Der Umgang mit Sauerstoff und Prozeduren für Gas Blending

ANDI`s „**Certified Gas Blender**“ Lehrbuch

von

Edward A. Betts

ANDI International

Der Umgang mit Sauerstoff und Prozeduren für Gas Blending

von

Edward A. Betts

Text Buch Nummer # -

Produktionsdatum - September 20, 2000

Vorwort

Als Dick Rutkowski und ich die Nitrox Technologie ins Sporttauchen einführte existierten keine Standards und Prozeduren bezüglich dieses Themas. Der Einsatz von Helium im Technical Diving war eine zusätzliche Komplikation. Deshalb war hier eindeutig ein Bedarf vorhanden. Ich schrieb die ersten Lehrbücher und Texte für Gas Blending und entwickelte ein Format für Prozeduren bezüglich des Mischen von Gasen, welches nun weltweit praktiziert wird. Obwohl jede Ausbildungsorganisation jetzt einen " Nitrox Kurs" in Programm hat, gab es auch 1999 nur wenige die Gas Blender und Service Techniker Materialien hatten, um ihre Praktiken und Prozeduren zu stützen. Dieses Material von ANDI war das ***einzige** standardisierte Format in der Industrie seit mehreren Jahren* und die Basis für einige folgende Programme..

Es war hier niemals meine Absicht als Messias oder eigene Standards aufzustellen, da dies nicht notwendig war. Diese Standards existieren bereits seit Jahrzehnten. I führte nur einige spezifische Mittel und Werkzeuge ein, welche bis zu diesem Datum in unser Industrie nicht existiert hatten. Ich hätte sicherlich ein anderes Vorwort geschrieben, wäre ich für diese Praktiken nicht so angegriffen worden.

Obwohl meine Intentionen falsch verstanden wurden oder von meinen Kollegen und früheren Partnern absichtlich falsch interpretiert wurden, werden genau diese Praktiken und Prozeduren jetzt aus Sicherheitsgründen weltweit in der Industrie verwendet.

"Danke" an alle Leser für ihr Interesse in dieses Programm.

Edward A. Betts,
Executive Director, ANDI International

Inhaltsangabe

KAPITEL 4

ÜBER DEN AUTOR

EDWARD A. BETTS

Ed Betts gründete American Nitrox Divers International, Ltd. (ANDI) im Jänner 1988. Er ist Präsident von ANDI und hauptsächlicher Verfasser sämtlicher ANDI Ausbildungsprogramme. Ed ist Geschäftsführer des Island Scuba Centers Inc. (ANDI # 1), in Freeport, New York, gegründet 1968, der ältesten Tauchbasis von Long Island und eines der Ersten "high tech" dive Center weltweit.

Ed hat umfassende Erfahrung als Ingenieur, er entwickelt und installiert spezielle Füllstationen. Er hat unter anderem bei der Entwicklung des Sikorsky CH-53-A Helikopters and und dem Lear Jet Enteisungs und Anti-Vereisungssystem mitgearbeitet. Zwischen 1984 und 1987 konstruierte, produzierte und installierte er vor Ort, ein Hochdruckverteilersystem für ultratrockene und ultrareine Gase, das von der Volksrepublik China in deren hochtechnischen (high-tech) Raumfahrtprogramm benötigt wurde. Das Projekt umfaßte auch die Einschulung des technischen Personals, das 1986 in den USA durchgeführt wurde. Ed ist oft als Berater für die Entwicklung von Füllstationen und neuen Tauchprodukten tätig.

Ed's Tauchkarriere begann 1963 und beinhaltet eine 10 jährige Erfahrung als Kapitäns eines Charter Bootes und eine Lizenz für Berge- und Forschungsunternehmen. Mit über 25 Jahren Ausbildungserfahrung ist er heute Tauchlehrer von: NAUI (# 3202), PADI (# 3632), NASE und NASDS. Er ist außerdem NASDS Open Water Instructor Trainer # 9, IAND Instructor Trainer # 2, NASE Instructor Trainer # 50, ANDI Instructor Trainer # 1, und hat weltweit zahlreiche Ausbildungsprogramme gestaltet und geleitet.

Ed hat einige der weltbesten Tauchlehrer ausgebildet und hat selber mehr als 3200 Schüler zertifiziert. Da er einer der Ersten war, sowohl Sporttaucher als auch Technical (Tri-Mix) Diver auszubilden, hat er alternative Gasgemische in vielen Gebieten neu eingeführt. Heute arbeitet er daran, dasselbe mit geschlossenen Kreislaufgeräten zu erreichen.

Ed lebt zur Zeit mit seiner Frau Linda und seiner Familie auf Long Island NY.

Danksagungen

ANDI International und Ich schulden den folgenden Personen und Firmen für ihre Hilfe und ihren Support zur Entstehung dieses Lehrbuchs unseren Dank:

Tony Zimos, ITD #03 und Chuck Tongren IT # 61	Für ihre Überarbeitung und ihre Beiträge.
Harry Wenngatz, ITD #6	Für seine Hilfe bei der Überarbeitung und den Prüfungsfragen.
Charlie Johnson, ITD #7	Charlie hat viele Stunden auf der Suche nach Referenzen verbracht.
Glenn Butler, P.E.	Für das teilen von Erfahrungen und für seine Referenzen. Am Beginn der Ära "Nitrox für Sporttaucher" war er einer der Ersten mit seiner Unterstützung.
Praxair, Inc., Linde Division Tonawanda, New York, USA	Als einer der weltweit größten Erzeuger und Vertreiber von Sauerstoff ein Dank für ihre Zeit und Mitarbeit. Diese Firma teilte gerne viele Referenzen und viele ihrer Prozeduren mit uns.
Litton Life Support Davenport, Iowa, USA	Für ihre Prozeduren. LLS hatte auch persönliches Interesse die industrielle Vereinigung DEMA auszubilden und zu schulen.
The Swagelok Companies Solon, Ohio, USA	Für ihre Prozeduren, ihre Empfehlungen für den Umgang mit Sauerstoff und für viele Referenzen.
Trace Analytics, Inc. Austin, Texas, USA	Für ihre Prozeduren.

Kurs Überblick

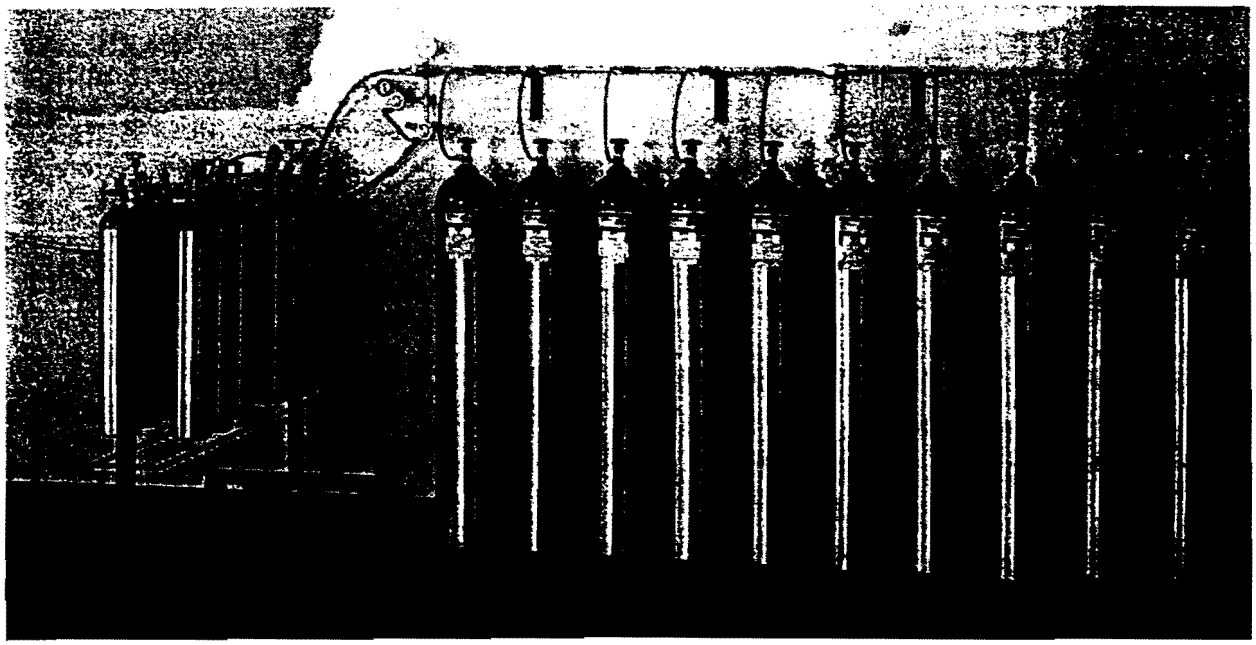
Der Zweck dieses Kurses liegt darin, qualifizierte technisch geschulte Personen mit den Gefahren und Prozeduren im Umgang mit reinem Sauerstoff sowie mit Sauerstoff angereicherten Luftgemischen vertraut zu machen. Man geht dabei davon aus, daß der Umgang mit Kompressoren sowie Hochdrucksystemen den Teilnehmern bereits vertraut ist, oder er von einer ANDI Facility empfohlen wird, bei der er diese Erfahrung sammeln kann. Ansonsten wird die hier vermittelte Information viel zu theoretisch, sollte das befüllen von Flaschen etc noch nie gemacht worden sein.
Die erforderliche Sorgfalt für richtige Praktiken und Prozeduren für die Herstellung von Atemgasen, sowie die erforderliche Reinheit der Atemgase werden hier vermittelt. Du wirst zusätzlich in der Lage sein, folgende Themen zu beherrschen:

- **Korrekte Prozeduren im Umgang mit Sauerstoff**
- **Erforderliche Reinheit der Atemgase**
- **Prozeduren zur Erzeugung von Oxygen-Enriched Air**
- **Mathematische Beziehungen des Partialdrucks**
- **Prozeduren zur Befüllung mit Sauerstoff**
- **Unterschiedliche Optionen für das Equipment**

Dieses Programm soll den Betreiber einer Füllstation mit der erforderlichen Information versorgen um die benötigten Gase gut und sicher erzeugen zu können. Es ist die Intention von ANDI hier als Botschafter zu dienen, und nicht als "Macher" von Standards, da die hier beschriebenen Praktiken und Prozeduren schon seit Jahrzehnten existieren. Diese sind in vielen Ländern sogar Gesetz, und werden von der Industrie für Gase schon lange weltweit eingesetzt.

Kurs Standards

Obwohl dies generell ein sehr theoretischer Kurs ist, sollte wenn möglich eine praktische Anwendung durchgeführt werden. Dies muß immer erfolgen, wenn die Möglichkeit dafür besteht. Theorie inklusive Abschlußtest dauert in etwa 6 - 8 Stunden. Das lesen des Buches vor dem Kurs ist eine große Hilfe, für den Schüler wie für den Instruktor.



Sauerstoff - Füllsystem

Dieses Sauerstoff Füllsystem kann durch ersetzen der verbrauchten Flaschen mit neuen Sauerstoffflaschen betrieben werden. Diese können im Kaskaden Stil betrieben werden. Die Sauerstoffflaschen sowie die kleineren Flaschen können auch durch flüssigen Sauerstoff mittels einer sauerstoffverträglichen Druckpumpe wieder aufgefüllt werden. Dies ist ein Beispiel eines Systems wie es von ANDI betrieben wird.

Kapitel 1
Der Umgang mit Sauerstoff und damit verbundene Gefahren

Überblick

Du wirst hier die physikalischen Eigenschaften von Sauerstoff kennenlernen, sowie eine Erklärung dafür erhalten wie Sauerstoff als Gas sich von Luft unterscheidet.

Nach diesem Kapitel wirst Du in der Lage sein die physikalischen Eigenschaften des Sauerstoffs zu erklären, sowie seine Reaktivität zu beschreiben. Weiters wirst Du die Reaktionen mit Sauerstoff verstehen, sowie erklären können, warum eine Reinigung für Sauerstoff erfolgen muß.

Sauerstoff

Unter normalen Bedingungen ist Sauerstoff ein farbloses, geruchloses, und geschmackloses Gas. Es umgibt uns und wird für unser überleben benötigt. Es ist das meist verbreitete Element auf der Erde. 55 % unser Erdkruste besteht aus Sauerstoff oder seinen Komponenten. Wasser ist eine Verbindung von Sauerstoff und Wasserstoff. Als freies Element kommt Sauerstoff mit etwa 21 % in unser Atmosphäre vor. Meistens ist Sauerstoff das Resultat der Photosynthese, ein Prozeß bei dem Pflanzen und Plankton Kohlendioxid und Wasser in Kohlenhydrate und Sauerstoff umwandeln. Sauerstoff kommt normalerweise in unserer Luft als diatomisches Molekül vor, deshalb auch der Ausdruck O_2. Ozon (O_3) entsteht natürlich und mechanisch indem eine starke elektrische Ladung durch Sauerstoff Moleküle gelenkt wird. Eine andere Form des Sauerstoffs ist die monoatomische Form "O".Diese Moleküle werden auch als freie Radikale bezeichnet. Sie sind instabil und das reaktivste aller natürlich vorkommenden Substanzen. Trotz seiner harmlosen Darstellung kann Sauerstoff sehr gefährlich werden.

Generelle Eigenschaften

Sauerstoff ist für das Leben von Tieren und Pflanzen unbedingt erforderlich. Sauerstoff ist ein sehr reaktives Element. Er reagiert direkt mit den meisten Substanzen, er unterstützt die Verbrennung, verursacht Rost bei Eisen, und korrodiert die meisten Metalle. Wenn Sauerstoff chemisch mit einer anderen Substanz reagiert, so nennt man diesen Prozeß ***Oxidation***. Langsame Reaktionen sind bei vielen uns bekannten Prozessen anzutreffen: das rosten von Metallen, das vermodern von Holz, das aushärten von Farbe, das reifen von Früchten und vieles mehr. Die Energie zur Erhaltung des Lebens wird durch die langsame Oxidation der Nahrung in unserem Körper erzeugt, wobei der Sauerstoff durch die Lunge eingeatmet wird, und durch den Blutkreislauf transportiert wird. Schnelle Oxidation mit der Freisetzung von Hitze und Licht entsteht durch Verbrennung.

Obwohl reiner Sauerstoff nicht brennt, ***wird der Flammpunkt mit steigendem Sauerstoffpartialdruck*** im Vergleich zu Luft ***herabgesetzt***. Bei normaler Temperatur und normalen Druck reagieren die meisten Metall eher langsam mit Sauerstoff. Wird jedoch Druck und/oder Temperatur beschleunigt sich diese Reaktion. Ein Beispiel dafür ist Stahlwolle. Diese brennt nicht bei normaler Luft, in einer Umgebung mit Sauerstoff erfolgt jedoch eine heftige Verbrennung.

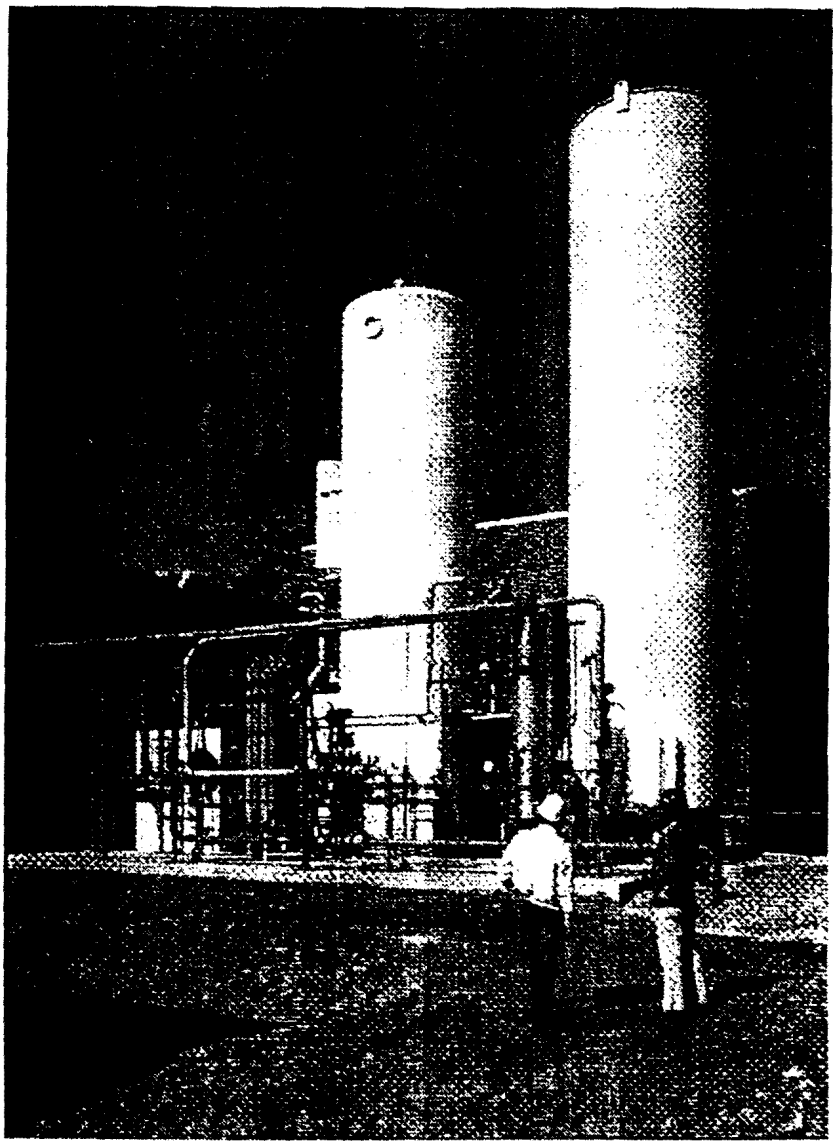
PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN DES SAUERSTOFFS

- **Chemische Formel: O_2**
- **Physikalische Status : Gasförmig @ Standard Temperatur / Druck**
- **Molekular Gewicht: 32.00**
- **Wasserdampfdichte im Vergleich zu Luft: 1.105 @ 25° C**
- **Siedepunkt: -183° C**
- **Gefrierpunkt: -218.4° C**

Sauerstoff wird kommerziell durch die fraktionierte Destillation von flüssiger Luft erzeugt. Dabei werden die unterschiedlichen Siedepunkte von Sauerstoff und Stickstoff (-183° C, -196° C) ausgenützt. Dadurch können Sauerstoff und Stickstoff getrennt werden. Durch genaue Kontrolle der Temperatur können verschiedene Siedepunkte ausgewählt werden. Etwa 14 Billionen Kg. Sauerstoff werden jährlich in den USA erzeugt und verkauft, wobei das Gas in unterschiedlichen Reinheitsgraden, mit oder ohne Edel- und Inertgase erzeugt werden kann. Der Prozeß der fraktionierten Destillation wird weltweit verwendet, da er für die Produktion großer Mengen am günstigsten ist.

