



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST
Service suisse d'enquête de sécurité SESE
Servizio d'inchiesta svizzero sulla sicurezza SISI
Swiss Transportation Safety Investigation Board STSB

Abschlussbericht Nr. 2426 der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST

über den schweren Vorfall des Verkehrs-
flugzeuges Airbus A330-343, HB-JHL,

vom 11. Juli 2023

über dem Ärmelkanal, Vereinigtes König-
reich

Allgemeine Hinweise zu diesem Bericht

Der alleinige Zweck der Untersuchung eines Flugunfalls oder eines schweren Vorfalls ist die Verhütung von Unfällen oder schweren Vorfällen. Es ist ausdrücklich nicht Zweck der Sicherheitsuntersuchung und dieses Berichts, Schuld oder Haftung festzustellen.¹

Wird dieser Bericht zu anderen Zwecken als zur Unfallverhütung verwendet, ist diesem Umstand gebührend Rechnung zu tragen.

Die deutsche Fassung dieses Berichts ist das Original und daher massgebend.

Alle Angaben beziehen sich, soweit nicht anders vermerkt, auf den Zeitpunkt des schweren Vorfalls.

Alle in diesem Bericht erwähnten Zeiten sind, soweit nicht anders vermerkt, in koordinierter Weltzeit (*Coordinated Universal Time* – UTC) angegeben.

¹ Artikel 3.1 der 13. Ausgabe des Anhangs 13, gültig ab 28. November 2024, zum Übereinkommen über die internationale Zivilluftfahrt vom 7. Dezember 1944, in Kraft getreten für die Schweiz am 4. April 1947, Stand am 28. November 2024 (SR 0.748.0).

Artikel 24 des Bundesgesetzes über die Luftfahrt vom 21. Dezember 1948, Stand am 1. Januar 2025 (LFG, SR 748.0).

Artikel 1, Ziffer 1 der Verordnung (EU) Nr. 996/2010 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Oktober 2010 über die Untersuchung und Verhütung von Unfällen und Störungen in der Zivilluftfahrt und zur Aufhebung der Richtlinie 94/56/EG, in Kraft getreten für die Schweiz am 1. Februar 2012 gemäss einem Beschluss des gemischten Ausschusses der Schweizerischen Eidgenossenschaft und der Europäischen Union (EU) und gestützt auf das Abkommen vom 21. Juni 1999 zwischen der Schweiz und der EU über den Luftverkehr (Luftverkehrsabkommen).

Artikel 2 Absatz 1 der Verordnung über die Sicherheitsuntersuchungen im Verkehrswesen vom 17. Dezember 2014, Stand am 1. Januar 2025 (VSZV, SR 742.161).

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	5
Überblick	5
Untersuchung.....	5
Kurzdarstellung und Ursachen	6
Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitshinweise	6
1 Sachverhalt.....	7
1.1 Vorgeschichte und Flugverlauf.....	7
1.1.1 Allgemeines	7
1.1.2 Verlauf des schweren Vorfalls	7
1.1.3 Ort und Zeit des schweren Vorfalls	8
1.2 Personenschäden	8
1.2.1 Verletzte Personen.....	8
1.3 Schaden am Luftfahrzeug	8
1.4 Drittschaden.....	9
1.5 Angaben zu Personen	9
1.5.1 Besatzung.....	9
1.5.2 Passagiere.....	9
1.6 Angaben zum Luftfahrzeug	10
1.6.1 Allgemeine Angaben	10
1.6.2 Ausgewählte Systeme und Ausrüstungen des Luftfahrzeuges	10
1.7 Meteorologische Angaben	16
1.7.1 Allgemeine Wetterlage	16
1.7.2 Wetter zum Zeitpunkt und am Ort des schweren Vorfalls	16
1.7.3 Astronomische Angaben	16
1.8 Navigationshilfen	16
1.9 Kommunikation.....	16
1.10 Angaben zum Flughafen	16
1.11 Flugschreiber	16
1.12 Angaben über das Wrack, den Aufprall und die Unfallstelle	17
1.13 Medizinische und pathologische Feststellungen	17
1.14 Feuer.....	17
1.15 Überlebensaspekte	17
1.16 Versuche und Forschungsergebnisse	17
1.16.1 Versuche zur Verwendung der PBE	17
1.16.2 Befunde an den während der Versuche verwendeten PBE 1	19
1.16.3 Versuche des PBE-Herstellers	20
1.17 Angaben zu verschiedenen Organisationen und deren Führung.....	20
1.17.1 Flugbetriebsunternehmen.....	20

1.18	Zusätzliche Angaben	20
1.18.1	Weitere ähnlich gelagerte Zwischenfälle	20
1.19	Nützliche oder effektive Untersuchungstechniken.....	21
2	Analyse	22
2.1	Technische Aspekte	22
2.1.1	Geruchsentwicklung im Cockpit und in der Flugzeugkabine	22
2.1.2	Rauchschutzhauben	22
2.2	Menschliche und betriebliche Aspekte	24
2.2.1	Geruchswahrnehmungen	24
2.2.2	Rauchschutzhauben	25
3	Schlussfolgerungen	26
3.1	Befunde	26
3.1.1	Technische Aspekte.....	26
3.1.2	Besatzung.....	26
3.1.3	Verlauf des schweren Vorfalls.....	26
3.1.4	Rahmenbedingungen.....	27
3.2	Ursachen	28
4	Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit dem schweren Vorfall getroffene Massnahmen	29
4.1	Sicherheitsempfehlungen	29
4.1.1	PBE des Herstellers Collins Aerospace mit Teilenummer 119003-21.....	29
4.1.2	Zulassung und Instandhaltung von PBE.....	30
4.1.3	Ausbildung betreffend Verwendung von PBE.....	30
4.2	Sicherheitshinweise.....	32
4.2.1	PBE des Herstellers Collins Aerospace mit Teilenummer 119003-21.....	32
4.2.2	Ausbildung betreffend Verwendung von PBE.....	32
4.3	Seit dem schweren Vorfall getroffene Massnahmen	33
4.3.1	Flugbetriebsunternehmen	33
4.3.2	Bundesamt für Zivilluftfahrt.....	33
4.3.3	Hersteller der PBE mit Teilenummer 119003-21	33

Zusammenfassung

Überblick

Halter	Swiss International Air Lines Ltd., Malzgasse 15, 4052 Basel
Eigentümer	Swiss International Air Lines Ltd., Malzgasse 15, 4052 Basel
Hersteller	Airbus S.A.S.
Luftfahrzeugmuster	A330-343
Eintragungsstaat	Schweiz
Eintragungszeichen	HB-JHL
Ort	Ärmelkanal, auf Flugfläche (<i>Flight Level</i> – FL) 340
Datum und Zeit	11. Juli 2023, 17:05 UTC
Betriebsart	Verkehrsfliegerei
Flugregeln	Instrumentenflugregeln (<i>Instrument Flight Rules</i> – IFR)
Startort	Flughafen Zürich (LSZH)
Zielort	Newark Liberty International Airport (KEWR), Vereinigte Staaten von Amerika
Flugphase	Reiseflug
Art des schweren Vorfalls	Geruchsentwicklung in Cockpit und Kabine

Untersuchung

Der schwere Vorfall ereignete sich am 11. Juli 2023 um 17:05 UTC. Die Meldung traf gleichentags um 19:44 UTC bei der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle (SUST) ein. Die Sicherheitsuntersuchungsstelle des Vereinigten Königreichs, über dessen Hoheitsgebiet der schwere Vorfall auftrat, delegierte die Sicherheitsuntersuchung an die SUST. Die Untersuchung wurde am 28. September 2023 durch die SUST eröffnet. Die SUST informierte folgende Staaten über den schweren Vorfall: Frankreich, das Vereinigte Königreich und die Vereinigten Staaten von Amerika. Diese ernannten je einen bevollmächtigten Vertreter, die an der Untersuchung mitgewirkt haben.

Für die Untersuchung standen folgende Grundlagen zur Verfügung:

- Radaraufzeichnungen;
- Aussagen von Besatzungsmitgliedern;
- Angaben des Flugbetriebsunternehmens;
- Angaben des Flugzeugherstellers;
- Angaben des Herstellers der Rauchschutzhauben.

Der vorliegende Schlussbericht wird durch die SUST veröffentlicht.

Kurzdarstellung und Ursachen

Beim schweren Vorfall kam es in der Flugzeugkabine eines Airbus A330-343 während des Reisefluges zu einer ungewöhnlichen Geruchsentwicklung, deren Ursache sich nicht ermitteln liess. Dies veranlasste die Cockpitbesatzung zum Aufsetzen der Sauerstoffmasken und mehrere Kabinenbesatzungsmitglieder zur Benutzung einer Rauchschutzhaube (*Protective Breathing Equipment* – PBE). Dabei bekundeten mehrere Kabinenbesatzungsmitglieder erhebliche Schwierigkeiten bei der Verwendung der PBE, sowohl beim Auspacken, Entfalten, Aufsetzen und Aktivieren der Geräte als auch bei deren anschliessenden Verwendung. Zudem wiesen mehrere PBE technische Defekte auf und waren deshalb nicht oder nur eingeschränkt funktionstüchtig. Dies stellt ein erhebliches Sicherheitsrisiko dar.

Zum schweren Vorfall haben folgende Faktoren beigetragen:

- Die wiederkehrenden Instandhaltungsmassnahmen waren unzureichend, weshalb die bestehenden Defekte an den PBE unentdeckt blieben.
- Das Training der Besatzungsmitglieder erfolgte ausschliesslich mit für Übungszwecke bereitgestellten PBE-Attrappen, die sich erheblich von den in einem Notfall eingesetzten, echten PBE unterscheiden. Dadurch waren den Besatzungsmitgliedern diverse Schwierigkeiten bei der Verwendung der PBE unbekannt.
- Die technische Ausgestaltung der PBE war derart, dass geschulte Kabinenbesatzungsmitglieder die PBE nicht in angemessener Zeit in Betrieb nehmen konnten. Die Zeit betrug dabei ein Mehrfaches der gemäss Zulassungskriterien vorgegebenen Zeit. Zudem war die Kommunikation mit aufgesetzter PBE stark beeinträchtigt.

Sicherheitsempfehlungen und Sicherheitshinweise

Mit diesem Schlussbericht werden 3 Sicherheitsempfehlungen und 2 Sicherheitshinweise ausgesprochen.

1 Sachverhalt

1.1 Vorgeschichte und Flugverlauf

1.1.1 Allgemeines

Die nachfolgenden Angaben zum Hergang des schweren Vorfalles basieren auf Aussagen der Besatzung und auf Radaraufzeichnungen der Flugsicherung.

1.1.2 Verlauf des schweren Vorfalles

Das zweistrahlige Verkehrsflugzeug des Musters Airbus A330-343, eingetragen als HB-JHL, rollte am 11. Juli 2023 um 15:54 UTC vom Standplatz auf dem Flughafen Zürich (LSZH) los. An Bord des Flugzeuges, das mit Flugnummer LX18 geplant nach Newark Liberty International Airport (KEWR) fliegen sollte, befanden sich 2 Piloten, 10 Kabinenbesatzungsmitglieder und 223 Passagiere. Während des Rollvorgangs zur Startpiste nahm die Cockpitbesatzung einen schwachen, unüblichen Geruch im Cockpit wahr, der sie an einen erhitzten Strassenbelag aus Bitumen oder Teer erinnerte. Da die Aussentemperatur 38 °C betrug, vermuteten die Piloten, dass dieser Geruch von aussen herrührte.

Der Start von der Piste 16 in Zürich erfolgte um 16:07 UTC. Dabei waren wie gemäss Verfahren üblich die beiden Kühlaggregate (*air conditioning pack*) ausgeschaltet. Beim Einschalten des *air conditioning pack 2* während des Steigfluges nahm die Cockpitbesatzung erneut einen diesmal stärkeren Geruch nach «*dreckigen Socken oder feuchtem Keller*» wahr, weshalb der Kommandant das *air conditioning pack 2* wieder ausschaltete, worauf der Geruch verschwand. Nach rund 5 Minuten aktivierte der Kommandant das *air conditioning pack 2* erneut; dieses Mal war kein unüblicher Geruch mehr wahrnehmbar.

