

PATD

Gas Blender Manual



SSI SCUBA SCHOOLS INT.
® Albrecht Salm
Instructor No. 12653



Albrecht Salm
Master Scuba Diver Trainer
PADI MSDT # 33913



Franz Rettenmaier
Dr. Bernd Aspacher

AS
2001



PATD

Gas Blender Manual



Franz Rettenmaier
Dr. Bernd Aspacher



Einleitung.....	5
Achtung.....	5
Tauchgase.....	6
Luft.....	6
Reingase.....	6
Sauerstoff	6
Technisches Merkblatt Sauerstoff.....	8
Lieferform	9
Reinheitsgrade	9
Flaschengrößen	9
Flaschenkennzeichnung	10
Herstellung	11
Sauerstoffproblematik.....	14
Sauerstoffkompatibel	16
Sauerstoffrein	16
Sauerstoffreinigung	17
Die 40er Regel	17
Helium.....	18
Technisches Merkblatt Helium.....	19
Lieferform	20
Reinheitsgrade	20
Flaschengrößen	20
Flaschenkennzeichnung	21
Stickstoff	22
Narkosewirkung von Gasen.....	22
Technisches Merkblatt Stickstoff	23
Lieferform	24
Reinheitsgrade	24
Flaschengrößen	24
Flaschenkennzeichnung	25
Wasserstoff.....	26
Technisches Merkblatt Wasserstoff	27
Lieferform	28
Reinheitsgrade	28
Flaschengrößen	28
Flaschenkennzeichnung	29
Argon	30
Wärmeleitfähigkeit Gase.....	30
Flaschengrößen	30
Flaschenkennzeichnung	31
Reinheitsgrade	31
Neon	32
Xenon	32
Krypton	32
Flaschenkennzeichnung	33
Testfragen Teil 1	34
Lösungen Teil 1	35
Mischmethoden	36
Partialdruckmethode	36
Konstantbeimischung	38
Nitrox-Membran	39
Mischen nach Gewicht	41
Mischen nach Volumen.....	41
Premix.....	41



40er-Bank	42
Testfragen Teil 2	43
Lösungen Teil 2	44
Mischanlagen und Gasverdichter	45
Füllen von Nitroxflaschen	45
Kompressoren.....	47
Booster	49
Handumfüllpumpe	49
Gasbooster (Haskel).....	49
Doppelwirkende Booster.....	51
Zweistufige Booster	51
Testfragen Teil 3	53
Lösungen Teil 3	54
Physikalische Grundlagen	55
Dalton	55
Boyle & Mariotte.....	56
Gay-Lussac.....	56
Charles	56
Ideales Gasgesetz	56
Beispiele.....	57
Reale Gase.....	58
Van-der-Waals	58
Realgasfaktoren	59
Testfragen Teil 4	60
Lösungen Teil 4	61
Mischungsberechnungen.....	62
Nitrox aus Reingasen.....	62
Nitrox aus Sauerstoff und Luft.....	63
Nitrox aus Premix und Luft.....	63
Nitrox-Refill	63
Helium-Prefill für Trimix.....	64
Sauerstoff-Prefill für Trimix.....	64
Remaining-Blends.....	64
Überströmen und Umpumpen.....	65
Überströmen	65
Überströmen von einer Premixspeicherbank in Tauchflaschen.....	65
Überströmen von einer Premixkaskade in Tauchflaschen	66
Umpumpen	66
Software zum Gas-Blending	67
Welches Gasmischung wird benötigt?	67
Wie mische ich das Gas?.....	70
Wie überprüfe ich eine Gasmischung?.....	75
Mischgasarten	76
Nitrox	76
HeliAir	76
Heliox.....	77
Trimix.....	77
Hydreliox.....	77
Argox	77
Neox	77
Mischen.....	78
Gasanalyse	79
Druckgasbehälter und Kennzeichnung	81
Kennzeichnung	81
Sicherheit im Umgang mit Gasen	82



