



# **SICHERE STANDORTE VON AUSBLASE-EINRICHTUNGEN FÜR SAUERSTOFF UND INERTE GASE**

IGC Document 154/09/D

***EUROPEAN INDUSTRIAL GASES ASSOCIATION***

AVENUE DES ARTS 3-5 • B-1210 BRUSSELS  
Tel: +32 2 217 70 98 • Fax: +32 2 219 85 14  
E-mail: [info@eiga.eu](mailto:info@eiga.eu) • Internet: <http://www.eiga.eu>

***IGV INDUSTRIEGASEVERBAND e. V.***

Komödienstr. 48 • D - 50667 KÖLN  
Tel: +49 221 9125750 • Fax: +49 221 91257515  
E-mail: [iKontakt@Industriegaseverband.de](mailto:iKontakt@Industriegaseverband.de)  
Internet: <http://www.industriegaseverband.de>



# SICHERE STANDORTE VON AUSBLASE-EINRICHTUNGEN FÜR SAUERSTOFF UND INERTE GASE

## Erstellt von AHG 3-8:

Roger Argent	AIR PRODUCTS
Lorenzo Beretta	SOL
Alfredo Delgado	PRAXAIR
Alexandre Morainville	AIR LIQUIDE
Harald Weckler	LINDE GROUP

Dieses Dokument ist die deutsche Übersetzung des Original-EIGA-Dokumentes 154/09 E (in englischer Sprache), die mit Erlaubnis der EIGA erstellt wurde.

Sollte der Text der deutschen Übersetzung teilweise unklar sein, so gilt in jedem Fall verbindlich der englischsprachige Text des EIGA-Originaldokumentes.

Die Informationen, die vom IGV herausgegeben werden, wurden mit größter Sorgfalt auf Basis der zur Zeit der Herausgabe vorhandenen Kenntnisse zusammengestellt. Der IGV schließt sich voll inhaltlich den nachfolgenden Haftungsausschlussklauseln der EIGA an.

### Haftungsausschlussklauseln

Alle technischen Veröffentlichungen der EIGA oder im Namen der EIGA einschließlich Verfahrensbestimmungen, Sicherheitsvorschriften und aller sonstigen technischen Informationen, die in den Veröffentlichungen enthalten sind, stammen aus Quellen, die als zuverlässig betrachtet werden, und basieren auf technischen Informationen und Erfahrungen, die zum Zeitpunkt ihrer Veröffentlichung von EIGA-Mitgliedern und anderen erhältlich waren.

Zwar empfiehlt die EIGA ihren Mitgliedern die Bezugnahme auf ihre Veröffentlichungen oder deren Verwendung, aber die Bezugnahme auf EIGA-Veröffentlichungen oder deren Verwendung durch EIGA-Mitglieder oder durch Dritte ist rein freiwillig und nicht bindend.

Daher übernehmen die EIGA und ihre Mitglieder keine Garantie für die Ergebnisse und sie übernehmen keine Haftung oder Verantwortung hinsichtlich der Bezugnahme auf Informationen oder Vorschläge, die in Veröffentlichungen der EIGA enthalten sind, oder deren Verwendung.

Die EIGA hat keinerlei Kontrolle über die Tauglichkeit oder Untauglichkeit, Fehldeutungen, korrekte oder falsche Verwendung von in EIGA-Veröffentlichungen enthaltenen Informationen oder Vorschlägen, durch Personen oder Instanzen (einschließlich EIGA-Mitgliedern), und die EIGA schließt ausdrücklich jegliche Haftung in diesem Zusammenhang aus.

EIGA-Veröffentlichungen werden regelmäßig überarbeitet, und den Anwendern wird dringend empfohlen, sich stets die neueste Ausgabe zu beschaffen.



**Inhaltsverzeichnis**

1	Einführung.....	1
2	Geltungsbereich und Zweck .....	1
2.1	Geltungsbereich.....	1
2.2	Zweck.....	1
3	Definitionen .....	1
3.1	Verbformen .....	1
3.2	Druck.....	2
4	Risiken bei Sauerstoffanreicherung oder -mangel in der Atmosphäre .....	2
5	Überlegungen zur Wahl des Standortes von Ausblase-Einrichtungen.....	3
5.1	Allgemeine Überlegungen .....	3
5.2	Wahl von Konzentrations-Kriterien für spezielle Umstände .....	4
5.3	Standorte von Ausblase-Einrichtungen .....	5
5.4	Wirkung von Wetter- und Ausströmbedingungen.....	6
5.5	Ausströmen von kryogener Flüssigkeit.....	7
6	Berechnungen zur Bestimmung sicherer Standorte von Ausblase-Einrichtungen.....	7
6.1	Einführung .....	7
6.2	Auswahl der Software.....	8
6.3	Wetterverhältnisse .....	8
6.4	Ausströmtemperatur .....	8
6.5	Ausströmwinkel.....	9
6.6	Ausströmgeschwindigkeiten .....	9
6.7	Konzentrationsgrenzen.....	10
6.8	Umgebungsbedingungen.....	11
6.9	Interpretation der Tabellen.....	11
6.10	Grenzen der Berechnungsmethode .....	16
7	Schlussfolgerungen .....	16
8	Referenzen .....	17
	Anhang A: Warmer Niederdruck-Sauerstoff .....	18
	Anhang B: Kalter Niederdruck-Sauerstoff.....	21
	Anhang C: Warmer Hochdruck-Sauerstoff .....	24
	Anhang D: Kalter Hochdrucksauerstoff.....	25
	Anhang E: Warmer Niederdruck-Stickstoff .....	26
	Anhang F: Kalter Niederdruck-Stickstoff.....	29
	Anhang G: Warmer Hochdruck-Stickstoff .....	32
	Anhang H: Kalter Hochdruck-Stickstoff.....	33
	Anhang I: Warmes Niederdruck-Argon .....	34
	Anhang J: Kaltes Niederdruck-Argon.....	36
	Anhang K: Warmes Hochdruck-Argon .....	38
	Anhang L: Kaltes Hochdruck-Argon.....	39

# IGC

---

Anhang M: Äquivalente Ausströmraten .....	40
ANHANG N: Einfluss der Ausströmgeschwindigkeit .....	43
ANHANG O: O <sub>2</sub> Anpassungs-Mathematik .....	44

## 1 Einführung

Dieses Dokument definiert die Kriterien für die Gestaltung verfahrensbedingter Ausblase-Einrichtungen, um die sichere Entsorgung nicht-toxischer, nicht-brennbarer Gase zu gewährleisten.

Die Hersteller von Industriegasen sind zunehmend strenger Forderungen der Behörden unterworfen, dass sie die Betriebssicherheit ihrer Anlagen nachweisen. Es gibt Berichte über mehrere Unfälle [1, 2], wo bei Ausblase-Vorgängen Atmosphären mit Sauerstoffanreicherung oder -mangel zu negativen Folgen für die Betriebssicherheit führten. Da die Kapazitäten von Luftzerlegungsanlagen zunehmend größer werden, sind die Risiken durch Atmosphären mit Sauerstoffanreicherung oder -mangel zu einer Sicherheitsfrage von größerer Bedeutung geworden.

## 2 Geltungsbereich und Zweck

### 2.1 Geltungsbereich

Das Dokument gilt für Luftzerlegungsanlagen und kryogene Verflüssigungsanlagen, in denen Sauerstoff, Stickstoff, Gemische aus Sauerstoff und Stickstoff, Argon oder Luft ausgeblasen werden.

Die Entsorgung kryogener Flüssigkeiten wird in diesem Dokument nicht behandelt, obwohl die Möglichkeit besteht, dass bei Entspannungsvorgängen etwas Flüssigkeit beteiligt ist (Abschnitt 5.5).

Die Anwendbarkeit dieses Dokuments auf nicht-brennbare und nicht-toxische Gase, außer Sauerstoff, Stickstoff, Argon oder Luft, muss von Fall zu Fall bestimmt werden.

Die in diesem Dokument enthaltenen Empfehlungen zu Höhen und horizontalen Abständen können nicht für stationäre Tanks bei Kunden angewendet werden. Sicherheitsabstände für diese Tanks werden durch die Gestaltung des Lageplans einer Anlage [3] oder durch nationale Vorschriften oder Praxis-Richtlinien bestimmt, je nachdem, welche strenger sind.

### 2.2 Zweck

Dieses Dokument soll eine Grundlage bilden, mit der sichere Standorte für Ausblase-Einrichtungen bestimmt werden können, aus denen im Normalbetrieb sowie bei Störungen und Notfällen Sauerstoff oder erstickender Stickstoff und Argon freigesetzt werden. Die Bestimmung kann durch Berechnung auf der Grundlage vorgegebener Kriterien oder durch Benutzung der in diesem Dokument als Richtlinie enthaltenen Tabellen erfolgen.

**Das Dokument enthält berechnete Sicherheitsabstände für einen Größenbereich von Ausblaseöffnungen sowie Orientierungen für allgemein anzutreffende, andererseits spezifische Design-Bedingungen. Wenn diese Design-Kriterien nicht eingehalten sind, besonders bei Ausblase-Einrichtungen, die über einen großen Strömungsbereich zu betreiben sind (z. B. Ausblase-Einrichtungen für Produkte im Teillastbereich), sind die Tabellen möglicherweise nicht geeignet und es sollten detaillierte Berechnungen durchgeführt werden.**

Dieses Dokument sollte für neue Planungen benutzt werden, kann aber auch für bestehende Anlagen angewendet werden, um festzustellen, ob vorhandene Ausblase-Einrichtungen an sicheren Standorten sind oder ob Änderungen oder temporäre Bauten im Widerspruch zu den ursprünglichen Planungszielen stehen.

## 3 Definitionen

### 3.1 Verbformen

„Muss“ (engl. „shall“) wird benutzt, wenn Zustimmung zu einer speziellen Empfehlung zwingend ist.

„Sollte“ (engl. „should“) bezeichnet die Empfehlung, einer bestimmten Prozedur zu folgen.

„Kann“ (engl. „may“) wird benutzt, wenn die Anwendung wahlfrei ist.

### 3.2 Druck

In diesem Dokument bezeichnet bar den Überdruck, sofern keine andere Bezeichnung benutzt wird, d. h. (bar, abs) für Absolutdruck und (bar, dif) für Druckdifferenz.

## 4 Risiken bei Sauerstoffanreicherung oder -mangel in der Atmosphäre

Der lebensnotwendige Sauerstoff ist selbst nicht brennbar, unterstützt und beschleunigt aber die Verbrennung.

Sauerstoff reagiert mit den meisten Stoffen. Mit zunehmender Konzentration des Sauerstoffs in der Luft steigt das potentielle Brandrisiko: Je heftiger die Verbrennungsreaktion oder der Brand verläuft, um so niedriger sind die für das Auslösen der Verbrennungsreaktion notwendige Zündtemperatur und Zündenergie und um so höher sind die Flammentemperatur und die zerstörende Wirkung der Flamme.

Wenn die Konzentration des Sauerstoffs in der Luft sinkt, oder – was auf das Gleiche hinausläuft – wenn die Konzentration des Inertgases steigt, wird schnell eine Situation erreicht, in der das Erstickungs-Risiko sehr groß ist. Sauerstoffmangel kann Schwindelgefühl und Sprachstörungen auslösen, aber das Opfer wertet diese Symptome nicht als Erstickten. Für eine unachtsame Person entsteht die erstickende Wirkung des Inertgases ohne jedes vorangehende physiologische Zeichen, welches das Opfer aufmerksam machen könnte. Diese Aktion verläuft sehr schnell: Nur wenige Sekunden bei sehr niedrigen Sauerstoffgehalten.

Die Risiken durch Anreicherung oder Mangel an Sauerstoff werden in den IGC Dokumenten „Fire hazards of oxygen and oxygen enriched atmospheres“ [4] und „Hazard of inert gases“ [5] erklärt.

Das EIGA Positions-Papier „Definitions of oxygen enrichment/deficiency safety criteria“ [6] nennt die folgenden Richtwerte zur Wahl der passenden Sauerstoffkonzentration für bestimmte Szenarien.

Die IGC Dokumente und das Positionspapier legen die Bedingungen fest, die bei Betreten eines engen Raumes gelten sollten:

- Die maximal sichere Konzentration bei Betreten eines engen Raumes, in dem wegen des Risikos die Atmosphäre überwacht oder gemessen wird, beträgt 23,5 % Sauerstoff total.
- Die minimal sichere Konzentration bei Betreten eines (engen) Raumes, in dem wegen des Risikos die Atmosphäre überwacht oder gemessen wird, beträgt 19,5 % Sauerstoff total.
- Der Raum sollte ausreichend gelüftet sein, um einen Wert von annähernd 21 % Sauerstoff (d. h. von atmosphärischer Luft nicht unterscheidbar) zu erreichen.

Die Ausblase-Einrichtungen werden in dem Positionspapier auf der Grundlage der Akzeptanz des minimalen Risikos eingeteilt.

Für Ausblase-Vorgänge werden die folgenden Definitionen benutzt:

- Bei Leckagen, Ausblasen oder unregelmäßigem Freisetzen von Sauerstoff in die Atmosphäre besteht kein Schadensrisiko in Wolken, die bis zu 25 % Sauerstoff enthalten. Bei einem vorauszusehenden Niveau über 25 % Sauerstoff kann es möglich sein, mit einer Risikobeurteilung zu bestimmen, dass derartige Atmosphären bei entsprechender Kontrolle sicher betreten werden können, z. B. ist Rauchen nicht erlaubt in einem Bereich, in dem Ausblase-Vorgänge stattfinden können oder Schweißarbeit wird wegen des Risikos durch Ausblase-Vorgänge mit einer Feuererlaubnis kontrolliert.

- Bei Leckagen, Ausblasen oder ungeregeltem Freisetzen von Inertgasen in die Außen-Atmosphäre ist kein Schadensrisiko in Wolken zu erwarten, die mindestens 17 % Sauerstoff enthalten.

Die in dem Positionspapier angegebenen Werte sind die Grundlage für die in diesem Dokument dargestellten Berechnungen (siehe Abschnitt 6.7 unten). Die Wahl der Konzentrationsgrenzen, die für die Planung des Standortes von Ausblase-Einrichtungen akzeptabel sind, wird im folgenden Abschnitt diskutiert.

## 5 Überlegungen zur Wahl des Standortes von Ausblase-Einrichtungen

### 5.1 Allgemeine Überlegungen

Der sichere Standort irgendeiner Ausblase-Einrichtung ist abhängig von den Ausblase-Bedingungen, von den mit dem Gas bei Ausblase-Bedingungen verbundenen Gefahren, von der Häufigkeit der Ausblase-Vorgänge und von dem Einfluss, den das freigesetzte Gas auf die Umwelt ausübt. Daraus werden Entscheidungen zur Höhe der Ausblase-Einrichtung und zu deren Orientierung relativ zu umgebenden Ausrüstungen, zu Bereichen, in denen sich Personen befinden und zur vorherrschenden Windrichtung abgeleitet. Es ist auch zu überlegen, welche Wirkungen Ausblase-Vorgänge auf Bereiche außerhalb der Anlagengrenzen haben, wo die Risiken durch die Beschaffenheit der Umgebung (Industrie, Verkehr, städtische oder ländliche Bedingungen) und auch durch die Anzahl der von dem Ausblase-Vorgang möglicherweise betroffenen Personen beeinflusst werden.

