

Gefahrstoffe

Sauerstoff



M 034
DGUV Information 213-073
Stand: Juni 2024 (Überarbeitung der Ausgabe 9/2018)

Inhaltsverzeichnis dieses Ausdrucks

| | |
|--|----|
| Titel | 4 |
| VISION ZERO | 5 |
| Anwendungsbereich | 5 |
| 1 Eigenschaften und Kenndaten | 6 |
| 1.1 Physikalische und chemische Eigenschaften | 6 |
| 1.2 Nachweis und Messmethoden | 7 |
| 1.3 Physikalische und chemische Kenndaten | 8 |
| 1.4 Ordnungszahlen aus Regelwerken | 9 |
| 1.5 REACH | 10 |
| 2 Herstellung, Verwendung, Verwendungsverbote | 10 |
| 2.1 Herstellung | 10 |
| 2.2 Verwendung | 10 |
| 2.3 Verwendungsverbote | 11 |
| 3 Gesundheitsgefahren | 11 |
| 4 Gefährdungsbeurteilung | 11 |
| 4.1 Allgemeines | 12 |
| 4.2 Besondere Gefährdungen durch Tätigkeiten mit Gasen | 13 |
| 4.3 Besondere Gefährdungen durch Tätigkeiten mit Sauerstoff | 14 |
| 5 Technische Schutzmaßnahmen | 15 |
| 5.1 Allgemeines | 15 |
| 5.2 Öl, Fett und andere Verunreinigungen | 15 |
| 5.2.1 Reinigungsverfahren | 15 |
| 5.2.2 Reinigungsmittel | 16 |
| 5.2.3 Prüfverfahren | 17 |
| 5.3 Dichtwerkstoffe und Gleitmittel | 18 |
| 5.4 Kohlenwasserstoffe und andere Verunreinigungen in flüssigem Sauerstoff | 19 |
| 5.5 Anforderungen an Anlagenteile für den Sauerstoffbetrieb | 19 |
| 5.5.1 Allgemeines | 19 |
| 5.5.2 Armaturen und Sicherheitseinrichtungen | 19 |
| 5.5.3 Schläuche | 20 |
| 5.5.4 Brennbare Bauteile, Werk-, Hilfs- und Dämmstoffe | 21 |
| 5.5.5 Sauerstoff-Verdichter | 21 |
| 5.5.6 Pumpen für flüssigen Sauerstoff | 21 |
| 5.5.7 Rohrleitungen | 22 |
| 5.6 Laboratorien | 23 |
| 5.7 Lüftung | 23 |
| 5.8 Arbeitsbereiche | 23 |
| 5.9 Lagern, Vorhalten, Aufbewahren | 24 |
| 5.10 Abschirmungen | 25 |
| 5.10.1 Abschirmung von Füllständen | 26 |
| 5.10.2 Abschirmung von Verdichtern | 26 |
| 5.11 Sauerstoff im Gemisch mit anderen Stoffen | 27 |
| 6 Organisatorische Schutzmaßnahmen | 28 |
| 6.1 Allgemeines | 28 |
| 6.2 Betriebsanweisung | 28 |
| 6.3 Unterweisung | 28 |
| 6.4 Flucht- und Rettungsplan | 29 |
| 6.5 Kennzeichnung | 29 |
| 6.6 Brandgefahr, Brandschutz | 30 |
| 6.7 Dichtheitskontrolle | 30 |
| 6.8 Arbeiten in Behältern und engen Räumen | 31 |
| 6.9 Reinigungs- und Instandhaltungsarbeiten | 31 |
| 6.10 Prüfungen | 32 |
| 6.10.1 Prüfung von Rohrleitungen | 32 |
| 6.10.2 Dichtheitsprüfung der Anlage | 33 |
| 6.10.3 Prüfung von Schläuchen und beweglichen Leitungen | 33 |

| | |
|--|----|
| 6.11 Zugangsbeschränkung | 33 |
| 7 Personenbezogene Schutzmaßnahmen | 33 |
| 7.1 Augenschutz | 34 |
| 7.2 Körperschutz | 34 |
| 7.3 Gaswarngeräte | 34 |
| 8 Erste Hilfe | 35 |
| 8.1 Allgemeines | 35 |
| 8.2 Augen | 35 |
| 8.3 Atmungsorgane | 36 |
| 8.4 Haut | 36 |
| 8.5 Hinweise für die ärztliche Behandlung | 36 |
| Anhang 1: - Werkstoffanforderungen für sauerstoffführende Anlagenteile sowie Dichtwerkstoffe von Anlagen und Anlagenteilen | 36 |
| Anhang 2: - Verdichter für Sauerstoff | 38 |
| Anhang 3: - Abschirmungen | 41 |
| Literaturverzeichnis | 43 |
| Bildnachweis | 53 |
| Sonstiges | 53 |

Die vorliegende Schrift konzentriert sich auf wesentliche Punkte einzelner Vorschriften und Regeln. Sie nennt deswegen nicht alle im Einzelfall erforderlichen Maßnahmen. Seit Erscheinen der Schrift können sich darüber hinaus der Stand der Technik und die Rechtsgrundlagen geändert haben.

Diese Schrift wurde sorgfältig erstellt. Dies befreit nicht von der Pflicht und Verantwortung, die Angaben auf Vollständigkeit, Aktualität und Richtigkeit selbst zu überprüfen.

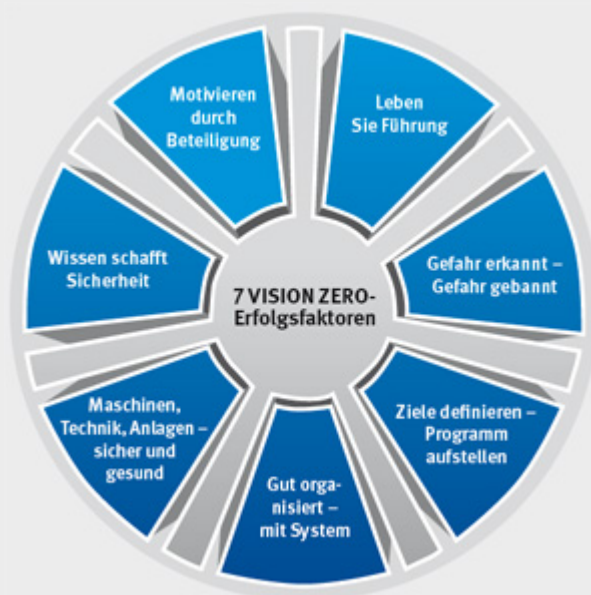
Das Arbeitsschutzgesetz spricht vom Arbeitgeber, das Sozialgesetzbuch VII und die Unfallverhütungsvorschriften der Unfallversicherungsträger vom Unternehmer. Beide Begriffe sind nicht völlig identisch, weil Unternehmerinnen oder Unternehmer nicht notwendigerweise Beschäftigte haben. Im Zusammenhang mit der vorliegenden Thematik ergeben sich daraus keine relevanten Unterschiede, sodass „die Unternehmerin oder der Unternehmer“ verwendet wird.

VISION ZERO

VISION ZERO.

NULL UNFÄLLE – GESUND ARBEITEN!

Die **VISION ZERO** ist die Vision einer Welt ohne Arbeitsunfälle und arbeitsbedingte Erkrankungen. Höchste Priorität hat dabei die Vermeidung tödlicher und schwerer Arbeitsunfälle sowie Berufskrankheiten. Eine umfassende Präventionskultur hat die VISION ZERO zum Ziel.



Nähere Informationen zur VISION ZERO-Präventionsstrategie finden Sie unter www.bgrci.de/praevention/vision-zero.

In dieser Schrift besonders angesprochener Erfolgsfaktor:
„Gefahr erkannt – Gefahr gebannt“

Anwendungsbereich

Diese Schrift behandelt Gefahren und Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit

- reinem Sauerstoff,

- Gemischen aus Sauerstoff und Stickstoff oder anderen Inertgasen mit mehr als 21 Vol.-% Sauerstoff, dazu gehört z. B. mit Sauerstoff angereicherte Luft und
- sonstige nach CLP-Verordnung als „oxidierend“ einzustufende Gemische aus Sauerstoff und Inertgasen (z. B. Sauerstoff-Argon-Gemisch mit 20 Vol.-% Sauerstoff). (2)

Tätigkeiten in sauerstoffreduzierter Atmosphäre werden in dieser Schrift nicht abgehandelt. Beschrieben werden diese in der DGUV Information 205-006 „Arbeiten in sauerstoffreduzierter Atmosphäre“. (111)

In erster Linie soll diese Schrift die betroffenen Personen, v. a. die Vorgesetzten, bei der

- Ermittlung und Beurteilung der Gefährdungen,
- Festlegung der zum Schutz des Menschen und der Umwelt erforderlichen Maßnahmen und Verhaltensregeln,
- Festlegung des Verhaltens im Gefahrenfall,
- Festlegung der Erste-Hilfe-Maßnahmen,
- Ausarbeitung der Betriebsanweisung und
- Durchführung der mündlichen Unterweisungen

unterstützen, wenn mit Sauerstoff oder dessen Gemischen umgegangen wird oder wenn Sauerstoff z. B. bei chemischen Umsetzungen oder bei Be- und Verarbeitungsprozessen entstehen kann.

Die Nummern in Klammern verweisen auf das Literaturverzeichnis.

1 Eigenschaften und Kenndaten

1.1 Physikalische und chemische Eigenschaften

Sauerstoff ist bei Normalbedingungen ein farbloses und geruchloses Gas. Bei -183 °C und Normaldruck kondensiert Sauerstoff zu einer blauen Flüssigkeit, bei -219 °C kristallisiert er zu einem blauen Feststoff.

Sauerstoff ist nicht brennbar, ermöglicht und fördert aber die Verbrennung. Die atmosphärische Luft enthält rund 21 Vol.-% Sauerstoff. Schon eine geringe Anreicherung bewirkt eine lebhaftere Verbrennung, d. h. eine beträchtliche Steigerung der Verbrennungsgeschwindigkeit. Bei erhöhtem Sauerstoffgehalt der Luft kann sich z. B. aus einem Glimmbrand eine lebhafte Flamme entwickeln.

Sauerstoff kann eine Selbstentzündung von Öl und Fett und von Textilien, die mit Öl und Fett verunreinigt sind, bewirken.

Bei erhöhten Sauerstoffkonzentrationen können sich auch sicherheitstechnische Kenndaten nachteilig verändern. Beispiele: Explosionsgrenzen, Staubexplosionsklassen, Druckanstiegsgeschwindigkeiten, Zünd- und Glimmtemperaturen, Explosionsdrücke, Flammentemperaturen.

Damit besteht eine erhöhte Brand- und Explosionsgefahr.

Mit Ausnahme der Edelmetalle und der Metalloxide der höchsten Oxidationsstufe sind alle Stoffe in Sauerstoff, vor allem in verdichtetem Sauerstoff, brennbar. Das trifft auch auf Stoffe zu, die in atmosphärischer Luft nicht zur Entzündung gebracht werden können.

Sauerstoff geht mit fast allen Elementen Verbindungen ein. Die meisten Stoffe reagieren mit Sauerstoff so heftig, dass sie entweder nach der Zündung verbrennen oder sich sogar selbst entzünden. Die Reaktionen können stark durch Fremdstoffen beeinflusst werden, die als Katalysator oder als Inhibitor wirken.

1.2 Nachweis und Messmethoden

Mit Prüfröhrchen kann Sauerstoff in einem Bereich von 5 bis 23 Vol.-% festgestellt werden. Dieser Nachweis wird nur durch starke Oxidationsmittel gestört, die Genauigkeit des Verfahrens ist jedoch relativ gering.

Tragbare Sauerstoffmessgeräte benutzen als Messprinzip häufig eine elektrochemische Zelle mit Edelmetall-Kathode und Blei-Anode. Von den Herstellern wird im Allgemeinen eine Anwendung bis maximal etwa 25 Vol.-% Sauerstoff empfohlen. Die Lebensdauer der Messzelle beträgt typischerweise etwa 18 Monate und ist von den jeweiligen Einsatzbedingungen abhängig. So wird durch verschiedene Gase, z. B. Kohlendioxid in hoher Konzentration, die Einsatzdauer verkürzt. Mehr Informationen zu Einsatz, Betrieb, Wartung und Richtighaltung von Sauerstoffmessgeräten können der DGUV Information 213-056 „Gaswarneinrichtungen für toxische Gase/ Dämpfe und Sauerstoff: Einsatz und Betrieb“ (Merkblatt T 021 der BG RCI) entnommen werden. (93)

Für neuere Entwicklungen elektrochemischer Zellen (potentiostatisches Messverfahren) werden eine geringere Kohlendioxid-Empfindlichkeit und ein Messbereich bis zu 100 Vol.-% angegeben.

Ein anderer Gerätetyp benutzt die Leitfähigkeit von erhitztem Zirkoniumdioxid für Sauerstoffionen zur Erzeugung des Messsignals. Je nach Auslegung der Messzelle eignet sich der Analysator bevorzugt zur genauen Messung sehr kleiner Konzentrationen oder höherer, auch solcher, die 21 Vol.-% übersteigen. Teilweise werden sogar Messbereiche bis 100 Vol.-% angeboten. Die Anwesenheit brennbarer Gase oder Dämpfe in dem zu untersuchenden Gasgemisch führt zu systematisch verfälschten Messwerten, da diese Beimengungen mit Sauerstoff in der heißen Messzelle reagieren.

Weit verbreitet für die Messung auch hoher Sauerstoffkonzentrationen – bis zu 100 Vol.-% – sind Messgeräte, die den Paramagnetismus des Sauerstoffes ausnutzen. Eine nennenswerte Querempfindlichkeit liegt hier nur für Stickstoffoxide und Chloroxide vor, bei bestimmten Geräteausführungen ist jedoch die Kalibrierkurve vom Begleitgas abhängig.

Zur Auswahl eines geeigneten Messgerätes ist es unerlässlich, vorher das Messproblem zu charakterisieren. Dazu gehört die Beantwortung folgender Fragen:



- Wie hoch sind die zu messenden Sauerstoffkonzentrationen und welche Messgenauigkeit ist erforderlich?
- Welche Begleitgase liegen vor, sind brennbare, korrosive oder andere störende Komponenten enthalten?
- Wie sind Temperatur, Druck und Feuchte des zu untersuchenden Gasgemisches?
- Wird ein tragbares oder ein stationäres Gerät benötigt?
- Wie schnell muss gemessen werden können?
- Kann das zu untersuchende Gasgemisch brennbar sein? Sind demgemäß Probleme des Explosionsschutzes zu beachten?

Eine Liste von funktionsgeprüften Gaswarngeräten ist auf der Homepage der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI) abrufbar unter www.bgrci.de/exinfode/dokumente/gaswarneinrichtungen-und-geraete/funktionsgepruefte-gaswarngerate. (139)

1.3 Physikalische und chemische Kenndaten

| | | |
|--|------------------------------|-------------|
| Chemische Formel | O ₂ | |
| Molare Masse | 31,9988 kg/kmol | |
| Schmelzpunkt bei 1,013 bar | 54,37 K (–218,78 °C) | (129) |
| Siedepunkt bei 1,013 bar | 90,19 K (–182,96 °C) | (129) (132) |
| Dichte gasförmig bei 0 °C und 1,013 bar | 1,429 g/l | (141) |
| Dichte der flüssigen Phase bei 90,19 K (–182,96 °C) | 1141,0 g/l | (129) (132) |
| Relative Gasdichte (Luft = 1) | 1,1052 | (129) |
| Molares Normvolumen | 22,3932 m ³ /kmol | |
| Löslichkeit in Wasser | 43 mg/kg H ₂ O | (130) |
| - bei 25 °C und 1,013 bar | 70,5 mg/kg H ₂ O | (129) |
| - bei 0 °C und 1,013 bar | | |
| Verdampfungswärme bei 90,19 K (–182,96 °C) | 213 kJ/kg | (129) (132) |
| Wärmeleitfähigkeit bei 1,013 bar und 25 °C, Gasphase | 26,6 mW/m · K | (129) |
| Wärmeleitfähigkeit bei 0,99 bar und 90 K (–183,15 °C) (flüssige Phase) | 151,8 mW/m · K | (132) |
| Spezifische Wärme C _p bei 1,013 bar und 21,1 °C | 0,9191 kJ/kg · K | (129) |
| Spezifische Wärme C _v bei 1,013 bar und 21,1 °C | 0,6578 kJ/kg · K | (129) |
| Kritische Temperatur | 154,48 K (–118,569 °C) | (141) |
| Kritischer Druck | 50,430 bar | (132) |
| Kritische Dichte | 0,4361 kg/l | (132) |

1.4 Ordnungszahlen aus Regelwerken

| | | |
|---|---|------------------------|
| CAS-Nummer, gasförmig und flüssig | 7782-44-7 | (141) |
| UN-Nummer, verdichtet | 1072 | (141) |
| UN-Nummer, tiefgekühlt, flüssig | 1073 | (141) |
| INDEX-Nummer | 008-001-00-8 | (141) |
| EG-Nummer | 231-956-9 | (141) |
| Einordnung nach GGVSEB/ADR/RID/ADNR: | | (59) (60) (61) (62) |
| UN 1072 | | (141) |
| Klasse | 2 | |
| Klassifizierungscode | 10 | |
| Gefahrzettel | 2.2 + 5.1 | |
| UN 1073 | | (141) |
| Klasse | 2 | |
| Klassifizierungscode | 30 | |
| Gefahrzettel | 2.2 + 5.1 | |
| Einordnung nach GGVSee/IMDG-Code: | | (63)(64) |
| UN 1072, UN 1073 | | |
| Klasse | 2.2 | |
| Zusatzgefahr | 5.1 | |
| Kennzeichnung nach GHS (nach EU-Verordnung Nr. 1272/2008) | | (141) (2) |
| Piktogramme |   | |
| Signalwort | GHS03 GHS04 | |
| | Gefahr | |

| | | |
|---|---|-------|
| H-Sätze | H270, H280 (verdichtet) oder H281 (tiefgekühlt verflüssigt) | |
| Kennzeichnung von Gemischen: Nach CLP-Verordnung werden Gemische aus Sauerstoff und Inertgasen mit einem Oxidationsvermögen* von mehr als 23,5 % als oxidierend eingestuft. | | (2) |
| * Das Oxidationsvermögen wird nach DIN EN ISO 10156 bestimmt. | | (123) |
| Zulassung nach Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 Anhang II | Lebensmittelzusatzstoff E948 | (3) |

1.5 REACH

Die REACH-Verordnung (1907/2006/EG) gilt auch für Sauerstoff. Es gelten aber gemäß Artikel 2 Absatz 7 Buchstabe b nicht alle Titel. Sauerstoff gehört zu den im Anhang V Nr. 13 aufgeführten Elementen, bei denen gefährliche Eigenschaften und Risiken bereits wohlbekannt sind. Damit ist er von der Anwendung der Titel II (Registrierung von Stoffen), V (Nachgeschaltete Anwender) und VI (Bewertung) befreit, da eine Registrierung für unzumutbar oder unnötig erachtet wird und die Ausnahme von diesen Titeln die Ziele der REACH-Verordnung nicht beeinträchtigt. (1)

2 Herstellung, Verwendung, Verwendungsverbote

2.1 Herstellung

Sauerstoff wird z. B. durch Zerlegung der Luft, durch Tieftemperaturrektifikation (ca. -180 °C), durch Adsorptionsverfahren, durch Membranverfahren und Elektrolyse gewonnen.

2.2 Verwendung

Sauerstoff wird vielseitig eingesetzt. Neben der Verwendung als Atemgas in der Medizin, Luft- und Raumfahrt wird Sauerstoff hauptsächlich für Verbrennungsprozesse und als Oxidationsmittel benötigt. Bei Verbrennungsprozessen führt die Verwendung von Sauerstoff anstelle von Luft zu höheren Temperaturen.