Kennzeichnung	82
Ventile	82
Schutzkappen oder Bügel	82
Prüfung von Druckgasflaschen	83
Beförderung	83
Vorbemerkungen	83
Fahrzeuge	83
Vor Antritt der Fahrt	83
Ladungssicherung	83
Lüftung	84
Rauchen und offenes Feuer	84
Beförderung unterhalb der Freigrenzen	84
Beförderung oberhalb der Freigrenzen	85
Nach der Fahrt	86
Garagen	86
Auslandsfahrten	86
Eine Empfehlung	86
Anhang	87
Gesetzliche Grundlagen	87
Geltungsbereich	87
Begriffsbestimmungen	87
Allgemeine Anforderungen	89
Befördern von Druckgasbehältern	90
Tabellen und Prozedurformulare	94
Sauerstoffvorgabe für Nitrox	94
Nitrox-Mischblatt	95
Trimix Mischblatt	96



Einleitung

Die immer weiter technisierte und fortgeschrittene Taucherei verlangt inzwischen durch größer werdende Tauchtiefen oder längere Grundzeiten nach speziellen Gasmischungen. Durch die Beibehaltung von Druckluft (Nitrox 21) könnten bestimmte Tauchtiefen nicht erreicht werden, lange Grundzeiten ergäben unter Umständen extrem ausgedehnte Dekompressionszeiten oder, eher als Randgebiet des Gasmischens gesehen, müssten wir auf isolationsgeeignete Anzuggase verzichten.

Im Laufe des Manuals wird uns bewusst, dass das Gasmischen nicht einfach daraus besteht Komponente A und Komponente B in eine Flasche zu füllen und abzuwarten was passiert. Die sicherste und für „Wenigtaucher“ die preisgünstigste Möglichkeit sich das Gas zu beschaffen ist sicherlich die Flasche in einem Geschäft mit professioneller Mischanlage befüllen zu lassen. Diejenigen, die durch viel tauchen oder verschiedenartigste Gaszusammensetzungen vom Selbermischen „abhängig“ sind, sollten die Handhabungsweisen und Vorsichtsmaßnahmen im Manual genau befolgen, um ein Maximum an Präzision und Sicherheit zu gewinnen.

Achtung

Das Mischen von Gasen stellt bei unsachgemäßer Handhabung eine ernste Gefahr dar und kann zu Verletzungen oder Todesfall führen. Dieses Manual dient nicht als autodidakte Anleitung zum Gasemischen und entbindet auch nicht von einem praktischen Unterricht bei einer geeigneten Organisation. Die Verfasser und PATD haften in keinem Fall bei unerwünschten Ereignissen die durch Anwendungen von im Manual beschriebenen Vorgängen geschehen und zu Verletzungen oder zum Todesfall führen können.

Unabhängig von den hier beschriebenen Methoden und Möglichkeiten gelten die lokalen gesetzlichen Bestimmungen, welche beachtet werden müssen. Jeder der Gase mischen möchte, muss sich hierüber informieren.



Tauchgase

Luft

Luft setzt sich aus verschiedenen Gasen zusammen. Für das Tauchen rechnet man allgemein mit 21% Sauerstoff und fasst den Rest als 79% Stickstoff zusammen.

Gas	chem. Zeichen	Stoffmengenanteil	Volumenanteil	Massenanteil
Stickstoff	N ₂	78,101 %	78,108 %	75,539 %
Sauerstoff	O ₂	20,939 %	20,932 %	23,133 %
Argon	Ar	0,917 %	0,917 %	1,265 %
Kohlendioxid	CO ₂	0,040 %	0,040 %	0,061 %
Neon	Ne	18,180 ppm	18,199 ppm	12,666 ppm
Helium	He	5,240 ppm	5,246 ppm	0,724 ppm
Methan	CH ₄	1,500 ppm	1,498 ppm	0,831 ppm
Krypton	Kr	1,140 ppm	1,138 ppm	3,298 ppm
Wasserstoff	H ₂	0,500 ppm	0,501 ppm	0,035 ppm
Distickstoffoxid	N ₂ O	0,300 ppm	0,298 ppm	0,456 ppm
Kohlenmonoxid	CO	0,200 ppm	0,200 ppm	0,193 ppm
Xenon	Xe	0,087 ppm	0,087 ppm	0,394 ppm

Tafel 2 Zusammensetzung der Luft (der Volumenanteil ist bei 15°C, 1 bar angegeben)

Reingase

Zum Gasemischen stehen uns verschiedene Verfahren zur Verfügung. Bei fast allen Verfahren wären Reingase als Ausgangskomponenten jedoch der Optimalzustand. Dass dies in der Praxis nicht immer nötig ist, werden wir später erfahren. Zum Verständnis der Gase wenden wir uns als erstes ihren Eigenschaften zu.