Die folgenden Risiken sind mit den zur Atmosphäre ausströmenden Gasen aus industriellen Gase-Anlagen verbunden:

- Erstickung (Stickstoff und Argon)
- Erhöhtes Brandrisiko (Sauerstoff)
- Kälte und verminderte Sicht (kryogene Gase und Flüssigkeiten)
- Heiße Gase (z. B. Abgas aus Kompressor-Zwischenstufen / Entleerung von Gas durch Ausblase-Einrichtungen)

**Hinweis: Gase oder Gemische mit brennbaren oder toxischen Komponenten, wie z. B. Wasserstoff, Kohlenmonoxid oder Kohlendioxid können bei Verfahren, an denen atmosphärische Gase beteiligt sind, ausgeblasen werden, jedoch werden solche Fälle in diesem Dokument NICHT behandelt.**

Nach der Häufigkeit können Ausblase-Vorgänge wie folgt eingeteilt werden:

- Kontinuierlich
- Periodisch im Normalbetrieb
- Bei Inbetriebnahme / Anfahren / Abschaltung
- Bei Leistungstest
- Entspannen im Notfall
- Druckminderung im Notfall

Allgemein können nur solche Ausblase-Vorgänge als nicht-kontinuierlich angesehen werden, die entweder unter vollständiger Kontrolle des Anlagenbetriebs stehen, wie z. B. Ausblase-Einrichtungen, die manuell periodisch betrieben werden (z. B. Anfahren, Abschaltung, Füllen von Tankfahrzeugen) oder von denen erwartet wird, dass sie nur für kurze Dauer als Schutzmaßnahme offen sind (z. B. Druckentlastungseinrichtungen, automatische Entleerungen).

**Außerdem ist der Einfluss der Ausströmgeschwindigkeit wichtig, wenn Gase am warmen Ende einer Luftzerlegungsanlage (ASU) mit irgendeiner Strömungsmenge zwischen der Nennkapazität und Null entspannt werden können (solche reduzierten Ausströmraten sind typisch für die Anpassungsperiode einer ASU nach einer plötzlichen Änderung des Bedarfs des Kunden oder wenn das Stickstoff / Sauerstoff-Verhältnis im Bedarf des Kunden nicht zu dem Produktionsverhältnis der ASU passt). Deshalb ist es für die korrekte Gestaltung der**

**Ausblase-Einrichtung erforderlich, dass bei der Bestimmung ihrer vertikalen Höhe die bei Normalbetrieb möglicherweise verminderte Gasmenge berücksichtigt wird, die am warmen Ende der ASU abgetrennt und ausgeblasen wird. Weitere Informationen zu diesem Punkt siehe Abschnitt 6.6 und Anhang N.**

Überlegungen zum Umweltschutz schließen ein:

- Akzeptable Lärm- und Geruchswerte,
- Sichtbarkeit der Emission,
- Auflagen von örtlichen und nationalen Behörden.

Wenn eine Anlage mannos betrieben wird, sind Überlegungen zur korrekten Entsorgung ausströmender Gase anzustellen, weil beim Ausströmen von Gas eine Hilfsaktion verzögert sein kann. Im allgemeinen sollten jedoch die Risiken durch ausströmendes Gas in einer mannos betriebenen Anlage keine anderen sein, als die in einer voll beaufsichtigten Anlage, weil die periodische Anwesenheit von Personen nicht außer Acht gelassen werden kann.

Das Risiko der Beschädigung von benachbarter Ausrüstung oder Verletzung von Personen muss unter Berücksichtigung aller oben genannten Faktoren bestimmt werden.

Die folgenden Unterabschnitte enthalten detaillierte Ausführungen zu den Faktoren, die bei der Bestimmung sicherer Standorte von Ausblase-Einrichtungen eine Rolle spielen.

## **5.2 Wahl von Konzentrations-Kriterien für spezielle Umstände**

Die Standorte von Ausblase-Einrichtungen müssen in Bezug auf die in Abschnitt 4 erläuterten Risiken durch ausströmenden Sauerstoff oder Inertgas bestimmt werden. Auf der Grundlage der dort genannten Risiken durch unterschiedliche Gaskonzentrationen können Organisationen ihre eigenen Konzentrationsgrenzen für die verschiedenen Arten der Ausblase-Einrichtungen festlegen, wobei die generellen Betrachtungen in Abschnitt 5.1 und die eigene Sicherheitsphilosophie zugrunde zu legen sind.

Grundsätzlich sollte die allgemeine Öffentlichkeit keinerlei potentiellem Risiko ausgesetzt sein, dass höher ist, als das, welches aus ihren normalen Aktivitäten resultiert und deshalb muss sichergestellt werden, dass bei allen identifizierbaren Ausblase-Vorgängen die Konzentration am Erdboden jenseits der Anlagengrenzen oder in Höhe der an das Betriebsgelände angrenzenden Gebäude innerhalb eines Bereichs zwischen 19,5 und 23,5 Volumenprozent Sauerstoff liegt. Diese Grenzwerte können auch für angrenzende Industrieanlagen gelten, während es für Kundenanlagen, denen die Produkte aus der Luftzerlegungsanlage durch Rohrleitung zugeführt werden, richtig sein kann, die Risiken durch Ausblase-Vorgänge so zu behandeln, als seien es die gleichen, wie innerhalb der Anlagengrenzen der Luftzerlegungsanlage.

Innerhalb der Anlagengrenzen sollten vom Management geregelte Aktivitäten, wie Umgang mit offenem Feuer, Schleifen oder Schweißen, und Rauchen eine höhere Sauerstoffkonzentration durch irgendwelche Ausblase-Vorgänge erlauben, die an allen normal zugänglichen Bereichen innerhalb der Anlage akzeptiert werden kann. Als empfohlener Wert gilt eine maximal zu erwartende Konzentration von 25 Volumenprozent Sauerstoff für alle identifizierten Fälle von Ausblase-Vorgängen (siehe Referenz 6).

In ähnlicher Weise kann das Risiko aus der Einwirkung niedriger Sauerstoffkonzentrationen (Ausblasen von Inertgas) innerhalb einer Anlage geregelt werden (siehe Referenz 6). Für Standorte von Ausblase-Einrichtungen mit bekannten Ausströmbedingungen wird empfohlen, dass eine minimal zu erwartende Konzentration von 17 Volumenprozent Sauerstoff als Planungs-Grundlage für alle Ausblase-Einrichtungen benutzt werden kann. Es ist zu beachten, dass dieser Grenzwert erhöht werden kann, um wegen der Wirkung unbekannter Faktoren beim Ausströmen von Gas oder bei den atmosphärischen Verhältnissen einen Sicherheitsfaktor in einer solchen Beurteilung zu haben. Die in Abschnitt 6 beschriebenen Berechnungen benutzen als Richtwert für die Verteilung von Inertgas 18 % Sauerstoff, außerdem auch 19,5 % und 17 % Sauerstoff.

Nationale oder örtliche Vorschriften können andere Konzentrationsgrenzen für die Exposition festlegen, wobei diese Werte Vorrang vor allen oben empfohlenen Kriterien haben.

Die Wirkungen von Änderungen der Ausströmbedingungen werden weiter unten diskutiert.

### 5.3 Standorte von Ausblase-Einrichtungen

Allgemein sind Ausblase-Einrichtungen so zu installieren, dass ausströmendes Gas, egal ob warm oder kalt, nicht direkt auf Personen, Gebäude, Arbeitsbereiche oder Ausrüstungen trifft.

Nachfolgend eine Zusammenfassung von Erfahrungen aus der Errichtung und dem Betrieb von Luftzerlegungsanlagen.

- Das Eindringen von ausströmendem Gas in für das Verfahren benötigte Luftansaugöffnungen, in Gebäude und Systeme zur Luftklimatisierung / Lüftung muss vermieden werden.
- Ausströmendes Gas aus einer Anlage, die sich vollständig in einem umbauten Raum befindet, sollte durch eine Rohrleitung ins Freie abgeleitet werden, sofern nicht vorbeugende Maßnahmen gegen die Entstehung höherer Konzentrationen ergriffen werden.
- Ausblase-Einrichtungen sollten an Standorten errichtet werden, wo Personen auf Bühnen oder Laufstegen nicht dem Risiko einer Atmosphäre mit Sauerstoffanreicherung oder -mangel ausgesetzt sind.
- Zwischen Ausblase-Einrichtungen für Sauerstoff und Ausblase-Einrichtungen für brennbares Gas von angrenzenden Anlagen, muss ein Abstand eingehalten werden, um das Risiko aus den Wirkungen einer intensiven Verbrennung zu vermeiden.
- Abstände sind auch zwischen Ausblase-Einrichtungen für Sauerstoff und Fackelsystemen von angrenzenden Anlagen erforderlich.
- Auch wenn vertikales Ausströmen aus einer Ausblase-Einrichtung die beste Variante in Bezug auf die Höhe ist, so ist es doch oft nützlich, die Ausströmöffnung abzuwinkeln, um dem Gas eine besondere Richtung zu geben, z. B. abgewandt von einem tragenden Bauwerk, wie die Coldbox.
- Wenn die Ausströmöffnung einer Ausblase-Einrichtung sich an oder zwischen größeren Konstruktionen befindet, z. B. Gebäude, die relativ dicht nebeneinander stehen, sollte die Höhe der Ausblase-Einrichtung den höchsten Punkt der größeren Konstruktion eindeutig überragen, unabhängig davon, welche Höhe durch Berechnung bestimmt wurde. Der Einfluss von Hindernissen auf ungehindertes Ausströmen kann eine spezielle Beurteilung erfordern.
- Diskontinuierlich betriebene Ausblase-Einrichtungen für Hochdruck (z. B. Sicherheitsventile) dürfen nicht gegen Bühnen, Leitern oder andere Zugangspunkte gerichtet sein und sie dürfen nicht direkt gegen eine Ausrüstung blasen. Damit sollen Verletzungen von Personen und Schäden an Ausrüstungen durch hohe Strömungsgeschwindigkeiten verhindert werden, selbst wenn kein Risiko einer Anreicherung in der Luft zu erwarten ist.
- Auch wenn Ausblase-Einrichtungen einen sicheren Standort mit Bezug auf die Ausbreitung des Gases haben, können sie (besonders bei hohem Druck) ein Risiko wegen des Lärms darstellen. Der Standort und die Orientierung der Ausblase-Einrichtung muss die Wirkungen von Lärmmissionen sowohl für die Umwelt als auch bezüglich des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten berücksichtigen.
- Es ist zu beachten, dass die üblichen Ausbreitungsrechnungen nicht berücksichtigen, wenn Ausblase-Einrichtungen auf einem Gebäude oder an dessen Seite in einem Bereich angebracht sind, wo Strömungsmuster quer zum Dach der Anlass für abwärts gerichtete Luftströmung (Abwind) sein können. Die Wahrscheinlichkeit von Abwinden sollte in der Planungsphase untersucht werden und der Standort von Ausblase-Einrichtungen sollte so

gewählt werden, dass alle nachteiligen Auswirkungen auf die Gasausbreitungsfahne minimiert oder ausgeschlossen werden.

- In größeren Höhen ausströmendes Gas wird einer höheren örtlichen Windgeschwindigkeit ausgesetzt sein, als jenes, das in geringeren Höhen ausgeblasen wird. Größere Turbulenzen als Folge höherer Windgeschwindigkeit in der Höhe führen dazu, dass das in größerer Höhe ausströmende Gas sich ohne Schwierigkeit verteilt. Wenn die Ausströmöffnung relativ hoch über dem Erdboden liegt, können für höher gelegene Bühnen verminderte Sicherheitsabstände gerechtfertigt sein, was aber durch eine detaillierte Untersuchung bestimmt werden muss.

**Besondere Sorgfalt ist bei Modifizierungen von Anlagen erforderlich, einschließlich der Errichtung temporärer Bauten als Zugang bei Wartungs- oder Änderungsarbeiten, um sicherzustellen, dass solche Änderungen den Standort von bestehenden Ausblase-Einrichtungen nicht unsicher bezüglich der Orientierung machen. Existierende Standorte von Ausblase-Einrichtungen müssen vollständig neu beurteilt werden, wenn sich die Verhältnisse an einer Ausblase-Einrichtung als Folge einer Modifizierung wahrscheinlich ebenfalls ändern.**

Wenn in irgendeinem Fall unter ungünstigsten Bedingungen eine Anreicherung von Sauerstoff / Stickstoff zu erwarten ist, sollte ein Schild unten an Leitern und Zugangspunkten angebracht werden, welches vor der möglichen erstickenden oder mit Sauerstoff angereicherten Atmosphäre in Bereichen jenseits dieser Punkte warnt. Der Ort und die Anordnung entsprechender Ausblase-Einrichtungen und die Anbringung der Warnschilder sollte Gegenstand einer Sicherheitsüberprüfung sein. Beim Betreten dieser Bereiche sollten tragbare Gaswarngeräte zur Kontrolle der Luft mitgeführt werden.

Kontinuierlich betriebene, zum Verfahren gehörende Ausblase-Einrichtungen mit großer Kapazität, wie für Sauerstoff, Abgas und Niederdruck-Stickstoff können in einem Bereich zusammengefasst werden, wobei ein gemeinsames Stützbauwerk benutzt wird. Die normalen Auswahlkriterien für die Bestimmung des Standortes einer Ausblase-Einrichtung werden möglicherweise nicht für einige oder alle gleichzeitig betriebenen Ausblase-Einrichtungen gelten. Für solche Konstruktionen können besondere Überlegungen erforderlich sein.

#### **5.4 Wirkung von Wetter- und Ausströmbedingungen**

Die folgenden Wetterfaktoren können nachteiligen Einfluss auf die Ausbreitung des ausströmenden Gases haben:

- Hohe Umgebungstemperaturen relativ zu dem ausströmenden Gas,
- mäßig stabile atmosphärische Bedingungen,
- niedrige Windgeschwindigkeit.

Um die Wirkungen für den ungünstigsten Fall zu bestimmen, werden die Berechnungen üblicherweise für den als normal geltenden Bereich der Wetterbedingungen ausgeführt, aber Extreme bei den oben genannten Faktoren können deutlichen Einfluss auf die berechneten Abmessungen der Ausbreitungsfahne haben, besonders dann, wenn die Ausströmbedingungen eher einer Fahne (geringe Geschwindigkeit) als einem Gasstrahl (hohe Geschwindigkeit) entsprechen.

Um die Wettereffekte zu minimieren und die bestmögliche Verdünnung zu erreichen, wird empfohlen, dass die geplante Ausströmgeschwindigkeit aus einer Ausblase-Einrichtung innerhalb des Bereichs der verfahrensbedingten Möglichkeiten (z. B. Druckverlust, Lärm etc.) so hoch wie möglich sein soll.

Die am Standort der Anlage vorherrschende Windrichtung kann in der Berechnung berücksichtigt werden, aber es ist zu beachten, dass in der Praxis der Wind aus jeder Richtung kommen kann. Bei höheren Ausströmgeschwindigkeiten führt horizontales oder abgewinkeltes Ausströmen dazu, dass der Windrichtungseffekt größtenteils oder gänzlich vernachlässigt wird, zumal die meisten Rechenmodelle irgendwelche Querwinde gar nicht angemessen berücksichtigen können, außer bei genau vertikalem Ausströmen.

## 5.5 Ausströmen von kryogener Flüssigkeit

Um das Risiko von Verletzungen des Personals oder Beschädigung der Ausrüstung zu minimieren, sollte das absichtliche Ausströmen kryogener Flüssigkeiten direkt in die Atmosphäre vermieden werden. Kryogene Flüssigkeiten, die entweder im Normalbetrieb oder bei außerplanmäßigen Bedingungen in Mengen ausströmen, sollten in ein für diesen Zweck gestaltetes Entsorgungssystem geleitet werden. Jedoch ist bei der Gestaltung von Systemen zur gemeinsamen Ableitung von Flüssigkeit und Dampf Sorgfalt erforderlich, um das mögliche Rückströmen von Flüssigkeit in Sammelrohre, die zum Ableiten von Gas bestimmt sind, zu vermeiden sowie das Risiko der Verstopfung kryogener Entleerungsventile mit Eis infolge der Ansammlung von Wasser im Sammelrohr auszuschließen.