Obwohl alleine in den USA mehr als 10 unterschiedliche Grade von Sauerstoff produziert werden, können nur 3 davon zur Produktion von Sauerstoff angereicherten Luftgemischen verwendet werden. Diese sind: medizinischer Sauerstoff, flüssiger Sauerstoff und Sauerstoff für Flugzeuge. [1]

Medizinischer Sauerstoff wird gemäß den Arzneimittelregeln abgefüllt. In den USA ist er nur bis 170 bar erhältlich.[2]



Sauerstoff für Flugzeuge entspricht medizinischem Sauerstoff, ist jedoch trockener, um Vereisung infolge der tiefen Temperatur und dem geringen Druck vorzubeugen..

Flüssiger Sauerstoff (L.O.X.) Wird in speziellen, isolierten Behältern ausgeliefert. Diese sind mit 2 Standard Überdruckventilen ausgestattet 16.5 bar oder 27.6 bar.[3]

---

[1] Compressed Gas Association, Inc. *Handbook of Compressed Gases*. 3rd Edition. Arlington, VA 1989.

[2] Compressed Gas Association, Inc. *Commodity Specification for Oxygen*. CGA - 4.3. Arlington, VA 1988.

[3] Air products and Chemicals, Inc. *Liquid Oxygen*, *Safetygram 1*. Allentown, PA 1989.

Terminologie

Definitionen der Gase	
Gas Gemisch	**Sauerstoffanteil in Volumen**
Luft	**21%**
Sauerstoff angereicherte Luft	**>21% bis 50%**
Sauerstoff Gemische	**>50% bis 95%**
"Reiner" Sauerstoff	**>95% bis 100%**
SafeAir ist mit Sauerstoff angereicherte Luft welche den ANDI Standards entspricht	

Alle diese Werte beziehen sich auf Volumen %.

Der Ausdruck "Nitrox" wurde früher in Bereich des Berufstauchen verwendet, um Stickstoff/Sauerstoff Gemische mit weniger als 21% zu bezeichnen. Heute wird der Begriff "Nitrox" für *jedes* Stickstoff / Sauerstoff Gemisch verwendet. Im Tauchsport wir sowohl "Nitrox" als auch "Sauerstoff-angereicherte Luft verwendet. Dies kann verwirrend sein, und ist auch nicht ganz korrekt, doch für dieses Lehrbuch werden wir dies der Einfachheit halber auch tun. **Bessere Ausdrücke wären: "Enriched-Air Nitrox", oder "EAN".**

Kompatibilität

***Sauerstoff kompatibel**: diese bedeutet, daß sämtliche mit dem Gas in Kontakt kommende Materialien bei den angegebenen Temperatur- und Druckverhältnissen nicht reaktiv sind.*

Diese Definition ist natürlich eine erforderliche Vereinfachung. Unter den richtigen Bedingungen wird so gut wie jedes material mit Sauerstoff reagieren.[4]

Kompatibilität erfordert eine richtige Auswahl der Materialien. Diese müssen für den verwendeten Zweck, sowie für den Einsatz bei welchem sie in Kontakt mit anderen Materialien kommen freigegeben sein. So kann z.B. eine Kohlenstoff Verbindung nicht in einer säurehaltigen Umgebung eingesetzt werden, da sich diese Verbindung schnell

[4] Benning, Ed. *Flammability and Sensitivity of Materials in Oxygen-Enriched Atmospheres* .Vol. 2 STP 910, M.A. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1986.

zersetzt, und Kohlendioxid freisetzt. Bei Kontakt mit Sauerstoff oder EAN, beinhaltet Kompatibilität ***sowohl*** Zündfähigkeit als auch Brennbarkeit. Brennbarkeit bezieht sich auch die Fähigkeit eines Materials zu brennen und darauf wie leicht diese Verbrennung andauert. Zündfähigkeit bezieht sich auch die relative Temperatur bei der sich ein Material entzündet. Papier, Holz, Nylon, Gummi, Stahl und Kupfer können brennen, haben jedoch unterschiedliche Temperaturen, bei denen sie sich entzünden. Dies beruht auf ihren unterschiedlichen physikalischen Charakteristiken. Ihre relative Kompatibilität mit Sauerstoff variiert jedoch beträchtlich. Materialen, welche bei Luft brennen, brennen heftig unter reinem Sauerstoff bei normalen Druck, und explosiv unter Sauerstoff bei hohen Druck. Weiters brennen viele Materialien , die bei Luft nicht brennbar sind unter reinem Sauerstoff, speziell bei erhöhtem Druck. Materialien welche bei Luft gezündet werden können, benötigen merkliche weniger Zündenergie unter reinem Sauerstoff. Die Temperatur spielt dabei eine entscheidende Rolle wie wir noch später sehen werden.

FOLGENDE NICHT EAN / SAUERSTOFF KOMPATIBLE MATERIALIEN WERDEN FÜR TAUCHEQUIPMENT UND HOCHDRUCKSYSTEMEN VERWENDET:

- Buna-N O-Ringe
- Rostige Stahl Verbindungen
- Verzinkte oder kadmierte Verbindungen
- Organische oder auf Petroleum basierte Schmierstoffe
- Sitze oder Mernbranen aus Neopren
- Schmierstoffe auf Silikon-Basis, speziell Silikonfett
- HD Und ND Schläuche

Der Sachverhalt der Kompatibilität ist sowohl für Luft als auch für reinen Sauerstoff eindeutig, jedoch sehr unklar in Bezug auf unterschiedliche EAN Gemische. Da aufgrund der vielen Faktoren und Variablen hier keine klare Aussage getroffen werden kann, muß lt.ANDI SafeAir genauso behandelt werden wie Sauerstoff oder Sauerstoff Gemische.[5] [6]

---

[5] Compressed Gas Association. *Handbook of Compressed Gases* . 2nd Ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1981.

[6] National Fire Protection Association. *Fire Hazards in Oxygen-Enriched Atmospheres*. NFPA Manual 53M-1990. Quincy, MA 1990.

Kompatibilität von Metallen

Metalle für Behälter und Rohrleitungen müssen sorgfältig ausgewählt werden. So sind zum Beispiel unterschiedliche Stahlsorten für viele Anwendungen geeignet, zusätzliche Komponenten wie Service Bedingungen werden jedoch vielleicht den Einsatz anderer Materialien (üblicherweise Kupfer oder Kupferlegierungen) erfordern, da diese Widerstandsfähiger im Hinblick auf Zündung und eine geringere Verbrennungsgeschwindigkeit besitzen.[7]

Alle gebräuchlichen Metalle brennen bei reinem Sauerstoff. Eine bekannte Methode ist das schneiden von Stahl mit einem Sauerstoff-Azetylen Brenner. Der Azetylen Brenner erhitzt den Stahl, anschließend erfolgt die Zündung durch die Einspritzung von Sauerstoff. Der Sauerstoff senkt den Flammpunkt des Stahls, und ermöglicht somit die Zündung, die Erhitzung durch das Azetylen alleine wäre dafür nicht ausreichend. Sogar rostfreier Stahl kann auf diese Art geschnitten werden. Rostfreier Stahl wird normalerweise nicht auf diese Art geschnitten, da er viel schwieriger zu entzünden ist. Aus diesem Grund wird er oftmals in Hochdrucksystemen mit reinem Sauerstoff eingesetzt. Einmal entzündet, brennt er jedoch genau wie Stahl. Deshalb müssen sowohl Stahl als auch rostfreier Stahl sorgfältig ausgewählt werden und das gesamte System richtig konzipiert sein, um ein Feuer zu vermeiden. Ein falscher Aufbau eines Rohrleitungssystem kann deshalb auch zu einer Zündung führen.[8] [9]

Kupfer, Nickel und deren Legierungen haben eine höhere Zündtemperatur, können Hitze besser ableiten, und entwickeln auch bei einem Feuer weniger Hitze als Stahl und Stahllegierungen. Deshalb sind diese schwer zu zünden und selbstlöschend. Kupfer, Bronze und Monel (Nickel-Kupfer Verbindung mit ca. 68% Ni, 30% Cu, Rest Eisen) werden in Sauerstoff-Hochdrucksystemen, und auch für kritische Komponenten in ND-Systemen oftmals verwendet. Die "National Fire Prevention Association (NFPA)" und die "Compressed Gas Association (CGA)" empfehlen Stahl für Vorratssysteme, aber nicht für die Rohrleitungen und deren Verbindungen (diese beinhaltet auch Stahlverbindungen für flexible Schläuche). Weiters werden für Bereiche mit hoher Strömungsgeschwindigkeit oder Umlenkungen welche zu Reibung oder aufprallen von Teilchen führen können sowie anderen kritischen Bereichen wie Ventilen, Öffnungen, Verbindungen von Leitungen Kupfer oder Legierungen welche auf Nickel basieren (Messing und die Legierung 316).

---

[7] American Society for Testing and Materials. *Standard Guide for Evaluating Metals for Oxygen Service*. Pamphlet G94-88. Philadelphia, PA 1988.

[8] American National Standards Institute. *Chemical Plant and Petroleum Refinery Piping*. ANSI B31.3, New York, NY.

[9] Industrial Gas Committee (IGC). *"Loss Prevention Data, Oxygen". Publication de la Soudure Autogene.* Data Sheet 7-52. Paris, 1975.

Für ND- Systeme sind Kupfer und Messing, für HD-Systeme Monel oder rostfreier Stahl am Besten geeignet. Für zusätzliche Information bietet die ASTM G94 ausführliche Information über die Zündung von Metallen unter Sauerstoff, die richtige Auswahl von Metallen sowie praktische Beispiele.

Anschließend eine vereinfachte Liste von verwendeten Metallen und deren relativer Kompatibilität. Die Auflistung erfolgt in einer Reihenfolge von absteigender Kompatibilität.

Sauerstoff-Kompatibilität üblicher Metalle

Mehr Kompatibel	–	**Monel**	(Nickel-Kupfer)
	↑	**Kupfer**	
	↑	**Bronze**	(Kupfer-Zinn)
	↑	**Messing**	(Kupfer-Zink)
	↑	**Rostfreier Stahl**	(300 Serie)
	↑	**Rostfreier Stahl**	(400 Serie)
	↑	**Aluminium**	(Und verschiedene Legierungen)
	↑	**Kohlenstoffstahl**	(für Receiver oder Zylinder)
	↑	**Verzinkter oder kadmierter Stahl**	
Weniger Kompatibel	↑	**Titanium**	

Die Auswahl der Materialien ist kein willkürlicher Prozeß. Die Bedingungen sollten vor der Entscheidung genau analysiert werden. Befrage dazu einen Profi. Verwende niemals ein bestimmtes material, nur weil es leicht verfügbar ist. Beachte, daß die meisten HD-Schläuche Stahl- oder verzinkte Stahlverbindungen haben. Dies alleine kann eine potentielle Gefahr darstellen.[10]

[10] Bamford, L.J., Newton, B. E., Bryan, C. J., Janoff, D. *Ignition of PTFE-lined Flexible Hoses by Rapid Compression with Oxygen.* General Dynamics, Groton CT. 1986

Kompatibilität von nichtmetallischen Werkstoffen

Man kann davon ausgehen, daß alle nichtmetallischen Werkstoffe brennen, unter Sauerstoff brennen sie heftig. Dies beinhaltet Delrin, Nylon, Polyäthylen, Viton, Buna-N und so gut wie alle anderen Polymere und Elastomere welche z.B. in Rohrleitungen als Dichtungen verwendet werden. Da sie sich leichter entflammen formen sie somit den Zünder in der kette welche das System in Brand setzt. Teflon™ und Kel-F ™ sind die einzigen plastischen Werkstoffe welche in Sauerstoff Systemen oftmals verwendet werden. Diese werden als Sitze für Kugelventile, als und als Dichtungen verwendet. Diese Materialien beginnen sich bei 200-300°C und zünden erst bei höherer Temperatur. Die Typen mit höherer Dichte sind deshalb auch kompatibler und die weicheren sollten nur in Systemen bis zu 10 Bar Druck verwendet werden.

Teflon™ Tape wird auch zur Abdichtung von Rohrverbindungen verwendet. In diesem Falle sollte darauf geachtet werden, daß der erste Gewindegang frei bleibt, damit das Tape nicht direkt dem strömenden Gas ausgesetzt wird.

Von großer Bedeutung ist bei nicht metallischen Werkstoffen, daß bei der Verbrennung und bei der Zersetzung toxische Gase durch die Oxidation freigesetzt werden. Dies kann sich auch ohne sichtbares äußeres Feuer ereignen.[11] Teflon™-umwickelte Hochdruckschläuche sind bereits mehrmals davon betroffen worden. Deshalb müssen solche Schläuche mit Verbindungen aus rostfreien Stahl eingesetzt werden, und das System muß richtig konzipiert sein.[10]

Kompatibilität von O-Ringen

Hersteller und Entwickler von O-Ringen waren sehr besorgt über den Einsatz ihrer O-Ringe im Gebrauch mit EAN. Der Buna-Nitrile Typ ist für "unabsichtlichen Einsatz mit Sauerstoff" in vielen Ländern gebilligt, ist aber keine gute Wahl. "Unabsichtlicher Einsatz mit Sauerstoff" bedeutet, daß das Material ohne Absicht in Kontakt mit Sauerstoff gerät. Dies mag dazu führen, daß manche glauben , der kontinuierliche Einsatz diese O-Ringe mit EAN oder Sauerstoff sei ohne Bedenken. Buna-N ist nie die erste Wahl für ein EAN System. Die dichtere Viton Verbindung (ein fluorokarbon) und Äthylen-Propylen sind eine viel bessere Wahl, und besitzen eine längere Lebensdauer in einer Sauerstoff oder EAN Atmosphäre.

---

[11] ASTM . *Standard Guide for Evaluating Nonmetallic Materials for Oxygen Service.* G63-87, ASTM. Philadelphia, PA. 1987.

Die Auswahl von qualitativ hochwertigen O-Ringen ist für eine verläßliche Leistungserbringung der eingesetzten Produkte unerläßlich. Auch die Dichtflächen und deren Oberflächenqualität ist von Bedeutung. Glatte Oberflächen mit gerundeten Vergütungsfehlern sind einfacher zu dichten und verläßlicher als rauhe Oberflächen bei denen Fertigungsfehler relativ scharf und tief sind. Dies liegt daran, daß sich ein O-Ring bei einer glatten Fläche besser anpassen kann. Besonders bei dynamischer Belastung und bei höheren Drücken ist dies wichtig. Weiters wird sich eine rauhe Oberfläche schneller abnützen und somit schneller zum Versagen des Bauteils führen. O-Ring Flächen variieren oftmals stark von Hersteller zu Hersteller.[11] [12] Aus diesem Grund wähle die O-Ringe nicht nach dem Prinzip "er paßt schon" oder "er war günstig" aus. Gefährde niemals die Sicherheit und die Leistungsfähigkeit der Produkte die du wartest, indem Du irgendwelche O-Ringe verwendest.

Die Gerüchte über ein Feuer in einem Spital in Frankreich, welches durch Viton ausgelöst wurde, wurden einem Text entnommen ohne dessen Zusammenhang zu erklären, und sollten den guten Ruf von Viton (über 30 Jahre Sicherheit) nicht gefährden.

