

DIN EN 17436



ICS 49.095

Entwurf

Einsprüche bis 2021-04-26
Ersatz für
E DIN EN 17436:2019-10

**Kabinenluftqualität in Verkehrsflugzeugen –
Chemische Parameter;
Deutsche und Englische Fassung prEN 17436:2021**

Cabin air quality on civil aircraft –
Chemical compounds;
German and English version prEN 17436:2021

Qualité de l'air en cabine d'avions civils –
Composés chimiques;
Version allemande et anglaise prEN 17436:2021

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-02-26 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 nl@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 Luft- und Raumfahrt (NL), 10772 Berlin oder Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

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 158 Seiten

DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17436:2021) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 436 „Kabinenluftqualität in Verkehrsflugzeugen — Chemische Parameter“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 131-09-06 AA „Kabinenumgebung — ICE“ im DIN-Normenausschuss Luft- und Raumfahrt (NL).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 4225:2020	siehe	DIN ISO 4225:2020-10
ISO 13964:1998	siehe	DIN ISO 13964
ISO 16000-29:2014	siehe	DIN ISO 16000-29:2015-02
ISO 45001	siehe	DIN ISO 45001

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

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN ISO 4225:2020-10, *Luftbeschaffenheit — Allgemeine Gesichtspunkte — Begriffe (ISO 4225:2020)*

DIN ISO 13964, *Luftbeschaffenheit — Bestimmung von Ozon in der Außenluft — UV-photometrisches Verfahren*

DIN ISO 16000-29:2015-02, *Innenraumluftverunreinigungen — Teil 29: Prüfverfahren für VOC-Detektoren (ISO 16000-29:2014)*

DIN ISO 45001, *Managementsysteme für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit — Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung*

Titel de: Kabinenluftqualität in Verkehrsflugzeugen — Chemische Parameter

Titel en: Cabin air quality on civil aircraft — Chemical compounds

Titel fr: Qualité de l'air en cabine d'avions civils — Composés chimiques

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Kabinenluftqualität — chemische Verbindungen	10
4.1 In der Kabinenluft enthaltene chemische Verbindungen	10
4.2 Beispiele chemischer Verbindungen	11
4.3 Ursachen für Triebwerksölleckage im Zapfluftsystem	11
4.4 Fume Event	11
4.5 Markierungsverbindungen	11
4.6 Klimaanlage (ECS) des Luftfahrzeugs	12
5 Vorsorgeprinzip und Kontrollhierarchie	12
5.1 Allgemeines	12
5.2 Vorsorgeprinzip	13
5.3 Kontrollhierarchie	13
5.4 Abstellungsmaßnahmen	14
5.5 Minderungsmaßnahmen	15
6 Filterung	15
6.1 Allgemeines	15
6.2 Kabinenumluftfilterung	15
6.3 Katalysatorfilterung	16
7 Luftüberwachung	16
7.1 Allgemeines	16
7.2 Planung/Entwicklung der Luftüberwachung	17
7.2.1 Überblick	17
7.2.2 Übersicht über die Umgebung und die Ziele der Probenahme	18
7.2.3 Festlegung der Flugphasen und des Besetzt- oder Unbesetzt-Zustandes	18
7.2.4 Festlegung der Probenentnahmestellen	19
7.3 Methodik der Luftüberwachung	20
7.3.1 Echtzeitüberwachung	20
7.3.2 Zeitintegrierte Überwachung	20
8 Vorbeugungs- und Korrekturmaßnahmen	22
8.1 Allgemeines	22
8.2 Vorbeugungsmaßnahmen vor dem Start	22
8.3 Korrekturmaßnahmen während des Flugs	22
8.4 Korrekturmaßnahmen nach dem Flug	23
8.5 Luftfahrzeugwartungshandbuch (AMM)	23
9 Überwachung von Luftfahrzeugbesatzung und Passagieren	24
9.1 Überwachung der Luftfahrzeugbesatzung	24
9.2 Überwachung der Passagiere	24
10 Datenerhebung, Datenanalyse und Berichterstattung	25
10.1 Allgemeines	25

10.2	Datenerhebung.....	25
10.2.1	Einschlägige Berichte der Luftfahrtbetreiber.....	25
10.2.2	Von der Luftfahrzeugbesatzung erstellte Berichte über Fume Events.....	26
10.3	Analyse und Berichterstattung.....	28
10.3.1	Analyse.....	28
11	Ausbildung und Schulung des Flugpersonals.....	28
11.1	Allgemeines.....	28
11.2	Anforderungen.....	29
11.2.1	Vorgaben zu den für Piloten, Flugbegleiter und Wartungspersonal bestimmten Programmen.....	29
11.2.2	Schulung und Ausbildung von Piloten.....	29
11.2.3	Schulung und Ausbildung der Flugbegleiter.....	30
11.2.4	Schulung und Ausbildung des Wartungspersonals.....	30
	Anhang A (informativ) Klimaanlage (ECS) des Luftfahrzeugs.....	31
A.1	Allgemeines.....	31
A.2	ECS mit Zapfluft.....	31
A.3	ECS ohne Zapfluft.....	32
	Anhang B (normativ) Chemische Markierungsverbindungen.....	33
	Anhang C (informativ) Vorsorgeprinzip.....	38
C.1	Vorsorgeprinzip.....	38
C.2	Überlegungen zum Vorsorgeprinzip: Hintergrundinformationen.....	40
	Anhang D (informativ) Ansätze für die Online-Überwachung.....	42
D.1	Allgemeines.....	42
D.1.1	Indikative chemische Markierungsverbindungen.....	42
D.1.2	Mustererkennung.....	42
D.1.3	Differenzmessung.....	42
	Anhang E (informativ) Referenzverfahren für Echtzeit- und zeitintegrierte Messungen von chemischen Markierungsverbindungen und (ultra)feinen Partikeln.....	43
	Anhang F (informativ) Beispiele für bewährte Verfahrensweisen zur Verhinderung oder weitestgehenden Verminderung von Verunreinigungen.....	53
	Anhang G (informativ) Chemische Markierungsverbindungen, die in die Kabine gelangen.....	55
	Anhang H (informativ) Ursachen für Triebwerksölleakagen in das Zapfluftsystem und die Belüftungszuluft.....	58
H.1	Beschreibung des Schmiersystems.....	58
H.2	Beschreibung der Dichtungstechnologie.....	59
H.3	Wege, auf denen das Öl in das Zapfluftsystem und die Belüftungszuluft gelangt.....	59
H.4	Wartungsreaktion auf auf das Zapfluftsystem zurückzuführende Öldämpfe (H.4 neu benummern).....	60
	Anhang I (informativ) Übersicht der Studien zur Überwachung der Luftfahrzeug-Kabinenluft und -Zapfluft.....	61
I.1	Einleitung.....	61
I.2	In Tabelle I.1 zitierte Quellen.....	71
	Literaturhinweise.....	74

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 17436:2021) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 436 „Kabinenluftqualität in Verkehrsflugzeugen – Chemische Parameter“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur zweiten CEN-Umfrage vorgelegt.

Einleitung

In Anbetracht der Eigenschaften der durch die Kabine definierten Umgebung erfordert die Luftqualität in Verkehrsflugzeugen besondere Aufmerksamkeit.

Um für die Passagiere und die Luftfahrzeugbesatzung eine sichere und angenehme Umgebung zu schaffen, wird zur Regelung von Kabinendruck, Temperatur und Belüftungsluftzufuhr eine Klimaanlage (ECS, en: Environmental Control System) verwendet. Die Luftfahrzeugkabine ist ihrer Auslegung und ihrem Betrieb entsprechend eine mit Personen dicht besetzte Umgebung (mit nur einer geringen Menge an Verdünnungsvolumen je Person), wodurch das Potenzial für erhöhte Mengen an Bio-Fortluft (Ausdünstungen) in der Kabine, wie z. B. Kohlenstoffdioxid, besteht (siehe Anhang A). Die Bauweise des ECS in zivilen Passagierflugzeugen kann grob in zwei Kategorien unterteilt werden: ECS-Systeme mit Zapfluft und ECS-Systeme ohne Zapfluft (siehe Anhang A). Die meisten der gegenwärtig hergestellten Luftfahrzeuge und nahezu alle derzeit in Betrieb befindlichen Luftfahrzeuge verfügen über ECS mit Zapfluft.

Dieses Dokument konzentriert sich auf die potentiell in der Kabinenluft enthaltenen chemischen Verbindungen. Es enthält Anforderungen, Empfehlungen und verdeutlichende Anhänge, die es Luftfahrtbetreibern, Herstellern und Lieferanten ermöglichen, die Belastung durch Schadstoffe in der Kabinenluft zu ermitteln – und entweder zu verhindern oder zu vermindern – unter besonderer Beachtung der Schadstoffe in der Zapfluft, die aus dem Triebwerksöl und der Hydraulikflüssigkeit stammen oder von diesen erzeugt werden. Hierzu gehören auch einige begrenzte Maßnahmen, die dem Schutz der mit der Störungsbehebung und Wartung von Belüftungszuluftsystemen von Luftfahrzeugen betrauten Arbeitnehmer dienen.

ANMERKUNG Flugunfalluntersuchungsbehörden, Luftfahrtaufsichtsbehörden der EU und der USA und die Internationale Zivilluftfahrt-Organisation (ICAO) haben anerkannt, dass eine Verunreinigung der Zapfluft die Flugsicherheit gefährden kann.

Die in diesem Dokument enthaltenen Anforderungen und Empfehlungen berücksichtigen, dass es sich bei den in der Luftfahrt verwendeten Fluiden (einschließlich der Triebwerksöle) und deren Verbrennungsprodukten um komplexe Gemische handelt. Einige dieser Gemische enthalten Organophosphate, ultrafeine Partikel und andere chemische Verbindungen.

Die in diesem Dokument aufgeführten Anforderungen berücksichtigen aktuelle und noch in der Erarbeitung befindliche rechtliche Rahmenbedingungen, um die Branche in die Lage zu versetzen, ihrer rechtlichen Verpflichtung nachzukommen, die darin besteht, eine für die Luftfahrzeugbesatzung und die Passagiere sichere Umgebung zu schaffen. Dieses Dokument erkennt auf der Ebene der Europäischen Kommission auch den Wert der Anwendung des Vorsorgeprinzips in Bezug auf das Risikomanagement und die Anwendung von Risikobeurteilungen in diesem Sektor zum Schutz von Arbeitnehmern und der Umwelt an.

In diesem Dokument wird der Schwerpunkt auf die Verhinderung von Belastungen, die Sensorik, die Schulung von Arbeitnehmern, Meldesysteme und die Kollation von von der Luftfahrzeugbesatzung und Passagieren stammenden Daten und Informationen gelegt. Sicherheitsmanagementsysteme (SMS) können ein nützliches Werkzeug sein, mit dessen Hilfe Betreiber diese Maßnahmen anwenden können, um die Qualitätsminderung von Systemen zu überwachen und darauf zu reagieren.

Dieses Dokument enthält keine Definitionen zur Annehmbarkeit/Eignung der Kabinenluft bezüglich der Gesundheit, Annehmlichkeit, Sicherheit oder Luftfahrttauglichkeit.

Anhang I enthält eine Zusammenfassung der veröffentlichten Grenzwerte der in Anhang B aufgeführten Markierungsverbindungen.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Anforderungen und Empfehlungen zur Luftqualität in Verkehrsflugzeugen in Bezug auf chemische Verbindungen fest, die möglicherweise aus der Belüftungsluft stammen, die der Kabine und dem Cockpit zugeführt wird, aber nicht darauf beschränkt sind.

Ein besonderer Schwerpunkt wird auf die Schadstoffe gelegt, die aus der Zapfluft der Triebwerke und Hilfstriebwerke (APU, en: Auxiliary Power Unit) stammen, die möglicherweise durch die Klima-, Druck- und Belüftungssysteme in die Kabine gelangen.

Dieses Dokument ist anwendbar auf den Zeitraum, in dem ein Verkehrsflugzeug bzw. Luftfahrzeug in Betrieb ist, der definiert ist als: ab dem Zeitpunkt, in dem die erste Person in das Luftfahrzeug einsteigt, bis zu dem Zeitpunkt, an dem die letzte Person das Luftfahrzeug verlässt.

Dieses Dokument enthält Anforderungen und Empfehlungen in Bezug auf das Vorhandensein von chemischen Verbindungen und die Mittel zur Verhinderung der Exposition gegenüber chemischen Verbindungen, einschließlich solcher, die unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips nachteilige Auswirkungen haben können.

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).

EN 1822-1, *Schwebstofffilter (EPA, HEPA und ULPA) — Teil 1: Klassifikation, Leistungsprüfung, Kennzeichnung*

EN ISO 16000-1, *Innenraumluftverunreinigungen — Teil 1: Allgemeine Aspekte der Probenahmestrategie (ISO 16000-1)*

ISO 29463-1, *High efficiency filters and filter media for removing particles from air — Part 1: Classification, performance, testing and marking*¹

IEST-RP-CC001, *HEPA and ULPA filters*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

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

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

¹ Herausgeber: ISO International Organization for Standardization <http://www.iso.ch/>

3.1

nachteilige Auswirkung

Veränderung der Morphologie, Physiologie, des Wachstums, der Entwicklung oder der Lebensdauer eines Organismus, die zu einer Beeinträchtigung seiner Funktionsfähigkeit oder zu einer Beeinträchtigung seiner Fähigkeit führt, zusätzlichen Stress oder eine erhöhte Anfälligkeit für die schädlichen Auswirkungen anderer Umwelteinflüsse auszugleichen

[QUELLE: ISO 13073-3:2016, 2.1]

3.2

Aerosol

System aus in Gas suspendierten festen Partikeln und/oder Flüssigkeitströpfchen

3.3

Luftfahrzeugbesatzung

Personen, die in einem Luftfahrzeug in einem bestimmten Zeitraum arbeiten, der definiert ist als ab dem Zeitpunkt, an dem die erste Person an Bord des Luftfahrzeugs geht, bis die letzte Person das Luftfahrzeug verlässt, einschließlich der Piloten und Flugbegleiter

3.4

Luftfahrtbetreiber

Inстанz, die von ihrer nationalen Zivilluftfahrtbehörde durch einen Luftverkehrsbetreiberschein (AOC, en: Air Carrier Operator Certificate) autorisiert wurde, zivile Transportflugzeuge für die kommerzielle Beförderung von Passagieren, Fracht oder Post durchzuführen

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Luftfahrtbetreiber ist für die Einhaltung der Vorschriften der Zivilluftfahrtbehörden auf seinen Flügen verantwortlich, auch wenn die entsprechenden Aufgaben von Unterauftragnehmern ausgeführt werden.

[QUELLE: ISO 16412:2005, 3.3, modifiziert — Die ursprünglichen Begriffe lauteten „Betreiber“, „Fluggesellschaft“ und „Frachtführer“.] [2]

3.5

Hilfstriebwerk

APU, en: Auxiliary Power Unit

gasturbinenbetriebene Einheit, die Drehwellenleistung, durch die Triebwerke geleitete Luft oder beides liefert und nicht für den direkten Antrieb eines Luftfahrzeugs vorgesehen ist

[QUELLE: EASA-CS-Definitionen] [3]

3.6

beste verfügbare Technologie

BAT, en: best available technology

effizientester und fortschrittlichster Entwicklungsstand der Tätigkeiten und entsprechenden Betriebsmethoden, der spezielle Technologien als praktisch geeignet erscheinen lässt, grundsätzlich als Grundlage für die Minderung oder Abstellung von Schadstoffbelastungen in der Kabinenluft zu dienen

[QUELLE: Richtlinie 2008/1/EG des Rates, modifiziert] [4]

3.7

Zapfluft

Luft, die an den Verdichterstufen der Triebwerke oder Hilfstriebwerke des Luftfahrzeugs vor dem Eintritt in die Brennkammer abgezapft wird; Quelle für die Belüftungsluft

3.8

Kabinenluft

Luft innerhalb des Bereichs eines Luftfahrzeugs, in dem Passagiere und/oder die Luftfahrzeugbesatzung reisen (einschließlich der Kabine und des Cockpits)

3.9

Kabinenausstattung

Innenausstattung der Kabine, einschließlich der Sitze, Bodenbeläge, Wände, Schränke und Gepäckfächer

3.10

chemische Verbindung

chemisches Element oder Verbindung, einzeln oder in einem Gemisch, wie es/sie in der Natur vorkommt oder durch eine Arbeitstätigkeit hergestellt, verwendet oder freigesetzt wird — einschließlich der Freisetzung als Abfall —, unabhängig davon, ob es/sie absichtlich oder unabsichtlich erzeugt und ob sie in Verkehr gebracht wird

[QUELLE: Richtlinie 98/24/EG Art. 2(a) des Rates][5]

3.11

Schadstoff

Stoff, der in die Luft emittiert wird und nachteilige Wirkungen auf die Luftqualität hat

[QUELLE: ISO 4225:2020] [6]

3.12

Frühwarnsystem

System oder Verfahrensweise zum Erkennen des Vorhandenseins von Schadstoffen, die möglicherweise ein Eingreifen erfordern

3.13

elektrische Klimaanlage

E-ECS, en: electrical environmental control system

ECS ohne Zapfluft

3.14

Klimaanlage

ECS, en: environmental control system

System eines Luftfahrzeugs, das für die Zufuhr der Belüftungsluft, die Temperaturregelung und die Druckbeaufschlagung der Kabine für die Besatzung und die Passagiere sorgt

3.15

Frischluf (siehe auch: Außenluft)

aus der Umgebung außerhalb des Fahrzeugs entnommene Luft

Anmerkung 1 zum Begriff: In diesem Dokument ist das Fahrzeug das Luftfahrzeug.

3.16

Dämpfe

geruchsintensive, gasförmige Emission von einer oder mehreren Verbindungen und/oder Aerosolen, die sich zu den Belüftungszuluftöffnungen der Kabine/des Cockpits zurückverfolgen lässt und unsichtbar ist

3.17

gefährlich

Stoff oder Gemisch, der bzw. das den Kriterien für physikalische Gefahren, Gesundheitsgefahren oder Umweltgefahren entspricht

[QUELLE: Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, Artikel 3] [7]

Anmerkung 1 zum Begriff: (i) Alle chemischen Arbeitsstoffe, die die Kriterien für die Einstufung als „gefährlich“ im Sinne der in der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates festgelegten physikalischen und/oder gesundheitsgefährdenden Gefahrenklassen erfüllen, unabhängig davon, ob diese chemischen Arbeitsstoffe gemäß dieser Verordnung als solche eingestuft wurden; und (ii) alle chemischen Arbeitsstoffe, die die Kriterien für die Einstufung als „gefährlich“ nach Ziffer (i) nicht erfüllen, aber aufgrund ihrer physikalisch-chemischen, chemischen oder toxikologischen Eigenschaften und der Art und Weise, wie sie am Arbeitsplatz verwendet werden oder dort vorhanden sind, für die Sicherheit und die Gesundheit der Arbeitnehmer ein Risiko darstellen können; dies gilt auch für alle chemischen Arbeitsstoffe, denen im Rahmen des Artikels 3 ein Arbeitsplatzgrenzwert zugewiesen wurde.