Einige kleine Ausström-Einrichtungen für Flüssigkeit können an einen sicheren Ort geführt sein, ohne dass es nötig wäre, sie in ein Entsorgungssystem einzubinden:

- Produkte aus kryogenen Thermo-Sicherheitsventilen, die kryogene Flüssigkeit bei außerplanmäßigen Bedingungen entleeren, kann man wegen der geringen Düsendgröße und der kurzen Dauer der Flüssigkeits-Strömung an Ort und Stelle auslaufen lassen. Jedoch sollten irgendwelche Folgen der Freisetzung von bedeutenden Flüssigkeitsmengen berücksichtigt werden, falls das Sicherheitsventil nach dem Entspannen des Überdrucks nicht wieder vollständig schließt.
- Kleine Ausström-Einrichtungen, Abflüsse und Proberhähne an Füll-Leitungen für Flüssigkeit, Leitungen zum Kaltfahren von Pumpen oder ähnliche Systemen können zu Auffangwannen oder örtlichen Ablaufstellen geführt werden, wo ausreichende natürliche Lüftung gewährleistet ist.

## 6 Berechnungen zur Bestimmung sicherer Standorte von Ausblase-Einrichtungen

### 6.1 Einführung

Im Abschnitt 5 sind die Faktoren beschrieben, welche die Grundlage für die Festlegung sicherer Standorte der Ausblase-Einrichtungen für Sauerstoff oder erstickende atmosphärische Gase sind. Der Abschnitt enthält auch die akzeptierten Konzentrationsgrenzen, die für detaillierte Ausbreitungsrechnungen benutzt werden können. Wenn man die in allgemein zugänglichen Büchern publizierten Methoden, wie z. B. CCPS "Guidelines for Consequence Analysis of Chemical Releases" (Ausgabe 1999 ) [7], Kapitel 2 oder gleichwertige Computerprogramme anwendet, kann man die Sicherheitsabstände zur Planung von Ausblase-Einrichtungen exakt bestimmen, nachdem alle zweckdienlichen Ausströmdaten verfügbar sind. Die Berechnungen würden spezifisch für den jeweiligen Fall sein, können jedoch Abstände ergeben, die auf die Minimierung des Risikos optimiert sind, ohne zuviel Spielraum für die Sicherheit zu verlangen. Jedoch ist für die große Mehrheit von Ausblase-Einrichtungen für atmosphärische Gase in einer Luftzerlegungsanlage eine detaillierte Berechnung nicht durchführbar, weil entweder nur unzureichende Informationen vorliegen oder wegen der Vielzahl der möglicherweise betroffenen Ausblase-Einrichtungen. Unter diesen Umständen genügt es, ältere Technik (frühere Entwürfe) anzuwenden oder speziell als Standards entwickelte Tabellen oder grafische Darstellungen zu benutzen, **vorausgesetzt, die bei der Aufstellung der Standard-Tabellen oder Graphiken getroffenen Annahmen gelten für die betreffenden Projekte von Ausblase-Einrichtungen.**

Wie in Abschnitt 2.2 als Teilzweck dieses Dokuments definiert, wurden Meinungen von Experten zusammengestellt und Berechnungen durchgeführt, um nutzbare Tabellen zu erstellen, die eine Vielzahl von Fällen zur Projektierung von Ausblase-Einrichtungen abdecken sollten, wo jedoch eine detaillierte Berechnung als unangemessen empfunden wird. Es sollte immer beachtet werden, dass die Aufstellung von Standard-Tabellen Kompromisse bei der Darstellung der Ergebnisse erfordert, und dass als Konsequenz die hier angegebenen Abstände, die als sicher gelten, wahrscheinlich konservativ sind. Wenn die Benutzung dieser oder anderer Tabellen ergibt, dass eine bestimmte Ausblase-Einrichtung zu nahe bei Personen oder bei einer anderen Ausrüstung installiert ist, besteht immer die Möglichkeit, für diesen speziellen Fall detaillierte Berechnungen anzustellen.

Der Zweck der in Abschnitt 6 folgenden Absätze ist, die Grundlagen darzustellen, nach denen die Höhen und die Abstände der Ausblase-Einrichtungen in diesem Dokument bestimmt wurden. Es ist wichtig zu erkennen, wenn ungewöhnliche Bedingungen existieren, die beträchtlich von denen abweichen könnten, die den Berechnungen zugrunde gelegt wurden. In diesem Fall muss der Anwender die verfügbaren Daten überprüfen und entscheiden, ob eine separate Beurteilung nötig ist.

Wenn ein Gas ausströmt, wird die sich bildende Gaswolke durch Mitreißen von Luft verdünnt. Der Grad der Verdünnung hängt von verschiedenen Faktoren ab, wozu die Eigenschaften des Gases, Ausströmrates und -geschwindigkeit, meteorologische Bedingungen und die Beschaffenheit des Geländes gehören. Es müssen auch die verschiedenen Ausströmszenarios berücksichtigt werden, wie kontinuierliches Ausströmen, momentan große Ausströmrates aus der Öffnung eines Sicherheitsventils oder momentan geringe Ausströmrates aus Ausblase-Einrichtungen zur Druckhaltung. Aus diesen Gründen gibt es kein universelles Ausbreitungsmodell, um all diese Typen von Ausblase-Vorgängen zu behandeln; das passende Modell muss für den speziellen Ausblase-Vorgang gewählt werden. Einige Computerprogramme können die verschiedenen Modelle kombinieren, um eine automatische Auswahl für den betrachteten Ausblase-Vorgang zu erlauben.

## 6.2 Auswahl der Software

Die Rechenergebnisse unter Benutzung des Programms DNV TECHNICA PHAST, Version 6.42 sind in den Anhängen A – L für die unten genannten Kriterien zusammengestellt. Die Berechnungen gelten für kontinuierliches Ausströmen bei den gegebenen Bedingungen; jedoch sind die Ergebnisse bei gleichen Ausströmrates auch für periodische oder augenblickliche Ausström-Vorgänge gültig. Wie bereits früher diskutiert, ist zu erwarten, dass in der Mehrzahl der Fälle die ermittelten Daten zur Bestimmung des Standorts von Ausblase-Einrichtungen angewendet werden können, wenn diese die Planungs-Kriterien erfüllen und ein konservatives Resultat akzeptabel ist.

## 6.3 Wetterverhältnisse

Die bei den Berechnungen benutzten Bereiche der Wetterstabilität und der Windgeschwindigkeiten wurden, wie nachfolgend angegeben, gewählt, entsprechend der besten Praxis zur Ermittlung von Ergebnissen für den ungünstigsten Fall bei Berechnungen der atmosphärischen Ausbreitung mittels PHAST.

Stabilität	Windgeschwindigkeit
D	1.5 m/s
D	5 m/s
D	9 m/s
F	1.5 m/s

Die Stabilität wird mit den Pasquill-Stabilitätsklassen dargestellt (d.h., D = neutrale Bedingungen; F = mäßig stabile Bedingungen).

In Abhängigkeit von der Ausströmrates, der Richtung und dem physikalischen Zustand des ausströmenden Gases können die für den ungünstigsten Fall ermittelten Höhen und Abstände sich bei jeder dieser Wetterbedingungen ergeben.

Der größte Sicherheitsabstand für Ausblase-Einrichtungen wird bei horizontalem Ausströmen unter der Voraussetzung ermittelt, dass die Windrichtung mit der Richtung des Gasstromes an der Ausströmöffnung übereinstimmt.

## 6.4 Ausströmtemperatur

Aus industriellen Gase-Anlagen ausströmende Gase können bezüglich der Temperatur variieren von deutlich über der Umgebungstemperatur (z. B. Entleerung verdichteter Gase) bis herunter zur Taupunkt-Temperatur kryogener Gase (z.B. Ausströmen aus kryogenen Säulen).

Da die Rechenergebnisse in Abhängigkeit vom Durchmesser der Ausströmöffnung für minimale geplante Ausströmgeschwindigkeit angegeben sind (siehe Abschnitt 6.6 unten), werden Ergebnisse für konservative Abstände erhalten, indem Minimumwerte für warme und kalte Gasströme gewählt werden (größte Dichte = größter Massenstrom bei gegebenen Werten für Ausströmdurchmesser und Ausströmgeschwindigkeit). Die folgenden Temperaturen des ausströmenden Gases bildeten die Berechnungsgrundlage.

Material	Temperatur
Sauerstoff (warm)	10.0 °C
Sauerstoff (kalt)	-183.0 °C
Stickstoff (warm)	10.0 °C
Stickstoff (kalt)	-195.6 °C
Argon (warm)	10.0 °C
Argon (kalt)	-185.9 °C

Die festgelegte Warmtemperatur von 10 °C wird für die Temperaturen als repräsentativ angesehen, die in abgetrennten Gasströmen erreicht werden, welche das warme Ende einer Luftzerlegungsanlage nach der Abtrennung verlassen.

Falls höhere Ausström-Temperaturen betrachtet werden müssten, sind die Rechenresultate bei gegebenen Werten für Ausströmdurchmesser und Ausströmgeschwindigkeit konservativ, wobei die ausströmenden Gase größeren Auftrieb und eine geringere Ausströmrates haben (woraus sich kürzere Distanzen für die Ausbreitung ergeben).

## 6.5 Ausströmwinkel

Bei allen warmen und kalten Ausblase-Einrichtungen kann die Ausströmrichtung irgendwo zwischen horizontal und vertikal liegen. Die Berechnungen wurden ausgeführt für die Ausström-Richtungen horizontal, vertikal und abgewinkelt mit 45°.

## 6.6 Ausströmgeschwindigkeiten

Die Ausströmsysteme werden in Niederdruck- und Hochdruck-Quellen für warme und kalte Gase eingeteilt. Niederdruck-Systeme sind allgemein anwendbar für Ausblase-Einrichtungen für kontinuierliche oder intermittierende Prozesse, wobei üblicherweise Schalldämpfer installiert werden. Hochdruck-Systeme werden vorrangig bei Ausblase-Einrichtungen zur Druckentlastung oder Hochdruck-Entspannung angewendet, wobei an der Ausströmöffnung kein Schalldämpfer gefordert ist und keine Beschränkungen der Ausströmgeschwindigkeit bestehen. Die Ausströmgeschwindigkeiten für Niederdruck- und Hochdruck-Systeme wurden dementsprechend wie folgt gewählt.

Quelle	Geschwindigkeit
Niederdruckgas (O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> or Ar)	20 m/s <sup>1</sup>
Niederdruckgas (O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> or Ar)	10 m/s
Hochdrucksauerstoff (warm)	160 m/s <sup>2</sup>
Hochdruckstickstoff (warm)	171 m/s
Hochdruckargon (warm)	160 m/s
Hochdrucksauerstoff (kalt)	90 m/s
Hochdruckstickstoff (kalt)	89 m/s
Hochdruckargon (kalt)	85 m/s

<sup>1</sup> 20 m/s gilt als typische geplante Geschwindigkeit für Gas-Strömung aus einem Schalldämpfer, während zur Dämpfung von extremem Lärm oder wenn Gas mit sehr niedrigem Druck direkt in die Atmosphäre ausgeblasen wird, z. B. Entsorgung von Abgas aus einem Wasserkühlturm, eine niedrigere Ausströmgeschwindigkeit zu planen ist.

<sup>2</sup> Ausströmgeschwindigkeiten von 0,5 Mach gelten als typisch für die Gestaltung z. B. von Druck-Sicherheitsventilen. Die Geschwindigkeit wurde für die Eigenschaften von Gas in Luft bei den gewählten Ausströmtemperaturen berechnet.

Für Ausblase-Einrichtungen, die mit kaltem Gas oder mit Gasen mit einem Molekulargewicht größer als das der Luft betrieben werden, wurde berücksichtigt, dass der negative Auftrieb des ursprünglich ausströmenden dichten Gases zu einem Absinken der Gasfahne führt (Kollaps durch die Schwerkraft). Alle Abstände, die für Ausströmung mit Niederdruck berechnet wurden, beruhen auf Ausströmgeschwindigkeiten von 20 m/s oder 10 m/s und **die Ergebnisse sind nicht verwendbar, wenn die Ausströmgeschwindigkeiten deutlich niedriger sind**, weil die Wirkungen des ursprünglichen Impulses und des Mitreißen von Luft deutlich kleiner sind und die Mischungsmechanismen anders sein können. Automatische Ausblase-Einrichtungen am Dampfraum von Lagertanks für kryogene Flüssigkeiten sind Beispiele, welche eine individuelle Beurteilung erfordern, um die gesuchte Höhe der Ausblase-Einrichtung zu bestimmen.

Für Planungs-Fälle, bei denen die Ausströmgeschwindigkeiten kleiner als 10 m/s sind, wird eine spezielle Bewertung der Fälle verlangt.

Wie in Abschnitt 5.1 festgestellt, ist der Einfluss der Ausströmgeschwindigkeit zur Bestimmung der minimalen Höhe der Ausblase-Einrichtung wichtig, wenn Gas mit jeder Ausströmrates zwischen der geplanten Nenn-Kapazität und Null ausströmen kann. Das ist besonders wichtig, wenn bei einem Gas, dessen Dichte größer als die der Umgebungsluft ist, die geplante volle Ausströmrates schon zu einer niedrigen Geschwindigkeit führt. Die Wirkung reduzierter Ausströmgeschwindigkeit wird mit Beispielen in Anhang N weiter diskutiert. Für verfahrensbedingte Ausblase-Einrichtungen mit einem großen Bereich möglicher Ausströmrates werden detaillierte Berechnungen des Ausströmverhaltens für die fraglichen Fälle empfohlen.

PHAST hat Einschränkungen bei der Nachbildung der Ausbreitung, welche die Genauigkeit der Berechnung bei sehr niedriger Ausströmgeschwindigkeit reduzieren, die durch Vergleich mit anderen Berechnungsmethoden mit 1 m/s berechnet wurde. Wenn Ausströmbedingungen mit dieser niedrigen Geschwindigkeit berücksichtigt werden müssen, wird die Anwendung von PHAST nicht empfohlen und komplexere Methoden sind erforderlich, einschließlich der Benutzung von Methoden, wie z. B. dreidimensionale Simulationen mit „Computational Fluid Dynamic“ (CFD).

## 6.7 Konzentrationsgrenzen

Bei der Berechnung der Strahlausbreitungsmodelle mit PHAST werden die Bestandteile der Luft, die in dem ausströmenden Gas schon vor der Ausbreitung des Strahles enthalten sind, nicht berücksichtigt. Die Sicherheitsgrenzen, die für Sauerstoffanreicherung oder -mangel angegeben werden, berücksichtigen die Hintergrundkonzentration in der Luft. Zum Beispiel ist 23,5 % Sauerstoff die Sicherheitsgrenze für mögliche Entzündung. Wenn jedoch diese Konzentration als Sicherheitsgrenze in das Ausbreitungsprogramm eingeführt wird, rechnet das Programm mit dem 23,5-Grenzwert so, als ob die ursprüngliche Konzentration in der Luft Null wäre. Deshalb muss eine mathematische Anpassung vorgenommen werden, um die Sicherheitsgrenzen für Sauerstoff oder Erstickung als endgültige Werte in der Ausbreitungsrechnung zu benutzen. Die Bereiche der Risiko-Kriterien für Atmosphären mit Sauerstoffanreicherung oder -mangel sind in dem EIGA Positionspapier, siehe Abschnitt 4, gegeben:

- Atmosphäre mit Sauerstoffanreicherung: 23.5 - 25% Volumenprozent Sauerstoff
- Atmosphäre mit Sauerstoffmangel: 17 - 19.5% Volumenprozent Sauerstoff

Die Ausbreitungsrechnungen wurden auf der Grundlage ausgeführt, dass reiner gasförmiger Sauerstoff, Stickstoff oder Argon ausströmt. Die mathematische Methode für die Anpassung der Konzentration ist in Anhang O dargestellt.