Kompatibilität der Schmierstoffe

Die meisten im Tauchsport eingesetzten Kompressoren sind ölgeschmiert, wobei fast ausschließlich synthetisches Öl eingesetzt, im Gegensatz zu Öl welches auf Petroleum Schmierstoffen basiert. Synthetisches Öl wird bevorzugt, da es im Falle einer Kontaminierung weniger Gefahr für den Verbraucher birgt, und diese Öle einen höheren Flammpunkt haben. Dies reduziert die Wahrscheinlichkeit einer CO Bildung. Obwohl eine Reihe unterschiedlicher Produkte auf dem Markt sind, ist keines kompatibel mit EAN oder Sauerstoff. Das Öl kommt in den und ist in Kontakt mit dem Gasstrom. Aus diesem Grund wurden große Anstrengungen unternommen, um den Ölanteil im Endprodukt zu verringern. Halokarbonische Öle und gleiche Arten von fluorokarbonischen Ölen wären kompatibel, da sie jedoch toxisch sind dürfen sie nicht mit dem erzeugten Gas in Kontakt kommen.

Ein weiteres Problem im Hinblick auf die Sicherheit mit Sauerstoff ist die neue Erkenntnis, daß viele der eingesetzten Kompressoren karzinogene erzeugen. Versichere Dich, daß Dein Kompressor nicht zu diesen gehört.

---

[12] Nupro Precision Valves. *"O-RINGS". Technical Bulletin No.2.*, 1987

Für unser Tauchequipment wurde in den letzten dreißig Jahren standardmäßig Silikonfett eingesetzt. Um 1990 führten mehrere Herstelle jedoch eine neue Beurteilung dieses Schmierstoffes durch, da sich die Anforderungen durch die Entwicklung von modernem Equipment drastisch verändert hatte. Ursprünglich wurde es für den Einsatz in Atemgeräten bis zu 170 bar geeignet. Es wurde jedoch als ungeeignet für den Einsatz bei Drücken von 240 bar [13] befunden, da es oxidiert, sich verdickt und viel von seiner Schmierfähigkeit einbüßt. Weiters wurde von Service Technikern häufig farbloses, verhärtetes Silikon in zu wartendem Equipment. Dieser augenscheinliche Oxidationsprozeß könnte mit einem besseren, kompatiblerem Schmierstoff leicht vermieden werden. Deshalb sollten diese Schmierstoffe auch niemals im Zusammenhang mit Sauerstoff verwendet werden.

DuPont's Literatur über Krytox™ Schmierstoffe gibt an, daß diese erfolgreich für den Einsatz mit Sauerstoff getestet wurden. Linde nennt andere Schmierstoffe im Hinblick auf Montagearbeiten: Hooker Fluorolube™, Halocarbon™, 3M Kel-F ™, und Montedison Fomblin™ sind neben anderen fluorokarbon Schmierstoffen alle Sauerstoff kompatibel. Sauerstoff kompatible Schmierstoffe weisen oft andere Eigenschaften als konventionelle Schmierstoffe auf.

Viele Hersteller von Tauchequipment sowie ANDI empfehlen *Lubrication Technology's Christo-Lube M.C.G™* als den bevorzugten Schmierstoff für alle HD Anwendungen. Hersteller wie Beuchat, Oceanic, Pro-Sub und Sherwood verwenden alle Christo-Lube™ bei der Produktion ihrer Produkte für EAN, Sauerstoff und auch für Pressluft.[14] Dieser Schmierstoff ist faktisch inert und besitzt auch bessere Schmiereigenschaften im Vergleich mit anderen Sauerstoff kompatiblen Schmierstoffen. Aus diesem Grund halten auch viele Experten dieses Produkt als das Beste für diesen Einsatzzweck. ANDI hat dieses Produkt seit 1990 unterstützt und hat es als Erster für Dive Center und Service Techniker verfügbar gemacht.

Sauerstoffrein

Einfach definiert bedeutet *"Sauerstoffrein" frei von Verunreinigungen.* Da Sauerstoff mit gewissen Materialien heftig reagieren kann, ist es sehr wichtig, daß diese nicht in Kontakt mit Sauerstoff geraten können.

---

[13] Ingenieure von Sherwood, Scubapro und Oceanic in persönlichen Gesprächen mit E.A. Betts

[14] Christo-Lube wird von *ANDI International* vertrieben.

ÜBLICHE VERUNREINIGUNGEN BEI TAUCHEQUIPMENT:

- **Silikon Fett**
- **Maschinen Öle und Gewinde Schmierstoffe**
- **Lösungs- und Reinigungsmittel**
- **Farbe und Markierungen**
- **Ablagerungen, Grate, Metallspäne**
- **Delaminierungen oder Splitter der Verchromung**
- **Roststaub und andere Metalloxide**
- **Kohlenstaub aus der Filtration**
- **Ruß sowie Staub aus der Luft**
- **Fett oder ölige Fingerabdrücke**
- **Dichtungen von Rohrverbindungen**
- **Seifenwasser für Dichtigkeitsprüfungen**
- **Fusel von Tüchern**

Viele Verunreinigungen können als Zünder für eine violente Reaktion dienen, speziell bei Systemen unter Druck. Sogar bei Kompressoranlagen für Pressluft kann es durch Verschleiß zu Feuer oder zu einer Explosion kommen. So haben zum Beispiel feine Aluminiumpartikel zu solchen Vorfällen geführt. In einem System mit EAN würde dies viel öfter der Fall sein. Durch Verunreinigungen muß nicht immer ein Feuer resultieren.[15] Es könnte auch zu glimmen, verkohlen, glühen oder einer anderen schnellen Oxidation der Verunreinigungen führen. Weiters wären diese Reaktionen oftmals nur schwer feststellbar. Verunreinigung durch Kohlenwasserstoffe ist von besonderer Bedeutung, da die unvollständige Verbrennung fester Kohlenwasserstoffe Kohlenmonoxid produziert. Diese Tatsache, sowie der Fakt das wir hier Wartung für lebensnotwendiges Equipment durchführen, erfordert die Reinigung von allem welches zu Erzeugung toxischer Substanzen in der Lage wäre. O_2- Reinigungsprozeduren erfolgen nicht nur als Vorsichtsmaßnahme, sondern sind unbedingt erforderlich um das Risiko für Mensch und Eigentum zu minimieren.

Man darf nie davon ausgehen, daß ein Produkt Sauerstoff rein ist, es sei denn, dieses ist dafür freigegeben und als solches gekennzeichnet. Viel Verkäufer bieten nun SafeAir kompatibles Equipment an. Die Hersteller haben oft ihre Enttäuschung über die geringen verkauften Stückzahlen angegeben. Dies würde sich ändern, wenn die Käufer korrekt informiert wären. Normale Ausrüstung vom Hersteller ist selten Sauerstoff rein. So muß sie entweder Sauerstoff rein bestellt werden, oder durch einen qualifizierten Techniker gesäubert werden. [16] Dies muß im Einklang mit den Richtlinien des Herstellers erfolgen.

---

[15] National Aeronautics and Space Administration. *Design Guide for High-pressure Systems, NASA 1113.* Washington DC , 1984

[16] Refer to the Appendix for examples of manufacturer policy statements regarding equipment compatibility and suitability with SafeAir and Oxygen.

Eine Komponente könnte Sauerstoff rein sein, jedoch nicht kompatibel oder kompatibel aber nicht rein. So können manche Gummiteile rein sein, jedoch nie kompatibel, ein Teil aus Messing kompatibel, aber verunreinigt.

Sauerstoff Service

Dies bezieht sich auf die Eignung eines bestimmten Produktes für den Einsatz mit Sauerstoff. Um eine Einsatzfähigkeit für Sauerstoff aufzuweisen, müssen **drei Bedingungen** erfüllt werden. Einsatzfähigkeit für Sauerstoff erfordert Sauerstoffreine und Sauerstoffkompatible Komponenten. Zusätzlich müssen diese für den Einsatz mit Sauerstoff entwickelt worden sein.

BEDINGUNGEN FÜR "SAUERSTOFF SERVICE":

1. **SAUERSTOFF-REIN**
2. **SAUERSTOFF-KOMPATIBEL**
3. **DESIGNED / ENTWICKELT FÜR SAUERSTOFF KONTAKT**

Sauerstoff und Sauerstoff Gemische sollten niemals mit Materialien, welche die oben beschriebenen Eigenschaften erfüllen in Berührung kommen. Spezifikationen der Produkte geben immer genaue Parameter für den Einsatzzweck an. So wird zum Beispiel in Anlagen mit medizinischem Sauerstoff Komponenten aus Plastik verwendet. Dies erfordert genaue Einhaltung von Temperatur und Druck, da viele plastische Werkstoffe bei höheren Temperaturen mit Sauerstoff reagieren. Weiters nimmt die Reaktivität von Sauerstoff mit steigender Temperatur und steigendem Partialdruck zu.

Gefahren beim Umgang mit Sauerstoff

Sauerstoff ist ein sehr reaktives Gas. Dies ist besonders im Tauchsport von Bedeutung, da wir hier an den Umgang mit hohen Drücken bei Pressluft gewöhnt sind. Diese Gewöhnung gibt Grund zur Sorge, da sich Luft im Vergleich mit Sauerstoff eigentlich wie ein Inertgas verhält. Der Sauerstoffanteil der Luft wird durch das Inertgas umhüllt und entschärft.

Materialien die bei Luft entzündet werden können, besitzen einen erheblich niedrigeren Flammpunkt bei SafeAir oder Sauerstoffgemischen. Viele dieser Stoffe können durch Reibung (**Reibungshitze**) bei einem Ventilsitz oder durch **adiabatische Kompression** beim raschen einströmen von Sauerstoff unter hohem Druck in ein ND System entzündet werden. [17 18 19]

Adiabatische Kompression kann auftreten wenn Sauerstoff mit einer erheblichen Druckdifferenz in ein ND System, oder einen Behälter strömt. Die Strömungsgeschwindigkeit kann dabei sogar Schallgeschwindigkeit erreichen und ein dramatisches ansteigen der Temperatur bei jeder Stelle die diesen Gasstrom behindert verursachen. Wenn ein Gas bei hoher Geschwindigkeit aufgehalten wird, (z.B. durch eine Verengung oder ein geschlossenes Ventil) steigt die Temperatur durch adiabatische Kompression. Dieses ansteigen der Temperatur erfolgt so rasch, daß keine Hitze verloren geht. Die rasche Temperaturänderung ist ausreichend um bei den meisten Metallen eine Zündung zu verursachen. (Kupfer und seine Legierungen besitzen die höchste Zündtemperatur) Je geringer die Wärmeableitung (Ableitende Fläche und Konduktivität) ist, desto höher wird Temperatur ansteigen. Diese Endtemperatur ist gleichfalls von der Anfangstemperatur des einströmenden Gases abhängig.

Ein Objekt von kleiner Masse, wie ein Grat einer Rohrleitung, oder ein kleines Stück Teflon welches in den Gasstrom gerät kann leicht der Zünder für ein Feuer werden. [20 21] Auch wenn daraus kein Feuer resultiert, so können durch das glimmen oder glühen toxische Gase entstehen., und durch die unvollständige Verbrennung von Verunreinigungen mit Kohlenwasserstoffen entsteht Kohlenmonoxid.

---

[17] National Fire Protection Association. *"Fire Hazards in Oxygen-Enriched Atmospheres"*. NFPA Manual 53M-1990. Quincy, MA 1990.

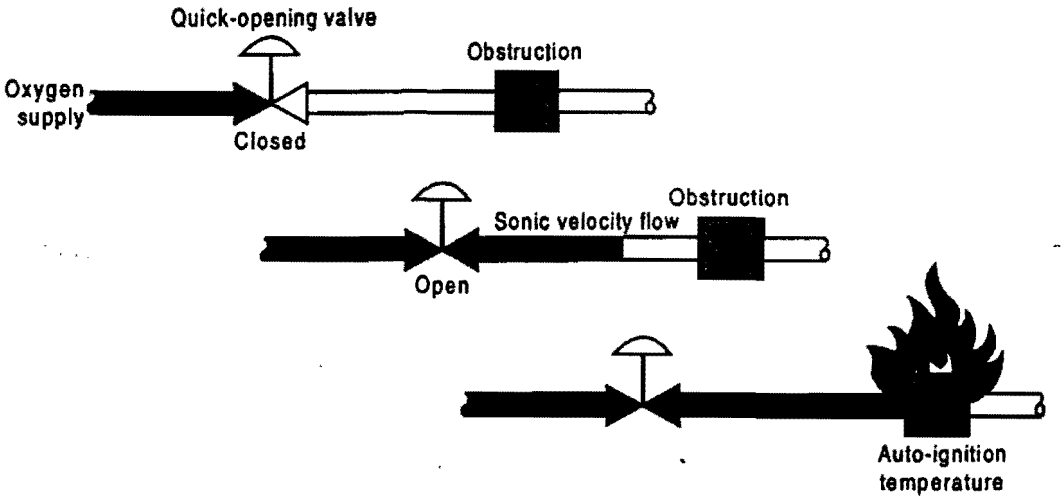
[18] Werley, B.L. *"Fire Hazards in Oxygen Systems"*. ASTM Standards Technology Training Course book, 1st Ed. Philadelphia, PA :ASTM, 1990.

[19] National Fire Protection Association. *"Bulk Oxygen Systems at Consumer Sites"*. NFPA Manual 50-90. Quincy, MA 1990.

[20] ASTM. *"Standard Guide for Designing Systems for Oxygen and Enriched Air Service"*. ASTM - G88 - 90 . Philadelphia, 1990.

[21] Union Carbide Industrial Gases, Inc. *Guidelines for Design and Installation of Industrial Gaseous Oxygen Distribution Piping Systems. L-5110N.* Linde Communications Dept.: Danbury, 1985.

Adiabatic Compression



ADIABATISCHE KOMPRESSION kann auftreten, wenn Sauerstoff mit einer erheblichen Druckdifferenz in ein ND System, oder einen Behälter strömt. Die Strömungsgeschwindigkeit kann dabei sogar Schallgeschwindigkeit erreichen und ein dramatisches ansteigen der Temperatur bei jeder Stelle die diesen Gasstrom behindert verursachen und zur Zündung für ein Feuer führen.

Das ansteigen der Temperatur, kann durch ein stoppen des Gases, oder durch eine Behinderung des Stroms, z.B. durch eine Änderung des Leitungsdurchmesser verursacht werden. Gas unter hohem Druck, welches durch eine Verjüngung strömt verursacht normalerweise einen Temperaturanstieg. [19 20]

Maximal erzielte theoretische Endtemperatur bei adiabatischer Kompression von Sauerstoff (20°C und 1 Bar)

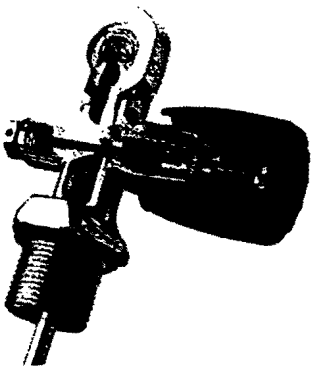
Enddruck (absolut)		Endtemperatur	
psi	bar	°F	°C
100	7	453	234
1000	70	1303	706
2000	140	1688	920
4000	280	2158	1181
5000	350	2330	1287

Wie aus dieser Tabelle leicht ersichtlich ist, ist mehr als genug Hitze vorhanden um eine spontane Verbrennung zu verursachen.

Ein weiterer zu beachtender Parameter bezüglich des Gasflusses ist die **Reibungshitze.** Diese tritt dann auf, wenn das Gas rasch um eine Biegung strömt, wie dies bei Rohrleitungen oder bei einem Ventilsitz erfolgen kann. Achte darauf, daß bei einem Ventil welches für Sauerstoff mit mehr als 10 bar zugelassen ist (USA), das Gas keine engen Biegungen durchströmt, und die Biegungen auf maximal 90 Grad beschränkt sind. Die meisten Ventile im Tauchsport sind aufgrund ihrer scharfen Kanten und der Vielzahl an Richtungsänderungen für Sauerstoff ungeeignet. Die alten "J-valves" waren noch schlechter geeignet.

Vergleich normales Ventil - Sauerstoffventil.

Kugelventile und Abschlußventile sind schnell öffnend (links), es erfordert nur eine 1/4 Drehung, um von geschlossen auf voll offen zu stellen.
Nadelventile hingegen (rechts) können dosiert geöffnet werden, mit feinem Gewinde und weichem Sitz für eine gute Dichtung.



Resonanzen treten dann auf, wenn die Strömungsgeschwindigkeit Schallgeschwindigkeit erreicht.[22] Das daraus resultierende Geräusch beim öffnen eines Ventils ist der Hinweis dafür, daß Gas mit hoher Geschwindigkeit strömt, eine hohe Druckdifferenz herrscht, und deshalb Vibrationen auftreten. Diese Situation kann bis zu einem gewissen Grad durch sorgfältige Konstruktion und Entwicklung des Systems, sowie durch Sorgfalt und Vorsicht beim öffnen von Ventilen vermieden werden.

