



Brandgefahren durch Sauerstoff und sauerstoffangereicherte Atmosphäre

IGC Doc. 04 / 00 / D

Fire Hazards of Oxygen and Oxygen enriched Atmospheres

IGC Doc. 04/00/E

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.be • Internet: <http://www.eiga.be>

INDUSTRIEGASEVERBAND e.V.

Komödienstr. 48 • D-50667 KÖLN
Tel: +49 221 9125750 • Fax: +49 221 912575 15
E-mail: Kontakt@Industriegaseverband.de
Internet: www.Industriegaseverband.de

Brandgefahren durch Sauerstoff und sauerstoffangereicherte Atmosphäre

Dieses Dokument ist die deutsche Übersetzung des Original-EIGA-Dokumentes IGC 04/00 E (in englischer Sprache), die mit Erlaubnis der EIGA erstellt wurde.

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

Die Informationen, die vom IGW herausgegeben werden, wurden mit größter Sorgfalt auf Basis der zur Zeit der Herausgabe vorhandenen Kenntnisse zusammengestellt. Der IGW 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	Inhalt	4
2	Zweck	4
3	Definitionen	4
4	Allgemeine Eigenschaften	4
4.1	Sauerstoff unterstützt und beschleunigt die Verbrennung	4
4.2	Sauerstoff hat keine Warnwirkung	4
4.3	Sauerstoff ist schwerer als Luft	4
5	Brandgefahren durch Sauerstoff	5
5.1	Notwendige Bedingungen für einen Brand	5
5.2	Sauerstoff	5
5.2.1	Sauerstoffanreicherung in der Atmosphäre	5
5.2.2	Falsche Anwendung von Sauerstoff	6
5.2.3	Falsche Bedienung und Wartung von Sauerstoffausrüstungen	7
5.2.4	Benutzung ungeeigneter Materialien	7
5.3	Brennbares Material	8
5.4	Zündquellen	9
6	Verhütung von Bränden in Sauerstoffsystemen	9
6.1	Information / Training	9
6.2	Geeignetes Design	10
6.3	Vermeidung von Sauerstoffanreicherung	10
6.3.1	Dichtheitsprüfung	10
6.3.2	Betrieb und Praxis	10
6.3.3	Lüftung	10
6.3.4	Einsteigen in Behälter / Verfahren zur Abtrennung	11
6.3.5	Absperreinrichtung	11
6.4	Reinheit im Sauerstoffbetrieb	11
6.5	Feuerarbeiten	11
7	Verfahren zur Feststellung von Sauerstoff	11
7.1	Messgeräte	12
7.2	Auswahl der Messmethode	12
7.3	Genauigkeit	12
7.4	Benutzung von Messgeräten	12
8	Schutz des Personals	12
8.1	Kleidung	12
8.2	Analyse	13
8.3	Feuerlöschgeräte	13
8.4	Rauchen	13
8.5	Erste Hilfe	13
9	Zusammenfassung der Empfehlungen	13
Anhang A: Referenzen		
Anhang B: Trainingsmaterial		
Anhang C: Beispiele von Unfällen durch Sauerstoffanreicherung		

1 Inhalt

Dieses Dokument beschreibt die Brandgefahren beim Umgang mit Sauerstoff und die relevanten Schutzmaßnahmen.

2 Zweck

Dieses Dokument besteht aus drei Teilen.

Teil I, das aktuelle Dokument, wendet sich an Führungskräfte in der Linie und an Vorarbeiter. Es erklärt die Hintergründe des Themas und beschreibt die Brand- und Explosionsgefahren, die durch Sauerstoff und sauerstoffangereicherte Atmosphären entstehen können.

Teil II, bezeichnet als Anhang B, ist eine Zusammenfassung des Teils I und kann den Mitarbeitern als Druckschrift oder Overhead-Folien ausgehändigt werden.

Teil III, bezeichnet als Anhang C, beschreibt einige Unfälle, die sich in den letzten Jahren ereigneten und die als Beispiele benutzt werden können, um die Gefahren durch Sauerstoff und sauerstoffangereicherte Atmosphären zu verdeutlichen.

Es wird empfohlen, dass das Dokument als Grundlage für Trainingsprogramme benutzt wird.

3 Definitionen

Sauerstoff im Sinne dieses Dokuments ist nicht nur der reine Sauerstoff, sondern sind alle Sauerstoff / Luft-Gemische mit mehr als 21 % Sauerstoff.

4 Allgemeine Eigenschaften

Sauerstoff, der lebensnotwendig ist, brennt selbst nicht aber unterstützt und beschleunigt die Verbrennung. Die normale Sauerstoffkonzentration in der Luft, die wir atmen, ist ungefähr 21 Vol%.

4.1 Sauerstoff unterstützt und beschleunigt die Verbrennung

Die meisten Materialien brennen heftig in Sauerstoff; die Reaktion kann sogar explosionsartig verlaufen. Wenn die Sauerstoffkonzentration in der Luft steigt, erhöht sich die potentielle Brandgefahr.

4.2 Sauerstoff hat keine Warnwirkung

Sauerstoff ist farblos, geruchlos und geschmacklos, so dass eine sauerstoffangereicherte Atmosphäre mit den normalen menschlichen Sinnesorganen nicht festgestellt werden kann. Sauerstoff hat auch keine physiologischen Wirkungen, welche das Personal auf eine Sauerstoffanreicherung aufmerksam machen könnten.

Höhere Sauerstoffkonzentrationen in der Luft verursachen bei atmosphärischem Druck keine signifikante Gesundheitsgefahr.

4.3 Sauerstoff ist schwerer als Luft

Da Sauerstoff schwerer als Luft ist, kann er sich in tiefliegenden Bereichen, wie Gruben, Gräben oder unterirdischen Räumen ansammeln. Das gilt besonders beim Auslaufen von flüssigem Sauerstoff. In diesem Fall ist der entstehende kalte gasförmige Sauerstoff dreimal so schwer wie Luft.

5 Brandgefahren durch Sauerstoff

5.1 Notwendige Bedingungen für einen Brand

Allgemein sind für einen Brand oder eine Explosion drei Elemente nötig: Ein brennbarer Stoff, Sauerstoff und eine Zündquelle.

Diese Elemente werden üblicherweise mit dem „Feuerdreieck“ dargestellt:



Wenn eines der drei Elemente fehlt, kann kein Brand entstehen.

5.2 Sauerstoff

Sauerstoff reagiert mit den meisten Stoffen. Je höher die Sauerstoffkonzentration und der Druck in der Atmosphäre oder in einem Sauerstoffsystem sind, umso:

- heftiger verläuft die Verbrennungsreaktion bzw. das Feuer,
- niedriger sind die zum Starten der Verbrennungsreaktion erforderliche Zündtemperatur und Zündenergie,
- höher sind die Flammentemperatur und die Zerstörungsfähigkeit der Flamme.