Die entsprechenden Konzentrationsgrenzen für die Ausbreitungsrechnungen sind folgende:

Risiko-Kriterium	Berechneter Bedenklichkeitsbereich
25% Sauerstoff	0.05123 Molenbruch O2
23.5% Sauerstoff	0.03226 Molenbruch O2
19.5% Sauerstoff	0.07140 Molenbruch N2/Ar
18% Sauerstoff	0.14286 Molenbruch N2/Ar
17% Sauerstoff	0.19048 Molenbruch N2/Ar

## 6.8 Umgebungsbedingungen

Die Temperaturdifferenz zwischen dem ausströmenden Gas und der Umgebung kann einen Effekt auf die Ausbreitung haben. Um diesen Effekt zu untersuchen, wurden grundsätzliche Berechnungen für Temperaturen der Umgebungsluft von 10, 20 und 30 °C bei konstanter Ausströmtemperatur des Gases ausgeführt.

Die durchgeführten Berechnungen ergaben, dass in vielen Fällen die Wirkung der Umgebungstemperatur auf die Ermittlung sicherer Abstände vernachlässigbar ist, und in keinem Fall überschritt die Abweichung 10 % des für den ungünstigsten Fall berechneten Abstands.

So enthalten die in den Anhängen dargestellten Tabellen den größten Wert der Abstände (horizontal, über und unter der Ausblase-Einrichtung), der für jede der gewählten Umgebungstemperaturen gefunden wurde.

Für die Berechnungen wurde eine durchschnittliche relative Feuchtigkeit von 70 % gewählt.

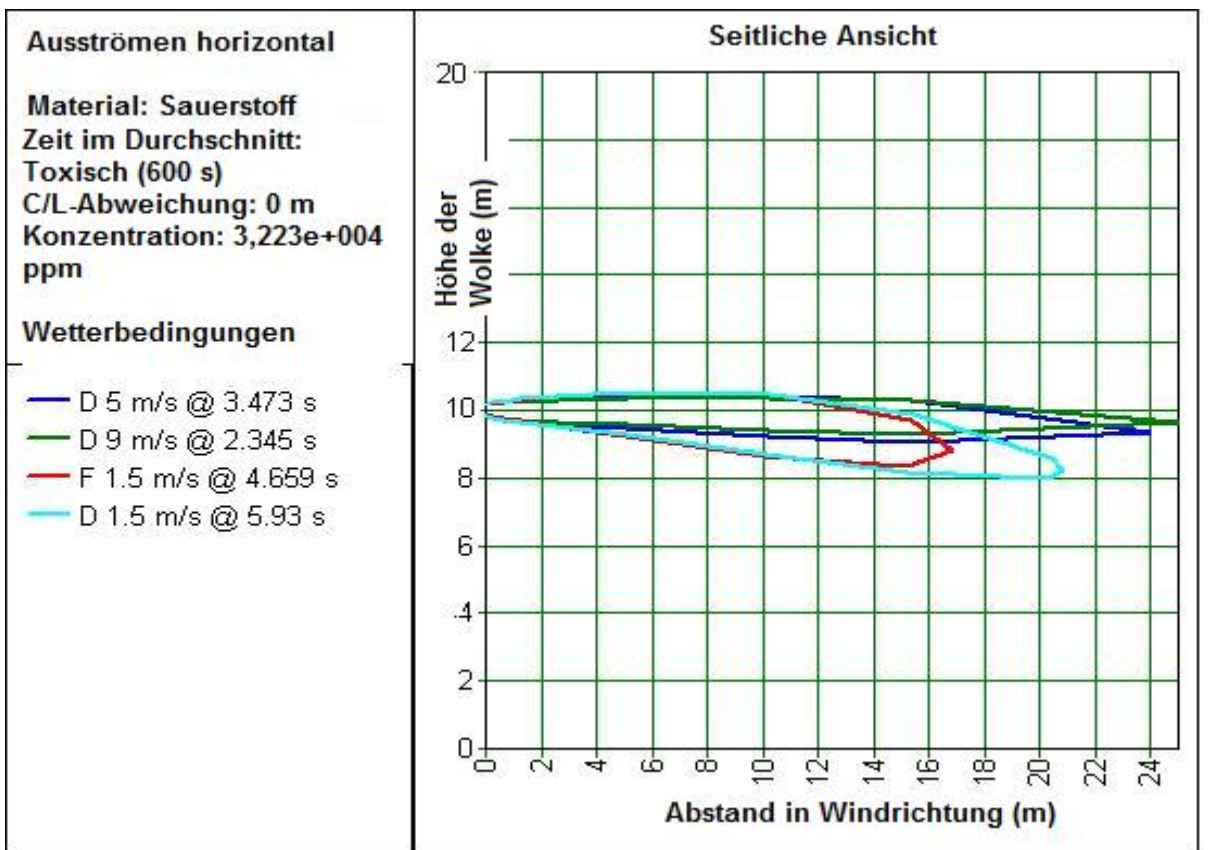
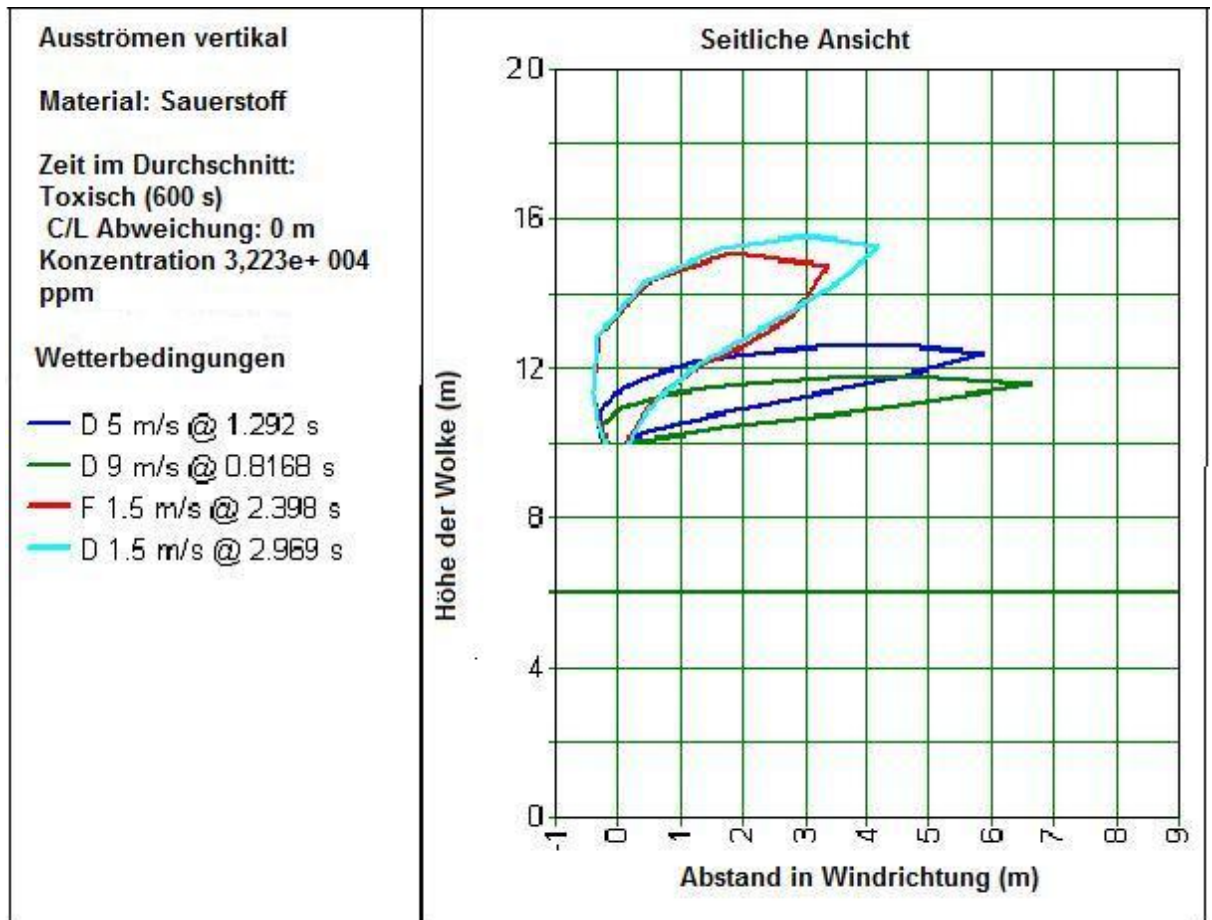
Alle Berechnungen wurden für einen atmosphärischen Druck von 1,013 bar abs. (d. h. Bedingungen auf Meereshöhe) durchgeführt.

## 6.9 Interpretation der Tabellen

Die individuellen Ausbreitungsrechnungen mit PHAST ergeben die Konzentration über dem berechneten Abstand in drei Dimensionen für jedes Szenario und jede gewählte Wetterbedingung. Zur Interpretation der Abmessungen der Gaswolke bei jeder Konzentrationsgrenze bietet das Programm die Möglichkeit, Graphiken auszugeben, in denen die Ergebnisse für das gleiche Ausströmszenario unter verschiedenen Wetterbedingungen in einem einzigen Diagramm dargestellt sind.

Beispiele für derartige Diagramme sind in den nachfolgenden Abbildungen enthalten. Die Graphiken gelten für warmen Niederdruck-Sauerstoff, der entweder vertikal oder horizontal ausströmt, wobei Seitenansichten der ausgebreiteten Wolke dargestellt sind und zwar in Windrichtung bei 23,5 Volumenprozent Sauerstoff für jede der vier gewählten Wetterbedingungen, die für jede Ausströmrichtung angenommen wurden.

Die in den Tabellen in den Anhängen angegebenen Höhen der Ausblase-Einrichtung wurden so festgelegt, dass eine minimal sichere Höhe von 3 m über der Arbeitsebene unter einer beliebigen Gasfahne erreicht wird. Das ergibt ungefähr 1 m Abstand über der Körpergröße, womit ein mögliches Absinken der Gasfahne sowie leichte Unterschiede zwischen den Modell-Fällen berücksichtigt werden.



Andere graphische Darstellungen, einschließlich solcher, die Konzentrationsänderungen mit dem Abstand für jeden einzelnen Ausströmfall unter feststehenden Wetterbedingungen zeigen, sind möglich. Jedoch illustriert die Form der hier gezeigten Graphiken am besten, wie die Abstände für den ungünstigsten Fall zu interpretieren sind, die in den Tabellen in den Anhängen gegeben sind.

Für jedes in den Anhängen aufgeführte Ausströmszenario enthält die entsprechende Tabelle folgende Angaben (abgeleitet aus der jeweiligen Graphik):

- Maximaler horizontaler Abstand, welcher von der sich ausbreitenden Wolke mit einer vorgegebenen Konzentration für jeden Ausströmdurchmesser bei beliebigen Wetterbedingungen erreicht wird.
- Minimal erforderliche Höhe der Ausströmöffnung, um an jedem Punkt unterhalb der Ausbreitungswolke die Sicherheit zu gewährleisten (Berechnung für negativen Auftrieb, wenn aus den Ergebnissen ersichtlich).
- Maximale vertikale Höhe über der Ausströmöffnung, die von der Wolke bei jeder Wetterbedingung, soweit anwendbar, erreicht wird – horizontales Ausströmen atmosphärischer Gase führt im Allgemeinen nicht zu irgendeiner signifikanten Höhe der Wolke über der Ausströmöffnung und zur Vereinfachung kann ein Standard-Maximum für diese Fälle festgelegt werden (siehe Abbildungen unten).

So wird nach der dargestellten Graphik für vertikales Ausströmen bei beliebigen Wetterbedingungen die Konzentration von 23,5 % Sauerstoff in einem maximalen horizontalen Abstand von 6,7 m erreicht, die maximale vertikale Höhe über der Ausströmöffnung beträgt 5,5 m und die ausgebreitete Wolke dehnt sich nicht unterhalb der Ausströmöffnung aus. Letzteres führt zu dem Ergebnis, dass die minimal akzeptable Höhe der Ausströmöffnung mit 3 Meter angegeben wird (vergleiche jedoch die vorhergehenden Diskussionen über die Standorte der Ausblase-Einrichtungen). Es ist zu beachten, dass die extremen horizontalen und vertikalen Abstände nicht für eine bestimmte Wettersituation erhalten werden (das ist der Fall für alle Ausströmungen und es gibt keine allgemeine Antwort zu der Frage, welches Szenario welche extremen Abstände ergibt).

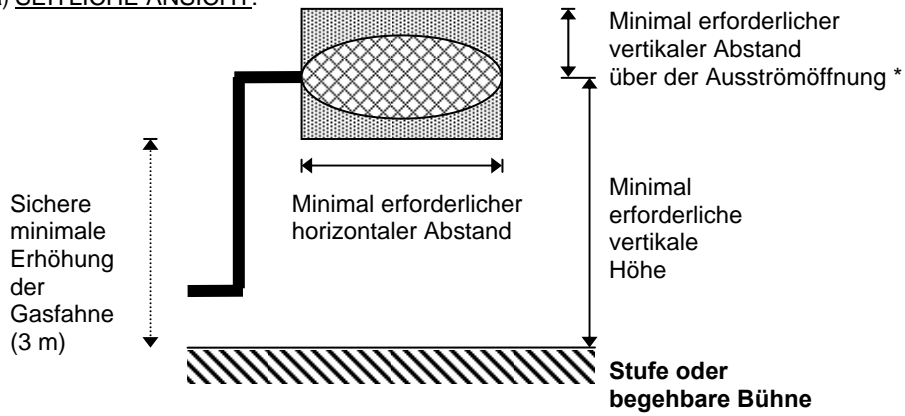
Die Ergebnisse für horizontales Ausströmen folgen einem ähnlichen Muster, außer dass die Abmessungen der Modellwolke niemals deutlich über der Ausströmhöhe liegen, wohingegen die Wolke im ungünstigsten Fall negativen Auftrieb hat, was eine Erhöhung der empfohlenen minimalen Ausströmhöhe von 3 auf 5 m rechtfertigt.

Solche Graphiken sind aus den Daten abgeleitete, unvermeidbar idealisierte mathematische Modelle und sie sind den Wolkenformen, die sich beim Ausströmen unter den gleichen Bedingungen aktuell ergeben, nur angenähert. Deshalb wurden die Resultate in den Tabellen aufgerundet. Die dargestellten Ergebnisse entsprechen den Angaben in Anhang A für warmen Niederdruck-Sauerstoff, der mit 20 m/s aus einem Rohr von 8 Zoll (ca. 200 mm) Nenn-Durchmesser ausströmt.

Die folgenden Bilder 1, 2 und 3 zeigen, wie die in den Anhängen angegebenen Abstände für horizontales, vertikales oder mit 45 ° abgewinkeltes Ausströmen interpretiert werden sollten.

Bild 1: ABSTÄNDE BEI HORIZONTALER AUSSTRÖMUNG

(a) SEITLICHE ANSICHT:



\* Der minimale vertikale Abstand über der Ausströmöffnung wird entweder aus der Tabelle entnommen oder beträgt 2 m, wenn kein Wert genannt ist.