In der Folge erkundigte sich der Kommandant bei den beiden leitenden Kabinenbesatzungsmitgliedern (*Maître de Cabine* – MC) und den restlichen acht Kabinenbesatzungsmitgliedern (*Flight Attendant* – FA), ob sie ebenfalls einen unüblichen Geruch wahrgenommen hätten. Verschiedene FA bejahten dies, der Geruch sei insbesondere während des initialen Steigfluges deutlich wahrnehmbar gewesen, habe sich aber anschliessend weitestgehend verflüchtigt. Im weiteren Verlauf des Fluges begannen mehrere FA, sich über ein deutliches Brennen und eine Reizung der Augen sowie Kopfschmerzen zu beklagen. Ob Passagiere ähnliche Wahrnehmungen hatten, ist nicht bekannt.

Die HB-JHL befand sich zu diesem Zeitpunkt über dem Ärmelkanal auf der Flughöhe (*Flight Level* – FL) 340. Aufgrund der körperlichen Beschwerden, die sich bei einem Teil der Kabinenbesatzung zu zeigen begannen, entschloss sich die Cockpitbesatzung zu einer Rückkehr zum Flughafen Zürich. Sie setzte um 17:05 UTC eine Dringlichkeitsmeldung (*Pan-Pan*) ab und begann nach dem Aufsetzen der Sauerstoffmasken einen Sinkflug. Gleichzeitig führten die Piloten die Prüfliste für Not- und abnormale Fälle (*Quick Reference Handbook* – QRH) für Rauch und Dämpfe (*smoke and fumes*) durch, wobei auch das *air conditioning pack 2* ausgeschaltet wurde.

In dieser Phase entschieden die beiden MC zusammen mit der restlichen Kabinenbesatzung, zu ihrem Schutz die Rauchschutzhäuben (*Protective Breathing Equipment* – PBE), auch *smoke hood* genannt, aufzusetzen. Dabei sollten nicht alle Kabinenbesatzungsmitglieder gleichzeitig eine PBE tragen, da diese nur für 15 Minuten Schutz bietet.

In der Folge benutzten sieben Kabinenbesatzungsmitglieder je eine PBE, wobei alle Personen gemäss eigenen Angaben unterschiedliche Schwierigkeiten mit der Handhabung der PBE hatten:

- Das Öffnen der Verpackung der PBE bereitete mehreren FA Schwierigkeiten. Zwei FA benötigten eine Schere resp. ein Messer, um die PBE aus der Verpackung entnehmen zu können.
- Bei einem FA riss nach dem Aufsetzen der PBE ein Halteriemen, mit dem die PBE auf dem Kopf festgezogen wird.
- Ein FA benötigte 3 Minuten, um die PBE in Betrieb zu nehmen. Der Druck auf die Nase mit aufgesetzter Brille sei immens und die PBE sehr unbequem gewesen. Die Temperatur in der PBE sei sehr hoch gewesen und habe zu starkem Schwitzen geführt.
- Einige FA gaben an, dass sich das Atmen mit aufgesetzter PBE, insbesondere das Ausatmen, als sehr schwierig erwiesen habe.
- Die Kommunikation mit aufgesetzter PBE sei generell stark beeinträchtigt und zwischen zwei Personen, die beide eine PBE trugen, fast unmöglich gewesen.

Aufgrund sich verschlechternder Wetterbedingungen in Zürich entschied sich die Cockpitbesatzung für eine Ausweichlandung auf dem näher gelegenen Flughafen Paris-Charles-de-Gaulle (LFPG), wo die HB-JHL nach knapp 2 Stunden Flugzeit ereignislos landete.

Beide Piloten trugen bis nach der Landung die Sauerstoffmasken, ebenso behielten zwei Kabinenbesatzungsmitglieder die PBE bis nach der Landung auf.

1.1.3 Ort und Zeit des schweren Vorfalls

Datum und Zeit 11. Juli 2023, 17:05 UTC

Beleuchtungsverhältnisse Tag

Koordinaten N 50° 47' 26" / E 000° 56' 53" (WGS² 84)

Flughöhe FL 340

1.2 Personenschäden

1.2.1 Verletzte Personen

Verletzungen	Besatzungs- mitglieder	Passagiere	Gesamtzahl der Insassen	Drittpersonen
Tödlich	0	0	0	0
Erheblich	0	0	0	0
Leicht	0	0	0	0
Keine	12	223	235	Nicht zutreffend
Gesamthaft	12	223	235	0

1.3 Schaden am Luftfahrzeug

Das Luftfahrzeug wurde nicht beschädigt.

² WGS: *World Geodetic System*, geodätisches Referenzsystem: Der Standard WGS 84 wurde durch Beschluss der internationalen Zivilluftfahrtorganisation (*International Civil Aviation Organization* – ICAO) im Jahr 1989 für die Luftfahrt übernommen.

1.4 Drittschaden

Keiner

1.5 Angaben zu Personen**1.5.1 Besatzung****1.5.1.1 Kommandant**

Person	Schweizer Staatsbürger, Jahrgang 1969		
Ausweis	Verkehrspilotenlizenz für Flugzeuge (<i>Airline Transport Pilot Licence Aeroplane</i> – ATPL(A)) nach der Agentur der Europäischen Union für Flugsicherheit (<i>European Union Aviation Safety Agency</i> – EASA), ausgestellt durch das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL)		
Flugerfahrung	Gesamthaft		12 405 h
	Davon auf dem Vorfalldatum		4392 h
	Während der letzten 90 Tage		59:14 h
	Davon auf dem Vorfalldatum		41:45 h

Alle vorliegenden Angaben deuten darauf hin, dass der Kommandant seinen Dienst ausgeruht und gesund antrat. Es liegen keine Hinweise vor, dass zum Zeitpunkt des schweren Vorfalls Ermüdung eine Rolle spielte.

1.5.1.2 Erster Offizier

Person	Schweizer Staatsbürger, Jahrgang 1982		
Ausweis	ATPL(A) nach EASA, ausgestellt durch das BAZL		
Flugerfahrung	Gesamthaft		6347 h
	Davon auf dem Vorfalldatum		2103 h
	Während der letzten 90 Tage		98:16 h
	Davon auf dem Vorfalldatum		74:52 h

Alle vorliegenden Angaben deuten darauf hin, dass der Erste Offizier seinen Dienst ausgeruht und gesund antrat. Es liegen keine Hinweise vor, dass zum Zeitpunkt des schweren Vorfalls Ermüdung eine Rolle spielte.

1.5.1.3 Kabinenbesatzung

Es befanden sich 10 Kabinenbesatzungsmitglieder an Bord, von denen zwei leitende Kabinenbesatzungsmitglieder (*Maître de Cabine* – MC) und acht Flugbegleiter (*Flight Attendant* – FA) waren.

1.5.2 Passagiere

Es befanden sich 223 Passagiere an Bord.

1.6 Angaben zum Luftfahrzeug

1.6.1 Allgemeine Angaben

Eintragungszeichen	HB-JHL
Luftfahrzeugmuster	A330-343
Charakteristik	Zweistrahliges Langstrecken-Verkehrsflugzeug
Hersteller	Airbus S.A.S.
Baujahr	2012
Werknummer	1290
Halter	Swiss International Air Lines Ltd., Malzgasse 15, 4052 Basel
Eigentümer	Swiss International Air Lines Ltd., Malzgasse 15, 4052 Basel
Eintragungszeugnis	Ausgestellt durch das BAZL am 24. Februar 2012
Lufttüchtigkeitszeugnis	Ausgestellt durch das BAZL am 24. Februar 2012

1.6.2 Ausgewählte Systeme und Ausrüstungen des Luftfahrzeuges

1.6.2.1 Allgemeines

Im Folgenden werden nur diejenigen Systeme beschrieben, die für den schweren Vorfall von Bedeutung waren.

1.6.2.2 Flugzeugsysteme

Beide Triebwerke, die *Auxiliary Power Unit* (APU) und diverse Komponenten der Zapfluftanlage (*bleed air system*) der HB-JHL, die einen Zusammenhang mit den von der Besatzung wahrgenommenen Gerüchen und körperlichen Beschwerden hätten haben können, wurden nach dem Zwischenfall begutachtet und technisch untersucht. Dabei liessen sich keine Unregelmässigkeiten feststellen. Das Flugzeug wurde nach der entsprechenden Freigabe durch den Wartungsbetrieb wieder in Betrieb genommen. Bei den nachfolgenden Flügen traten keine ähnlich gelagerten Probleme auf.

1.6.2.3 Rauchschutzhauben

1.6.2.3.1 Allgemeines

Rauchschutzhauben sind Atemschutzgeräte, die Personen in gefährlichen Umgebungen vor giftigen Gasen schützen, die beispielsweise bei Bränden entstehen können. In Luftfahrzeugen werden portable Rauchschutzhauben für die Besatzung mitgeführt, die als *smoke hood* oder *Protective Breathing Equipment* (PBE) bezeichnet werden. PBE sind primär dafür vorgesehen, dass Besatzungsmitglieder während des Fluges Brände in zugänglichen Bereichen lokalisieren und bekämpfen können.

Die Bauvorschriften für Grossflugzeuge³ (bei der EASA sind dies die *Certification Specification* (CS) 25.1439) sehen vor, dass für jedes Kabinenbesatzungsmitglied

³ Als Grossflugzeuge (*large aeroplanes*) gelten Flugzeuge mit einer maximalen Abflugmasse von mindestens 5700 kg.

eine PBE im Flugzeug vorhanden ist. Zusätzlich muss sich eine PBE in der Nähe des Cockpits befinden.

Die Mindestleistungsstandards (*Minimum Performance Standard* – MPS) für die Zulassung von PBE sind in sogenannten Technischen Standardanweisungen (*Technical Standard Order* – TSO) festgelegt. Die ursprüngliche Version der betreffenden TSO-C116 publizierte die Flugaufsichtsbehörde der Vereinigten Staaten (*Federal Aviation Administration* – FAA) am 1. Januar 1990. Diese TSO referenziert auf die Luftfahrtstandards (*Aviation Standard* – AS) SAE⁴ AS 8047. Eine angepasste und heute gültige Version TSO-C116a erschien am 30. Juli 2009. Das europäische, inhaltlich identische Äquivalent sind die ETSO-C116 vom 24. Oktober 2003 resp. die ETSO-C116a vom 5. August 2016.⁵

Gemäss obiger TSO müssen PBE unter anderem die nachfolgenden Kriterien erfüllen:

- vor Rauch, Kohlendioxid und anderen gefährlichen Gasen schützen;
- Augen, Nase und Mund bedecken;
- die uneingeschränkte Kommunikation mit anderen Besatzungsmitgliedern erlauben;
- keine spürbare Beeinträchtigung des Sehvermögens zur Folge haben und das Tragen einer Korrekturbrille ermöglichen;
- während 15 Minuten genügend Sauerstoff für eine Person bei einer Druckhöhe von 8000 ft und einem Atemvolumen von 30 Litern pro Minute liefern;
- innerhalb von 15 Sekunden einfach aus der Verpackung entnommen, aufgesetzt und aktiviert werden können.

1.6.2.3.2 PBE mit Teilenummer 119003-21

Die in der HB-JHL mitgeführten und verwendeten PBE stammten vom Hersteller Collins Aerospace⁶ (im Bericht nachfolgend auch mit «Collins» abgekürzt) und wiesen die Teilenummer 119003-21 auf. Die PBE waren vakuumversiegelt in einem Beutel verpackt und befanden sich jeweils in einer in der Flugzeugkabine installierten, schützenden Aufbewahrungsbox (vgl. Abbildung 1).

Zur Verwendung der PBE muss der Beutel aus der Box entnommen, die Vakuumverpackung von Hand geöffnet und die PBE aus der Verpackung entnommen werden. Anschliessend wird die PBE entfaltet, über den Kopf gestülpt und aktiviert.