Falls Resonanzgeräusche auftreten, reduziere sofort die Strömungsgeschwindigkeit. Resonanz verursacht zwei Probleme: **Schäden durch Vibration** und **Partikelaufprall.** Vibrationen können zu Schäden an Rohrleitungen, Federn, Sitzen etc. führen.

Der **Aufprall von Partikeln** stellt jedoch eine weit größere Gefahr dar. Die Vibrationen können zum lösen von Partikeln (Korrosion, Grate, etc) in der Rohrleitung führen. Diese erreichen nahezu die Geschwindigkeit des Gasstroms und können somit mit großer Geschwindigkeit bei Biegungen, Ventilen, Rohrverjüngungen etc. aufprallen. Die Kraft des Aufpralls ist direkt proportional zur Masse des Teilchens. Die kann zu einem Funken und somit zur Zündung führen. Aus diesem Grund wird bei einem gut konzipierten EAN System kein Stahl mit hohem Kohlenstoffanteil oder plattierter Stahl für Verbindungsstücke verwendet. Eine richtige Konzeption des Systems beinhaltet auch eine sorgfältige Auswahl des Materials und der Strömungsparameter.

Laut der Compressed Gas Association, (CGA) muß jedes Gasgemisch mit einem höheren Sauerstoffanteil als 23.5% wie reiner Sauerstoff behandelt werden. Die National Fire Prevention Association-(NFPA) empfiehlt daß eine Reinigung für Sauerstoff bei 23.5% beginnt. Sowohl Catalina als auch Luxfer, welche zu den größten Produzenten von Aluminiumflaschen zählen, gegen an, daß ab einem Anteil von 23.5% alle Flaschen so behandelt werden müssen, als ob sie reinen Sauerstoff enthalten. Linde, PraxAir und Air Liquide (zusammen die weltweit größten Produzenten von Sauerstoff) befolgen alle die 23.5% Regel und dies seit einem Jahrhundert ohne Zwischenfall. Australian Work Cover und die UK's Health und Safety Executive (HSE) empfehlen gleichfalls diese 23.5 % als Grenze für eine Reinigung.[23]

Auch so gut wie alle Hersteller von Tauchequipment befolgen dieselben Regeln. Die Gründe dafür werden in der Folge noch näher besprochen werden.

---

[22] The speed of sound is approximately 1075 Km / hr. The actual speed is dependent upon the density of the medium through which the sound travels. As the pressure increases, the speed of sound increases.

[23] HSE's recommendation and Wrok Cover's "Code of Practice"

Wenn ein mathematischer Ausdruck zwei Faktoren beinhaltet, so ist das Produkt einfach als der relative Wert jeder dieser Faktoren zu berechnen. Erhöhen wir z.B. den Faktor A müssen wir den Faktor B proportional reduzieren um zum selben Endergebnis S zu gelangen.

Einfach, nicht wahr?

$$\textit{Sicherheit} = A \times B$$

Sollte diese Gleichung 3 Variablen besitzen so wird:

$$\textit{Sicherheit} = A \times B \times C$$

Je mehr Variable hinzu kommen desto komplexer wird unsere Gleichung.

$$\textit{Sicherheit} = A \times B \times C \times D \times E \times F \times G \times H \times I \times J \times K$$

Es sollte eigentlich selbstverständlich sein, daß für uns die Gleichung sicherlich mehr als einen Faktor besitzt. Dennoch gibt es Einige die immer noch behaupten: "bei weniger als 40% ist der Rest dieser Gleichung unnötig." Solche Aussagen können nur durch Ignoranz oder fehlende Informationen verursacht sein. Dennoch ist dieser ***40% Mythos*** immer noch weit verbreitet. .

WICHTIGE FAKTOREN FÜR EINE REAKTION MIT SAUERSTOFF:

Gesamtdruck des Gases - (P)		
Partialdruck des Sauerstoffs - (PO_2) -		Dieser Wert sollte 200 Bar nicht überschreiten.
Sauerstoff Anteil - (fO_2)		
Temperatur des Gases - (T)		
Temperaturänderung (ΔT)	-	Verursacht durch Reibung, adiabatische Kompression, Füllgeschwindigkeit, Widerstand in den Leitungen, etc.
Kompatibilität der Materialien	-	Sind diese mehr oder weniger Kompatibel.
Partikelaufprall	-	Abhängig von Masse, Geschwindigkeit des Aufpralls, Kompatibilität des Materials.
Art der Verunreinigung	-	Ein qualitativer Faktor. Dies können auch Schmierstoffe sein.
Menge an Verunreinigungen	-	Ein quantitativer Faktor. Bedenke, daß Verunreinigungen gleichmäßig verteilt sein können, oder sich an bestimmten Stellen konzentrieren.
Strömungswiderstand	-	Kann adiabatische Kompression verursachen.
Strömungsgeschwindigkeit	-	Kann Reibungshitze und sonische Resonanzen verursachen.

Aufgrund der Vielzahl dieser Variablen, und deren unterschiedlicher Gewichtung ist es schwer genaue Aussagen zu treffen. Der Unterschied zwischen "sicher" und "unsicher" ist nicht eindeutig. Nur einen Faktor im Hinblick auf die Sicherheit zu berücksichtigen ist eine sicherlich unzulässige Vereinfachung. Obwohl generell die Grenze des Drucks für Sauerstoff in der Praxis 190 - 200 bar beträgt (nicht wissenschaftlich festgelegt) wäre es unklug zu behaupten daß: "wenn wir diese Grenze nicht überschreiten ist es immer sicher". Gleichfalls können wir nicht den EAN Prozentsatz alleine als Faktor berücksichtigen. Wenn die oben genannten Faktoren ignoriert werden kann es auch bei Systemen mit Pressluft zu Schaden an Mensch und Eigentum kommen.

Aus die Position der Konstrukteure ist bezüglich Sauerstoff eindeutig. Diese haben auch seht präzise Richtlinien bezüglich Pressluft. Für EAN und Sauerstoffgemische können aufgrund der Vielzahl an Variablen keine einfachen Richtlinien aufgestellt werden. Seit etwa 100 Jahren wurden EAN und Sauerstoffgemische weltweit wie Sauerstoff behandelt. Diese Richtlinie hat zu einer ausgezeichneten Unfallstatistik geführt. [24] Auch die Weltraumbehörde NASA mußte hier schmerzliche Erfahrungen machen, da infolge eines Konstruktions- und Handlingfehlers drei ihrer Astronauten verbrannten. Beachte das "Feuer Dreieck" welches die drei erforderlichen Elemente für schnelle Oxidation oder ein Feuer beinhaltet.

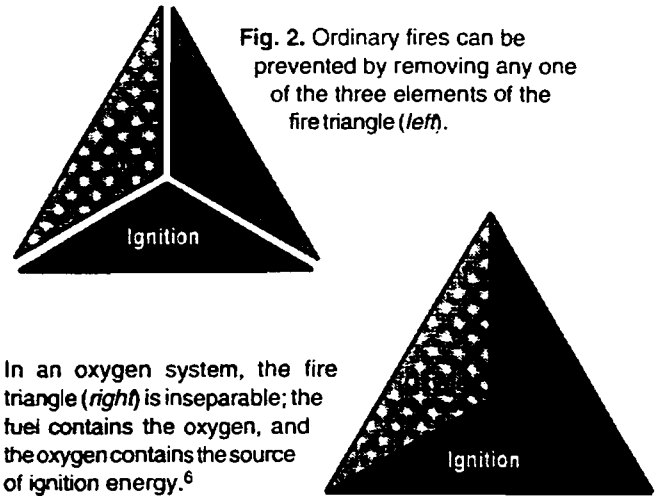


Fig. 2. Ordinary fires can be prevented by removing any one of the three elements of the fire triangle (*left*).

In an oxygen system, the fire triangle (*right*) is inseparable; the fuel contains the oxygen, and the oxygen contains the source of ignition energy.[6]

CAUSES OF OXYGEN FIRES

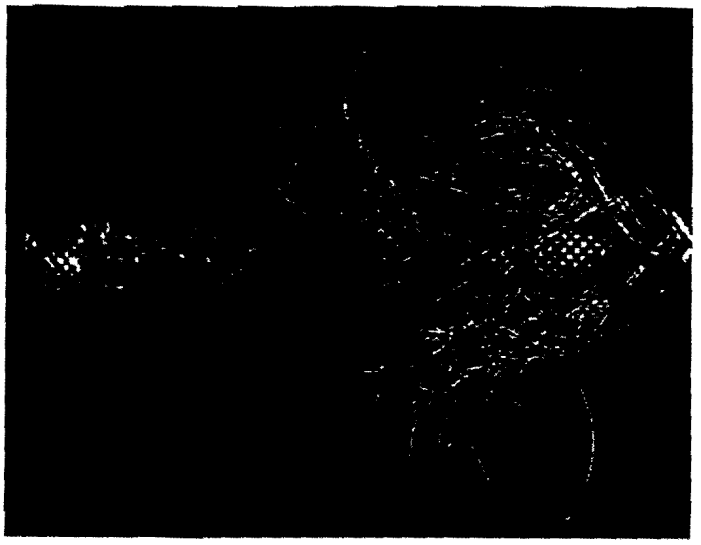
NORMALE FEUER können durch das Weglassen einer der 3 Elemente vermieden werden.
IN einem SYSTEM mit SAUERSTOFF, sind die drei Element des Dreiecks nicht trennbar: der Brennstoff beinhaltet den Sauerstoff, und dieser beinhaltet die Quelle für die Energie zur Zündung.

---

[24] National Fire Protection Association. *Fire Hazards in Oxygen-Enriched Atmospheres* . NFPA Manual 53M-1990. Quincy, MA 1990.

Diese 3 Elemente sind: Ein Gas mit einem Sauerstoffanteil, eine Brennstoff Quelle und ein Mechanismus zur Zündung. Wird eines dieser Elemente weggelassen, so verlischt ein Feuer unter normalen Bedingungen. In einem EAN oder Sauerstoff System wird dieses erst dann ausgehen, wenn entweder der Brennstoff oder der gesamte Sauerstoff verbraucht ist, da das gesamte System nun die Quelle des Brennstoffs ist. Der Sauerstoff ist die Quelle der Energie für die Zündung. [25] [27]

Laut verschiedenen Quellen stellen Partikel im System die Hauptursache für Feuer mit Sauerstoff dar.[26] [27] [28] [29] [30]



---

[25] Compressed Gas Association, Inc. *Industrial Practices for Gaseous Oxygen Transmission and Distribution Piping Systems CGA G-4.4.* Arlington, VA 1980.

[26] National Fire Protection Association. *Fire Hazards in Oxygen-Enriched Atmospheres* . NFPA Manual 53M-1990. Quincy, 1990.

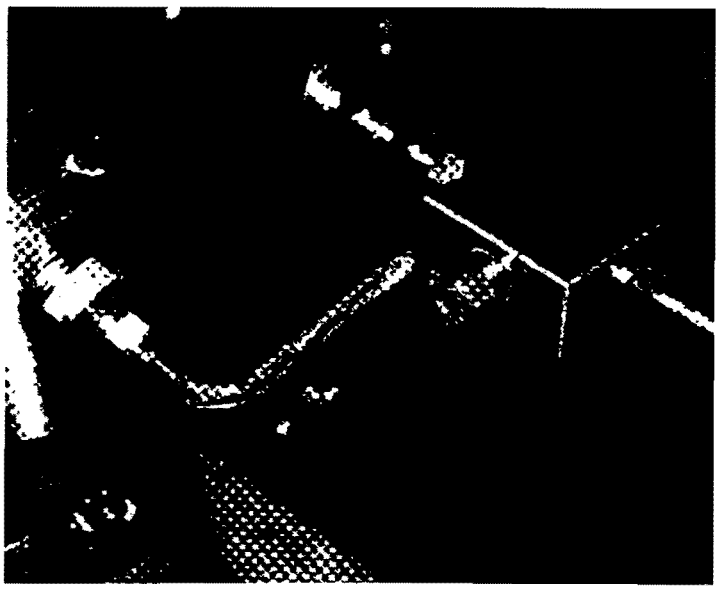
[27] National Aeronautics and Space Administration. *Design Guide for High-pressure Systems, NASA 1113.* Washington , 1984

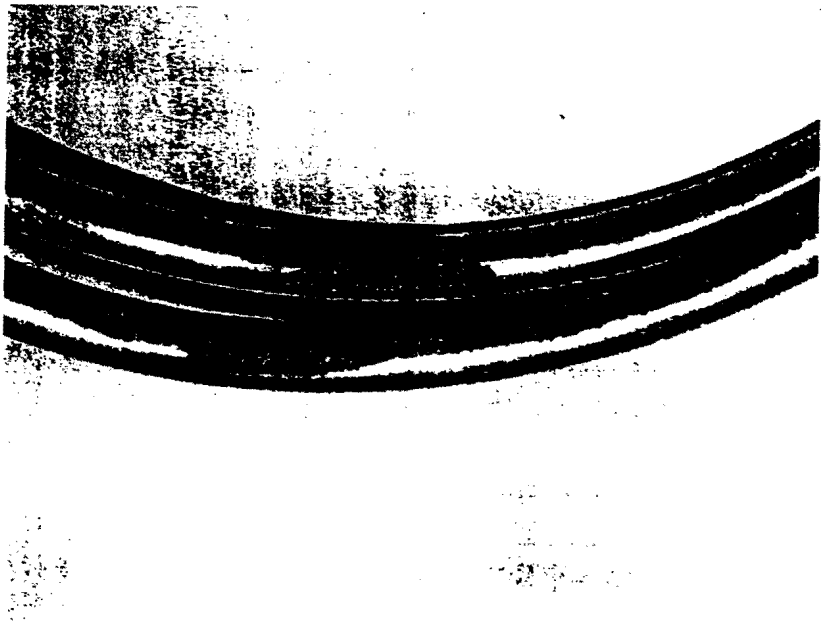
[28] ASTM. *"Oxygen Safety". ASTM Video G4-12-700880-31.* Philadelphia, 1988.

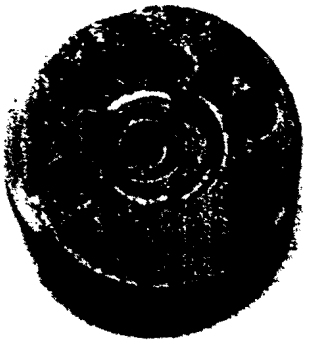
[29] Werley, B.L. *"Fire Hazards in Oxygen Systems". ASTM Standards Technology Training Course book,* 1st Ed. Philadelphia :ASTM, 1990.

[30] Union Carbide Industrial Gases, Inc. *Guidelines for Design and Installation of Industrial Gaseous Oxygen Distribution Piping Systems. L-5110N.* Linde Communications Dept.: Danbury, 1985.

Beispiel eines Feuers in Zusammenhang mit Sauerstoff







Kapitel 1 Wiederholung

1. ***Sauerstoff ist ein sehr aktives Element.*** Durch welche Umstände BRENNT ALLES leichter und schneller obwohl Sauerstoff selbst nicht brennt?

2. ***In den USA gibt es 10 unterschiedliche Arten von Sauerstoff.*** WELCHE 3 ARTEN dürfen zur Erzeugung von Enriched-Air Nitrox verwendet werden?

3. ***Alle gebräuchlichen Metalle brennen unter reinem Sauerstoff.*** WELCHE 3 METALLE werden normalerweise in HD Sauerstoff Systemen und für kritische Komponenten in ND Sauerstoff Systemen eingesetzt?

4. ***Kritische Stellen in einem System sind Ventile, Verbindungen etc.*** WELCHE 2 METALLE UND/ODER LEGIERUNGEN werden empfohlen?

5. ***In ND Systemen werden am Besten*** WELCHE 2 METALLE eingesetzt?