Die Ursachen von Bränden mit Sauerstoff können wie folgt klassifiziert werden:

- Sauerstoffanreicherung in der Atmosphäre
- Falsche Anwendung von Sauerstoff
- Falsche Betriebsweise und Wartung von Sauerstoffsystemen
- Benutzung von Materialien, die für den Sauerstoffbetrieb nicht geeignet sind.

5.2.1 Sauerstoffanreicherung in der Atmosphäre

Sauerstoffanreicherung in der Atmosphäre kann entstehen durch:

- Undichte Rohrverbindungen, Flansche usw. Das kann besonders in ungenügend gelüfteten Bereichen gefährlich sein, so dass die Sauerstoffkonzentration ansteigt.
- Öffnen eines Systems unter Sauerstoffdruck.
Die plötzliche Freisetzung von Sauerstoff unter Druck ergibt einen relativ großen Strahl ausströmenden Sauerstoffs. Daraus kann ein Flammenstrahl entstehen.
- Anwendung von Sauerstoff bei Schweiß- und Schneid-Verfahren.
Bei Verfahren wie Schneiden, Fugenhobeln, Flämmen und Anwendung von Sauerstoffanlagen wird Sauerstoff in größeren Mengen eingesetzt, als für den Verbrennungsprozess benötigt wird. Der nicht verbrauchte Sauerstoff bleibt in der Atmosphäre und bei unzureichender Lüftung kann sich Sauerstoff in der Luft anreichern. Eine wirksame Lüftung und wiederholte Analyse des Sauerstoffgehaltes werden empfohlen.
- Anwendung von Sauerstoff bei metallurgischen Prozessen.
Unsachgemäßer Betrieb von Gebläsebrennern kann ebenfalls zu Sauerstoffanreicherung, insbesondere in engen Räumen, führen. Deshalb ist folgendes zu beachten:

- Anwendung korrekter Verfahren zum Spülen und Zünden,
 - Vermeidung von Verzögerungen beim Zünden des Gebläsebrenners nach dem Öffnen der Ventile,
 - Schließen der Ventile am Gebläsebrenner und an der Gaszuführung bei Unterbrechung oder Beendigung der Arbeit,
 - Wahl der korrekten Düsen und Drücke,
 - Aufrechterhaltung der Dichtheit und regelmäßige Prüfung der Sauerstoffschläuche.
- e) Desorption.
Sauerstoff kann in spürbaren Mengen freigesetzt werden, wenn kalte Materialien, die Sauerstoff absorbiert haben, wie z.B. Absorptionsmittel (Molsieb, Silicagel etc.) oder Isoliermaterialien auf Raumtemperatur erwärmt werden.
- f) Auslaufen von tiefkalter Flüssigkeit.
Wenn flüssiger Sauerstoff ausläuft und verdampft, bildet sich eine dichte Wolke von mit Sauerstoff angereicherter Luft. In offenem Gelände entsteht eine gefährliche Sauerstoffkonzentration normalerweise nur innerhalb der mit dem Sauerstoffaustritt verbundenen sichtbaren Wolke. Dennoch sollten zur Bestätigung Luftanalysen durchgeführt werden, wenn man sich dieser Wolke nähert.
- g) Verflüssigung der Luft.
Wenn tiefkalte flüssige Gase verwendet werden, deren Siedepunkt tiefer als der des Sauerstoffs ist, z.B. Stickstoff, Wasserstoff, Helium, kann sich Sauerstoff anreichern. Die atmosphärische Luft kondensiert an unisolierten Einrichtungen, deren Temperatur niedriger als die Verflüssigungstemperatur der Luft (ca. -193 °C) ist. Das kann auch an Rohrleitungen geschehen, die mit offenzelligem Material ummantelt sind. Die auf diese Weise erzeugte flüssige Luft kann bis zu 50 % Sauerstoff enthalten und wenn diese Flüssigkeit abtropft und verdampft, kann die Sauerstoffkonzentration in der verbleibenden Flüssigkeit über 80 % betragen. Deshalb sind spezielle Sicherheitsmaßnahmen bezüglich der möglichen Sauerstoffanreicherung in dem Isoliermaterial und im Behälter nötig, bevor irgendeine Reparaturarbeit begonnen wird.
- h) Sauerstoff-Ausblaseöffnungen.
Besonders gefährdet sind Bereiche, in denen sich Sauerstoff-Ausblaseöffnungen befinden. Eine plötzliche Freisetzung von Sauerstoff kann ohne Warnung erfolgen. Zu beachten ist, dass bei der nicht-kryogenen Erzeugung von Sauerstoff oder Stickstoff eine gelegentliche oder kontinuierliche Ausblasung von Sauerstoff möglich ist.

5.2.2 Falsche Anwendung von Sauerstoff

Viele schwere Unfälle sind durch die Anwendung von Sauerstoff für Zwecke, für die er nicht vorgesehen ist, entstanden.

Beispiele für die falsche Anwendung von Sauerstoff:

- a) Antreiben von Druckluftwerkzeugen
- b) Aufpumpen von Fahrzeugreifen, Gummibooten etc.
- c) Anlagen unter Druck setzen und spülen
- d) Austauschen von Luft oder Inertgas
- e) Kühlen oder Auffrischen der Luft in engen Räumen
- f) Ein Schweißer, der sich „abkühlen“ will, indem er Sauerstoff in seine Kleidung bläst
- g) Abblasen des Staubes von Werkbänken, Maschinen oder von der Kleidung
- h) Starten von Dieselmotoren

In allen Fällen ist die Brand- und Explosionsgefahr die gleiche und resultiert aus dem Kontakt brennbarer Materialien, z.B. brennbare Gase, brennbare Feststoffe, Gummi, Textilien, Öle und Fette mit Sauerstoff.

5.2.3 Falsche Bedienung und Wartung von Sauerstoffausrüstungen

Falsche Bedienung und Wartung von Sauerstoffausrüstungen ist eine der häufigsten Ursachen für Brände in Sauerstoffsystemen.

Beispiele für falsche Bedienung

- a) Es wird versäumt, den Druckminderer in die geschlossene Stellung zurückzustellen, nachdem das Ventil der Sauerstoffflasche geschlossen wurde. Das führt zu extrem hohen Geschwindigkeiten des Sauerstoffs, wenn der Druckminderer bei der nächsten Benutzung unter Druck gesetzt wird.
- b) Schnelles Öffnen von Ventilen. Das kann zu Entzündungen infolge der Wärme führen, die durch mit hoher Geschwindigkeit strömendes Gas oder durch adiabatische Verdichtung erzeugt wird. Das schnelle Öffnen von Ventilen kann zu kurzzeitig hohen Geschwindigkeiten des Sauerstoffs führen, die ausreicht, irgendein im System vorhandenes loses Teil mit Schallgeschwindigkeit durch das System zu bewegen, wobei Reibungswärme, Funken etc. erzeugt werden. Wenn das System ein „totes Ende“ hat, wie z.B. im Fall eines Druckminderers, der an eine Sauerstoffflasche angeschlossen ist, kann durch die Verdichtung des Sauerstoffs große Wärme erzeugt werden. Beide genannten Erscheinungen können einen Brand verursachen.
- c) Schnelles Öffnen eines Ventils gegen ein stromabwärts liegendes geschlossenes Ventil - das kann zu einer ähnlichen Situation führen, wie oben beschrieben.
- d) Irrtümliches Anfahren eines Sauerstoffverdichters mit Sauerstoff. (Das ist nur in besonderen Fällen ein Fehler – siehe Referenzen Nr. 6 und 7).