Bei dieser PBE basiert die Bereitstellung der Atemluft auf der Verwendung von Kaliumhyperoxid (KO_2). Hierbei wird die ausgeatmete Luft über die Mund-Nasen-Maske zum KO_2 -Behälter (KO_2 *canister*) geführt, wo in einem chemischen Prozess Wasserdampf und Kohlendioxid absorbiert und Sauerstoff generiert wird (vgl. Abbildung 2). Diese aufbereitete Atemluft wird direkt in den Innenraum der PBE geleitet und kann anschliessend über das Einatmungsventil der Mund-Nasen-Maske wieder eingeatmet werden. Der Prozess bleibt so lange aufrechterhalten, bis das KO_2 im Behälter aufgebraucht ist. Für den Träger der PBE wird dies

⁴ Die SAE International, ehemals als *Society of Automotive Engineers* (SAE) bezeichnet, ist eine im Jahr 1905 gegründete Organisation, die Automobil- und Luftfahrtstandards festlegt.

⁵ Seit dem 2. März 2016 akzeptieren FAA und EASA gegenseitig die von der anderen Aufsichtsbehörde ausgestellten TSO zudem ohne zusätzlichen Genehmigungsprozess.

⁶ Diese PBE stammten ursprünglich vom Hersteller BE Aerospace Inc.; diese Firma wurde im Jahr 2021 von Collins Aerospace akquiriert.

gemäss Handbuch der PBE erkennbar, wenn die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit in der Rauchschutzhaube ansteigt und sich das Atmen erschwert.

Nach dem Überstülpen der PBE wird beim anschliessenden Ziehen der beiden seitlichen Halteriemen nach vorne der Auslösestift des Chlorsäurezünders (*chlorate candle*) gezogen (vgl. Abbildung 3). Dieser *chlorate candle* erzeugt innerhalb von 20 Sekunden ein initiales Sauerstoffvolumen von rund 8 Litern, mit dem die PBE aufgeblasen und eingeschlossener Rauch oder Dämpfe durch das Überdruckventil aus der PBE gespült werden. Gleichzeitig wird damit eine ausreichende Menge an Atemluft bereitgestellt.

Bei Fehlfunktion der PBE, bei welcher der Chlorsäurezünder nicht auslöst, kann gemäss Verfahren im Handbuch der KO_2 -Prozess zur Aufbereitung der Atemluft mittels Ausatmens in die Mund-Nase-Maske dennoch gestartet werden. Es könne allerdings erforderlich sein, dass man die Finger zwischen die Halsdichtung stecken müsse, um tief einatmen zu können, damit ausreichend initiale Atemluft vorhanden ist.

Beide chemischen Prozesse, im KO_2 -Behältnis und im *chlorate candle*, führen zu einer Hitzeentwicklung im Nackenbereich des Trägers der PBE.



Abbildung 1: Entfaltete PBE des Herstellers Collins mit der Teilenummer 119003-21 mit Aufbewahrungsbox (linkes Bild). Die PBE ist in einer vakuumversiegelten Verpackung in einer solchen Aufbewahrungsbox gelagert (rechtes Bild). Quelle: Collins Aerospace.

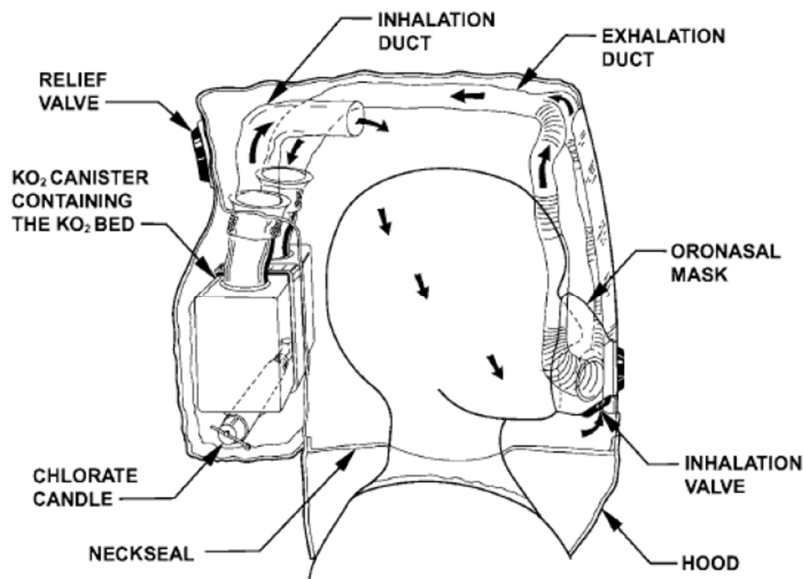


Abbildung 2: Komponenten der PBE mit Teilenummer 119003-21: *hood* (Haube), *inhalation valve* (Einatemungsventil), *oronasal mask* (Mund-Nasen-Maske), *exhalation duct* (Ausatemungskanal), *inhalation duct* (Einatemungskanal), *relief valve* (Sicherheitsventil), *KO₂-canister* (KO₂-Behälter), *chlorate candle* (Chlorsäurezünder), *neckseal* (Nackendichtung). Quelle: Collins Aerospace.

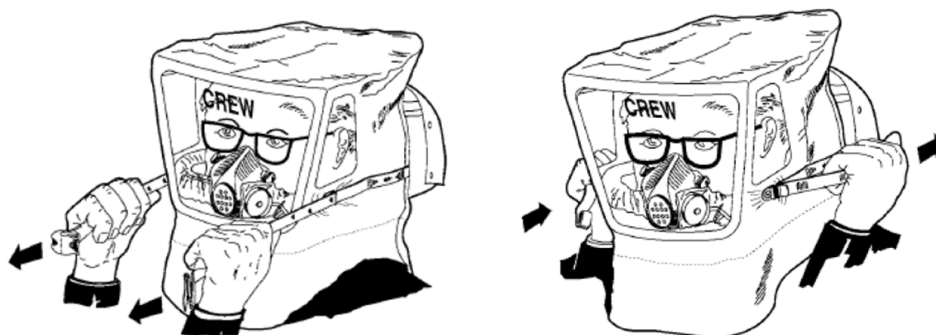


Abbildung 3: Aktivierung der PBE mit Teilenummer 119003-21: Durch eine Zugkraft an den beiden seitlichen Halteriemern nach vorne (linkes Bild) wird der Auslösestift gezogen und damit die Sauerstofferzeugung durch den Chlorsäurezünder (*chlorate candle*) gestartet. Durch eine Zugkraft nach hinten (rechtes Bild) wird anschliessend die Maske auf dem Gesicht festgezogen. Quelle: Collins Aerospace.

1.6.2.3.3 Zulassung der PBE mit Teilenummer 119003-21

Die FAA erteilte am 24. April 1990 erstmals eine Genehmigung gemäss TSO-C116 (vgl. Kapitel 1.6.2.3.1) für die PBE mit der Teilenummer 119003. Hierbei handelte es sich um das ursprüngliche Modell dieser PBE.

Später modifizierte der Hersteller diese PBE, die neu die Teilenummer 119003-11 trug, und erhielt von der FAA am 24. Juli 2002 eine entsprechende Genehmigung gemäss TSO-C116. Diese Genehmigung referenzierte zu grossen Teilen auf die bei der ursprünglichen Genehmigung von 1990 durchgeführten Tests und Nachweise.

Am 2. Juni 2014 erteilte die FAA eine weitere Genehmigung gemäss der alten TSO-C116 für das Nachfolgemodell mit der Teilenummer 119003-21; PBE dieses

Modells waren in der HB-JHL installiert. Auch diese Genehmigung verwies zu einem grossen Teil auf die ursprünglich im Jahr 1990 durchgeführten Tests und die damals erstellten Nachweise.

Gemäss einer von der FAA am 10. Juni 2016 publizierten Lufttüchtigkeitsanweisung (*Airworthiness Directive* – AD) 2016-11-20 mussten PBE mit Teilenummer 119003-11 spätestens innert 18 Monaten durch PBE mit Teilenummer 119003-21 ersetzt werden, dies, nachdem eine PBE während der Aktivierung durch ein Besatzungsmitglied Feuer gefangen hatte. Diese AD wurde am 16. Oktober 2017 durch die AD 2017-18-12 ersetzt, nachdem bei neuen PBE mit Teilenummer 119003-21 innerhalb eines bestimmten Seriennummernbereichs sicherheitsrelevante Probleme mit dem Behältnis des Chlorsäurezünders auftraten, die zum Bersten des Chlorsäurezünders führten. Gemäss der angepassten AD mussten zusätzlich diese PBE innert 6 Monaten ersetzt werden. Die in der HB-JHL installierten und alle weiteren beim Flugbetriebsunternehmen eingesetzten PBE lagen ausserhalb dieses Seriennummernbereichs.

Die PBE mit Teilenummer 119003-21 weisen eine maximale Lebensdauer (*useful life*) von 10 Jahren auf und werden nach Ablauf dieser Zeit entsorgt, ohne weiter untersucht zu werden.

1.6.2.3.4 Instandhaltung der PBE mit Teilenummer 119003-21

Der Hersteller stellt ein Handbuch für die Installation, den Gebrauch und die Instandhaltung für alle PBE-Modelle mit Teilenummer 119003 bereit⁷. Bezüglich Instandhaltung bestehen zwei Stufen: die Vorflugkontrolle durch die Besatzung und Inspektionen durch den Instandhaltungsbetrieb.

Die Vorflugkontrolle durch die Besatzung soll vor jedem Flug erfolgen. Dabei werden die Unversehrtheit der Versiegelung der Aufbewahrungsbox sowie eine intakte Vakuumverpackung der PBE mittels einer visuellen Kontrolle durch die durchsichtige Frontabdeckung der Aufbewahrungsbox überprüft.

Eine Inspektion durch den Instandhaltungsbetrieb soll mindestens einmal monatlich erfolgen oder aber während des «A-Check»⁸ des Flugzeuges. Diese Inspektion beinhaltet dieselben Kontrollen wie bei der Vorflugkontrolle durch die Besatzung, also eine Kontrolle der Versiegelung der Aufbewahrungsbox sowie eine visuelle Kontrolle der Vakuumverpackung durch die durchsichtige Frontabdeckung der Aufbewahrungsbox. Falls Zweifel an der Unversehrtheit der PBE oder der Vakuumverpackung bestehen, soll die Frontabdeckung entfernt und je nach weiterem Befund die PBE aus der Aufbewahrungsbox entnommen werden. Falls die Vakuumverpackung einen Defekt aufweist, muss die PBE entsorgt und ersetzt werden.

Im Handbuch findet sich im Zusammenhang mit der Unversehrtheit der Vakuumverpackung in Kapitel «*MAINTENANCE OF EQUIPMENT, 3. INSPECTION*» eine Warnung, dass eine PBE mit einer beschädigten Vakuumverpackung ein latentes Brandrisiko darstellen kann («*WARNING: PBE WITH A COMPROMISED VACUUM-SEALED POUCH THAT CONTAINS THE PBE MAY PRESENT A RISK OF FIRE AND/OR IMPAIRED FUNCTION.*»).

⁷ B/E Aerospace Collins Aerospace, *Operation Guide: Crew Member Protective Breathing Equipment Guidelines for Installation, Use, And Service*, Dokument Nr. 2499-200, für PBE mit Teilenummer 119003, 119003-01, 119003-11, 119003-21, 119003-90 und 119003-91.

⁸ Der «A-Check» ist ein Wartungsereignis mit routinemässiger Überprüfung von technischen Systemen, die für den Flugbetrieb wichtig sind. Ein A-Check findet bei Linienfluggesellschaften üblicherweise alle ein bis zwei Monate statt.

1.6.2.3.5 Befunde an den verwendeten PBE mit Teilenummer 119003-21

In der HB-JHL befanden sich insgesamt dreizehn PBE mit der Teilenummer 119003-21, die im Jahr 2017 hergestellt und anschliessend in der HB-JHL installiert worden waren.

Während des schweren Vorfalls wurden sieben PBE eingesetzt, d.h. aus der Verpackung entnommen und von Kabinenbesatzungsmitgliedern aufgesetzt und aktiviert. Nach dem schweren Vorfall wurden diese PBE untersucht. Zwei dieser PBE wiesen folgende Defekte auf:

- Bei einer PBE war die Frontscheibe aus Polycarbonat zerbrochen (vgl. Abbildung 4).⁹
- Bei einer PBE war die Halterung des rechten seitlichen Halteriemens abgerissen (vgl. Abbildung 5).