Industriell verwendet wird Sauerstoff hauptsächlich

- in der Metallurgie bei der Roheisen- und Stahlherstellung und bei der Kupfer-Raffination, (101)
- in chemischen Prozessen, z. B. bei der Olefin-Oxidation (Ethylenoxid), bei der partiellen Oxidation von Kohle und Schweröl zur Wasserstoff- und Synthesegas-Erzeugung, bei der Erzeugung von Schwefel- und Salpetersäure, von Acetylen, Acetaldehyd, Essigsäure, Vinylacetat und Chlor,

- in der Autogentechnik beim Schweißen, Schneiden, Flammstrahlen, beim thermischen Trennen z. B. von Beton,
- in der Lebensmittelindustrie,
- beim Schmelzen in der Glasindustrie,
- bei der Aufbereitung von Trink- und Abwasser,
- für die Ozonerzeugung.

2.3 Verwendungsverbote

Mit Ausnahme von Atemschutzgeräten und für medizinische Zwecke darf Atemluft nicht mit Sauerstoff angereichert werden.

Sauerstoff darf nicht an Stelle von Druckluft verwendet werden. Sauerstoff darf z. B. nicht verwendet werden beim Farbspritzen, zum Antrieb von maschinellen Werkzeugen, beim Anlassen von Motoren, zum Fortblasen von Spänen und Staub oder zum Abblasen der Kleidung und zur Verbesserung der Atemluft in Räumen.

Zum Spülen, zur Druckprüfung von Behältern und Leitungen und als Gaspolster von Flüssigkeitsbehältern darf Sauerstoff ebenfalls nicht verwendet werden. Ausgenommen sind Behälter und Leitungen, die für den Betrieb mit Sauerstoff bestimmt sind.

3 Gesundheitsgefahren

Sauerstoff, ein lebenswichtiger Bestandteil der Luft, kann in höheren Konzentrationen toxisch wirken. Vergiftungen ereignen sich vor allem bei der therapeutischen Verwendung. Sauerstoff-Konzentrationen unterhalb 50–60 Vol.-% bei Normaldruck werden für Erwachsene, auch bei lang andauernder Einwirkung, als unbedenklich angesehen. 100 Vol.-% Sauerstoff bei einem (Über-)Druck von 0,5 bar (50 kPa) bleiben ohne toxische Wirkung, dagegen führt das Einatmen von reinem Sauerstoff bei Drücken über 3 bar (300 kPa) schon innerhalb kurzer Zeit zu zentralnervösen Vergiftungserscheinungen wie Schwindel, Brechreiz, Übererregbarkeit, Seh-, Hör- und Gleichgewichtsstörungen, Krämpfen, Bewusstlosigkeit bis hin zum tödlichen Ausgang.

Bei längerem Einatmen von reinem Sauerstoff unter Normaldruck können Lungenschädigungen sowie Funktionsstörungen endokriner Drüsen und des vegetativen Nervensystems auftreten. Die lungenschädigende Wirkung tritt bei langzeitiger Exposition gegen reinen oder hochprozentigen Sauerstoff in den Vordergrund und kann bis zum toxischen Lungenödem führen.

Etwaige leichte Atembeschwerden nach akuter Einatmung hoher Sauerstoffkonzentrationen verschwinden meist beim Aufenthalt in der frischen Luft.

Flüssiger Sauerstoff kann schwere Erfrierungen verursachen. Diese werden, insbesondere wenn es nur ein kleines Areal betrifft, nicht sofort bemerkt, da die Kälte das Schmerzempfinden betäubt. Nachdem die Stelle wieder aufgewärmt ist, treten starke Schmerzen auf.

4 Gefährdungsbeurteilung

4.1 Allgemeines

Arbeitsschutzgesetz, Verordnungen zum Arbeitsschutz (z. B. Gefahrstoffverordnung, Betriebssicherheitsverordnung, Arbeitsstättenverordnung), Mutterschutzgesetz und die DGUV Vorschrift 1 „Grundsätze der Prävention“ verpflichten die Unternehmerin bzw. den Unternehmer, Gefährdungen und Belastungen der Beschäftigten am Arbeitsplatz zu ermitteln und zu beurteilen. (5) (11) (34) (6) (49) (50) (65) (98)

Die Gefährdungsbeurteilung

1. ist vor Aufnahme der Tätigkeiten durchzuführen,
2. darf nur von fachkundigen Personen durchgeführt werden. Gegebenenfalls hat sich die Unternehmerin bzw. der Unternehmer fachkundig beraten zu lassen, z. B. von der Fachkraft für Arbeitssicherheit oder von der Betriebsärztin bzw. dem Betriebsarzt,
3. ist zu dokumentieren und auf aktuellem Stand zu halten.

Die Gesamtverantwortung für die Gefährdungsbeurteilung liegt **immer** beim Unternehmer oder der Unternehmerin. Der Betriebsrat ist hinzuzuziehen.

Die Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen gliedert sich in folgende Schritte: (13)

- Stoffe, Gemische und sonstige Gefährdungsfaktoren erfassen (Gefahrstoffverzeichnis),
- Informationsermittlung (z. B. Sicherheitsdatenblatt),
- Bewertung der Gefährdungen (inhalativ, dermal, physikalisch-chemisch),
- Prüfung auf Substitutionsmöglichkeiten,
- Festlegung und Durchführung notwendiger Schutzmaßnahmen,
- Dokumentation,
- Regelmäßige Wirksamkeitskontrolle.

Tätigkeiten mit Gefahrstoffen dürfen erst aufgenommen werden, nachdem die Gefährdungsbeurteilung durchgeführt und entsprechende Schutzmaßnahmen festgelegt wurden, sowie die ausführenden Beschäftigten unterwiesen wurden. Dabei müssen über den normalen Betrieb hinaus auch das An- und Abfahren von Anlagen, Instandhaltungs- und Wartungsarbeiten sowie Störungen des Normalbetriebes betrachtet werden.

Bei der Zusammenarbeit verschiedener Firmen kann die Möglichkeit einer gegenseitigen Gefährdung bestehen. Deshalb ist die Fremdfirmenkoordination (z. B. durch eine Sicherheitskoordinatorin oder einen Sicherheitskoordinator) ebenfalls Bestandteil der Gefährdungsbeurteilung. (11) (65) (98) (68)

Für weitere Informationen zur allgemeinen Gefährdungsbeurteilung wird auf die vorhandenen vielfältigen Hilfsmittel verwiesen, die die Träger der gesetzlichen Unfallversicherung, z. B. die BG RCI, ihren Mitgliedsbetrieben für die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung nach Arbeitsschutzgesetz bietet:

- Die Merkblätter A 016 „Gefährdungsbeurteilung – Sieben Schritte zum Ziel“ und A 017 „Gefährdungsbeurteilung – Gefährdungskatalog“ sowie der Ordner „Gefährdungsbeurteilung – Arbeitshilfen“ der BG RCI. (72) (73)
- Die dort enthaltenen Arbeitsblätter sind Teil des Programms GefDok light. Diese stehen unter www.bgrci.de/downloadcenter zur Verfügung. Die Excel-Vorlagen können ohne spezielle Excel-Kenntnisse direkt am PC ausgefüllt werden.
- GefDok KMU, eine Software zur Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung in kleinen und mittleren Betrieben. (140)
- Formblätter aus dem Praxishilfe-Ordner „Arbeitsschutz mit System“ (als Word- und Excel-Dateien). (95)

- DGVU Information 213-850 „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“. (66)
- Die stoff(gruppen)spezifischen Merkblätter der M-Reihe der BG RCI, insbesondere M 053 „Arbeitsschutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen“ (DGVU Information 213-080). (81) ff. (88)

Die Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit Gasen wird in der TRGS 407 „Tätigkeiten mit Gasen – Gefährdungsbeurteilung“ beschrieben. Für Tätigkeiten mit Sauerstoff besonders relevante Punkte sind in dieser Schrift in den Abschnitten 4.2 und 4.3 genannt. (15)

4.2 Besondere Gefährdungen durch Tätigkeiten mit Gasen (15)

Die gefährlichen Eigenschaften von Gasen sind insbesondere vor dem Hintergrund ihrer hohen Volatilität (Flüchtigkeit) und der Handhabung unter Druck zu beurteilen.

Mögliche Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gasen unter Druck sind beispielsweise:

1. Gefährdungen durch Druck:
 - a) unkontrolliert bewegte Teile (z. B. wegfliegende Teile, schlagende Leitungen),
 - b) Zerknall, Bersten (z. B. Druckwelle),
2. Gefährdungen durch spezielle physikalische Einwirkungen: Lärm (z. B. lautes Zischen durch plötzliches Austreten großer Gasmengen aus Druckentlastungsöffnungen),
3. Kontakt mit heißen oder kalten Medien, z. B.: Verbrennungen oder Erfrierung der Haut durch Kontakt mit Oberflächen von Leitungen oder Druckgasbehältern, die sich durch adiabatische Verdichtung oder Entspannung stark erwärmt oder stark abgekühlt haben,
4. hohe Strömungsgeschwindigkeit (z. B. Einwirken eines Gasstrahls auf das Auge).

Erkenntnisse über Schadensursachen aus eigener Betriebserfahrung, aber auch aus anderen Quellen, sollen als Unterstützung bei der Gefährdungsbeurteilung und der Auswahl geeigneter Schutzmaßnahmen genutzt werden. Eine Gefährdung kann verschiedene und auch mehrere Ursachen haben (z. B. Undichtigkeit eines Anschlusses aufgrund einer beschädigten Dichtung oder unterlassener Dichtheitskontrolle nach der Montage oder Bersten eines Behälters aufgrund von Materialermüdung, Korrosion oder Fehlbedienung).

Das Ausbreitungsverhalten von Gasen (leichter als Luft oder schwerer als Luft) in Abhängigkeit von ihrer Dichte und in Abhängigkeit von dem Gemisch, in dem sie vorliegen, ist zu berücksichtigen. Eventuell zu ergreifende Maßnahmen sind daran zu orientieren, wie z. B. die Belüftung und die Positionierung von Gaswarngeräten.

Für Tätigkeiten mit Gasen sind bei der Gefährdungsbeurteilung alle Gefährdungen durch Druck sowohl beim bestimmungsgemäßen Betrieb als auch bei Abweichungen davon zu ermitteln (siehe auch TRBS 1111 und TRBS 2141). Als vernünftigerweise nicht auszuschließende Abweichungen vom bestimmungsgemäßen Betrieb sind insbesondere (35) (44)

1. Leckagen (z. B. an Ventilen, Flanschverbindungen oder anderen Dichtflächen oder durch Korrosion),
2. Freisetzung von Gasen beim Öffnen von Anlagenteilen (z. B. durch nicht erkannten Überdruck oder Fehlbedienung),
3. Ansprechen von Sicherheitseinrichtungen, wie z. B. Sicherheitsventile oder Berstscheiben,
4. Abriss von Schlauchverbindungen,
5. Überschreiten zulässiger Füllungsgrade

auf Relevanz zu überprüfen und erforderlichenfalls zu berücksichtigen.

4.3 Besondere Gefährdungen durch Tätigkeiten mit Sauerstoff (15)

Bei Druckgasbehältern und Druckanlagen ist ggf. mit hohen Strömungsgeschwindigkeiten, insbesondere in Armaturen, zu rechnen. Es ist dann mit Zündung und somit mit Ausbränden von Anlagenteilen zu rechnen, wenn

1. Verunreinigungen aller Art sich im Sauerstoffstrom befinden (siehe Abschnitt 5.2),
2. sicherheitstechnisch ungeeignete Werkstoffe verwendet werden (siehe Anhang 1),
3. sicherheitstechnisch ungeeignetes Dichtungsmaterial oder Gleitmittel verwendet wird (siehe Abschnitt 5.3),
4. sicherheitstechnisch als geeignet getestete Armaturen im Nachhinein in ihrer Geometrie geändert oder in anderer Weise manipuliert wurden oder
5. (unabhängig davon) die Strömungsgeschwindigkeit einen bestimmten Grenzwert überschreitet.

Durch adiabatische Druckstöße können sowohl Materialien als auch Armaturen, die ansonsten als sicherheitstechnisch für den Einsatz mit Sauerstoff als geeignet eingestuft wurden, dennoch durch die entstehende Verdichtungswärme gezündet werden. So kann z. B. das Elastomer im Regeleinsatz eines Druckminderers beim schlagartigen Öffnen eines Sauerstoffdruckgasflaschenventils entzündet werden, wenn diese Armatur nicht entlastet ist.

Bei Kolbenverdichtern, Turboverdichtern und Turbogebbläsen kann es zu intensiven bis explosionsartigen Bränden kommen. Bei nicht abgeschirmten Maschinen sind in der Nähe befindliche Personen extrem gefährdet.

Es kann zur Selbstentzündung kommen, wenn Verunreinigungen wie Öl, Fett oder andere organische Materialien mit Sauerstoff in Berührung kommen (siehe Abschnitt 5.2).

Bei Verwendung von ungeeigneten Werkstoffen kann eine Zünd- und somit Brandgefahr bestehen (siehe Anhang 1).

Bei Tätigkeiten mit tiefgekühlt verflüssigtem Sauerstoff (siehe Kapitel 3) entstehen zusätzlich besondere Gefährdungen:

1. Bei ungeschütztem Hautkontakt ist mit Erfrierungen zu rechnen.
2. Sobald verflüssigter Sauerstoff auf organisches Material (z. B. Holz, PE/PP-Kunststoff, bituminöser Straßenbelag) tropft, ist selbst bei geringsten Zündenergien mit heftigsten Reaktionen bis hin zu explosionsartigen Reaktionen zu rechnen.
3. Bei Verwendung von Betriebsmitteln aus ungeeignetem Werkstoff ist mit Materialversprödung zu rechnen.

Sauerstoffaustritt, z. B. bedingt durch Undichtigkeiten, führt zu Sauerstoffanreicherung außerhalb des Druckgasbehälters bzw. der Druckanlage und kann somit auch zur Sauerstoffanreicherung in der Arbeitskleidung der Beschäftigten führen (siehe Abschnitt 6.6). Die gleiche Gefährdung durch Sauerstoffanreicherung ist bei Instandhaltungsmaßnahmen an Anlagen, in denen Sauerstoff eingesetzt worden ist, gegeben. Sauerstoffanreicherung durch Leckagen in brennbaren Dämmstoffen führt zu unbeherrschbaren Brandlasten im Falle einer Zündung.

Kann beim Zusammentreffen von Sauerstoff und entzündbaren oder chemisch instabilen Gasen unter atmosphärischen Bedingungen die Bildung gefährlicher explosionsfähiger Gemische nicht vermieden werden, so gelten für die Festlegung explosionsgefährdeter Bereiche und die dort erforderlichen Schutzmaßnahmen der Anhang I Nummer 1.6 der Gefahrstoffverordnung. Für weitere Informationen siehe TRGS 720, 721, 722, 723 und 724. Für detaillierte Hinweise zur Einteilung explosionsgefährdeter Bereiche in Zonen siehe DGUV Regel 113-001 Anlage 4 (Beispielsammlung). (11) (24)–(28) (106)

Bei sauerstoffdurchsetzter Kleidung besteht erhöhte Brandgefahr, dies gilt auch für schwer entflammbare Kleidung.

5 Technische Schutzmaßnahmen

5.1 Allgemeines

Die Schutzmaßnahmen sind nach den geltenden Arbeitsschutz- und Unfallverhütungsvorschriften sowie nach den allgemein anerkannten Regeln der Sicherheitstechnik, der Arbeitsmedizin und der Hygiene, dem Stand der Technik und den sonstigen gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen zu treffen. Das Ziel dieser Schutzmaßnahmen ist es, eine Gesundheitsgefährdung durch Sauerstoff zu vermeiden. (5) (6) (11) (34) (65) (98)

Dabei ist die gesetzlich festgelegte Maßnahmenreihenfolge von Substitution vor technischen-, vor organisatorischen- und schließlich vor personenbezogenen Schutzmaßnahmen einzuhalten. Die technischen und organisatorischen Schutzmaßnahmen sind so auszuwählen, dass die Beschäftigten nur ausnahmsweise und als Ergänzung zu diesen Maßnahmen persönliche Schutzausrüstungen benutzen müssen.

5.2 Öl, Fett und andere Verunreinigungen

Wegen der Gefahr einer Entzündung müssen alle mit Sauerstoff in Berührung kommenden Anlageteile **für den Sauerstoffbetrieb gereinigt und sauber** sein. Zum einen müssen im Prozessstrom vorhandene Verunreinigungen oder Stoffe, die zu Korrosion führen, bei der Auslegung berücksichtigt werden, z. B. Verunreinigungen durch eine vorgeschaltete Elektrolyse. Zum anderen sind beim Bau oder während der Instandhaltung eingebrachte Verunreinigungen zu entfernen. Das heißt, sie müssen gereinigt sein von

- losen oder durch den Betrieb lösbaren Teilen wie Schlacke, Rost, Schweißrückständen und Strahlmaterial,
- Öl, Fett, Lösemitteln und Eindringmitteln der zerstörungsfreien Prüfung (ZfP),
- anderen Fremdstoffen und -partikeln wie Verpackungsmaterial, Rostschutzmitteln und Bearbeitungsspänen sowie anderen oxidierbaren Stoffen.

Auch eine Berührung mit ölhaltigen Putzlappen oder fettigen Fingern ist zu vermeiden. Die Lagerung soll entsprechend den Sauberkeitsanforderungen erfolgen. Mit Öl oder Fett verschmutzte Kleidung darf nicht getragen werden. Es wird empfohlen, bei der Montage sensibler, gereinigter Anlageteile weiße Bauwollhandschuhe sowie weiße Einmalanzüge zu tragen.

Bei Drücken über 30 bar(a) sollen max. 200 mg/m² Restfettgehalt vorliegen und bei Drücken ≤ 30 bar(a) soll ein max. Restfettgehalt von 500 mg/m² nicht überschritten werden. Für den Restfettgehalt von Kryo-Behältern werden als maximal annehmbare Verunreinigung 500 mg/m² angegeben (DIN EN ISO 23208:2020-11). Ähnliche Empfehlungen spricht die EIGA im Doc 33/18 aus. (127) (144) (148)

5.2.1 Reinigungsverfahren

Eine ausreichende Reinigung ist nach verschiedenen Verfahren möglich. Bei deren Auswahl sind die Größe, der Werkstoff und die Zugänglichkeit der Teile oder des Systems und der Zeitpunkt der Reinigung von Bedeutung. In der Regel ist es sinnvoll, die Reinigung vor der Montage durchzuführen. In diesem Fall ist während der Montage eine erneute Verunreinigung zu vermeiden, z. B. durch besonders sorgfältiges Arbeiten

und Abdecken. Ist das nicht möglich, z. B. beim Schweißen und Bohren, sind geeignete Verfahren wie Schutzgasschweißen bzw. geeignete Nachreinigungsmethoden z. B. Ausblasen mit ölfreier Luft oder Inertgas anzuwenden.

| Beispiele für Reinigungsverfahren | | |
|--|--|---|
| Verfahren | Anzuwenden für | Anmerkung |
| Tauchen, Durchspülen, Waschen | Öl und Fett an kleineren Teilen, in kleinen Räumen | siehe Abschnitt 5.2.2 „Reinigungsmittel“ |
| Strahlen | Alle Fremdstoffe auf Oberflächen einfacher Teile und auf geraden Rohrstücken | Mit Material aus Glas, Stahl, Schlacke ¹ |
| Beizen | Rost, Zunder auf Stahl | Beizmittel, Konzentration, Anwendungstemperatur und Neutralisation ist zwischen Hersteller und Anwender zu vereinbaren. Zusätzliche Gewichtsbelastung durch flüssige Beizmittel beachten. |
| Ausblasen (ölfreie Luft oder Inertgas) | Lose oder aus Systemen lösbare Fremtteile | Wirkungsvolle Art und Weise vorher festlegen. Gefährdungsunabhängig Augen- und/oder Gesichtsschutz verwenden. |
| Abwischen | Öl und Fett an gut zugänglichen glatten Oberflächen | Fusselfreies Wischtuch verwenden. Gegebenenfalls auf Explosionsschutz achten. |

Die anzuwendenden Reinigungsverfahren müssen auf die zu reinigenden Anlagenteile, z. B. deren Einsatzstelle, Art und Größe, und auf die Art der Verunreinigung abgestimmt werden. Bei geflochtenen Packungen besteht die Gefahr, dass Öle und Fette ins Innere eingeschleppt werden. Die Effektivität des Reinigungsverfahrens sollte durch eine quantitative Prüfung bestätigt werden (siehe Abschnitt 5.2.3).