Beispiele für falsche Wartung

- e) Arbeiten an unter Druck stehenden Systemen.
- f) Entspannen von Sauerstoff in enge Räume.
- g) Wenn man Verunreinigung von Systemen zulässt. Verunreinigung durch Partikel, Staub, Sand, Öle, Fette oder gewöhnliche, in der Atmosphäre enthaltene Teilchen führt zu potentieller Brandgefahr, wie oben erläutert. Transportable Einrichtungen sind besonders anfällig gegen Verunreinigung und es sind Vorsichtsmaßnahmen zu ergreifen, um das Eindringen von Schmutz, Öl etc. zu verhindern.
- h) Unvollständiges Entfernen der Reinigungs-Lösemittel von Komponenten, die im Sauerstoffbetrieb eingesetzt werden sollen. Die Rückstände von Lösemitteln sind mit sauerstoffangereicherter Atmosphäre nicht verträglich.

5.2.4 Benutzung ungeeigneter Materialien

Das Entwerfen von Sauerstoff-Ausrüstungen ist sehr kompliziert und das Warum und Wie ist nicht immer offensichtlich. Im Wesentlichen sind fast alle Materialien in Sauerstoff brennbar. Eine sichere Ausrüstung für den Sauerstoffbetrieb erreicht man durch sorgfältige Auswahl geeigneter Materialien oder durch Kombination von Materialien und durch ihre Verwendung in besonderer Weise.

Jede Änderung einer Konstruktion muss ordnungsgemäß genehmigt werden, um die Verwendung ungeeigneter Materialien zu verhindern.

Der Austausch von Materialien, die ähnlich aussehen, ist extrem gefährlich und es wurden viele Unfälle berichtet, deren Ursache der falsche Austausch von Bauteilen war. Beispiele für derartige Praktiken können sein:

- a) Ersatz von O-Ringen und Dichtungen durch ähnlich aussehende Komponenten. Es gibt hunderte verschiedene Arten von Elastomeren und die meisten sind für Sauerstoff nicht geeignet.

- b) Ersatz einer Metalllegierung durch eine ähnliche Sorte. Die Zusammensetzung spezieller Legierungen hat wesentlichen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften und die Eignung für den Betrieb mit Sauerstoff. Der Begriff „Bronze“ gilt für eine Vielzahl von Legierungen, von denen einige für Sauerstoff geeignet und sehr viel mehr nicht geeignet sind; z.B. wird Zinnbronze in Pumpen für flüssigen Sauerstoff benutzt, während Aluminiumbronze als gefährlich gilt.
- c) Ersatz von PTFE-Band durch ein ähnliches weißes Band. Nicht jedes weiße Band ist PTFE und nicht alle Sorten von PTFE-Band sind für den Betrieb mit Sauerstoff sicher.
- d) Der Austausch von Teilen oder Komponenten gegen nicht zugelassene Ausrüstungen ist nicht erlaubt. Die Geometrie bestimmter Komponenten ist manchmal entscheidend und bei der Reparatur von Sauerstoffanlagen müssen immer Bauteile von autorisierten Herstellern verwendet werden.
- e) Ersatz oder Einbau von brennbarem Material in Filter, z.B. Plastik, Papier, Klebstoff. Filter in Sauerstoffsystemen sind wegen des Vorhandenseins von Partikeln und wegen der komplizierten Strömungsverhältnisse sehr empfindlich bezüglich Entzündung. Deshalb sind Filter aus Materialien herzustellen, die sehr hohe Zündenergie erfordern, z. B. Monel.
- f) Schmiermittel sind im Sauerstoffbetrieb allgemein nicht erlaubt, ausgenommen für spezielle Anwendungen. Vor der Anwendung von derartigen Schmiermitteln muss der Rat von Spezialisten eingeholt werden.

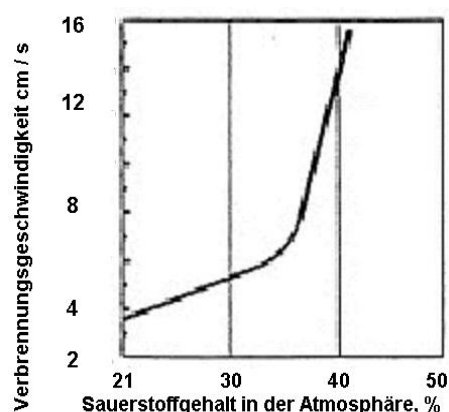
5.3 Brennbare Material

In sauerstoffangereicherter Atmosphäre

Materialien, einschließlich feuerbeständiger Materialien, die in Luft nicht brennen, können in sauerstoffangereicherter Luft oder in reinem Sauerstoff heftig brennen.

In sauerstoffangereicherter Atmosphäre ist die Kleidung das Material, welches die Sicherheit des Personals direkt gefährden kann. Alle Kleidungstextilien können in sauerstoffangereicherter Atmosphäre heftig brennen. Das gleiche gilt für Plastik und Elastomere.

Ein Beispiel für diese erhöhte Reaktionsfähigkeit ist hier für einen Baumwoll-Overall dargestellt, der in verschiedenen Atmosphären mit ansteigendem Sauerstoffgehalt dem Feuer ausgesetzt wurde (Referenz Nr. 8).



Ähnliche Kurven, die das gleiche Verhalten anzeigen, könnten für andere Materialien, vor allem für Plastik und Elastomere, dargestellt werden.

In Drucksauerstoff-Systemen

Im Prinzip brennen alle organischen Materialien und auch die meisten Metalle und Metalllegierungen in Sauerstoff. Der Druck beeinflusst das Verhalten der Materialien, indem z.B. die Zündtemperatur

vermindert und die Verbrennungsgeschwindigkeit erhöht wird. Aus diesen Gründen dürfen Drucksauerstoff-Systeme nur aus Materialien und Ausrüstungen hergestellt werden, deren Design für die jeweiligen Betriebsbedingungen zugelassen ist.

Öl und Fett sind in Gegenwart von Sauerstoff besonders gefährlich, da sie sehr leicht entzündet werden können und mit explosionsartiger Heftigkeit brennen. In Sauerstoffausrüstungen verursachen Öl und Fett oft eine Kettenreaktion, die schließlich zum Brennen oder Schmelzen von Metall führt. In solchen Fällen werden die Reste des geschmolzenen oder verbrannten Metalls aus der Ausrüstung herausgeschleudert und nachfolgend kann Sauerstoff ausströmen. Dadurch kann es zur heftigen und schnellen Ausbreitung eines Feuers an irgendeinem angrenzenden brennbaren Material außerhalb der Ausrüstung kommen. Öl und Fett dürfen niemals benutzt werden, um eine Ausrüstung zu schmieren, die mit Sauerstoff in Kontakt kommt.