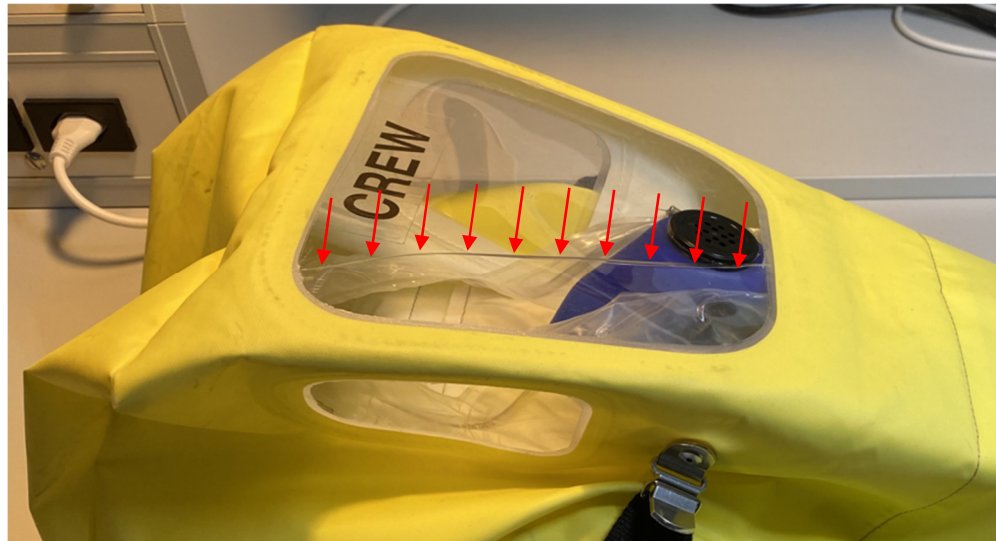


Abbildung 4: Zerbrochene Frontscheibe (rote Pfeile) einer PBE, die während des schweren Vorfalls eingesetzt wurde.



Abbildung 5: Abgerissene Halterung des rechten seitlichen Halteriemens einer PBE, die während des schweren Vorfalls eingesetzt wurde.

⁹ Es liess sich nicht abschliessend klären, ob dieser Riss in der Frontscheibe der PBE bereits bestand, bevor das Kabinenbesatzungsmitglied die Maske aufsetzte, oder ob die Frontscheibe während oder erst nach der Verwendung der PBE brach.

1.7 Meteorologische Angaben

1.7.1 Allgemeine Wetterlage

Der Ärmelkanal lag an der Südostseite eines Tiefdruckgebietes über Schottland, mit starkem Druckgradienten in der Höhe und einer von Südwest nach Nordost verlaufenden Kaltfront.

1.7.2 Wetter zum Zeitpunkt und am Ort des schweren Vorfalls

Die folgenden Angaben zum Wetter zum Zeitpunkt und am Ort des schweren Vorfalls basieren auf der GFS-Modellanalyse¹⁰ und den umliegenden Ballonsondierungen.

Wetter/Wolken	FL340 lag oberhalb von Wolken ¹¹
Sicht	Die Feuchtigkeit und damit die Sichtweite auf FL340 war je nach Position über dem Ärmelkanal unterschiedlich
Wind	90 kt aus 230 Grad
Temperatur / Taupunkt	-50 °C / -53 °C
Luftdruck	QNH ¹² EGLL: 1009 hPa; FL 340 (250 hPa) lag bei 50.5° N / 1.5° W auf rund 34 550 ft AMSL ¹³

1.7.3 Astronomische Angaben

Sonnenstand	Azimut: 273°	Höhe: 27°
Beleuchtungsverhältnisse	Tag	

1.8 Navigationshilfen

Nicht betroffen

1.9 Kommunikation

Der Funkverkehr zwischen den Piloten und den Flugverkehrsleitstellen wickelte sich gemäss Angabe der Cockpitbesatzung ordnungsgemäss, in englischer Sprache und ohne Schwierigkeiten ab.

1.10 Angaben zum Flughafen

Nicht betroffen

1.11 Flugschreiber

Das Flugzeug war mit einem Flugdatenschreiber (*Flight Data Recorder* – FDR) und einem Sprach- und Geräuschaufzeichnungsgerät (*Cockpit Voice Recorder* –

¹⁰ Das *Global Forecast System* (GFS) ist ein Wettervorhersagemodell des *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) der Vereinigten Staaten von Amerika, das Daten für Dutzende atmosphärische und Bodenvariablen generiert, darunter Temperaturen, Winde, Niederschläge, Bodenfeuchtigkeit und die Ozonkonzentration in der Atmosphäre.

¹¹ Gemäss GFS-Analyse lag FL 340 oberhalb von gesättigten Schichten. Sowohl diese Analyse wie auch die Ballonsondierungen und das Infrarot-Satellitenbild zeigen jedoch um die Kaltfront herum unterschiedliche Wolkenobergrenzen.

¹² Druck reduziert auf Meereshöhe, berechnet mit den Werten der ICAO -Standardatmosphäre

¹³ AMSL: *above mean sea level*, über dem mittleren Meeresspiegel

CVR) ausgerüstet. Diese Aufzeichnungsgeräte wurden im Rahmen der Sicherheitsuntersuchung nicht ausgelesen.

1.12 Angaben über das Wrack, den Aufprall und die Unfallstelle

Nicht betroffen

1.13 Medizinische und pathologische Feststellungen

Verschiedene Kabinenbesatzungsmitglieder berichteten über körperliche Beschwerden wie gerötete und gereizte Augen sowie Kopfschmerzen, die auch in den Tagen nach dem schweren Vorfall anhielten. Von Passagieren liegen keine Informationen zu etwaigen Beschwerden vor.

1.14 Feuer

Nicht betroffen

1.15 Überlebensaspekte

Nicht betroffen

1.16 Versuche und Forschungsergebnisse

1.16.1 Versuche zur Verwendung der PBE

Um die von den Kabinenbesatzungsmitgliedern erwähnten Schwierigkeiten bei der Handhabung der PBE beurteilen zu können, wurden unter Aufsicht der SUST und mehrerer beteiligter Interessensgruppen Versuche in einer definierten Testumgebung durchgeführt. Die Versuchsanordnung bestand darin, dass Probanden eine PBE in einem speziellen Brandbekämpfungsübungsraum, der ähnliche Merkmale wie eine Flugzeugkabine eines herkömmlichen Verkehrsflugzeugs aufwies, in einer simulierten Notfallsituation verwenden sollten. Die Schwierigkeiten beim Umgang mit den PBE sowie die von den Probanden wahrgenommenen physiologischen und psychologischen Auswirkungen wurden anschliessend bewertet.

Bei einer ersten Versuchsreihe nahmen vier zufällig ausgewählte, geschulte und qualifizierte Kabinenbesatzungsmitglieder der betroffenen Fluggesellschaft teil. Aufgrund der Ergebnisse aus diesen Tests wurde eine zweite Versuchsreihe mit sechs weiteren – in der Handhabung der PBE geschulten und qualifizierten – Probanden durchgeführt. Den Versuchen wohnten verschiedene Funktionsträger der Fluggesellschaft, Personal der SUST und des BAZL bei. Bei der zweiten Versuchsreihe waren zudem Fachspezialisten des PBE-Herstellers anwesend.

Bei den Versuchen kamen insgesamt elf PBE zur Anwendung, die baugleich zu den während des schweren Vorfalls eingesetzten PBE waren (nachfolgend mit PBE 1 bezeichnet)¹⁴. Zusätzlich wurde zu Vergleichszwecken ein technisch andersartiges PBE-Modell herangezogen; von diesem Modell (nachfolgend mit PBE 2 bezeichnet) wurden sechs Exemplare in den Versuchen verwendet¹⁵. Die PBE waren jeweils im Original-Vakuumbeutel verpackt. Sie waren vorgängig unterschiedlich lange in Flugzeugen, die in Betrieb standen, eingebaut gewesen, oder stammten aus den Lagerbeständen des Flugbetriebsunternehmens.

¹⁴ Die bei den Versuchen verwendeten PBE 1 waren in den Jahren 2014 bis 2023 hergestellt worden. In der ersten Versuchsreihe wurden vier PBE 1, in der zweiten Versuchsreihe sieben PBE 1 verwendet.

¹⁵ Bei der PBE 2 handelte es sich um das Modell «Dräger OxyCrew» des Herstellers Collins Aerospace. In der ersten Versuchsreihe wurden vier PBE 2 und in der zweiten Versuchsreihe zwei PBE 2 verwendet.

Bei allen durchgeführten Versuchen wurde die Zeit ermittelt, welche sechs ausgewählte, geschulte und qualifizierte Kabinenbesatzungsmitglieder (vgl. Kapitel 1.17.1) benötigten, um die PBE aus der Vakuumverpackung zu entnehmen, zu entfalten und anschliessend aufzusetzen und zu aktivieren. Diese Zeiten sind in Abbildung 6 zusammengefasst dargestellt.

	Auspacken der PBE	Entfalten der PBE	Auspacken und Entfalten der PBE	Aufsetzen und Aktivieren der PBE	Gesamtzeit (Minimalwert – Maximalwert)
PBE 1	24 s	28 s	52 s	26 s	78 s (41 s – 121 s)
PBE 2	15 s	7 s	22 s	37 s	59 s (49 s – 79 s)

Abbildung 6: Darstellung der durchschnittlich benötigten Zeit für Auspacken, Entfalten und Aufsetzen/Aktivieren der PBE durch die sechs zufällig ausgewählten, geschulten und qualifizierten Kabinenbesatzungsmitglieder.

Gleichzeitig wurden sowohl Puls als auch Sauerstoffsättigung der Probanden vor Beginn und nach Abschluss des jeweiligen Tests gemessen. Diese Resultate waren unauffällig, auch bezüglich des Vergleichs zwischen den beiden verwendeten PBE-Modellen.

Die an den Versuchen beteiligten sechs Kabinenbesatzungsmitglieder füllten zusätzlich einen Fragenkatalog mit qualitativen Bewertungskriterien zu folgenden Elementen aus:

- Bewertung der PBE bezüglich genereller Handhabung, Öffnen der Verpackung, Aufsetzen und Aktivierung, Hitzeentwicklung, Atmung, Passform und Tragekomfort;
- Benötigte Kraft zum Öffnen, Aufsetzen und Aktivieren der PBE;
- Sichtfeld, Kommunikationsfähigkeit und Anstrengung sowie Tragekomfort bei der Verwendung der PBE.

Die Resultate dieser empirischen Erhebung zur PBE 1 sind in der nachfolgenden Grafik zusammengefasst dargestellt (vgl. Abbildung 7).

	schwierig					einfach				
Öffnen, Aufsetzen und Aktivieren der PBE 1	1	2	3	3.7	5	6	7	8	9	10
Benutzung der PBE 1	sehr schlecht					sehr gut				
• Tragekomfort	1	2	3	4.3	5	6	7	8	9	10
• Atmung	1	2	3	3.8	5	6	7	8	9	10
• Kommunikation	1	2	3.2	4	5	6	7	8	9	10
• Sichtfeld	1	2	3	4	5	6	7	7.8	9	10
• Hitzeentwicklung	1	2	3	4.3	5	6	7	8	9	10

Abbildung 7: Qualitative Bewertung der PBE 1 durch die sechs zufällig ausgewählten, geschulten und qualifizierten Kabinenbesatzungsmitglieder, die an den beiden Versuchsreihen teilnahmen. Die schwarz hervorgehobenen Werte bezeichnen den Durchschnittswert aus allen Fragenkatalogen.

Während der Versuche zeigte sich bei mehreren PBE 1, dass diese nach dem Öffnen der Vakuumverpackung an der Verpackung haften blieben. Nach der Entnahme aus der Verpackung hafteten die Oberflächen der gefalteten PBE 1 aneinander. Aus diesen Gründen bereiteten die Entnahme aus der Verpackung und das Entfalten der PBE 1 Schwierigkeiten.