(b) DRAUFSICHT:

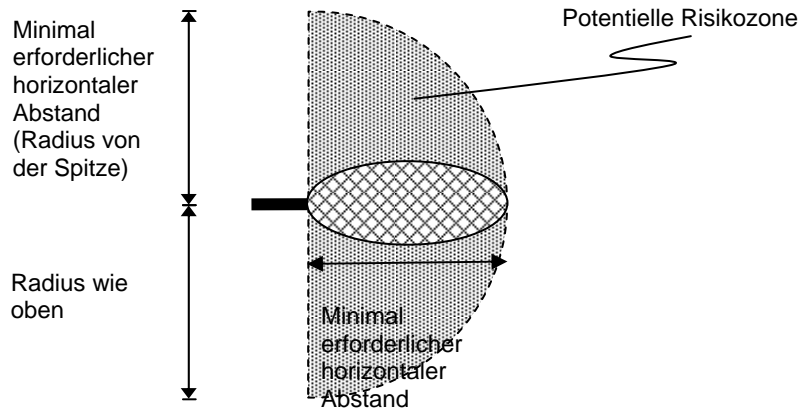
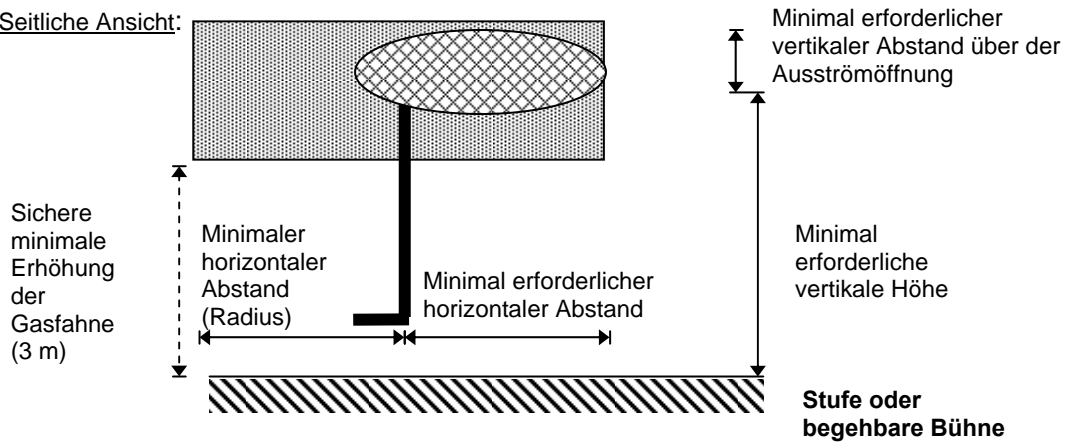
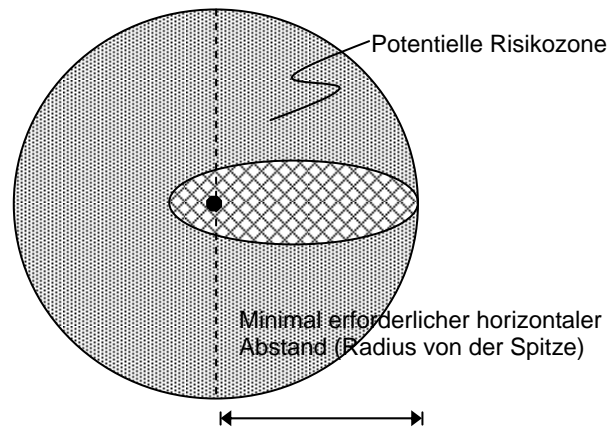


BILD 2: ABSTÄNDE BEI VERTIKALEM AUSSTRÖMEN

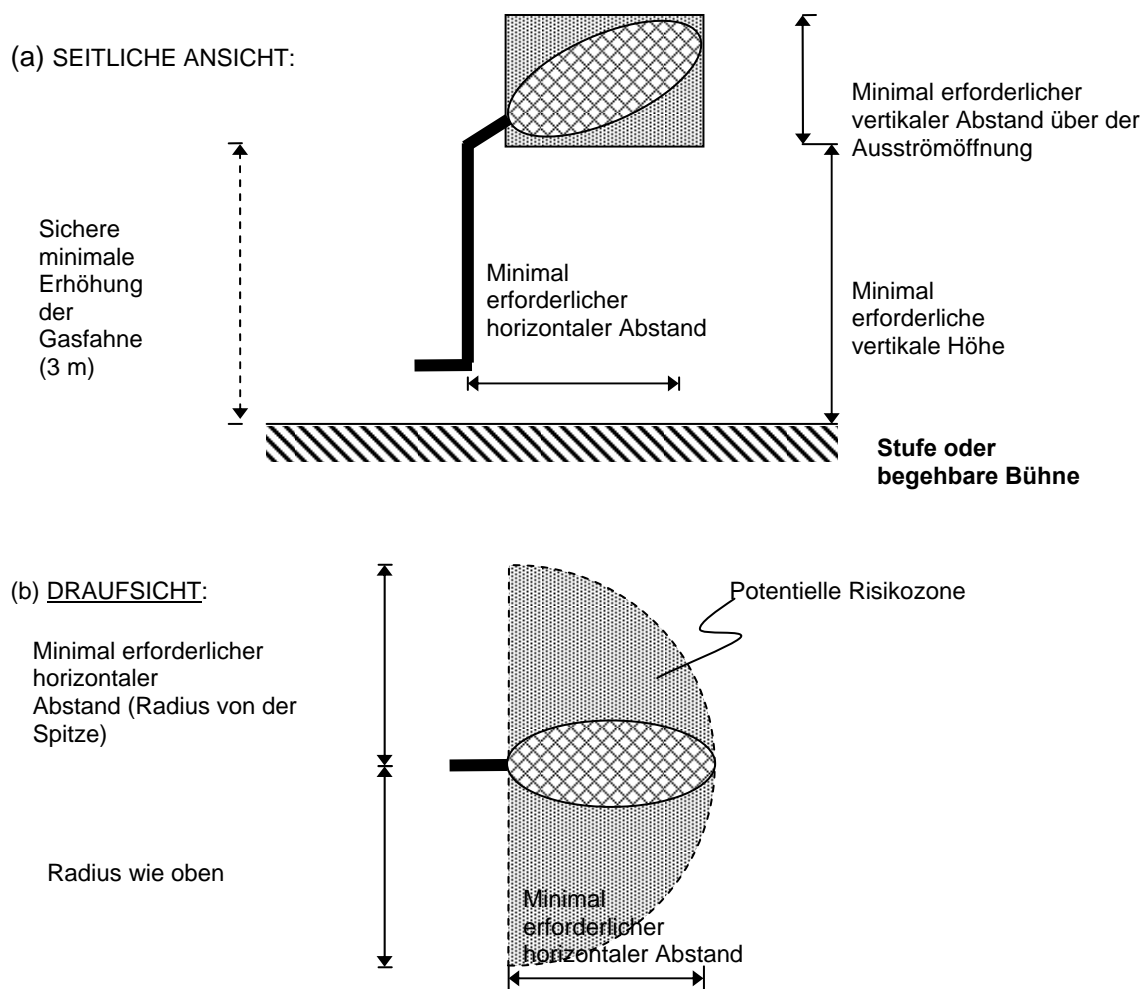
(a) Seitliche Ansicht:



(b) Draufsicht:



### BILD 3: ABSTÄNDE BEI ABGEWINKELTEM AUSSTRÖMEN



#### 6.10 Grenzen der Berechnungsmethode

Die wesentlichen Grenzen der durchgeführten Berechnungen bestehen in folgendem:

- Alle Ausbreitungsrechnungen beruhen auf einer kontinuierlichen Ausströmrate.
- Hindernisse (Gebäude, Konstruktionen...) werden bei den Simulationen nicht berücksichtigt.
- Die Modellrechnung setzt voraus, dass jeder Ausblase-Vorgang, wenn er nicht vertikal erfolgt, in der gleichen Richtung stattfindet, wie der zum Zeitpunkt des Ausblase-Vorgangs herrschende Wind.
- Nebel: Der Einfluss auf die Sichtverhältnisse durch die Ausbreitung kryogenen Gases wird nicht berücksichtigt.

#### 7 Schlussfolgerungen

Die empfohlene Grundlage zur Bestimmung des sicheren Standortes von Ausblase-Einrichtungen für Sauerstoff oder inertes atmosphärisches Gas ist in Abschnitt 5 dieses Dokuments beschrieben.

Mit den Berechnungsfaktoren, die in Abschnitt 6 im Detail dargestellt sind, kann das Ausblasen von Sauerstoff und erstickendem ungiftigem Gas sicher durchgeführt werden, wenn man die Abstände einhält, die in den Anhängen A bis L für die jeweiligen Ausströmdurchmesser und -richtungen gegeben sind. Dazu ist es erforderlich, dass zuvor die Risiko-Konzentration entsprechend Abschnitt 5.2 bestimmt wird.

Fälle, in denen die Ausströmbedingungen nicht eng mit den angegebenen Faktoren übereinstimmen, erfordern eine individuelle Berechnung und Bewertung.

## **8 Referenzen**

1. Safety Advisory Group Newsletter 79/04 "Hazards of oxygen enriched atmospheres etc...".
2. Safety Advisory Group Newsletter 78/03 "Asphyxiation fatalities on a construction site etc...".
3. IGC Document 115/04 "Storage of cryogenic air gases at user premises".
4. IGC Document 04/00/E "Fire hazards of oxygen and oxygen enriched atmospheres".
5. IGC Document 44/00/E "Hazard of inert gases".
6. EIGA Position Paper PP-14 "Definitions of oxygen enrichment/deficiency safety criteria".
7. Center for Chemical Process Safety book "Guidelines for consequence analysis of chemical releases" published by the American Institute of Chemical Engineers ISBN 0-8169-0786-2 (1999).

**Anhang A: Warmer Niederdruck-Sauerstoff****A.1 WARMER ND-SAUERSTOFF AUSSTRÖMEN HORIZONTAL MIT 20 m/s**

Ausströmöffnung Durchmesser (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)		Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)	
	23,5 % O <sub>2</sub>	25 % O <sub>2</sub>	23,5 % O <sub>2</sub>	25 % O <sub>2</sub>
25	6	4	3	3
50	9	7	3	3
80	13	10	4	3
100	15	11	4	3
150	21	16	4	4
200	26	18	5	4
250	30	22	6	5
300	34	27	7	5
350	38	30	7	6
400	42	32	7	6
450	44	33	8	7
500	49	36	10	7
600	57	42	11	8
750	66	52	14	10
900	73	58	16	12
1200	88	68	22	16
1500	100	76	27	21

**A.2 WARMER SAUERSTOFF AUSSTRÖMEN HORIZONTAL MIT 10 m/s**

Ausströmöffnung Durchmesser (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)		Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)	
	23,5 % O <sub>2</sub>	25 % O <sub>2</sub>	23,5 % O <sub>2</sub>	25 % O <sub>2</sub>
25	6	4	3	3
50	9	7	3	3
80	12	9	4	3
100	14	10	4	3
150	19	14	4	4
200	24	16	5	4
250	26	20	5	5
300	28	23	6	5
350	32	26	7	5
400	34	27	8	6
450	36	28	9	7
500	40	30	9	8
600	47	32	10	8
750	53	45	13	10
900	58	48	15	12
1200	67	53	20	15
1500	90	69	25	19

## A.3 WARMER ND-SAUERSTOFF AUSSTRÖMEN VERTIKAL MIT 20 m/s

Ausström- öffnung Durchmesser (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)		Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)		Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)	
	23.5 % O2	25% O2	23.5 % O2	25% O2	23.5 % O2	25% O2
	1	1	3	3	1	1
	2	1	3	3	2	1
	3	1	3	3	2	2
	4	2	3	3	3	2
	5	3	3	3	4	3
	7	4	3	3	6	4
	8	5	3	3	7	5
	10	5	3	3	9	7
	12	6	3	3	10	8
	13	7	3	3	11	9
	15	8	3	3	12	20
	16	9	3	3	14	10
	19	10	3	3	16	13
	24	13	3	3	20	16
	28	15	3	3	23	19
	37	20	3	3	31	25
	43	25	3	3	38	31

## A.4 WARMER ND-SAUERSTOFF AUSSTRÖMEN VERTIKAL MIT 10 m/s

Ausström- öffnung Durchmesser (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)		Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)		Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)	
	23.5 % O2	25% O2	23.5 % O2	25% O2	23.5 % O2	25% O2
25	2	1	3	3	1	1
50	3	2	3	3	1	1
80	4	2	3	3	2	1
100	5	3	3	3	2	2
150	6	4	3	3	3	2
200	8	5	3	3	4	3
250	10	6	3	3	5	4
300	12	6	3	3	6	4
350	14	7	3	3	6	5
400	15	8	3	3	7	6
450	17	10	3	3	8	6
500	19	10	3	3	8	7
600	23	12	3	3	10	8
750	27	15	3	3	12	10
900	30	18	3	3	13	12
1200	40	24	3	3	17	15
1500	45	30	3	3	20	18

## A.5 WARMER ND-SAUERSTOFF AUSSTRÖMEN ABGEWINKELT MIT 20 m/s

Ausström- öffnung Durchmesser (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)		Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)		Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)	
	23.5 % O2	25% O2	23.5 % O2	25% O2	23.5 % O2	25% O2
25	2	1	3	3	1	1
50	3	2	3	3	1	1
80	4	3	3	3	2	2
100	5	4	3	3	3	2
150	8	6	3	3	4	3
200	10	7	3	3	5	4
250	13	9	3	3	6	5
300	16	10	3	3	7	6
350	19	13	3	3	9	7
400	22	14	3	3	10	8
450	25	15	3	3	11	9
500	29	17	3	3	12	10
600	37	21	3	3	14	11
750	50	28	3	3	17	14
900	60	34	3	3	20	16
1200	78	50	3	3	24	21
1500	91	65	3	3	29	25

## A.6 WARMER ND-SAUERSTOFF AUSSTRÖMEN ABGEWINKELT MIT 10 m/s

Ausström- öffnung Durchmesser (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)		Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)		Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)	
	23.5 % O2	25% O2	23.5 % O2	25% O2	23.5 % O2	25% O2
25	2	1	3	3	1	1
50	4	2	3	3	1	1
80	5	3	3	3	2	1
100	6	4	3	3	2	2
150	9	5	3	3	3	2
200	12	7	3	3	3	3
250	16	9	3	3	4	3
300	20	11	3	3	5	4
350	24	13	3	3	6	5
400	27	16	3	3	6	5
450	29	18	3	3	7	6
500	32	21	3	3	7	6
600	36	25	3	3	8	7
750	42	31	3	3	10	9
900	46	36	3	3	11	10
1200	55	43	3	3	13	12
1500	65	50	3	3	15	14

**Anhang B: Kalter Niederdruck-Sauerstoff****B.1 Kalter ND-SAUERSTOFF AUSSTRÖMEN HORIZONTAL MIT 20 m/s**

Ausström- öffnung Durchmesser (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)		Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)	
	23.5 % O <sub>2</sub>	25% O <sub>2</sub>	23.5 % O <sub>2</sub>	25% O <sub>2</sub>
25	8	6	4	4
50	11	9	5	4
80	16	11	6	5
100	18	13	7	6
150	22	18	10	8
200	27	21	12	10
250	32	24	15	12
300	35	27	18	14
350	37	30	21	16
400	40	31	24	19
450	43	33	28	21
500	44	36	30	24
600	50	40	36	29
750	56	45	46	36
900	65	49	56	43
1200	75	57	75	61
1500	83	65	94	76

**B.2 Kalter ND-SAUERSTOFF AUSSTRÖMEN HORIZONTAL MIT 10 m/s**

Ausström- öffnung Durchmesser (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)		Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)	
	23.5 % O <sub>2</sub>	25% O <sub>2</sub>	23.5 % O <sub>2</sub>	25% O <sub>2</sub>
25	7	5	4	4
50	9	7	5	4
80	11	9	6	5
100	13	10	7	6
150	17	12	8	7
200	19	14	11	9
250	21	16	13	11
300	25	18	15	13
350	27	19	18	15
400	28	21	20	17
450	28	21	20	17
500	32	23	25	20
600	35	26	29	24
750	38	30	37	30
900	42	31	44	37
1200	49	37	59	49
1500	58	41	75	60

## B.3 KALTER ND-SAUERSTOFF AUSSTRÖMEN VERTIKAL MIT 20 m/s

Ausström- öffnung Durchmesser (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)		Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)		Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)	
	23.5 % O2	25% O2	23.5 % O2	25% O2	23.5 % O2	25% O2
25	2	1	3	3	2	2
50	4	2	3	3	3	3
80	6	3	3	3	5	4
100	8	5	3	3	6	5
150	14	7	3	3	8	7
200	18	11	3	3	10	9
250	22	13	4	3	11	10
300	26	16	6	3	12	12
350	31	18	8	4	13	13
400	33	20	10	5	14	14
450	36	23	13	7	15	14
500	39	26	15	9	15	15
600	43	31	21	13	17	17
750	49	36	25	16	18	18
900	52	39	37	26	20	19
1200	59	43	58	41	22	21
1500	65	46	78	58	24	24