5.4 Zündquellen

In sauerstoffangereicherter Atmosphäre

Unter den Bedingungen einer Sauerstoffanreicherung können folgende Zündquellen auftreten:

- a) Offenes Feuer oder Flammen (Zigaretten, Schweißen oder andere Feuerarbeiten, Verbrennungsmotoren, Öfen etc.).
- b) Elektrische Funken.
- c) Schleiffunken, Reibungsfunken.

In Drucksauerstoffsystemen

In Systemen, die Sauerstoff unter Druck enthalten, sind die Zündquellen nicht so offensichtlich, wie offene Flammen und heiße Oberflächen.

Von den folgenden Zündquellen ist bekannt, dass sie in Sauerstoff-Systemen Brände verursacht haben:

- d) Erhitzung durch adiabatische Verdichtung
- e) Reibung
- f) Mechanischer Stoß
- g) Elektrische Funken
- h) Hohe Geschwindigkeit des Gases bei Anwesenheit von Partikeln
- i) Erhitzung durch Turbulenz

6 Verhütung von Bränden in Sauerstoffsystemen

6.1 Information / Training

Das gesamte Personal, das Sauerstoff-Ausrüstungen benutzt, sollte sich der Risiken bewusst sein. Die mindestens erforderlichen Informationen sind im IGC Dokument 23/99 „Safety training of employees“ zusammengestellt.

Das gesamte Personal sollte auch das Sicherheitsdatenblatt und die Sicherheitsinformationen gelesen haben, die der Gaslieferant bereitstellt.

Für eine umfassendere Information über die Risiken des Sauerstoffs im Kontakt mit Materialien werden die folgenden Dokumente empfohlen:

- a) „The transportation and distribution of oxygen by pipelines“, IGC Doc. 13/82.
- b) „Prevention of hose failures in high pressure gas systems“, IGC Doc. 42/89.
- c) „Reciprocating compressors for oxygen service. Code of practice“, IGC Doc. 10/81.
- d) „Code of practice for the design and operation of centrifugal liquid oxygen pumps“, IGC Doc. 11/82.
- e) „Centrifugal compressors for oxygen service. Code of practice“, IGC Doc. 27/93.

- f) SAG Info 15/97: „Safety principles of high pressure oxygen systems“.
- g) „Flammability and sensitivity of materials in oxygen enriched atmospheres“, American Society for Testing and Materials (ASTM), Symposium Series.
- h) „Cleaning of equipment for oxygen service“, IGC Doc. 33/97.

Alle Wartungs- und Reparaturarbeiten müssen von erfahrenem und gut ausgebildetem Personal ausgeführt werden.

Alle Personen, die in Bereichen arbeiten, in denen sich Sauerstoff anreichern kann, müssen Informationen entsprechend den gegebenen Risiken erhalten. Besondere Aufmerksamkeit erfordert die Tatsache, dass die Gefahren schnell und überraschend auftreten können. Die Maßnahmen, mit denen diese Risiken vermindert werden können, müssen praktisch geübt werden, wobei es wichtig ist, die Quellen einer Sauerstoffanreicherung und die Möglichkeiten der Abdichtung zu kennen.

6.2 Geeignetes Design

In Sauerstoffsystemen dürfen nur solche Ausrüstungen benutzt werden, die speziell für Sauerstoff konstruiert wurden, z.B. darf man keinen Stickstoff-Druckminderer für Sauerstoff verwenden. Beim Design von für Sauerstoff vorgesehenen Ausrüstungen sind die zu benutzenden Materialien und deren Formgebung zu berücksichtigen, um irgendein Zündrisiko zu minimieren. Die Gründe für ein bestimmtes Design und eine bestimmte Materialauswahl sind nicht immer offensichtlich und der Rat eines Experten muss eingeholt werden, bevor man die Änderung von Materialien in Erwägung zieht.

Eine Sauerstoffausrüstung darf niemals mit Öl oder Fett geschmiert werden. Für besondere, klar definierte Fälle können einige spezielle Schmiermittel vorhanden sein. In jedem Fall muss der Rat eines Spezialisten des Lieferanten eingeholt werden.

Sauerstoffsysteme müssen so gestaltet sein, dass die Strömungsgeschwindigkeit so gering wie möglich ist. Wenn sich die Strömungsgeschwindigkeit verdoppelt, wird die kinetische Energie eines Teilchens im Gasstrom vervierfacht.

6.3 Vermeidung von Sauerstoffanreicherung

6.3.1 Dichtheitsprüfung

Neu installierte Sauerstoffausrüstungen sind mit Luft oder Stickstoff gründlich auf Dichtheit zu prüfen, z.B. mittels Messung des Druckabfalls in Abhängigkeit von der Zeit, mittels Lecktest (z.B. mit zugelassenem Leckspray oder verdünnter Seifenlösung) oder mittels einer anderen geeigneten Methode. Regelmäßige Wiederholungsprüfungen werden empfohlen.

6.3.2 Betrieb und Praxis

Nach Beendigung der Arbeit ist das Hauptsauerstoffventil zu schließen, um möglichen Sauerstoffaustritt zu vermeiden, solange die Ausrüstung nicht benutzt wird.

Filter, soweit vorhanden, dürfen nicht entfernt werden, um höhere Strömungsgeschwindigkeiten zu erreichen. Filter sollten in häufigen Intervallen inspiziert und alle Partikel daraus entfernt werden.

6.3.3 Lüftung

Räume, in denen sich Sauerstoff in der Atmosphäre anreichern kann, müssen gut gelüftet sein. Beispiele für derartige Räume sind:

- a) Füllanlagen,
- b) Räume, in denen Sauerstoffbehälter oder -flaschen gelagert, gehandhabt oder gewartet werden,
- c) Räume, in denen Sauerstoff angewendet oder analysiert wird,
- d) Räume für medizinische Behandlung mit Sauerstoff in Krankenhäusern und Wohnungen.

In vielen Fällen kann natürliche Lüftung ausreichend sein, z.B. in Hallen oder Räumen, die Lüftungsöffnungen haben. Die Fläche der Lüftungsöffnungen sollte größer als 1 % der Bodenfläche sein; die Lüftungsöffnungen sollten diagonal gegenüber angeordnet sein und müssen eine freie Luftzirkulation ohne Hindernisse gewährleisten. Wo eine natürliche Lüftung nicht möglich ist, muss eine Lüftungsanlage mit einer Kapazität von etwa 6 Luftwechseln pro Stunde installiert sein. Besondere Aufmerksamkeit erfordert die Lüftung von unterirdischen Räumen, Behältern, Gruben, Kanälen und Gräben. Hier muss es ein Warnsignal geben, welches einen Ausfall der Lüftung anzeigt.