Aus den Versuchsreihen ergab sich auch, dass den Probanden die Verwendung der PBE 1 generell mehr Schwierigkeiten bereitete als die Verwendung der PBE 2. Beispielsweise liess sich die Verpackung der PBE 2 intuitiver öffnen, der Tragekomfort der PBE 2 war besser, die Kommunikation einfacher und die Hitzeentwicklung geringer.

1.16.2 Befunde an den während der Versuche verwendeten PBE 1

Bei den während der Versuchsreihen verwendeten elf PBE 1 (vgl. Kapitel 1.16.1) traten teilweise technische Defekte auf:

- Eine PBE wies eine zerbrochene Frontscheibe aus Polycarbonat auf, was bereits durch die ungeöffnete Vakuumverpackung ersichtlich war (vgl. Abbildung 8).
- Bei zwei weiteren PBE wurden nach dem Öffnen der Vakuumverpackung Risse in der Frontscheibe aus Polycarbonat festgestellt.
- Bei zwei PBE waren die Chlorsäurezünder (*chlorate candle*) nicht aktiviert worden. Der Grund dafür liess sich nicht zweifelsfrei eruieren. Durch starkes Ausatmen in die Mund-Nase-Maske konnten die Probanden die PBE jeweils dennoch in Betrieb nehmen.



Abbildung 8: Unversehrte Vakuumverpackung mit erkennbarem Riss in der Frontscheibe der PBE (linkes Bild, rote Pfeile); gleicher Riss nahe der Mund-Nasen-Maske bei der ausgedruckten PBE (rechtes Bild, rote Pfeile).

1.16.3 Versuche des PBE-Herstellers

Der PBE-Hersteller leitete eine interne Untersuchung ein, um die Ursachen für die zerbrochenen Frontscheiben aus Polycarbonat und das Aneinanderhaften der Oberflächen der gefalteten PBE nach der Entnahme aus der Vakuumverpackung zu eruieren.

Aus dieser Untersuchung ergaben sich unter anderem folgende Erkenntnisse:

- Mit grosser Wahrscheinlichkeit war umweltbedingte Spannungsrissbildung (*Environmental Stress Cracking* – ESC)¹⁶ ursächlich für die Risse in den Frontscheiben.
- Wurden die PBE im Labor über einen längeren Zeitraum (2 bis 22 Tage) stärkerer Hitzeeinwirkung (85 °C) ausgesetzt, führte dies aufgrund Aneinanderhaftens der PBE zu Schwierigkeiten beim Herausnehmen der Haube aus der Vakuumverpackung und zu Verformungen und Haarrissen auf der Frontscheibe.¹⁷
- Es ist nicht möglich, eine PBE zuverlässig auf Rissbildung in der Frontscheibe aus Polycarbonat zu überprüfen, wenn sich die PBE in der versiegelten Vakuumverpackung befände.

1.17 Angaben zu verschiedenen Organisationen und deren Führung

1.17.1 Flugbetriebsunternehmen

Das Flugbetriebsunternehmen führte mit allen Kabinenbesatzungsmitgliedern ein jährlich wiederkehrendes, dreitägiges Sicherheits- und Notfalltraining (*Emergency and Safety Equipment Training* – ESET) durch, das unter anderem die Verwendung der PBE beinhaltete. Das Training in Bezug auf den Einsatz einer PBE bestand aus Unterricht im Klassenzimmer, praktischen Übungen im Brandbekämpfungsübungsraum und einem Abschlusstest.

Bei den PBE, die während der praktischen Übungen verwendet wurden, handelte es sich um wiederverwendbare Attrappen (nachfolgend «PBE-Attrappe» genannt), die nicht mit den zur Aufbereitung der Atemluft notwendigen Komponenten ausgestattet sind und die eine abweichende Mund-Nasen-Maske aufweisen. Die PBE-Attrappen waren jeweils bereits ausgepackt und geöffnet und mussten vom Trainee lediglich auf den Kopf aufgesetzt und festgezogen werden, bevor mit der Brandbekämpfung begonnen wurde. Die Kabinenbesatzungsmitglieder mussten demnach die PBE weder aus der Aufbewahrungsbox entnehmen noch mussten sie die Vakuumverpackung öffnen.

1.18 Zusätzliche Angaben

1.18.1 Weitere ähnlich gelagerte Zwischenfälle

Am 30. August 2023 kam es bei einem Flug mit einem Airbus A220, der vom gleichen Flugbetriebsunternehmen wie im vorliegenden Fall betrieben wurde, zu

¹⁶ Wird ein Kunststoff unterhalb seiner Streckgrenze mechanisch belastet, so können nach einer bestimmten Zeitspanne, die sehr lange sein kann, Spannungsrisse auftreten. Die gleichzeitige Beanspruchung durch ein chemisches Medium kann zu einer drastischen Verkürzung dieser Zeitspanne bis hin zum Bruch führen. Dieses Phänomen wird als umweltbedingte Spannungsrissbildung (*Environmental Stress Cracking* – ESC) bezeichnet.

¹⁷ Diese Tests gingen über die Qualifikationsanforderungen des Flugzeugherstellers für den normalen Betrieb des Flugzeuges hinaus: Gemäss diesen muss die Betriebstemperatur dauerhaft zwischen -15 °C und 49 °C liegen. Zudem darf die Funktion von Flugzeugsystemen und -ausrüstungen nach 12-stündiger Einwirkung niedriger resp. hoher Temperaturen am Boden (*ground survival temperature*) von -55 °C und 85 °C nicht beeinträchtigt werden (vgl. *Aviation Standard* RTCA DO-160).

einem Zwischenfall mit Geruchsentwicklung in der Kabine. Alle Kabinenbesatzungsmitglieder setzten eine PBE auf, bei denen es sich um baugleiche Modelle wie im vorliegenden Fall handelte (PBE 1, vgl. Kapitel 1.6.2.3.2). Aus den Erlebnisberichten ist erkennbar, dass es beim Auspacken der PBE generell zu einer «Schrecksekunde» (*startle moment*) kam, da die Kabinenbesatzungsmitglieder vorher noch nie eine PBE selber ausgepackt hatten. Zudem berichtete ein Kabinenbesatzungsmitglied von erheblichen Schwierigkeiten beim Öffnen der Vakuumverpackung der PBE 1.

Am 25. März 2024 kam es bei einem anderen Flugbetriebsunternehmen mit dem Airbus A340-313 zu einem Zwischenfall auf einem geplanten Linienflug von Cartagena (SKCG), Kolumbien, nach Zürich. Kurz nach dem Start entwickelte sich in der Kabine Rauch, worauf die Cockpitbesatzung nach 23 Minuten Flugzeit eine Ausweichlandung in Baranquilla (SKBQ), Kolumbien, ausführte. Der schwere Vorfall wird von der kolumbianischen Sicherheitsuntersuchungsstelle untersucht (vgl. [Notification SUST](#)). Während dieses Fluges verwendeten mehrere Kabinenbesatzungsmitglieder eine PBE. Bei diesen PBE handelte es sich um baugleiche Modelle wie im vorliegenden Fall (PBE 1). Aus den Erlebnisberichten der Kabinenbesatzungsmitglieder ist erkennbar, dass die Verwendung der PBE 1 mit Schwierigkeiten verbunden war und die Kommunikation mit aufgesetzter PBE 1 kaum möglich war.

Keine der bei diesen Zwischenfällen verwendeten PBE 1 wurde als beschädigt oder funktionsuntüchtig gemeldet.

1.19 Nützliche oder effektive Untersuchungstechniken

Nicht betroffen

2 Analyse

2.1 Technische Aspekte

2.1.1 Geruchsentwicklung im Cockpit und in der Flugzeugkabine

Beim Rollvorgang zur Startpiste und während des nachfolgenden Flugverlaufs trat ein ungewöhnlicher Geruch im Cockpit und in der Flugzeugkabine auf. Technische Abklärungen insbesondere an der Zapfluftanlage ergaben keine Hinweise darauf, woher dieser Geruch hätte stammen können.

2.1.2 Rauchschutzhauben

2.1.2.1 PBE des Herstellers Collins Aerospace mit Teilenummer 119003-21

Während des schweren Vorfalles setzten sieben Kabinenbesatzungsmitglieder eine Rauchschutzhaube (*Protective Breathing Equipment* – PBE) ein. Sie berichteten von erheblichen Schwierigkeiten beim Gebrauch dieser PBE, sowohl beim Auspacken und der Inbetriebnahme als auch während des späteren Gebrauchs. Bei den PBE handelte es sich um ein Modell des Herstellers Collins Aerospace mit der Teilenummer 119003-21 (PBE 1, vgl. Kapitel 1.6.2.3.2).

Zwei der eingesetzten PBE wiesen technische Defekte auf (vgl. Kapitel 1.6.2.3.5), die sich nicht auf eine unsachgemässe Handhabung der Hauben zurückführen liessen. Bei einer dieser PBE war die Frontscheibe zerbrochen, bei einer zweiten riss ein seitlicher Halteriemen während des Festziehens der PBE.

Bei den nachfolgend durchgeführten Versuchen in einer simulierten Testumgebung wurden weitere elf baugleiche PBE eingesetzt. Fünf dieser PBE wiesen technische Defekte auf (vgl. Kapitel 1.6.2): Die Frontscheibe einer PBE war bereits in der versiegelten Vakuumverpackung sichtbar zerbrochen. Bei zwei weiteren PBE waren nach der Entnahme aus der Verpackung Risse in der Frontscheibe ersichtlich. Zwei weitere PBE liessen sich nicht wie vorgesehen in Betrieb nehmen, da der Chlorsäurezünder nicht auslöste.

Solche technische Defekte verursachen unter anderem folgende Probleme:

- Beschädigungen in der Frontscheibe einer PBE wie ein Riss oder ein Bruch können dazu führen, dass giftige Gase oder Rauch aus der Umgebungsluft in die Haube gelangen können. Der PBE-Träger atmet systembedingt über das Einatmungsventil (*inhalation valve*) der Mund-Nasen-Maske die Luft aus dem Inneren der Haube ein und damit auch die giftigen Gase (vgl. Kapitel 1.6.2.3.2, Abbildung 2). Zudem kann Rauch, der sich im Innern der Haube befindet, die Sichtverhältnisse beeinträchtigen und Irritationen in den Augen und auf der Gesichtshaut hervorrufen.
- Versagt der Chlorsäurezünder bzw. kann dieser nicht aktiviert werden, dann füllt sich die PBE nach dem Aufsetzen nicht wie vorgesehen mit einer initialen Sauerstoffmenge und das Innere der Haube wird nicht aufgeblasen resp. nicht gespült. Damit steht dem PBE-Träger kein initiales sauerstoffgesättigtes Atemvolumen zur Verfügung, sondern nur die sich in der Haube befindliche Umgebungsluft. Der Träger kann den Sauerstoff anschliessend nur unter eigener Ausatmung über das KO₂-Behältnis generieren. Zudem können Rauch und damit potenziell giftige Gase im Inneren der Haube verbleiben, die eigentlich durch den initialen Überdruck nach aussen gespült worden wären.
- Gerissene Halteriemen führen einerseits dazu, dass die PBE und damit die Mund-Nase-Maske nicht passgenau am Kopf festgezogen werden kann. Dadurch kann es sein, dass nicht die gesamte ausgeatmete Luft dem KO₂-

Behältnis zugeführt wird und dadurch der Prozess zur Generation von Sauerstoff beeinträchtigt ist. Andererseits kann mit gerissenem Halteriemen der Chlorsäurezünder nicht wie vorgesehen ausgelöst werden.

Zusammengefasst funktionierten sieben der insgesamt achtzehn eingesetzten PBE nicht wie vorgesehen, wodurch ein sicherer und effizienter Einsatz der PBE verunmöglicht wurde. Dieses offensichtliche Defizit, notabene waren mehr als ein Drittel der eingesetzten PBE funktionsuntüchtig oder nur bedingt einsetzbar, zeigt, dass Anpassungen beim Design, bei der Herstellung oder bei der Instandhaltung dieser PBE notwendig sind.