[QUELLE: Richtlinie (EG) Nr. 98/24, Artikel 2]

Anmerkung 2 zum Begriff: Diese Definition für „gefährlich“ weicht von der im Kontext der Luftfahrttauglichkeit verwendeten Definition ab.

3.18

Markierungsverbindung

chemische Verbindung, die spezifische/potentielle Quellen für luftgetragene Schadstoffe in der Kabinenluft darstellt/anzeigt

3.19

Außenluft (siehe auch: Frischluft)

aus der Umgebung außerhalb des Fahrzeugs entnommene Luft

[QUELLE: ISO 19659-1:2017, 3.4.1] [8]

Anmerkung 1 zum Begriff: In diesem Dokument ist das Fahrzeug das Luftfahrzeug.

3.20

Echtzeit-Probenahme

Nutzung der Online-Überwachung mit Hilfe von Analyse-Messgeräten mit Sensoren; deren Ausgabe beschreibt die im Verlauf des Probenahmezeitraums erfolgende Änderung der Konzentration des Analyts bzw. der Analyte über der Zeit

3.21

Risikoanalyse

systematische Verwendung von verfügbaren Informationen zur Identifizierung von Gefährdungen und zur Einschätzung von Risiken

[QUELLE: ISO/IEC Guide 51:2014, 3.10] [9]

3.22

Sicherheitsmanagementsystem

SMS, en: safety management system

verwaltungstechnisches Rahmenwerk, das darauf ausgerichtet ist, Sicherheitsrisiken am Arbeitsplatz zu kontrollieren, und das angewendet wird, um den Betreiber in die Lage zu versetzen, Fume Events systematisch zu überwachen und darauf zu reagieren

3.23

Sensor

elektronisches Gerät, das einen physikalischen Zustand oder eine chemische Verbindung erkennt und ein elektronisches Signal proportional zur beobachteten Kenngröße liefert

[QUELLE: ISO/IEC TR 29181-9:2017, 3.14] [10]

3.24

Kaminruß

Partikel mit einer Größe von 0 Nanometer (nm) bis 10 nm, die während oder nach der Verbrennung entstehen und sich ablagern

[QUELLE: EN ISO 472:2013, 2.1278 modifiziert] [11]

3.25

Beharrungszustand stationär

Zustand bei einer einzelnen Triebwerksleistungseinstellung, der durch gleichbleibende Temperatur und gleichbleibenden Zapfdruck gekennzeichnet ist

[QUELLE: SAE (2018)] [12]

3.26

Zuluft

Luft, die mit mechanischen Mitteln, einschließlich der Triebwerke, Hilfstriebwerke, elektrischer Bordkompressoren oder am Boden bleibender Versorgungseinheiten, in einen umschlossenen Raum geleitet wird

3.27

zeitintegrierte Probenahme

Methodik der entweder passiven oder aktiven Probenahme, auf die die Analyse der entnommenen Probe in einer speziell dafür vorgesehenen Einrichtung oder einem Labor folgt; das Ergebnis beschreibt die über den Probenahmezeitraum gemittelte Konzentration des Analyts bzw. der Analyte

3.28

transiente Betriebsbedingung

anderer Zustand als der der stationären Triebwerksleistungseinstellung, der durch instabile Temperatur und/oder sich ändernden Druck gekennzeichnet ist; Beispiele sind das Starten der Triebwerke, das Abheben, der höchste Punkt des Sinkflugs und Änderungen der Triebwerkssteuerung, einschließlich Änderungen der Leistungseinstellung von Leerlauf bis Abhebeleistung und zurück

3.29

ultrafeine Partikel

ultrafeine Partikel (UFP) oder ultrafeiner Staub sind die am häufigsten verwendeten Definitionen von luftgetragenen Partikeln mit einem Durchmesser zwischen 1 Nanometer (nm) und 100 Nanometern (nm)

[QUELLE: ISO 2007] [13]

4 Kabinenluftqualität — chemische Verbindungen

4.1 In der Kabinenluft enthaltene chemische Verbindungen

Das Vorhandensein und die Konzentration vieler chemischer Verbindungen in der Kabinenluft wurden gemessen und in zahlreichen Studien dargelegt, weswegen ein großer Datenbestand zu chemischen Verbindungen zur Verfügung steht. Die meisten dieser Daten wurden unter den Bedingungen des Normalbetriebs in der Kabine oder im Cockpit erhoben und nicht während eines gemeldeten „Fume Events“ (siehe 4.4). Einige dieser Daten wurden direkt an einer Zapfluftquelle erhoben.

Die Überwachung der Kabinenluft auf das Vorhandensein von geeigneten chemischen Markierungsverbindungen ist ein Verfahren, die Quelle(n) einer Verunreinigung anzuzeigen, anstatt die gesundheitlichen Auswirkungen einer Exposition zu beurteilen.

4.2 Beispiele chemischer Verbindungen

Chemische Verbindungen können sich entweder bis in die äußere Umwelt zurückverfolgen lassen oder ihren Ursprung im Luftfahrzeug selbst haben. Dazu können u. a. die folgenden gehören:

- Triebwerksöl;
- Hydraulikflüssigkeit;
- Triebwerksabgase;
- Treibstoff (unverbrannt und Dämpfe);
- Enteisungsmittel;
- chemische Erzeugnisse, die zur Reinigung von Triebwerken oder Turbinen verwendet werden;
- Passagiere und Besatzung;
- Kabinenausstattung und Reinigungsmittel;
- raumluftechnische Anlage;
- fehlerbehaftete/ausgefallene elektrische Geräte.

Anhang G enthält eine Übersicht über eine Teilmenge der einigen dieser Quellen entstammenden chemischen Verbindungen, die in die Kabinenluft gelangen können.

4.3 Ursachen für Triebwerksölleckage im Zapfluftsysteem

Die Anwesenheit von Öldämpfen in der Kabinenluft kann in einigen Fällen mit dem Ölschmiersystem zusammenhängen. Eine Beschreibung des Ölschmiersystems, die Dichtungstechnik und die mögliche Verunreinigung der Kabinenluft mit Triebwerksöl werden in Anhang H erörtert.

4.4 Fume Event

Ein Fume Event ist durch die Anwesenheit von Dämpfen in der Kabine gekennzeichnet, die aus den Belüftungszuluftöffnungen ausströmen, was auf das Vorhandensein einer bestimmten Verunreinigung der Belüftungszuluft (z. B. Triebwerksöl, Hydraulikflüssigkeit, Enteisungsmittel) hinweisen kann, die entweder aus dem (den) Triebwerk(en) bzw. dem (den) Hilfstriebwerk(en) stammt oder in diese eingedrungen ist.

Alternativ kann das Vorhandensein von Dämpfen und/oder Aerosolen in der Kabine auf eine innerhalb dieser befindliche Quelle (z. B. die Bordküchenwärmeschränke, elektrische Fehler) zurückzuführen sein.

4.5 Markierungsverbindungen

Eine Teilmenge von Markierungsverbindungen, die in der Kabinenluft enthalten sein können, ist in Anhang B, Tabelle B.1, aufgelistet. Diese Markierungsverbindungen sind mit wesentlichen Schadstoffquellen aus Zapfluft und Außenluft verbunden. Sie gelten als nützliche Marker für diese spezifischen Luftverunreinigungsquellen in der durch das Luftfahrzeug definierten Umgebung.

In Tabelle B.2 sind die „Zuverlässigkeitsbewertungen“ (A bis C) für jede Markierungsverbindung aufgeführt, die den Leser bei der Bestimmung der zu überwachenden Kombination von Verbindungen für jede der in 4.2 aufgeführten Verunreinigungsquellen unterstützen sollen.

In Anhang I sind veröffentlichte Studien aufgeführt, die Messdaten für insgesamt 14 der 16 in Anhang B aufgeführten Markierungsverbindungen enthalten. Häufig wurde der Höchstwert jeder gemessenen Verbindung berichtet, und daher sind diese zu Vergleichszwecken in Tabelle I.1 angegeben.

4.6 Klimaanlage (ECS) des Luftfahrzeugs

Der Zweck der Klimaanlage (ECS) des Luftfahrzeugs ist, Belüftungszuluft zu liefern und den Luftdruck und die Temperatur in der Luftfahrzeugkabine zu regeln, um für die Passagiere und die Besatzung eine sichere und angenehme Umgebung zu schaffen.

Die meisten kommerziellen Passagierflugzeuge sind mit einem ECS ausgerüstet, das mit Zapfluft aus den Triebwerkskompressoren arbeitet; einige ECS jedoch arbeiten mit Luft aus elektrischen Kompressoren bzw. Verdichtern. Luftgetragene chemische Verbindungen können über das Belüftungszuluftsystem des Luftfahrzeugs in die Kabinenluft gelangen. Weitere Einzelheiten zu diesen beiden Arten von ECS enthält Anhang A.

5 Vorsorgeprinzip und Kontrollhierarchie

5.1 Allgemeines

Luftgetragene chemische Arbeitsstoffe bzw. Agenzien lassen sich zur Belüftungszuluft (z. B. Triebwerksöl, Hydraulikflüssigkeit, Enteisungsmittel und Abgase) und zu Oberflächen innerhalb der Luftfahrzeugkabine, zur Ausrüstung und zu Passagieren und Besatzung zurückverfolgen (siehe Abschnitt 4). Die Exposition gegenüber diesen chemischen Arbeitsstoffen bzw. Agenzien kann durch Anwendung der in diesem Dokument enthaltenen Konstruktions- und Wartungsanforderungen verhindert bzw. auf ein Mindestmaß verringert werden, wobei alle diese Anforderungen dem Vorsorgeprinzip (siehe 5.2) und der Kontrollhierarchie (siehe 5.3) entsprechend geplant und umgesetzt werden müssen.

Das Ziel dieser Konstruktions- und Wartungsanforderungen ist, die Exposition gegenüber luftgetragenen Schadstoffen an Bord von Luftfahrzeugen zu verhindern bzw. auf ein Mindestmaß zu reduzieren, wobei ein besonderer Schwerpunkt auf der Belüftungszuluft liegt. Dies erfolgt durch:

- a) Einrichtung eines Bordüberwachungssystems, das zum frühestmöglichen Zeitpunkt einen Hinweis auf eine Qualitätsminderung des Systems oder eine Änderung der Kabinenluftqualität gibt (siehe Abschnitt 7). Dieses System ermöglicht es, geeignete Betriebs- und/oder Wartungsmaßnahmen zu ergreifen, die die Flugsicherheit erhöhen und die Gesundheit von Besatzung und Passagieren schützen;
- b) Einsatz von auf dem Vorhandensein von ausgewählten chemischen Markierungsverbindungen (siehe Anhang B) basierender tragbarer Überwachungsausrüstung (siehe 7.3) als zusätzliches Hilfsmittel für die Wartung, Überwachung und Problembehebung; und
- c) Anwendung weiterer Konstruktions-, Betriebs- und Wartungsmaßnahmen (siehe Abschnitt 8 und Anhang F).

Die in Anhang B aufgeführten chemische Markierungsverbindungen (siehe Tabelle B.1) gelten als im Zusammenhang mit den primären Schadstoffquellen (siehe 4.2) am verlässlichsten und stellen daher eine geeignete Basis für sowohl die an Bord befindliche als auch die tragbare Überwachungsausrüstung dar (siehe Abschnitt 7). Es könnten aber auch alternative Verfahren angewendet werden, um das Vorhandensein einer spezifischen Schadstoffquelle anzuzeigen (z. B. durch Mustererkennung; siehe 7.1 und Anhang D).

Zusätzlich zu diesen Konstruktions- und Wartungsanforderungen sind in Abschnitt 9, Abschnitt 10 und Abschnitt 11 weitere erforderliche Verwaltungsmaßnahmen (d. h. medizinische Überwachung, genormte Berichterstattung, Schulung und Ausbildung des Flugpersonals) beschrieben.

Außerdem sind in Anhang F Beispiele für „bewährte Verfahrensweisen“ für die Belastungskontrollmaßnahmen beschrieben und enthalten die übrigen Anhänge ergänzende Informationen zu maßgebenden Luftfahrzeugsystemen und Schadstoffquellen.

5.2 Vorsorgeprinzip

Luftfahrtbetreiber, Wartungsorganisationen und Hersteller müssen bei der Durchführung einer Risikobeurteilung das Vorsorgeprinzip anwenden, um die Risiken einer Exposition gegenüber den in Abschnitt 4 aufgeführten Hauptverunreinigungsquellen zu charakterisieren.

Als Teil dieser Risikobeurteilung der Zapfluft liefernden Triebwerke und Hilfstriebwerke von Luftfahrzeugen müssen die Hersteller die von den Triebwerken und Hilfstriebwerken erzeugten Schadstoffe über den gesamten Bereich der im Betrieb zu erwartenden Triebwerksleistungseinstellungen messen, was auch Prüfungen an den Tragflügeln (en: on-wing testing) und transiente Leistungseinstellungen einschließt, und sie müssen die Möglichkeit des Austretens von Flüssigkeiten im Normalbetrieb sowie durch unfallbedingte Leckagen, Auslaufen und Überfüllung beurteilen.

Luftfahrtbetreiber müssen eine Risikobeurteilung bezüglich der Verunreinigung der Kabinenluft einschließlich der unvermeidlichen Risiken durchführen. Bei den meisten Karzinogenen und Mutagenen ist es nicht durchführbar, Niveaus zu ermitteln, unterhalb denen eine Exposition keine nachteiligen Auswirkungen hat.

Basierend auf diesen Risikobeurteilungen müssen die Luftfahrtbetreiber, Wartungsorganisationen und Hersteller das Vorsorgeprinzip und die Kontrollhierarchie (siehe 5.3) anwenden, um die Risiken einer Exposition gegenüber luftgetragenen Schadstoffen an Bord zu mindern. Dies muss auch die konstruktive Gestaltung von Systemen umfassen, die dafür sorgen, dass die Flüssigkeitsemissionen während des gesamten normalen Betriebs auf ein Mindestmaß reduziert werden.

Für weitere Informationen zum Vorsorgeprinzip siehe Anhang C.

5.3 Kontrollhierarchie

Luftfahrtbetreiber, Wartungsorganisationen und Hersteller müssen zur Verhinderung der Exposition von Passagieren und Besatzung gegenüber luftgetragenen chemischen Arbeitsstoffen die folgende Kontrollhierarchie anwenden:

- Vermeidung von Risiken;
- Bewertung von unvermeidlichen Risiken;
- Risikokontrolle an der Quelle;
- Abstellung oder Verminderung der Exposition gegenüber gefährlichen Chemikalien durch die konstruktive Gestaltung und Organisation des Systems;
- Anpassung an den technischen Fortschritt;
- Ersetzen des Gefährlichen durch das Ungefährliche, weniger Gefährliche oder Sichere;
- Entwicklung einer kohärenten allgemeinen Präventionspolitik, die Technologie, Arbeitsorganisation, Arbeitsbedingungen und den Einfluss von Faktoren im Zusammenhang mit dem Arbeitsumfeld abdeckt;
- den Arbeitnehmern entsprechende Anweisungen erteilen; und
- kollektiven Schutzmaßnahmen Vorrang vor individuellen Schutzmaßnahmen geben.

Luftfahrtbetreiber, Wartungsorganisationen und Hersteller müssen möglichen Gefährdungen an der Quelle durch Anwendung der besten verfügbaren Technologie (BAT) begegnen, indem sie z. B. Filter einbauen, um das Vorhandensein von Außenluft und durch Triebwerke und Hilfstriebwerke erzeugten Schadstoffen in der Belüftungszuluft auf ein Mindestmaß zu reduzieren.

ANMERKUNG 1 BAT wurden erfolgreich als Mittel eingesetzt, die Exposition gegenüber chemischen Arbeitsstoffen zu verhindern oder zu verringern bzw. auf ein Mindestmaß zu vermindern.

ANMERKUNG 2 Beispiele für den Ausschluss von auf mechanisches Versagen, Fehlfunktionen oder Schwankungen in der Effizienz von Triebwerksdichtungen zurückzuführender ölverunreinigter Zapfluft kann/können die Einbeziehung einer zapfluftfreien Bauweise und/oder ölfreie Lagersysteme sein.

ANMERKUNG 3 Für weitere Informationen zur Kontrollhierarchie siehe die Richtlinie 89/391/EWG (Arbeitsschutz-Rahmenrichtlinie) [14]. Luftfahrzeugspezifische Anwendungen der Kontrollhierarchie sind in den beiden folgenden Abschnitten aufgeführt.

5.4 Abstellungsmaßnahmen

Die Luftfahrzeughersteller müssen bei der konstruktiven Gestaltung des Belüftungszuluftsystems dem Vorsorgeprinzip und der Kontrollhierarchie Rechnung tragen, um die Exposition von Passagieren und Besatzung gegenüber den auf das Belüftungszuluftsystem zurückzuführenden und in 4.2 aufgeführten luftgetragenen chemischen Arbeitsstoffen abzustellen; das Belüftungszuluftsystem muss:

- a) in allen Flugphasen eine Atemluft erzeugen, die einer für die Luftfahrzeugbesatzung und die Passagiere sicheren und angenehmen Umgebung zuträglich ist, und zwar ohne Verwendung von Konstruktionsmerkmalen, die sich erfahrungsgemäß als gefährlich erwiesen haben;
- b) die Luftfahrzeugbesatzung vor körperlichen Schäden, Krankheit oder nachteiligen Auswirkungen (Beeinträchtigung oder Einsatzunfähigkeit) schützen;
- c) die Passagiere vor körperlichen Schäden, Krankheit oder nachteiligen Auswirkungen (Beeinträchtigung oder Einsatzunfähigkeit) schützen;
- d) Überwachungs- und Meldesysteme (siehe Abschnitt 7) zur Verfügung stellen, die im Falle einer Qualitätsminderung des Systems oder einer Änderung der Kabinenluftqualität (nach EASA CS 25.1309) [15], die Wartungsmaßnahmen oder ein Eingreifen des (der) Piloten erfordert, eine Warnmeldung ausgeben; und
- e) anhand einer Risikoanalyse beurteilt werden, die normale und unbeabsichtigte Leckagen, Flüssigkeitsverunreinigungen, Auslaufen, Überfüllungen, die Auswirkungen auf Passagiere und Besatzung und eine Beurteilung des Gemischs der potentiellen Schadstoffe umfasst.

Luftfahrzeughersteller müssen das Belüftungszuluftsystem außerdem so auslegen, dass die Wartbarkeit des Systems durch Reinigung oder den Austausch von Teilen erleichtert wird.

ANMERKUNG Bestehende Luftfahrttauglichkeitsanforderungen beschreiben, wie das Potential für die Minderung oder Beeinträchtigung der Leistung oder die Einsatzunfähigkeit der Crew aufgrund einer Verunreinigung der Belüftungszuluft mit Triebwerksöl und anderen Betriebsflüssigkeiten des Luftfahrzeugs zu analysieren und wie ein SMS anzuwenden ist, das den gesamten Bereich der Betriebsbedingungen widerspiegelt.