6.3.4 Einsteigen in Behälter / Verfahren zur Abtrennung

Bevor man in irgendeinen Behälter einsteigt, der an eine Gasquelle – ausgenommen Luft – angeschlossen ist, muss der Behälter entleert, durch Entfernen eines Rohrabschnitts oder mit einer Brillenscheibe oder durch Einbau von Blindflanschen von der Gasquelle getrennt und gründlich gelüftet werden, so dass der Behälter normale Atmosphäre enthält. Die Einrichtungen zum Trennen von der Gasquelle müssen im Erlaubnisschein für gefährliche Arbeiten dokumentiert werden. Es reicht nicht aus, auf geschlossene Ventile zu vertrauen, um eine Sauerstoffanreicherung auszuschließen. Die Erlaubnis zum Einsteigen in den Behälter nach Abschluss der genannten Maßnahmen darf erst nach Ausstellung eines Befahrerlaubnisscheines gegeben werden, der von einer verantwortlichen Person zu unterschreiben ist. In jedem Fall muss die Analyse der Atmosphäre im Behälter eine der im Arbeitserlaubnisschein vorgeschriebenen Maßnahmen sein.

6.3.5 Absperrrichtung

Eine Sauerstoffrohrleitung, die in ein Gebäude hineingeführt ist, muss außerhalb des Gebäudes ein Absperrventil an einer zugänglichen Stelle haben. Das Absperrventil und seine örtliche Lage müssen klar gekennzeichnet und bekannt sein. Der Zweck ist, dass man bei einer Sauerstoff-Freisetzung im Gebäude in der Lage ist, das Absperrventil an einem sicheren Ort zu betätigen.

Nicht mehr benutzte Sauerstoffleitungen sollten demontiert oder vom Versorgungssystem vollständig getrennt und entleert werden.

6.4 Reinheit im Sauerstoffbetrieb

Eine der grundlegenden Sicherheitsmaßnahmen zur Verhütung von Sauerstoffbränden besteht darin, die gesamte Anlage gut zu reinigen, bevor sie mit Sauerstoff in Betrieb geht. Es gibt verschiedene Verfahren zur Reinigung von Sauerstoff-Anlagen, die jedoch nicht Gegenstand dieses Dokumentes sind. Das IGC Dokument 33/97 „Cleaning of Equipment for oxygen service“ behandelt dieses Thema im Einzelnen.

Sauerstoffanlagen müssen auch frei von Feststoffpartikeln sein. Um solche Partikel zu beseitigen, müssen neue Sauerstoffanlagen vor der Inbetriebnahme mit ölfreier Luft oder Stickstoff gespült werden.

6.5 Feuerarbeiten

Jede Feuerarbeit, die in der Nähe einer Sauerstoffanlage oder in einem Bereich mit möglicher Sauerstoffanreicherung ausgeführt werden muss, ist mit einer schriftlichen Erlaubnis (Feuererlaubnisschein) zu kontrollieren, die Teil des Systems der Arbeitserlaubnisscheine ist. Feuerarbeit umfasst Arbeiten wie Schweißen, Hartlöten, Bohren, Schleifen usw.

7 Verfahren zur Feststellung von Sauerstoff

Das ausgewählte Verfahren muss in hohem Maße verlässlich und hinreichend empfindlich sein, um eine Warnung zu geben, bevor eine gefährliche Sauerstoffkonzentration erreicht wird. Die übliche Methode ist die Benutzung eines zugelassenen Gerätes zur Überwachung der Atmosphäre, mit dem man vor dem Betreten eines Bereiches die Wirksamkeit der Absperrung und der Spülverfahren überprüfen kann und mit dem man periodisch im Verlauf der Arbeiten bestätigen kann, dass keine Änderungen eingetreten sind.

Eine mögliche Methode zur Feststellung von Sauerstoff kann die Odorierung sein. Die Odorierung wird gelegentlich auf Schiffswerften benutzt, weil dort ein gewisses Risiko für eine Sauerstoffanreicherung beim Schweißen in engen Schiffsräumen besteht (Einzelheiten siehe Referenz 2). Die Odorierung darf jedoch nur als mögliche Ergänzung zu einer wirksamen Risikoanalyse, Absperrung und Überwachung der Atmosphäre gesehen werden und nicht als Alternative zu diesen Maßnahmen.

7.1 Messgeräte

Sauerstoffmessgeräte sollten ausschließlich als Warngeräte benutzt werden und sollten nicht als Schutzmaßnahme gegen die Risiken einer Sauerstoffanreicherung gesehen werden. Sie sollten als Ergänzung zu der üblichen guten Praxis der Beseitigung der Ursachen einer Sauerstoffanreicherung betrachtet werden. Messgeräte zur Bestimmung der Sauerstoffkonzentration zeigen sowohl eine Erhöhung als auch eine Verminderung des Sauerstoffgehaltes in der umgebenden Atmosphäre an und haben z.B. einen Messbereich von 0 bis 40 Volumenprozent Sauerstoff. Verschiedene Messtechniken und Verfahren werden benutzt, um optische und / oder akustische Warnsignale zu geben und sie können für kontinuierliche und diskontinuierliche Messungen benutzt werden.

7.2 Auswahl der Messmethode

Wenn in einem Raum gearbeitet wird, in dem der Sauerstoffgehalt auf ein gefährliches Niveau ansteigen kann, müssen kontinuierliche Messverfahren während der gesamten Dauer der Arbeit benutzt werden.

Die diskontinuierliche Messung sollte nur angewendet werden, wenn die erwartete Zunahme der Sauerstoffkonzentration in der Atmosphäre hinreichend langsam verläuft, um ein Ansteigen festzustellen, bevor ein gefährliches Niveau erreicht ist. Das Zeitintervall zwischen den Messungen muss sorgfältig gewählt werden, um einen angemessenen Sicherheitsspielraum zu gewährleisten.

7.3 Genauigkeit

Die Genauigkeit der Messmethode sollte so sein, dass bei einer Anzeige von 21 % der wahre Wert zwischen 19,5 und 22,5 % liegt.

Die Geräte sollten vor der Benutzung in frischer Luft getestet und gegebenenfalls justiert werden.

7.4 Benutzung von Messgeräten

Die Betriebsanweisungen der Hersteller für die Benutzung und Wartung der Geräte sind sorgfältig zu beachten.

Das Messgerät muss im Arbeitsbereich und so nahe wie möglich bei dem Mitarbeiter aufgestellt werden. Für enge Räume wird empfohlen, dass der Mitarbeiter ein persönliches Anzeigegerät mitführt, das an der Arbeitskleidung befestigt ist und ein akustisches und / oder optisches Alarmsignal gibt, wenn der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre von dem der normalen Luft abweicht. Für Bereiche mit hohem Lärmpegel wird optischer Alarm empfohlen.