Die benötigte Zeitdauer zum Aufsetzen der PBE betrug bei den durchgeführten Versuchen (vgl. Kapitel 1.16.1) im Durchschnitt 78 Sekunden bei einem Minimalwert von 41 Sekunden und einem Maximalwert von 121 Sekunden. Das Auspacken und Entfalten dauerten dabei durchschnittlich 52 Sekunden. Dies deckt sich mit den Erfahrungen der Kabinenbesatzungsmitglieder, die beim realen Einsatz mit PBE während des vorliegend untersuchten schweren Vorfalls resp. den vergleichbaren weiteren Zwischenfällen gemacht wurden. Insbesondere zeigte sich, dass die Entnahme der PBE aus der Vakuumverpackung und das Entfalten der PBE Schwierigkeiten bereiteten und daher übermassig viel Zeit beanspruchten, da die PBE an der Vakuumverpackung haftete und die Oberflächen der PBE im gefalteten Zustand aneinander hafteten. Gemäss Vorgaben der Aufsichtsbehörden (vgl. Kapitel 1.6.2.3.1) müssen PBE innerhalb von 15 Sekunden einfach aus der Verpackung entnommen, entfaltet, aufgesetzt und aktiviert werden können. Im vorliegenden Fall wurde diese Zeit um ein Mehrfaches überschritten.

Der Hersteller der PBE merkte an, dass es bei PBE, die über einen längeren Zeitraum stärkerer Hitzeeinwirkung ausgesetzt waren, aufgrund des Haftens der PBE an der Vakuumverpackung zu Schwierigkeiten beim Herausnehmen der Haube aus der Verpackung gekommen war (vgl. Kapitel 1.16.3). Bei diesen Versuchen, die der Hersteller vornahm, waren die PBE allerdings erheblich länger als die gemäss Qualifikationsanforderungen des Flugzeugherstellers für den normalen Betrieb des Flugzeuges vorgeschriebene Zeit von 12 h einer Temperatur von 85 °C ausgesetzt. Bei den im Rahmen der Sicherheitsuntersuchung durchgeführten Versuchsreihen (vgl. Kapitel 1.16.1) wurden auch PBE verwendet, die aus Lagerbeständen des Flugbetriebsunternehmens stammten und deshalb vorgängig kaum je solchen Temperaturen ausgesetzt waren.

Diverse Kabinenbesatzungsmitglieder berichteten von erheblichen Schwierigkeiten im Umgang mit aufgesetzter PBE, insbesondere bei der Kommunikation mit anderen Personen (vgl. Kapitel 1.16.1). Offenbar verhinderte die PBE, dass man sich problemlos untereinander verständigen konnte. Dies stellt ein erhebliches Sicherheitsdefizit dar, da es in einer Notfallsituation von zentraler Bedeutung ist, dass Besatzungsmitglieder verbal miteinander kommunizieren können.

Der Einsatz einer PBE erfolgt primär beim Auftreten von Feuer oder Rauch in der Flugzeugkabine mit möglichen Giftgasen, also in einer potenziell gefährlichen, zeitkritischen und komplexen Notfallsituation. Es ist deshalb von grosser Wichtigkeit, dass Schutzgeräte keine Defekte aufweisen und schnell, einfach und ohne Probleme von den Besatzungsmitgliedern verwendet werden können. Aus diesem Grund spricht die SUST eine Sicherheitsempfehlung (vgl. Kapitel 4.1.1.2) und einen Sicherheitshinweis (vgl. Kapitel 4.2.1.2) aus.

Der Hersteller der PBE weist darauf hin, dass eine PBE mit beschädigter Vakuumverpackung ein latentes Brandrisiko darstellen kann (vgl. Kapitel 1.6.2.3.4). Auch unter diesem Aspekt erweisen sich die Instandhaltungsmassnahmen als unzureichend, da sich die Unversehrtheit der Vakuumverpackung der PBE durch die durchsichtige Frontabdeckung der geschlossenen Aufbewahrungsbox nicht mit

Sicherheit feststellen lässt. Es ist insbesondere verwunderlich, dass bei den im monatlichen Rhythmus durchgeführten Arbeiten durch den Instandhaltungsbetrieb (vgl. Kapitel 1.6.2.3.4) lediglich die gleiche oberflächliche Sichtkontrolle gefordert wird, wie sie bei der Vorflugkontrolle durch die Besatzung vor jedem Flug gemacht wird. Bei diesen monatlichen Instandhaltungsarbeiten liesse sich beispielsweise mit dem Öffnen der Aufbewahrungsbox und dem Herausnehmen der verpackten PBE sicherstellen, dass die Vakuumverpackung wirklich unversehrt ist und keine sichtbaren Defekte an der PBE wie beispielsweise eine gebrochene Frontscheibe vorliegen.

Diese Überlegungen zeigen, dass Anpassungen bei der Instandhaltung der PBE notwendig sind, und unterstreichen die Wichtigkeit der Sicherheitsempfehlung und des Sicherheitshinweises.

2.1.2.2 Zulassung und Instandhaltung von PBE

Versuche mit einem technisch andersartigen PBE-Modell (PBE 2, vgl. Kapitel 1.16.1) zeigen, dass auch bei dieser PBE die zum Auspacken, Entfalten, Aufsetzen und Aktivieren benötigte Zeit um ein Mehrfaches höher ausfällt, als dies gemäss Zulassungskriterien einer PBE vorgesehen (15 Sekunden) und aus sicherheitstechnischer Sicht statthaft wäre. Schwer nachvollziehbar ist, dass zwei gängige PBE-Modelle zulassungsfähig waren, obwohl sie ein derart offensichtliches Defizit aufweisen. Es liegt deshalb die Vermutung nahe, dass der Zulassungsprozess von PBE (vgl. Kapitel 1.6.2.3.1) grundsätzliche Defizite enthält, die bisher nicht erkannt wurden.

Zudem findet bei in Gebrauch stehenden PBE offensichtlich keine ausreichende, systematische Überprüfung statt, die Aufschluss über die Zuverlässigkeit resp. Ausfallrate einer PBE während ihrer Lebensdauer geben würde. Da PBE nur in Notfallsituationen verwendet werden, die erfahrungsgemäss nur sehr selten auftreten, können technische Defekte über längere Zeit oder sogar für immer unentdeckt bleiben. Um dieses Problem zu lösen, liessen sich beispielsweise PBE nach Ablauf ihrer Lebensdauer vom Hersteller oder auch durch die Flugbetriebsunternehmen auf ihre Funktionstüchtigkeit hin untersuchen, bevor sie entsorgt würden.

Aus obengenannten Gründen spricht die SUST eine zweite Sicherheitsempfehlung (vgl. Kapitel 4.1.2.2) aus.

2.2 Menschliche und betriebliche Aspekte

2.2.1 Geruchswahrnehmungen

Die Cockpitbesatzung nahm während des Rollens zur Startbahn erstmals eine ungewöhnliche Geruchsentwicklung wahr. Die Schlussfolgerung, dass es sich aufgrund der hochsommerlichen Lufttemperatur an diesem Tag um Gerüche vom erhitzten Rollwegbelag handelte, ist naheliegend und schlüssig. Der Entscheid, den Flug weiterzuführen und zu starten, ist deshalb nachvollziehbar.

Während des initialen Steigfluges war der Geruch stark wahrnehmbar, verflüchtigte sich jedoch in der Folge. Während des Reisefluges verstärkte sich die Geruchsbildung erneut, worauf sich verschiedene Kabinenbesatzungsmitglieder über körperliche Beschwerden zu beklagen begannen. Die Cockpitbesatzung entschied sich in der Folge zu einer Ausweichlandung auf einem geeigneten Flugplatz. Dabei setzte sie die Sauerstoffmasken auf, da der Ursprung des Geruchs unbekannt blieb, und führte die geeigneten Notfallverfahren durch. Dieses Vorgehen war der Situation angepasst.

Der vorliegende Fall wie auch viele andere Zwischenfällen mit Dampf- (*fumes*) oder Geruchsbildung (*smell*) zeigen exemplarisch, dass eine abschliessende

Beurteilung der Situation sehr schwierig ist, da im Allgemeinen die Ursache der Dämpfe und Gerüche nicht eruiert werden kann. Aus diesem Grund muss eine Besatzung a priori vom schlechtesten plausiblen Fall ausgehen, beispielsweise dass sich ein Feuer unerkannt und unbekannten Ursprungs entwickeln könnte. Subtile Warnsignale, wie die Wahrnehmung körperlicher Symptome bei einzelnen Besatzungsmitgliedern oder Passagieren, müssen deshalb immer ernst genommen werden, auch wenn keine offensichtlichen Ursachen für diese Symptome festgestellt werden können.

2.2.2 Rauchschutzhauben

Das initiale und das wiederkehrende Training der Besatzungsmitglieder, die bei der Ausübung ihrer Arbeit situationsabhängig mit dem Einsatz einer PBE vertraut sein müssen, findet mit PBE-Attrappen (vgl. Kapitel 1.17.1) statt. Diese PBE-Attrappen sind nicht verpackt und befinden sich in geöffnetem Zustand bereit zum Aufsetzen auf den Kopf.

Unter diesen Voraussetzungen kann der wichtige erste Teil der Anwendung, nämlich die Entnahme der PBE aus der Vakuumverpackung und das Entfalten der PBE vor dem Aufsetzen auf den Kopf, nicht trainiert werden. Die während der Sicherheitsuntersuchung durchgeführten Versuche zeigten aber, dass insbesondere das Auspacken der PBE aus der Vakuumverpackung und das anschliessende Entfalten der PBE erhebliche Schwierigkeiten bereitete (vgl. Kapitel 1.16.1). Zudem wird mit den PBE-Attrappen nicht die starke Hitzeentwicklung nach der Aktivierung und die erschwerte Atmung mit aufgesetzter PBE simuliert.

Da auch die Trainer in der Regel zu keinem Zeitpunkt in ihrer beruflichen Laufbahn Erfahrungen mit echten PBE sammeln, können sie nicht auf eigene Erlebnisse und auf selbst erlebte Schwierigkeiten im Umgang mit PBE zurückgreifen. Entsprechend können sie auch die Trainees diesbezüglich nicht gezielt sensibilisieren.

In einer Notfallsituation sind Besatzungsmitglieder einem erhöhten Stress ausgesetzt. Besatzungsmitglieder, die eine reale Notfallsituation miterlebten, berichteten beispielsweise von einer «Schrecksekunde» (*startle moment*) im Moment, in dem sie eine PBE in Gebrauch nehmen mussten. Mit einem entsprechenden Training kann diesen Effekten entgegengewirkt werden.

Aus allen oben genannten Gründen sollte das Training mit PBE so realitätsnah wie möglich gestaltet werden, damit Besatzungsmitglieder im Notfall auf diese Erfahrungen aus dem Training zurückgreifen können. Die SUST spricht eine entsprechende Sicherheitsempfehlung (vgl. Kapitel 4.1.3.2) und einen diesbezüglichen Sicherheitshinweis (vgl. Kapitel 4.2.2.2) aus.

Während des schweren Vorfalls wurden einige PBE deutlich länger als die gemäss Zulassungskriterien vorgesehene Dauer von 15 Minuten getragen. Per Design ist die Versorgung mit Atemluft aber nur in diesem Zeitraum sichergestellt. Irgendwann nach Ablauf der 15 Minuten ist das KO₂ im Behältnis der PBE aufgebraucht und der chemische Prozess generiert keinen Sauerstoff mehr (vgl. Kapitel 1.6.2.3.2). Für den Träger dieser PBE sollte dies dadurch erkennbar sein, dass die Temperatur und Luftfeuchtigkeit in der Rauchschutzhaube ansteigt und sich das Atmen erschwert. Wenn die PBE in dieser Phase nicht abgenommen wird, kann es zu einem Sauerstoffmangel kommen.