## B.4 KALTER ND-SAUERSTOFF AUSSTRÖMEN VERTIKAL MIT 10 m/s

Ausström- öffnung Durchmesser (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)		Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)		Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)	
	23.5 % O2	25% O2	23.5 % O2	25% O2	23.5 % O2	25% O2
25	3	2	3	3	1	1
50	6	3	3	3	2	2
80	8	4	3	3	2	2
100	11	7	3	3	3	3
150	15	9	5	4	4	4
200	19	12	6	4	4	4
250	21	15	8	6	5	4
300	23	17	10	7	5	5
350	25	19	12	8	5	5
400	26	20	13	9	6	5
450	27	20	14	10	6	6
500	30	22	18	14	6	6
600	33	23	23	17	7	7
750	35	25	30	23	7	7
900	37	27	38	29	8	8
1200	44	31	52	42	9	9
1500	46	30	69	54	10	10

## B.5 KALTER ND-SAUERSTOFF AUSSTRÖMEN ABGEWINKELT MIT 20 m/s

Ausström- öffnung Durchmesser (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)		Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)		Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)	
	23.5 % O2	25% O2	23.5 % O2	25% O2	23.5 % O2	25% O2
25	4	2	3	3	2	1
50	8	6	3	3	2	2
80	12	8	3	3	3	3
100	15	10	3	3	4	4
150	21	15	4	3	5	5
200	26	19	6	3	5	5
250	31	22	8	5	6	6
300	34	25	10	7	6	6
350	35	29	12	8	7	7
400	39	31	15	10	7	7
450	42	34	17	11	8	7
500	44	35	21	14	8	8
600	48	37	26	18	8	8
750	53	42	35	25	9	9
900	58	46	43	32	9	9
1200	67	54	62	39	10	10
1500	78	59	83	62	10	10

## B.6 KALTER ND-SAUERSTOFF AUSSTRÖMEN ABGEWINKELT MIT 10 m/s

Ausström- öffnung Durchmesser (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)		Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)		Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)	
	23.5 % O2	25% O2	23.5 % O2	25% O2	23.5 % O2	25% O2
25	5	3	3	3	1	1
50	8	6	3	3	1	1
80	11	7	4	3	2	2
100	14	10	5	4	2	2
150	18	13	6	5	2	2
200	20	15	8	6	2	2
250	22	16	10	8	2	2
300	23	18	12	9	3	3
350	25	20	14	11	3	3
400	26	20	16	13	3	3
450	26	20	16	13	3	3
500	29	22	21	17	3	3
600	33	25	26	20	3	3
750	37	27	34	26	3	3
900	40	30	40	33	3	3
1200	45	35	55	45	3	3
1500	51	39	71	56	4	4

**Anhang C: Warmer Hochdruck-Sauerstoff****C.1 WARMER HD-SAUERSTOFF AUSSTRÖMEN HORIZONTAL MIT HOHER GESCHWINDIGKEIT**

Ausström- öffnung Durchmesser (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)		Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)	
	23.5 % O2	25% O2	23.5 % O2	25% O2
25	5	3	3	3
50	10	6	3	3
80	13	9	4	3
100	18	12	4	4
150	25	17	4	4
200	36	22	4	4
250	43	25	5	4
300	49	32	5	5
400	67	43	6	5

**C.2 WARMER HD-SAUERSTOFF AUSSTRÖMEN VERTIKAL MIT HOHER GESCHWINDIGKEIT**

Ausström- öffnung Durchmesser (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)		Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)		Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)	
	23.5 % O2	25% O2	23.5 % O2	25% O2	23.5 % O2	25% O2
25	1	1	3	3	2	2
50	1	1	3	3	5	3
80	1	1	3	3	7	5
100	2	1	3	3	8	7
150	3	2	3	3	13	11
200	4	2	3	3	17	13
250	5	3	3	3	23	17
300	6	3	3	3	25	21
400	7	4	3	3	35	25

**C.3 WARMER HD-SAUERSTOFF AUSSTRÖMEN ABGEWINKELT MIT HOHER GESCHWINDIGKEIT**

Ausström- öffnung Durchmesser (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)		Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)		Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)	
	23.5 % O2	25% O2	23.5 % O2	25% O2	23.5 % O2	25% O2
25	2	1	3	3	2	2
50	4	3	3	3	4	3
80	6	5	3	3	5	4
100	9	6	3	3	7	5
150	12	9	3	3	10	8
200	17	11	3	3	15	10
250	19	15	3	3	16	13
300	24	17	3	3	20	15
400	34	22	3	3	28	19

**Anhang D: Kalter Hochdrucksauerstoff****D.1 KALTER HD-SAUERSTOFF AUSSTRÖMEN HORIZONTAL MIT HOHER GESCHWINDIGKEIT**

Ausström- öffnung Durchmesser (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)		Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)	
	23.5 % O2	25% O2	23.5 % O2	25% O2
25	9	6	3	3
50	16	11	4	3
80	23	16	5	4
100	29	20	6	4
150	39	29	8	6
200	50	38	11	7
250	62	46	15	9
300	70	55	18	10
400	88	70	24	16

**D.2 KALTER HD-SAUERSTOFF AUSSTRÖMEN VERTIKAL MIT HOHER GESCHWINDIGKEIT**

Ausström- öffnung Durchmesser (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)		Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)		Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)	
	23.5 % O2	25% O2	23.5 % O2	25% O2	23.5 % O2	25% O2
25	1	1	3	3	2	2
50	2	1	3	3	5	5
80	3	2	3	3	7	7
100	4	2	3	3	8	8
150	6	4	3	3	13	13
200	8	5	3	3	17	17
250	10	6	3	3	23	23
300	12	7	3	3	25	25
400	18	9	3	3	35	35

**D.3 KALTER HD-SAUERSTOFF AUSSTRÖMEN ABGEWINKELT MIT HOHER GESCHWINDIGKEIT**

Ausström- öffnung Durchmesser (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)		Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)		Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)	
	23.5 % O2	25% O2	23.5 % O2	25% O2	23.5 % O2	25% O2
25	4	3	3	3	3	2
50	8	6	3	3	6	5
80	12	8	3	3	9	7
100	16	11	3	3	11	9
150	25	17	3	3	16	13
200	37	24	3	3	21	17
250	49	30	3	3	25	21
300	58	37	3	3	28	24
400	76	53	3	3	34	31

**Anhang E: Warmer Niederdruck-Stickstoff****E.1 WARMER ND-STICKSTOFF AUSSTRÖMEN HORIZONTAL MIT 20 m/s**

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)		
	19.5 %O2	18 %O2	17 %O2	19.5 %O2	18 %O2	17 %O2
25	3	2	1	4	4	4
50	6	3	1	4	4	4
80	8	5	3	4	4	4
100	10	6	4	4	4	4
150	14	8	6	4	4	4
200	17	10	7	4	4	4
250	20	12	9	4	4	4
300	24	13	10	4	4	4
350	26	15	11	4	4	4
400	30	16	12	5	4	4
450	34	17	14	5	4	4
500	36	19	16	5	4	4
600	38	23	18	5	4	4
750	45	28	22	6	4	4
900	55	32	24	7	5	5
1200	68	40	30	8	5	5
1500	85	48	38	12	6	5

**E.2 WARMER ND-STICKSTOFF AUSSTRÖMEN HORIZONTAL MIT 10 m/s**

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)		
	19.5 %O2	18 %O2	17 %O2	19.5 %O2	18 %O2	17 %O2
25	4	2	2	4	4	4
50	6	3	3	4	4	4
80	8	5	4	4	4	4
100	10	6	5	4	4	4
150	13	8	7	4	4	4
200	16	9	8	4	4	4
250	19	11	8	4	4	4
300	22	12	10	4	4	4
350	24	13	11	5	4	4
400	26	15	13	5	4	4
450	28	17	14	5	4	4
500	30	18	16	5	4	4
600	33	20	16	6	4	4
750	40	26	20	6	5	4
900	43	28	22	8	5	5
1200	55	34	27	9	6	5
1500	61	38	31	11	7	6

## E.3 WARMER ND-STICKSTOFF AUSSTRÖMEN VERTIKAL MIT 20 m/s

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)			Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)		
	19.5 %O2	18 %O2	17 % O2	19.5 %O2	18 %O2	17 %O2	19.5 %O2	18 %O2	17 %O2
25	1	1	1	3	3	3	1	1	1
50	1	1	1	3	3	3	1	1	1
80	1	1	1	3	3	3	2	1	1
100	2	1	1	3	3	3	2	2	1
150	2	1	1	3	3	3	3	2	2
200	3	1	1	3	3	3	4	3	2
250	3	1	1	3	3	3	5	3	3
300	4	1	1	3	3	3	5	4	3
350	4	2	1	3	3	3	6	4	4
400	5	2	1	3	3	3	7	5	4
450	6	2	2	3	3	3	8	5	4
500	6	3	2	3	3	3	8	6	4
600	7	3	2	3	3	3	10	7	6
750	9	4	2	3	3	3	12	8	6
900	10	4	2	3	3	3	16	10	8
1200	13	5	3	3	3	3	21	14	11
1500	16	6	4	3	3	3	25	18	14

## E.4 WARMER ND-STICKSTOFF AUSSTRÖMEN VERTIKAL MIT 10 m/s

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)			Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)		
	19.5 %O2	18 %O2	17 % O2	19.5 %O2	18 %O2	17 %O2	19.5 %O2	18 %O2	17 %O2
25	1	1	1	3	3	3	1	1	1
50	1	1	1	3	3	3	1	1	1
80	1	1	1	3	3	3	1	1	1
100	2	1	1	3	3	3	2	1	1
150	2	1	1	3	3	3	2	2	1
200	3	1	1	3	3	3	3	2	2
250	4	2	1	3	3	3	3	2	2
300	4	2	1	3	3	3	4	2	2
350	5	2	1	3	3	3	4	3	2
400	6	2	2	3	3	3	5	3	3
450	7	3	2	3	3	3	5	3	3
500	7	3	2	3	3	3	6	3	3
600	8	3	2	3	3	3	7	5	4
750	10	4	3	3	3	3	8	6	4
900	12	5	3	3	3	3	11	7	5
1200	15	5	4	3	3	3	14	8	7
1500	18	7	4	3	3	3	16	11	9

## E.5 WARMER ND-STICKSTOFF AUSSTRÖMEN ABGEWINKELT MIT 20 m/s

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)			Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)		
	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 % O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>
25	1	1	1	3	3	3	1	1	1
50	2	1	1	3	3	3	1	1	1
80	2	1	1	3	3	3	1	1	1
100	3	2	1	3	3	3	2	1	1
150	4	2	2	3	3	3	3	2	1
200	6	3	2	3	3	3	3	2	2
250	7	4	3	3	3	3	4	3	2
300	8	4	3	3	3	3	5	3	3
350	10	5	4	3	3	3	6	4	3
400	11	5	4	3	3	3	7	4	3
450	12	6	4	3	3	3	8	4	3
500	13	6	5	3	3	3	9	4	4
600	15	8	6	3	3	3	10	6	5
750	18	10	7	3	3	3	12	6	5
900	24	13	9	3	3	3	14	9	7
1200	30	15	12	3	3	3	19	12	10
1500	42	20	15	3	3	3	24	15	12

## E.6 WARMER ND-STICKSTOFF AUSSTRÖMEN ABGEWINKELT MIT 10 m/s

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)			Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)		
	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 % O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>
25	1	1	1	3	3	3	1	1	1
50	1	1	1	3	3	3	1	1	1
80	2	1	1	3	3	3	1	1	1
100	3	1	1	3	3	3	1	1	1
150	4	2	1	3	3	3	2	1	1
200	5	3	2	3	3	3	2	2	1
250	6	3	2	3	3	3	3	2	2
300	7	4	2	3	3	3	4	2	2
350	8	4	3	3	3	3	4	3	2
400	9	5	3	3	3	3	4	3	2
450	12	5	3	3	3	3	4	3	2
500	13	5	4	3	3	3	4	3	2
600	14	6	5	3	3	3	7	4	4
750	19	8	5	3	3	3	8	4	3
900	22	10	7	3	3	3	10	6	5
1200	31	14	10	3	3	3	12	8	7
1500	40	18	13	3	3	3	15	10	8

**Anhang F: Kalter Niederdruck-Stickstoff****F.1 KALTER ND-STICKSTOFF AUSSTRÖMEN HORIZONTAL BEI 20 m/s**

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)		
	19.5 %O2	18 %O2	17 %O2	19.5 %O2	18 %O2	17 %O2
25	5	3	3	4	4	4
50	8	5	5	4	4	4
80	10	7	6	5	4	4
100	12	9	7	6	5	4
150	16	11	10	7	6	5
200	18	13	11	9	7	6
250	22	16	14	11	8	7
300	24	18	16	13	9	8
350	26	20	17	15	10	9
400	28	21	19	17	12	10
450	30	24	21	19	13	11
500	33	26	22	21	14	12
600	35	28	26	26	17	15
750	40	31	28	31	23	18
900	45	37	33	40	27	22
1200	55	45	40	56	35	30
1500	63	50	47	83	45	37

**F.2 KALTER ND-STICKSTOFF AUSSTRÖMEN HORIZONTAL BEI 10 m/s**

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)		
	19.5 %O2	18 %O2	17 %O2	19.5 %O2	18 %O2	17 %O2
25	4	3	2	4	4	4
50	6	4	4	4	4	4
80	8	5	5	5	4	4
100	9	6	5	6	5	5
150	11	7	6	7	6	5
200	13	8	7	9	7	6
250	14	9	8	10	8	7
300	16	11	9	12	9	8
350	17	11	10	13	10	9
400	18	12	11	15	11	10
450	18	14	11	17	13	11
500	21	15	12	18	14	12
600	22	16	14	22	17	14
750	26	19	15	26	20	17
900	28	20	18	33	23	20
1200	33	24	21	45	33	27
1500	38	27	24	53	38	33

## F.3 KALTER ND-STICKSTOFF AUSSTRÖMEN VERTIKAL BEI 20m/s

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)			Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)		
	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 % O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>
25	1	1	1	3	3	3	2	2	2
50	2	1	1	3	3	3	3	2	2
80	2	1	1	3	3	3	4	3	3
100	3	1	1	3	3	3	5	4	3
150	5	2	2	3	3	3	7	5	5
200	8	3	2	3	3	3	9	7	6
250	11	4	2	3	3	3	10	8	8
300	13	4	3	3	3	3	12	10	10
350	14	4	3	3	3	3	12	12	11
400	17	5	4	3	3	3	14	12	11
450	23	7	5	3	3	3	15	12	11
500	25	8	6	3	3	3	15	12	11
600	25	10	7	11	3	3	15	15	14
750	33	15	9	14	3	3	16	15	14
900	35	16	10	23	8	5	18	18	17
1200	39	20	14	33	18	11	20	20	18
1500	41	23	17	53	25	13	25	22	22

## F.4 KALTER ND-STICKSTOFF AUSSTRÖMEN VERTIKAL BEI 10 m/s

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)			Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)		
	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 % O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>
25	1	1	1	3	3	3	1	1	1
50	2	1	1	3	3	3	2	2	1
80	3	1	1	3	3	3	3	2	2
100	5	2	1	3	3	3	3	3	2
150	7	3	2	3	3	3	4	3	3
200	10	4	2	4	3	3	4	4	4
250	12	5	3	5	3	3	5	4	4
300	14	6	4	6	4	3	5	5	5
350	16	7	4	7	4	3	5	5	5
400	17	8	5	9	5	4	5	5	5
450	18	9	8	10	7	4	5	5	5
500	20	10	8	12	7	6	5	5	5
600	21	11	9	16	9	7	6	6	6
750	22	12	10	18	13	9	6	6	6
900	23	13	10	26	17	14	8	8	6
1200	26	14	11	38	25	20	8	8	8
1500	29	15	12	48	33	28	10	8	8