Bei der Beurteilung der Häufigkeit von Kabinenluftverunreinigungsereignissen sollten die Hersteller die von den Luftfahrtbetreibern und den entsprechenden Meldesystemen bereitgestellten Betriebsdaten durchsehen.

5.5 Minderungsmaßnahmen

Lässt sich die Exposition gegenüber chemischen Verbindungen, und zwar besonders den auf das Belüftungszuluftsystem des Luftfahrzeugs zurückzuführenden, nicht gänzlich abstellen, so müssen Luftfahrtbetreiber, Luftfahrzeug- und Triebwerkhersteller und Wartungsorganisationen, soweit möglich, das Vorsorgeprinzip (siehe 5.2) und die Kontrollhierarchie (siehe 5.3) wie folgt anwenden, um diese zu verhindern oder auf ein Mindestmaß zu reduzieren:

- Anwendung von Konstruktionen mit Minderungsmaßnahmen, wie z. B. Filtern (siehe Abschnitt 6) und Luftüberwachung (siehe Abschnitt 7);
- Anwendung von vorbeugenden und korrigierenden Wartungsmaßnahmen (siehe Abschnitt 8); und
- Umsetzung von administrativen Minderungsmaßnahmen, wie z. B. medizinische Überwachung (siehe Abschnitt 9), Berichterstattung und Analyse (siehe Abschnitt 10) und Schulung des Flugpersonals (siehe Abschnitt 11).

Luftfahrtbetreiber und Hersteller müssen den kollektiven Schutzmaßnahmen Vorrang gegenüber individuellen Schutzmaßnahmen einräumen, wie in der Kontrollhierarchie festgelegt.

Die Luftfahrtbetreiber und die Hersteller müssen das Substitutionsprinzip anwenden, um Gefährdungen im Zusammenhang mit Erzeugnissen, die in der Luftfahrt und bei technischen Lösungen zum Einsatz kommen, zu verringern. Die gefährlichen müssen in Übereinstimmung mit den Fertigungs- bzw. Herstellungsspezifikationen durch die ungefährlichen oder weniger gefährlichen ersetzt werden.

Luftfahrtbetreiber und Hersteller müssen die Verfahrensweisen zur Verhinderung und Minderung von Kabinenluftverunreinigungen dokumentieren, und zwar auch im Luftfahrzeugwartungshandbuch (AMM, en: Aircraft Maintenance Manual) und im Problemlösungshandbuch (TSM, en: Troubleshooting Manual) (siehe Abschnitt 8).

Luftfahrzeug- und Triebwerkhersteller, Wartungsorganisationen und Luftfahrtbetreiber sollten auch die in Anhang F aufgeführten „Best Practice“-Maßnahmen anwenden, weil diese Auswirkungen auf die konstruktive Gestaltung, die Wartung und den Betrieb haben.

6 Filterung

6.1 Allgemeines

Luftfahrzeughersteller und -lieferer müssen etwaige Belüftungszuluft-Filterungssysteme so entwerfen und einbauen, dass die mit den in 4.2 aufgeführten Quellen verbundenen luftgetragenen Schadstoffe (Feinstaub, Aerosole und gasförmige Schadstoffe) entfernt werden, um eine Exposition von Passagieren und Besatzung in den von ihnen genutzten Bereichen des Luftfahrzeugs zu verhindern bzw. auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Luftfahrtbetreiber müssen die Filterungssysteme den Anforderungen des Luftfahrzeugherstellers entsprechend betreiben, warten und austauschen. Filterungssysteme können Schadstoffe aus dem Außenluftstrom, dem Umluftstrom oder aus beiden herausfiltern.

ANMERKUNG Die Begriffe „Filter“ und „Filterung“ gelten als a) die zum Auffangen von Partikeln/Gasen im Luftstrom vorgesehenen Geräte, b) die zur Beseitigung von Verunreinigungen aus der Luft durch chemische Reaktionen vorgesehene Luftreinigungstechnik und c) die Kombination aus beiden umfassend.

6.2 Kabinenumluftfilterung

Die Luftfahrzeughersteller müssen Belüftungszuluftsysteme konstruieren, mit deren Hilfe sicherzustellen ist, dass die rezirkulierte Belüftungszuluft durch einen HEPA(en: high-efficiency particulate air)- oder einen

gleichwertigen Filter geleitet wird, bevor sie der Kabine wieder zugeführt wird, um eine erneute Zirkulation von Partikeln durch das Belüftungssystem zu verhindern.

ANMERKUNG 1 Partikel können chemische Verbindungen und Pathogene enthalten.

ANMERKUNG 2 Bei bestimmten ECS-Bauweisen ist eine Umluftfilterung im Verlauf bestimmter Betriebsvorgänge nicht möglich.

Die Luftfahrzeughersteller müssen die Filter und deren Einbaumittel so konstruieren, dass weder ihre ungewollte Umgehung durch ungefilterte Luft noch eine Überlastung der Filter möglich ist. Die erforderlichen HEPA-Filter müssen einer oder mehreren der folgenden Normen oder gleichwertigen Dokumenten entsprechen:

- IEST-RP-CC001; Filterklasse A oder höherwertig (mit einem Abscheidegrad von 99,97 % für Partikel mit einer Größe von 0,3 Mikrometer);
- EN 1822-1; Filterklasse H13 (mit einem Abscheidegrad (gesamt) von 99,95 % für die am schwersten abzuscheidenden Partikel [MPPS, en: most penetrating particle size]); und
- ISO 29463-1; Filterklasse ISO 35 H (mit einem Abscheidegrad (gesamt) von 99,95 % für die am schwersten abzuscheidenden Partikel).

Werden Umluftventilatoren eingeschaltet, so müssen die Luftfahrtbetreiber diese Filter und deren Einbaumittel den Herstellerempfehlungen entsprechend betreiben und austauschen.

Um diese Anforderung zu erfüllen, dürfen alternative Techniken und Prüfverfahren angewendet werden, sofern sie zu einem gleichwertigen oder besseren Abscheidegrad führen und die Prüfverfahren von einer zuständigen Behörde anerkannt wurden.

6.3 Katalysatorfilterung

Wird ein Luftfahrzeug mit Katalysatoren ausgerüstet, um während des Fluges Ozongas aus dem Außenluftstrom zu filtern, so müssen der Hersteller und der Luftfahrtbetreiber sicherstellen, dass diese Geräte den einschlägigen Verordnungen entsprechend konstruiert und gewartet werden.

Katalytisch arbeitende Geräte können zur Verhinderung/Minderung der Exposition gegenüber bestimmten gasförmigen Verbindungen, einschließlich u.a. einiger der in Anhang B festgelegten Quellen für gegebenenfalls in der Belüftungszuluft und der Kabinenluft enthaltene Schadstoffe, und von deren erneuter Zirkulation verwendet werden.

ANMERKUNG Für weitere Informationen zu der (den) Norm(en), nach der (denen) Belüftungssysteme für Luftfahrzeuge in Bezug auf die zulässigen Ozonkonzentrationen in Abhängigkeit von der Flughöhe der Kabine konstruiert und ausgelegt werden müssen, siehe EASA CS 25.832 [16].

7 Luftüberwachung

7.1 Allgemeines

Die Luftfahrzeughersteller müssen Luftüberwachungsausrüstung einbauen, die dann von den Luftfahrtbetreibern zu betreiben und zu warten ist und dazu dient, das Vorhandensein von mindestens den folgenden Schadstoffquellen zu erkennen: Triebwerksöl, Hydraulikflüssigkeit, Triebwerksabgase/Treibstoff und Enteisungsmittel (siehe Anhang B). Sofern die verfügbare Technik dies ermöglicht, müssen die Überwachungsdaten auch zwischen diesen Schadstoffquellen unterscheiden. Die in Abschnitt 7 angegebenen Überwachungsanforderungen gelten, soweit anwendbar, auch für Wartungsorganisationen.

Das Hauptziel der Überwachung ist, zwischen dem Normalzustand und einer Qualitätsminderung des Systems, wie z.B. einem Fume Event (siehe 4.4), zu unterscheiden, die oder das ein Eingreifen des (der) Piloten und/oder des Wartungspersonals erfordert. Die Überwachung der Luft auf derartige Schadstoffquellen ist dazu vorgesehen, eine Schadstoffbelastung an Bord zu verhindern oder zu vermindern.

Die gesamte Luftüberwachung muss den festgelegten Zielen (siehe 7.2) entsprechend geplant und durchgeführt werden. Im Besonderen muss die Position jedes Sensors der möglichen Verunreinigungsquelle (z.B. Triebwerk im Verhältnis zum Hilfstriebwerk), der (den) Markierungsverbindung(en) und den physischen Einschränkungen für den Sensor selbst (z.B. Temperatur-, Druck- und Luftfeuchtebedingungen) entsprechend festgelegt werden.

Die gesamte Überwachungsausrüstung muss kalibriert und sowohl für den vorgesehenen Verwendungszweck (d.h. geeignete Nachweisgrenze, Ansprechzeit, Fehlergrenze und Zuverlässigkeit) als auch die Probenahmeumgebung geeignet sein, um sicherzustellen, dass die erhobenen Daten den angestrebten Zielen entsprechend zuverlässig sind (siehe Anhang E).

Falls Sensortechnik zur Verfügung steht, die sich in die Systeme des Luftfahrzeugs integrieren und in Echtzeit auswerten lässt (siehe 7.3.1), muss eine solche verwendet werden, um die Anforderungen dieses Abschnitts zu erfüllen. Falls Echtzeit-Sensortechnik verfügbar ist, sich aber nicht in die Systeme des Luftfahrzeugs integrieren lässt, sollte ein tragbares Echtzeitgerät verwendet werden. Die Daten von Echtzeit-Sensoren können auch nach dem jeweiligen Flug analysiert werden.

Die mit einer tragbaren Probenahmeausrüstung für zeitintegrierte Messverfahren (siehe 7.3.2) erhobenen Daten können ebenfalls nützlich sein, entweder um die an Bord erhobenen Echtzeitdaten zu ergänzen oder um eine routinemäßige Systeminspektion/Wartung im Hinblick auf beliebige der in Anhang B aufgeführten Quellen für luftgetragene Schadstoffe durchzuführen.

Die folgenden Ansätze können entweder einzeln oder kombiniert angewendet werden, um die Anforderungen an die Erkennung von Verunreinigungsquellen zu erfüllen:

- a) als Anzeiger dienende chemische Markierungsverbindungen;
- b) Mustererkennung; und
- c) Differenzmessung.

Siehe Anhang D für weitere Informationen zu diesen Ansätzen.

Alle Probenahmedaten sind sorgfältig und unter Berücksichtigung der Probenahmebedingungen auszuwerten.

Querempfindlichkeiten sollten berücksichtigt werden.

7.2 Planung/Entwicklung der Luftüberwachung

7.2.1 Überblick

In Abstimmung mit den Luftfahrzeugherstellern müssen die Luftfahrtbetreiber eine EN ISO 16000-1 entsprechende Überwachungsstrategie einführen, um die am besten für die Anwendung geeignete Methodik festzulegen und sicherzustellen, dass die Integrität der Messdaten gewahrt bleibt.

Die Geräte zur Probenahme müssen sicher angebracht sein und dürfen weder den Betrieb des Luftfahrzeugs stören noch die Luft verändern. Die Überwachung muss Teil eines geplanten Ansatzes zur Verhinderung oder Verminderung einer Exposition sein.

Kompetente Personen mit den Fähigkeiten, Kenntnissen, praktischen Erfahrungen und Schulungen müssen die Überwachung planen und beaufsichtigen. Eine in das Luftfahrzeug integrierte Überwachungs-ausrüstung kann von einer entsprechend geschulten Luftfahrzeugbesatzung bedient werden.

Die Überwachungsziele müssen als Teil der Luftüberwachungsstrategie für sowohl Echtzeit- als auch zeitintegrierte Messungen, je nach Anwendbarkeit, festgelegt werden.

7.2.2 Übersicht über die Umgebung und die Ziele der Probenahme

Der Luftfahrtbetreiber muss eine Übersicht über die Umgebung, aus der die Probe entnommen werden soll, den laufenden Betrieb, die in dieser Umgebung verwendeten Materialien/Produkte und die Schadstoffe, die aus diesen Materialien ausströmen können, erstellen. Der Luftfahrtbetreiber muss die Methodiken der Luftüberwachung in den SMS-Handbüchern angeben.

7.2.3 Festlegung der Flugphasen und des Besetzt- oder Unbesetzt-Zustandes

Die meisten der erforderlichen Schadstoffüberwachungsdaten werden vom Luftfahrtbetreiber kontinuierlich über sämtliche Flugphasen (einschließlich der am Boden stattfindenden Betriebsvorgänge), in denen das Luftfahrzeug besetzt ist, erhoben (siehe 7.1 und 7.3.1).

Darüber hinaus kann es für den Luftfahrtbetreiber, um die Probenahmeziele zu erfüllen, notwendig sein, Daten für die Behebung von Wartungsproblemen im Verlauf bestimmter Flugphasen oder bei bestimmten Triebwerks-/Hilfstriebwerksleistungseinstellungen und nur bei nicht besetztem Luftfahrzeug zu erheben.

Der Luftfahrtbetreiber muss die nachstehende Tabelle 1 anwenden, um die allgemeinen Flugphasen mit oder ohne Passagiere, während derer Messungen durchgeführt werden sollten, zu referenzieren.

Tests mit dem ECS oder E-ECS (der elektrischen Klimaanlage) bei sehr hohen oder sehr niedrigen Temperaturen sind aus Komfortgründen mit Passagieren an Bord möglicherweise nicht durchführbar. Von allen möglichen Luftfahrzeugsystemkonfigurationen fasst Tabelle 1 die Kombinationen möglicher Luftfahrzeugsystemeinstellungen zusammen. Diese Einzelheiten zur Systemkonfiguration müssen bei jeder Messung aufgezeichnet werden.

Tabelle 1 — Für die einzelnen Flugphasen mögliche Luftfahrzeugsystem-Konfigurationseinstellungen

Flugphase	Luftfahrzeugsystemkonfiguration und Steuerungseinstellungen				
	ECS oder E-ECS ^b	Luft-befeuchtungs-anlage	Zapfluft aus dem Hilfs-triebwerk	Zapfluft aus dem Triebwerk	Bodenluft-versorgungs-einheit
Start des Triebwerks ^a	AN oder AUS	AUS	AN oder AUS	AUS bis AN	AN oder AUS
Start des Hilfstriebwerks ^a	AN oder AUS	AUS	AUS bis AN	AN oder AUS	
Rampe	MAX WARM MAX KALT 20 °C bis 25 °C oder gegenwärtig ^c	AN oder AUS ^c	AN oder AUS ^c	AUS	AN oder AUS ^c
Rampe – Enteisung ^a	AUS	AUS	AUS	AUS bis AN	

Flugphase	Luftfahrzeugsystemkonfiguration und Steuerungseinstellungen				
	ECS oder E-ECS ^b	Luft-befeuchtungs-anlage	Zapfluft aus dem Hilfs-triebwerk	Zapfluft aus dem Triebwerk	Bodenluft-versorgungs-einheit
Hinrollen auf das Vorfeld	20 °C bis 25 °C oder gegenwärtig	AN oder AUS ^c	AN oder AUS ^c	AN oder AUS ^c	
Starten	20 °C bis 25 °C oder gegenwärtig	AN oder AUS	AUS	AN	
Steigflug	20 °C bis 25 °C oder gegenwärtig	AN oder AUS	AUS	AN	
Reiseflug	20 °C bis 25 °C oder gegenwärtig	AN oder AUS	AUS	AN	
Sinkflug	20 °C bis 25 °C oder gegenwärtig	AN oder AUS	AUS	AN	
Wegrollen vom Vorfeld	20 °C bis 25 °C oder gegenwärtig	AN oder AUS	20 °C bis 25 °C oder gegenwärtig	AN	
Triebwerks-abschaltung ^a	AN oder AUS		AN oder AUS	AN bis AUS	
Hilfstriebwerks-abschaltung ^a	AN oder AUS		AN bis AUS	AN oder AUS	
^a Die Luftfahrtbetreiber sollten die Messungen beginnen, bevor die Triebwerke/Hilfstriebwerke gestartet werden, um sicherzustellen, dass das Öffnen des Zapfluftventils aufgezeichnet wird. Die Messungen sollten bis nach Abschaltung der Triebwerke/Hilfstriebwerke fortgesetzt werden, um Situationen einzubeziehen, in denen das Zapfluftventil nicht vollständig geschlossen ist, sich langsam schließt oder aufgrund eines Fehlers nicht schließen kann. ^b Befindet sich das ECS oder E-ECS in der Stellung MAX. WARM oder MAX. KALT, so sollten die Messungen ohne Passagiere an Bord und bei sämtlich geschlossenen (Frisch-)Luftauslässen durchgeführt werden. ^c Die ausgewählten ECS- oder E-ECS-Einstellungen oder die Luftfahrzeugsystemkonfiguration schließen einander aus und müssen kompatibel sein.					

7.2.4 Festlegung der Probenentnahmestellen

Zu den Optionen für Probenentnahmestellen müssen das Belüftungszuluftsysteem (vor oder hinter dem Mischblock) und die Umgebungsluft in der Kabine gehören.

Die zuverlässigste Probenentnahmestelle für auf das Belüftungszuluftsysteem zurückverfolgbare Schadstoffe ist der Außenluftstrom vor dem Mischblock. Unter Umständen lassen sich dort jedoch aufgrund hoher Temperatur und hohen Drucks keine Proben entnehmen. Die Probenahme des Gemischs aus Zapfluft und Umluft hinter dem Mischblock verdünnt alle auf das Belüftungszuluftsysteem zurückverfolgbaren Schadstoffe, und die beprobte Luft enthält wahrscheinlich auch Schadstoffe, die innerhalb der Kabinenumgebung erzeugt wurden.

Schadstoffe, die sich auf den Oberflächen der Kabine und der Be- und Entlüftungsleitungen abgesetzt haben, stellen ebenfalls eine Quelle für qualitative Daten dar.

7.3 Methodik der Luftüberwachung

7.3.1 Echtzeitüberwachung

Zusätzlich zu dem in 7.1 festgelegten primären Überwachungsziel müssen Luftfahrtbetreiber Echtzeitüberwachung anwenden, um:

- a) der Luftfahrzeugbesatzung dabei anzuleiten, eine Quelle abnormaler Verunreinigungen so früh wie möglich zu isolieren (z. B. könnte die Luftfahrzeugbesatzung in der Zapfluftanlage eine Triebwerks- oder Hilfstriebwerks-Zapfluftquelle isolieren);
- b) die Behebung von Wartungsproblemen entweder in Echtzeit oder nach der Landung anzuleiten;
- c) Datentrends der Zapfluftanlage über einen längeren Zeitraum zu liefern, die auf eine notwendige Wartung der Triebwerke/Hilfstriebwerke hinweisen können.

ANMERKUNG Die Echtzeitüberwachung ermöglicht es, Änderungen in den Schadstoffniveaus über der Zeit zu beurteilen, was es einem Luftfahrtbetreiber erlaubt, einen Bereich von Bedingungen, die ein Eingreifen erfordern, zu identifizieren, der von den frühen Stadien einer abnormalen Leckage durch qualitätsgeminderte Triebwerks-/Hilfstriebwerksdichtungen bis hin zum Versagen von Komponenten reicht.