3 Schlussfolgerungen

3.1 Befunde

3.1.1 Technische Aspekte

- Das Flugzeug war zum Verkehr nach Instrumentenflugregeln (*Instrument Flight Rules* – IFR) zugelassen.
- Sowohl Masse als auch Schwerpunkt des Flugzeuges befanden sich zum Zeitpunkt des schweren Vorfalls innerhalb der gemäss Luftfahrzeugflughandbuch (*Aircraft Flight Manual* – AFM) zulässigen Grenzen.
- Die Untersuchung ergab keine Anhaltspunkte für vorbestehende, technische Mängel am Luftfahrzeug selbst, die den schweren Vorfall hätten verursachen oder beeinflussen können.
- Von den sieben während des Fluges verwendeten Rauchschutzhauben (*Protective Breathing Equipment* – PBE) wiesen zwei PBE technische Defekte auf: Bei einer PBE war die Frontscheibe zerbrochen, bei einer weiteren PBE riss ein seitlicher Halteriemen beim Festziehen der Haube.
- Während der Sicherheitsuntersuchung wurden während zweier Versuchsreihen elf baugleiche PBE eingesetzt. Fünf dieser PBE wiesen technische Defekte auf oder funktionierten nicht wie vorgesehen: Bei einer PBE war die Frontscheibe zerbrochen, bei zwei weiteren PBE wurden Risse in der Frontscheibe festgestellt und bei zwei PBE war der Chlorsäurezünder für die Bereitstellung der initialen Atemluft nicht aktiviert worden.
- Sowohl die Kabinenbesatzungsmitglieder, die in den schweren Vorfall involviert waren, als auch die Probanden während der Versuchsreihen bekundeten erhebliche Schwierigkeiten mit der Handhabung der PBE: Das Auspacken, Entfalten, Aufsetzen und Aktivieren der PBE dauerte deutlich länger als vorgesehen, die Kommunikation untereinander war schwierig und die Atmung mit aufgesetzter PBE deutlich erschwert.
- Nach Ende der Lebensdauer wurden die PBE entsorgt, ohne dass sie jemals, auch nicht vor der Entsorgung, einer systematischen Überprüfung ihrer Funktionstüchtigkeit zugeführt wurden.

3.1.2 Besatzung

- Die Cockpitbesatzung besass die für den Flug notwendigen Ausweise.
- Es liegen keine Anhaltspunkte für vorbestehende gesundheitliche Beeinträchtigungen der Piloten oder Kabinenbesatzungsmitglieder vor, die den schweren Vorfall hätten beeinflussen können.

3.1.3 Verlauf des schweren Vorfalls

- Der Airbus A330-343, eingetragen als HB-JHL, startete am 11. Juli 2023 um 16:07 UTC von der Piste 16 in Zürich (LSZH) für einen Linienflug nach Newark Liberty International (KEWR).
- Es befanden sich 2 Piloten, 10 Kabinenbesatzungsmitglieder und 223 Passagiere an Bord.
- Während des Reisefluges trat ein unüblicher Geruch in der Flugzeugkabine auf.
- Bei mehreren Kabinenbesatzungsmitgliedern zeigten sich daraufhin körperliche Beschwerden wie Augenbrennen und Kopfschmerzen.

- Die Cockpitbesatzung setzte die Sauerstoffmasken auf und setzte um 17:05 UTC eine Dringlichkeitsmeldung ab.
- Sieben Kabinenbesatzungsmitglieder setzten eine PBE auf, wobei einige erhebliche Schwierigkeiten mit der Anwendung der PBE hatten.
- Das Flugzeug landete nach knapp 2 Stunden Flugzeit ereignislos auf dem Ausweichflughafen Paris-Charles-de-Gaulle (LFPG).

3.1.4 Rahmenbedingungen

- Die initiale Ausbildung und das wiederkehrende Training der Besatzungsmitglieder im Umgang mit PBE fanden mit PBE-Attrappen statt. Diese PBE-Attrappen waren ausgepackt, entfaltet und bereit zum sofortigen Aufsetzen. Sie waren nicht mit den Komponenten für die Bereitstellung der Atemluft ausgerüstet.

3.2 Ursachen

Eine Sicherheitsuntersuchungsstelle muss sich zum Erreichen ihres Präventionszwecks zu Risiken und Gefahren äussern, die sich im untersuchten Zwischenfall ausgewirkt haben und die künftig vermieden werden sollten. In diesem Sinne sind die nachstehend verwendeten Begriffe und Formulierungen ausschliesslich aus Sicht der Prävention zu verstehen. Die Bestimmung von Ursachen und beitragenden Faktoren bedeutet damit in keiner Weise eine Zuweisung von Schuld oder die Bestimmung von verwaltungsrechtlicher, zivilrechtlicher oder strafrechtlicher Haftung.

Beim schweren Vorfall kam es während des Reisefluges zu einer ungewöhnlichen Geruchsentwicklung in der Flugzeugkabine, deren Ursache sich nicht ermitteln liess. Dies veranlasste die Cockpitbesatzung zum Aufsetzen der Sauerstoffmasken und mehrere Kabinenbesatzungsmitglieder zur Benutzung einer Rauchschutzhaube (*Protective Breathing Equipment* – PBE). Dabei bekundeten mehrere Kabinenbesatzungsmitglieder erhebliche Schwierigkeiten bei der Verwendung der PBE, sowohl beim Auspacken, Entfalten, Aufsetzen und Aktivieren der Geräte als auch bei deren anschliessenden Verwendung. Zudem wiesen mehrere PBE technische Defekte auf und waren deshalb nicht oder nur eingeschränkt funktionstüchtig. Dies stellt ein erhebliches Sicherheitsrisiko dar.

Zum schweren Vorfall haben folgende Faktoren beigetragen:

- Die wiederkehrenden Instandhaltungsmassnahmen waren unzureichend, weshalb die bestehenden Defekte an den PBE unentdeckt blieben.
- Das Training der Besatzungsmitglieder erfolgte ausschliesslich mit für Übungszwecke bereitgestellten PBE-Attrappen, die sich erheblich von den in einem Notfall eingesetzten, echten PBE unterscheiden. Dadurch waren den Besatzungsmitgliedern diverse Schwierigkeiten bei der Verwendung der PBE unbekannt.
- Die technische Ausgestaltung der PBE war derart, dass geschulte Kabinenbesatzungsmitglieder die PBE nicht in angemessener Zeit in Betrieb nehmen konnten. Die Zeit betrug dabei ein Mehrfaches der gemäss Zulassungskriterien vorgegebenen Zeit. Zudem war die Kommunikation mit aufgesetzter PBE stark beeinträchtigt.

4 Sicherheitsempfehlungen, Sicherheitshinweise und seit dem schweren Vorfall getroffene Massnahmen

4.1 Sicherheitsempfehlungen

Nach internationalen¹⁸ und nationalen¹⁹ Rechtsgrundlagen richten sich alle Sicherheitsempfehlungen an die Aufsichtsbehörde des zuständigen Staates. In der Schweiz ist dies das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) oder die supranationale Agentur der Europäischen Union für Flugsicherheit (*European Union Aviation Safety Agency* – EASA). Die zuständige Aufsichtsbehörde hat darüber zu entscheiden, inwiefern diese Empfehlungen umzusetzen sind. Gleichwohl sind jede Stelle, jeder Betrieb und jede Einzelperson eingeladen, im Sinne der ausgesprochenen Sicherheitsempfehlungen eine Verbesserung der Flugsicherheit anzustreben.

Die SUST veröffentlicht die Antworten des zuständigen Bundesamtes oder von ausländischen Aufsichtsbehörden unter www.sust.admin.ch und ermöglicht so einen Überblick über den aktuellen Stand der Umsetzung der entsprechenden Sicherheitsempfehlungen.

4.1.1 PBE des Herstellers Collins Aerospace mit Teilenummer 119003-21

4.1.1.1 Sicherheitsdefizit

Während des Reisefluges kam es in der Flugzeugkabine eines Airbus A330-343 zu einer ungewöhnlichen Geruchsentwicklung, was die Cockpitbesatzung zum Aufsetzen der Sauerstoffmasken und mehrere Kabinenbesatzungsmitglieder zur Benutzung einer Rauchschatzhaube (*Protective Breathing Equipment* – PBE) veranlasste. Dabei bekundeten diverse Kabinenbesatzungsmitglieder erhebliche Schwierigkeiten bei der Verwendung der PBE, sowohl beim Auspacken, Entfalten, Aufsetzen und Aktivieren der Geräte als auch bei der anschliessenden Verwendung. Zudem wiesen mehrere PBE technische Defekte auf und waren deshalb nicht oder nur eingeschränkt funktionstüchtig. Bei den PBE handelte es sich um Geräte des Herstellers Collins Aerospace mit der Teilenummer 119003-21.

Die im Rahmen der Sicherheitsuntersuchung durchgeführten Versuche zeigten, dass die hierbei verwendeten, baugleichen PBE ebenfalls technische Defekte aufwiesen, die den sicheren Einsatz der PBE beeinträchtigten. Zudem war es geschulten Besatzungsmitgliedern nicht möglich, die PBE in angemessener Zeit in Betrieb zu nehmen.

4.1.1.2 Sicherheitsempfehlung Nr. 601

Die Agentur der Europäischen Union für Flugsicherheit (*European Union Aviation Safety Agency* – EASA) sollte in Zusammenarbeit mit der Flugaufsichtsbehörde der Vereinigten Staaten (*Federal Aviation Administration* – FAA) durch geeignete Massnahmen sicherstellen, dass PBE des Hersteller Collins Aerospace mit der Teilenummer 119003-21 sowohl im Neuzustand als auch während der gesamten vorgesehenen Lebensdauer keine technischen Defizite oder Defekte aufweisen, die den Einsatz dieser PBE beeinträchtigen. Zudem müssen die PBE technisch

¹⁸ Anhang 13 der internationalen Zivilluftfahrtorganisation (*International Civil Aviation Organization* – ICAO) sowie Artikel 17 der Verordnung (EU) Nr. 996/2010 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Oktober 2010 über die Untersuchung und Verhütung von Unfällen und Störungen in der Zivilluftfahrt und zur Aufhebung der Richtlinie 94/56/EG.

¹⁹ Artikel 48 der Verordnung über die Sicherheitsuntersuchung von Zwischenfällen im Verkehrswesen (VSZV) vom 17. Dezember 2014, Stand am 1. Juli 2024 (VSZV, SR 742.161)

derart ausgestaltet werden, dass geschulte Besatzungsmitglieder die Geräte in angemessener Zeit in Betrieb nehmen können.

4.1.2 Zulassung und Instandhaltung von PBE

4.1.2.1 Sicherheitsdefizit

Während des Reisefluges kam es in der Flugzeugkabine eines Airbus A330-343 zu einer ungewöhnlichen Geruchsentwicklung, was die Cockpitbesatzung zum Aufsetzen der Sauerstoffmasken und mehrere Kabinenbesatzungsmitglieder zur Benutzung einer Rauchschtzhaube (*Protective Breathing Equipment* – PBE) veranlasste. Dabei bekundeten diverse Kabinenbesatzungsmitglieder erhebliche Schwierigkeiten beim Umgang mit der PBE, sowohl beim Auspacken, Entfalten, Aufsetzen und Aktivieren der Geräte als auch bei der anschliessenden Verwendung. Zudem wiesen mehrere PBE technische Defekte auf und waren deshalb nicht oder nur eingeschränkt funktionstüchtig.

Im Rahmen der Sicherheitsuntersuchung durchgeführte Versuche zeigten, dass die hierbei verwendeten, baugleichen PBE ebenfalls technische Defizite aufwiesen, die den sicheren Einsatz der PBE beeinträchtigten. Bei Versuchen mit einem anderen PBE-Modell traten ähnlich gelagerte Probleme auf, insbesondere was die eine angemessene Zeit für das Inbetriebnehmen der PBE anging. Die gemäss Technischen Standardanweisungen (*Technical Standard Order* – TSO) definierte Vorgabe für diese Zeit von 15 s wurde um ein Mehrfaches überschritten.

Zudem findet bei in Gebrauch stehenden PBE keine zuverlässige systematische Überprüfung statt, die Aufschluss über die Ausfallrate einer PBE während ihrer Lebensdauer geben würde. Da PBE nur in Notfallsituationen verwendet werden, die erfahrungsgemäss nur sehr selten auftreten, können technische Defekte über längere Zeit oder sogar für immer unentdeckt bleiben. Um dieses Problem zu lösen, liessen sich beispielsweise PBE nach Ablauf ihrer Lebensdauer vom Hersteller oder auch von den Flugbetriebsunternehmen auf ihre Funktionstüchtigkeit hin untersuchen, bevor sie ungeprüft entsorgt würden.