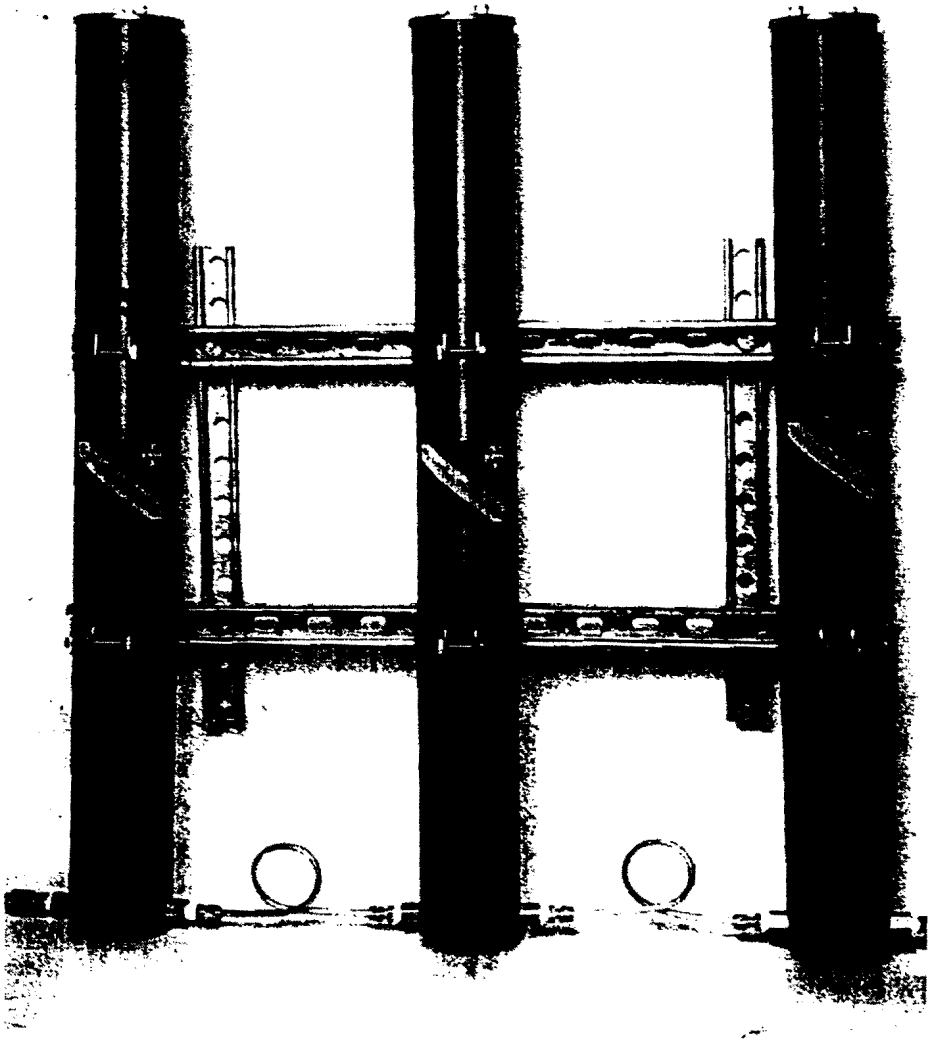
6. ***In HD Systemen werden am Besten*** WELCHE 2 METALLE eingesetzt?

7. ***Buna-Nitril O-Ringe sind nur für einen unbeabsichtigten kurzen Kontakt mit Sauerstoff konzipiert.*** WELCHE 2 O-RING Typen sind dafür viel besser geeignet?

8. DEFINIERE ***Sauerstoff rein.***

9. DEFINIERE ***Sauerstoff kompatibel.***

10. Was versteht man unter ***"konstruiert / entwickelt für den Einsatz mit reinem Sauerstoff"*** ?



Kapitel 2

Erforderliche Qualität der Atemgase

Lernziel

Nach diesem Kapitel wirst Du zu folgendem in der Lage sein: die Terminologie für die Analyse der Gase zu definieren, die Arten und Typen von Verunreinigungen sowie deren Grenzen zu kennen, die unterschiedlichen Qualitätsstandards für Atemgase zu nennen, und anerkannte Methoden zur Analyse der Qualität eines Gases zu nennen. Ein Beispiel einer solchen Prozedur wird hier erläutert werden.

Einleitung

In den ersten Jahren des Sporttauchens war jeder Apparat, der ein füllen der Flaschen ermöglichte, ein "wunderschönes Gerät". Über die Qualität des Atemgases wurde damals noch nicht nachgedacht. Das Thema der Atemgasqualität ist jedoch für die Sicherheit und die Gesundheit des Endverbrauchers wichtig. Mit der ständigen Weiterentwicklung der Technologien, der Produktion von besseren Kompressoren und Filtersystemen verbesserte sich auch die Qualität der Atemgase. Es wurden Standards zum Schutz der Gas Verbraucher entwickelt. Die Qualität des Atemgases ist ein altes Thema, welches bereits durch Gesetze und Normen von Seiten des Staates reguliert wurde. Mit den neuen Technologien für Kompressoren und Filter stieg die Qualität der gase ständig an.

Heute werden jedoch immer neue Anforderungen an die Verteiler von Atemgasen gestellt, da diese nicht nur Pressluft, sondern immer häufiger auch EAN und manchmal auch Tri-Mix und Heli-Ox erzeugen müssen. Der Prozeß zur Erzeugung dieser Gase mit der erforderlichen Qualität und Reinheit soll nun angesprochen werden.

Verunreinigung von Atemgasen

Der Ausgangspunkt unser Untersuchung stellt hier atmosphärische Luft dar, deren Zusammensetzung im Hinblick auf die Zusammensetzung der Gase nur geringfügigen Variationen unterliegt.[31]

Die Luftfeuchtigkeit variiert natürlich beträchtlich, aber Wasser ist eine angenehme Verunreinigung, und ist vor allem auch relativ einfach zu entfernen. Lokale Luftverschmutzung stellt in vielen industrialisierten Gebieten ein Problem dar. Städte wie Los Angeles, Tokio, Athen, Mexico City und andere unterschreiten oftmals schon bei der normalen Atemluft die erforderliche Qualität für Atemgase. In diesen Fällen liegen die Probleme in den erhöhten Werten von Kohlendioxid, Kohlenmonoxid und Schwefeldioxid. In Fällen unklarer Qualität der Atemluft muß diese gleichfalls analysiert werden, um festzulegen ob eine Vorfilterung erforderlich ist.

Der Einfachheit halber unterscheiden wir nur zwischen 2 Arten der Verunreinigung:

1) Kompressible - schädliche oder giftige Gase

2) Inkompressible - Partikel und Aerosole

Kompressible Verunreinigungen

Geringe Mengen von Gasen werden in "parts per million" oder **ppm** gemessen. Problematische Gase sind hier jene, die entweder den Sauerstofftransfermechanismus beeinträchtigen, oder die Lunge schädigen können. Diese Gase könnten auch das chemische Gleichgewicht stören.

Die gefährlichsten gasförmige Verunreinigung stellt sicherlich **Kohlenmonoxid (CO)** dar. CO ist das Produkt der unvollständigen Verbrennung von Kohlenwasserstoffen. Die Quelle der Verunreinigungen könnte dabei die Umgebungsluft selber, oder es könnte auch von einer Teilverbrennung oder einer Stichflamme im Kompressor stammen. Ein andere Möglichkeit wäre die Zündung von Verunreinigungen in den Rohrleitungen durch adiabatische Kompression. Deshalb wird auch für die Filteranlage eine Kammer, welche einen Katalysator für Kohlenmonoxid enthält It sehr empfohlen. Ein CO Katalysator wandelt CO in CO_2 um. Ein plötzliches ansteigen des CO_2 Levels könnte ein Anzeichen für Teilverbrennungen sein. Als Katalysator für die Umwandlung wird zumeist Hopcalite

---

[31] ***Atmospheric Air*** consists of: 78.05% N_2, 20.95% O_2, 9340 ppm Ar, 314 ppm CO_2, 18 ppm Neon, 5 ppm Helium, 1 ppm Krypton, .09 ppm Xenon, and varying amounts of H_2O vapor.

eingesetzt, welches ein Mangandioxid ist. Wird Hopcalite jedoch naß, so verliert es diese Umwandlungseigenschaften. Aus diesem Grund soll es auch immer am Ende des Filters plaziert werden, aber vor einer Schicht Aktivkohle liegen, da diese anschließend die CO_2 Menge verringern kann. Viele Behörden verlangen zusätzlich katalytische Umwandler sowie ein Abschaltung bei zu hoher Temperatur. Ein Beispiel dafür ist in den USA die "Occupational Safety and Health Administration's requirement for respiratory protection".[32]

Kohlendioxid Levels welche über dem Niveau in normaler Luft liegen (über 330 ppm), können aus der Umwandlung von CO in CO_2 im Filtersystem oder durch verunreinigte Luft hervorgerufen werden . Generell sollte bei CO_2 Werten über 500 ppm dieses Atemgas nicht für tiefe Tauchgänge verwendet werden, aufgrund des hohen Partialdrucks. Die Atmung von CO_2 Werten von 0.005 bar kann unter hohem Druck zu sehr widrigen Effekten führen, speziell bei Arbeitstauchgängen.

Da ein Katalysator für CO sehr empfohlen wird, als Schutz vor hohen CO Levels, ist es sehr wichtig, daß der Ausgangswert für CO_2 entsprechend nieder ist, um für das potentielle ansteigen dieses Wertes eine entsprechende Reserve zu haben.

Hohe CO_2 Werte sind das Resultat einer Kombination von Faktoren und resultieren üblicherweise nicht aus einem Grund. Einige Ursachen für erhöhte CO_2 Levels sind:

A. Ansaugvorrichtung des Kompressors in einem geschlossenen Raum.
B. Sehr viele Leute in diesem Raum.
C. Unzureichende Filtrierung des Gases.
D. Gesättigter Filter.
E. Hohe Temperatur des Gases beim Filter.
F. Ineffektive Kondensatabscheidung.
G. Umwandlung von CO in CO_2 im Filter.

Andere toxische Gase sind schwieriger zu entfernen. Sollten diese in einer zu hohen Konzentration präsent sein, sollten diese vor der Verdichtung entfernt oder umgewandelt werden.

---

[32] *OSHA 29 CFR 1910.134.D Air Quality 2B* states : If an oil-lubricated compressor is used, it shall have a high temperature or Carbon Monoxide alarm, or both.

Inkompressible Verunreinigungen - Partikel und Aerosole

Feste Stoffe und Flüssigkeiten werden durch Gewicht oder Masse gemessen. Die Standard Einheit dafür ist das Milligramm und die Referenz üblicherweise in"Milligramms pro Kubikmeter"oder **mg /M** ^{3}. Weniger gebräuchlich aber genauso korrekt ist eine Messung in Volumen / Volumen, ml / M^3.

Partikel können auf mechanische Weise leicht entfernt werden. Partikelfilter müssen jedoch entsprechend des angestrebten Endergebnisses dimensioniert werden. Aerosole wie Wasserdampf sind gleichfalls leicht zu entfernen, Öltropfen müssen jedoch chemisch absorbiert werden und erfordern eine sorgfältige Überwachung.

Für den Betreiber einer Sauerstoff / SafeAir Füllstation sind vor allem die Partikel mit Kohlenstoff aus der Filtersystem Besorgniserregend. Dieser Staub sollte niemals in den Gasstrom geraten, wo er sich in Toträumen ansammeln könnte, und sich dort durch die hohe Temperatur des Gas entzünden oder schwelen könnte. Die normale Temperatur zur Selbstzündung (ungefähr 600^{0}C) diese Materials könnte in der Realität viel geringer sein, da die Aktivkohle andere kohle- oder nichtkohlehältige Flüssigkeiten oder reaktive Gase absorbiert haben könnte. In diesem Fall ist das auftreten von CO viel wahrscheinlicher. Dieses Problem wird durch den Kontakt mit erhöhten Sauerstoffanteilen in Kombination mit hoher Temperatur verstärkt.

Partikel können in Kombination mit hoher Strömungsgeschwindigkeit des Gases funken oder eine Stichflamme erzeugen, welches zur CO Bildung oder zur Zündung des Systems führen kann.

Feuchtigkeitsgehalt

Dieser Anteil wird am Besten durch zwei Referenzen beschrieben. Man könnte es durch ein gegebenes Volumen an Flüssigkeit pro Gasvolumen quantifizieren, oder durch die "Taupunkt Temperatur" beschreiben. ***Der Taupunkt*** ist jene Temperatur, bei der Wasserdampf kondensiert und wieder flüssig wird. Je tiefer diese Temperatur ist, desto weniger Wasser ist enthalten. Je mehr Feuchtigkeit oder Wasser enthalten ist, desto höher wird dieser Taupunkt sein.

Normalerweise wird Molekularsieb wird zur Entfeuchtung eingesetzt. Dieses wird auch geringe Mengen von Kohlendioxid absorbieren, jedoch nur dann wenn das Gas bereits trocken ist. Ansonsten wird die Feuchtigkeit entfernt, und das CO_2 verbleibt im Atemgas. Deshalb sind geringe CO_2 Levels durch eine Vortrocknung der Luft einfacher zu erreichen. Es besteht eine enge Beziehung zwischen Gastemperatur, Feuchtigkeitsgehalt und CO_2

Level. Je geringer die Temperatur des Gases ist desto besser funktioniert die Kondensatabscheidung. Dies vermindert auch die Fähigkeit des Gases kondensierbare Verunreinigungen mitzuführen. Aus diesem und aus weiteren Gründen (z.B. Vereisung) mag es sinnvoller sein zusätzliche Kühlschlangen oder Abscheider einzubauen und nicht nur die Filtermenge zu erhöhen. Eine niedere Gastemperatur führt zu längeren Standzeiten des Filters.

Hier eine Umrechnungstabelle für den Wassergehalt

UMRECHNUNGSTABELLE DES WASSERGEHALTS			
Taupunkt °F	Taupunkt °C	Wassergehalt ppm (v/v)	Wassergehalt mg / *l*
-110	-78.9	0.58	0.00043
-105	-76.1	0.93	0.00069
-100	-73.3	1.5	0.0011
-95	-70.5	2.3	0.0017
-90	-67.8	3.5	0.0026
-85	-65.0	5.3	0.0040
-80	-62.2	7.8	0.0058
-75	-59.4	11.4	0.0085
-70	-56.7	16.2	0.012
-65	-53.9	23.0	0.017
-60	-51.1	32.0	0.024
-55	-48.3	45.0	0.034
-50	-45.6	63.0	0.047
-45	-42.8	87.0	0.065
-40	-40.0	120	0.089
-35	-37.2	165	0.12
-30	-34.4	225	0.17
-25	-31.6	305	0.23
-20	-28.9	400	0.30
-15	-26.1	525	0.39
-10	-23.3	690	0.51
- 5	-20.5	895	0.67
0	-17.8	1180	0.88

Taupunkt ausgedrückt in ppm (Volumen/Volumen) und Grad F oder C bei einer Atmosphäre absolut, 101 kPa abs. (760mm Hg)

Verunreinigung durch Öl

Generell akkumulieren sich Aerosole im gesamten System. Insbesonders trifft dies auf Öltropfen zu. Verunreinigung durch feste Kohlenwasserstoffe ist kumulativ, da diese an Rohrleitungen und Endbehältern wie Flaschen haften bleiben. .[33 34 35] Aus diesem Grund sind auch kleine Mengen dieser Aerosole zu beachten, und es muß ein Zeitplan für periodische Wartung und Instandhaltung eingehalten werden. Auch beim Betreiben einer Füllstation mit Pressluft, speziell aber bei einem EAN System ist eine sorgfältige Überwachung dieser festen Kohlenwasserstoffe unerläßlich.[36]

Woher stammt dieses Öl ? Durch die Ölschmierung des Kompressors gerät dieses direkt von den Zylinderwänden in den Gasstrom.[37 38]

Nun beginnt die Arbeit dieses Öl wieder zu entfernen. Wieviel Ölgehalt ist zuviel ? Die Antwort darauf hängt von Einsatzzweck des Gases ab. Für Druckluft gibt es weltweite Spezifikationen, welche sich von Land zu Land nicht besonders unterscheiden. Man geht von einer oberen Grenze von 2.0 mg/M^3 bis 3.0 mg/M^3 aus. Nur in den USA existiert noch eine Grenze über 3.0 mg/M^3. Dies liegt vor allem daran, daß diese Norm sehr alt ist, und auf alter Technologie basiert.

Das Limit von 5.0 mg/M^3 (US Navy und CGA G-7) basiert auf der Physiologie der Atmung, und beachtet keine Sicherheit bezüglich Feuer oder CO. Bei dieser Grenzen kann der Körper nicht toxische Kohlenwasserstoffe noch verkraften. Überschreitet man diese, wird die Wahrscheinlichkeit einer lipoiden Pneumonie beträchtlich erhöht.[39]

---

[33] National Fire Protection Association. *Fire Hazards in Oxygen-Enriched Atmospheres* . NFPA Manual 53M-1990. Quincy, MA 1990.

[34] Compressed Gas Association, Inc. *Industrial Practices for Gaseous Oxygen Transmission and Distribution Piping Systems CGA G-4.4.* Arlington, VA 1980.

[35] Union Carbide Industrial Gases, Inc. *Guidelines for Design and Installation of Industrial Gaseous Oxygen Distribution Piping Systems. L-5110N.* Linde Communications Dept.: Danbury, CT 1985.

[36] Wilson, De Souza, Presti: *Oil-Air Explosion Hazards in High Pressure Air Systems*, General Dynamics, Groton CT. 1971

[37] Naval Experimental Diving Unit Report # 11-83: Wargo, *"Evaluation of Bauer Mariner "D" High Pressure Breathing Air Compressor"*. 1983.

[38] Naval Experimental Diving Unit Report # 4-90:. Sullivan, *"Evaluation of Mako 9700 High Pressure Breathing Air Compressor"*, 1990.

[39] Rutkowski, Richard, *NOAA Pamphlet: Compression Lubricants, Filters and Lungs*. Washington, DC.