5.2.2 Reinigungsmittel

Reinigungsmittel dürfen nur unter Beachtung der erforderlichen Schutzmaßnahmen verwendet werden. Bei Reinigungsmitteln kann zwischen wässrigen und organischen unterschieden werden.

Beispiele für organische Reinigungsmittel sind Aceton, Isopropanol oder Mischungen aus aliphatischen Kohlenwasserstoffen mit Alkoholen, Ethern oder Estern. Das Mittel sollte dabei einen möglichst hohen Dampfdruck haben, damit es auch wieder rückstandslos entfernt werden kann. Gegebenenfalls ist bei der Verwendung von organischen Reinigungsmitteln die Bildung von explosionsfähigen Gemischen zu berücksichtigen. Bei der Auswahl des Reinigungsmittels ist eine möglicherweise angreifende Wirkung auf Dichtwerkstoffe zu beachten. Wässrige Reinigungsmittel auf Tensidbasis sind geeignet, sofern sie sich leicht und schnell restlos entfernen lassen, da es sonst zu Korrosion kommen kann. Die Herstellerhinweise über eventuell notwendiges Spülen, Passivieren usw. sind zu beachten. (82) (86)

Die Reinigungswirkung lässt sich intensivieren durch die Anwendung erhöhter Temperatur, mechanischer Bewegung und/oder Ultraschall.

Bei gereinigten Bauteilen ist sicherzustellen, dass alle Verunreinigungen und Rückstände der Reinigungsmittel vor dem Einbau oder der Inbetriebnahme restlos entfernt werden. Rückstände können je nach Reinigungsmittel und Anwendungsfall entfernt werden, z. B. durch

¹ Als Strahlmedium keine Stahlkugeln oder -granulate verwenden, da diese mit dem Grundkörper verschweißen können.

- Ausblasen mit ölfreier Luft oder ölfreiem Inertgas,
- Spülen mit Wasser in Trinkwasserqualität bei Verwendung von wässrigen Reinigungsmitteln und anschließendem Trocknen,
- Trocknen und Verdunsten.

Die gereinigten Teile dürfen nicht mehr nach Reinigungsmitteln riechen.

Oberflächenbehandlungsanlagen, in denen man Gegenstände oder Materialien mit leichtflüchtigen Halogenkohlenwasserstoffen säubert, unterliegen außerdem der „Verordnung zur Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen halogenierten organischen Verbindungen“ (2. BImSchV), die spezielle Anforderungen stellt. Weiterhin können besondere Maßnahmen (z. B. Auffangwannen) zum Schutz der Gewässer notwendig sein. (52) (54)

Bei Reinigungsarbeiten mit Gefahrstoffen an Innenflächen und Einbauten von Räumen und Behältern ist die TRGS 507 „Oberflächenbehandlung in Räumen und Behältern“ zu beachten. Danach können u. a. besondere Lüftungs- und Explosionsschutzmaßnahmen erforderlich sein. Gegebenenfalls ist die DGUV Regel 109-010 „Einrichtungen zum Reinigen von Werkstücken mit Lösemitteln“ zu beachten. (18)(99)

Praxisbeispiele für die Reinigung zeigt das Video „Umgang mit Sauerstoff“ www.bgrci.de/gase-unter-druck/startseite/medien/videos. (137)

5.2.3 Prüfverfahren

Als **Prüfverfahren** nach der Reinigung sind vor allem zu empfehlen:

Im Betrieb (Werkstatt und vor-Ort):

- Sichtprüfung mit hellem, weißem Licht (Tages- oder Kunstlicht; > 500 lux) mit bloßem Auge: Fremdstoffe und -teilchen dürfen nicht mehr sichtbar sein.
- Sichtprüfung mit ultraviolettem Licht (Prüflampe: UV-A (315-400 nm), > 10 W/m²): Um bei der Prüfung mit UV-Licht verwertbare Ergebnisse zu erhalten, muss die Umgebung möglichst vollständig abgedunkelt sein (Umgebungs-helligkeit < 20 lux). Starkes Fluoreszieren darf nicht feststellbar sein. Achtung: Öle und Fette pflanzlicher, tierischer oder synthetischer Herkunft fluoreszieren nicht wie die Kohlenwasserstoffe mineralischer Herkunft. Auch bei Mineralölen ist die Fluoreszenz unterschiedlich.
- Wischprobe mit nichtfaserndem Tuch oder Papier: Nach kräftigem Wischen erfolgt die Prüfung am Tuch oder Papier nach einem der beiden erstgenannten Verfahren.
- Wasserbenetzungstest: Auf einer horizontalen Oberfläche wird destilliertes Wasser aufgesprüht. Bei öl- und fettfreier Oberfläche bildet sich für Sekunden ein ungebrochener Wasserfilm aus. Bei Gegenwart von Öl und Fett bilden sich schnell wasserfreie Inseln.

Im Labor:

- Lösemittelmethode: Anwendbar auch bei unzugänglichen Oberflächen für Öl und Fett. Besondere Festlegungen sind erforderlich. Angewandt werden bisher unbenutzte, geeignete Lösemittel in abgemessener Menge. Die zu reinigenden Teile werden in ein Bad eingetaucht oder bestimmte Oberflächen großer Teile werden mit dem Lösemittel gespült. Anschließend wird die gesamte Lösemittelmenge abgelassen und durch Eindampfen einer Probe die gelöste Öl- und Fettmenge festgestellt.

- Gaschromatographisch
- Automatische Messeinrichtung zur Kohlenstoffbestimmung auf Oberflächen nach dem Infrarotabsorptionsverfahren:
Ein Probestück oder Kleinteil des zu prüfenden Bauteils oder Materials wird in dem Gerät mit Sauerstoff als Trägergas auf 500 °C erhitzt. Der organisch gebundene Kohlenstoff (Öl, Fett und sonstige Verunreinigungen) wird hierbei zu Kohlendioxid umgewandelt.

Aus Literaturangaben sind folgende Schwankungsbreiten der Nachweisgrenzen für die Öl- und Fettrestgehalte für die einzelnen Prüfverfahren zu entnehmen: (131)

| Prüfverfahren | Nachweisgrenzen in mg/m ² |
|--|--------------------------------------|
| Helles, weißes Licht, Tages- oder Kunstlicht, > 500 lux | ca. 500–1700 |
| Ultraviolettes Licht, Prüflampe: UV-A (315–400 nm), > 10 W/m | ca. 40–1500 |
| Wischprobe | ca. 30–600 |
| Wasserbenetzungstest | ca. 30–60 |

Die erreichbaren Werte sind von der Art des Öles abhängig.

5.3 Dichtwerkstoffe und Gleitmittel

An sauerstoffführenden Anlagen und Anlagenteilen dürfen nur sicherheitstechnisch geeignete Dichtwerkstoffe und Gleitmittel verwendet werden. Daher ist vor allem bei Reparatur- und Montagearbeiten besonders auf gefährliche Verwechslungen zu achten.

Der Einsatz von metallischen Dichtwerkstoffen ist – wenn technisch möglich – nichtmetallischen Dichtwerkstoffen immer vorzuziehen. Die Anforderungen an metallische Dichtwerkstoffe werden im Anhang 1 „Werkstoffanforderungen für sauerstoffführende Anlagenteile sowie Dichtwerkstoffe von Anlagen und Anlagenteilen“, Spalte 2, beschrieben.

Nichtmetallische Dichtwerkstoffe, die in Sauerstoff brennbare Bestandteile enthalten, dürfen nach Anhang 1, Spalte 3 und 4, nur dann verwendet werden, wenn deren Prüfung durch ein fachlich anerkanntes Prüfinstitut ergeben hat, dass sie auf Grund ihrer Eigenschaften für die Verwendung bei dem vorliegenden Betriebsdruck, der Betriebstemperatur, dem Aggregatzustand und der Einbauweise sicherheitstechnisch geeignet sind.

Auf die Verwendung von Gleitmitteln sollte in sauerstoffführenden Anlagen und Anlagenteilen möglichst verzichtet werden. Falls dies technisch nicht möglich ist, dürfen ebenfalls nur geprüfte und für die Betriebsbedingungen (d. h. flüssiger oder gasförmiger Sauerstoff) sicherheitstechnisch geeignete Gleitmittel verwendet werden. Grundsätzlich sind Gleitmittel, die brennbare Treib- oder Lösemittel in Spraydosen oder Behältnissen enthalten, sicherheitstechnisch nicht geeignet.

Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) führt beispielsweise sicherheitstechnische Prüfungen an Dichtwerkstoffen und Gleitmitteln durch und veröffentlicht geeignete Materialien in der „Liste der nichtmetallischen Materialien, die von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung zum Einsatz in Anlagenteilen für Sauerstoff als geeignet befunden worden sind“. Diese Liste in der (DGUV Information 213-075) „Liste der nichtmetallischen Materialien/List of nonmetallic materials“ (Merkblatt M 034-1 der BG RCI) wird von der BAM jährlich aktualisiert. (158) (85)

5.4 Kohlenwasserstoffe und andere Verunreinigungen in flüssigem Sauerstoff

Bei der Tieftemperatur-Luftzerlegung reichern sich im flüssigen Sauerstoff Kohlenwasserstoffe und andere Verunreinigungen an, die mit der zu verarbeitenden Luft die Mitteldruck- („Drucksäule“) bzw. Niederdruckkolonne („Obere Säule“) erreichen. Gefährlichster Kohlenwasserstoff ist dabei Acetylen, das im flüssigen Sauerstoff auskristallisieren kann und dann zur Explosion neigt. Eine gefährliche Anreicherung von Kohlenwasserstoffen und anderen Verunreinigungen ist in den Kondensatoren am wahrscheinlichsten und lässt sich in Luftzerlegungsanlagen am wirksamsten durch die Verwendung von Adsorbentien (Molekularsieb, Kieselsäuregel bei tiefen Temperaturen) zur Vorreinigung der gasförmigen Luft sowie durch geeignete Betriebsweise (z. B. regelmäßiges Abschlämmen) vermeiden.

Detaillierte Hinweise zum sicheren Betrieb von Kondensatoren in Luftzerlegungsanlagen gibt IGC Doc 65/13/E „Safe operation of reboilers/condensers in air separation units“. (149)

5.5 Anforderungen an Anlagenteile für den Sauerstoffbetrieb

5.5.1 Allgemeines

Praktisch alle nicht vollständig oxidierten Stoffe sind in Sauerstoff, vor allem in verdichtetem Sauerstoff, brennbar. Die Gefahr eines Brandes in einem Sauerstoffsystem steigt mit steigendem Druck, Temperatur und Strömungsgeschwindigkeit. Sämtliche Anlagenteile müssen so beschaffen sein, dass nachweislich für die vorgesehenen Betriebsbedingungen ein Brand ausgeschlossen ist. Der Hersteller muss die sicherheitstechnische Eignung bezüglich der Betriebsbedingungen nachweisen.

Vereisungen an tiefkalten Armaturen, Leitungen, Behältern und Apparaturen dürfen wegen einer möglichen Anreicherung von Sauerstoff im Eispanzer nur mit warmer Luft (**keine elektrischen Heißluftgeräte verwenden → Zündquelle!**), heißem Wasser oder Dampf aufgetaut werden. Luft, Wasser und Dampf müssen ölfrei sein. Offenes Feuer oder glühende Gegenstände dürfen nicht verwendet werden.

Leitungen zum Abblasen und Entspannen von Sauerstoff sind so anzuordnen, dass keine Personen durch austretenden Sauerstoff gefährdet werden (siehe auch EIGA Doc 154/16 „Safe location of oxygen and inert gas vents“). Beim Entspannen ist mit austretenden Funken zu rechnen. (152)

5.5.2 Armaturen und Sicherheitseinrichtungen

Wesentliche Faktoren, die für die Sicherheit wichtig sind:

- Werkstoffe für Gehäuse, Spindel usw.
- Konstruktion und Ausführung
- Art und Anordnung der Dichtwerkstoffe
- Reibung und Belastung im Betrieb

Anhang 1 führt geeignete Werkstoffe für Gehäuse und Einbauteile von Armaturen und deren Dichtwerkstoffe auf.

Um Personenschäden sicher zu vermeiden, wird empfohlen, Armaturen (Schnellschlussarmaturen, Bypass-Armaturen, sonstige Regelarmaturen sowie häufig betätigte Handarmaturen) und Sicherheitseinrichtungen durch eine feste, nicht brennbare Einrichtung abzuschirmen bzw. einzuhausen – siehe dazu auch Abschnitt 5.10 und Anhang 3. Oder diese Einrichtungen so anzuordnen und zu bemessen, dass Personen sicher vor Verletzungen geschützt sind. Die Forderung hinsichtlich der Anordnung ist erfüllt, wenn Armaturen außerhalb des Arbeits- und Verkehrsbereiches montiert und fernbedienbar eingerichtet sind und der Zugang im Betrieb in einem Umkreis von 15 m beschränkt wird.

Für Armaturen, Sicherheitseinrichtungen und anschließende Rohrleitungen, deren Materialien gemäß EIGA 13/20 Appendix B ausgewählt oder erfolgreich nach ASTM G 124 getestet wurden (sogenannte „exempt materials“), ist keine Einhausung oder Abschirmung nötig.

Werden Armaturen mit Nennweiten größer als DN 200 und Betriebsdrücken von mehr als 16 bar in Rohrleitungen aus unlegiertem Stahl verwendet, sind Einrichtungen vorzusehen, durch die vor dem Öffnen der Armatur der Druck beiderseits der Armatur so ausgeglichen wird, dass beim Öffnen der Armatur keine Personen gefährdet sind. Dies gilt nicht für Sicherheitsventile. Einrichtungen zum Druckausgleich sind z. B. Umgehungsleitungen um die Armatur, wobei der Durchmesser der Umgehungsleitung ein Viertel des Durchmessers der Hauptleitung nicht überschreiten soll. Als sicherheitstechnisch unbedenkliches Druckverhältnis gelten erfahrungsgemäß im Druckbereich bis 40 bar Werte zwischen 1,0 und 1,10.

Für Sauerstoff dürfen nur **Druckmessgeräte** (Manometer) mit einer Aufschrift wie „Sauerstoff! Öl- und fettfrei“ verwendet werden.

Bei der Verwendung von Gasflaschenventilen in sauerstoffführenden Anlagen ist zu beachten, dass je nach Bauart und Funktion (z. B. Gasflaschenventil mit integriertem Druckminderer) die Ausbrennsicherheit bei Einwirkung von Sauerstoffdruckstößen von verschiedenen Anschlussseiten gewährleistet sein muss. Bei einfachen Gasflaschenventilen ist dies im Regelfall nur die Ventilausgangsseite. Werden Schnelladapter verwendet, dann müssen diese gemäß Herstellerangabe regelmäßig gereinigt und gewartet werden.

Absperrbare Behälter, Leitungen, Leitungsabschnitte und sonstige Anlagenteile für flüssigen Sauerstoff müssen mit einer ausreichend bemessenen Sicherheitseinrichtung gegen Drucküberschreitung ausgerüstet sein. Diese Empfehlung ist erfüllt durch Einbau eines Sicherheitsventils, das den anfallenden Massenstrom ohne unzulässige Drucküberschreitung abführen kann.

5.5.3 Schläuche

Schläuche zum Fortleiten von Sauerstoff müssen einschließlich ihrer Einbindungen nach Bauart und Werkstoff für die betrieblichen Beanspruchungen geeignet sein.

Anlagenteile zum Fortleiten von gasförmigem Sauerstoff dürfen nur insoweit aus Schläuchen mit organischen Bestandteilen bestehen, als Rohrleitungen für den vorgesehenen Betriebszweck nicht einsetzbar sind oder wenn es sich um vorübergehende Einrichtungen, z. B. während der Bauzeit, handelt.

Schläuche mit organischen Bestandteilen dürfen nur zum Fortleiten von gasförmigem Sauerstoff vorgesehen sein.

Schläuche mit organischen Bestandteilen sind bis 30 bar dann beispielsweise geeignet, wenn sie z. B. DIN 8541-3:2022-02 „Schläuche für Schweißen, Schneiden und verwandte Verfahren; Sauerstoffschläuche mit und ohne Ummantelung für besondere Anforderungen; Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung“ entsprechen. Als metallische Werkstoffe für Schläuche sind z. B. geeignet Kupferlegierungen mit einem Masseanteil an Kupfer von mindestens 55 % und austenitische nichtrostende Cr-Ni-Stähle mit einem Masseanteil an Chrom und Nickel von zusammen mindestens 22 %. (119)

Schläuche müssen gegen Beschädigungen durch mechanische, thermische oder chemische Einwirkungen geschützt sein. Schlauchleitungen sind so zu sichern, dass sie bei Druckaufgabe nicht unkontrolliert durch die Gegend schlagen und bei Bewegung abreißen können.

Informationen zum Einsatz von Schläuchen bietet auch die DGUV Information 213-053 (Merkblatt T 002 „Schlauchleitungen“). (91)

5.5.4 Brennbare Bauteile, Werk-, Hilfs- und Dämmstoffe

Anlagenteile für gasförmigen Sauerstoff mit Betriebsüberdrücken von mehr als 1 bar oder für flüssigen Sauerstoff müssen auf der mit Sauerstoff beaufschlagten Seite frei von brennbaren Bauteilen sein, soweit nicht brennbare Bestandteile nach anderen Bestimmungen dieser Empfehlung vorgeschlagen werden. Brennbare Bauteile können Siebe, Messeinrichtungen, Filter, Abstützungen in Behältern sein. Als brennbare Bauteile sind auch brennbare Innenanstriche anzusehen.

Zur **Wärme- und Schalldämmung** dürfen nur Stoffe verwendet werden, die mit Sauerstoff nicht in gefährlicher Weise reagieren, z. B. Schlackenwolle, Glaswolle oder geblähte Lava (Perlite). Die Ungefährlichkeit eines Dämmstoffes, z. B. Schlackenwolle, Steinwolle, Glaswolle, Perlite, ist gewährleistet, wenn der Masseanteil an organischen Stoffen, z. B. Schmalzmittel, bezogen auf die Gesamtmasse der Dämmstoffe, im Durchschnitt nicht größer als 0,5 % ist. Im AGI-Arbeitsblatt Q118 „Dämmarbeiten an Luftzerlegungsanlagen“, Abschnitt 2.4 „Zusammensetzung von Isolier- und Dämmstoffen“ sind die dazu erforderlichen technischen Anforderungen beschrieben. (133)

Bei Verwendung künstlicher Mineralfasern (KMF) sind bevorzugt Produkte, die mit dem RAL Gütezeichen gekennzeichnet sind, zu verwenden (Kanzerogenitätsindex > 40). Für Instandhaltung oder Rückbauarbeiten siehe auch TRGS 521 „Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten mit alter Mineralwolle“. (20)

Zum **äußeren Korrosionsschutz** von Behältern und Leitungen für gasförmigen Sauerstoff dürfen die üblichen Farbanstriche verwendet werden, bei unterirdisch verlegten Leitungen auch Bitumenbinden.

Zum **inneren Korrosionsschutz**, falls überhaupt erforderlich, von Behältern und Leitungen für gasförmigen Sauerstoff mit einem Betriebsüberdruck von mehr als 1 bar sind Anstrichstoffe mit organischen Bestandteilen wegen der Brandgefahr nicht geeignet.

5.5.5 Sauerstoff-Verdichter

Besondere Schutzmaßnahmen müssen durchgeführt werden (siehe auch Abschnitt 5.10.2 und Anhang 2) für

- Turboverdichter und Turbogebälse mit Betriebsüberdrücken von mehr als 1 bar
- Trockenlauf-Hubkolbenverdichter.

Zur Überwachung von Sauerstoff-Kolbenverdichtern auf Ölleckagen an den Kolbenstangen wurden von Herstellern und Betreibern Vorrichtungen entwickelt, die das Betreten des abgeschirmten Bereiches um den Kolbenverdichter nicht mehr erforderlich machen.

5.5.6 Pumpen für flüssigen Sauerstoff

In den Saug- und Druckleitungen der Pumpen müssen die Absperrleinrichtungen so angeordnet sein, dass sie gefahrlos betätigt werden können. Diese Forderung ist erfüllt, wenn für die Druckleitungen selbsttätige Rückströmsicherungen und für die Saugleitungen fernbedienbare Schnellschlussventile verwendet werden oder die Absperrleinrichtungen so angeordnet werden, dass ihr Betätigen auch bei einem Pumpenschaden gefahrlos möglich ist.