## F.5 KALTER ND-STICKSTOFF AUSSTRÖMEN ABGEWINKELT MIT 20 m/s

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)			Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)		
	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 % O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>
25	2	1	1	3	3	3	1	1	1
50	5	2	2	3	3	3	2	2	2
80	7	3	3	3	3	3	3	2	2
100	10	5	4	3	3	3	4	3	3
150	14	9	6	3	3	3	5	4	4
200	17	12	9	3	3	3	6	5	5
250	20	14	12	4	3	3	6	6	6
300	24	16	14	5	3	3	7	6	6
350	26	18	16	6	3	3	7	7	6
400	30	20	18	8	3	3	7	7	7
450	34	22	18	9	3	3	7	7	7
500	36	24	20	11	3	3	7	7	7
600	40	26	24	15	6	3	8	8	8
750	44	30	26	19	9	3	9	8	8
900	46	35	32	28	15	10	10	10	9
1200	54	42	38	42	23	17	10	10	10
1500	60	48	48	57	31	25	10	10	10

## F.6 KALTER ND-STICKSTOFF AUSSTRÖMEN ABGEWINKELT MIT 10 m/s

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)			Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)		
	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 % O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>
25	2	1	1	3	3	3	1	1	1
50	5	3	2	3	3	3	2	1	1
80	7	4	3	3	3	3	2	2	2
100	9	5	4	4	3	3	2	2	2
150	12	7	6	4	3	3	2	2	2
200	15	8	7	6	4	3	2	2	2
250	17	10	8	7	4	4	2	2	2
300	18	11	9	9	6	5	2	2	2
350	19	12	10	10	7	5	2	2	2
400	20	13	11	12	8	6	3	3	3
450	21	14	13	13	9	6	3	3	3
500	23	14	14	15	10	7	3	3	3
600	24	16	14	18	13	10	3	3	3
750	27	17	17	22	16	13	3	3	3
900	29	18	17	29	20	17	3	3	3
1200	32	22	20	40	28	23	3	3	3
1500	38	24	22	53	35	30	4	4	4

**Anhang G: Warmer Hochdruck-Stickstoff****G.1 WARMER HD-STICKSTOFF AUSSTRÖMEN HORIZONTAL MIT HOHER GESCHWINDIGKEIT**

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)		
	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>
25	3	1	1	4	4	4
50	5	2	2	4	4	4
80	6	3	3	4	4	4
100	9	4	3	4	4	4
150	12	6	5	4	4	4
200	17	8	6	4	4	4
250	21	10	7	4	4	4
300	24	11	8	4	4	4
400	33	15	11	5	4	4

**G.2 WARMER HD-STICKSTOFF AUSSTRÖMEN VERTIKAL MIT HOHER GESCHWINDIGKEIT**

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)			Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)		
	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 % O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>
25	1	1	1	3	3	3	2	1	1
50	1	1	1	3	3	3	3	2	1
80	1	1	1	3	3	3	4	3	2
100	1	1	1	3	3	3	6	3	3
150	1	1	1	3	3	3	8	5	3
200	1	1	1	3	3	3	11	6	5
250	2	1	1	3	3	3	12	7	6
300	2	1	1	3	3	3	16	9	6
400	3	1	1	3	3	3	22	11	9

**G.3 WARMER HD-STICKSTOFF AUSSTRÖMEN ABGEWINKELT MIT HOHER  
GESCHWINDIGKEIT**

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)			Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)		
	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 % O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>
25	1	1	1	3	3	3	1	1	1
50	2	1	1	3	3	3	2	1	1
80	4	2	1	3	3	3	3	2	1
100	5	2	2	3	3	3	4	2	2
150	7	4	2	3	3	3	7	4	2
200	9	4	3	3	3	3	8	4	3
250	11	6	4	3	3	3	10	6	4
300	14	7	5	3	3	3	13	7	5
400	18	9	7	3	3	3	16	8	7

**Anhang H: Kalter Hochdruck-Stickstoff****H.1 KALTER HD-STICKSTOFF AUSSTRÖMEN HORIZONTAL MIT HOHER GESCHWINDIGKEIT**

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)		
	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>
25	5	3	2	4	4	4
50	10	5	4	4	4	4
80	14	8	6	4	4	4
100	18	10	8	4	4	4
150	26	15	12	4	4	4
200	33	19	16	6	4	4
250	40	24	20	7	4	4
300	47	29	22	7	5	4
400	60	38	30	10	5	5

**H.2 KALTER HD-STICKSTOFF AUSSTRÖMEN VERTIKAL MIT HOHER GESCHWINDIGKEIT**

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)			Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)		
	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 % O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>
25	1	1	1	3	3	3	3	2	2
50	1	1	1	3	3	3	6	4	3
80	2	1	1	3	3	3	8	5	4
100	2	1	1	3	3	3	10	7	6
150	3	1	1	3	3	3	16	10	9
200	3	2	1	3	3	3	20	15	11
250	5	2	1	3	3	3	25	16	14
300	5	2	2	3	3	3	30	20	17
400	7	3	2	3	3	3	40	26	23

**H.3 KALTER HD-STICKSTOFF AUSSTRÖMEN ABGEWINKELT MIT HOHER GESCHWINDIGKEIT**

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)			Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)		
	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 % O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>
25	2	2	1	3	3	3	2	1	1
50	5	3	2	3	3	3	4	3	2
80	7	5	3	3	3	3	6	4	3
100	10	6	5	3	3	3	8	5	4
150	14	8	7	3	3	3	12	8	7
200	21	12	9	3	3	3	16	10	9
250	26	15	11	3	3	3	20	12	10
300	30	17	14	3	3	3	24	15	12
400	42	24	18	3	3	3	30	20	16

**Anhang I: Warmes Niederdruck-Argon****I.1 WARMES ND-ARGON AUSSTRÖMEN HORIZONTAL MIT 20m/s**

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)		
	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>
25	3	1	1	3	3	3
50	5	3	2	3	3	3
80	6	4	3	3	3	3
100	8	5	3	3	3	3
150	11	6	5	4	3	3
200	13	8	6	4	3	3

**I.1 WARMES ND-ARGON AUSSTRÖMEN HORIZONTAL MIT 10m/s**

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)		
	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>
25	3	2	1	3	3	3
50	5	3	3	3	3	3
80	6	4	3	3	3	3
100	7	5	4	3	3	3
150	9	6	5	4	3	3
200	11	7	6	4	3	3

**I.3 WARMES ND-ARGON AUSSTRÖMEN VERTIKAL MIT 20 m/s**

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)			Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)		
	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 % O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>
25	1	1	1	3	3	3	1	1	1
50	1	1	1	3	3	3	1	1	1
80	1	1	1	3	3	3	1	1	1
100	1	1	1	3	3	3	2	1	1
150	2	1	1	3	3	3	3	2	2
200	2	1	1	3	3	3	4	3	2

**I.4 WARMES ND-ARGON AUSSTRÖMEN VERTIKAL MIT 10 m/s**

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)			Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)		
	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 % O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>
25	1	1	1	3	3	3	1	1	1
50	1	1	1	3	3	3	1	1	1
80	1	1	1	3	3	3	1	1	1
100	1	1	1	3	3	3	1	1	1
150	2	1	1	4	3	3	2	2	2
200	2	1	1	4	3	3	2	2	2

I.5 WARMES ND-ARGON AUSSTRÖMEN ABGEWINKELT MIT 20 m/s

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)			Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)		
	19.5 %O2	18 %O2	17 % O2	19.5 %O2	18 %O2	17 %O2	19.5 %O2	18 %O2	17 %O2
25	1	1	1	3	3	3	1	1	1
50	2	1	1	3	3	3	1	1	1
80	2	1	1	3	3	3	1	1	1
100	3	2	1	3	3	3	2	1	1
150	4	2	2	3	3	3	3	2	2
200	5	3	2	3	3	3	3	2	2

I.6 WARMES ND-ARGON AUSSTRÖMEN ABGEWINKELT MIT 10 m/s

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)			Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)		
	19.5 %O2	18 %O2	17 % O2	19.5 %O2	18 %O2	17 %O2	19.5 %O2	18 %O2	17 %O2
25	1	1	1	3	3	3	1	1	1
50	1	1	1	3	3	3	1	1	1
80	2	1	1	3	3	3	1	1	1
100	2	1	1	3	3	3	1	1	1
150	4	2	1	4	3	3	2	1	1
200	5	2	2	4	3	3	2	2	1

**Anhang J: Kaltes Niederdruck-Argon****J.1 KALTES NIEDERDRUCK-ARGON AUSSTRÖMEN HORIZONTAL MIT 20 m/s**

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)		
	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>
25	4	3	2	3	3	3
50	7	4	4	4	3	3
80	9	6	5	4	4	3
100	11	7	6	5	4	4
150	14	10	8	6	5	4
200	17	12	11	8	6	5

**J.2 KALTES NIEDERDRUCK-ARGON AUSSTRÖMEN HORIZONTAL MIT 10 m/s**

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)		
	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>
25	4	2	2	3	3	3
50	5	4	3	4	4	3
80	7	5	4	4	4	4
100	8	5	5	5	4	4
150	10	6	6	6	5	5
200	11	8	7	8	6	6

**J.3 KALTES NIEDERDRUCK-ARGON AUSSTRÖMEN VERTIKAL MIT 20 m/s**

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)			Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)		
	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 % O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>
25	1	1	1	3	3	3	1	1	1
50	1	1	1	3	3	3	2	2	1
80	2	1	1	3	3	3	4	3	2
100	2	1	1	3	3	3	5	4	3
150	3	1	1	3	3	3	7	5	4
200	5	2	1	3	3	3	9	7	6

**J.4 KALTES NIEDERDRUCK-ARGON AUSSTRÖMEN VERTIKAL MIT 10 m/s**

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)			Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)		
	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 % O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>
25	1	1	1	3	3	3	1	1	1
50	1	1	1	3	3	3	2	1	1
80	2	1	1	3	3	3	2	2	2
100	3	1	1	3	3	3	3	2	2
150	5	2	1	3	3	3	4	3	3
200	7	2	2	3	3	3	4	4	4

J.5 KALTES NIEDERDRUCK-ARGON AUSSTRÖMEN ABGEWINKELT MIT 20 m/s

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)			Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)		
	19.5 %O2	18 %O2	17 % O2	19.5 %O2	18 %O2	17 %O2	19.5 %O2	18 %O2	17 %O2
25	2	1	1	3	3	3	1	1	1
50	4	2	2	3	3	3	2	2	1
80	6	3	2	3	3	3	3	2	2
100	8	4	3	3	3	3	4	3	3
150	12	7	5	3	3	3	5	4	3
200	15	11	8	3	3	3	6	5	5

J.6 KALTES NIEDERDRUCK-ARGON AUSSTRÖMEN ABGEWINKELT MIT 10 m/s

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)			Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)		
	19.5 %O2	18 %O2	17 % O2	19.5 %O2	18 %O2	17 %O2	19.5 %O2	18 %O2	17 %O2
25	2	1	1	3	3	3	1	1	1
50	4	2	2	3	3	3	2	1	1
80	6	4	3	3	3	3	2	2	1
100	7	4	4	3	3	3	2	2	2
150	10	6	5	3	3	3	2	2	2
200	12	7	6	3	3	3	2	2	2

**Anhang K: Warmes Hochdruck-Argon****K.1 WARMES HD-ARGON AUSSTRÖMEN HORIZONTAL MIT HOHER GESCHWINDIGKEIT**

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)		
	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>
25	2	1	1	3	3	3
50	4	2	1	3	3	3
80	6	3	2	3	3	3
100	7	3	3	3	3	3
150	11	5	4	3	3	3
200	14	7	5	4	3	3

**K.2 WARMES HD-ARGON AUSSTRÖMEN VERTIKAL MIT HOHER GESCHWINDIGKEIT**

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)			Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)		
	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 % O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>
25	1	1	1	3	3	3	1	1	1
50	1	1	1	3	3	3	3	2	1
80	1	1	1	3	3	3	4	2	2
100	1	1	1	3	3	3	5	3	2
150	1	1	1	3	3	3	8	4	3
200	1	1	1	3	3	3	10	5	4

**K.3 WARMES HD-ARGON AUSSTRÖMEN ABGEWINKELT MIT HOHER GESCHWINDIGKEIT**

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)			Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)		
	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 % O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>
25	1	1	1	3	3	3	1	1	1
50	2	1	1	3	3	3	2	1	1
80	3	2	1	3	3	3	3	2	1
100	4	2	2	3	3	3	4	2	2
150	6	3	2	3	3	3	6	3	2
200	8	4	3	3	3	3	8	4	3

**Anhang L: Kaltes Hochdruck-Argon****L.1 KALTES HD-ARGON AUSSTRÖMEN HORIZONTAL MIT HOHER GESCHWINDIGKEIT**

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)		
	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>
25	4	2	2	3	3	3
50	8	4	3	3	3	3
80	11	6	5	3	3	3
100	15	8	7	4	3	3
150	21	12	10	4	3	3
200	28	17	13	5	4	3

**L.2 KALTES HD-ARGON AUSSTRÖMEN VERTIKAL MIT HOHER GESCHWINDIGKEIT**

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)			Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)		
	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 % O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>
25	1	1	1	3	3	3	2	2	1
50	1	1	1	3	3	3	5	3	2
80	1	1	1	3	3	3	7	4	4
100	1	1	1	3	3	3	9	6	5
150	2	1	1	3	3	3	14	9	7
200	2	1	1	3	3	3	18	12	10

**L.3 KALTES HD-ARGON AUSSTRÖMEN ABGEWINKELT MIT HOHER GESCHWINDIGKEIT**

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Erforderlicher horizontaler Abstand (m)			Minimal erforderliche vertikale Höhe (m)			Minimal erforderlicher vertikaler Abstand über der Ausströmöffnung (m)		
	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 % O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>	19.5 %O <sub>2</sub>	18 %O <sub>2</sub>	17 %O <sub>2</sub>
25	2	1	1	3	3	3	2	1	1
50	4	3	2	3	3	3	4	2	2
80	6	4	3	3	3	3	5	3	3
100	9	5	4	3	3	3	7	5	4
150	12	8	6	3	3	3	11	7	6
200	17	10	8	3	3	3	14	9	8

**Anhang M: Äquivalente Ausströmraten**Äquivalente Ausströmraten für Sauerstoff bei 10 °C, Ausströmen mit 20m/s und 10m/s

Ausströmöffnung Durchmesser (mm)	Ausströmrates bei 20 m/s	Ausströmrates bei 10 m/s
25	50 kg/h	25 kg/h
50	200 kg/h	100 kg/h
80	450 kg/h	220 kg/h
100	800 kg/h	400 kg/h
150	1800 kg/h	910 kg/h
200	3200 kg/h	1600 kg/h
250	5000 kg/h	2500 kg/h
300	7200 kg/h	3600 kg/h
350	9900 kg/h	4900 kg/h

Ausströmöffnung Durchmesser (mm)	Ausströmrates bei 20 m/s	Ausströmrates bei 10 m/s
400	12900 kg/h	6400 kg/h
450	16300 kg/h	8200 kg/h
500	20100 kg/h	10100 kg/h
600	29000 kg/h	14500 kg/h
750	45300 kg/h	22700 kg/h
900	65200 kg/h	32600 kg/h
1200	116000 kg/h	58000 kg/h
1500	181000 kg/h	91000 kg/h

Äquivalente Ausströmraten für Sauerstoff bei -183 °C, Ausströmen mit 20m/s oder 10m/s