Mit Anteilen welche unter der Grenze von 5.0 mg/M^3 liegen, mag diese Luft vielleicht noch sicher zu atmen sein, sicherlich nicht jedoch zum blenden mit Sauerstoff. Es gibt einen Unterschied zwischen Luft und Sauerstoff- kompatibler Luft.

Da die einzige Referenz für Sauerstoff-kompatible Luft vor 1990 der ANSI Standard war, welcher die Grenze für den Ölgehalt mit "zero"[40] angibt, war es notwendig, einen vernünftigen und realisierbaren Wert festzulegen. Hier kam die Tauchsportindustrie zu einer Einigung, welche auch von den Verteilern von EAN[41] akzeptiert wurde. ANDI ist stolz dabei eine aktive Rolle gespielt zu haben.

Standards für Druckluft

Der Grund für weltweite Standards für Druckluft liegt darin, Parameter für Komponenten festzulegen und die Verunreinigung zu beschränken. Diese Beschränkungen müssen physiologisch korrekt und mit erhältlichem Equipment erzielbar sein. Eine genaue und ökonomische Prozedur zur periodischen Überprüfung muß erhältlich sein, da ohne diese jeder Standard ad absurdum geführt wird.

DIE EU NORM DIN / EN 12021

(Ersatz für die DIN 3188)

[illegible]	[illegible] mg/m	Ölgehalt mg/m	[illegible] ppm	[illegible] ppm
Druckgasbehälter 40 - 200 bar	***≤ 50***	***< 0.5***	***≤ 15***	***≤ 500***
Druckgasbehälter > 200 bar	***≤ 35***	***< 0.5***	***≤ 15***	***≤ 500***
Nach Feinnachreiniger ≤ 300 bar	***≤ 25***	***< 0.5***	***≤ 15***	***≤ 500***

Auf der folgenden Seite ist eine Tabelle für weltweite Standards für Druckluft.

---

[40] NFPA-99, *Health Care Facilities, ANSI Standard*, Appendix A par. A-2-2, pp 99-136. February 5, 1990

[41] Tek '93 Conference. January 1993. Orlando, Florida, USA

Tabelle 2 - 1 Weltweite Standards für Druckluft

STANDARDS FÜR ATEMGASE (VERUNREINIGUNGEN IN LUFT)							
LAND ↓	USA GRADE E	CANADA Z 180.1	UK BS 4001	UK BS 4275	SCHWEDEN	AUSTRALIEN	ISRAEL
GERUCH/ GESCHMACK	KEIN GERUCH	KEIN GERUCH	"Frei von.."	KEINE	*	KEIN GERUCH	KEINE
CO_2	500 ppm	500 ppm	500 ppm	500 ppm	*	480 ppm	500 ppm
CO	10 ppm	5 ppm	10 ppm	5 ppm	20 ppm	10 ppm	5 ppm
GASFÖRMIGE KOHLEN-WASSERST.	25 ppm	*	*	*	*	*	*
H_2O	-50°F Taupunkt .047mg/liter	-63°F Taupunkt .02 mg/liter	500 mg / M^3 .5 mg/liter	-50°C Taupunkt .03 mg/liter	30 mg / M^3 .03 mg/liter	100 mg / M^3 .1 mg/liter	<25 mg / M^3
FESTE KOHLEN-WASSERST. (Öl)	5.0 mg / M^3	1.0 mg / M^3	1.0 mg / M^3	0.5 mg / M^3	3.0 mg / M^3	1.0 mg / M^3	<1.0 mg / M^3
PARTIKEL GRÖSSE	*	1.0 mg / M^3	"Frei von.."	Keine	*	*	<1.0 mg / M^3
ANDERE SCHÄDLICHE GASE	*	< 5 ppm	*	< 3 ppm	*	*	*
* KEINE SPEZIFIKATION							

Tabelle 2-2 Standards für Sauerstoff-kompatible Luft

[illegible]		ANDI	
Kohlenmonoxid (CO):	**10 ppm**	**Kohlenmonoxid (CO):**	**2 ppm**
Kohlendioxid (CO_2):	500 ppm	**Kohlendioxid (CO_2):**	500 ppm
Taupunkt:	n/a	**Taupunkt:**	-50°F
Gasf. Kohlenwasserst.:	25 ppm	**Gasf. Kohlenwasserst.:**	25 ppm
Feste Kohlenwasserst.:	**5.0 mg / M^3**	**Feste Kohlenwasserst.:**	**0.1 mg / M^3**
Feste Partikel:	n/a	**Feste Partikel:**	**2 micron**

Die ANDI Standards für Sauerstoff-kompatible Luft werden von anderen Organisationen wie von DCIEM und NASE bestätigt.

Da ANDI in der Zukunft eine Vierteljährliche Prüfung für die Qualität der Atemgase verlangen wird, werden wir dann auch eine Methode zur Analyse weltweit exklusiv an ANDI Facilities anbieten. Dies bietet eine einfache Analyse und dient dem Schutz des Geschäfts und des Endverbrauchers.

Der Sauerstoffgehalt muß im Bereich von 21± 1 Vol % (trockene Luft) liegen.

Zusätzlich wird bezüglich der Reinheit von Atemluft folgendes festgelegt:

- Verunreinigungen müssen auf ein Minimum beschränkt werden und dürfen in keinem Fall die zulässige Grenzkonzentration überschreiten.

- Der Ölgehalt muß so gering sein, daß die Luft frei von Ölgeruch ist.

- Für Druckluft-Schlauchgeräte sollte Luft mit einem Taupunkt verwendet werden, der niedrig genug ist, um ein Einfrieren im Gerätesystem zu verhindern.

Methoden der Gas Analyse

Detektor Kits - Diese Kits bieten im besten Fall eine gute Näherung, um direkt vor Ort testen zu können, bieten jedoch niemals die erforderliche Genauigkeit, um periodisch die Qualität zu überprüfen, da die Genauigkeit bei ±20 % liegt. Bei Tests vor Ort unter ungünstigen Bedingungen kann die Abweichung noch höher liegen. Weiters ist der geringste ablesbare Wert der Skala höher als die Standards erlauben.

Gas Sammelbeutel - Diese Methode könnte nicht sehr genau sein, da der Beutel vor dem Testvorgang nicht vollständig entleert sein könnte. Bedeutender ist jedoch, daß diese Beutel (Mylar™ , Tedlar™ , Teflon™ und andere), eine CO_2 Permutation durch das Material (Einwandig) des Beutels ermöglichen, und deshalb innerhalb von 24 Stunden analysiert werden müssen. Weiters können diese Beutel während des Tests oder dem Transport leicht beschädigt werden. Diese Methode kann jedoch bei gut ausgebildetem Personal und sorgfältigem Umgang akzeptable Ergebnisse bringen.

Hochdruck Flaschen - Das Hauptproblem bei dieser Methode liegt darin, daß feste Kohlenwasserstoffe schwer zu messen sind, speziell in diesem geringen Umfang, da sie an der Wand den Flasche haften. Es ist schwierig, diese von der Wand zu lösen, um ein korrektes Meßergebnis zu erzielen. Deshalb ist diese Methode für unsere Zwecke zu ungenau, auch die Kosten sind hier höher.

Spezialisierte Kits - Davon gibt es verschiedene Systeme. Dies ist wahrscheinlich die momentan beste Methode, da jeder Kit speziell für die Anwendung und die Umgebung entwickelt ist. Nur wenige Unternehmen erzeugen diese Kits, welche für das Tauchgeschäft einfach einsetzbar, kostengünstig und einfach zu verschicken sind.

Beispiele der Luftanalyse

Auf den folgenden Seiten findest Du Methoden der Analyse, von Trace Analytics, Inc. of Austin, Texas, USA. Diese verwenden einen AirCheck Kit™, welcher laut Aussage der Firma, die Analyse einfach und genau macht.

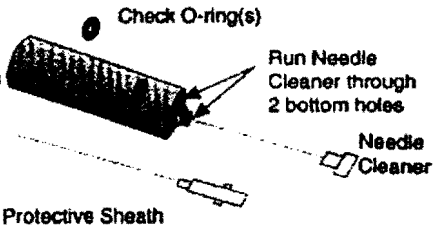
the AirCheck✓Kit™

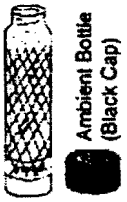
800-AIR-1024

800-(247)-1024 • 512-328-4076 FAX 512-328-4122

SAMPLING INSTRUCTIONS
for Oxygen Enriched Air
Detailed Instructions on Reverse Side

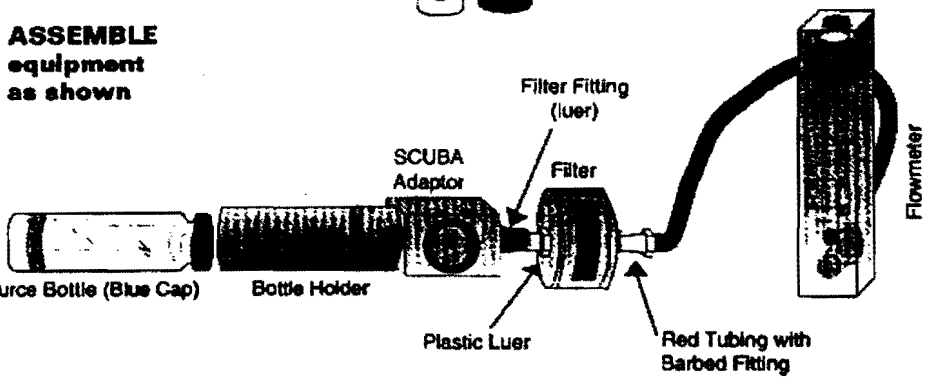
1 **INSPECT O-ring(s), Needle Airways and Fitting Threads**





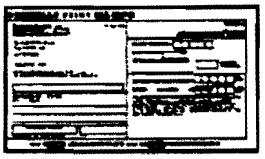
3 **(OPTIONAL TEST) Place AMBIENT BOTTLE as close to intake as possible, remove black cap (replace cap after 10 minutes)**

2 **ASSEMBLE equipment as shown**



4 **Insert Source Bottle, open your system valve and immediately START TIMING TEST. Run test for at least 10 MINUTES keeping flowmeter reading between 20 and 100 LPM (steady if possible)**

NEATLY COMPLETE DATA SHEET



MUST BE RETURNED WITH SAMPLE

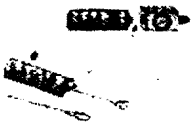
5 **STOP TEST, complete data sheet, and return sample bottle(s), filter, and data sheet to laboratory by First Class Mail or other convenient method**

TRACE Analytics inc.

TRACE Analytics, Inc. • P.O. Box 160650 • Austin, TX • 800-247-1024 • 512-328-4076 • FAX 512-328-4122

the AirCheck✓Kit™ — DETAILED SAMPLING INSTRUCTIONS — 800-247-1024

STEP 1 – Inspection/Maintenance



◆PRIOR TO EACH TEST, remove O-Ring from Bottle Holder and hold the bottle holder up to a light; if you can see light through the two needles, continue with other inspections. If needles (air paths) are blocked, then carefully remove Needle Cleaner from Protective Sheath, run Needle Cleaner through each of the two holes at the bottom of the Bottle Holder to clear airpaths. Check that needles are straight, if needed, carefully straighten with needlenose pliers. ◆Replace o-rings when necessary, if dry, lubricate lightly. ◆Inspect threaded equipment parts, remove any metal shavings or dirt to eliminate cross threading (wire brush is effective). Never force together.

STEP 2 – Assemble Equipment

If compressor is being sampled, warm up about 10 minutes. Then open valve on charging lead and blow line out for a few seconds.

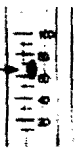
Attach brass Adaptor to charging lead and hand tighten *(no air should leak from around this connection)*. Carefully attach the aluminum Bottle Holder to the threaded hole on side of Adaptor *taking care that you do not cross thread the fittings*. Gently push & twist the Filter onto the nickel plated Filter Fitting (male luerfitting) located on the side of the Adaptor (about 1/4 turn, do not over tighten). Use Red Tubing with barbed/luer fitting attached (barbed end inside tubing, luer end toward filter), to connect Filter to Flowmeter.

STEP 3 – Obtain Ambient Sample (optional)

If you are sampling a compressor, or a cascade *while the compressor is running*, obtain an ambient sample at the same time as source air test (Step 4). Remove black cap from Ambient Bottle and place bottle as close to compressor inlet as possible. Recap bottle after at least 1 minute. ◆If red septum falls out of cap, replace inside cap with shiny side facing bottle opening.

STEP 4 – Start Test from Source Air

◆Insert the numbered **SOURCE BOTTLE** (blue capped) into the Bottle Holder by gently pushing bottle **straight down.** *Do not twist or turn bottle – this can damage needles.* **USE THE BLUE CAPPED BOTTLE ONLY.** ◆Open your system valve slowly to normal operating pressure. Determine flowrate to the nearest 5 LPM mark using the middle of the ball, place flowmeter on level surface, read at EYE LEVEL. Reading **MUST BE BETWEEN 20 and 100 LPM.** Begin timing test *(timing must be accurate)*. To determine sample time, use the following equation.



$$\frac{1000}{\text{flowrate}} = \text{Sample Time, min.}$$

For example: if reading on flowmeter is 50 LPM, sample time is 20 min. ◆The Adaptor and Bottle Holder will become cold and may ice up. This is normal. Air will be vented from both of the Bottle Holder side ports.◆If possible, the reading on the flowmeter should be steady. If flowrate drops or varies, determine an average flowrate and indicate on data sheet that steady flowrate was not achieved. ◆If flowrate drops below 20 and you can not regulate pressure, insert the spare barbed fitting firmly into the lowest side port on the bottle holder or cover port to reduce bypass air which will increase flowrate. If this does not accomplish a minimum of 20 LPM, stop test, and call Trace. If flowrates are too low or you would prefer shorter sample times, call us. We can provide a control valve to attach to the Bottle Holder side port that will increase the flowrate.

STEP 5 – Stop Test

Remove Source Bottle from Bottle Holder first, then immediately close system valve. Dissasemble equipment. Place Protective Netting on bottles. **YOU MUST RETURN** the used Filter, Source Bottle, Ambient Bottle, and Data Sheet. A preaddressed mailer is provided. Complete Data Sheet with ALL requested information NEATLY. Affix First Class postage or arrange for other shipping method of your choice. Return samples promptly. Samples must be received by laboratory within 30 days of sampling date.

◆Questions and Answers◆ ***Why take an ambient sample?*** An ambient sample is helpful in determining the quality of air going into your compressor. In the event of a contamination problem, you can determine if the main source of the problem was from the intake air quality or from within your compressor system. ***◆Can I sample an air tank (scuba or scba)?*** The kit 's primary purpose is for sampling from air sources such as compressors or cascade systems. However, a sample can be obtained by using a double yoke and a different flowmeter. Call for more info.**◆NEEDLE CLEANER◆*** ***The Needle Cleaner cannot be inserted into the Bottle Holder.*** Make sure the Needle Cleaner has been removed from the Protective Sheath. Rotate Needle Cleaner while inserting into the two small holes at the bottom of the Bottle Holder. Call Trace if none of the above works. Checking and clearing the Needle airways, although tedious, IS **IMPORTANT AND SHOULD NOT BE IGNORED.**

the AirCheck✓Kit
has a lifetime warranty

if you have questions or problems
Call 800-247-1024 or 512-328-4076

Version 8/2000 Rev 06

Kapitel 2 Wiederholung

1. Welche zwei Kategorien von Verunreinigungen gibt es ?

2. Welchem Zweck dient der Kohlen Monoxid Katalysator?

3. Nenne vier mögliche Konsequenzen der Kombination von hoher Geschwindigkeit und Partikel.

4. Die unvollständige Verbrennung Kohlenwasserstoffe führt zur Produktion von welchem Gas ?

5. Auf welche zwei Arten wird der Wassergehalt angegeben?

6. Welche Methode der Gas Analyse wird von ANDI empfohlen, da sie zu den genauesten Ergebnissen führt?

7. Worauf beziehen wir die Maßeinheit: Partikelgröße /Gasvolumen?

8. Worauf bezieht sich die Dimensionierung des Filters bezüglich der Partikel ?

9. Wie lautet die maximale Grenze für feste Kohlenwasserstoffe für Sauerstoff-kompatible Luft laut ANDI Standards ?

10. Kohlenstaub darf nicht in den Gasstrom geraten da es dort zu

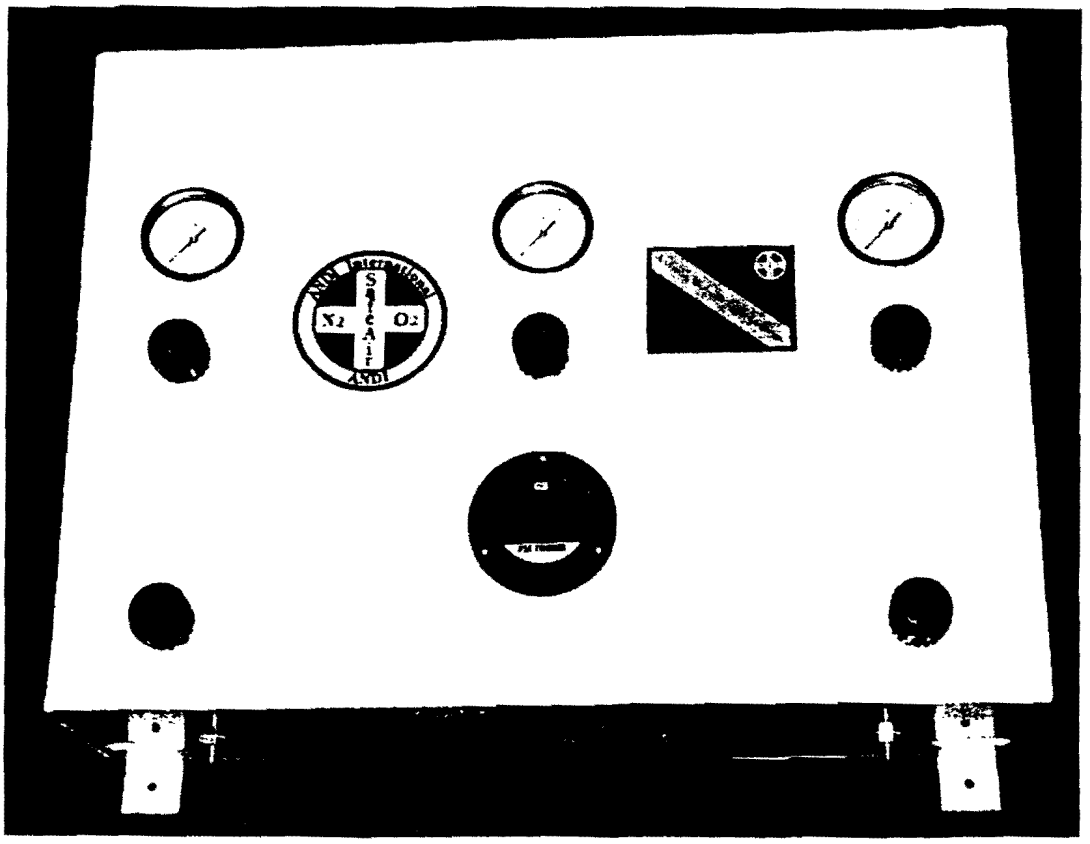
    _____und_____oder_____ führen kann.