In den Saugleitungen müssen Einrichtungen vorhanden sein, die den Eintritt von gefahrbringenden Fremdkörpern in die Pumpen verhindern.

Pumpen für flüssigen Sauerstoff (siehe auch DIN EN ISO 24490:2016-08 „Kryo-Behälter – Pumpen für den Kryo-Betrieb) müssen so beschaffen sein, dass mit einem Ausbrennen nicht zu rechnen ist oder so aufgestellt sein, dass bei einem Ausbrennen Personen nicht gefährdet werden. (128)

Detaillierte Informationen zur Materialauswahl, Konstruktion und Aufstellung bieten die EIGA-Dokumente Doc 148/19 „Stationary, electric-motor-driven, centrifugal liquid oxygen pumps“ und Doc 159/21 „Reciprocating cryogenic pumps and pump installations for oxygen, argon and nitrogen“; Informationen zu nicht-metallischen Materialien enthält die (DGUV Information 213-075) „Liste der nichtmetallischen Materialien/List of nonmetallic materials“ (Merkblatt M 034-1 der BG RCI). (151) (153) (85)

5.5.7 Rohrleitungen

Rohrleitungen einschließlich ihrer Ausrüstungen und Verbindungen müssen nach Bauart und Werkstoff für Sauerstoff sowie die vorgesehenen Drücke und Temperaturen geeignet sein. Hinweise zur Auswahl gibt das EIGA-Dokument Doc 13/20 „Oxygen pipeline and piping systems“. (146)

In Abhängigkeit vom Druck muss die Strömungsgeschwindigkeit wegen möglicher mitgerissener Partikel (auf Grund von Verunreinigungen) limitiert werden. Eine Strömungsgeschwindigkeitsbegrenzung (druckabhängig) wird für neue Anlagen im EIGA-Dokument Doc 13/20 empfohlen. (146)

Viele bestehende Anlagen wurden auf Basis von Versuchen der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) ausgelegt. Diese ergaben für Schwarzstahl (CS) als unbedenkliche Strömungsgeschwindigkeit bei stationärer Strömung:

- für Betriebsüberdrücke von mehr als 1 bar, aber nicht mehr als 40 bar: 25 m/s;
- für Betriebsüberdrücke von mehr als 40 bar: 8 m/s.

Für die Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit wurde die größte Durchsatzmenge beim niedrigsten Betriebsüberdruck angesetzt. (135)

Bei Rohrleitungen, in denen Rost oder andere Fremdpartikel mitgerissen werden können, muss sichergestellt sein, dass nachfolgende Anlagenteile nicht gefährdet sind. Diese Forderung ist erfüllt durch den Einbau von Abscheidern und Filtern mit Druckverlust-Differenzanzeige. Im Kapitel 5.4 des EIGA-Dokuments Doc 13/20 sind Aussagen zu Filtern, Filtermaterialien und Filterrisiken zu finden. (146)

Folgende Anforderungen sind beim Verlegen von Rohrleitungen zu berücksichtigen:

- Schutz vor gefährlicher Beanspruchung durch Erschütterung, Verlagerung, Verspannung oder Erwärmung,
- Absperrbarkeit von ungefährdeter Stelle aus, wenn Rohrleitungen in Gebäude führen,
- Technisch dichte Ausführung von Wanddurchführungen erdverlegter oder in Kanälen verlegter Rohrleitungen,
- Schutz gegen äußere Korrosion,
- Verlegung zusammen in Kanälen mit Rohrleitungen für entzündbare Gase nur dann, wenn die Dichtheit der Rohrleitungen sichergestellt ist (technisch dicht auf Dauer).

Rohrleitungen für feuchten Sauerstoff, in denen Kondensat anfällt, müssen gefahrlos entwässert werden können.

Senkrecht auftretendes gasförmiges Sauerstoff auf Rohrwandungen soll vermieden werden. Diese Forderung ist erfüllt, wenn Richtungsänderungen in Leitungen und Verzweigungen nicht in scharfen Knicken, sondern nur in Krümmungen verlaufen. Weitere Hinweise zu Krümmungsradien und zulässigen Geschwindigkeiten siehe EIGA-Dokument Doc 13/20. (146)

Rohrleitungen aus nichtkaltzählen Werkstoffen müssen, wenn sie aus Anlagen für flüssigen Sauerstoff gespeist werden, durch eine Einrichtung so geschützt sein, dass keine gefährliche Abkühlung der Rohrleitungen eintreten kann. Eine solche Einrichtung ist z. B. eine temperaturgesteuerte selbsttätige Armatur, die bei Ausfall der Wärmezufuhr zum Vergaser die Förderung des Gasstromes unterbricht. Mehr zu dieser Thematik kann dem EIGA Dokument Doc 133/22 „Cryogenic vaporisation systems, prevention of brittle fracture of equipment and piping“ entnommen werden. (150)

Erdverlegte Rohrleitungen müssen zu erdgedeckten, elektrischen Kabeln einen ausreichenden Sicherheitsabstand haben. Ein ausreichender Sicherheitsabstand liegt vor, wenn dieser zwischen Rohrleitungen und elektrischen Kabeln mindestens 30 cm beträgt oder sich zwischen Rohrleitungen und Kabeln Bauteile aus nichtleitenden, nichtbrennbaren Baustoffen befinden, z. B. Außenwand eines Kabelkanals.

5.6 Laboratorien

Arbeiten, bei denen in der Raumluft erhöhte Sauerstoff-Konzentrationen auftreten können, müssen in Abzügen ausgeführt werden.

Außerhalb der Abzüge dürfen solche Arbeiten nur ausgeführt werden, wenn durch geeignete Maßnahmen sichergestellt ist, dass Beschäftigte nicht gefährdet werden.

Das ist z. B. möglich durch Verwendung von

- geschlossenen Apparaturen oder
- wirksamen örtlichen Absaugungen.

Für Laborarbeiten ist die Schrift „Sicheres Arbeiten in Laboratorien“ (DGUV Information 213-850) heranzuziehen. (66)

5.7 Lüftung

Räume, in denen Sauerstoff betriebsmäßig austreten kann, müssen so belüftet sein, dass eine Anreicherung der Luft mit Sauerstoff nicht möglich ist. Gegebenenfalls kann eine Überwachung mit einem Gaswarngerät notwendig sein. Reicht natürliche Lüftung nicht aus, so ist eine technische Lüftung erforderlich. Hinweise sind in der Arbeitsstättenverordnung, in der Arbeitsstättenrichtlinie ASR A3.6 „Lüftung“ und in der DGUV Regel 109-002 „Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen“ zu finden. (6) (10) (99)

5.8 Arbeitsbereiche

In Bereichen, in denen flüssiger Sauerstoff austreten kann, darf der Boden nur aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen. Ungeeignet sind daher z. B. Böden aus Asphalt (Bitumen) oder Holz. Dies gilt auch für Bereiche im Freien.

Räume, in denen Sauerstoff gewonnen, verdichtet oder flüssiger Sauerstoff verdampft wird, müssen Decken, Wände und Fußböden aus nichtbrennbaren Baustoffen aufweisen. (116)

In Räumen, in denen flüssiger Sauerstoff austreten kann, soll um mögliche Austrittsstellen für den Schutz von Personen ein ausreichend bemessener Bereich vorhanden sein. Dies wird z. B. erreicht, wenn der Schutzbereich einen Umkreis von 5 m um mögliche Austrittsstellen umfasst.

Bauliche Einrichtungen im Schutzbereich sollen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen. Außerdem dürfen hier weder brennbare Stoffe gelagert werden, noch selbstentzündliche Stoffe vorhanden sein. Zusätzlich dürfen sich im Schutzbereich keine Öffnungen zu tiefer liegenden Räumen, keine Kanaleinläufe ohne Flüssigkeitsverschluss und keine brennbaren Stoffe befinden.

Räume, in denen Sauerstoff gewonnen, verdichtet oder flüssiger Sauerstoff verdampft wird, sollen von daneben-, darüber- und darunter liegenden Räumen, die brand- oder explosionsgefährdet sind, soweit gasdicht abgetrennt sein, dass in diesen brand- oder explosionsgefährdeten Räumen mit keiner Sauerstoffanreicherung zu rechnen ist.

Ausgänge von Räumen, in denen Sauerstoff gewonnen, verdichtet oder flüssiger Sauerstoff verdampft wird, müssen so angeordnet sein, dass die Räume bei Gefahr schnell verlassen werden können.

5.9 Lagern, Vorhalten, Aufbewahren

Neben den im Abschnitt 5.8 formulierten Anforderungen sind bei der Lagerung, Vorhaltung und Aufbewahrung die im Folgenden aufgeführten Punkte zu beachten.

Bei der Lagerung in ortsbeweglichen Druckgasbehältern ist die TRGS 510 „Lagerung von Gefahrstoffen in ortsbeweglichen Behältern“ zu berücksichtigen. (19)

Bei der Bereithaltung ist die TRBS 3145/TRGS 745 „Ortsbewegliche Druckgasbehälter – Füllen, Bereithalten, innerbetriebliche Beförderung, Entleeren“ zu berücksichtigen. (45)

Die TRBS 3146/TRGS 746 „Ortsfeste Druckanlagen für Gase“ regelt die Lagerung von Gasen in ortsfesten Behältern, einschließlich Ausrüstung und Aufstellung. (46)

Es wird empfohlen, grundsätzlich eine oberirdische Lagerung von flüssigem Sauerstoff vorzunehmen. Ist das in besonderen Fällen nicht möglich, müssen folgende Maßnahmen berücksichtigt werden:

- Beachtung des Abschnitts 6.8 „Arbeiten in Behältern und engen Räumen“.
- Abblase- und Entspannungsleitungen von Sauerstoff müssen so angeordnet sein, dass keine Personen durch austretenden Sauerstoff gefährdet werden. Dies bedeutet auch, dass Sauerstoff nicht in einem unter Erdgleiche befindlichen Lagerraum entspannt werden darf.
- Be- und Entlüftungsmaßnahmen müssen garantieren, dass keine mit Sauerstoff angereicherte Atmosphäre entstehen kann. Hierbei ist zu bedenken, dass sich Sauerstoff in Bodennähe aufkonzentriert.

Ohne Einschränkung darf Sauerstoff nach TRGS 510 in Mengen ab 200 kg nur mit nichtbrennbaren Stoffen (LGK 12 & 13), Druckgasbehältern mit inerten Gasen (im Freien mit allen Gasen) und nichtbrennbaren ätzenden Gefahrstoffen (LGK 8B) zusammengelagert werden. Für die Zusammenlagerung mit nicht inerten Gasen, brennbaren ätzenden Gefahrstoffen (LGK 8A) und brennbaren Stoffen (LGK 11) sind in der TRGS 510 Grenzen und Bedingungen formuliert. (19)

Druckgasbehälter müssen gegen Umfallen oder Herabfallen gesichert werden. Die Ventile sind mit einer geeigneten Schutzeinrichtung zu schützen, z. B. mit einer Schutzkappe oder einem Schutzkorb/-kragen. Eine besondere Sicherung gegen Um- oder Herabfallen ist nicht erforderlich, wenn z. B. durch die Bauart der Druckgasbehälter, durch die Aufstellung in größeren Gruppen oder die Art der Lagerung ein ausreichender Schutz erreicht wird.

Im Lager dürfen Gase nicht umgefüllt werden. Desgleichen dürfen keine Instandsetzungsarbeiten von Druckgasbehältern durchgeführt werden. Hierfür sind spezielle Räume bereit zu stellen.

Bauliche Anforderungen bei der Lagerung ortsbeweglicher Behälter: (19)
Bei der Lagerung in Lagerräumen

1. müssen die Lagerräume von angrenzenden Räumen durch feuerhemmende Bauteile (Feuerwiderstandsdauer mindestens 30 Minuten) getrennt sein,
2. müssen Bauteile feuerbeständig (Feuerwiderstandsdauer mindestens 90 Minuten) sein, wenn in angrenzenden Räumen, die nicht dem Lagern von Gasen dienen, Brand- oder Explosionsgefahr besteht,
3. müssen die Außenwände von Lagerräumen mindestens feuerhemmend (Feuerwiderstandsdauer mindestens 30 Minuten) sein; beträgt der Abstand zu benachbarten Anlagen und Einrichtungen, von denen eine Gefährdung ausgehen kann, mindestens 5 m, kann die Außenwand aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen,
4. muss die Dacheindeckung ausreichend widerstandsfähig gegen Flugfeuer und strahlende Wärme sein,
5. müssen Fußbodenbeläge in Lagerräumen für ortsbewegliche Druckgasbehälter aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen.

Lager im Freien müssen zu benachbarten Anlagen und Einrichtungen, von denen eine Brandgefährdung ausgehen kann, einen Abstand von mindestens 5 m um die Druckgasbehälter einhalten. Er kann durch eine mindestens 2 m hohe und ausreichend breite Schutzwand aus nichtbrennbaren Baustoffen ersetzt werden.

Druckgasbehälter dürfen in Arbeitsräumen nur in geeigneten Sicherheitsschränken mit einer Feuerwiderstandsdauer von mindestens 30 Minuten gelagert werden. Geeignet sind insbesondere Sicherheitsschränke, die die Anforderungen nach DIN EN 14470-2:2006-11 erfüllen. (122)

Zur Vermeidung einer gefährlichen Ansammlung oder Ausbreitung von Gasen dürfen sich (auch im Freien) keine Gruben, Kanäle oder Abflüsse zu Kanälen ohne Flüssigkeitsverschluss sowie keine Kellerzugänge oder sonstige offene Verbindungen zu Kellerräumen im Lager, oder Öffnungen in Wänden und Decken zu anderen Räumen befinden. Ferner dürfen sich dort auch keine Reinigungs- oder andere Öffnungen von Schornsteinen befinden.

Räume, in denen Druckgasbehälter gelagert werden, müssen ausreichend be- und entlüftet werden. Eine natürliche Lüftung ist ausreichend, wenn unmittelbar ins Freie führende Lüftungsöffnungen (unmittelbar am Lagerbereich) mit einem Gesamtquerschnitt von mindestens 1/100 der Bodenfläche des Lagerraumes vorhanden sind. Bei der Anordnung der Lüftungsöffnungen muss die Dichte der Gase berücksichtigt werden (im Falle von Sauerstoff also unten). Ist eine ausreichende natürliche Lüftung nicht sicherzustellen, ist eine technische Lüftung mit einem zweifachen Luftwechsel in der Stunde vorzusehen. Dieser muss entweder ständig wirksam sein oder durch eine Gaswarneinrichtung automatisch eingeschaltet werden, wenn ein festgelegter Grenzwert überschritten wird.

Weitere Informationen bieten die DGUV Informationen 213-084 „Lagerung von Gefahrstoffen“ (Merkblatt M 062 der BG RCI) und 213-085 „Lagerung von Gefahrstoffen – Antworten auf häufig gestellte Fragen“ (Merkblatt M 063 der BG RCI). (89) (90)

5.10 Abschirmungen

Ein Ausbrand an einer sauerstoffführenden Einrichtung bringt aufgrund der Heftigkeit (weggeschleuderte Teile) des sauerstoffreichen Brandes hohen Sachschaden mit sich. Um darüber hinaus Personenschaden zu verhindern und den Sachschaden zu begrenzen, können geeignete Abschirmungen installiert werden. Soweit Abschirmungen erforderlich sind, darf der abgeschirmte Bereich während des Sauerstoffbetriebes nicht betreten werden. Innerhalb von Abschirmungen sollen weder brennbare Stoffe gelagert werden, noch selbstentzündliche Stoffe vorhanden sein.

5.10.1 Abschirmung von Füllständen

Um an Füllständen zu verhindern, dass Ventilausbrände darüber hinausgehenden Schaden, insbesondere Personenschaden, anrichten, können (mindestens) auf Höhe der Flaschenventile herabsenkbare Schutzkörbe aus feuerbeständigem Material verwendet werden. Auch für Bündelfüllstände werden entsprechende Abschirmungen empfohlen.

Bewährt haben sich transparente Scheiben aus Polycarbonat mit Brandschutzklassifizierung.

Abbildung 1: Abschirmung eines Füllstandes (links offen, rechts geschlossen)



5.10.2 Abschirmung von Verdichtern

Zum Schutz bei Bränden sind Verdichter, wie Turboverdichter, Turbogebläse und Trockenlauf-Hubkolbenverdichter, mit ausreichend bemessenen Abschirmungen zu betreiben. Dies wird hinsichtlich Bemessung der Abschirmung z. B. erreicht, wenn keine Sichtverbindung zwischen den Teilen von Verdichtern, von denen ein Brand ausgehen kann, und Personen besteht. Dies erfordert in der Regel eine Abschirmung in folgendem Umfang:

- Allgemein reicht die Abschirmung so hoch, wie sich die betreffenden Maschinenteile über dem begangenen Niveau befinden, mindestens aber 2,0 m. Eine mögliche Gefährdung von Personen auf Laufstegen oberhalb des begangenen Niveaus und in Kranführerkabinen ist besonders zu berücksichtigen.
- Bei Trockenlauf-Hubkolbenverdichtern umfasst die Abschirmung die Zylinder einschließlich der Laternenräume zumindest ab Oberkante des Triebwerksgehäuses.
- Am Verdichter angeschlossene sauerstoffführende Bauteile werden in die Abschirmung bis einschließlich der ersten Umlenkung vor und nach dem Verdichtergehäuse einbezogen. Als Umlenkung gilt eine Strömungsrichtungsänderung von mehr als 30 Grad bei einem Krümmungsradius von weniger als 5 D (D = Außendurchmesser). Kühler und Pulsationsdämpfer nach der ersten Umlenkung gelten nicht als Brandherde und müssen deshalb nicht in die Abschirmung einbezogen werden.

Da bei einem Ausbrand der Verdichter Teile weggeschleudert werden können, ist dies bei der Ausführung der Abschirmung bzw. deren Bauart besonders zu berücksichtigen. Dies wird z. B. erreicht, wenn

- diese aus Beton, Mauerwerk, doppelten Stahlblechen mit Glas-, Steinwolle- oder Brandplatteneinlage, fest verkleideten Stahlblechen oder nichtbrennbaren Platten mit äußerer Stahlarmierung bestehen,
- der durch die Abschirmung gebildete Raum ausreichend gelüftet ist,
- vorhandene Türen verschließbar sind
und
- der durch die Abschirmung gebildete Raum bei vollständiger Umschließung Druckentlastung in ungefährlicher Richtung besitzt.

Verdichter sind so zu betreiben, dass ein Betreten des Bereiches zwischen Verdichter und Abschirmung während des Betriebes der Verdichter mit Sauerstoff nicht erforderlich ist.

Idealerweise werden eigensichere Materialien – durch Fachleute geplant und umgesetzt – verwendet. Dies wird als sicherer angesehen als Barrieren und Abschirmungen.

Beispiele für Abschirmungen von Verdichtern zeigt Anhang 3.

5.11 Sauerstoff im Gemisch mit anderen Stoffen

Beim Zumischen von Sauerstoff zu anderen Stoffen ist sicherzustellen, dass Sauerstoff nicht in die Leitungen gelangen kann, durch welche die anderen Stoffe der Mischstrecke zugeführt werden und die anderen Stoffe nicht in die zur Mischstrecke führende Sauerstoffleitung eindringen. Dies wird z. B. erreicht, wenn

- bei unterbrochener Sauerstoffzufuhr die Absperrereinrichtung schließt und gleichzeitig eine Zwischenentlüftung öffnet,
- bei Hochöfen Sauerstoff nur oberhalb einer Mindest-Windmenge zugegeben wird,
- bei Versagen des Steuer- oder Regelsystems die Sauerstoffzufuhr automatisch unterbrochen wird,
- die Sauerstoffanreicherung durch zwei voneinander unabhängige Messsysteme (Mengenverhältnis und Analyse) überwacht wird.