Um diese Ziele zu erreichen, müssen Sensoren konstruiert und betrieben werden, mit deren Hilfe relevante Markierungsverbindungen (siehe Anhang B) zu messen sind, und die Daten müssen zwecks Auswertung auf ein System bezogen werden. Das System kann entweder Änderungen in den Niveaus von Markierungsverbindungen über der Zeit aufzeigen oder die Echtzeitsensordaten mit gespeicherten Daten vergleichen, die z. B. unter Normalbedingungen oder bei einem Eingreifen erhoben wurden.

Luftfahrtbetreiber sollten die Echtzeitüberwachung auch nutzen, um:

- d) nützliche Informationen über die Effizienz des Filterungssystems bereitzustellen (siehe Abschnitt 6);
- e) anzuzeigen, dass das Filterungssystem die beabsichtigte Leistung nicht erbringt und ob neben der planmäßigen Wartung zusätzliche Wartungsmaßnahmen oder der Austausch von Teilen erforderlich ist;
- f) im laufenden Betrieb Rückmeldungen über die Leistung anderer Komponenten des Belüftungszuluftsystems (z. B. Vorkühler, Luftaustauscher, ECS, Filterungssysteme, Ozon/VOC-Konverter, Be- und Entlüftungsleitungen usw.) zu geben.

7.3.2 Zeitintegrierte Überwachung

Zeitintegrierte Überwachungsverfahren müssen die Luftfahrtbetreiber müssen bei Verbindungen anwenden, für die keine geeigneten Echtzeitsensoren zur Verfügung stehen.

Diese Verfahren werden empfohlen, um die am Boden durchgeführte Fehlersuche in Fällen zu unterstützen, in denen Echtzeit-Probenahmedaten die Schadstoffquelle nicht eindeutig identifizieren können. Zeitintegrierte Verfahren eignen sich für die Messung von durchschnittlichen Niveaus bestimmter Schadstoffe während routinemäßiger Betriebsvorgänge und können qualitative Analysen des Chemikaliengehalts von im Luftfahrzeug eingebauten Filtern oder von an Bord genommenen Wischproben ergänzen. Die Einschränkungen von zeitintegrierten Verfahren sind jedoch beachtlich; im Besonderen liefern die Daten keine frühzeitige Benachrichtigung über eine Belastung, was die wichtigste Aufgabe eines Überwachungssystems an Bord ist. Zeitintegrierte Probenahmedaten sollten grundsätzlich sehr sorgfältig ausgewertet werden, weil diese Daten nur die über den Probenahmezeitraum gemittelte Konzentration des betreffenden Schadstoffs angeben.

Wenn zeitintegrierte Verfahren anstelle von Echtzeit-Verfahren ausgewählt werden, um einen oder mehrere der in Tabelle B.1 aufgeführten Schadstoffe zu messen, sind die Gründe für die Nichtanwendung der

Echtzeit-Verfahren einschließlich der entsprechenden Einschränkungen zu dokumentieren und die Normen aufzulisten, die die allgemeinen Anforderungen an die Kompetenz zur Durchführung von Prüfungen und/oder Kalibrierungen und zur Anwendung von Laborverfahren festlegen (EN 482 [17], EN ISO 22065 [18], EN 838 [19], EN 13890 [20] und EN ISO/IEC 17025 [21]).

Bei der Festlegung der Probenahmestrategie und der Auswertung der Probenahmedaten sollten die folgenden Faktoren berücksichtigt werden:

- a) die Flugphase(n);
- b) die Dauer jedes Probenahmezeitraums;
- c) die Dauer des Fluges;
- d) das Potential für Schwankungen der Konzentration im Verlauf einer Flugphase und beim Vergleich mehrerer Flugphasen; und
- e) die mit der Nachbildung der Flugbedingungen im Bodenbetrieb verbundenen Herausforderungen.

Anwender von zeitintegrierten Überwachungsverfahren (oder Überwachungsanlagen) müssen sicherstellen, dass diese mit der Bandbreite und den Schwankungen der an Bord auftretenden Umweltfaktoren (z. B. Temperatur, Luftfeuchte, Druck) kompatibel sind. Darüber hinaus muss der Anwender sicherstellen, dass das Analyseverfahren für die vermutete Schadstoffquelle, die aus einem komplexen Gemisch von Verbindungen bestehen kann, in Anbetracht möglicher Störungen geeignet ist.

Vor und nach dem Probenahmezeitraum sind die Durchflussmengen mit einem kalibrierten Durchflussmessgerät zu überprüfen. Die Dauer der Probenahme und das Probenvolumen müssen durch das (die) Überwachungsziel(e) bestimmt werden und sind von der Nachweisgrenze des gewählten Verfahrens abhängig. Bei einigen zeitintegrierten Probenahmeverfahren ist die Nachweisgrenze ausreichend niedrig, um kurze Probenahmedauern zu rechtfertigen.

ANMERKUNG 1 Die Erhebung von zeitintegrierten Messdaten kombiniert Luftprobenahmeverfahren mit der anschließenden Laboranalyse der Probenmedien.

ANMERKUNG 2 Zeitintegrierte Probenahmesysteme bestehen in der Regel aus einer Pumpe, die über einen Schlauch mit dem Probemedium (Sammel- oder Adsorptionsmedium) verbunden ist.

ANMERKUNG 3 Die zeitintegrierte Probenahme führt nicht zur Bestimmung der Konzentration in Abhängigkeit von der Zeit. Die Variabilität der Konzentration über der Zeit kann einen Einblick in die Schadstoffquelle geben, wenn sie z. B. in Abhängigkeit von der Flugphase und der Einstellung der Triebwerksleistung ausgewertet wird.

Die Probenahme erfolgt in einer Umgebung mit vermindertem und veränderlichem Druck, was beides Auswirkungen auf das Luftvolumen hat, das die Pumpe aktiv aus dem Probemedium abzieht. Entsprechend muss die Probenahme entweder mit Massendurchflussreglern, die diese Druckänderungen korrigieren, oder mit Pumpen, die automatisch für einen konstanten Durchfluss sorgen, durchgeführt werden, damit sichergestellt wird, dass die Probenahme innerhalb von ± 5 % des anfänglichen Sollwerts liegt und während des gesamten Flugs eine konstante Durchflussgeschwindigkeit beibehalten wird.

Falls passive Probenahmeverfahren erwogen werden, sollten deren Begrenzungen berücksichtigt werden.

Der Luftfahrtbetreiber muss die Luft- oder Medienproben an ein Analyselabor senden, das erwiesenermaßen in der Lage ist, sowohl bei der Anwendung von Normverfahren (wie sie in Anhang E angegeben sind) als auch bei der Anwendung von im betreffenden Labor entwickelten Verfahren Prüf- und Kalibrierdaten von hoher Präzision und Genauigkeit zu ermitteln. Für den Fall, dass keine genormten Verfahren zur Verfügung stehen, sind angepasste oder neuentwickelte Verfahren oder Geräte zulässig, sofern sie dem primären Überwachungsziel (siehe 7.1) entsprechen.

8 Vorbeugungs- und Korrekturmaßnahmen

8.1 Allgemeines

Luftfahrtbetreiber müssen die in 8.2 bis 8.5 angegebenen Betriebs- und Wartungsanforderungen entwickeln und umsetzen, um das Vorhandensein von luftgetragenen chemischen Verbindungen (siehe Anhang B) sowohl zu verhindern als auch zu beheben, wobei der Schwerpunkt auf den auf das Belüftungszuluftsystem zurückzuführenden Verbindungen liegt. Soweit anwendbar, müssen die Luftfahrtbetreiber mit den Herstellern zusammenarbeiten. In Anhang F sind zusätzliche Empfehlungen aufgeführt.

Diese Anforderungen müssen je nach Angemessenheit in die Luftfahrzeugwartungshandbücher und die Handbücher für die Crew aufgenommen werden.

8.2 Vorbeugungsmaßnahmen vor dem Start

- a) Um ein Überfüllen der Ölbehälter zu verhindern, müssen die Luftfahrtbetreiber auf jedem Ölbehälter ein Hinweisschild anbringen, auf dem der angemessene Füllstand eindeutig angegeben ist, und eine Aufgabenkarte entwickeln/implementieren, mit der Wartungspersonal geschult wird, um:
 - i) beim Befüllen des Behälters das Hinweisschild zu beachten;
 - ii) das Triebwerk/Hilfstriebwerk nach einer angemessenen Abschaltsequenz (falls zutreffend) und innerhalb eines festgelegten Zeitraums zu warten; und
 - iii) Verfahrensweisen anzuwenden, die ein genaues Ablesen und Aufzeichnen des Ölstands/der Ölzugaben sicherstellen sollen.

ANMERKUNG 1 Weitere Hinweise sind in ASHRAE (2018), *Air quality within commercial aircraft*, ANSI/ASHRAE Standard 161–2018, ISSN 1041 2336, Abschnitt 8.7, *Engine oil* zu finden.

- b) Um ein Überfüllen der Hydraulikflüssigkeitsbehälter zu verhindern, müssen die Luftfahrtbetreiber ein Hinweisschild am Hydraulikflüssigkeitsbehälter anbringen, auf dem der angemessene Füllstand deutlich angegeben ist, und eine Aufgabenkarte entwickeln/implementieren, mit der Wartungspersonal geschult wird, um:
 - i) beim Befüllen des Behälters das Hinweisschild zu beachten;
 - ii) (falls zutreffend) innerhalb eines festgelegten Zeitraums zu warten; und
 - iii) Verfahren anzuwenden, die ein genaues Ablesen und Aufzeichnen des Hydraulikflüssigkeitsstands/der Zugabe von Hydraulikflüssigkeit sicherstellen sollen.

ANMERKUNG 2 Weitere Hinweise sind in ASHRAE (2018), *Air quality within commercial aircraft*, ANSI/ASHRAE Standard 161–2018, ISSN 1041 2336, Abschnitt 8.6, *Hydraulic fluid* zu finden.

8.3 Korrekturmaßnahmen während des Flugs

Luftfahrtbetreiber müssen zugelassene Rauch/Dämpfe-Checklistverfahren für nicht mit einem Brand verbundene Bedingungen der vermuteten Anwesenheit von Dämpfen entwickeln. Diese Verfahren müssen die Verwendung von Sauerstoffmasken durch die Piloten in der 100 %/NOTFALL-Position umfassen, um die 100%ige Sauerstoffversorgung unter Überdruck sicherzustellen.

Diese Checklistenverfahren müssen Schritte umfassen, die es den Piloten ermöglichen zu versuchen, die Verunreinigungsquelle der Zuluft im Flug zu isolieren, wenn die Bedingungen dies zulassen.

8.4 Korrekturmaßnahmen nach dem Flug

Die Luftfahrtbetreiber müssen Aufgabenkarten verwenden, mit denen das Wartungspersonal nach dem Flug Schadstoffquellen auf der Grundlage von Position und Art der Sensordaten und von Daten aus genormten, von der Crew auszufüllenden Berichtsformularen zuverlässig identifizieren und beseitigen kann. Bei der Entwicklung dieser Aufgabenkarten ist ein systematischer Ansatz anzuwenden, um das Wartungspersonal in die Lage zu versetzen, die Fehlersuche in Luftfahrzeugsystemen so durchzuführen, dass sich das Vorhandensein von luftgetragenen Schadstoffen den einzelnen Belüftungszuluftquellen (z. B. Hilfstriebwerk, Triebwerk 1, Triebwerk 2, elektrische Kompressoren) entsprechend lokalisieren lässt. Zu den im Rahmen der Fehlersuche und -behebung durchzuführenden Aufgaben gehören u. a.: Verfahrensweisen der Aggregatisolierung; Sichtprüfung von Triebwerken/Hilfstriebwerken/ECS-Komponenten und Luftleitungen, die von den Zuluftquellen kommen; Inspektionen mittels Endoskop; die Überprüfung der Ölverbrauchsaufzeichnungen; die Inspektion von geöffneten Triebwerksverkleidungen; Luftfahrzeug-Begehungen/Rundgänge, die eine Überprüfung auf Anzeichen für das Ausströmen von Fluiden in der Umgebung der Hilfstriebwerkeinlässe einschließen; die Betrachtung möglicher umwelttechnischer Ursachen; und die Analyse der Kabinenfilter.

Diese Aufgabenkarten müssen die Arbeitnehmer anweisen, die Öl-/Hydraulik-Wartungsaufzeichnungen zu überprüfen und die Systeme auf Anzeichen einer Überfüllung zu beurteilen; das gilt besonders, wenn ein mechanischer Mangel/Ausfall nicht erkennbar ist. Diese Aufgabenkarten müssen ausdrücklich darauf hinweisen, dass aus dem (den) Hilfstriebwerk(en) stammende Dämpfe während des Flugs auftreten können, auch wenn diese(s) bereits ausgeschaltet wurde(n).

Die Aufgabenkarten müssen das Wartungspersonal anweisen, die einer identifizierten Verunreinigungsquelle nachgeschalteten Systeme systematisch zu inspizieren und zu reinigen; dazu können auch ECS-Komponenten und nachgeschaltete druckausgleichende Luftverteilung/Ausgleichsluftleitung gehören.

Speziell für Verfahrensweisen des Ausbrennens der betreffenden Aggregate (en: pack burn procedures) müssen Aufgabenkarten für das Wartungspersonal entwickelt und implementiert werden, um:

- a) die stromabwärts von den Aggregaten angeordneten Luftleitungen zu isolieren, indem die zum Ausbrennen der Aggregate genutzte Luft, sofern möglich, nach außen abgeführt wird;
- b) sicherzustellen, dass das Luftfahrzeug während eines Aggregatausbrennens nicht besetzt ist oder, falls dies nicht möglich ist, mindestens sicherzustellen, dass die an Bord befindlichen Personen geeignete Schutzausrüstung tragen; und
- c) verschmutzte Bauteile des Ausgleichluftsystems zu inspizieren und entweder zu reinigen oder auszutauschen.

ANMERKUNG Weitere Hinweise sind in ASHRAE (2018), *Air quality within commercial aircraft*, ANSI/ASHRAE Standard 161–2018, ISSN 1041 2336, Abschnitt 8.2, *Remedies* (b) und A3.1 zu finden.

Die Luftfahrtbetreiber müssen sicherstellen, dass gemeldete Belüftungszuluft-Verunreinigungsereignisse nach bewährten Vorgehensweisen (en: best practices) untersucht und analysiert werden, um die Grundursachen zu erkennen und Wiederholungen derartiger Ereignisse zu verhindern.

8.5 Luftfahrzeugwartungshandbuch (AMM)

Die Wartungsaufgabenkarten und die im Luftfahrzeugwartungshandbuch (AMM) beschriebenen Maßnahmen sollten den Piloten zur Verfügung gestellt werden, um sie bei ihrer Entscheidung zu unterstützen, das Luftfahrzeug wieder in Betrieb zu nehmen.

9 Überwachung von Luftfahrzeugbesatzung und Passagieren

9.1 Überwachung der Luftfahrzeugbesatzung

Die Betreiber müssen den Gesundheitszustand der Luftfahrzeugbesatzung überwachen. Die Überwachung der Luftfahrzeugbesatzung ist eine weitere Quelle für Informationen über die Kabinenluftqualität.

Die Luftfahrzeugbesatzung ist zu überwachen:

- zu Beginn der Beschäftigung (üblicherweise durch eine medizinische Untersuchung vor der Anstellung); und
- nach allen kontaminierenden Fume Events mit der zu diesem Zeitpunkt besten verfügbaren Technologie.

Bei der Überwachung des Gesundheitszustandes wird das medizinische Best-Practice-Protokoll angewendet, das speziell für die Belastung durch Luftverunreinigungen in Luftfahrzeugen gilt [22] [23]. Das Protokoll muss für alle Mitglieder der Luftfahrzeugbesatzung und ihre Ärzte verfügbar sein.

Nach einem Fume Event müssen den bestehenden medizinischen Protokollen entsprechend möglichst zeitnah Urin-(Zeitreihen-) und Blutproben abgegeben werden.

Es ist dafür Sorge zu tragen, dass geeignete sterile Behälter zur Verfügung stehen, wie im betreffenden medizinischen Protokoll festgelegt. Ein Dokumentationssystem für die Sorgfaltskette muss vorhanden sein.

Jedes medizinische Protokoll muss für jedes Mitglied der Luftfahrzeugbesatzung festgelegte Prüfungen und Verfahrensweisen enthalten, die

- a) sofort nach dem Flug und
- b) danach in regelmäßigen Zeitabständen durchzuführen sind, je nachdem, was zutrifft. Die Folgebeurteilungen müssen auf das ursprüngliche Prüfergebnis Bezug nehmen.

Die Anforderungen der oben stehenden Aufzählungspunkte a) und b) müssen eine vollständige Berufslaufbahn, einschließlich der bisherigen Belastung, der eingereichten Störungsberichte, der Wartungsverpflichtungen und der Befunde umfassen. Die gesammelten Informationen müssen mindestens eine vollständige Liste der Symptome enthalten, die in akute, subakute oder chronische Symptome während der regelmäßigen Folgeuntersuchungen; Geschlecht; Alter; frühere Auswirkungen durch die Belastung; Befunde und Diagnosen; Flugstunden oder -jahre; und die Angabe, ob andere Mitglieder der Luftfahrzeugbesatzung oder Passagiere während des Fluges betroffen waren, unterteilt ist.

ANMERKUNG Das übrige Flugpersonal (z. B. das Wartungspersonal) kann ebenfalls überwacht werden.

9.2 Überwachung der Passagiere

In Bezug auf ihre Passagiere müssen die Luftfahrtbetreiber im Falle eines Fume Events die folgenden Maßnahmen ergreifen:

- a) Wenn die Luftfahrzeugbesatzung angibt, dass sie nachteiligen Auswirkungen durch die Kabinenluftqualität ausgesetzt war, sind auch Befragungen von Passagieren durchzuführen, um festzustellen, ob diese ebenfalls betroffen waren.
- b) Meldet ein Passagier oder melden mehrere Passagiere, dass er (sie) nachteiligen Auswirkungen durch die Kabinenluftqualität ausgesetzt war(en), so muss der Luftfahrtbetreiber sicherstellen, dass die

entsprechenden Angaben zusammen mit etwaigen nachteiligen Auswirkungen auf die Gesundheit aufgezeichnet werden.

- c) Falls ein oder mehrere Passagiere nachteiligen Auswirkungen ausgesetzt war(en), muss der Luftfahrtbetreiber diesem (diesen) Passagier(en) möglichst zeitnah die entscheidenden — und für deren medizinische Berater nutzbaren — Informationen dazu zukommen lassen, welchen Substanzen er/sie an Bord ausgesetzt war(en); dazu gehören auch Informationen zu toxikologischen Prüfungen.

ANMERKUNG Produktsicherheitsdatenblätter (en: product safety data sheets, product SDS) sind eine Quelle für Informationen zu Gefahrstoffen und möglicherweise toxischen Wirkungen.