8 Schutz des Personals

8.1 Kleidung

Viele so genannte „nicht-entflammbare“ textile Materialien brennen heftig in sauerstoffangereicherter Atmosphäre. Einige synthetische Materialien können bis zu einem gewissen Grade brandsicher sein, aber sie können dennoch schmelzen und schwere Verbrennungsverletzungen verursachen, indem das geschmolzene Material auf der Haut festklebt. Synthetische Materialien werden nicht empfohlen.

Die Benutzung von flammwidrig imprägnierter Kleidung kann nützlich sein, aber durch Waschen kann die Wirkung der Imprägnierung vermindert werden.

Welche Kleidung auch immer getragen wird, so ist es doch unmöglich, die Gefahren eines Sauerstoffbrandes allein durch Schutzkleidung zu vermeiden. Unter praktischen Gesichtspunkten ist Wolle wahrscheinlich das Beste, weil sie einfach verfügbar ist und schnell erlischt, wenn sie in normale Luft kommt.

Die Kleidung sollte gut passen, jedoch einfach abzustreifen und frei von Öl und Fett sein.

Personen, die einer sauerstoffangereicherten Atmosphäre ausgesetzt waren, dürfen nicht rauchen oder sich offenem Feuer, heißen Flächen oder Funken nähern, solange sie nicht ihre Kleidung in normaler Atmosphäre gründlich gelüftet haben. Eine Lüftungszeit von mindestens 15 Minuten mit Bewegungen der Arme und Beine bei aufgekнопfter Jacke wird empfohlen.

8.2 Analyse

Bevor Personen einen Raum betreten, in dem eine Sauerstoffanreicherung bestehen kann, muss die Atmosphäre mit einem verlässlichen, genauen Analysengerät (siehe Abschnitt 7) geprüft werden. Der Eintritt ist nur zu erlauben, wenn die Sauerstoffkonzentration gleich der in normaler Luft ist. Jede andere Konzentration – das sind 23 % oder mehr – ist potentiell gefährlich. Jedoch wird im Hinblick auf örtliche und zeitliche Veränderung der Konzentration empfohlen, dass jeder, der einen solchen Raum betritt, mit einem kontinuierlich und automatisch messendem Sauerstoffmessgerät ausgestattet ist, das akustischen Alarm gibt, wenn die Sauerstoffkonzentration der Atmosphäre über 22,5 % oder unter 19,5 % variiert.

8.3 Feuerlöschgeräte

Das einzige wirksame Mittel um Sauerstoffbrände zu beherrschen, ist die Absperrung der Sauerstoffzufuhr. Unter den Bedingungen einer Sauerstoffanreicherung können als Löschmittel Wasser, Löschpulver oder Kohlendioxid benutzt werden. Bei der Wahl zwischen diesen Löschmitteln muss die Art des Brandes, z.B. elektrischer Brand etc., berücksichtigt werden. Brennende Kleidung z.B. muss mit Wasser gelöscht werden, da beim Abdecken mit einer Löschdecke die mit Sauerstoff angereicherte Kleidung weiter brennt.

Feuerlöschgeräte sollten ordnungsgemäß gewartet werden und das Personal sollte wissen, wo diese Geräte sind, wie man sie benutzt und welches Löschmittel bei welchem Brand zu benutzen ist.

8.4 Rauchen

Das gesamte Personal muss über die Gefahren durch Rauchen informiert sein, wenn mit Sauerstoff oder in Bereichen mit möglicher Sauerstoffanreicherung gearbeitet wird. Viele Verbrennungsunfälle wurden durch das Anzünden einer Zigarette verursacht; es ist deshalb unbedingt nötig, nachdrücklich auf die Gefahr aufmerksam zu machen, die beim Rauchen in Bereichen mit sauerstoffangereicherter Atmosphäre oder mit möglicher Sauerstoffanreicherung besteht. In diesen Bereichen muss das Rauchen verboten sein.

8.5 Erste Hilfe

Personen, die in sauerstoffangereicherter Atmosphäre in Brand geraten, können von einem Helfer nicht gerettet werden, indem dieser in den Bereich hineinläuft und sie herausholt, weil der Helfer nahezu sicher in Brand geraten würde. Das Opfer muss mit Wasser aus einer Dusche, aus einem Schlauch oder aus mehreren Eimern überschüttet werden und muss so schnell wie möglich in frische Luft kommen.

9 Zusammenfassung der Empfehlungen

Die wichtigen Punkte, die zu beachten sind, um Unfälle zu vermeiden, werden nachfolgend zusammengefasst:

- a) Es ist sicherzustellen, dass Mitarbeiter, die möglicherweise mit Sauerstoff arbeiten, bezüglich der Risiken, die durch einen Überschuss an Sauerstoff verursacht werden, gut ausgebildet und informiert sind.

- b) Es ist sicherzustellen, dass eine geeignete Ausrüstung benutzt wird und dass sie gasdicht und in gutem Betriebszustand ist.
- c) Es sind nur Materialien und Ausrüstungen zu benutzen, die für den Betrieb mit Sauerstoff zugelassen sind. Niemals dürfen Ersatzteile benutzt werden, die nicht gesondert zugelassen sind.
- d) Es ist geeignete saubere Kleidung zu benutzen, die frei von Öl und leicht brennbaren Verunreinigungen ist.
- e) Niemals darf Öl oder Fett benutzt werden, um Sauerstoff-Ausrüstungen zu schmieren.
- f) Es ist zu prüfen, dass alle vorhandenen Feuerlöschmittel in gutem Zustand und betriebsbereit sind.
- g) Bei Arbeiten in engen Räumen, in denen normalerweise Sauerstoff angewendet wird, sind die Sauerstoffzufuhr abzusperren, gute Lüftung zu gewährleisten und ein Sauerstoffmessgerät zu benutzen. Der Zutritt darf nur mit einem Erlaubnisschein gestattet werden, der von einer ausgebildeten verantwortlichen Person auszustellen ist.
- h) Rauchen ist streng verboten, wo irgendein Risiko der Sauerstoffanreicherung besteht.
- i) Personen, die in sauerstoffangereicherten Atmosphären in Brand geraten, können von einem Helfer nicht gerettet werden, indem dieser in den Bereich hineinläuft und sie herausholt, da der Helfer nahezu sicher auch in Brand geraten würde.
- j) Personen, die sich in sauerstoffangereicherten Atmosphären aufgehalten haben, dürfen sich offenen Flammen, brennenden Zigaretten etc. nicht nähern, solange sie ihre Kleidung nicht ausreichend gelüftet haben.
- k) Sauerstoffanlagen und –ausrüstungen müssen angemessen gekennzeichnet sein. Fluchtwege müssen jederzeit freigehalten sein.