Weitere Informationen finden sich in der TRGS 407 im Kapitel 3.2.8 „Besondere Gefährdung beim Mischen von Gasen“. (15)

In Punkt 1.2.7 „Anlagen zur Herstellung und Verwendung von Wasserstoff“ – insbesondere Punkt 1.2.7.1 „Elektrolyse“ – der Anlage 4 „Beispielsammlung“ der DGUV Regel 113-001 „Explosionsschutz-Regeln (EX-RL)“ werden prozessschritt- und anlagentypabhängige Explosionsschutzmaßnahmen genannt.(106) (26) (27)

6 Organisatorische Schutzmaßnahmen

6.1 Allgemeines

Organisatorische Schutzmaßnahmen dienen als Ergänzung. Technische Schutzmaßnahmen, insbesondere das Erreichen der Eigensicherheit, sind organisatorischen Maßnahmen vorzuziehen.

6.2 Betriebsanweisung

Auf Basis des Ergebnisses der Gefährdungsbeurteilung werden Betriebsanweisungen erstellt. Sie enthalten genaue Angaben über die im Einzelfall für Mensch und Umwelt möglichen Gefährdungen sowie die zu deren Abwehr erforderlichen Schutzmaßnahmen und Verhaltensregeln. (11) (22)

Auf das Verhalten im Gefahrenfall und Erste-Hilfe-Maßnahmen ist einzugehen. Die Betriebsanweisung ist in verständlicher Form abzufassen und an geeigneter Stelle in der Arbeitsstätte bekannt zu machen. Die Betriebsanweisung muss jederzeit von den Beschäftigten eingesehen werden können.

Weitere Hinweise zur Gestaltung von Betriebsanweisungen gibt die DGUV Information 213-051 „Betriebsanweisungen für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen“ (Merkblatt A 010 der BG RCI). (69)

6.3 Unterweisung

Die Beschäftigten müssen auf mögliche Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Sauerstoff aufmerksam gemacht und über die zutreffenden Schutzmaßnahmen eingehend unterrichtet werden. Als Basis dazu dienen das Ergebnis der Gefährdungsbeurteilung und die Betriebsanweisungen. Die Unterweisungen müssen vor der spezifischen Tätigkeit und danach mindestens einmal jährlich mündlich und arbeitsplatzbezogen erfolgen (Jugendliche zweimal jährlich). Inhalt und Zeitpunkt der Unterweisung sind schriftlich festzuhalten und von den Unterwiesenen durch Unterschrift zu bestätigen. Der Nachweis der Unterweisung ist zwei Jahre aufzubewahren. (11) (22) (48)

Es kann nützlich sein, die Unterweisung durch praktische Vorführung einzelner Maßnahmen vor Ort und durch Einüben seitens der Beschäftigten unter sachkundiger Anleitung zu ergänzen, z. B. Flaschenwechsel, Bedienung von Druckminderern. Weiterhin ist eine eingehende Arbeits- und Sicherheitsabsprache vor Ort obligatorisch. Wesentlich ist auch eine Erfolgskontrolle, z. B. durch Beantworten eines arbeitsplatzbezogenen Fragebogens. (87) (143)

Die BG RCI bietet zur Unterstützung bei der Unterweisung unter anderem: (76)

- Sicherheitskurzgespräche (SKG), z. B. (97)
 - Sicherheitskurzgespräche 004–006 zum Umgang mit Druckgasflaschen
 - Sicherheitskurzgespräch 007 „Verwendung von Sauerstoff“
 - Sicherheitskurzgespräch 008 „Erstickungsgefahr durch Gase“

- Informationsportal „Gase unter Druck“ unter gase.bgrci.de mit Filmen und den Links zu E-Learning-Modulen zum Thema Sauerstoff (137) (138)
- kurz & bündig-Schrift KB 016 „Sauerstoff – Eigenschaften, Gefährdungen und sicherer Umgang“ als Hand-out bei der Unterweisung. (79)

6.4 Flucht- und Rettungsplan

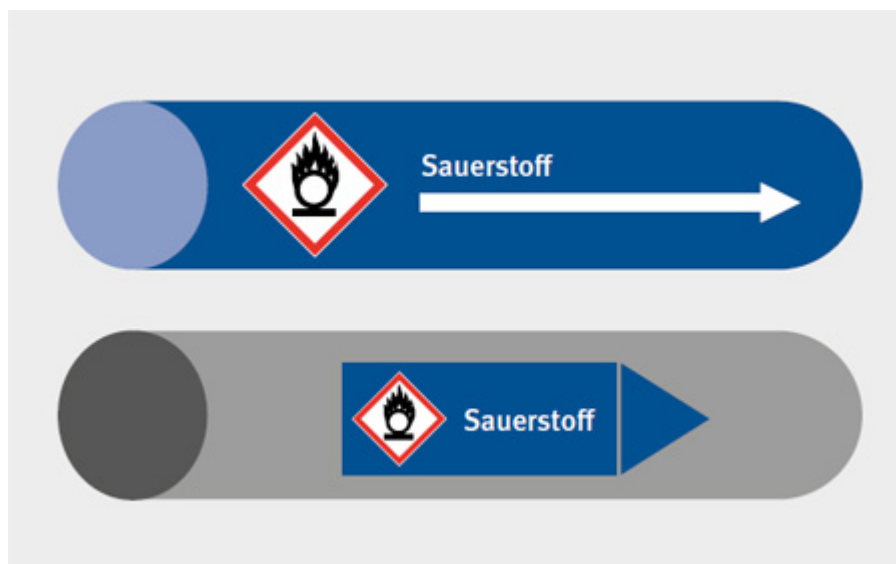
Der Unternehmer oder die Unternehmerin hat für die Arbeitsstätte einen Flucht- und Rettungsplan aufzustellen, wenn Lage, Ausdehnung und Art der Nutzung der Arbeitsstätte dies erfordern. Der Flucht- und Rettungsplan ist an geeigneter Stelle in der Arbeitsstätte bekannt zu machen. In angemessenen Zeitabständen ist nach Plan zu üben, wie sich die Beschäftigten im Gefahr- oder Katastrophenfall in Sicherheit bringen oder gerettet werden können. (9)

Für Betriebsbereiche und genehmigungspflichtige Anlagen, die der Störfall-Verordnung unterliegen, sind die nach Art und Ausmaß der möglichen Gefahren erforderlichen Vorkehrungen zu treffen, um Störfälle zu verhindern und Auswirkungen von Störfällen so gering wie möglich zu halten. Dies beinhaltet technische, organisatorische und managementspezifische Systeme, zu deren Anforderungen in der Störfall-Verordnung nähere Angaben gemacht werden. (53)

6.5 Kennzeichnung

Apparate und Rohrleitungen für Sauerstoff sowie Anschluss- oder Entnahmestellen an Sauerstoffleitungen müssen so gekennzeichnet sein, dass die enthaltenen Gefahrstoffe sowie die davon ausgehenden Gefahren eindeutig identifizierbar sind. Anlagenteile mit Sauerstoff sind nach der Gefahrstoffverordnung und der TRGS 201 durch Farbanstrich, Aufschrift oder Schilder zu kennzeichnen. (11) (12)

Abbildung 2: Beispiele für die innerbetriebliche Kennzeichnung von Rohrleitungen für Sauerstoff gemäß TRGS 201 und ASR A1.3 (12) (7)



6.6 Brandgefahr, Brandschutz

Obwohl Sauerstoff selbst nicht brennbar ist, ermöglicht und fördert er jedoch Verbrennungsvorgänge. Eine erhöhte Brandgefahr besteht bereits bei Sauerstoffkonzentrationen von wenig mehr als 21 Vol.-% der normalen Sauerstoffkonzentration in der Raumluft. Die Brandgefahr nimmt mit steigender Sauerstoffkonzentration weiter zu.

Die Brandgefahr in sauerstoffführenden Anlageteilen nimmt zu mit

- steigender Sauerstoffkonzentration,
- steigender Temperatur und
- steigendem Druck des Sauerstoffs und der Sauerstoffgemische.

In Räumen, in denen Sauerstoff gewonnen, verdichtet, abgefüllt oder flüssiger Sauerstoff verdampft oder weiterverarbeitet wird, sowie an Stellen im Freien, bei denen eine Sauerstoffanreicherung möglich ist, ist das Rauchen und der Gebrauch offenen Feuers verboten. Durch Aushang sind auf die Verbote hinzuweisen, sofern nicht für den Gesamtbetrieb ein entsprechendes Verbot besteht.

Räume, in denen Sauerstoff gewonnen, verdichtet oder flüssiger Sauerstoff verdampft wird, müssen von angrenzenden Räumen, die brand- oder explosionsgefährdet sind, soweit gasdicht abgetrennt sein, dass in diesen brand- oder explosionsgefährdeten Räumen mit einer Sauerstoffanreicherung nicht zu rechnen ist. Bei ungedämmten Leitungsabschnitten, in denen tiefkalt verflüssigte Gase gefördert werden, ist darauf zu achten, dass infolge von Luftkondensation keine Gefahr durch Sauerstoffanreicherung eintreten kann.

Wegen der erhöhten Brandgefahr dürfen Kleidungsstücke, die mehr als 21 Vol.-% Sauerstoff enthalten können, nicht in die Nähe eines offenen Feuers kommen. Zu „offenem Feuer“ zählen auch brennbare Zündhölzer, Feuerzeuge, elektrische Geräte (z. B. Heißluftfön) und Zigaretten. Die erhöhte Brandgefahr besteht für Kleidungsstücke auch dann, wenn sie nicht mit Öl und Fett verschmutzt sind.

Mit Sauerstoff angereicherte Kleidung nicht sofort ausziehen, da durch elektrostatische Entladung beim Ausziehen möglicherweise auftretende Funken für eine Zündung reichen². Vor dem Ausziehen die Kleidung lüften – dazu mindestens 15 Minuten an der frischen Luft aufhalten.

Zum Ablöschen brennender Kleidung haben sich Notduschen bewährt. Löschdecken sind ungeeignet.

Zum Löschen von Bränden sind Feuerlöscheinrichtungen der Art und Größe des Betriebes entsprechend bereitzustellen und gebrauchsfertig zu erhalten. Einzelheiten sind u. a. zu finden in ASR A2.2 und DGUV Information 205-001. (8) (33) (110)

Von Hand zu betätigende Feuerlöscheinrichtungen müssen jederzeit schnell und leicht zu erreichen sein. Die Stellen, an denen sich Feuerlöscheinrichtungen befinden, sind deutlich und dauerhaft zu kennzeichnen, soweit Feuerlöscheinrichtungen nicht automatisch oder zentral von Hand betätigt werden. (8)

Selbsttätige ortsfeste Feuerlöscheinrichtungen, z. B. mit CO₂, bei deren Einsatz Gefahren für die Beschäftigten auftreten können, müssen mit selbsttätig wirkenden Warneinrichtungen ausgerüstet sein. Eine ausreichende Anzahl von Beschäftigten ist durch Unterweisung und Übung mit der Handhabung der Feuerlöscheinrichtungen vertraut zu machen.

6.7 Dichtheitskontrolle

Zur Vermeidung einer unkontrollierten Freisetzung von Sauerstoff sind die hergestellten oder geschlossenen Verbindungen nach Änderungen an der Anlage, z. B. einem Flaschenwechsel oder Instandhaltungsarbeiten, auf

2 Dies betrifft die Anreicherung durch gasförmigen Sauerstoff – bei einer Benetzung mit flüssigem (also tiefkaltem) Sauerstoff gilt es hingegen, Erfrierungen zu verhindern, siehe hierzu Abschnitt 8.4.

ihre Dichtheit zu kontrollieren. Dazu eignet sich bei unter Druck stehender Anlage z. B. das Einsprühen der zu kontrollierenden Stelle mit schaubildenden Mitteln (Tensidlösungen) oder das Aufspüren mit einem Lecksuchgerät. Die Kontrolle wird direkt nach Abschluss der Arbeiten durch den ausführenden Beschäftigten durchgeführt und dokumentiert. Es hat sich bewährt, die Dichtheitsprüfung mit ölfreiem Stickstoff bei 0,5 bar durchzuführen.

6.8 Arbeiten in Behältern und engen Räumen (107) (92) (112)

Arbeiten in engen Behältern und Räumen bedürfen immer einer schriftlichen Erlaubnis. Im Rahmen der gebotenen Gefährdungsbeurteilung müssen zusätzliche Maßnahmen Berücksichtigung finden, wenn Konzentrationen von mehr als 21 Vol-% Sauerstoff auftreten können, z. B. Lüftung. Die Beschäftigten sind entsprechend zu unterweisen. Mit den Arbeiten darf erst begonnen werden, nachdem der Aufsichtführende festgestellt hat, dass die schriftlich festgelegten Maßnahmen getroffen sind.

Einzelheiten sind in der DGUV Regel 113-004 „Arbeiten in Behältern, Silos und engen Räumen“ festgelegt. (107)

Das Betreten von Behältern und engen Räumen ist nur gestattet, wenn über ein Analysengerät sichergestellt wurde, dass die Sauerstoffkonzentration nicht mehr als 21 Vol-% und nicht weniger als 19 Vol-% beträgt.

In Gruben, Kanälen und engen Räumen, in die Sauerstoff aus Anlagen oder Anlagenteilen gelangen kann, ist vor dem Betreten der Sauerstoffgehalt der Raumluft durch einen Fachkundigen mit vom Unternehmer bereitzustellenden Geräten zu messen. Der Sauerstoffgehalt ist gegebenenfalls auch während des Aufenthalts in Gruben, Kanälen und engen Räumen zu messen. Erforderlichenfalls ist zu lüften.

Die Anforderungen an den Fachkundigen sind in der DGUV Regel 113-004 „Arbeiten in Behältern, Silos und engen Räumen“ und dem DGUV Grundsatz 313-002 „Auswahl, Ausbildung und Beauftragung von Fachkundigen zum Freimessen nach DGUV Regel 113-004“ niedergelegt. (112)

6.9 Reinigungs- und Instandhaltungsarbeiten

Neben einer Arbeits- und Sicherheitsabsprache vor Ort ist in folgenden Fällen eine schriftliche Erlaubnis erforderlich

- bei Arbeiten in Behältern, Silos und engen Räumen. Einzelheiten sind festgelegt in der DGUV Regel 113-004 „Arbeiten in Behältern und engen Räumen“, (107)
- bei Feuerarbeiten, z. B. Schweißen, Schneiden, Löten, Anwärmen und Schleifen ,
- bei Arbeiten an Anlagen, bei denen mit gefährlicher Sauerstoffanreicherung im Arbeitsbereich zu rechnen ist.

In dieser Erlaubnis sind die notwendigen Sicherheitsmaßnahmen festzulegen, z. B. vollständige Entleerung der Apparatur, Spülen mit ölfreiem Stickstoff oder ölfreier Luft, persönliche Schutzmaßnahmen beim Öffnen, Reinigen mit geeigneten Mitteln, Konzentrationsmessungen.

In sauerstoffführende Anlageteile sowie in Trennapparate eingebrachte Gegenstände, die nicht dem Betrieb der Anlage dienen, sind nach Beendigung der Instandhaltungsarbeiten zu entfernen. Solche Gegenstände sind insbesondere Verschaltungen, Gerüste, Werkzeuge, Lampen, Bohrspäne und andere brennbare Gegenstände. Es wird empfohlen, eine Inventarliste zu führen.

Instandhaltungs- und Wartungsarbeiten dürfen nur von geeigneten, zuverlässigen und von der Unternehmerin bzw. vom Unternehmer unterwiesenen Personen durchgeführt werden. Mit Fremdfirmen ist dies im Rahmen des Auftrages zu vereinbaren. (65) (98) (68)

Beim Austausch von Komponenten sind öl- und fettfreie Originalersatzteile, die nachweislich für den Einsatz in Sauerstoff bei den vorliegenden Betriebsbedingungen geeignet sind, zu verwenden.

Der Unternehmer bzw. die Unternehmerin hat Verdichter, Pumpen, Leitungen, Armaturen und Filter in angemessenen Zeitabständen auf Ölniederschläge untersuchen zu lassen, sofern mit einem Öleintrag zu rechnen ist, und soweit erforderlich reinigen zu lassen.

Vor Beginn von Reinigungsarbeiten sind die oben aufgeführten Anlagenteile mit ölfreier Luft oder ölfreiem Inertgas zu spülen. Dies gilt auch für Instandsetzungsarbeiten, wenn Feuerarbeiten vorgenommen werden sollen oder wenn mit Funkenbildung zu rechnen ist. Reste von Reinigungsmitteln sind durch Ausblasen mit ölfreier Luft oder ölfreiem Inertgas zu entfernen.

Das Entfernen von Reinigungsmitteln mittels Ausblasen ist erforderlich, um zu verhindern, dass nach dem Verdampfen von Reinigungsmitteln Öl oder Fett zurückbleibt.

Im Bereich der Luftansaugung dürfen keine Kohlenwasserstoffe emittiert werden.

Wird in einem Sauerstoff-Verdichter zeitweise Inertgas verdichtet, z. B. Stickstoff, müssen vor der Wiederverwendung für Sauerstoff Maßnahmen nach einer besonderen Betriebsanweisung durchgeführt werden. Es ist sicherzustellen, dass das jeweilige Gas nur in das dafür bestimmte Netz gefördert werden kann.

6.10 Prüfungen

Für die Herstellung von Druckgeräten und Baugruppen mit einem inneren Überdruck von mehr als 0,5 bar gilt die Druckgeräterichtlinie (Richtlinie 2014/68/EU). Sauerstoff wird hierbei der Fluidgruppe 1, Untergruppe 1.0 „oxidierende Gase der Kategorie 1“ zugeordnet. (4)

Für den Betrieb einer Anlage gelten die Vorgaben der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV). Die zur Ermittlung des sicheren Zustandes erforderlichen Prüfungen und Prüffristen für Arbeitsmittel sind im Rahmen der Gefährdungsbeurteilungen festzulegen und die Prüfungen von hierzu befähigten Personen durchzuführen. (34) (35) (43)

Die Ergebnisse der Prüfungen sind gemäß § 17 der Betriebssicherheitsverordnung zu dokumentieren. Siehe auch (DGUV Information 213-062) „Druckprüfungen von Druckbehältern und Rohrleitungen – Flüssigkeitsdruckprüfungen, Gasdruckprüfungen“ (Merkblatt T 039 der BG RCI). (34) (94)

Festigkeitsnachweise durch Gasdruckprüfungen sind mit ölfreier Luft oder ölfreiem Inertgas durchzuführen. Eine Festigkeitsprüfung fertig verlegter Rohrleitungen und Anlagenteile mittels Wasser (ohne Zusätze) ist nur sinnvoll, wenn das Wasser restlos entfernt werden kann und keine statischen Probleme zu erwarten sind.

Vorgefertigte Teile von Rohrleitungen dürfen auch mit Wasser geprüft werden, wenn vor deren Einbau Wasser und Korrosionsprodukte restlos entfernt worden sind.

6.10.1 Prüfung von Rohrleitungen

Rohrleitungen für Sauerstoff sind prüfpflichtige Arbeitsmittel gemäß § 14 der Betriebssicherheitsverordnung. (34)

Art und Umfang der Prüfung, Prüffristen und Prüfzuständigkeit sind in der Gefährdungsbeurteilung nach Betriebssicherheitsverordnung festzulegen. Empfohlen wird, Rohrleitungen spätestens nach 5 Jahren wiederkehrend mindestens auf Dichtheit zu prüfen. (35) (34)

6.10.2 Dichtheitsprüfung der Anlage

Sauerstoffführende Anlagen oder Anlagenteile dürfen erstmalig sowie nach einer Instandsetzung oder einer Änderung nur in Betrieb genommen werden, nachdem sie auf Dichtheit geprüft worden sind.

Dichtheitsprüfungen dürfen nur von befähigten Personen durchgeführt werden, die Erfahrungen mit Dichtheitsprüfungen und im Umgang mit Sauerstoff haben. (43)

Der bei der Dichtheitsprüfung angewandte Druck darf denjenigen Druck, mit dem die Anlage betriebsmäßig höchstens betrieben werden darf, nicht überschreiten. Es hat sich bewährt, die Dichtheitsprüfung mit ölfreiem Stickstoff bei 0,5 bar durchzuführen.