Der Einsatz einer PBE erfolgt üblicherweise beim Auftreten von Feuer oder Rauch in der Flugzeugkabine resp. bei einer ungewöhnlichen Geruchsbildung mit möglichen Giftgasen, also in einer potenziell gefährlichen, zeitkritischen und komplexen Notfallsituation. Es ist deshalb von grosser Wichtigkeit, dass Schutzgeräte keine Defekte aufweisen und schnell, einfach und ohne Probleme von den Besatzungsmitgliedern verwendet werden können.

4.1.2.2 Sicherheitsempfehlung Nr. 602

Die Agentur der Europäischen Union für Flugsicherheit (*European Union Aviation Safety Agency* – EASA) sollte in Zusammenarbeit mit der Flugaufsichtsbehörde der Vereinigten Staaten (*Federal Aviation Administration* – FAA) prüfen, ob die bestehenden Zulassungs- und Instandhaltungskriterien für PBE sowohl in technischer als auch in betrieblicher Hinsicht adäquat sind. Bei Bedarf sollten diese Kriterien angepasst werden.

4.1.3 Ausbildung betreffend Verwendung von PBE

4.1.3.1 Sicherheitsdefizit

Während des Reisefluges kam es in der Flugzeugkabine eines Airbus A330-343 zu einer ungewöhnlichen Geruchsentwicklung, was die Cockpitbesatzung zum Aufsetzen der Sauerstoffmasken und mehrere Kabinenbesatzungsmitglieder zur Benutzung einer Rauchschtzhaube (*Protective Breathing Equipment* – PBE) veranlasste. Dabei bekundeten diverse Kabinenbesatzungsmitglieder erhebliche

Schwierigkeiten beim Umgang mit der PBE, sowohl beim Auspacken, Entfalten, Aufsetzen und Aktivieren der Geräte als auch bei der anschliessenden Verwendung.

Das initiale und das wiederkehrende Training von Besatzungsmitgliedern findet in der Regel mit PBE-Attrappen statt, die nicht mit den zur Aufbereitung der Atemluft notwendigen Komponenten ausgestattet sind. Zudem sind die PBE-Attrappen bereits ausgepackt und geöffnet und müssen vom Trainee lediglich auf den Kopf aufgesetzt und festgezogen werden, bevor mit der Brandbekämpfung begonnen wird.

Wichtige Erfahrungen im Umgang mit PBE, die Trainees während der Übungen sammeln sollten, können mit dieser Übungsanlage nicht gemacht werden, insbesondere was die Entnahme der PBE aus der Vakuumverpackung und das Entfalten der PBE vor dem Aufsetzen auf den Kopf angeht. Zudem wird mit den PBE-Attrappen nicht die starke Hitzeentwicklung nach der Aktivierung und die erschwerte Atmung mit aufgesetzter PBE simuliert.

4.1.3.2 Sicherheitsempfehlung Nr. 603

Die Agentur der Europäischen Union für Flugsicherheit (*European Union Aviation Safety Agency* – EASA) sollte in Zusammenarbeit mit den nationalen Aufsichtsbehörden (*National Aviation Authorities* – NAA) sicherstellen, dass die Ausbildung von Besatzungsmitgliedern zum Umgang mit PBE alle für einen Einsatz notwendigen Elemente beinhalten. Insbesondere sollten die Funktionsweise und Schutzdauer einer PBE sowie die Indikatoren erläutert werden, wann die Sauerstoffversorgung erschöpft ist und die PBE abgenommen werden muss.

4.2 Sicherheitshinweise

Die SUST kann allgemeine sachdienliche Informationen in Form von Sicherheitshinweisen veröffentlichen²⁰, wenn eine Sicherheitsempfehlung nach der Verordnung (EU) Nr. 996/2010 nicht angezeigt erscheint, formell nicht möglich ist oder wenn durch die freiere Form eines Sicherheitshinweises eine grössere Wirkung absehbar ist.

4.2.1 PBE des Herstellers Collins Aerospace mit Teilenummer 119003-21

4.2.1.1 Sicherheitsdefizit

Während des Reisefluges kam es in der Flugzeugkabine eines Airbus A330-343 zu einer ungewöhnlichen Geruchsentwicklung, was die Cockpitbesatzung zum Aufsetzen der Sauerstoffmasken und mehrere Kabinenbesatzungsmitglieder zur Benutzung einer Rauchschtzhaube (*Protective Breathing Equipment* – PBE) veranlasste. Dabei bekundeten diverse Kabinenbesatzungsmitglieder erhebliche Schwierigkeiten beim Umgang mit der PBE, sowohl beim Auspacken, Entfalten, Aufsetzen und Aktivieren der Geräte als auch bei der anschliessenden Verwendung. Zudem wiesen mehrere PBE technische Defekte auf und waren deshalb nicht oder nur eingeschränkt funktionstüchtig. Bei den PBE handelte es sich um Geräte des Herstellers Collins Aerospace mit der Teilenummer 119003-21.

Im Rahmen der Sicherheitsuntersuchung durchgeführte Versuche zeigten, dass die hierbei verwendeten, baugleichen PBE verschiedene technische Defizite aufwiesen, die den sicheren Einsatz der PBE beeinträchtigten.

4.2.1.2 Sicherheitshinweis Nr. 66

Zielgruppe: Flugbetriebsunternehmen, welche die PBE des Herstellers Collins Aerospace mit Teilenummer 119003-21 verwenden

Flugbetriebsunternehmen sollten sich bewusst sein, dass bei den PBE des Herstellers Collins Aerospace mit der Teilenummer 119003-21 technische Defizite bestehen können, die mit den aktuellen Instandhaltungsmassnahmen unentdeckt bleiben können.

4.2.2 Ausbildung betreffend Verwendung von PBE

4.2.2.1 Sicherheitsdefizit

Während des Reisefluges kam es in der Flugzeugkabine eines Airbus A330-343 zu einer ungewöhnlichen Geruchsentwicklung, was die Cockpitbesatzung zum Aufsetzen der Sauerstoffmasken und mehrere Kabinenbesatzungsmitglieder zur Benutzung einer Rauchschtzhaube (*Protective Breathing Equipment* – PBE) veranlasste. Dabei bekundeten diverse Kabinenbesatzungsmitglieder erhebliche Schwierigkeiten beim Umgang mit der PBE, sowohl beim Auspacken, Entfalten, Aufsetzen und Aktivieren der Geräte als auch bei der anschliessenden Verwendung.

Das initiale und das wiederkehrende Training von Besatzungsmitgliedern findet in der Regel mit PBE-Attrappen statt, die nicht mit den zur Aufbereitung der Atemluft notwendigen Komponenten ausgestattet sind. Zudem sind die PBE-Attrappen bereits ausgepackt und geöffnet und müssen vom Trainee lediglich auf den Kopf aufgesetzt und festgezogen werden, bevor mit der Brandbekämpfung begonnen wird.

²⁰ Artikel 56 der Verordnung über die Sicherheitsuntersuchung von Zwischenfällen im Verkehrswesen (VSZV) vom 17. Dezember 2014, Stand am 1. Juli 2024 (VSZV, SR 742.161)

Wichtige Erfahrungen im Umgang mit PBE, die Trainees während der Übungen sammeln sollten, können mit dieser Übungsanlage nicht gemacht werden, insbesondere was die Entnahme der PBE aus der Vakuumverpackung und das Entfalten der PBE vor dem Aufsetzen auf den Kopf angeht. Zudem wird mit den PBE-Attrappen nicht die starke Hitzeentwicklung nach der Aktivierung und die erschwerte Atmung mit aufgesetzter PBE simuliert.

4.2.2.2 Sicherheitshinweis Nr. 67

Zielgruppe: Flugbetriebsunternehmen, die PBE verwenden; Ausbildungsstätten, die Ausbildung und Training für den Einsatz von PBE durchführen

Bei der Aus- und Weiterbildung zum Einsatz von PBE sollte berücksichtigt werden, dass die beim Training verwendeten PBE-Attrappen andere Eigenschaften aufweisen als die echten PBE. Es sollten PBE-Attrappen verwendet werden, die realitätsnahe Eigenschaften aufweisen und die, wie die echten PBE, vor dem Aufsetzen auf den Kopf zuerst aus einer Verpackung entnommen und entfaltet werden müssen. Auf die Schwierigkeiten bei der Entnahme der PBE aus der Vakuumverpackung und beim Entfalten der PBE vor dem Aufsetzen auf den Kopf sollte in jedem Fall hingewiesen werden. Zudem sollten die Trainees darauf sensibilisiert werden, dass die PBE nach der Aktivierung einer starken Hitzeentwicklung ausgesetzt sind und die Atmung und Kommunikation mit aufgesetzter PBE erschwert sind. Die Trainingsprozesse sollten entsprechend angepasst oder erweitert werden.

4.3 Seit dem schweren Vorfall getroffene Massnahmen

Die der SUST bekannten Massnahmen werden im Folgenden kommentarlos aufgeführt.

4.3.1 Flugbetriebsunternehmen

Das Flugbetriebsunternehmen publizierte nach dem schweren Vorfall neben diversen weiteren Informationen ein webbasiertes Training (*web based training* – WBT) zur Verwendung der PBE des Herstellers Collins Aerospace mit Teilenummer 119003-21, das von allen Besatzungsmitgliedern zwingend absolviert werden musste. Dieses WBT beinhaltete Informationen zur korrekten Verwendung der PBE und den damit verbundenen Schwierigkeiten.

Aufgrund der während der Versuchsreihen (vgl. Kapitel 1.16.1) gewonnenen Erkenntnisse ersetzt das Flugbetriebsunternehmen zudem aktuell alle in seinen Verkehrsflugzeugen installierten PBE des Herstellers Collins Aerospace mit Teilenummer 119003-21 durch ein anderes PBE-Modell. Diese Umrüstung soll bis zum ersten Quartal 2025 abgeschlossen sein. Eine Erhebung vom 19. Juli 2023 zeigte, dass das Flugbetriebsunternehmen zu diesem Zeitpunkt im Besitz von 872 Stück der betroffenen PBE war; davon waren 860 Stück in Luftfahrzeugen eingebaut.

4.3.2 Bundesamt für Zivilluftfahrt

Das BAZL teilte folgendes mit: «*Der Wechsel der betroffenen PBE Masken wurde durch die zuständige Sektion des BAZL proaktiv begleitet.*»

4.3.3 Hersteller der PBE mit Teilenummer 119003-21

Der Hersteller der PBE mit Teilenummer 119003-21 führte auf Grund des schweren Vorfalls nebst der Teilnahme an der zweiten Versuchsreihe (vgl. Kapitel 1.16.1) eigene Tests durch (vgl. Kapitel 1.16.3). Betreffend getroffene Massnahmen führte

der Hersteller der PBE im «*Investigation Protocol*» vom 3. März 2024 unter anderem folgendes auf (Original in Englisch):

«Update PBE User Manual and Training Instructions 2499-200 to provide additional guidance on donning and the expected differences between Training Units and Functional Units (smell, temperature, breathing resistance, etc.). – Action Complete.

Update the Manufacturing and Quality Instructions with more visuals and in-process pass/fail inspection criteria, redo training for all operators on the line. – Action Complete.».

Zusätzlich gab der Hersteller der PBE im Zusammenhang mit dem im Flugbetriebsunternehmen vorgenommenen Austausch aller PBE mit einem anderen PBE-Modell an: *«All replacement PBE were provided to the airlines by Collins Aerospace by March 1, 2024, in support of this retrofit campaign. ».*

Dieser Abschlussbericht wurde von der Kommission der Schweizerischen Sicherheitsuntersuchungsstelle SUST genehmigt (Art. 10 lit. h der Verordnung über die Sicherheitsuntersuchung von Zwischenfällen im Verkehrswesen vom 17. Dezember 2014).

Bern, 27. Mai 2025

Schweizerische Sicherheitsuntersuchungsstelle