- [1] Cleaning of equipment for oxygen service
IGC Doc. No. 33/97
- [2] Odourisation of oxygen
IGC TN 28/80
- [3] Accident prevention in oxygen-rich and oxygen-deficient atmospheres
CGA Doc. P-14, 1992
- [4] The safe application of oxygen enriched atmospheres when packaging food
BCGA Doc. GN 5, 1998
- [5] The probability of fatality in oxygen enriched atmospheres due to spillage of liquid oxygen
BCGA Doc. TR2, 1999
- [6] Reciprocating compressors for oxygen service
IGC Doc. 10/81
- [7] Centrifugal compressors for oxygen service
IGC Doc. 27/93
- [8] A method for estimating the offsite risks from bulk storage of liquefied oxygen
BCGA Report R1, 1984

Eigenschaften von Sauerstoff

Sauerstoff unterstützt die Verbrennung



Sauerstoff ist für das Leben unentbehrlich, die normale Konzentration in der Luft, die wir atmen, beträgt ungefähr 21 %. Er ist nicht brennbar, fördert aber die Verbrennung. Die meisten Materialien brennen heftig, manchmal sogar explosionsartig, in Sauerstoff. Mit steigender Sauerstoffkonzentration in der Luft erhöht sich das Brandrisiko. Bei Konzentrationen über 23 % in der Luft wird die Situation wegen des erhöhten Brandrisikos gefährlich.

EIGA

Eigenschaften von Sauerstoff

Sauerstoff hat keine Warnwirkung



Weil Sauerstoff farblos, geruchlos und geschmacklos ist, kann eine Sauerstoffanreicherung mit den normalen menschlichen Sinnesorganen nicht festgestellt werden.

EIGA

Eigenschaften von Sauerstoff

Sauerstoff ist schwerer als Luft



Weil Sauerstoff schwerer als Luft ist, kann er sich in tief liegenden Bereichen, wie Gruben und unterirdischen Räumen anreichern, besonders wenn flüssiger Sauerstoff ausläuft.

EIGA

Notwendige Bedingungen für ein Feuer

Allgemein sind für das Entstehen eines Feuers oder einer Explosion drei Elemente erforderlich:

Brennbares Material, Sauerstoff und eine Zündquelle

Das Feuedreieck ist die übliche Art, diese Elemente darzustellen:



Wenn eines dieser drei Elemente fehlt, kann kein Feuer entstehen.

EIGA

Ursachen für Sauerstoffbrände

- Sauerstoffanreicherung der Atmosphäre
- Falsche Anwendung von Sauerstoff
- Falsche Betriebsweise und Wartung von Sauerstoffsystemen
- Benutzung von Materialien, die für Sauerstoff nicht geeignet sind

EIGA

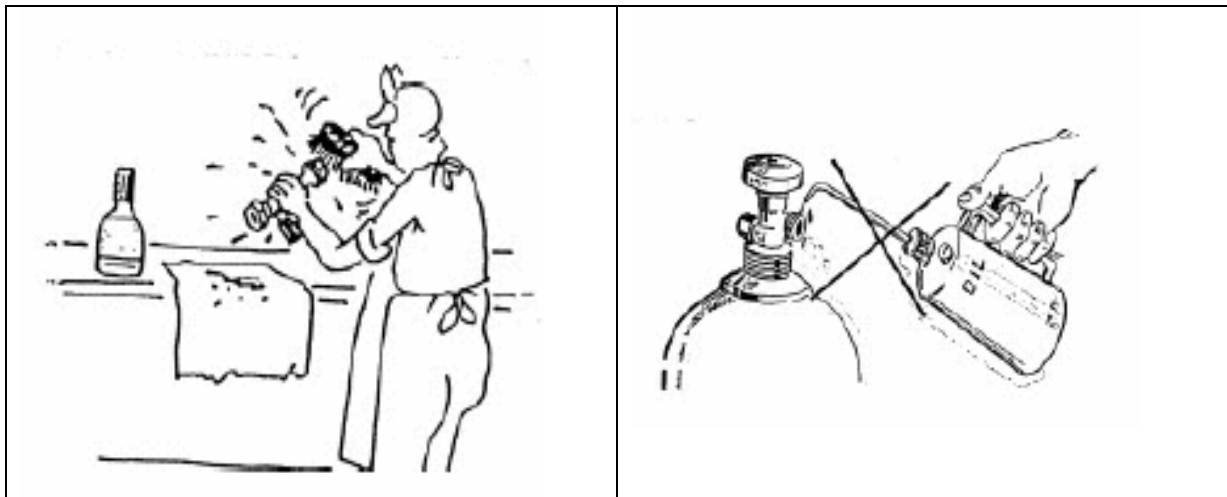
Eignung von Materialien

- Nur bestimmte Materialien sind für den Betrieb mit Sauerstoff geeignet.
- Die meisten Materialien sind in reinem Sauerstoff brennbar, auch wenn sie in Luft nicht entzündet werden können.
- Öle, Fett und Materialien, die mit diesen Substanzen verunreinigt sind, bilden bei Anwesenheit von Sauerstoff eine besondere Gefahr, da sie extrem leicht entzündet werden können und mit explosionsartiger Heftigkeit brennen.

EIGA

Benutze niemals Öl oder Fett, um eine Sauerstoff-Ausrüstung zu schmieren!

Eine Ausrüstung, die mit Öl und Fett verunreinigt ist, muss mit zugelassenen Reinigungsmitteln und –methoden gereinigt werden.



Es ist gemeinsam mit dem Vorgesetzten zu prüfen, dass sämtliche Materialien / Teile oder Substanzen, die benutzt werden sollen, für den Betrieb mit Sauerstoff zugelassen sind.

EIGA

ANHANG B

Eine undichte Ausrüstung ist sehr gefährlich



Sie kann zur Anreicherung von Sauerstoff, d. h. zu erhöhter Brandgefahr führen.

Undichte Verbindungen, Flansche und Fittings sind gefährlich, weil sie zur Sauerstoffanreicherung, insbesondere bei unzureichender Lüftung, führen können.

Jede neue oder reparierte Ausrüstung muss vor der Inbetriebnahme sorgfältig auf Dichtheit geprüft werden.

EIGA

Auslaufen von flüssigem Sauerstoff



- Auslaufender flüssiger Sauerstoff erzeugt beim Verdampfen eine dichte Wolke von mit Sauerstoff angereicherter Luft.
- Die Kleidung von Personen, welche in die Wolke hineingehen, wird sich mit Sauerstoff anreichern.
- Wenn flüssiger Sauerstoff in einen Boden eindringt, der organisches Material, z.B. Holz, Asphalt etc. enthält, entsteht eine gefährliche Situation, da das organische Material bei einer stoßartigen Belastung explodieren kann.

EIGA

Benutze Sauerstoff nicht für Zwecke, für die er nicht vorgesehen ist!