6.10.3 Prüfung von Schläuchen und beweglichen Leitungen

Die Prüffristen für Schläuche und bewegliche Leitungen werden im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung entsprechend der betrieblichen Beanspruchung festgelegt. Beispiele bietet die DGUV Information 213-053 „Schlauchleitungen“ (Merkblatt T 002 der BG RCI) und das DVS-Merkblatt 0221 „Gasversorgungsanlagen zum Schweißen, Schneiden und verwandter Verfahren – Empfehlungen für Prüffristen und die Gefährdungsbeurteilung“. Empfohlen wird, diese regelmäßig, mindestens jedoch einmal jährlich, von einer befähigten Person prüfen zu lassen. (91) (134) (43)

6.11 Zugangsbeschränkung

Das Betreten von Anlagen und Arbeitsräumen, in denen Sauerstoff erfahrungsgemäß in gefährlicher Konzentration oder Menge auftreten kann oder wenn die Gefahr von Ausbränden besteht, ist nur den dort Beschäftigten mit ausreichenden Schutzmaßnahmen gestattet. Andere Personen dürfen diese nur mit ausdrücklicher Genehmigung des Unternehmers bzw. der Unternehmerin oder dessen bzw. deren Beauftragten (z. B. Betriebsleiter/in) betreten. Entsprechende Hinweisschilder sind anzubringen, wie z. B. Verbotsschilder D-P006: Zutritt für Unbefugte verboten. (118)

Verbotsschilder
D-P006 „Zutritt für Unbefugte verboten“



7 Personenbezogene Schutzmaßnahmen

7.1 Augenschutz (104) (67)

Beim Umgang mit flüssigem Sauerstoff muss ausreichender Augenschutz getragen werden:

- Gestellschutzbrillen mit Seitenschutz, zu denen auch in den Schutzhelm integrierte Brillen zählen, eventuell mit Korrekturgläsern für Brillenträger, reichen z. B. für Überwachungstätigkeiten in Betrieb und Labor aus.
- Geeignete Korbbrillen sind bei allen Arbeiten zu tragen, bei denen mit einer Gefährdung der Augen durch verspritzende Flüssigkeit zu rechnen ist, z. B. beim Abfüllen oder bei der Beseitigung von Störungen.

Geeignete Schutzbrillen müssen gemäß DIN EN 166:2002-04 „Persönlicher Augenschutz“ Schutz gegen mechanische Gefährdungen und Schutz vor chemischen Gefährdungen, Gefährdungsklasse 3 „tropfende und spritzende Flüssigkeiten“, bieten. (120)

In Betriebsbereichen, in denen Druckgasbehälter mit Sauerstoff gefüllt werden, wird empfohlen, im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung Augen- oder Gesichtsschutz zu berücksichtigen.

7.2 Körperschutz (102) (67)

In Abhängigkeit von dem Ausmaß der möglichen Gefährdung durch Sauerstoff ist zusätzlich geeignete Schutzkleidung zu tragen, z. B. langärmelige schwerentflammbare Kleidung nach DIN EN ISO 11612:2015-11 „Schutzkleidung – Kleidung zum Schutz gegen Hitze und Flammen – Mindestleistungsanforderungen“ bzw. DIN EN ISO 11611:2015-11 „Schutzkleidung für Schweißen und verwandte Verfahren“. Ist die Kleidung körperbedeckend und wird sie geschlossen getragen, bietet sie Schutz gegen Stichflammen. (125) (125)

Mit Öl oder Fett verunreinigte Arbeitskleidung und persönliche Schutzausrüstungen sind zu wechseln.

Zum Schutz des Gesichtes sind beim Umgang mit flüssigem Sauerstoff Schutzschirme geeignet.

Die Hände müssen gegen den Kontakt mit flüssigem Sauerstoff durch Kälteschutzhandschuhe geschützt werden.

Flüssiger Sauerstoff darf nicht in die Kleidungsstücke einfließen können.

Hinweis: Schutzkleidung bietet jedoch keinen Schutz gegen Sauerstoffanreicherung in der Kleidung und die daraus entstehenden Brandgefahren!

7.3 Gaswarngeräte

Da Sauerstoff nicht mit den menschlichen Sinnen wahrgenommen werden kann, können tragbare Gaswarngeräte helfen, gefährliche Sauerstoffkonzentrationen zu detektieren und Personen entsprechend frühzeitig zu warnen. Die Notwendigkeit tragbarer, persönlicher Gaswarngeräte wird im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung definiert. Stationäre Gaswarneinrichtungen sind, soweit technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar, personenbezogenen Gaswarngeräten vorzuziehen.

Der Einsatz personenbezogener Gaswarngeräte erfordert

- eine grundsätzliche Sensibilisierung der Beschäftigten gegenüber den genannten Gefahren,
- eine regelmäßige und nachweisbare Unterweisung der Beschäftigten,

- eine schriftliche Arbeitsanweisung (z. B. Betriebsanweisung) sowie deren Um- und Durchsetzung
- und eine Organisation der Prüfung und Ersatzbeschaffung.

Informationen sind in der DGUV Information 213-056 „Gaswarneinrichtungen für toxische Gase/Dämpfe und Sauerstoff“ (Merkblatt T 021 der BG RCI) aufgeführt. (93)

8 Erste Hilfe

8.1 Allgemeines

Alle Personen, die mit flüssigem Sauerstoff oder Inertgas/Sauerstoff-Gemischen mit mehr als 21 Vol.-% Sauerstoff umgehen, müssen über die Erste-Hilfe-Maßnahmen unterrichtet sein und über das Verhalten bei Arbeitsunfällen unterwiesen werden. (109)

Die von den Berufsgenossenschaften anerkannten Anleitungen zur Ersten Hilfe sind entsprechend dem jeweiligen Gefährdungsgrad an geeigneten Stellen auszuhängen. (108)

Über jede Erste Hilfe-Leistung sind Aufzeichnungen zu führen, z. B. elektronisch oder in einem Verbandbuch vor Ort. Die Aufzeichnungen sind 5 Jahre lang aufzubewahren. Hierbei ist der Datenschutz zu beachten.

Bei Verdacht auf eine Gefährdung durch Sauerstoff müssen Betroffene den Gefahrenbereich verlassen bzw. aus dem Gefahrenbereich gebracht werden. Die Helferinnen und Helfer haben sich dabei insbesondere vor Kontakt mit flüssigem Sauerstoff zu schützen (Schutzhandschuhe usw.).

Ärztliche Hilfe ist unverzüglich zu veranlassen. Dem Arzt bzw. der Ärztin sind Angaben zum Stoff (z. B. Sicherheitsdatenblatt) und die bereits durchgeführten Erste-Hilfe-Maßnahmen anzugeben.

Um wirksame Hilfe leisten zu können, kann eine vorausschauende Absprache zwischen Betrieb, Betriebsärztin oder -arzt, Krankenhaus oder Rettungsdienst erforderlich sein.

Erste-Hilfe-Maßnahmen, die Gegenstand der Ersten-Hilfe-Ausbildung sind, wie „Stabile Seitenlage“, „Herz-Lungen-Wiederbelebung“, „Schockbekämpfung“, werden in dieser Schrift nicht angesprochen.

Bei besonderen betrieblichen Gefährdungen, z. B. infolge Einwirkens von flüssigem Sauerstoff, können zusätzliche Maßnahmen und Mittel der Ersten Hilfe notwendig sein. Diese Maßnahmen verlangen von dem Ersthelfer oder der Ersthelferin bestimmte Kenntnisse und Fähigkeiten, die in der Grundausbildung nicht vermittelt werden.

Die Weiterbildung geeigneter Ersthelferinnen und -helfer erfolgt insbesondere durch die Betriebsärztin oder den Betriebsarzt.

8.2 Augen

- Steriler Schutzverband anlegen,
- augenärztliche Behandlung.

8.3 Atmungsorgane

- Verletzte unter Selbstschutz aus dem Gefahrenbereich bringen,
- für Körperruhe sorgen,
- vor Wärmeverlust schützen,
- ärztliche Behandlung.

8.4 Haut

- Mit Sauerstoff durchsetzte oder benetzte Kleidung, auch Unterwäsche und Schuhe, sofort ausziehen,³
- Entfernung von Kleidung, die die Blutzirkulation an der betroffenen Stelle behindert,
- sofortige Auflage von handwarmen, feuchten Kompressen für maximal fünf Minuten,
- anschließend geschädigte Areale trocken und möglichst keimfrei bedecken⁴,
- zur Vermeidung weiterer Wärmeverluste mit einer Rettungsdecke umhüllen,
- ärztliche Behandlung – auch bei initialer Schmerzfreiheit (vgl. Abschnitt Gesundheitsgefahren).

8.5 Hinweise für die ärztliche Behandlung

- Nach langer Einwirkung hoher Sauerstoffkonzentrationen, insbesondere bei erhöhtem Druck: Auf spät einsetzendes Lungenödem achten (Röntgenkontrolle!),
- eventuell Antikonvulsiva (krampflösende bzw. krampfverhindernde Mittel) verabreichen.

Anhang 1:

Werkstoffanforderungen für sauerstoffführende Anlagenteile sowie Dichtwerkstoffe von Anlagen und Anlagenteilen

Werkstoffe für Gehäuse und Einbauteile von Armaturen sowie metallische Dichtwerkstoffe sind für sauerstoffführende Anlagen und Anlagenteile dann geeignet, wenn sie nach Spalte 2 der nebenstehenden Werkstofftabelle ausgewählt worden sind.

Für weitere Informationen siehe auch DIN EN 1797:2002-02 „Kryo-Behälter – Verträglichkeit von Gas/Werkstoffen“ sowie DIN EN ISO 11114-1:2017-05 „Gasflaschen – Verträglichkeit von Werkstoffen für Gasflaschen und Ventile mit den in Berührung kommenden Gasen – Teil 1: Metallische Werkstoffe“. (121) (124)

Darüber hinaus dürfen als metallische Dichtwerkstoffe auch Blei, Zinn sowie Kupferlegierungen mit einem Aluminiumgehalt < 2,5 % verwendet werden. Legierungen mit mehr als 2,5 % Aluminium sind wie Aluminium zu behandeln. (145)

3 Dies gilt im Falle einer Benetzung mit flüssigem (bzw. tiefkaltem) Sauerstoff – besteht keine Gefahr einer Erfrierung, dann sollte die Kleidung erst durch Aufenthalt im Freien gelüftet werden, um eine Zündung zu vermeiden – siehe hierzu Abschnitt 6.6.

4 Weitere Informationen zur Ersten Hilfe bei Cryoverbrennungen findet man bei der European Burns Association (EBA), der American Burn Association (ABA) oder der International Society for Burn Injuries (ISBI) (155) (156) (157)

Nach dem bisherigen Stand der Erkenntnisse sind folgende metallische Werkstoffe nicht geeignet: Titan und dessen Legierungen, Zirkon und dessen Legierungen.

Die ASTM-Norm G124 beschreibt eine Prüfmethode zur Untersuchung des Abbrandverhaltens metallischer Materialien in Sauerstoff angereicherter Atmosphäre nach künstlich eingeleiteter Zündung. Auf Basis des ermittelten Abbrandverhaltens und der Abbrandgeschwindigkeit lassen sich die so untersuchten metallischen Werkstoffe untereinander vergleichen. (115)

Untersuchungen metallischer Werkstoffe nach dieser Norm in stationärem, gasförmigem Sauerstoff haben aufgezeigt, dass bereits ein Legierungsbestandteil an Titan von $< 0,7\%$ deutliche Auswirkungen auf das Abbrandverhalten und auf die Abbrandgeschwindigkeit haben kann. Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) empfiehlt daher, aus sicherheitstechnischer Sicht auf metallische Werkstoffe, die Titan als Legierungsbestandteil haben, zu verzichten. Davon unbesehen ist die sicherheitstechnische Eignung durch entsprechende Prüfungen (z. B. nach ASTM G124) nachzuweisen. (158) (115)

Rohrleitungen und Anlagenteile, die speziell für den kontinuierlichen Transport von Sauerstoffgemischen vorgesehen sind, wobei die Werkstoffe freiem Wasser – z. B. bei feuchtem Sauerstoff ($O_2 + H_2O$) aus einer Elektrolyse mit Kaliumhydroxid (KOH) – ausgesetzt sein können, erfordern möglicherweise besondere Vorsichtsmaßnahmen wie die Verwendung von korrosionsbeständigen Werkstoffen oder Innenbeschichtungen. Es ist wichtig, dass alle verwendeten inneren Schutzbeschichtungen oder Korrosionsinhibitoren für die Prozessbedingungen mit Sauerstoff kompatibel sind. Potenziell entflammbare Beschichtungen oder Inhibitoren sind verboten, es sei denn, die Kompatibilität wurde nachgewiesen. (146)

Dichtungen, die aus verschiedenen Dichtwerkstoffen zusammengesetzt sind und in Sauerstoff brennbare Bestandteile enthalten, dürfen eingesetzt werden, wenn deren sicherheitstechnische Eignung bei den gegebenen zulässigen Betriebsüberdrücken und Betriebstemperaturen geprüft und nachgewiesen wurde. (85) (158)

Dichtwerkstoffe und Armaturen für flüssigen und gasförmigen Sauerstoff mit einer Betriebstemperatur $< -10\text{ °C}$ müssen aus Werkstoffen bestehen, die für die auftretenden Betriebstemperaturen geeignet sind. Aussagen hierzu finden sich im AD 2000-Merkblatt W 10 (Werkstoffe für tiefe Temperaturen – Eisenwerkstoffe). (114)

In Abhängigkeit von der Einbaustelle der Dichtungen bzw. der Armaturen und den gestellten Anforderungen werden in nachfolgender Tabelle folgende Dichtwerkstoffe und Gehäusewerkstoffe empfohlen:

| Überdruckbereich in bar | Werkstoffe für metallische Dichtungen/Werkstoffe für Gehäuse und Einbauteile bei Armaturen/Werkstoffe für Gehäuse bei Anlagen und Anlagenteile | Verwendung nichtmetallischer in Sauerstoff brennbarer Dichtwerkstoffe für Armaturen | |
|-------------------------|--|---|--|
| | | Sitz | Stopfbuchse, Deckel, Flansch und Verschraubung |
| über 40 | Kupfer, Kupferlegierungen mit einem Masseanteil an Kupfer von mindestens 55 %, Nickel, Nickel-Knetlegierungen mit Kupfer | wenn geprüft und für die vorgesehenen Temperaturen und Drücke geeignet | wenn geprüft und für die vorgesehenen Temperaturen und Drücke geeignet |
| | hochlegierte Cr-Ni-Stähle mit einem Masseanteil an Cr und Ni von zusammen mindestens 22 % | nicht empfohlen | wenn geprüft und für die vorgesehenen Temperaturen und Drücke geeignet |
| | hochlegierte Cr-Si-Stähle mit einem Masseanteil an Chrom von mindestens 22 % | nicht empfohlen | wenn geprüft und für die vorgesehenen Temperaturen und Drücke geeignet |
| 0 bis 40 | Kupfer, Kupferlegierungen mit einem Masseanteil an Kupfer von mindestens 55 % | wenn geprüft und für die vorgesehenen Temperaturen und Drücke geeignet | wenn geprüft und für die vorgesehenen Temperaturen und Drücke geeignet |
| | hochlegierte Cr-Ni-Stähle mit einem Masseanteil an Cr und Ni von zusammen mindestens 22 % | wenn geprüft und für die vorgesehenen Temperaturen und Drücke geeignet | wenn geprüft und für die vorgesehenen Temperaturen und Drücke geeignet |
| | hochlegierte Cr-Si-Stähle mit einem Masseanteil an Cr von mindestens 22 % | wenn geprüft und für die vorgesehenen Temperaturen und Drücke geeignet | wenn geprüft und für die vorgesehenen Temperaturen und Drücke geeignet |
| 0 bis 16 | Grauguss, mindestens der Güte EN-GJL-250 | wenn geprüft und für die vorgesehenen Temperaturen und Drücke geeignet | wenn geprüft und für die vorgesehenen Temperaturen und Drücke geeignet |
| | Gusseisen mit Kugelgraphit, mindestens der Güte EN-GJS-400 | | |
| 0 bis 10 | sonstige metallische Werkstoffe | | |

Anhang 2: Verdichter für Sauerstoff

Jede Stufe eines Verdrängerverdichters, jeder einzeln absperrbare Zylinder einer Stufe sowie jedes Gehäuse eines Turboverdichters muss mit einer Sicherheitseinrichtung gegen Drucküberschreitung ausgerüstet sein. Diese Sicherheitseinrichtung darf durch Absperrrichtungen nicht unwirksam gemacht werden können. Sie muss ferner so beschaffen und eingestellt sein, dass der Überdruck, für den das jeweilige Bauteil bemessen ist, um nicht mehr als 10 % überschritten wird. Diese Sicherheitseinrichtung ist bei Gehäusen von Turboverdichtern und bei mehrstufigen Verdrängerverdichtern für deren einzeln nicht absperrbare Stufen vor der Endstufe nicht erforderlich, wenn die gleiche Sicherheit durch die Auslegung und Ausführung des Verdichters erreicht wird.

Diese Forderung ist hinsichtlich Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung erfüllt, wenn

- Sicherheitsventile,

- Berstsicherungen,
- druckgesteuerte Einrichtungen, deren Wirksamkeit nachprüfbar ist oder
- Überströmventile oder Abblaseeinrichtungen, die eine Entspannung in den Saugraum oder in die Atmosphäre ermöglichen,

vorhanden sind.

Die Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung werden bei einem Druck wirksam, der zwar betriebsbedingt oberhalb des zulässigen Verdichtungsenddruckes, aber nicht über dem Druck liegt, für den der Verdichter ausgelegt ist. Der Auslegungsdruck wird in der Betriebsanleitung angegeben.

Die gleiche Sicherheit ohne eine Sicherheitseinrichtung wird durch die Auslegung und Ausführung des Verdichters, z. B. bei Turboverdichtern erreicht, wenn diese festigkeitsmäßig für den bei geschlossener Druckleitung auftretenden und von den ungünstigen Betriebsverhältnissen abhängigen höchstmöglichen Förderdruck ausgelegt ist.

Ein Wegfall der Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung bei einzelnen Stufen kommt dann in Betracht, wenn die Sicherheitseinrichtung an der Endstufe mehrstufiger Verdichter angebracht ist und alle Stufen für den gleichen Druck wie die Endstufe ausgelegt sind.

Jede Stufe und jeder einzeln absperrbare Zylinder eines Verdrängerverdichters sowie jedes Gehäuse eines Turboverdichters müssen mit Überdruckmessgeräten ausgerüstet sein, die von einer Stelle aus ablesbar sein müssen, an der Beschäftigte nicht gefährdet werden können.

Geschlossene Kühlflüssigkeitssysteme zum Kühlen von Bauteilen der Verdichter müssen mit Einrichtungen ausgerüstet sein, die sicherstellen, dass der Druck, für den das Kühlflüssigkeitssystem ausgelegt ist, nicht überschritten wird.

Die Auslegungsdrücke und die Verdichtungsendtemperaturen jeder Stufe und jeden Gehäuses müssen mit den zugehörigen Betriebsbedingungen in der Betriebsanleitung angegeben sein. Betriebsbedingungen sind z. B. Saugdruck, Kühlwassertemperatur, Druckverhältnis.

Bei Trockenlauf-Hubkolbenverdichtern, bei Membranverdichtern und bei Turboverdichtern muss sichergestellt sein, dass die Möglichkeit der Entstehung von Bränden eingeschränkt und dass im Falle eines Brandes dessen Ausweitung selbsttätig verhindert wird.