- d) Falls die Luftfahrzeugbesatzung ein Fume Event oder eine Exposition gegenüber Zapfluftschadstoffen meldet, muss der Luftfahrtbetreiber den Passagieren Zugang zu den speziell für die Exposition gegenüber luftfahrzeugspezifischen Luftverunreinigungen geltenden medizinischen Best-Practice-Protokollen anbieten.
- e) Falls ein Passagier auf ein medizinisches Protokoll (wie in Aufzählungspunkt d) festgelegt) zugreift, sollte der Luftfahrtbetreiber Zugang zu allen maßgeblichen Passagierdaten (soweit nach der Datenschutzverordnung zulässig) erhalten, um Probleme mit der Kabinenluftqualität und alle nachteiligen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit beurteilen zu können.

10 Datenerhebung, Datenanalyse und Berichterstattung

10.1 Allgemeines

Luftfahrtbetreiber müssen die folgenden Daten erheben:

- a) einschlägige Berichte der Luftfahrtbetreiber (10.2.1);
- b) von der Luftfahrzeugbesatzung erstellte Berichte über Fume Events (10.2.2); und
- c) erforderliche Sensordaten des Betreibers (7.1).

Luftfahrtbetreiber müssen diese drei Datenquellen in ein SMS- (oder ein gleichwertiges) Rahmenwerk (siehe 10.3.1) für die Analyse und die Berichterstattung einbeziehen.

ANMERKUNG In diesem Kontext ist ein SMS ein verwaltungstechnisches Rahmenwerk, das angewendet wird, um es dem Betreiber zu ermöglichen, die Luftqualität betreffende Ereignisse systematisch zu überwachen und darauf zu reagieren. Diese systematische Erhebung, Speicherung und Analyse von maßgebenden Daten (siehe Abschnitt 6.2 des ICAO-Rundschreibens Nr. 344 [24]) hilft dem Betreiber bei der Umsetzung der geeignetsten Art und Weise, wie auf ein einzelnes die Luftqualität betreffendes Ereignis zu reagieren ist, und bei der Veränderung/Entwicklung von betrieblichen Verfahrensweisen anhand von Trendanalysen.

10.2 Datenerhebung

10.2.1 Einschlägige Berichte der Luftfahrtbetreiber

Die Luftfahrtbetreiber müssen Aufzeichnungen zusammenstellen, in denen die Wartungshistorie des Luftfahrzeugs (einschließlich maßgeblicher Wartungsaufzeichnungen), Einträge im technischen Bordbuch, Luftsicherheitsberichte (ASR, en: Air Safety Reports) und Berichte über meldepflichtige Ereignisse (MOR, en: mandatory occurrence reports) für die folgenden Arten von Ereignissen dokumentiert sind:

- a) das vermutete oder durch ein oder mehrere Mitglieder der Luftfahrzeugbesatzung bestätigte Vorhandensein verunreinigter Luft (Dämpfe, Rauch, Nebel) in der dem Cockpit oder der Kabine zugeführten Belüftungsluft, das mit einer oder mehreren der in Anhang B, Tabelle B.1 aufgeführten Quellen (unabhängig davon, ob diese vorübergehend oder anhaltend aktiv sind) verbunden ist;

ANMERKUNG 1 Die Piloten nehmen für alle bekannten oder vermuteten Mängel am Luftfahrzeug nach Beendigung eines Fluges einen Eintrag im technischen Bordbuch vor. Das vorübergehende oder anhaltende Vorhandensein von Rauch/Dämpfen/Nebel zeigt einen bekannten oder vermuteten Mangel an. Diese Praktik der Protokollierung von Mängeln spiegelt aktuelle Verordnungen wider, speziell NCC.GEN. 105 der Verordnung (EU) Nr. 965/2012, die besagt, dass „der verantwortliche Pilot (...) alle bekannten oder vermuteten Mängel am Luftfahrzeug bei Beendigung des Fluges (...) im technischen Bordbuch oder Bordbuch des Luftfahrzeugs aufzuzeichnen hat“, um die fortgesetzte Flugsicherheit sicherzustellen. M.A. 306 der Verordnung (EU) Nr. 1321/2014 [25] besagt, dass der „Betreiber ein technisches Bordbuch führen“ muss, das für jedes Luftfahrzeug Einzelheiten zur Wartung (hier: Instandhaltung) und die zur Sicherstellung der fortgesetzten Flugsicherheit notwendigen Informationen enthält. Anhang 1, (4)(3) der Verordnung (EU) Nr. 2015/1018 [26] besagt, dass das Vorhandensein von „verunreinigter Luft im Cockpit oder im Fluggastraum“, das die Flugsicherheit entweder gefährdet hat oder gefährden könnte, gemeldet werden muss. M.A. 305 der Verordnung (EU) Nr. 1321/2014 [25] legt fest, dass das Luftfahrzeug-Bordbuch und die Motorbetriebstagebücher und das technische Bordbuch des Betreibers als Teil der Aufzeichnungen über die Aufrechterhaltung der Lufttüchtigkeit des Luftfahrzeugs angesehen werden.

- b) Ereignisse, wie Verbrennen, Schmelzen, Rauch, Gase, Lichtbögen, Überhitzung, Feuer oder Explosion;
- c) Leckagen von Flüssigkeiten, die möglicherweise zu einer gefährlichen Verunreinigung des Luftfahrzeugs geführt oder eine Gefahr für das Luftfahrzeug, seine Insassen oder andere Personen dargestellt haben oder hätte darstellen können.
- d) Nutzung des Sauerstoffsystems durch die Luftfahrzeugbesatzung; und
- e) Beeinträchtigung oder Einsatzunfähigkeit eines Besatzungsmitglieds aufgrund einer bestätigten oder vermuteten Verunreinigung der Kabinenluft.

ANMERKUNG 2 Die in 10.2.1 a) bis d) beschriebenen Ereignisse sind in Anhang 1 (§2.1(4), §4(2), §4(3), §4(9)) der Verordnung (EU) Nr. 2015/1018 [26] aufgeführt. Darüber hinaus wird die Einsatzunfähigkeit eines Mitglieds der Luftfahrzeugbesatzung in Anhang 1 (§4(10)) der Verordnung (EU) Nr. 2015/1018 [26] genannt.

Anforderungen an die ASR- und MOR-Berichterstattung sind in der Verordnung (EU) Nr. 376/2014 [27] und in der Verordnung (EU) Nr. 2015/1018 [26] beschrieben. Diese Berichte müssen innerhalb von 72 Stunden nach Beendigung des Fluges eingereicht werden.

ANMERKUNG 3 Untersuchungen von Unfällen und Störungen in der Zivilluftfahrt sind in der Verordnung (EU) Nr. 996/2010 [28] beschrieben.

10.2.2 Von der Luftfahrzeugbesatzung erstellte Berichte über Fume Events

Luftfahrtbetreiber müssen genormte Formulare oder ein System (in elektronischer und/oder Papierform) für die Berichterstattung über Fume Events erstellen und der Luftfahrzeugbesatzung zur Verfügung stellen. Die Luftfahrtbetreiber müssen ihre Luftfahrzeugbesatzungen zu allen Aspekten der Verwendung dieser Formulare bzw. dieses Formulars oder Systems schulen (siehe Abschnitt 11).

In jedem Formular ist (unabhängig davon, ob es für Piloten oder Flugbegleiter bestimmt ist) zur Beantwortung mindestens der folgenden Fragen aufzufordern:

- Datum des Fume Events;
- Flugzeugtyp;
- Flugzeugkennzeichen;
- Flugnummer und Strecke;
- scheinbare Quelle der Dämpfe (d. h. Belüftungszuluftöffnungen oder Luft in der Kabine);
- Beschreibung und Intensität des Geruchs;

- ob die Dämpfe von Rauch oder Nebel begleitet wurden;
- Ort der Dämpfe (Cockpit, Vorderkabine, mittlere Kabine, Achterkabine, gesamtes Luftfahrzeug);
- Flugphase(n) bei Auftreten von Dämpfen und Dauer des Ereignisses;
- ob die Luftfahrzeugbesatzung/Passagiere Symptome hatte(n) und welche Art von Symptomen;
- ob die an Bord befindliche Sauerstoffanlage genutzt wurde;
- ob ein Mitglied der Luftfahrzeugbesatzung an Bord oder bei Ankunft um medizinische Versorgung ersucht hat;
- Wartungsnachverfolgung und Wartungsinformationen (falls bekannt);
- Auswirkungen auf den Betrieb (falls bekannt); und
- Berichte zu relevanten/ähnlichen Bedingungen im selben Luftfahrzeug (falls bekannt).

Darüber hinaus müssen in dem für die Berichterstattung durch den oder die Piloten vorgesehenen Formular (dem Meldeformular für Piloten) die folgenden Fragen enthalten sein:

- a) Wartungshistorie des Luftfahrzeugs, die in den verfügbaren Seiten (in Papier- oder elektronischer Form) des technischen Bordbuches beschrieben ist;
- b) vorige Triebwerksöl/Hydraulikflüssigkeit betreffende Wartung des Luftfahrzeugs;
- c) Enteisung vor dem Abflug;
- d) Triebwerkswäsche vor dem Abflug (falls bekannt); und
- e) andere maßgebende Umweltbedingungen.

ANMERKUNG 1 Als Vorlage für die Meldeformulare kann das im Anhang zu Kapitel 4 des ICAO-Rundschreibens 344 [24] dokumentierte Meldeformular für Fume Events dienen. Beispiele für „andere maßgebende Umweltbedingungen“ sind in den Abschnitten 3 und 4 des ICAO-Fume Event-Meldeformulars aufgeführt.

Das Meldesystem muss so angelegt sein, dass sichergestellt ist, dass jeder Berichtersteller eine Kopie seines eingereichten Meldeformulars für seine Aufzeichnungen erhält.

ANMERKUNG 2 Einige der chemischen Bestandteile bestimmter Arten von Dämpfen sind entweder karzinogen oder mutagen. Aufgrund der damit verbundenen Probleme für potentiell latente gesundheitliche Auswirkungen täten die Luftfahrtbetreiber gut daran, die Vorgaben der EU-Richtlinie über chemische Arbeitsstoffe und der CMD-Richtlinie 2004/37/EG [29] zu erfüllen, die von den Arbeitgebern verlangen, Aufzeichnungen über die Exposition der Beschäftigten gegenüber Karzinogenen/Mutagenen zu führen.

Zusätzlich zu den Vorgaben für die Schulung von Luftfahrzeugbesatzungen bezüglich der Meldung von Fume Events (siehe Abschnitt 11) muss das Meldeformular für Piloten diese, sofern maßgeblich, anweisen, bei ihrem Luftfahrtbetreiber einen Bericht bezüglich des entweder vorübergehenden oder anhaltenden Vorhandenseins von Dämpfen in Form eines ASR/MOR- oder Sicherheitsuntersuchungsberichts einzureichen.

ANMERKUNG 3 Weitere Informationen hierzu sind Artikel 4 der Verordnung (EU) Nr. 376/2014 [27], der Verordnung (EU) Nr. 2015/1018 [26] und der Verordnung (EU) Nr. 996/2010 [26] zu entnehmen.

ANMERKUNG 4 Die Meldeanweisung für den Piloten, nach der maßgebliche Ereignisse direkt an das Europäische Luftfahrtsicherheitsmeldesystem zu melden sind, ist in Artikel 4 der Verordnung (EU) Nr. 376/2014 [27] beschrieben.

ANMERKUNG 5 Andere Personen, einschließlich der Flugbegleiter, können einen Ereignisbericht auf freiwilliger Basis entweder in ihrem eigenen Namen oder im Namen einer Organisation beim Europäischen Luftfahrtsicherheitsmeldesystem einreichen, wie in Artikel 5 der Verordnung (EU) Nr. 376/2014 [27] festgelegt.

10.3 Analyse und Berichterstattung

10.3.1 Analyse

Der Luftfahrtbetreiber muss ein SMS- (oder ein gleichwertiges) Rahmenwerk erstellen und führen, um:

- a) die für ein spezifisches Ereignis verantwortliche Verunreinigungsquelle zu ermitteln (siehe Abschnitt 7 und Anhang B) und das entsprechende Problem zu lösen (siehe 8.3, 8.4 und Anhang F);
- b) als Anleitung für Vorbeugungsstrategien und Verfahrensweisen für bestimmte Arten von Ereignissen zu dienen (siehe 8.2 und Anhang F); und
- c) eine Datenbank von Sensordaten sowohl für Ereignisse (die mit einem oder mehreren Fume-Ereignis-Bericht(en) der Luftfahrzeugbesatzung verbunden sind) als auch für Bedingungen, die nicht zur Erstellung eines Fume-Ereignis-Berichts durch die Luftfahrzeugbesatzung geführt haben (siehe Abschnitt 7), zu entwickeln.

Die Analyse der Sensordaten muss von angemessen qualifizierten Personen mit den dafür notwendigen Fähigkeiten, Kenntnissen und praktischen Erfahrungen vorgenommen werden.

Luftfahrzeugbetreiber müssen in ihren Sicherheitsmanagementsystemen (SMS) auch die nach der Störung angewendeten Untersuchungsverfahren und die entsprechenden Gegenmaßnahmen in Bezug auf die Verunreinigung der Zapfluft dokumentieren. Der Luftfahrzeughersteller muss das betreffende Luftfahrzeugwartungshandbuch (AMM) entsprechend aktualisieren.

Falls während der gemeldeten Störung keine kontinuierliche Überwachung auf maßgebende luftgetragene Markierungsverbindungen erfolgte oder die Daten nicht ausreichten, um die Grundursache zu ermitteln, muss die nach der Störung durchzuführende Untersuchung Prüfungen der Luftqualität umfassen, wofür ein Betrieb des Luftfahrzeugs über den gesamten Bereich der Triebwerkleistungseinstellungen notwendig sein kann (siehe auch Tabelle 1).

ANMERKUNG Die für die Luftfahrtbetreiber bezüglich der Meldung an die zuständige Luftfahrtbehörde geltenden Anforderungen sind in den Artikeln 4 und 13 der Verordnung (EU) Nr. 376/2014 [27] dargelegt. Zusätzlich sind Anforderungen an die Luftfahrtbetreiber bezüglich der Meldung an die zuständige Luftfahrtbehörde und den Luftfahrzeughersteller in M.A. 202 der Verordnung (EU) Nr. 1321/2014 [25] und ORO.GEN.160 der Verordnung (EU) Nr. 965/2012 [30] dargelegt.

11 Ausbildung und Schulung des Flugpersonals

11.1 Allgemeines

Die Luftfahrtbetreiber müssen Schulungs-/Ausbildungsprogramme für Piloten, Flugbegleiter und Wartungspersonal entwickeln und durchführen, damit diese das vermutete/bestätigte Vorhandensein von vorübergehenden/anhaltenden, auf das Belüftungszuluftsysteem zurückzuführenden Dämpfen erkennen, darauf reagieren und dokumentieren können. Diese Schulungen und die Ausbildung müssen, einschließlich der Grundausbildung, in regelmäßigen zeitlichen Abständen und mindestens einmal jährlich durchgeführt werden.

Luftfahrtbetreiber müssen ihre Schulungs-/Ausbildungsprogramme und die dabei zu verwendenden Materialien mindestens einmal jährlich überprüfen und aktualisieren, um sicherzustellen, dass die Programme erfolgreich und die vermittelten Informationen aktuell sind.

Luftfahrtbetreiber müssen ein Protokoll über die Teilnahme der betreffenden Arbeitnehmer führen.

11.2 Anforderungen

11.2.1 Vorgaben zu den für Piloten, Flugbegleiter und Wartungspersonal bestimmten Programmen

Die nach 11.1 geforderten Programme der Luftfahrtbetreiber für Piloten, Flugbegleiter und das Wartungspersonal müssen Materialien umfassen, um sicherzustellen, dass die betreffenden Arbeitnehmer über die verschiedenen Quellen und Arten von möglicherweise in der Belüftungszuluft enthaltenen Schadstoffen und die mit der Exposition gegenüber diesen Schadstoffen verbundenen potentiell nachteiligen Auswirkungen auf die Gesundheit und die Flugsicherheit im Bilde sind.

Die Luftfahrtbetreiber müssen sicherstellen, dass die Arbeitnehmer in der Lage sind, zwischen einem Fume Event (d. h. zu den Belüftungszuluftöffnungen zurückverfolgbaren Dämpfen und Abgasen; siehe 4.4) und dem Vorhandensein von geruchsintensiven Verbindungen, die entweder aus Kabinenartikeln oder einer externen/vorübergehenden Quelle stammen, zu unterscheiden und darauf zu reagieren und das Fume Event den entsprechenden Personen zu melden. Die Erhebung von genormten Berichtsdaten durch entsprechend geschulte Mitglieder der Luftfahrzeugbesatzung und des Wartungspersonals dient als Ergänzung von Online-Sensordaten.

In den geforderten Programmen müssen die Arbeitnehmer dahingehend geschult werden, dass sie am Boden und während des Fluges auszuführenden Protokollen folgen; dazu gehören Checklisten (siehe 8.3, 11.2.2), an Bord befindliche Meldesysteme (siehe 10.2.1, 10.2.2), medizinische Überwachung (siehe Abschnitt 9), Verfahrensweisen zur Sicherstellung einer medizinischen Versorgung (im Bedarfsfall) und Anweisungen zum Ausfüllen der Dokumentation nach einer Störung, die sich je nach Arbeitsgruppe unterscheiden können.

Die Luftfahrtbetreiber müssen, sofern notwendig, Schulungen zu allen Überwachungen (siehe 7.1, 7.3), die im Luftfahrzeug durchgeführt werden, anbieten, einschließlich der erforderlichen Maßnahmen/Reaktionen in Bezug auf Frühwarnsysteme für Fume Events.

ANMERKUNG Diese Anforderungen werden von den Leitlinien des ICAO-Rundschreibens 344 [24] unterstützt.

11.2.2 Schulung und Ausbildung von Piloten

Zusätzlich zu den in 11.2.1 aufgeführten Programmanforderungen müssen die Luftfahrtbetreiber ihre Piloten dahingehend schulen, dass sie während eines Fume Events und danach mit den Flugbegleitern kommunizieren und sicherstellen, dass von den Flugbegleitern ein Fume-Event-Meldeformular ausgefüllt und eingereicht wird (siehe 10.2.2). Zusätzlich zum geforderten Eintrag im technischen Bordbuch für alle bekannten oder vermuteten Mängel, einschließlich vorübergehend oder anhaltend vorhandener Dämpfe, müssen Piloten auch das Meldeformular ausfüllen (siehe 10.2.2).

In Übereinstimmung mit den geltenden Vorschriften zur Erstellung und Anpassung von Checklisten für Piloten muss der Luftfahrtbetreiber sicherstellen, dass den Piloten eine Checkliste zur Verfügung gestellt wird, in der die Verfahrensweisen aufgeführt sind, die explizit dafür vorgesehen sind, bei Vorhandensein von vermuteten oder bestätigten Dämpfen aus dem Belüftungszuluftsystem ohne Verdacht auf Brand und selbst dann, wenn keine luftgetragenen Verunreinigungen sichtbar sind, umgesetzt zu werden. Diese Verfahrensweisen müssen Anweisungen für die Piloten zur Verwendung von Sauerstoffmasken enthalten (siehe 8.3).