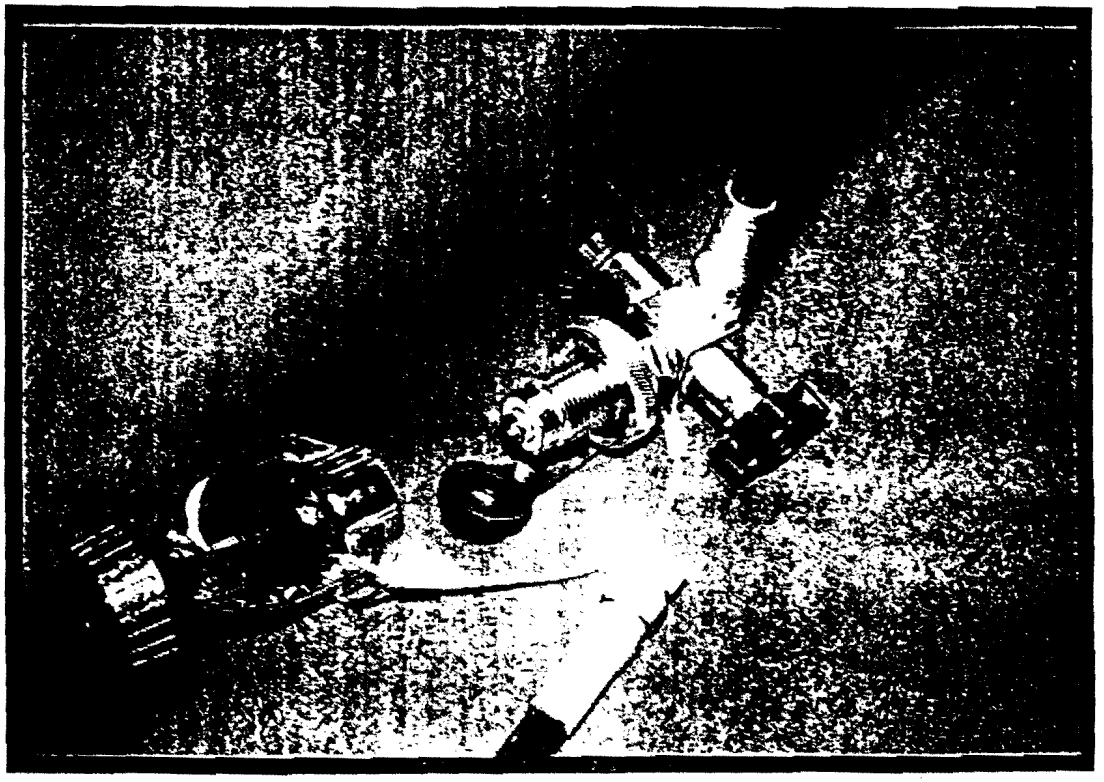
11. Wie lautet die maximale Grenze für feste Partikel in Sauerstoff- kompatibler Luft laut ANDI Standards ?

12. Wie hoch ist der maximale Taupunkt für Sauerstoff-kompatible Luft laut ANDI Standards ?

13. Nenne mehrere Gründe für einen erhöhten CO_2 Anteil im Atemgas.

ANDI Certified Gas Blender





Kapitel 3

Operationen und Equipment

Dieser Abschnitt wird momentan in den USA ausgearbeitet.

Kapitel 3 Wiederholung

Kapitel 4

Mathematische Beziehungen beim Mischen von Gasen

Übungen

Übung 1:

Wir **haben** eine Flasche mit 60 bar SafeAir 32. Wir **wollen** einen Enddruck von 235 bar SafeAir 36. Wir **brauchen** somit 175 bar mit welchem fO_2?

Dies ist grundsätzlich eine andere Anwendung für das Gesetz von Dalton (Partialdruck). Einfach ausgedrückt bedeutet dies:

Gas + Gas = Gesamt Gas

Spezifischer ausgedrückt:

[**X** Gas bei ***Y*** Druck] + [***A*** Gas bei ***B*** Druck] = [***C*** Gas bei ***T*** Druck]

Setzen wir nun die richtigen Ausdrücke ein so führt dies zu folgender Gleichung :

fO_2^1	=	**Gas 1 mit einem bestimmten Sauerstoffanteil**
P_1	=	**Druck von Gas # 1**
fO_2^2	=	**Gas 2 mit einem bestimmten Sauerstoffanteil**
P_2	=	**Druck von Gas # 2**
fO_2t	=	**gewünschter Sauerstoffanteil im Gemisch nach dem füllen**
P_t	=	**gewünschter Enddruck**

Die Gleichung lautet somit:

$$\mathbf{fO_2^1\,(P_1) + fO_2^2\,(P_2) = fO_2^t\,(P_t)}$$

Nun setzen wir die Werte aus der Angabe ein:

$$.32\,(60) + fO_2^2\,(175) = .36\,(235)$$

$$19.2 + fO_2^2\,(175) = 84.6$$

$$fO_2^2\,(175) = [84.6 - 19.2]$$

$$fO_2^2\,(175) = 65.4$$

$$fO_2^2 = [65.4 \div 175]$$

$$fO_2^2 = .374$$

Lösung: Wir brauchen 175 bar mit einem fO_2 von 0.374

Übung 2:

Wir **haben** eine Flasche mit 48 bar SafeAir 50. Wir **wollen** einen Enddruck von 228 SafeAir 36. Wir **brauchen** somit 180 bar mit welchem fO_2 ?

$$\mathbf{[fO_2^1\,(P_1)] + [fO_2^2\,(P_2)] = [fO_2^t\,(P_t)]}$$

Einsetzen der Werte in die Gleichung:

$$[.50\,(48)] + fO_2^2\,(180) = [.36\,(228)]$$

$$24 + fO_2^2\,(180) = 81.36$$

$$fO_2^2\,(180) = [81.36 - 24]$$

$$fO_2^2\,(180) = 57.36$$

$$fO_2^2 = [57.36 \div 180]$$

$$\mathbf{fO_2^2 = .319}$$

Lösung: Wir brauchen 180 bar mit einem fO_2 von 0.319.

Die PO_2 Isolierung Methode

Dies ist eine vereinfachte Methode um das benötigte Gas zu ermitteln. Wir verwenden dabei ein HABEN BRAUCHEN WOLLEN Szenario. Dieses bezieht sich auf den Partialdruck vom Sauerstoff in psi oder bar. Dies ist keine Methode zur Produktion, sondern soll das benötigte Gas ermitteln.

Übung 3:

	HABEN	WOLLEN	BRAUCHEN
bar	117	228	111
fO_2	.32	.36	
PO_2	37.44	82.08	44.64

Am einfachsten wird bei dieser Methode eine Tabelle wie oben zu sehen aufgestellt.

Diese Methode kann sowohl für metrische, als auch für imperiale Einheiten verwendet werden.

Wir **haben** ein Flasche mit SafeAir 32 und 117 bar. Wir wissen, daß 32% dieser 117 bar Sauerstoff sind.
Der Partialdruck ist somit: 0.32(fO_2) x 117 bar = 37.44 bar (PO_2).

Wir **wollen** am Ende 228 bar SafeAir 36 in der Flasche haben. 36% dieser 228 bar sind Sauerstoff.
Der Partialdruck ist somit: 0.36 x 228 = 82.08 bar (PO_2).

Um die Flasche zu füllen **brauchen** wir 111 bar eines noch unbekannten SafeAir Gemisches (228 - 117 = 111). Wie hoch sollte der Sauerstoffanteil sein? Laut dem Gesetz von Dalton wissen wir:[82.08 bar (*wollen*) - 37.44 bar (*haben*) = 44.64 bar PO_2 (brauchen)].
Der Anteil ist somit [44.64 ÷ 111 = .402] oder in Prozent 40.2%.

Somit müssen wir 111 bar **eines SafeAir Gemisches mit 40.2%** Sauerstoff zufügen um die Flasche richtig zu füllen.

Um den Anteil zu ermitteln verwenden wir:
$fO_2 = [PO_2 \div P]$
(ANDI KREIS)

Mit den Werten von oben ergibt dies:
$fO_2 = 44.64 \div 111$

$fO_2 = .402$

Übung 4:

	HABEN	WOLLEN	BRAUCHEN
bar	48	228	180
fO_2	.50	.36	
PO_2	24	82.08	58.08

Wir **haben** ein Flasche mit SafeAir 50 und 48 bar. Wir wissen, daß 50 % dieser 48 bar Sauerstoff sind.
Der Partialdruck ist somit: 0.50(fO_2) x 48 bar = 24 bar (PO_2).

Wir **wollen** am Ende 228 bar SafeAir 36 in der Flasche haben. 36% dieser 228 bar sind Sauerstoff.
Der Partialdruck ist somit: 0.36 x 228 = 82.08 bar (PO_2).

Um die Flasche zu füllen **brauchen** wir 180 bar eines noch unbekannten SafeAir Gemisches (228 - 48 = 180). Wie hoch sollte der Sauerstoffanteil sein? Laut dem Gesetz von Dalton wissen wir:[82.08 bar (*wollen*) - 24 bar (*haben*) = 58.08 bar PO_2 (brauchen)].
Der Anteil ist somit [58.08 ÷ 180 = .322] oder in Prozent 32.22%.

Somit müssen wir 180 bar **eines SafeAir Gemisches mit 32.22%** Sauerstoff zufügen um die Flasche richtig zu füllen.

Um den Anteil zu ermitteln verwenden wir:
$fO_2 = [PO_2 \div P]$
(ANDI KREIS)

Mit den Werten von oben ergibt dies:
$fO_2 = 58.08 \div 180$

$fO_2 = .322$

Die Formel für Füllungen nach der Partialdruck Methode

Wir können die folgende Formel benützen um alle SafeAir Gemische zu erzeugen, wenn wir reinen Sauerstoff und Luft als Füllgase einsetzen. Wir müssen wissen, wieviel O_2 erforderlich ist (in psi oder bar) um den gewünschten fO_2 zu erhalten.
Die Formel lautet:
Wobei:

$$\left(\frac{fO_2\ t\ -\ .21}{.79}\right) \Delta P = PO_2\ (benötigt)$$

fO_2t = der ewünschte fO_2 im Gemisch nach der Füllung

.21 = f O_2 von Luft
.79 = f N_2 von Luft
Δ P = die Änderung des Drucks in bar.

Übung 5:

Wir wollen eine Speicherbank mit 300 bar und einem fO_2 von 0.32 erzeugen. Die Speicherflaschen sind leer (0 bar). Das ΔP ist somit 300. Wir haben Luft und O_2 zur Verfügung. Wieviel O_2 müssen wir in die Speicherflaschen füllen?

$$\left(\frac{fO_2\ t - .21}{.79} \right) \Delta P = PO_2\ benötigt$$

$$\left(\frac{.32 - .21}{.79} \right) 300 = PO_2\ benötigt$$

$$\left(\frac{.11}{.79} \right) 300 = PO_2\ benötigt$$

$$41.77 \text{ bar} = PO_2\ benötigt$$

Wir müssen 41.77 bar O_2 und 258.23 bar Luft füllen

Tip: Falls der Vorratsdruck unser Sauerstoffflaschen hoch genug ist, können wir zuerst 25 bar Luft füllen, anschließend 41.77 bar O_2. Der letzte Schritt ist dann das füllen bis 300 bar mit Luft. Die Idee ist zunächst 10 % Luft zu füllen, und dann erst den Sauerstoff. Wir reduzieren den maximalen Sauerstoffanteil in der Flasche und erreichen eine schnellere Durchmischung.

Zur Überprüfung ob die Lösung richtig ist, vergleichen wir den Partialdruck des Sauerstoffs nach dem Gesetz von Dalton.

$$P\ Sauerstoff_1 + P\ Sauerstoff_2 = P\ Sauerstoff\ Gesamt$$

$$41.772 + (258.228).21 = (300).32$$

$$41.772 + 54.228 = 96.0$$

$$\mathbf{96 = 96}$$

Somit ist das Ergebnis korrekt.

Wir wissen nun gleichfalls wieviel Sauerstoff zugefügt werden muß, um ***immer*** SafeAir 32 mit Sauerstoff und Luft zu produzieren:
0.13924 ist die Konstante für Sauerstoff (siehe dazu auch die Tabelle der Konstanten für die Partialdruck Füllmethode). Konstanten ändern, wie es der Name schon sagt nie

$$\frac{41.772}{300} = \Delta P \qquad .13924 = \Delta P$$

0.13924 ist die Konstante für Sauerstoff (siehe dazu auch die Tabelle der Konstanten für die Partialdruck Füllmethode). Konstanten ändern, wie es der Name schon sagt nie ihren Wert. Für SafeAir 32 ist die O2 Konstante somit **immer** 0.13924.

Übung 6:

Wir haben aus unser SafeAir 32 Speicherbank aus Übung 5 62.1 bar gebraucht und wollen diese nun wieder auf 300 bar bringen. Der Druck in der Bank beträgt 237.9 bar. Wie gehen wir vor ?

$$(.139)\ \Delta P = \text{Menge } O_2$$

$$[(.139)\ 62.1 \text{ bar}] = \text{Menge } O_2$$

$$8.63 \text{ bar} = O_2 \text{ muß zugefügt werden}$$

Bedenke, daß wir über 200 bar nun Sauerstoff hinzufügen. Man braucht dazu spezielle Sauerstoff Druckpumpen. Weiters wäre dies gegen die Empfehlung von ANDI Sauerstoff nicht bei über 200 bar zuzufügen.

Übung 7:

Nehmen wir an, daß wir SafeAir 50 anstatt Sauerstoff verwenden, um die Bank aufzufüllen. Dies wäre sicherer und erfordert nicht so kostspielige Ausrüstung.

Verwende die SafeAir 50 Konstante aus der Tabelle.

(.379) ΔP = Menge SafeAir 50

[(.379) 62.1 bar] = Menge SafeAir 50

23.5 bar = SafeAir 50 muß zugefügt werden

Übungen 6 & 7 illustrieren das Problem des Umgangs mit Sauerstoff unter hohem Druck. Es zeigt, daß SafeAir 50 verwendet werden kann, um das Risiko zu verringern. Der Partialdruck von Sauerstoff bei 200 bar wäre identisch mit dem von SafeAir 50 bei 400 bar. Da 200 bar Partialdruck für Sauerstoff in etwa die Grenze eines vernünftigen Einsatzes für Sauerstoff darstellen ist hier SafeAir 50 sicherlich eine vernünftige Alternative.