Diese Forderung ist erfüllt,

1. wenn für jede Stufe eine Einrichtung vorhanden ist, die bei Überschreiten der betriebsmäßigen Verdichtungstemperatur ein Warnsignal auslöst und vor Überschreiten der vom Hersteller angegebenen zulässigen Verdichtungstemperatur den Antriebsmotor abschaltet,
2. wenn in der Druckleitung möglichst nahe am Verdichter ein Rückschlagventil vorhanden ist und bei Verdichtern mit einem Vordruck (Überdruck) von mehr als 1 bar auf der Saugseite zusätzlich eine schnell schließende Absperrvorrichtung vorhanden ist, die gleichzeitig mit der Antriebsmotorabschaltung selbstständig schließt,
3. wenn Ventilplatten möglichst kerbfrei hergestellt sind. Um Ventilplattenabbrüche rechtzeitig zu erkennen, kann die Anordnung von Temperaturfühlern zweckmäßig sein. Die Laufzeit der Ventile ist anlagen- und betriebsbedingt anzupassen
4. wenn zur Vermeidung hoher Ventilschlagzahlen die Drehzahl auf 750 min^{-1} beschränkt wird,
5. wenn an kontaktierenden Packungen als auch an Labyrinth-Packungen max. 40 bar(g) Enddruck anliegen,
6. wenn bei Trockenlauf-Hubkolbenverdichtern mit Kohle- oder Kunststoffringen die Führung des Kolbens so ausgeführt ist, dass ein Anlaufen des Kolbenkörpers oder der Spannfeder für die Dichtelemente sowie der Kolbenstange an den Stoffbuchskammern verhindert ist. Die Führungsringe des Kolbens sind nach den vom Hersteller vorgegebenen Intervallen zu kontrollieren bzw. zu ersetzen,

7. wenn bei Labyrinth-Hubkolbenverdichtern die Kolben oder die Mäntel aus Werkstoffen bestehen, welche die Reibungswärme ausreichend abführen, z. B. Kupferlegierungen,
8. wenn Membranverdichter mit einem Spezial-Öl z. B. auf Polychlortrifluoroethylen Basis (CAS-Nr. 9002-83-9) betrieben werden, welches nicht mit Sauerstoff reagiert,
9. wenn bei Turboverdichtern mit einem Verdichtungsenddruck (Pumpgrenzdruck) bis höchstens 2 bar
 - a) die Labyrinth aus Werkstoffen bestehen, die beim Anstreifen leicht verformbar sind und die entstehende Wärme gut abführen und
 - b) auch im Falle eines Lagerschadens ein gefahrloses Auslaufen des Verdichters sichergestellt ist,
10. wenn bei Turboverdichtern mit einem Verdichtungsenddruck (Pumpgrenzdruck) über 2 bar Überdruck zusätzlich nach jedem Austritt aus dem Gehäuse bzw. vor jedem Eintritt in einen Kühler Einrichtungen vorhanden sind, die bei Überschreiten der betriebsmäßigen Verdichtungstemperatur ein Warnsignal auslösen, vor Überschreiten der zulässigen, vom Verdichter-Hersteller angegebenen Verdichtungsendtemperatur den Antrieb sofort abschalten, selbsttätig die Sauerstoffzufuhr und Sauerstoffableitungen schließen und die Abblaseventile öffnen.

Mehr zu Turboverdichtern siehe auch EIGA Doc 27/23 „Centrifugal compressors for oxygen service“; mehr zu Hubkolbenverdichtern siehe auch EIGA Doc 10/17 „Reciprocating compressors for oxygen service“. (147) (145)

Saug- und Druckventile von Hubkolben- oder von Membranverdichtern müssen vor ihrem Einbau auf funktionsgerechten Zusammenbau geprüft worden sein. Die Art der Überprüfung der Ventile hat nach Angabe des Herstellers zu erfolgen.

An Hubkolben- oder an Membranverdichtern müssen Ventile zusammen mit Ventilsternen so beschaffen sein, dass ein falscher Einbau nicht möglich ist. Ein falscher Einbau ist z. B. ein Vertauschen von Saug- und Druckventilen. Es kann dazu führen, dass der Verdichter zerbirst. Zu der Baueinheit von Ventilen gehören die zugehörigen Befestigungselemente wie Glocken und Deckel.

Werkstoffe

Werkstoffe für Kolbenringe, Manschetten und Stopfbuchspackungen, die brennbare Bestandteile enthalten, dürfen nur verwendet werden, wenn sie von einem Prüfinstitut mit dem Ergebnis geprüft wurden, dass sie sich für die Verwendung bei den Betriebsbedingungen eignen. Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) führt beispielsweise solche Prüfungen durch. (158)

Die Prüfung stellt sicher, dass nur solche Werkstoffe mit brennbaren Bestandteilen zum Einsatz kommen, bei denen unter den jeweiligen Betriebsbedingungen keine Reaktion mit Sauerstoff zu erwarten ist. Bei wassergeschmierten Sauerstoffverdichtern besteht die Gefahr einer solchen Reaktion nicht, wenn die Werkstoffe dauernd vom Schmierwasser benetzt sind.

Wassergeschmierte Hubkolbenverdichter müssen in allen Teilen, die von dem mit Schmierwasser durchsetzten Sauerstoff berührt werden, aus Werkstoffen bestehen, die schwer entzündbar und korrosionsbeständig sind.

Als schwerentzündbare und korrosionsbeständige Werkstoffe haben sich Kupfer, Kupferlegierungen und nichtrostender Stahl bewährt. Diese Werkstoffe zeichnen sich mindestens durch zwei der folgenden Eigenschaften aus:

- hohe Entzündungstemperatur,
- hohe Wärmeleitfähigkeit,
- hohe spezifische Wärmekapazität,
- niedrige Verbrennungswärme.

Die Anforderungen an die Werkstoffe beziehen sich nicht auf die Verdichterteile, die außerhalb der vom Drucksauerstoff beaufschlagten Räume liegen, da hier entstehende Korrosionsprodukte zu keiner Entzündung führen können.

Die Werkstoffauswahl beim Hubkolbenverdichter sollte entsprechend der Tabelle für Dichtwerkstoffe und Gehäusewerkstoffe in Anhang 1 erfolgen.

Besondere Schutzmaßnahmen für Turboverdichter und Trockenlauf-Hubkolbenverdichter

Zum Schutz der Beschäftigten bei Bränden sind Turboverdichter, Turbogebläse und Trockenlauf-Hubkolbenverdichter mit Abschirmungen zu betreiben.

Schutzeinrichtungen nach Abschnitt 5.10.2 sind nicht erforderlich bei

1. Turboverdichtern mit einem Verdichtungsenddruck von nicht mehr als 1 bar Überdruck,
2. wassergeschmierten Hubkolbenverdichtern und Vakuumpumpen und
3. Verdichtern, die mit einem Wasser/Glyzerin-Gemisch geschmiert sind.

Siehe hierzu Anhang 3 und die EIGA Doc 27/23 und EIGA Doc 10/17.(147) (145)

Wassergeschmierte Hubkolbenverdichter

Wassergeschmierte Hubkolbenverdichter müssen mit einer Einrichtung versehen sein, die dauernd eine ausreichende Schmierwasserversorgung gewährleistet. Diese Verdichter müssen außerdem so konstruiert oder eingerichtet sein, dass keine Wasserschläge auftreten können.

Wassergeschmierte Hubkolbenverdichter dürfen nur mit destilliertem oder auf andere Weise vollentsalztem Wasser geschmiert werden. Das Schmierwasser darf keine Fremdstoffe, wie z. B. Fett oder Schmutz, enthalten. Kolben- und Ventilmanschetten dürfen nicht gefettet werden.

Abweichend von Abschnitt 5.10.2 dürfen Verdichter, deren Motorleistung 4 kW und deren Verdichtungsenddruck (Überdruck) 330 bar nicht überschreiten, mit einem Wasser/Glyzerin-Gemisch im Verhältnis 4 : 1 geschmiert werden.

Solche Verdichter werden auch als Sauerstoff-Umfüllpumpen bezeichnet.

Anhang 3: Abschirmungen

Beispiele für Abschirmungen an Sauerstoffverdichtern nach Abschnitt 5.10.2. Die dicken Linien stellen die Abschirmungen dar.

Abbildung 3: Beispiel einer Abschirmung für Sauerstoff-Kolbenverdichter

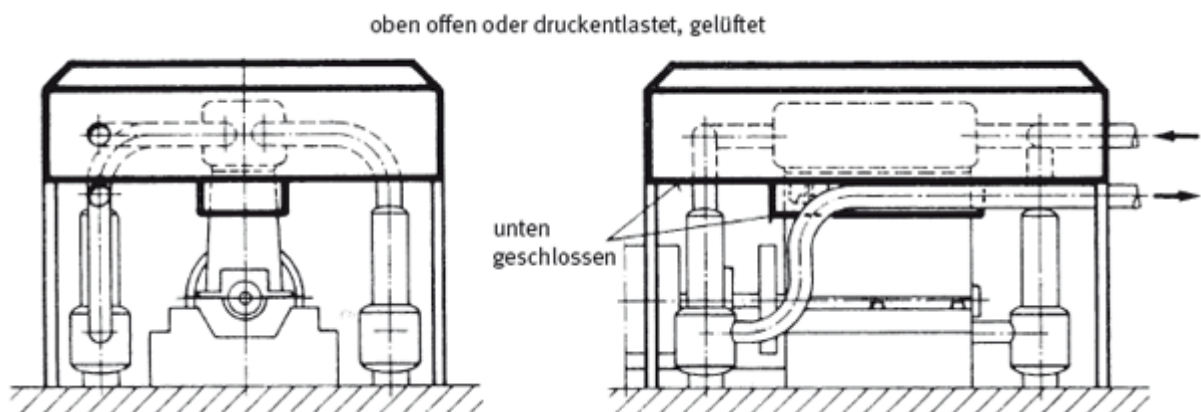


Abbildung 4: Beispiel einer Abschirmung für Sauerstoff-Kolbenverdichter

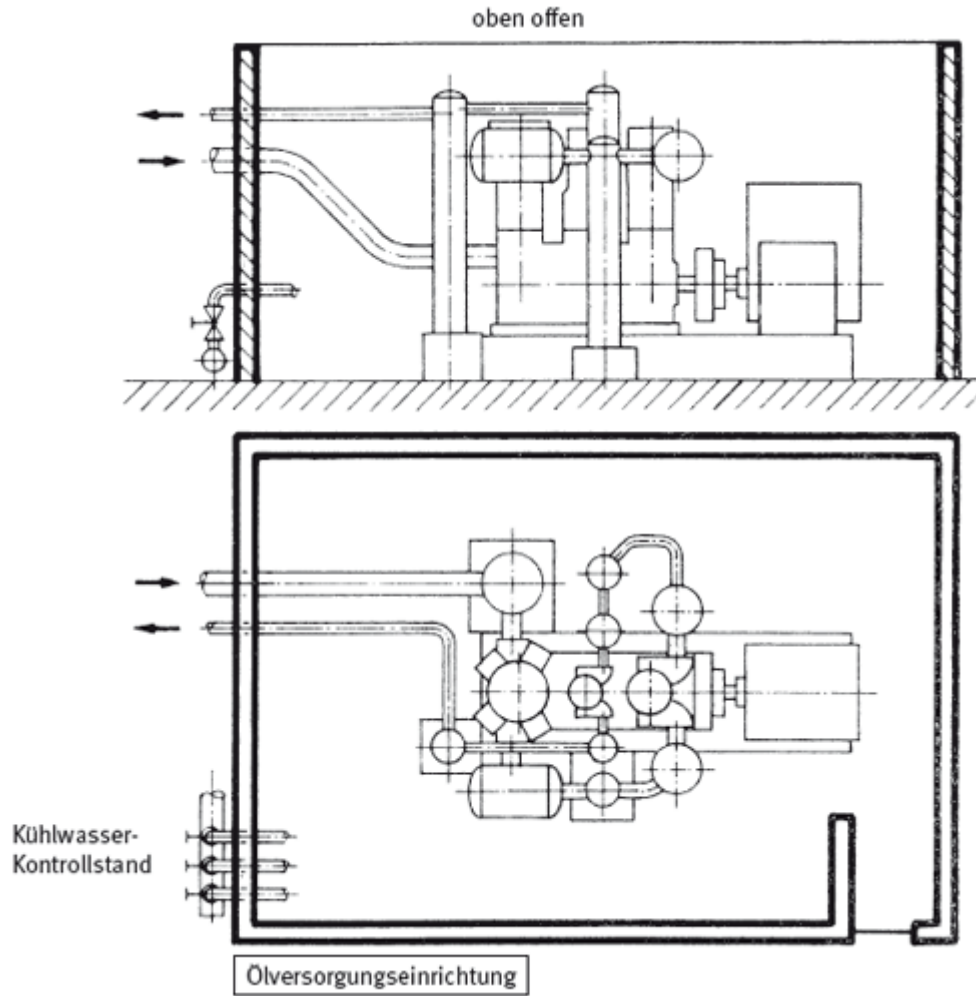


Abbildung 5: Beispiel einer Abschirmung für Sauerstoff-Kolbenverdichter

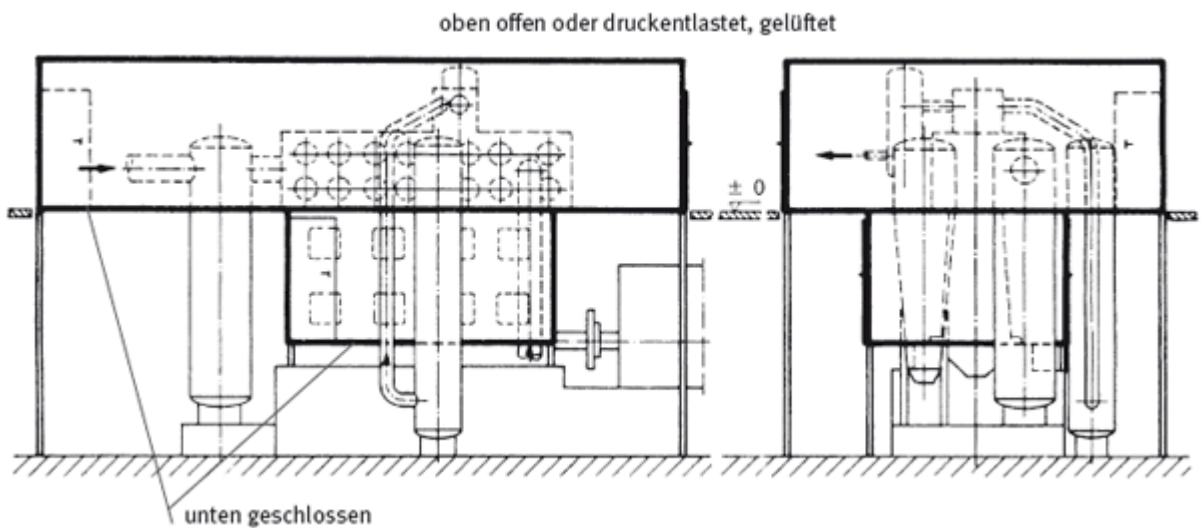


Abbildung 6: Beispiel einer Abschirmung für Sauerstoff-Turboverdichter

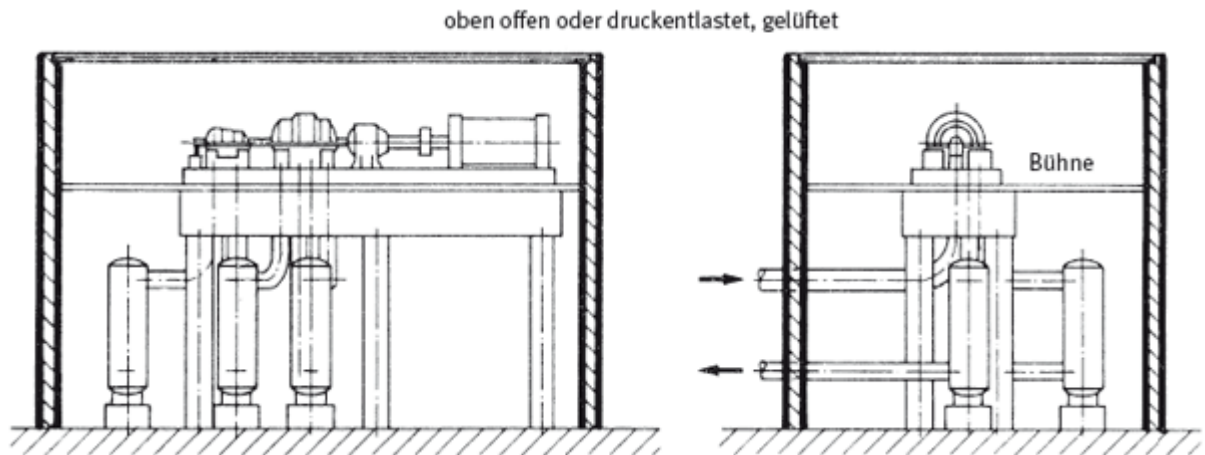
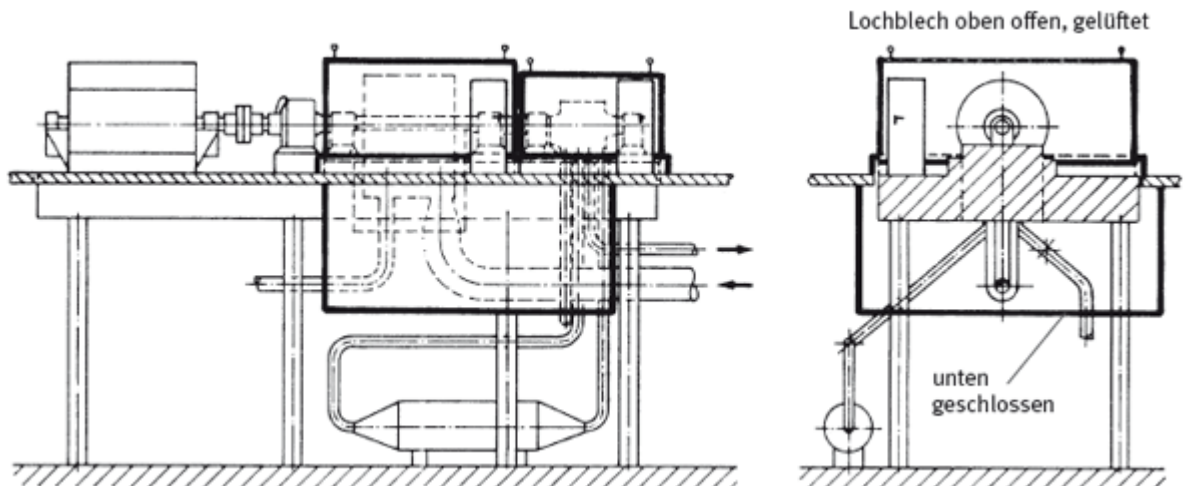


Abbildung 7: Beispiel einer Abschirmung für Sauerstoff-Turboverdichter



Literaturverzeichnis

Verbindliche Rechtsnormen sind Gesetze, Verordnungen und der Normtext von Unfallverhütungsvorschriften. Abweichungen sind nur mit einer Genehmigung der zuständigen Behörde bzw. des zuständigen Unfallversicherungsträgers (z. B. Berufsgenossenschaft) erlaubt. Voraussetzung für die Erteilung einer Ausnahmegenehmigung ist, dass die Ersatzmaßnahme ein mindestens ebenso hohes Sicherheitsniveau gewährleistet.

Von Technischen Regeln zu Verordnungen, Durchführungsanweisungen von Unfallverhütungsvorschriften (DGUV Vorschriften) und DGUV Regeln kann abgewichen werden, wenn in der Gefährdungsbeurteilung dokumentiert ist, dass die gleiche Sicherheit auf andere Weise erreicht wird.

Keine verbindlichen Rechtsnormen sind DGUV Informationen, Merkblätter, DIN-/ VDE-Normen. Sie gelten als wichtige Bewertungsmaßstäbe und Regeln der Technik, von denen abgewichen werden kann, wenn die gleiche Sicherheit auf andere Weise erreicht wird.

Fundstellen im Internet

Die Schriften der BG RCI sowie ein umfangreicher Teil des staatlichen Vorschriften- und Regelwerkes und dem der gesetzlichen Unfallversicherungsträger (rund 1 700 Titel) sind im Kompendium Arbeitsschutz der BG RCI verfügbar. Die Nutzung des Kompendiums im Internet ist kostenpflichtig. Ein kostenfreier, zeitlich begrenzter Probezugang wird angeboten.

Weitere Informationen unter www.kompendium-as.de.

Zahlreiche aktuelle Informationen bietet die Homepage der BG RCI unter www.bgrci.de/praevention und fachwissen.bgrci.de.

Detaillinformationen zu Schriften und Medien der BG RCI sowie Bestellung siehe medienshop.bgrci.de

Zahlreiche Merkblätter, Anhänge und Vordrucke aus Merkblättern und DGUV Regeln sowie ergänzende Arbeitshilfen stehen im Downloadcenter Prävention unter downloadcenter.bgrci.de kostenfrei zur Verfügung.