In Übereinstimmung mit den bestehenden Regeln zur Erstellung/Änderung von Pilotenhandbüchern muss der Luftfahrtbetreiber eine eindeutige und wirksame Sprache für das Pilotenhandbuch entwickeln und anwenden, die darauf ausgerichtet ist, diese Schulungs- und Ausbildungsanforderungen ebenso wie die in Abschnitt 10 angegebenen Berichterstattungsanforderungen zu unterstützen.

11.2.3 Schulung und Ausbildung der Flugbegleiter

Zusätzlich zu den in 11.2.1 angegebenen Programmanforderungen müssen die Luftfahrtbetreiber ihre Flugbegleiter dahingehend schulen, dass sie während eines Fume Events und danach mit den Piloten kommunizieren und diesen ein ausgefülltes Fume-Event-Meldeformular (siehe 10.2.2) übergeben, in dem sie u. a. bestätigen, dass alle möglichen in der Kabine befindlichen Quellen für diese Dämpfe ausgeschlossen wurden. Die Schulung der Flugbegleiter muss Schulungen zum Umgang mit den Passagieren während und/oder nach einem Fume Event umfassen.

In Übereinstimmung mit den bestehenden Regeln zur Erstellung/Änderung von Handbüchern für Flugbegleiter muss der Luftfahrtbetreiber eine eindeutige und wirksame Sprache für das Flugbegleiterhandbuch entwickeln und anwenden, die darauf ausgerichtet ist, die in Abschnitt 8 angegebenen Schulungs-, Ausbildungs- und Berichterstattungsanforderungen zu unterstützen.

11.2.4 Schulung und Ausbildung des Wartungspersonals

Zusätzlich zu den in 11.2.1 angegebenen Anforderungen müssen die Betreiber das Wartungspersonal dahingehend schulen, dass dieses:

- a) angemessene Atemschutz- und persönliche Schutzausrüstung trägt, wenn die Gefahr besteht, dass Öl oder Hydraulikflüssigkeit eingeatmet werden oder über die Haut in den Körper gelangen kann; das gilt besonders während der Wartung und Reinigung der Triebwerke sowie bei der Fehlersuche;
- b) sicherstellt, dass während der Probeläufe der Triebwerke kein Flugbegleiter an Bord ist;
- c) Kopien der Meldeformulare für Fume Events im Cockpit und in der Kabine und der Wartungshistorie des Luftfahrzeugs anfordert und überprüft, um bei den Prozessen der Wartungsinspektion und Fehlersuche zu helfen; und
- d) maßgebende Wartungsaufgabenkarten zur Anwendung bringt, um die Hauptquelle der gemeldeten Dämpfe und aller sekundären/stromabwärts erfolgenden Verunreinigungen zu identifizieren/beseitigen.

Anhang A (informativ)

Klimaanlage (ECS) des Luftfahrzeugs

A.1 Allgemeines

Zweck der Klimaanlage (ECS, en: Environmental Control System) des Luftfahrzeugs ist, einen geeigneten Kabinendruck und eine geeignete Temperatur und Belüftung sicherzustellen, um eine für die Passagiere und die Luftfahrzeugbesatzung sichere und angenehme Umgebung zu schaffen. Das ECS sorgt für einen ausreichenden Zustrom von Außenluft, um einen Sauerstoffteildruck sicherzustellen, der den Anforderungen der Luftfahrzeugbesatzung und Passagiere gerecht wird und einen Anstieg des Kohlenstoffdioxidgehalts der Kabinenluft auf übermäßig hohe Werte verhindert. Diese Anforderungen werden von den Regulierungsbehörden festgelegt. Das ECS ist konstruktiv auch darauf ausgelegt, für eine gleichmäßige Lufttemperatur in der gesamten Kabine zu sorgen.

Die Bauartgrundtypen der ECS für Verkehrsflugzeuge sind solche mit Zapfluft und solche ohne Zapfluft (diese werden auch als elektrische ECS bezeichnet).

Bei den meisten Verkehrsflugzeugen kommen ECS mit Zapfluft, die in Form von Außenluft aus einer von mehreren Quellen zugeführt wird, zum Einsatz (siehe A.2). Während des Fluges wird die Zapfluft dem ECS üblicherweise durch die Triebwerke (oder unter bestimmten Umständen die Hilfstriebwerke) zugeführt. Während des Bodenbetriebs ist die dem ECS zugeführte Luft entweder Triebwerkszapfluft oder Hilfstriebwerkszapfluft oder Niederdruck-Bodenbelüftungszuluft oder Hochdruck-Bodenbelüftungszuluft. Das Klimaaggregat wird pneumatisch durch die hindurchgeleitete Zapfluft angetrieben.

ECS ohne Zuluft (elektrische ECS) werden mit Außenluft versorgt, die über einen speziell hierfür vorgesehenen Einlass und einen elektrischen Kompressor direkt aus der Umgebung des Luftfahrzeugs zugeführt wird (siehe A.3).

A.2 ECS mit Zapfluft

Bild A.1 zeigt ein typisches Schema eines ECS mit Zapfluft. Die Bauweise von ECS variiert je nach Luftfahrzeugtyp.

Bei einem ECS mit Zapfluft wird Außenluft aus einer Verdichterstufe der Triebwerke oder Hilfstriebwerke vor der Verbrennungsstufe aufgenommen und der Klimaanlage zugeführt. Diese Luft hat normalerweise einen erhöhten Druck und eine erhöhte Temperatur. Der Zweck des Klimaaggregats besteht darin, die Zapfluft auf eine geeignete Temperatur und einen geeigneten Druck zu bringen, um die gewünschten Bedingungen in der Kabine aufrechtzuerhalten. Die aufbereitete Außenluft wird in der Mischanlage mit Umluft vermischt. Der Zweck der Luftumwälzung besteht darin, den Außenluftstrom zur Treibstoffersparnis zu reduzieren und gleichzeitig die gewünschten Luftbedingungen in der Kabine aufrechtzuerhalten, um eine gleichmäßige Temperaturverteilung, einen geeigneten Kohlenstoffdioxidgehalt (CO₂) und eine höhere Luftfeuchte sicherzustellen. Die vermischte Luft wird in die Kabine geleitet. Der Kabinendruck wird in erster Linie durch die Einstellung eines oder mehrerer Abluftregler geregelt, der (die) am Flugzeugrumpf, häufig am Heck des Luftfahrzeugs, angeordnet ist (sind). Es gibt auch noch andere Quellen für die Be- bzw. Entlüftung, zu denen u. a. die Belüftungsauslässe von Bordelektronik, Batterien, Toiletten und Bordküche(n) gehören. Üblicherweise werden 50 % bis 60 % der Kabinenluft durch das Auslassventil abgelassen, und die verbleibende Luft wird wieder zugeführt.

Die Erwärmung in einzelnen Bereichen der Kabine erfolgt, indem Zapfluft aus dem Bereich vor der Klimaklima direkt in die Leitungen geblasen wird. Diese Luft wird als Ausgleichsluft bezeichnet.

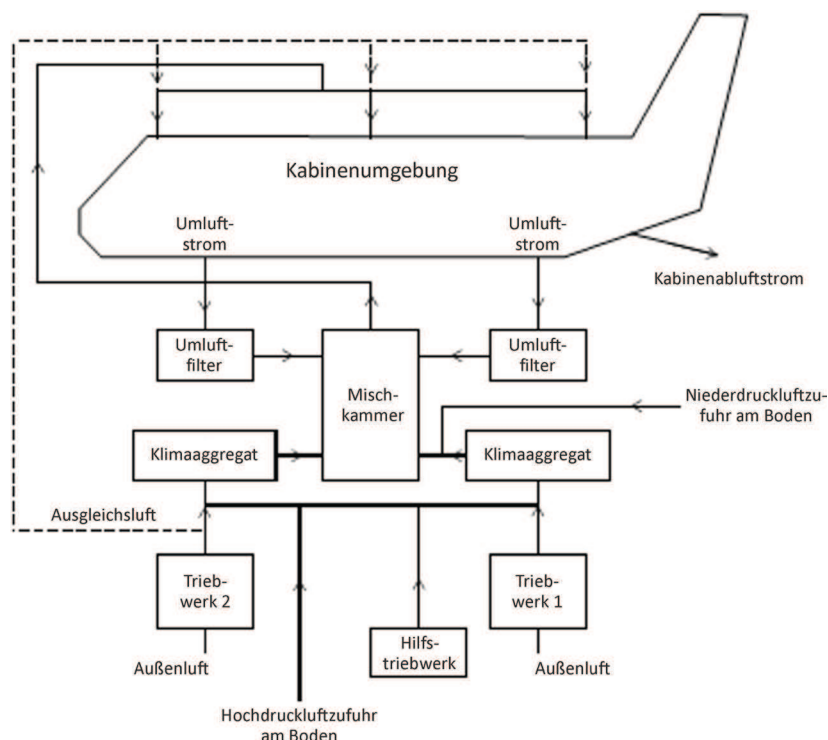


Bild A.1 — Typisches Schema eines ECS mit Zapfluft

A.3 ECS ohne Zapfluft

Bild A.2 zeigt ein typisches Schema eines ECS ohne Zapfluft.

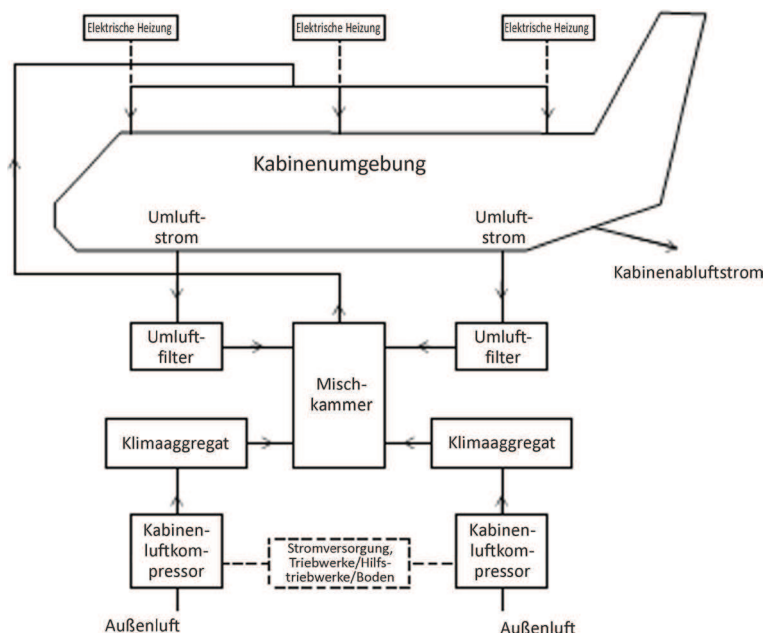


Bild A.2 — Typische Bauweise eines ECS ohne Zapfluft

Das ECS ohne Zapfluft unterscheidet sich von einem ECS mit Zapfluft dadurch, dass der Außenluftstrom durch Kabinenluftkompressoren angesaugt wird, die mit Hilfe der von den Triebwerken oder Hilfstriebwerken erzeugten Elektrizität angetrieben werden. Dieses System vermeidet, dass die Außenluft mit den im Triebwerk enthaltenen Flüssigkeiten in Kontakt kommt. Bei beiden Systemen besteht die Möglichkeit, dass chemische Verbindungen aus der Außenumgebung aufgenommen werden.

Anhang B (normativ)

Chemische Markierungsverbindungen

In Tabelle B.1 sind chemische Markierungsverbindungen und ihre Zugehörigkeit zu den maßgebenden Quellen luftgetragener Schadstoffe aufgeführt. Tabelle B.2 enthält zusätzliche Informationen darüber, wie sicher (zuverlässig) es ist, dass die einzelnen Quellen eine bestimmte Markierungsverbindung enthalten.

Das Ziel ist, eine Liste von chemischen Markierungsverbindungen zur Verfügung zu stellen, die die in die Kabine und das Cockpit gesaugte Außenluft verunreinigen können. Falls sich in dieser Liste aufgeführte Verbindungen auch auf entweder Passagiere bzw. Besatzung oder die Innenausstattung der Kabine zurückführen lassen, ist dies ebenfalls vermerkt.

Die folgenden Quellen wurden nicht in die Liste aufgenommen: Verunreinigungen der Atmosphäre (ausgenommen Ozon), Triebwerkswaschmittel, Reifenabrieb und elektrisch erzeugte Dämpfe.

Tabelle B.1 — Quellen luftgetragener Schadstoffe mit den dazugehörigen chemischen Markierungsverbindungen

Chemische Verbindungen	CAS-Nummer	Gruppe	MASSGEBENDE QUELLE				
			Triebwerksöl	Hydraulikflüssigkeit	Triebwerksabgase	Treibstoff (unverbrannt)	Enteisungsmittel
Ozon ^{a,m}	10028-15-6	Anorganisch	—	—	x ^a	—	—
Distickstoffoxid (NO _x)	—	Anorganisch	—	—	x	—	—
CO ₂ ^{b,i,j}	124-38-9	Anorganisch	—	—	x ⁱ	—	—
CO ^c	630-08-0	Anorganisch	x ^c	x ^c	x ^c	—	x ^c
Acrolein ^d	107-02-8	Aldehyd	x ^d	x ^d	x ^d	—	—
Formaldehyd ^{d,k}	50-00-0	Aldehyd	x ^k	x ^k	x ^{d,k}	—	—
Acetaldehyd ^l	75-07-0	Aldehyd	x ^l	x ^l	x ^l	—	—
Benzol ^e	71-43-2	Aromatische flüchtige organische Verbindungen	—	—	x	x ^e	—
Toluol ^e	108-88-3	Aromatische flüchtige organische Verbindungen	x	—	x	x ^e	—
Trikresylphosphat (TKP-Mischisomer) ^f	1330-78-5	Aromatische Verbindung/ Organophosphat	x ^f	—	—	—	—
Tributylphosphat (TBP) ^g	126-73-8	Aromatische Verbindung/ Organophosphat	—	x ^g	—	—	—
C5-C10-Carbonsäuren ⁿ	—	Organisch	x ⁿ	—	—	—	—
Ethylenglykol ^h	107-21-1	Alkohol	—	—	—	—	x ^h
Propylenglykol ^h	57-55-6	Alkohol	—	—	—	—	x ^h

Chemische Verbindungen	CAS-Nummer	Gruppe	MASSGEBENDE QUELLE				
			Triebwerksöl	Hydraulikflüssigkeit	Triebwerksabgase	Treibstoff (unverbrannt)	Enteisungsmittel
Ultrafeine Partikel (<100 nm) ^m	—	Feinstaub	x	—	x	—	—
TVOC (Gesamt-VOC)	—	Flüchtige organische Verbindungen	Marker für organische Emissionen				

- ^a Die primäre Ozonquelle ist die Außenluft, die den Luftfahrzeugsystemen zugeführt wird, wenn das Luftfahrzeug durch die Stratosphäre fliegt, insbesondere bei Flügen in hohen geographischen Breiten/in großer Höhe. Die Triebwerke des Luftfahrzeugs und sein ECS verringern die Ozonkonzentration in der der Kabine und dem Cockpit zugeführten Außenluft. Der Einbau von Ozonkonvertern erfolgt mit dem Ziel, die Konzentration von stratosphärischem Ozon beim Betrieb während des Fluges weiter zu verringern. Triebwerksabgase sind eine weitere mögliche Quelle für Ozon in der Kabinenluft. Die Dämpfe können, besonders während des Bodenbetriebs, im Außenluftstrom des Luftfahrzeugs mitgerissen werden.
- ^b Passagiere und Besatzung sind die Hauptquelle für CO₂ in der Kabine. Trockeneis, das zur Konservierung von Lebensmitteln verwendet wird, ist eine weitere Quelle.
- ^c CO ist ein Produkt, das bei der unvollständigen Verbrennung von organischem Material, jedoch nur bei Temperaturen über etwa 230 °C anfällt. Da das Vorhandensein von CO in Öl-, Hydraulikflüssigkeits- und Enteisungsmitteldämpfen von der Temperatur abhängt, kann es nicht allein als zuverlässige Markierungsverbindung für diese Quellen dienen und sollte stattdessen mit anderen quellspezifischen und nicht temperaturabhängigen Markern kombiniert werden. CO ist eine zuverlässigere Markierungsverbindung für Abgase, aber nicht spezifisch für diese Quelle.
- ^d Acrolein ist ein Verbrennungsmarker und in Abgasen zu erwarten. Es ist jedoch nicht spezifisch für Abgase und kann auch in Öl- und Hydraulikflüssigkeitsprodukten enthalten sein, wenn diese bei hohen Temperaturen zersetzt werden. Die Temperatur, bei der Acrolein gebildet wird, variiert je nach Produkt. Es ist nicht zu erwarten, dass Acrolein vorhanden ist, wenn Öle und Hydraulikflüssigkeiten auf gemäßigte Temperaturen erwärmt werden, und es ist nicht zu erwarten, dass es sich im Betriebstemperaturbereich eines Hilfstriebwerks bildet. Acrolein ist in der Kabine schwer zu messen. Formaldehyd ist der dominierende Marker für Triebwerksabgase, gefolgt von Acetaldehyd, Acrolein und dann Toluol/Xylol.
- ^e Flugzeugtreibstoff enthält diverse flüchtige organische Verbindungen (VOC, en: volatile organic compounds), darunter Toluol und Spuren von Benzol.
- ^f Die meisten Flugtriebwerksöle enthalten TKPs (en: TCPs) (CAS-Nr. 1330-78-5). Mindestens ein Flugtriebwerksöl enthält keine TKPs, sondern stattdessen Isopropylphenylphosphat (CAS-Nr. 68937-41-7). Den Triebwerksölen können auch andere Organophosphate zugesetzt werden. Da alle diese Organophosphatverbindungen schwerflüchtig sind, können sie in Geräten oder Leitungen kondensieren und in die Belüftungsluft zurückgeführt werden. Der Nutzer sollte das Sicherheitsdatenblatt für das betreffende Triebwerksöl einsehen, um zu ermitteln, welches Organophosphat eine geeignete Markierungsverbindung darstellt.
- ^g Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Dokuments enthielten mit nur einer Ausnahme alle Hydraulikflüssigkeiten TBP. Deren TBP-Gehalt lag zwischen 5 % und 80 %. Der Nutzer sollte das Sicherheitsdatenblatt für die betreffende Hydraulikflüssigkeit einsehen, um zu ermitteln, ob es eine nützliche Markierungsverbindung darstellt.
- ^h Die meisten Enteisungsmittel enthalten einen hohen Anteil an Propylenglykol und kein Ethylenglykol. Ein kleinerer Teil der Enteisungs- und Eisverhütungsmittel enthält Ethylenglykol. Der Nutzer sollte das Sicherheitsdatenblatt für das betreffende Produkt einsehen, um zu ermitteln, welches glykolhaltige Produkt eine geeignete Markierungsverbindung darstellt.
- ⁱ Die CO₂-Konzentration ist in Abgasen höher als in unverschmutzter Außenluft, jedoch nicht notwendigerweise höher als die CO₂-Konzentration der Luft in einer besetzten Kabine oder im besetzten Cockpit. Daher kann CO₂ als Marker für Abgase verwendet werden, jedoch nur dann, wenn es im Außenluftstrom oder in einer unbesetzten Kabine gemessen wird. Anderenfalls könnte ein aufgrund von Abgasen erhöhter CO₂-Wert durch die wahrscheinlich höheren Konzentrationen an CO₂ in der Kabinenluft überdeckt werden.
- ^j Die CO₂-Konzentration von Öl- und Hydraulikflüssigkeitsdämpfen ist sehr gering im Verhältnis zur CO₂-Konzentration von sowohl der Außenluft als auch der Kabinen- bzw. Cockpitluft. Daher ist CO₂ weder für Öl- noch für Hydraulikflüssigkeitsdämpfe ein maßgebender Marker, weil jeder aus den Dämpfen stammende Beitrag durch die CO₂-Konzentration der Umgebung überdeckt werden würde.
- ^k Formaldehyd ist ein maßgebender Marker für Öl-, Hydraulikflüssigkeits- und Abgasdämpfe, wenn es in der Zapfluft gemessen wird. Es ist kein zuverlässiger Marker für diese Dämpfe, wenn es in der Kabine gemessen wird, weil es potentielle Quellen dafür in der Kabine, z. B. Teppiche und Polster, gibt.
- ^l Acetaldehyd ist ein maßgebender Marker für Öl-, Hydraulikflüssigkeits- und Abgasdämpfe, wenn es in der Zapfluft gemessen wird. Es ist kein zuverlässiger Marker für Öl-Dämpfe, wenn es in der Kabine gemessen wird, weil es potentielle Quellen dafür in der Kabine, z. B. Bio-Fortluft (Ausdünstungen), gibt.
- ^m Ultrafeine Partikel (UFP) sind mit Triebwerksöl- und Abgasdämpfen verbunden und lassen sich üblicherweise auch bei Anwesenheit von Ozon finden.
- ⁿ Carbonsäuren werden durch die thermische Zersetzung von bestimmten Triebwerksölbestandteilen gebildet, und in Anwesenheit von Feuchtigkeit werden sie in höheren Konzentrationen gebildet.