Benutze Sauerstoff nicht als Ersatz für Druckluft, z.B. zum:

- Antreiben von Druckluftwerkzeugen
- Aufpumpen von Reifen
- Starten von Dieselmotoren
- Abblasen von Werkbänken, Maschinen, Kleidung



EIGA

In Bereichen mit möglicher Sauerstoffanreicherung sind Rauchen und der Gebrauch von offenem Feuer verboten



Wenn Feuerarbeiten (Schweißen, Brennschneiden, Löten, Schleifen) auszuführen sind, ist zu gewährleisten, dass die Atmosphäre geprüft und als sicher bestätigt worden ist und dass eine Arbeitserlaubnis eingeholt wird.



EIGA

ANHANG B

Wenn sich jemand in einer sauerstoffangereicherten Atmosphäre aufgehalten hat, muss er die Kleidung mindestens 15 Minuten im Freien lüften, bevor er rauchen oder sich einer Zündquelle nähern darf.



EIGA

ANHANG C

Beispiele von Unfällen durch Sauerstoffanreicherung

Keiner der nachfolgend beschriebenen Unfälle wäre entstanden, wenn man den Empfehlungen dieses Dokumentes gefolgt wäre.

1. Ein Sicherheitsventil einer Versorgungsleitung für gasförmigen Sauerstoff wurde bei einer Reparatur mit Fett geschmiert. Als das Sicherheitsventil später mit Sauerstoff unter Druck geprüft wurde, entzündete sich das **Fett** und der Mitarbeiter wurde schwer verletzt.
2. Ein Mitarbeiter wollte den Druck von Sauerstoffflaschen prüfen. Er benutzte ein mit **Glycerin** gefülltes Manometer, das nicht für den Betrieb mit Sauerstoff geeignet ist. Beim Öffnen des Ventils explodierte das Manometer, was zur fast vollständigen Erblindung des Mitarbeiters führte.
3. Ein Monteur hatte die Teflondichtung seines Sauerstoff-Druckminderers verloren. Nach Ankunft am Reparaturort fertigte er eine **Gummidichtung** aus einem Autoschlauch und schloss den Druckminderer an die Sauerstoffflasche an. Als er das Flaschenventil öffnete entstand durch die für Sauerstoff nicht geeignete Dichtung eine Stichflamme, die ihn an Schulter und Arm verletzte.
4. Ein Mitarbeiter führte außen an einer Sauerstoffleitung Schweißarbeiten aus. Vor Arbeitsbeginn hatte er die Rohrleitung durch Schließen eines Ventils abgesperrt, die Leitung gespült und die Atmosphäre geprüft. Plötzlich stand der Schweißer in Flammen; er verstarb an den erlittenen Verbrennungen. Später wurde festgestellt, dass das Ventil **undicht** war, so dass Sauerstoff in die abgesperrte Rohrleitung eintreten konnte.
5. Das Ventil einer **Sauerstoff-Versorgungsleitung**, die in eine Betriebswerkstatt führte, wurde **offen gelassen**. Durch Lichtbogenschweißen erzeugte Funken entzündeten die Kleidung eines Mannes. Er rannte hinaus, wälzte sich im Gras, erlitt aber dennoch schwere Verletzungen. Mehrere andere Personen, die ihm halfen, erlitten leichte Verletzungen.
6. Ein Mitarbeiter versuchte, einen Brenner zu wechseln, indem er den Sauerstoffschlauch abklemmte. Der **austretende Sauerstoff** führte zu einem Brand und der Mitarbeiter wurde schwer verletzt.
7. Männer arbeiteten auf dem Dach eines Sauerstoffwerkes in der Nähe einer großen in Betrieb befindlichen **Sauerstoff-Ausblaseöffnung**. Ein Mann begann zu rauchen, seine Kleidung entzündete sich und er erlitt tödliche Verbrennungen.
8. Ein Mitarbeiter einer Fremdfirma sollte ein Geländerteil an einer Bühne eines Luftzerlegers abtrennen. Ein Erlaubnisschein war ausgestellt und ein Sicherheitsgespräch hatte stattgefunden. Die Umgebungstemperatur war niedrig und während der Mitarbeiter auf einen Kollegen wartete, beugte er sich über eine Sauerstoff-Ausblaseöffnung und setzte sich teilweise darauf, um sich an dem relativ warmen Sauerstoff zu wärmen, der durch ein undichtes Ventil ausströmte. Als er mit der Schleifarbeit begann, entzündete ein Funke seine **mit Sauerstoff angereicherte Kleidung**, wobei er Verbrennungen 2. und 3. Grades am ganzen Körper erlitt, die eine mehrmonatige Krankenhausbehandlung nötig machten.
9. Bei der Verwendung einer Sauerstofflanze in einem Stahlwerk bemerkte der Mitarbeiter, dass die Verbindung zwischen Schlauch und Lanze undicht war, beachtete aber das Problem nicht, weil der ausströmende Sauerstoff seinen Bauch etwas abkühlte. Ein Spritzer von heißem Metall traf den Mitarbeiter und entzündete die **mit Sauerstoff angereicherte Kleidung**, wodurch er schwere Verbrennungen erlitt.
10. Eine Druckluft-Drehbohrmaschine wurde mit einem Adapter an eine Sauerstoffleitung angeschlossen. Nach einigen Stunden war die Luft im Arbeitsraum so **mit Sauerstoff angereichert**, dass beim Anzünden einer Zigarette die Kleidung eines Mitarbeiters in Brand geriet. Vier Mitarbeiter wurden getötet und fünf andere verletzt.

11. Ein Schweißer arbeitete in einem Tankwagen. Nach einiger Zeit unterbrach er seine Arbeit, um die Luft durch **Einleiten von Sauerstoff** zu „verbessern“. Als er die Arbeit wieder aufnahm, entzündete ein Funke seine Kleidung. Der Schweißer erlag seinen Verbrennungsverletzungen.
12. Ein Stahlarbeiter versuchte, sein Auto zu reparieren, dessen Kraftstoffleitung verstopft war. Er **verwendete Sauerstoff, um die Verstopfung zu beseitigen**. Der Kraftstofftank explodierte, wobei eine Person getötet wurde.
13. Es wird über mehrere Fälle berichtet, bei denen Menschen in Brand gerieten, als sie rauchend eine Gaswolke betraten, die durch **Auslaufen von Sauerstoff** entstanden war.
14. Eine Person, die geeignete Kleidung trug, arbeitete in einer mit **Sauerstoff angereicherten Atmosphäre**. Die Person ging in einen Raucherbereich und zündete sich sofort eine Zigarette an, wobei die Kleidung in Brand geriet.
15. Es wurden verschiedene Unfälle von Krankenhauspatienten berichtet, deren Kleidung oder Bettzeug durch **Rauchen oder Funken während einer Sauerstoff-Behandlung** in Brand geriet.
16. Es wurden verschiedene Todesfälle in Druckkammern durch **Rauchen oder elektrostatische Funken unter den Bedingungen einer Sauerstoffanreicherung** berichtet. In einem Fall starben zehn Personen, als durch die Benutzung eines tragbaren Handwärmers ein Feuer ausbrach.