Sauerstoff

(engl. Oxygen , lat. Oxygenium)

Sauerstoff ist als Molekül mit Doppelbindung (O₂) das am häufigsten auftretende Molekül auf unserer Erde. Wir finden es in der Erdrinde mit einem Anteil von 49,4% und in der Luft mit 20,95%. Menschliches oder tierisches Leben benötigt Sauerstoff für die Verbrennung und Energieerzeugung und somit wird die Möglichkeit des Lebenserhaltes von der Bereitstellung dieses Gases beeinflusst. Das Leben auf der Erde hat sich jedoch auf einen durchschnittlichen Sauerstoffgehalt des Atmungsgases von 21% eingestellt und reagiert unterschiedlich empfindlich auf Schwankungen in der Konzentration des O₂.

Als unterer Grenzwert für den Sauerstoffpartialdruck wurde 0.16 bar und als obere Grenzwerte unter ungünstigen Faktoren 1.4 bar sowie unter Optimalvoraussetzungen 1.6 bar festgelegt. Da diese Werte anhand von



Testpersonen ermittelt wurden, kann der individuelle Taucher selbst innerhalb dieser Grenzen noch empfindlich unterschiedlich reagieren. Die Reaktion gegenüber Sauerstoff kann nicht wie gegenüber Stickstoff trainiert werden und die Zeit von den ersten Anzeichen zur Hypoxie ist oft sehr gering.

Auswirkungen verschiedener O₂-Konzentrationen auf den Taucher

Sauerstoffpartialdruck	Physiologischer Effekt
0.1 bar	Bewusstlosigkeit, Tod
0.12 bar	Massive Hypoxie
0.16 bar	Erste Anzeichen einer Hypoxie
0.21 bar	Normaler Sauerstoffdruck (normoxisch)
0.5 bar	max. Dauerbelastung beim Sättigungstauchen und Beginn der pulmonaren Sauerstoffintoleranz (Lorrain-Smith-Effekt)
1.4 bar	max. O ₂ -Belastung bei Anstrengung, Deko-Tauchgängen oder weiteren ungünstigen Faktoren
1.6 bar	max. O ₂ -Belastung bei Optimalbedingungen und beginn der ZNS-Sauerstoffintoleranz (Paul-Bert-Effekt)
3.0 bar	Maximaler Sauerstoffpartialdruck zur medizinischen Therapie.