Elektrizitätsbedingte Dämpfe an Bord lassen sich gegebenenfalls auf überhitzte Verkabelungen, ausgefallene Leuchtmittel und fehlerhafte elektrische Schaltkreise sowohl in der Kabine als auch dem Cockpit zurückführen. Die chemischen Bestandteile der dazugehörigen Dämpfe variieren je nach den verwendeten Kunststoffbeschichtungen, den erreichten Temperaturen und in Abhängigkeit davon, ob es zu vollständiger Verbrennung oder unvollständiger Verbrennung kam; zu den möglichen chemischen Verbindungen gehören CO, CO₂, Stickstoffverbindungen, Aldehyde, chlorierte Verbindungen, Cyanwasserstoff (Blausäure), Fluorwasserstoff und Kohlenwasserstoffe. Da zu diesen Bestandteilen nur begrenzte Informationen zur Verfügung stehen, kann es für die an Bord eingesetzten Sensoren schwierig sein, zwischen elektrizitätsbedingten Dämpfen und den in Tabelle B.1 aufgeführten Quellen zu unterscheiden.

Tabelle B.2 — Zuverlässigkeitsbewertungen für das Vorhandensein von chemischen Markierungsverbindungen, je nach Verunreinigungsquelle

Nummer der Quelle in Tabelle B.1	Quelle ^a	Markierungsverbindung ^b	Zuverlässigkeitsbewertung der Markierungsverbindung ^c	CAS-Nummer
1	TRIEB- WERKSÖL ^h	Trikresylphosphate ^d	A	1330-78-5
		Acetaldehyd	B	75-07-0
		C ₅ -C ₁₀ -Carbonsäuren ^l	B	nicht zutreffend
		Formaldehyd ^{b,h}	B	50-00-0
		Ultrafeine Partikel (PM _{0,1})	B	nicht zutreffend
		Acrolein (nur bei hohen Temperaturen für ausgewählte Produkte) ^e	C	107-02-8
		Kohlenmonoxid (CO) (die Bildung beginnt voraussichtlich bei einer Temperatur > 230 °C, je nach Produkt)	C	630-08-0
		Toluol	C	108-88-3
		TVOC (nur begrenzte Daten verfügbar, speziell für Öl)	C	nicht zutreffend
2	HYDRAULIK- FLÜSSIGKEIT	Tributylphosphat ^l	A	126-73-8
		Acetaldehyd	B	75-07-0
		Formaldehyd	B	50-00-0
		Acrolein (nur bei hohen Temperaturen für ausgewählte Produkte) ^e	C	107-02-8
		Kohlenmonoxid (CO) (die Bildung beginnt voraussichtlich bei einer Temperatur > 230 °C, je nach Produkt)	C	630-08-0
		TVOC (nur begrenzte Daten verfügbar, speziell für Hydraulikflüssigkeit)	C	nicht zutreffend

Nummer der Quelle in Tabelle B.1	Quelle ^a	Markierungsverbindung ^b	Zuverlässigkeitsbewertung der Markierungsverbindung ^c	CAS-Nummer
3	TRIEBWERKS-ABGASE ^{h,i}	Stickstoffoxide	A	nicht zutreffend
		Kohlenstoffdioxid (CO ₂) ^{h,i}	A	124-38-9
		Formaldehyd ^h	B	50-00-0
		Acetaldehyd	C	75-07-7
		Acrolein ^e	C	107-02-8
		Benzol	C	71-43-2
		Kohlenstoffmonoxid (CO)	C	630-08-0
		Toluol	C	108-88-3
		TVOC	C	nicht zutreffend
		Ultrafeine Partikel (PM _{0,1})	C	nicht zutreffend
4	TREIBSTOFF (UNVERBRANNT)	TVOC	B	nicht zutreffend
		Benzol ^f	C	71-43-2
		Toluol ^f	C	108-88-3
5	ENTEISUNGSMITTEL	Ethylenglykol (in ausgewählten Enteisungs- und Eisverhütungsflüssigkeiten enthalten; siehe Produktdatenblatt) ^g	A	107-21-1
		Propylenglykol (in den meisten Enteisungsflüssigkeiten enthalten; siehe Produktdatenblatt) ^g	A	57-55-6
		Kohlenstoffmonoxid (CO) (die Bildung beginnt voraussichtlich bei einer Temperatur > 230 °C, je nach Produkt)	C	630-08-0
6	PASSAGIERE UND BESATZUNG	Kohlenstoffdioxid (CO ₂)	B	124-38-9
		Acetaldehyd	C	75-07-0
		TVOC	C	nicht zutreffend
7	KABINEN-AUSSTATTUNG	Formaldehyd ^b	B	50-00-0
8	STRATOSPHERISCHES OZON	Ozon ^k	A	10028-15-6

Nummer der Quelle in Tabelle B.1	Quelle ^a	Markierungsverbindung ^b	Zuverlässigkeitsbewertung der Markierungsverbindung ^c	CAS-Nummer
a	Die in dieser Tabelle aufgeführten Quellen entsprechen den in Tabelle B.1 aufgeführten Quellen.			
b	Diese Markierungsverbindungen sind im Allgemeinen nicht spezifisch für eine einzelne Quelle. Um die Verunreinigungsquelle zu identifizieren, ist es üblicherweise erforderlich, mehr als eine Markierungsverbindung mit analytischen Mitteln zu messen oder alternative Verfahren wie die Mustererkennung anzuwenden. Auch die Relevanz und Interpretation des Vorhandenseins von Markierungsverbindungen kann je nach Probenahmeort variieren. So könnte sich z. B. Formaldehyd im Zapfluftsystem auf Öldämpfe zurückführen lassen, obwohl sich Formaldehyd in der Kabinenluft auf in der Zuluft enthaltene Schadstoffe oder auf in der Kabine befindliche Gegenstände, wie z. B. Teppiche und Polster, zurückführen lassen könnte.			
c	Definitionen für die Zuverlässigkeitsbewertung (A, B oder C): A: Die Markierungsverbindung ist ein Bestandteil der Quelle (z. B. Triebwerksöl, Hydraulikflüssigkeit, Abgase usw.). B: Bei der Markierungsverbindung handelt es sich entweder um ein Hydrolyse- oder ein Pyrolyseprodukt oder um Abgase aus der Quelle. C: Die Markierungsverbindung erfüllt die Kriterien von „B“ mit einigen Einschränkungen, wie z. B. wenn ein Pyrolyseprodukt über einen enger begrenzten Temperaturbereich erzeugt wird, oder wenn erwartet wird, dass es in sehr geringen Mengen vorhanden ist, oder wenn dafür begrenzte Daten vorliegen.			
d	Die meisten Flugtriebwerksöle enthalten TKPs (CAS 1330-78-5). Mindestens ein Flugtriebwerksöl enthält keine TKPs, sondern stattdessen Phenol, isopropyliertes Phosphat (im Verhältnis 3 : 1)(CAS-Nr. 68937-41-7). Den Triebwerksölen können auch andere Organophosphate zugesetzt werden. Der Nutzer sollte das Sicherheitsdatenblatt für das betreffende Triebwerksöl einsehen, um zu ermitteln, welches Organophosphat eine geeignete Markierungsverbindung darstellt.			
e	Acrolein ist ein Verbrennungsmarker und sollte in Abgasen vorhanden sein. Es ist jedoch nicht spezifisch für Abgase und kann auch in Öl- und Hydraulikflüssigkeitsprodukten enthalten sein, wenn diese bei hohen Temperaturen zersetzt werden. Die Temperatur, bei der Acrolein gebildet wird, variiert je nach Produkt. Es ist nicht zu erwarten, dass Acrolein vorhanden ist, wenn Öle und Hydraulikflüssigkeiten auf niedrigere Temperaturen erwärmt werden, und es ist nicht zu erwarten, dass es sich im Betriebstemperaturbereich eines Hilfstriebwerks bildet. Acrolein ist in der Kabine schwer zu messen. Formaldehyd ist der dominierende Marker für Triebwerksabgase, gefolgt von Acetaldehyd, Acrolein und dann Toluol/Xylol.			
f	Benzol und Toluol sind Bestandteile des Flugzeugtreibstoffs, jedoch nur in sehr geringen Konzentrationen. Als solche sind sie wahrscheinlich keine nützlichen Marker für Treibstoffdämpfe. TVOCs können für die kontinuierliche Überwachung von Treibstoffdämpfen geeignet sein, es kann jedoch schwierig sein zu bestimmen, ob die VOCs aus dem Treibstoff stammen, da Treibstoff keine eindeutige Quelle von VOCs ist. Alternativ können Treibstoffdämpfe durch eine Zusammenstellung bekannter Markierungsverbindungen, die handelsüblichen Flugzeugtreibstoffen zugesetzt werden, oder durch alternative Verfahren, wie z. B. die Mustererkennung, identifiziert werden.			
g	Die meisten Enteisungsflüssigkeiten enthalten einen hohen Anteil an Propylenglykol und kein Ethylenglykol. Ein kleinerer Teil der Enteisungs- und Eisverhütungsmittel enthält Ethylenglykol. Der Nutzer sollte das Sicherheitsdatenblatt für das betreffende Produkt einsehen, um zu ermitteln, welches glykohlhaltige Produkt eine geeignete Markierungsverbindung darstellt.			
h	Wenn Messungen im Außenluftstrom vorgenommen werden, können die relativen Konzentrationen an CO ₂ und Formaldehyd nützlich sein, um Abgase von Öldämpfen zu unterscheiden. Der Grund hierfür ist, dass CO ₂ in den Abgasen enthalten ist, ohne aber ein Zersetzungsprodukt von Triebwerksöl zu sein, während Formaldehyd zwar in Öldämpfen, aber nur in sehr geringem Maße in Abgasen enthalten ist. Es ist zu beachten, dass der Formaldehydgehalt in Abgasen in Abhängigkeit vom Treibstofftyp und von den Temperaturen, auf die der Treibstoff erhitzt wird, variieren kann.			
i	Die Zuverlässigkeitsbewertung A für CO ₂ für Abgase bezieht sich nur auf Messungen des in entweder dem Außenluftstrom oder in einer nicht besetzten Kabine aufgefangenen CO ₂ (vergleiche Tabelle B.1, Fußnoten i and j).			
j	Vergleiche Tabelle B.1, Fußnote g.			
k	Vergleiche Tabelle B.1, Fußnote a.			
l	Vergleiche Tabelle B.1, Fußnote n.			

Anhang C (informativ)

Vorsorgeprinzip

C.1 Vorsorgeprinzip

Dieses Dokument enthält Anforderungen und Empfehlungen in Bezug auf das Vorhandensein von chemischen Verbindungen und die Mittel zur Verhinderung der Exposition gegenüber chemischen Verbindungen, einschließlich solcher, die unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips nachteilige Auswirkungen haben können. Die Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips stellt ein vorrangiges Ziel dar, die Nachteile für solche Endnutzer zu beseitigen, und steht im Einklang mit den von der EU-Kommission festgelegten Grundsätzen.

In internationalen Verträgen und Kommentaren wurden gemeinsame thematische Schwerpunkte hinsichtlich der Debatte über das Vorsorgeprinzip und die Schaffung von Rechtsgrundsätzen festgelegt:

- a) die Beseitigung oder Minderung von Risiken, soweit möglich;
- b) den Schutz der menschlichen Gesundheit;
- c) die Anwendung wissenschaftlicher Analysen, die ein Tätigwerden oder Nichttätigwerden erfordern;
- d) die Erstellung objektiver Beurteilungen;
- e) die Übernahme des Vorsorgeprinzips in den Handlungsfeldern Meer, Umwelt und Lebensmittel; und
- f) die Anforderung, eine größere Bandbreite an Fachwissen oder interessierten Parteien einzubeziehen.

Die von den oben genannten Dokumenten gesetzten Themen spiegeln sich in Artikel 191 des Vertrags von Lissabon wider.

Artikel 174 des Maastrichter Vertrags besagt: „Die Umweltpolitik der Gemeinschaft zielt unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Gegebenheiten in den einzelnen Regionen der Gemeinschaft auf ein hohes Schutzniveau ab. Sie beruht auf den Grundsätzen der Vorsorge und Vorbeugung (...).“

Die Charta der Grundrechte der Europäischen Union, die den Vertrag von Lissabon begleitet, besagt in Artikel 31 und Artikel 38: „Jede Arbeitnehmerin und jeder Arbeitnehmer hat das Recht auf gesunde, sichere und würdige Arbeitsbedingungen“, und „Die Politik der Union stellt ein hohes Verbraucherschutzniveau sicher.“

Auf Beispiele für das im EU-Recht umgesetzte „Vorsorgeprinzip“ wird in diesem Anhang verwiesen [31]-[35]. In Erwägung des Problems des „Vorsorgeprinzips“ und der Risikoanalyse stellte die Kommission in ihrer Mitteilung zur Gesundheit der Verbraucher und Lebensmittelsicherheit in (KOM (97) 183 endg.) [36] Folgendes fest:

„Die Kommission wird sich bei ihrer Risikoanalyse vom Vorsorgeprinzip leiten lassen, wenn die wissenschaftliche Grundlage unzureichend ist oder eine gewisse Unsicherheit besteht.“

Das Vorsorgeprinzip verwendet die folgenden Komponenten der Risikobeurteilung, die zu berücksichtigen und anzuwenden sind:

- Gefährdungsermittlung;

- Beschreibung der Gefahren;
- Einschätzung der Gefahren; und
- Beschreibung des Risikos.

Diese vier von der EU befürworteten Komponenten der Risikobeurteilung sind wesentlicher Bestandteil bei der Entwicklung einer Methodik und Struktur hinsichtlich der Erstellung dieses Dokuments zur Kabinenluftqualität. Die vier Komponenten sind in der Mitteilung der EU 2000 [37] in Anhang III enthalten und werden hier für die Anwendung des vorliegenden Anhangs in ihrer Gesamtheit mit einigen erläuternden Anmerkungen wiedergegeben:

„Maßnahmen sollten möglichst in dem folgenden vierstufigen Verfahren beschlossen werden:

Gefahrenermittlung bedeutet, die biologischen und chemischen Agenzien oder physikalischen Einwirkungen, die negative Auswirkungen haben können, zu identifizieren. Die Gefährlichkeit neuartiger Stoffe oder biologischer Agenzien kann durch ihre Auswirkungen auf die Bevölkerung (Erkrankungen und Mortalität) oder auf die Umwelt zutage treten, und dann ist es unter Umständen möglich, die aktuellen oder potentiellen Auswirkungen auf die Bevölkerung oder die Umwelt zu beschreiben, bevor deren Ursache unzweifelhaft feststeht.

Bei der Gefahrenbeschreibung werden Eigenart und Schweregrad der mit den ursächlichen Agenzien oder Tätigkeiten verbundenen negativen Auswirkungen quantitativ (Daten) und/oder qualitativ (beschreibender Inhalt) bestimmt. Auf dieser Stufe ist zu ermitteln, in welchem Verhältnis die Menge des gefährlichen Stoffes zu seinen Wirkungen steht. Bisweilen ist dies aber schwierig oder ganz unmöglich, z. B. weil ein ursächlicher Zusammenhang nicht unzweifelhaft nachweisbar ist.

Die Abschätzung des Risikos besteht aus einer quantitativen oder qualitativen Bestimmung der Wahrscheinlichkeit, mit dem untersuchten Agens in Berührung zu kommen. Abgesehen von Informationen über die Agenzien selbst (z. B. Herkunft, Verbreitung, Konzentration, Eigenschaften usw.) werden Daten zur Wahrscheinlichkeit einer Kontaminierung oder Exposition der Bevölkerung oder der Umwelt benötigt.

Die Risikobeschreibung entspricht der qualitativen und/oder quantitativen Schätzung (unter Berücksichtigung inhärenter Ungewissheiten) der Wahrscheinlichkeit und Häufigkeit sowie des Schweregrads bekannter oder möglicher umwelt- oder gesundheitsschädigender Wirkungen. Sie wird auf der Grundlage der drei vorgenannten Stufen erstellt und hängt stark von den in jedem einzelnen Stadium des Verfahrens berücksichtigten Unsicherheiten, Schwankungen, Arbeitshypothesen und Annahmen ab. Wenn die verfügbaren Daten nicht ausreichen oder keine eindeutigen Schlüsse zulassen, könnte ein vorsichtiger Ansatz zum Schutz der Umwelt, der Gesundheit und der Sicherheit darin bestehen, immer vom ungünstigsten Fall auszugehen. Häufen sich solche Annahmen, kann dies zu einer Überbewertung des tatsächlichen Risikos führen. Ein solches Vorgehen bietet aber auch eine gewisse Gewähr dafür, daß das Risiko nicht unterschätzt wird.“

Zu den Fragen, wie eine Risikoanalyse durchzuführen ist, zu den Nachweisen und dem Vorsorgeprinzip äußerte sich die Kommission wie folgt [36]:

„Der Vertrag verpflichtet die Gemeinschaft, zur Aufrechterhaltung eines hohen Schutzniveaus für die öffentliche Gesundheit, die Umwelt und die Verbraucher beizutragen. Um ein hohes Maß an Schutz und Kohärenz zu gewährleisten, sollten die Schutzmaßnahmen auf einer Risikobeurteilung beruhen, bei der alle relevanten Risikofaktoren einschließlich technologischer Aspekte, die besten verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnisse und die Verfügbarkeit von Stichprobenprüfungen und Prüfverfahren berücksichtigt werden. Ist eine vollständige Risikobeurteilung nicht möglich, sollten die Maßnahmen auf dem Vorsorgeprinzip beruhen.“

C.2 Überlegungen zum Vorsorgeprinzip: Hintergrundinformationen

Zweck dieses Abschnitts ist, Probleme in Bezug auf in die Luftfahrzeugumgebung eingebrachte Verunreinigungen der Triebwerks- und der Hilfstriebwerks-Zuluft vorzustellen oder hervorzuheben, die Unsicherheiten aufdecken können, wenn es um die weitergefassten Probleme der Kabinenluftqualität geht.