Ausströmöffnung Durchmesser (mm)	Ausströmrates bei 20 m/s	Ausströmrates bei 10 m/s
25	160 kg/h	80kg/h
50	650 kg/h	330 kg/h
80	1500 kg/h	730 kg/h
100	2600 kg/h	1300 kg/h
150	5900 kg/h	2900 kg/h
200	10400 kg/h	5200 kg/h
250	16300 kg/h	8100 kg/h
300	23400 kg/h	11700 kg/h
350	31900 kg/h	16000 kg/h

Ausströmöffnung Durchmesser (mm)	Ausströmrates bei 20 m/s	Ausströmrates bei 10 m/s
400	41700 kg/h	20800 kg/h
450	52800 kg/h	26400 kg/h
500	65100 kg/h	32600 kg/h
600	93700 kg/h	46900 kg/h
750	146000 kg/h	73300 kg/h
900	211000 kg/h	106000 kg/h
1200	375000 kg/h	187000 kg/h
1500	584000 kg/h	292000 kg/h

Äquivalente Ausströmraten für Sauerstoff bei 10 °C, Ausströmen mit 160 m/s

Ausströmöffnung Durchmesser	Ausströmrates
25 mm	400 kg/h
50 mm	1600 kg/h
80 mm	3600 kg/h
100 mm	6400 kg/h
150 mm	14500 kg/h

Ausströmöffnung Durchmesser	Ausströmrates
200 mm	25800 kg/h
250 mm	40300 kg/h
300 mm	58000 kg/h
400 mm	103000 kg/h

Äquivalente Ausströmraten für Sauerstoff bei -183 °C, Ausströmen mit 90 m/s

Ausströmöffnung Durchmesser	Ausströmrates
25 mm	730 kg/h
50 mm	2900 kg/h
80 mm	6600 kg/h
100 mm	11700 kg/h
150 mm	26400 kg/h

Ausströmöffnung Durchmesser	Ausströmrates
200 mm	46900 kg/h
250 mm	73300 kg/h
300 mm	105000 kg/h
400 mm	188000 kg/h

Äquivalente Ausströmraten für Stickstoff bei 10 °C, Ausströmen mit 20m/s und 10m/s

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Ausström- rate bei 20 m/s	Ausström- rate bei 10 m/s
25	40 kg/h	20 kg/h
50	180 kg/h	90 kg/h
80	400 kg/h	200 kg/h
100	700 kg/h	350 kg/h
150	1600 kg/h	790 kg/h
200	2800 kg/h	1400 kg/h
250	4400 kg/h	2200 kg/h
300	6300 kg/h	3200 kg/h
350	8600 kg/h	4300 kg/h

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Ausström- rate bei 20 m/s	Ausström- rate bei 10 m/s
400	11300 kg/h	5600 kg/h
450	14300 kg/h	7200 kg/h
500	17600 kg/h	8800 kg/h
600	25300 kg/h	12700 kg/h
750	39600 kg/h	19800 kg/h
900	57000 kg/h	28500 kg/h
1200	101000 kg/h	50700 kg/h
1500	158000 kg/h	79200 kg/h

Äquivalente Ausströmraten für Stickstoff bei -195 °C, Ausströmen mit 20m/s und 10m/s

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Ausström- rate bei 20 m/s	Ausström- rate bei 10 m/s
25	170 kg/h	80kg/h
50	670 kg/h	340 kg/h
80	1500 kg/h	750 kg/h
100	2700 kg/h	1300 kg/h
150	6000 kg/h	3000 kg/h
200	10700 kg/h	5400 kg/h
250	16800 kg/h	8400 kg/h
300	24100 kg/h	12100 kg/h
350	32900 kg/h	16400 kg/h

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Ausström- rate bei 20 m/s	Ausström- rate bei 10 m/s
400	42900 kg/h	21500 kg/h
450	54300 kg/h	27200 kg/h
500	67100 kg/h	33500 kg/h
600	96600 kg/h	48300 kg/h
750	151000 kg/h	75400 kg/h
900	217000 kg/h	109000 kg/h
1200	386000 kg/h	193000 kg/h
1500	604000 kg/h	302000 kg/h

Äquivalente Ausströmraten für Stickstoff bei 10 °C, Ausströmen mit 170 m/s

Ausström- öffnung Durch- messer	Ausströmrate
25 mm	380 kg/h
50 mm	1500 kg/h
80 mm	3400 kg/h
100 mm	6000 kg/h
150 mm	13500 kg/h

Ausström- öffnung Durch- messer	Ausströmrate
200 mm	24100 kg/h
250 mm	37600 kg/h
300 mm	54200 kg/h
400 mm	96300 kg/h

Äquivalente Ausströmraten für Stickstoff bei -195 °C, Ausströmen mit 90 m/s

Ausström- öffnung Durch- messer	Ausströmrate
25 mm	750 kg/h
50 mm	3000 kg/h
80 mm	6700 kg/h
100 mm	12000 kg/h
150 mm	27000 kg/h

Ausström- öffnung Durch- messer	Ausströmrate
200 mm	47900 kg/h
250 mm	74900 kg/h
300 mm	108000 kg/h
400 mm	192000 kg/h

Äquivalente Ausströmraten für Argon bei 10 °C, Ausströmen mit 20m/s und 10m/s

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Ausström- rate bei 20 m/s	Ausström- rate bei 10 m/s
25	60 kg/h	30 kg/h
50	250 kg/h	130 kg/h
80	570 kg/h	280 kg/h

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Ausström- rate bei 20 m/s	Ausström- rate bei 10 m/s
100	1000 kg/h	500 kg/h
150	2300 kg/h	1100 kg/h
200	4000 kg/h	2000 kg/h

Äquivalente Ausströmraten für Argon bei -186 °C, Ausströmen bei 20m/s und 10m/s

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Ausström- rate bei 20 m/s	Ausström- rate bei 10 m/s
25	210 kg/h	110 kg/h
50	840 kg/h	420 kg/h
80	1900 kg/h	950 kg/h

Ausström- öffnung Durch- messer (mm)	Ausström- rate bei 20 m/s	Ausström- rate bei 10 m/s
100	3400 kg/h	1700 kg/h
150	7600 kg/h	3800 kg/h
200	13500 kg/h	6700 kg/h

Äquivalente Ausströmraten für Argon bei 10 °C, Ausströmen mit 160 m/s

Ausström- öffnung Durch- messer	Ausströmrate
25 mm	500 kg/h
50 mm	2000 kg/h
80 mm	4500 kg/h

Ausström- öffnung Durch- messer	Ausströmrate
100 mm	8000 kg/h
150 mm	18100 kg/h
200 mm	32200 kg/h

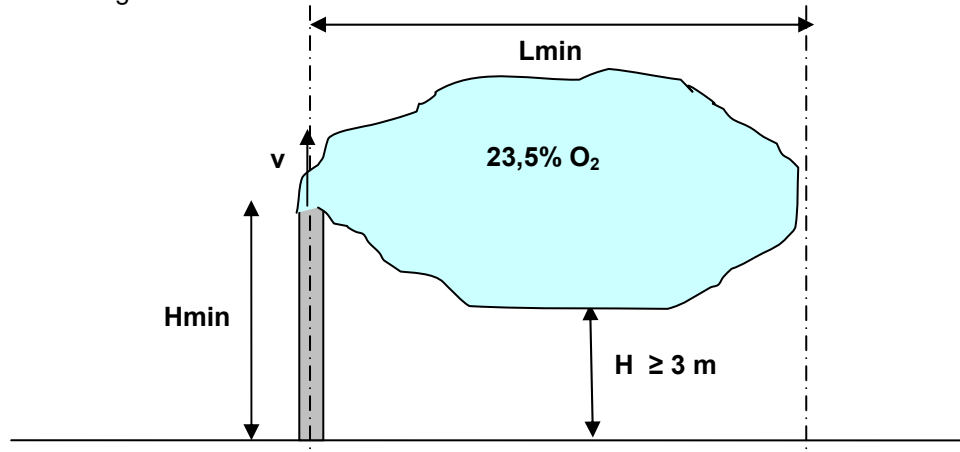
Äquivalente Ausströmraten für Argon bei -186 °C, Ausströmen mit 85 m/s

Ausström- öffnung Durch- messer	Ausströmrate
25 mm	900 kg/h
50 mm	3600 kg/h
80 mm	8000 kg/h

Ausström- öffnung Durch- messer	Ausströmrate
100 mm	14300 kg/h
150 mm	32200 kg/h
200 mm	57200 kg/h

### ANHANG N: Einfluss der Ausströmgeschwindigkeit

Die folgenden Tabellen verdeutlichen den Einfluss der Ausströmgeschwindigkeit auf die Berechnung mittels PHAST für den Abstand und insbesondere für die minimale vertikale Höhe, die beim Ausströmen von Sauerstoff an einem sicheren Standort erforderlich ist, damit die Wolke mit 23,5 % Sauerstoff nicht weniger als 3 Meter über dem Erdboden ist.



300 mm Ausströmdurchmesser	v (m/s)	Hmin (m)	Lmin (m)
	Warmer ND-Sauerstoff Vertikal	20	3
10		3	<b>12</b>
5		3	<b>12</b>
2		3	9

600 mm Ausströmdurchmesser	v (m/s)	Hmin (m)	Lmin (m)
	Warmer ND-Sauerstoff Vertikal	20	3
10		3	<b>23</b>
5		<b>4</b>	20
2		<b>5</b>	21

900 mm Ausströmdurchmesser	v (m/s)	Hmin (m)	Lmin (m)
	Warmer ND-Sauerstoff Vertikal	20	3
10		3	<b>30</b>
5		<b>6</b>	23
2		<b>7</b>	25

Die berechneten Werte wurden unter Anwendung der in Abschnitt 6 dieses Dokuments genannten Faktoren erhalten. Die Werte in Fettdruck verdeutlichen, dass die Berechnung für eine mögliche Verminderung der Ausströmgeschwindigkeit (z. B. verminderte Ausströmrates beim Umschalten) dazu führen kann, dass eine bedeutende Zunahme der vertikalen Höhe der Ausblase-Einrichtung zusätzlich zu einer möglichen Anpassung des horizontalen Abstandes erforderlich ist.

Abhängig von der Ausströmrate, der Richtung und den physikalischen Bedingungen des jeweils ausströmenden Gases können die Höhen der Ausblase-Einrichtungen und die Abstände für den ungünstigsten Fall sich aus jeder der in Abschnitt 6.3 diskutierten Wettersituationen ergeben. Deshalb zeigen die obigen Tabellen keine eindeutige Regel, welche die Veränderungen der horizontalen Abstände mit der Ausströmgeschwindigkeit oder dem Ausströmdurchmesser im ungünstigsten Fall bestimmt.

### ANHANG O: O<sub>2</sub> Anpassungs-Mathematik

Die allgemeinen Rechenprogramme zur Ausbreitung wurden für ausströmende Stoffe entwickelt, die in der Luft nicht enthalten sind. Wenn zum Beispiel Methan ausströmt, ist die Voraussetzung, dass die Konzentration in der Umwelt an der Ausströmöffnung Null ist. Wenn dagegen Sauerstoff ausströmt, ist bereits eine Konzentration von 21 % Sauerstoff in der umgebenden Luft vorhanden.

Die Sicherheitsgrenzen, die für Sauerstoffanreicherung oder Erstickung vorgesehen sind, berücksichtigen die Konzentration in der umgebenden Luft. Zum Beispiel ist 23,5 % Sauerstoff die Sicherheitsgrenze für eine mögliche Entzündung. Wenn dieser Grenzwert in das Ausbreitungsprogramm als Sicherheitsgrenze eingegeben wird, würde das Programm die Konzentration von 23,5 % unter der Annahme berechnen, dass die Konzentration in der Umgebung Null ist.

Die Zahl, die in das Ausbreitungsprogramm eingegeben werden muss, ist nicht einfach die Differenz zwischen der Sicherheitsgrenze und der Konzentration in der Umgebung. Wenn der Stoff ausströmt, wird er der Luft hinzugefügt. Die *O<sub>2</sub> Anpassungsmathematik* weiter unten berücksichtigt den hinzugefügten Stoff.

Es gibt zwei Optionen – die Berechnung der Ausbreitung von Sauerstoff in Luft und die Berechnung der Ausbreitung eines erstickenden Gases in Luft.

#### Ausbreitung von Sauerstoff in Luft

Eingabe: O<sub>2</sub> Molenbruch in Luft: **O2AIR** (typischer Wert = 0.21)  
 O<sub>2</sub> Molenbruch, ausgeströmt: **O2RELEASE**  
 O<sub>2</sub> Molenbruch Sicherheitsgrenze: **O2LEL** (typischer Wert = 0.235)

Ausgabe: O<sub>2</sub> Molenbruch nach Ausbreitungsprogramm: **O2LOC**

Ableitung der Gleichung:

**X** = Mole, Luft

**Y** = Mole, ausgeströmt

$$\text{Mole O}_2 \text{ Anfang} + \text{Mole O}_2 \text{ ausgeströmt} = \text{Mole O}_2 \text{ Ende} \quad (1)$$

$$(\text{O2AIR})(X) + (\text{O2RELEASE})(Y) = (\text{O2LEL})(X+Y) \quad (2)$$

$$X * (\text{O2LEL} - \text{O2AIR}) = Y * (\text{O2RELEASE} - \text{O2LEL}) \quad (3)$$

$$Y = \frac{(\text{O2LEL} - \text{O2AIR})}{(\text{O2RELEASE} - \text{O2LEL})} X \quad (4)$$

$$\text{Endkonzentration} = \frac{\text{Mole, ausgeströmt}}{\text{Mole, gesamt}} \frac{\text{Mole, erstickend}}{\text{Mole, ausgeströmt}} \quad (5)$$

$$\text{Endkonzentration} = \frac{Y}{X + Y} \text{O2RELEASE} \quad (6)$$

$$\frac{Y}{(X+Y)} O2RELEASE = \frac{\frac{(O2LEL - O2AIR)}{(O2RELEASE - O2LEL)} X}{X \left[ 1 + \frac{(O2LEL - O2AIR)}{(O2RELEASE - O2LEL)} \right]} O2RELEASE \quad (7)$$

$$\frac{Y}{(X+Y)} O2RELEASE = \frac{(O2LEL - O2AIR)}{(O2RELEASE - O2AIR)} O2RELEASE \quad (8)$$

Ausbreitung von erstickendem Gas in Luft:

Eingabe:           Erstickend Molenbruch in Luft : **N2AIR** (typischer Wert = 0.79)  
 Erstickend Molenbruch ausgeströmt: **N2RELEASE**  
 O<sub>2</sub> Molenbruch Sicherheitsgrenze: **O2LEVEL**

Ausgabe:           Erstickend Molenbruch nach Ausbreitungsprogramm: **N2LOC**

Ableitung der Gleichung:

**X** = Mole, Luft

**Y** = Mole, ausgeströmt

Mole Erstickend Anfang + Mole Erstickend ausgeströmt = Mole Erstickend Ende (9)

$$(N2AIR)(X) + (N2RELEASE)(Y) = (1-O2LEVEL)(X+Y) \quad (10)$$

$$X * (N2AIR + O2LEVEL - 1) = Y * (1 - O2LEVEL - N2RELEASE) \quad (11)$$

$$Y = \frac{(N2AIR + O2LEVEL - 1)}{(1 - O2LEVEL - N2RELEASE)} X \quad (12)$$

$$Endkonzentration = \frac{Mole, ausgeströmt}{Mole, gesamt} \frac{Mole, erstickend}{Mole, ausgeströmt} \quad (13)$$

$$Endkonzentration = \frac{Y}{X+Y} N2RELEASE \quad (14)$$

$$= \frac{\frac{(N2AIR + O2LEVEL - 1)}{(1 - O2LEVEL - N2RELEASE)} X}{X \left[ 1 + \frac{(N2AIR + O2LEVEL - 1)}{(1 - O2LEVEL - N2RELEASE)} \right]} N2RELEASE \quad (15)$$

$$= \frac{(N2AIR + O2LEVEL - 1)}{(N2AIR - N2RELEASE)} N2RELEASE \quad (16)$$