signifikante risikobehaftete Ereignisse hervorrufen, müssen vor allem Leckagen betrachtet werden, die größer sind als schleichende Leckagen.

Das Akzeptanzkriterium nach 6.6.4.3 müssen verwendet werden, um die risikobehafteten Ereignisse einzugruppieren und zu bewerten.

Die OMRA umfasst die folgenden Elemente:

- Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Lecks mit den Angaben nach 6.6.3.3;
- Bestimmung der Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer brennbaren Atmosphäre und der Menge des beteiligten Kältemittels, Ausdehnung der Zone im relevanten Kontrollvolumen;
- Bestimmung der Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins und der Wirksamkeit von Zündquellen;
- Bewertung der möglichen Auswirkungen von Feuer, Flammenausbreitung, Explosion, Kältemittelersetzung und toxischer Atmosphäre, chemischer Reaktion von Kältemittel mit anderen häufig verwendeten Substanzen;
- Bewertung der Erkennbarkeit der identifizierten Risiken;
- Identifizierung von Maßnahmen zur Reduzierung von Risiken.

Alle Elemente werden benötigt, um konsistente Eingaben an die OMRA zu liefern, die für brennbare Kältemittel in der Entwicklungsphase eines BKS zu leisten sind. Die OMRA muss für kritische und katastrophale Fälle durch Tests validiert und kann durch Simulationen nach 7.2.2 unterstützt werden.

Im Falle einer Kältemittelfreisetzung, die größer als schleichend ist, sollte die Bildung einer brennbaren Atmosphäre in der Nähe des Schienenfahrzeugs unter Einbeziehung nachfolgender Kriterien bewertet werden:

- Umsetzung der Konstruktionsmerkmale nach Abschnitt 7 und validiert durch die in 7.2 (Testanforderungen) beschriebenen Prüfungen;
- die in Abschnitt 9 und insbesondere 9.5 beschriebenen Betriebsanforderungen (Lüftungsbedingungen an Betriebsstätten) und
- die Empfehlungen in 9.9 (Unfälle).

6.6.4 Eingruppierung der Risiken

6.6.4.1 Allgemeines

Für die sicherheitsgerichtete Bewertung von technischen Systemen muss das gesellschaftlich akzeptable Restrisiko als Kriterium einbezogen werden. Dies ist auch der Tatsache geschuldet, dass eine „vollständige Sicherheit“ von keinem System sichergestellt werden kann. Damit muss der Nachweis bis zur Erreichung von akzeptablen Restrisiken geführt werden.