Unfallverhütungsvorschriften, DGUV Regeln, DGUV Grundsätze und viele DGUV Informationen sind auf der Homepage der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) unter publikationen.dguv.de zu finden.

1. Veröffentlichungen der Europäischen Union im Amtsblatt der Europäischen Union

Bezugsquelle: Bundesanzeiger-Verlag, Postfach 10 05 34, 50445 Köln,
Freier Download unter <http://eur-lex.europa.eu/de/index.htm>

- (1) Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission
- (2) Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006
- (3) Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über Lebensmittelzusatzstoffe
- (4) Richtlinie 2014/68/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Mai 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung von Druckgeräten auf dem Markt

2. Gesetze, Verordnungen, Technische Regeln

Bezugsquellen: Buchhandel

Freier Download unter www.gesetze-im-internet.de (Gesetze und Verordnungen) bzw. www.baua.de (Technische Regeln)

- (5) Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz – ArbSchG)

- (6) Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV) mit Technischen Regeln für Arbeitsstätten (ASR), insbesondere:
- (7) ASR A1.3: Sicherheits- und Gesundheitsschutzkennzeichnung
- (8) ASR A2.2: Maßnahmen gegen Brände
- (9) ASR A2.3: Fluchtwege und Notausgänge, Flucht- und Rettungsplan
- (10) ASR A3.6: Lüftung
- (11) Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) mit Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS), insbesondere:
- (12) TRGS 201: Einstufung und Kennzeichnung bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen
- (13) TRGS 400: Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen
- (14) TRGS 402: Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition
- (15) TRGS 407: Tätigkeiten mit Gasen – Gefährdungsbeurteilung
- (16) TRGS 460: Vorgehensweise zur Ermittlung des Standes der Technik
- (17) TRGS 500: Schutzmaßnahmen
- (18) TRGS 507: Oberflächenbehandlung in Räumen und Behältern
- (19) TRGS 510: Lagerung von Gefahrstoffen in ortsbeweglichen Behältern
- (20) TRGS 521: Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten mit alter Mineralwolle
- (21) TRGS 526: Laboratorien
- (22) TRGS 555: Betriebsanweisung und Information der Beschäftigten
- (23) TRGS 600: Substitution
- (24) TRGS 720: Gefährliche explosionsfähige Gemische – Allgemeines
- (25) TRGS 721: Gefährliche explosionsfähige Gemische – Beurteilung der Explosionsgefährdung
- (26) TRGS 722: Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Gemische
- (27) TRGS 723: Gefährliche explosionsfähige Gemische – Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Gemische

- (28) TRGS 724: Gefährliche explosionsfähige Gemische – Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes, welche die Auswirkung einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß beschränken
- (29) TRGS 725: Gefährliche, explosionsfähige Gemische – Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen im Rahmen von Explosionsschutzmaßnahmen
- (30) TRGS 727: Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen
- (31) TRGS 745/TRBS 3145: Ortsbewegliche Druckgasbehälter – Füllen, Bereithalten, innerbetriebliche Beförderung, Entleeren
- (32) TRGS 746/TRBS 3146: Ortsfeste Druckanlagen für Gase
- (33) TRGS 800: Brandschutzmaßnahmen
- (34) Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV) mit Technischen Regeln für Betriebssicherheit (TRBS), insbesondere
- (35) TRBS 1111: Gefährdungsbeurteilung
- (36) TRBS 1112: Instandhaltung
- (37) TRBS 1112 Teil 1: Explosionsgefährdungen bei und durch Instandhaltungsarbeiten – Beurteilungen und Schutzmaßnahmen
- (38) TRBS 1115: Sicherheitsrelevante Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen
- (39) TRBS 1116: Qualifikation, Unterweisung und Beauftragung von Beschäftigten für die sichere Verwendung von Arbeitsmitteln
- (40) TRBS 1201: Prüfungen von Arbeitsmitteln und überwachungsbedürftigen Anlagen
- (41) TRBS 1201 Teil 2: Prüfungen und Kontrollen bei Gefährdungen durch Dampf und Druck
- (42) TRBS 1201 Teil 3: Instandsetzung an Geräten, Schutzsystemen, Sicherheits-, Kontroll- und Regelvorrichtungen im Sinne der Richtlinie 2014/34/EU
- (43) TRBS 1203: Zur Prüfung befähigte Personen
- (44) TRBS 2141: Gefährdungen durch Dampf und Druck
- (45) TRBS 3145/TRGS 745: Ortsbewegliche Druckgasbehälter – Füllen, Bereithalten, innerbetriebliche Beförderung, Entleeren
- (46) TRBS 3146/TRGS 746: Ortsfeste Druckanlagen für Gase
- (47) Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Chemikaliengesetz – ChemG)

- (48) Gesetz zum Schutz der arbeitenden Jugend (Jugendarbeitsschutzgesetz – JArbSchG)
- (49) Gesetz zum Schutz von Müttern bei der Arbeit, in der Ausbildung und im Studium (Mutterschutzgesetz – MuSchG)
- (50) Regel des Ausschusses für Mutterschutz, Nr. MuSchR 10.1.01, 2023: Gefährdungsbeurteilung
- (51) Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) mit hierzu erlassenen Verordnungen, insbesondere
- (52) Zweite Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Emissionsbegrenzung von leichtflüchtigen halogenierten organischen Verbindungen – 2. BImSchV)
- (53) Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Störfall-Verordnung – 12. BImSchV)
- (54) 31. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Verwendung organischer Lösemittel in bestimmten Anlagen – 31. BImSchV)
- (55) Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung – AVV)
- (56) Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG)
- (57) Elfte Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (Explosionsschutzprodukteverordnung – 11. ProdSV)
- (58) Muster-Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau (Muster-Industriebau-Richtlinie – MIndBauRL)
- (59) Verordnung über die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße, mit Eisenbahnen und auf Binnengewässern (Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt – GGVSEB)
- (60) Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route (ADR); deutscher Titel: Europäische Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße
- (61) Règlement International concernant le transport des marchandises Dangereuses chemins de fer (RID); deutscher Titel: Internationale Ordnung für die Beförderung gefährlicher Güter mit der Eisenbahn
- (62) Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voie de navigation intérieure Rhin; deutscher Titel: Europäisches Übereinkommen über die Beförderung gefährlicher Güter auf dem Rhein
- (63) Verordnung über die Beförderung gefährlicher Güter mit Seeschiffen (Gefahrgutverordnung See – GGVSee)
- (64) International Maritime Dangerous Goods Code (IMDG-Code); deutscher Titel: Internationaler Code für die Beförderung gefährlicher Güter mit Seeschiffen

3. Unfallverhütungsvorschriften (DGUV Vorschriften), DGUV Regeln, DGUV Grundsätze, DGUV Informationen, Merkblätter und sonstige Schriften der Unfallversicherungsträger

Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie, Postfach 10 14 80, 69004 Heidelberg,
medienshop.bgrci.de oder Jedermann-Verlag GmbH, Postfach 10 31 40, 69021 Heidelberg,
www.jedermann.de, verkauf@jedermann.de

Mitgliedsbetriebe der BG RCI können die folgenden Schriften (bis zur nächsten Bezugsquellenangabe) in einer der Betriebsgröße angemessenen Anzahl kostenlos beziehen.

- (65) DGUV Vorschrift 1: Grundsätze der Prävention
- (66) DGUV Information 213-850: Sicheres Arbeiten in Laboratorien
- (67) Merkblatt A 008: Persönliche Schutzausrüstungen
- (68) Merkblatt A 009: Zusammenarbeit im Betrieb – Sicherheitstechnisches Koordinieren
- (69) DGUV Information 213-051: Betriebsanweisungen für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen (Merkblatt A 010)
- (70) DGUV Information 213-052: Beförderung gefährlicher Güter (Merkblatt A 013)
- (71) DGUV Information 213-012: Gefahrgutbeförderung in Pkw und in Kleintransportern (Merkblatt A 014)
- (72) Merkblatt A 016: Gefährdungsbeurteilung – Sieben Schritte zum Ziel
- (73) Merkblatt A 017: Gefährdungsbeurteilung – Gefährdungskatalog
- (74) Merkblatt A 017-1: Verantwortung der Führungskräfte im Arbeitsschutz–Gefährdungsorientierte Schlüsselfragen zum Merkblatt A 017
- (75) Merkblatt A 023: Hand- und Hautschutz
- (76) Merkblatt A 026: Gefährdungsorientiertes Unterweisen – Medien- und Gestaltungsvorschläge nach Gefährdungsfaktoren
- (77) Merkblatt A 027: Mutterschutz im Betrieb
- (78) Merkblatt A 039-1: Big Points im Arbeitsschutz – 10 Punkte, auf die Sie als Führungskraft unbedingt achten müssen
- (79) kurz & bündig KB 016: Sauerstoff – Eigenschaften, Gefährdungen und sicherer Umgang
- (80) kurz & bündig KB 023: Tätigkeiten mit Gefahrstoffen – Einführung, Grundpflichten, Gefährdungsbeurteilung
- (81) DGUV Information 213-070: Säuren & Laugen (Merkblatt M 004)

- (82) DGUV Information 213-072: Lösemittel (Merkblatt M 017)
- (83) Merkblatt M 020: Chlor
- (84) DGUV Information 213-074: Oxygen (Merkblatt M 034e)
- (85) DGUV Information 213-075: Liste der nichtmetallischen Materialien zu Merkblatt M 034 „Sauerstoff“ (DGUV Information 213-073)/List of nonmetallic materials supporting document to code of practice M 034e „Oxygen“ (Merkblatt M 034-1)
- (86) Merkblatt M 040: Chlorkohlenwasserstoffe
- (87) DGUV Information 213-079: Tätigkeiten mit Gefahrstoffen (Merkblatt M 050)
- (88) DGUV Information 213-080: Arbeitsschutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen (Merkblatt M 053)
- (89) DGUV Information 213-084: Lagerung von Gefahrstoffen (Merkblatt M 062)
- (90) DGUV Information 213-085: Lagerung von Gefahrstoffen – Antworten auf häufig gestellte Fragen (Merkblatt M 063)
- (91) DGUV Information 213-053: Schlauchleitungen – Sicherer Einsatz (Merkblatt T 002)
- (92) DGUV Information 213-055: Retten aus Behältern, Silos und engen Räumen (Merkblatt T 010)
- (93) DGUV Information 213-056: Gaswarneinrichtungen für toxische Gase/Dämpfe und Sauerstoff: Einsatz und Betrieb (Merkblatt T 021)
- (94) DGUV Information 213-062: Druckprüfungen von Druckbehältern und Rohrleitungen – Flüssigkeitsdruckprüfungen, Gasdruckprüfungen (Merkblatt T 039)
- (95) Praxishilfe-Ordner: Arbeitsschutz mit System
- (96) Praxishilfe-Ordner: Aus Arbeitsunfällen lernen
- (97) Sicherheitskurzgespräche
 - SKG 004: Umgang mit Druckgasflaschen im Labor
 - SKG 005: Umgang mit Druckgasflaschen im Betrieb
 - SKG 006: Umgang mit Druckgasflaschen in Betriebslagern
 - SKG 007: Verwendung von Sauerstoff
 - SKG 008: Erstickungsgefahr durch Gase
 - SKG 009: Erste Hilfe

Bezugsquelle: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V., Glinkastraße 40, 10117 Berlin
Freier Download unter publikationen.dguv.de

- (98) DGUV Vorschrift 1: Grundsätze der Prävention
-

- (99) DGUV Regel 109-002: Arbeitsplatzlüftung – Lufttechnische Maßnahmen
- (100) DGUV Regel 109-010: Einrichtungen zum Reinigen von Werkstücken mit Lösemitteln
- (101) DGUV Regel 109-601: Branche Erzeugung von Roheisen und Stahl
- (102) DGUV Regel 112-189: Benutzung von Schutzkleidung
- (103) DGUV Regel 112-190: Benutzung von Atemschutzgeräten
- (104) DGUV Regel 112-192: Benutzung von Augen- und Gesichtsschutz
- (105) DGUV Regel 112-195: Benutzung von Schutzhandschuhen
- (106) DGUV Regel 113-001: Explosionsschutz-Regeln (EX-RL)
- (107) DGUV Regel 113-004: Arbeiten in Behältern, Silos und engen Räumen
- (108) DGUV Information 204-001/-003: Aushang „Erste Hilfe“
- (109) DGUV Information 204-006: Anleitung zur Ersten Hilfe
- (110) DGUV Information 205-001: Arbeitssicherheit durch vorbeugenden Brandschutz
- (111) DGUV Information 205-006: Arbeiten in sauerstoffreduzierter Atmosphäre
- (112) DGUV Grundsatz 313-002: Auswahl, Ausbildung und Beauftragung von Fachkundigen zum Freimessen nach DGUV Regel 113-004
- (113) DGUV Grundsatz 313-003: Grundanforderungen an spezifische Fortbildungsmaßnahmen als Bestandteil der Fachkunde zur Durchführung der Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen

4. Normen

Bezugsquelle: Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, www.beuth.de

- (114) AD 2000-Merkblatt-Reihe W, insbesondere
AD 2000-Merkblatt W 10:2023-05: Werkstoffe für tiefe Temperaturen – Eisenwerkstoffe
- (115) ASTM G 124:2018: Bestimmung des Verbrennungsverhaltens von metallischen Werkstoffen in sauerstoffangereicherten Atmosphären
- (116) DIN 4102-1:1998-05: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen
- (117) DIN 4102-4:2016-05: Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen – Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile

- (118) DIN 4844-2:2021-11: Graphische Symbole – Sicherheitsfarben und Sicherheitszeichen – Teil 2: Registrierte Sicherheitszeichen
- (119) DIN 8541-3:2022-02: Schläuche für Schweißen, Schneiden und verwandte Verfahren – Teil 3; Sauerstoffschläuche mit und ohne Ummantelung für besondere Anforderungen; Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung
- (120) DIN EN 166:2002-04: Persönlicher Augenschutz
- (121) DIN EN 1797:2002-02: Kryo-Behälter – Verträglichkeit von Gas/Werkstoffen
- (122) DIN EN 14470-2:2006-11: Feuerwiderstandsfähige Lagerschränke – Teil 2: Sicherheitsschränke für Druckgasflaschen
- (123) DIN EN ISO 10156:2017-12: Gasflaschen – Gase und Gasgemische – Bestimmung der Brennbarkeit und des Oxidationsvermögens zur Auswahl von Ventilausgängen
- (124) DIN EN ISO 11114-1:2017-05: Gasflaschen – Verträglichkeit von Werkstoffen für Gasflaschen und Ventile mit den in Berührung kommenden Gasen – Teil 1: Metallische Werkstoffe
- (125) DIN EN ISO 11611:2015-11: Schutzkleidung für Schweißen und verwandte Verfahren
- (126) DIN EN ISO 11612:2015-11: Schutzkleidung – Kleidung zum Schutz gegen Hitze und Flammen – Mindestleistungsanforderungen
- (127) DIN EN ISO 23208:2020-11: Kryo-Behälter – Reinheit für den tiefkalten Betrieb
- (128) DIN EN ISO 24490:2016-08: Kryo-Behälter – Pumpen für den Kryo-Betrieb

5. Andere Schriften

Bezugsquelle: Buchhandel

- (129) Ullmanns Encyclopedia of Industrial Chemistry, Volume A 18, 1991, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, ISBN 3-527-20118-1
- (130) Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, Bd. 20, 1981, Verlag Chemie, Weinheim, ISBN 3-527-20020-7
- (131) M. A. Benning (Ed.), Flammability and Sensitivity of Materials in Oxygen-Enriched Atmospheres, Second Volume, ASTM STP 910, S. 204–211 (1986), American Society for Testing and Materials (ASTM)
- (132) CRC Handbook of Chemistry and Physics, 96. Edition, 2015, CRC Press, Boca Raton, ISBN 978-1-4822-6096-0
- (133) AGI Arbeitsblatt Q118: Dämmarbeiten an Luftzerlegungsanlagen; Arbeitsgemeinschaft Industriebau e. V. (AGI), Neuhofstraße 9, 64625 Bensheim, www.agi-online.de

- (134) DVS-Merkblatt 0221: Gasversorgungsanlagen zum Schweißen, Schneiden und verwandter Verfahren – Empfehlungen für Prüffristen und die Gefährdungsbeurteilung; DVS – Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V.; Aachener Straße 172, 40223 Düsseldorf, www.die-verbindungs-spezialisten.de
- (135) W. Wegener, Untersuchungen über die sicherheitstechnisch zulässige Strömungsgeschwindigkeit von Sauerstoff in Stahlrohrleitungen, Stahl und Eisen, 84, 1964

6. Online-Datenbanken und Informationen im Internet

- (136) Gefahrstoffinformationssystem Chemikalien GisChem der BG RCI und der BGHM unter www.gischem.de, mit verschiedenen Modulen, z. B. „GisChem-Interaktiv“ zur Erstellung eigener Betriebsanweisungen, „Gefahrstoffverzeichnis“ oder „Gemischrechner“ zur Einstufung von Gemischen nach der CLP-Verordnung.
- (137) Informationsportal „Gase unter Druck“ der BG RCI, www.bgrci.de/gase-unter-druck
- (138) Downloadcenter der BG RCI downloadcenter.bgrci.de
- (139) Explosionsschutzportal der BG RCI, exinfo.de
- (140) GefDok KMU, eine Software zur Dokumentation der Gefährdungsbeurteilung in kleinen und mittleren Betrieben, freier Download unter downloadcenter.bgrci.de
- (141) GESTIS – Gefahrstoffinformationssystem der DGUV, www.dguv.de/ifa/GESTIS
- (142) Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik lasi-info.com
- (143) Industriegaseverband e. V. (IGV), Französische Straße 8, 10117 Berlin www.industriegaseverband.de:
Merkblätter:
- Sauerstoffanreicherung
 - Umgang mit Sauerstoff im medizinischen Bereich
 - Richtiges Verhalten bei Austritt von Sauerstoff oder Stickstoff aus nicht kennzeichnungspflichtigen Gefahrguttransporten
- (144) European Industrial Gases Association, Avenue des Arts 3-5, B-1210 Brüssel, www.eiga.eu → Publications → EIGA Documents; insbesondere:
- (145) Doc 10/17: Reciprocating compressors for oxygen service. Code of practice
- (146) Doc 13/20: Oxygen pipeline and piping systems
- (147) Doc 27/23: Centrifugal compressors for oxygen service
- (148) Doc 33/18: Cleaning of equipment for oxygen service.
- (149) Doc 65/20: Safe operation of reboilers/condensers in air separation units

- (150) Doc 133/22: Cryogenic vaporisation systems – prevention of brittle fracture of equipment and piping
- (151) Doc 148/19: Stationary, electric-motor-driven, centrifugal liquid oxygen pumps
- (152) Doc 154/16: Safe location of oxygen and inert gas vents
- (153) Doc 159/21: Reciprocating cryogenic pumps and pump installations for oxygen, argon, and nitrogen
- (154) E-Learning „Sauerstoff“ <https://www.eiga.eu/elearning-courses/oxygen-elearning-german-course/>
- (155) European Burns Association (EBA), www.euroburn.org
- (156) American Burn Association (ABA), www.ameriburn.org
- (157) International Society for Burn Injuries (ISBI), www.worldburn.org
- (158) Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Unter den Eichen 87, 12205 Berlin, www.bam.de

Bildnachweis

Die in dieser Schrift verwendeten Bilder dienen nur der Veranschaulichung. Eine Produktempfehlung wird damit ausdrücklich nicht beabsichtigt.

Abbildungen wurden freundlicherweise zur Verfügung gestellt von:

Titelbild:

AIR LIQUIDE Deutschland GmbH
Hans-Günther-Sohl Straße 5
40235 Düsseldorf

Abbildung 1:

Messer Industriegase GmbH
Messer-Platz 1
65812 Bad Soden

Ausgabe 6/2024 (Überarbeitung der Ausgabe 9/2018)

Diese Schrift können Sie über den Medienshop unter medienshop.bgrci.de beziehen.

Haben Sie zu dieser Schrift Fragen, Anregungen, Kritik? Dann nehmen Sie bitte mit uns Kontakt auf.

- Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie
Prävention, Grundsatzfragen und Information, Medien
Postfach 10 14 80, 69004 Heidelberg
- E-Mail: medien@bgrci.de
- Kontaktformular: www.bgrci.de/kontakt-schriften