Notizen

ANDI International

KONSTANTE FÜR FÜLLEN NACH DER PARTIALDRUCK METHODE

$$\textit{für SafeAir } 50\,\frac{fO_2t-\ .21}{.29} \qquad \textit{für } 0_2\ \frac{fO_2t-.21}{.79}$$

fO_2 des GASES	LUFT Konstante	SafeAir 50 Konstante	LUFT Konstante	O_2 Konstante	fO_2 des GASES
.24	.897	0.103	.962	0.038	.24
.25	.862	0.138	.949	0.051	.25
.26	.828	0.172	.937	0.063	.26
.27	.793	0.207	.924	0.076	.27
.28	.759	0.241	.911	0.089	.28
.29	.724	0.276	.899	0.101	.29
.30	.690	0.310	.886	0.114	.30
.31	.655	0.345	.873	0.127	.31
.32	.621	0.379	.861	0.139	.32
.33	.586	0.414	.848	0.152	.33
.34	.552	0.448	.835	0.165	.34
.35	.517	0.483	.823	0.177	.35
.36	.483	0.517	.810	0.190	.36
.37	.448	0.552	.797	0.203	.37
.38	.414	0.586	.785	0.215	.38
.39	.379	0.621	.772	0.228	.39
.40	.345	0.655	.759	0.241	.40
.41	.310	0.690	.747	0.253	.41
.42	.276	0.724	.734	0.266	.42
.43	.243	0.759	.722	0.278	.43
.44	.207	0.793	.709	0.291	.44
.45	.172	0.828	.696	0.304	.45
.46	.138	0.862	.684	0.316	.46
.47	.103	0.897	.671	0.329	.47
.48	.069	0.931	.658	0.342	.48
.49	.034	0.966	.646	0.354	.49
.50	0.00	1.00	.633	0.367	.50

Erklärung der Tabelle der Konstanten

Problem: Wir wollen SafeAir 32 erzeugen. Wir wollen eine Flasche oder eine Speicherbank füllen, oder dieses Gas nachher zur Erzeugung anderer Gemische verwenden. In jedem Fall ist der fO_2 von SafeAir 32 0.32. Dies finden wir in der Spalte fO_2 des Gases. Wir werden SafeAir 50 und Luft zum Blenden verwenden.

Zunächst müssen wir wissen wieviel SafeAir 32 wir wollen. Dies ist die Änderung des Druckes "ΔP"(Delta P). Nehmen wir an, daß die Flasche leer ist. Somit ist die Änderung des Druckes (der gewünschte Enddruck) ΔP.

Als nächstes müssen wir wissen, wieviel SafeAir 50 und wieviel Luft wir benötigen werden. Beziehe Dich auf die Tabelle. Hier siehst Du, daß der SafeAir 50 Anteil 0.379 oder 37,9 % ist, der Luft Anteil 0.621 oder 62,1% ist. Wie können wir diese Informationen aus der Tabelle beziehen ?

Aus der ersten Spalte wählen wir den gewünschten fO_2 unseres Gemisches. In unserem Fall ist dies ".32" . Für diesen Wert sehen wir in der selben Zeile den Wert für die SafeAir 50 Konstante, .379 oder 37.9%, und den Wert der Luft Konstanten, .621 oder 62.1%, welcher die Differenz auf die gesamte Änderung darstellt (.621 ist die Differenz 1 - 0.379).

Zusammenfassung: Um 100 bar SafeAir 32 mit SafeAir 50 und Luft zu erzeugen, wähle das folgende "Rezept", *und runde die Werte, damit Du dies auch in der Praxis wirklich füllen kannst.*

1. Fülle **38 bar SafeAir 50** (.38 x 100 bar = 38 bar) in die Flasche.
2. Fülle **62 bar Luft** (.62 x 100 bar = 62 bar) in die Flasche.
3. Wir haben den Druck um 100 bar erhöht, das Resultat ist **SafeAir 32, mit einer Toleranz von ± 1%.**

Anmerkung:
Es kann oftmals erforderlich sein, etwas mehr Luft zu füllen, um:
1. Den gewünschten Enddruck zu erzielen.
2. Die Erwärmung der Luft auszugleichen und somit das korrekte Ergebnis zu erzielen.

Diese "Überfüllung" kann von Anlage zu Anlage, und auch in Abhängigkeit der Außentemperatur variieren. Dies beruht nachher auf den Erfahrungswerten des Blenders.

Anwendungen

In den folgenden Fällen ist die Flasche leer. Wir füllen mit zwei Gasen: Luft und SafeAir 50.

Für SafeAir 40 verwende:

.655 des Gesamtdrucks P SafeAir 50
.345 des Gesamtdrucks P Luft

Für SafeAir 36 verwende:

.517 des Gesamtdrucks P SafeAir 50
.483 des Gesamtdrucks P Luft

Für SafeAir 32 verwende:

.379 des Gesamtdrucks P SafeAir 50
.621 des Gesamtdrucks P Luft

Um SafeAir 50 mit Luft und O_2 zu erzeugen verwende:

.367 O_2
.633 Luft

Falls in den oben genannten Beispielen die Flasche nicht leer ist, Du jedoch das gleiche Gemisch wieder erzeugen möchtest (z.B. von 20 bar SafeAir 36 auf 200 bar SafeAir 36) vergiß bitte nicht, daß "**ΔP**" für die Änderung des Drucks steht. (In unserem Fall wäre somit 180 bar).

Kapitel 4 Wiederholung

Appendix

REGELUNG FÜR DIE VERWENDUNG VON SAFEAIR (NITROX) IN ÖSTERREICH

In Österreich wird zur Zeit die Ö-Norm M 7930 zur Regelung verwendet. Dies heißt es besteht kein Verbot zur Verwendung von SafeAir, es sind jedoch einige wichtige Punkte zu beachten.

Flaschen und Ventile:

Diese Flaschen sind nach dem Kesselgesetz (Versandbehälterverordnung 1996) als Sauerstoffflaschen zu kennzeichnen.

Die zu verwendenden Ventile sind aus der Ö-Norm M 7390 ersichtlich. Es erfolgt in dieser Norm eine Auflistung aller Gase und der dazu gehörigen Ventile.

Seite 22 Tabelle 2 RZ. S1 Sauerstoff	G 3/4 - Form A
Seite 31 Tabelle 3 RZ. G17 Gemische mit > 20 % Sauerstoff	G 3/4 - Form A
Seite 33 Tabelle 3 RZ. G31 Druckluft	G 5/4 - Form D

Die Ausführung der Ventile sind in der Norm in Teil 5 beschrieben.

Aus dieser Ausführung ergibt sich, daß Tauchgeräte mit üblichen Ventilen nur mit Pressluft befüllt werden dürfen.

Für jedes Gemisch mit einem höheren Sauerstoffanteil müssen Ventile in der Form G 3/4 verwendet werden. Dies bedeutet Sauerstoffventile, wie sie zur Zeit bereits von einigen Herstellern angeboten werden. Diese müssen eine Baumusterprüfung besitzen.

Zusätzlich besitzt auch das Ventil der Bauform M 24 x 2 wie es von den Firmen Dräger und Scubapro eingesetzt wird eine Zulassung in Österreich.

Unter dem Punkt 4.1 der Norm wird die Verwendung von Zwischenstücken (Adapter) ausdrücklich untersagt.

Flaschen dürfen auch weiterhin nur in Füllstellen gefüllt werden, welche eine Zulassung der nach Anlage A.2 der Versandbehälterverodnung 1996 -VBV 1996 idgF durch eine Erstprüfstelle besitzen

.

Lungenautomaten:

Diese sind nicht spezifisch aufgelistet, ihre Verwendung geht jedoch aus dem verwendeten Ventil, und dem Verbot von Zwischenstücken hervor.

Es müssen Lungenautomaten eingesetzt werden, welche vom Hersteller bereits mit dem Sauerstoffanschluß oder den M 24 x 2 Anschluß versehen worden sind, und die für den Einsatz mit einem erhöhten Sauerstoffanteil freigegeben worden sind, da ansonsten keinerlei Haftung übernommen wird.

Weiters ist zu beachten, daß bei der Wartung nur Sauerstoff kompatible Komponenten verwendet werden müssen, da ansonsten der Automat nicht mehr als sauber angesehen werden kann. Kits für die Wartung sind von den Herstellern bereits erhältlich.

Näheres für Service und Wartung erfährst Du im ANDI Service Techniker Kurs.

REGELUNG FÜR DIE VERWENDUNG VON SAFEAIR (NITROX) IN DEUTSCHLAND

In Deutschland sind eine Vielzahl von Normen und Regelungen vorhanden, welche den Einsatz von SafeAir betreffen. (TRG 100, TRG 101, TRG 102, TRG 270, TRG 280, TRG 400, TRG 401, TRG 402, TRG 790, EN 250, EN 144)

TRG: Technische Regeln Druckgase

Da diese Vielzahl an Regeln einigermaßen verwirrend sein kann, beschränken wir uns hier auf eine Zusammenfassung der Bestimmungen.

Flaschen und Ventile:

Flaschen sind nach der TRG 270 zu kennzeichnen. Da hier die gleiche Regelung wie in Österreich zutrifft (mehr als 21 % ist wie reiner Sauerstoff zu behandeln) müssen diese als Sauerstoff TG gekennzeichnet und zugelassen sein.

Die zu verwendenden Ventile müssen gleichfalls für Sauerstoff zugelassen sein, und eine BAM Prüfung besitzen.

Aus diesen Anforderungen ergibt sich zur Zeit, daß folgende Ventile verwendet werden können:

R 3/4 Zoll Außengewinde (klassischer Sauerstoffanschluß EN 250)
M 24 x 2 (Anschluß wie er von Dräger/Scubapro EN 144) eingesetzt wird.

Aus diesen Ausführungen ergibt sich, daß Tauchgeräte mit üblichen Ventilen nur mit Pressluft betrieben werden dürfen.

REGELUNG FÜR DIE VERWENDUNG VON NITROX IN DER SCHWEIZ

Für Druckluft gilt in der Schweiz laut Auskunft der Prüfstelle für Messungen gleichfalls die DIN EN Norm 12021 vom Januar 1999.

Da keine offiziellen Aussagen aus der Schweiz zu erhalten waren, sind alle der folgenden Aussagen **OHNE GEWÄHR.**
Laut Aussagen der EGI gibt es keine klare gesetzlich Regelung, sondern nur Empfehlungen.

Flaschen und Ventile:

Die Flaschen müssen vom Eidgenössischen Gefahrengutinspektorat als Nitrox markiert werden (dies ist eindeutig).

Ansonsten werden in der Schweiz zur Zeit sowohl Ventile mit Sauerstoffanschluß, als auch mit dem M 24 x 2 Anschluß sowie gereinigte und kompatible Pressluftventile eingesetzt.

Inwieweit sich dies mit den Gesetzen des Landes deckt, war trotz mehrmaligen Anfragen an die verschiedensten Stellen nicht festzustellen.

Lungenautomaten

Aus dem Einsatz der Flaschen und Ventile ergibt sich der Einsatz der Automaten. Es werden hier alle drei möglichen Bauweisen eingesetzt, wobei für den normalen Pressluftanschluß diese in der Praxis gereinigt und mit kompatiblen Materialien und Schmiermitteln adaptiert werden.

ANDI International

ANDI Produkt Liste

American Nitrox Divers International, Ltd. bietet folgende Materialien für Service, Blenden und die Analyse:

- Buna-N O-Ringe - alle Größen
- Viton O-Ringe - fast alle Größen
- Alpha 1 Oxygen Analysegeräte und Sensoren
- Ersatz Sensoren für alle Sauerstoff Analysegeräte
- Selosol C-12™ Fettlösemittel
- Edelstahl Check Ventile
- Swagelok® Hochdruck Verbindungen
- O_2-kompatible Teflon Tape Substitute
- Dichtigkeits Check™ Fluoreszierende Flüssigkeit
- Rix Industries Oil-Frei and Oil-reduzierte Kompressoren
- Neue und neu aufgebaute Electric Aminco Pressure Booster Pumpen
- Finimeter: Analog und Digital
- Feuchtigkeit Abscheider und Filter
- Ersatzfilter Patronen
- Material für Filter
- Synflex™ HD Schläuche mit Speziallängen
- Füllleisten
- Litton Life Support Insta-Gas™ Systeme
- Litton Life Support Booster Pumpen

Für weitere Informationen wende Dich an: ANDI International
74 Woodcleft Avenue
Freeport, New York 11520
Ph.(516) 546-2026 Fax.(516) 546-6010

Oder
Deinen nächsten ANDI Distributor

MAXIMALE EINSATZTIEFE (MOD)
ÄQUIVALENTE LUFTTIEFE (EAD) - METRISCH

fO_2	PPO_2 = 1.6 bar		PPO_2 = 1.5 bar		PPO_2 = 1.45 bar	
	MOD	EAD	MOD	EAD	MOD	EAD
.50	22.0	10.25	20.0	8.98	19.0	8.35
.49	22.6	11.04	20.6	9.75	19.5	9.04
.48	23.3	11.91	21.2	10.53	20.0	9.74
.47	24.0	12.81	21.9	11.40	20.8	10.66
.46	24.7	13.71	22.6	12.28	21.5	11.53
.45	25.5	14.71	23.3	13.18	22.2	12.41
.44	26.3	15.73	24.0	14.10	22.9	13.32
.43	27.2	16.84	24.8	15.10	23.7	14.31
.42	28.0	17.89	25.7	16.21	24.5	15.32
.41	29.0	19.12	26.5	17.25	25.3	16.36
.40	30.0	20.37	27.5	18.48	26.2	17.49
.39	31.0	21.65	28.4	19.65	27.1	18.64
.38	32.1	23.04	29.4	20.92	28.1	19.90
.37	33.2	24.45	30.5	22.29	29.1	21.18
.36	34.4	25.96	31.6	23.70	30.2	22.56
.35	35.7	27.60	32.8	25.21	31.4	24.06
.34	37.0	29.26	34.1	26.84	32.6	25.58
.33	38.4	31.04	35.4	28.50	33.9	27.23
.32	40.0	33.03	36.8	30.28	35.3	28.99
.31	41.6	35.06	38.3	32.18	36.7	30.78
.30	43.3	37.22	40.0	34.30	38.3	32.79
.29	45.1	39.52	41.7	36.46	40.0	34.93
.28	47.1	42.04	43.5	38.75	41.7	37.11
.27	49.2	44.70	45.5	41.28	43.7	39.62
.26	51.5	47.60	47.6	43.95	45.7	42.17

UMRECHNUNGSTABELLE DER FEUCHTIGKEIT			
Taupunkt °F	Taupunkt °C	Wassergehalt ppm (v/v)	Wassergehalt mg / *l*
-110	-78.9	0.58	0.00043
-105	-76.1	0.93	0.00069
-100	-73.3	1.5	0.0011
-95	-70.5	2.3	0.0017
-90	-67.8	3.5	0.0026
-85	-65.0	5.3	0.0040
-80	-62.2	7.8	0.0058
-75	-59.4	11.4	0.0085
-70	-56.7	16.2	0.012
-65	-53.9	23.0	0.017
-60	-51.1	32.0	0.024
-55	-48.3	45.0	0.034
-50	-45.6	63.0	0.047
-45	-42.8	87.0	0.065
-40	-40.0	120	0.089
-35	-37.2	165	0.12
-30	-34.4	225	0.17
-25	-31.6	305	0.23
-20	-28.9	400	0.30
-15	-26.1	525	0.39
-10	-23.3	690	0.51
- 5	-20.5	895	0.67
0	-17.8	1180	0.88

Taupunkt ausgedrückt in ppm (Volumen/Volumen) und Grad F oder Grad C bei einer Atmosphäre absolut, 101 kPa abs. (760mm Hg)

Tabelle 2 - 1 Weltweite Standards für Druckluft

STANDARDS FÜR ATEMGASE (VERUNREINIGUNGEN IN LUFT)							
LAND ↓	USA GRADE E	CANADA Z 180.1	UK BS 4001	UK BS 4275	SCHWEDEN	AUSTRALIEN	ISRAEL
GERUCH/ GESCHMACK	KEIN GERUCH	KEIN GERUCH	"Frei von.."	KEINE	*	KEIN GERUCH	KEINE
CO_2	500 ppm	500 ppm	500 ppm	500 ppm	*	480 ppm	500 ppm
CO	10 ppm	5 ppm	10 ppm	5 ppm	20 ppm	10 ppm	5 ppm
GASFÖRMIGE KOHLEN-WASSERST.	25 ppm	*	*	*	*	*	*
H_2O	-50° F Taupunkt .047mg/liter	-63°F Taupunkt .02 mg/liter	500 mg / M^3 .5 mg/liter	-50° C Taupunkt .03 mg/liter	30 mg / M^3 .03 mg/liter	100 mg / M^3 .1 mg/liter	<25 mg / M^3
FESTE KOHLEN-WASSERST. (Öl)	5.0 mg / M^3	1.0 mg / M^3	1.0 mg / M^3	0.5 mg / M^3	3.0 mg / M^3	1.0 mg / M^3	<1.0 mg / M^3
PARTIKEL GRÖSSE	*	1.0 mg / M^3	"Frei von.."	Keine	*	*	<1.0 mg / M^3
ANDERE SCHÄDLICHE GASE	*	< 5 ppm	*	< 3 ppm	*	*	*
* KEINE SPEZIFIKATION							