Es gibt viele Luftfahrt- und Arbeitsschutzverordnungen, -richtlinien, -normen und zugehörige einzuhaltende Materialien, die anwendbar sind, um sicherzustellen, dass für alle Luftfahrtnutzer die höchstmöglichen Standards eingehalten werden.

Während des Normalbetriebs kann das Zapfluftsystem des Luftfahrzeugs eine Exposition der Passagiere und der Besatzung des Luftfahrzeugs gegenüber niedrigen Niveaus von Organophosphate enthaltenden Triebwerksöldämpfen zur Folge haben (vergleiche die Anhänge F, G und H). Passagiere und Besatzung können auch geringen Mengen von Dämpfen anderer Fluide, wie z.B. Hydraulikflüssigkeiten und Enteisungsmittel, ausgesetzt sein. Alle diese Dämpfe können komplexe Gemische chemischer Verbindungen enthalten. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit einer Exposition gegenüber geringen Mengen dieser Dämpfe im Verlauf vorübergehender kurzzeitiger Expositionen (z.B. während der Änderung von Einstellungen der Triebwerksleistung und der Belüftungszuluft) und gegenüber größeren Mengen während weniger häufig auftretenden Bedingungen der Qualitätsminderung des Systems (vergleiche Anhang H). Die in diesen Fluiden enthaltenen Verbindungen und die Pyrolyseprodukte inkludieren eine große Bandbreite an nach EU-Recht geforderten Aussagen zur Einstufung in Gefahrenklassen [7]. Die Anwendung des Vorsorgeprinzips hat das Potential, das Risiko einer an Bord erfolgenden Exposition gegenüber Dämpfen, die auf das Belüftungszuluftsystem zurückzuführen sind, zu beseitigen oder zu reduzieren.

Für Luftfahrzeuge gibt es dokumentierte Belege routinemäßig auftretender Expositionen gegenüber geringen Mengen an organophosphathaltigen Öl- und Hydraulikflüssigkeitsdämpfen. Da dies problematisch ist, wurden *In-vitro*-Tests durchgeführt, in denen festgestellt wurde, dass wiederholte Expositionen gegenüber geringen Mengen an einigen Organophosphat-Pestiziden zu einer erhöhten Anfälligkeit von Neuronen bei einem späteren höher dosierten Ereignis führen [38]. Übereinstimmend mit diesen Beobachtungen wurde eine Reihe von zellulären Mechanismen beschrieben, nach denen unter dem klinischen Niveau liegende Konzentrationen an Organophosphaten zu einer Schädigung von neuronalen Prozessen führen können [39]. Zusammengefasst legen diese Befunde einen möglichen Mechanismus nahe, der erklärt, warum sich beobachten lässt, dass Luftfahrzeugbesatzungen mit höherer Wahrscheinlichkeit als Passagiere nach einem akuten Expositionseignis neurologische Schäden melden [40] [41]. Auch das stützt die Anwendung eines Vorbeugungsansatzes.

Außerdem können in Luftfahrzeuge eindringende Triebwerksöldämpfe ultrafeine Partikel enthalten [43]. Eine Exposition gegenüber ultrafeinen Partikeln kann mit kurz- oder langfristigen gesundheitlichen Auswirkungen verbunden sein [43]–[46], und es wird vermutet, dass sie die Übertragung von Giftstoffen an das Gehirn verstärken [47]. Die meisten Chemikalien, die systemische nachteilige Auswirkungen verursachen, haben nicht in allen Organen einen ähnlichen Grad der Toxizität, sondern produzieren ihre wesentlichen toxikologischen Auswirkungen häufig in einem oder zwei Organen. Diese werden als Zielorgane der Toxizität für diese Chemikalie bezeichnet. Ein Hauptgrund, warum das Gehirn von Säugetieren ein anfälliges Zielorgan ist, liegt darin, dass die Nervenzellen bis zum Ende der Lebensdauer des betreffenden Organismus halten. Nervenzellen sind terminal differenziert und können sich nicht wie die meisten anderen Gewebe durch Zellvermehrung wiederherstellen [48]. In Anbetracht der durch toxische Substanzen verursachten irreversiblen Veränderungen (z.B. die Proteinfehlfaltung) im Nervensystem können Schäden nicht nur aufgrund der geringen Konzentration an Giftstoffen in der Atemluft ausgeschlossen werden. Stattdessen sollte die mit der Zeit kumulierte Gesamtdosis betrachtet werden. Außerdem wird in der Toxikologie im Allgemeinen davon ausgegangen, dass 100 % [49] [50] der eingeatmeten Dosis an Giftstoffen erhalten bleiben und direkt in den systemischen Blutkreislauf gelangen können, ohne dabei durch die Leber gefiltert zu werden.

Bei der Beurteilung der potentiellen Exposition von Luftfahrzeugbesatzungen und der damit für diese verbundenen Gesundheitsgefährdung ist zu berücksichtigen, dass diese Personen im Laufe einer 40-jährigen

fliegerischen Laufbahn (unter der Annahme von 500 Flugstunden jährlich) konservativ geschätzt durchschnittlich 9 000 000 Liter Kabinenluft einatmen (unter der Annahme eines durchschnittlichen Atemluftvolumens von 8 l je Minute [51] oder 480 l je Flugstunde). Dieser Schätzwert berücksichtigt noch nicht die im Inneren des Luftfahrzeugs verbrachte Zeit, weil diese formal nicht in die Flugzeit eingerechnet wird.

In Anbetracht der irreversiblen Veränderungen:

- können die Mitglieder von Luftfahrzeugbesatzungen im Verlauf einer fliegerischen Laufbahn von 20 000 h jeweils mindestens 9 000 000 Liter Kabinenluft einatmen;
- erfolgten die meisten toxikologischen Untersuchungen zu TOCP/TKP in Studien, die die orale Aufnahme der Schadstoffe untersuchten;
- wird die Belastung durch Einatmen als toxischer eingestuft (1. Durchgang) als die orale Aufnahme, und es wird angenommen, dass 100 % der Dosis aufgenommen werden; und

ist die Wirkung einer längeren Exposition selbst bei niedriger Dosis, wenn sie irreversible Veränderungen hervorruft (z. B. Demyelinisierung, Proteinefehlfaltung), schädlich.

Anhang D (informativ)

Ansätze für die Online-Überwachung

D.1 Allgemeines

Die folgenden Verfahren können einzeln oder kombiniert angewendet werden, um die gleichen Anforderungen an die Erkennung von Verunreinigungsquellen zu erfüllen:

D.1.1 Indikative chemische Markierungsverbindungen

Ziel dieses Ansatzes ist, einzelne chemische Markierungsverbindungen zu identifizieren, die zuverlässig mit den in Tabelle B.1 aufgelisteten Verunreinigungsquellen in Zusammenhang stehen. Bei der Auswahl eines Probenahmeverfahrens müssen Verkehrsflugzeuge mit Sensorgeräten in der Kabine oder der Zuluftanlage ausgestattet sein, die in der Lage sind, gleichzeitig die Konzentrationen einer oder mehrerer Markierungsverbindungen mit einer zugewiesenen „Zuverlässigkeitsbewertung“ von A zu überwachen (siehe Anhang B, Tabelle B.2.). Alternativ können Luftfahrtbetreiber diese Anforderung erfüllen, indem sie für jede Verunreinigungsquelle mindestens zwei Markierungsverbindungen mit einer zugewiesenen „Zuverlässigkeitsbewertung“ von B (siehe Anhang B, Tabelle B.2) überwachen.

ANMERKUNG (streichen, um auf ILNAS 633 hinzuweisen)

D.1.2 Mustererkennung

Die Mustererkennung kann bei der Identifizierung einer Verunreinigungsquelle zuverlässiger sein. Es werden mehrere Sensorgruppen verwendet, von denen jede für einen anderen Bereich chemischer Verbindungen empfindlich ist und für jede chemische Quelle eine eindeutige „Fingerabdruck“-Reaktion erzeugen kann. Diese Geräte überwachen kontinuierlich die Kabinenluft und reagieren auf die gasförmige Zusammensetzung der Luft. Die chemischen Quellen, die sie identifizieren können, werden durch die Sammlung von Verbindungen, für deren Erkennung sie in der Lage sind, begrenzt.

D.1.3 Differenzmessung

Dieses Verfahren identifiziert auch Verunreinigungsquellen durch einzelne chemische Markierungsverbindungen wie in dem in D.1.1 beschriebenen Verfahren. Es werden jedoch Differenzmessungen chemischer Verbindungen vor und nach der Verunreinigungsquelle durchgeführt. Der Hauptvorteil von Differenzmessungen besteht darin, dass sie eine Änderung im System anzeigen, die für eine bestimmte Verunreinigungsquelle maßgebend sein kann. Dieses Verfahren ist auf die in Anhang B, Tabelle B.1 aufgelisteten Markierungsverbindungen beschränkt.

In Anbetracht der Komplexität der Probenahme vor und nach einer Verunreinigungsquelle eignet sich dieses Verfahren für die Anwendung in Ergänzung zu dem in D.1.1 oder D.1.2 beschriebenen Verfahren.

Anhang E (informativ)

Referenzverfahren für Echtzeit- und zeitintegrierte Messungen von chemischen Markierungsverbindungen und (ultra)feinen Partikeln

Tabelle E.1 — Beispiele genormter Verfahren für Echtzeit- und zeitintegrierte Messungen

Chemische Markierungsverbindung	CAS-Nr.	Genormtes Verfahren	Titel der Norm	Echtzeit	Zeitintegriert	Bemerkungen
Ozon	10028-15-6	EN 14625	EN 14625:2012 Außenluft — Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Ozon mit Ultraviolett-Photometrie	x		Für die Detektion mittels UV-Photometrie sind die in dieser Norm angegebenen Bereiche und Unsicherheitsanforderungen unter Umständen nicht anwendbar, wenn die Norm zu anderen Zwecken als nach der Richtlinie 2008/50/EG (über Luftqualität und saubere Luft für Europa) geforderten Messungen herangezogen wird. Das Verfahren deckt die Bestimmung von Ozonkonzentrationen in der Umgebungsluft in Bereichen ab, die als ländlich, städtisch und städtischer Hintergrund klassifiziert sind.
		EN 45544-4	EN 45544-4:2016 Arbeitsplatzatmosphäre — Elektrische Geräte für die direkte Detektion und direkte Konzentrationsmessung toxischer Gase und Dämpfe — Teil 4: Leitfaden für Auswahl, Installation, Einsatz und Wartung	x		Bei den elektrochemischen Detektoren handelt es sich um ortsfeste, transportable und tragbares Chemolumineszenz-Geräte, die in erster Linie zur Messung von Stickoxiden und Ozon verwendet werden. Der Einsatzbereich reicht von wenigen ppb (V/V) bis zu einigen 1 000 ppm (V/V).

Chemische Markierungsverbindung	CAS-Nr.	Genormtes Verfahren	Titel der Norm	Echtzeit	Zeitintegriert	Bemerkungen
CO ₂	124-38-9	EN ISO 16000-26	EN ISO 16000-26:2012, Innenraumluftverunreinigungen — Teil 26: Probenahme-strategie für Kohlendioxid (CO ₂)	x		Diese Norm beschreibt einige Aspekte, die die Anwendung von nichtdispersiven Infrarot(NDIR)-Detektoren begrenzen, einschließlich der Drift und der Notwendigkeit wiederholter Kalibrierungen.
		Normenreihe EN 45544	EN 45544-1:2016, Arbeitsplatzatmosphäre — Elektrische Geräte für die direkte Detektion und direkte Konzentrationsmessung toxischer Gase und Dämpfe — Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfverfahren	x		Diese Norm gibt an, dass der untere Grenzwert bei zur Messung von CO ₂ verwendeten Geräten 500 ppm ($\approx 900 \text{ mg/m}^3$) beträgt, obgleich Messgeräte nach neuestem Stand der Technik auch geringere Konzentrationen (z. B. 100 ppm) messen können.
CO	630-08-0	EN 14626	EN 14626:2005 Außenluft — Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Kohlenmonoxid mit nicht-dispersiver Infrarot-Photometrie	x		Nichtdispersive Infrarot(NDIR)-Spektrometrie kann zur Bestimmung der Massenkonzentration von mit bis zu 87 ppm in der umgebenden Luft enthaltenem Kohlenmonoxid genutzt werden. ANMERKUNG Die in EN 14626 angegebenen Bereiche und Unsicherheitsanforderungen sind unter Umständen nicht anwendbar, wenn die Norm zu anderen Zwecken als den nach der Richtlinie 2008/50/EG (über Luftqualität und saubere Luft für Europa) geforderten Messungen herangezogen wird. Das Verfahren deckt die Bestimmung der Konzentration von Kohlenmonoxid in der Umgebungsluft in Bereichen ab, die als ländlich, städtischer Hintergrund, verkehrsbezogen und durch industrielle Quellen beeinflusst klassifiziert sind.
		Normenreihe EN 45544	EN 45544-4:2016, Arbeitsplatzatmosphäre — Elektrische Geräte für die direkte Detektion und direkte Konzentrationsmessung toxischer Gase und Dämpfe — Teil 4: Leitfaden für Auswahl, Installation, Einsatz und Wartung	x		Der untere Grenzwert für die Messung mit direkt abzulesenden Geräten beträgt 3 ppm, obgleich Messgeräte nach neuestem Stand der Technik auch geringere Konzentrationen (z. B. 0 ppm bis 500 ppm) messen können.

Chemische Markierungsverbindung	CAS-Nr.	Genormtes Verfahren	Titel der Norm	Echtzeit	Zeitintegriert	Bemerkungen
Acrolein	107-02-8	ISO 16000-3	ISO 16000-3:2011, Indoor air — Part 3: Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds in indoor air and test chamber air — Active sampling method		x	In Teil 3 dieser Norm wird beschrieben, wie die Proben zur Untersuchung auf luftgetragenes Acrolein mit Kartuschen zu entnehmen sind, die ein mit 2,4-Dinitrophenylhydrazin (DNPH) beschichtetes Sorbens als Derivatisierungsreagens enthalten, und wie die nachfolgende Analyse der Hydrazone mit der Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) und UV-Absorption durchzuführen ist. Ein analytisches Problem bei diesem Verfahren ist die Degradation des während der Probenahme gebildeten Acroleinhydrazons. Der mit diesem Verfahren messbare Konzentrationsbereich liegt für Acrolein bei 1 µg/m³ bis 1 mg/m³.
Formaldehyd	50-00-0	ISO 16000-3	ISO 16000-3:2011, Indoor air — Part 3: Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds in indoor air and test chamber air — Active sampling method		x	In Teil 3 dieser Norm wird beschrieben, wie die Proben zur Untersuchung auf luftgetragene Aldehyde mit Kartuschen zu entnehmen sind, die ein mit 2,4-Dinitrophenylhydrazin (DNPH) beschichtetes Sorbens als Derivatisierungsreagens enthalten, und wie die nachfolgende Analyse der Hydrazone mit der Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) und UV-Absorption durchzuführen ist. Die Quantifizierungsgrenze für Formaldehyd liegt bei 1 µg/m³. Die Fehlergrenze muss bestimmt werden.
Formaldehyd	50-00-0	ISO 16000-4	ISO 16000-4:2011 (2017 bestätigt), Indoor air — Part 4: Determination of formaldehyde — Diffusive sampling method		x	Bei Probenahmezeiten von 24 h liegt der anwendbare Konzentrationsbereich, der nach dem in dieser Norm beschriebenen Verfahren gemessen werden kann, bei 3 µg/m³ (2,5 ppb) bis 1 mg/m³; bei kürzeren Probenahmezeiten ist der messbare Konzentrationsbereich höher.

Chemische Markierungsverbindung	CAS-Nr.	Genormtes Verfahren	Titel der Norm	Echtzeit	Zeitintegriert	Bemerkungen
Acetaldehyd	75-07-0	ISO 16000-3	ISO 16000-3:2011, Indoor air — Part 3: Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds in indoor air and test chamber air — Active sampling method		x	In Teil 3 dieser Norm wird beschrieben, wie die Proben zur Untersuchung auf luftgetragene Aldehyde mit Kartuschen zu entnehmen sind, die ein mit 2,4-Dinitrophenylhydrazin (DNPH) beschichtetes Sorbens als Derivatisierungsreagens enthalten, und wie die nachfolgende Analyse der Hydrazone mit der Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) und UV-Absorption durchzuführen ist.
Benzol	71-43-2	ISO 16000-6	ISO 16000-6:2011, Indoor air — Part 6: Determination of volatile organic compounds in indoor and test chamber air by active sampling on Tenax TA sorbent, thermal desorption and gas chromatography using MS or MS-FID		x	In Teil 6 dieser Norm wird die Entnahme von Luftproben unter Verwendung von Tenax-TA® als Sorbens mit anschließender thermischer Desorption und gaschromatographischer Analyse (GC-FID oder GC-MS) beschrieben. Konzentrationsbereich für Benzol: ng/m³ bis mg/m³
		EN 14662	EN 14662, Luftbeschaffenheit — Standardverfahren zur Bestimmung von Benzolkonzentrationen — Teile 1 bis 5.		x	Teil 1: Probenahme mit einer Pumpe mit anschließender Thermodesorption und Gaschromatographie. Konzentrationsbereich: etwa 0,5 pg/m³ bis 50 pg/m³ bei 24-h-Probenahme. Teil 2: Probenahme mit einer Pumpe mit anschließender Lösemitteldesorption und Gaschromatographie. Konzentrationsbereich: etwa 0,5 mg/m³ bis 50 mg/m³ bei 24-h-Probenahme. Teil 4: Diffusionsprobenahme mit anschließender Thermodesorption und Gaschromatographie. Konzentrationsbereich: etwa 0,5 µg/m³ bis 50 µg/m³ bei 14-d-Probenahme. Teil 5: Diffusionsprobenahme mit anschließender Lösemitteldesorption und Gaschromatographie. Konzentrationsbereich: etwa 0,5 mg/m³ bis 50 mg/m³ für mehrere Tage bis mehrere Wochen andauernde Probenahmen.