Technisches Merkblatt Sauerstoff

Handelsname	Sauerstoff, verdichtet O₂
Chemische Charakterisierung	Ungiftig, nicht brennbar, fördert jedoch die Verbrennung
Form	Gasförmig
Farbe	Farblos
Geruch	Geruchlos
Physikalische Charakterisierung	
Gefrierpunkt	-219°C
Siedepunkt	-183°C
Flammpunkt	Nicht brennbares Gas
Dampfdruck	(+20°C) 50.8 bar
Dichte	(+15°C, 1 bar) 1.337 kg/m ³
Löslichkeit im Wasser	(+20°C) 0.04g/l H ₂ O
Reaktionen	Öle, Fette, Wasserstoff und sonst leicht entzündliche Stoffe, organische Stoffe können unter Reinsauerstoffatmosphäre zur Selbstentzündung neigen.
Sonstige Angaben	Gasförmiger Sauerstoff ist schwerer als Luft. Bei Ansammlungen in tiefergelegenen Stellen besteht dort erhöhte Brandgefahr. Kleidung nimmt Gas ebenfalls auf und erreicht extreme Verbrennungsfähigkeit.
Transport	GGVSee/IMDG-Code: Kl.2, UN-Nr.1072 GGVE/GGVS: Kl.2, Ziff. 1a, ICAO/IATA-DGR: Art.-Nr.1339, RID/ADR: Kl.2, Ziff.1a ADNR: Kl.1d, Ziff. 3
Vorschriften	Arbeitsstoffverordnung: Ausgenommen Abschn.2,§3(2)7 und Abschn.3,§13(1). Chemikalien-Altstoff-Verordnung: CAS-Nr. 7782-44-7; Druckbehälterverordnung; TRG 101 Anlage 1, Gruppe 1.1 und TRG 104 Anlage 1, Gruppe B ₂ ; UVV "Sauerstoff" VBG 62
Schutzmaßnahmen	Dichtheit der Behältnisse überwachen; bei Brand Behälter mit Wasser kühlen und aus Gefahrenzone bringen. Bei Behältererhitzung besteht Berstgefahr.
Maßnahmen zur Brandbekämpfung	
Nach Gasaustritt	Für gute Lüftung sorgen
Geeignete Löschmittel	Löschpulver, Kohlensäure, Wasser
Ungeeignete Löschmittel	Löschdecken, Sand
Weitere Angaben	Keine Brandbekämpfung in der Nähe von freigewordenem Sauerstoff. Erst Sauerstoff abströmen lassen.
Ökologie	Sauerstoff ist Bestandteil der Atemluft und somit besteht keine Gefährdung des Lebens.



Lieferform

Zum Verkauf kommt Sauerstoff sowohl gasförmig als auch in flüssiger Form. Da jedoch Flüssigsauerstoff in einer Verdampferanlage erst in seinem gasförmigen Zustand überführt werden muss, ist diese Lieferform erst ab sehr großen Mengen rentabel. Unterschieden wird auch in verschiedene Reinheitsgrade. Für den Einsatz in der Taucherei wird med. Sauerstoff empfohlen.

Die Lieferanten unterscheiden den Sauerstoff in folgende Kategorien:

- Sauerstoff
- Sauerstoff Medizinisch
- Sauerstoff Höhenatmung
- Sauerstoff 2.8, 3.5, 4.5, 4.8, 5.0, 5.6, 6.0
- Sauerstoff KW-Frei
- Sauerstoff Flüssig

Reinheitsgrade

Produkt- bezeichnung	O ₂ -Vol.-%	N ₂ / Edelgase	Kohlen- wasserstoff	CO CO ₂ vpm	H ₂ O vpm	Taupunkt °C
O ₂ Technisch 2.8	>=99.8					
KW-Frei	>=99.8	<0.2 VOL.- %	<0.5	<1	<5	-65
4.5	>=99.995	<30 vpm	<0.5	<0.5	<5	-65
4.8	>=99.998	<15 vpm	<0.5	<0.5	<5	-65
Flüssig	>= 99.8	<0.2 VOL.- %			<2	-72

Abgefüllt wird Sauerstoff in Einzelflaschen oder bei Mehrbedarf in Flaschenbündeln.

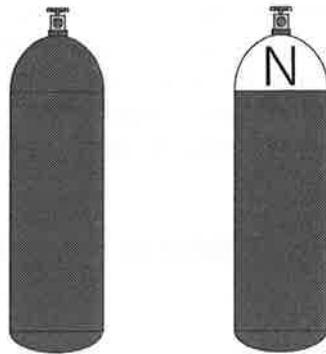
Ventil- und Bündelanschluss: R ³/₄" nach DIN 477 Nr. 9

Medizinischer Sauerstoff zeichnet sich nicht durch einen noch höheren Reinheitsgrad aus, sondern dadurch, dass Proben aus dem Quellbehälter für eine gewisse Zeit aufbewahrt bleiben.

Flaschengrößen

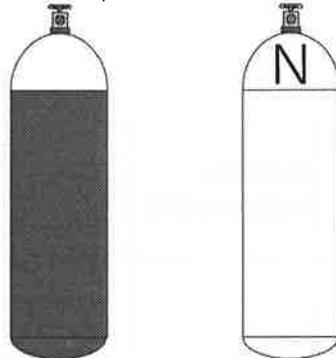
Flaschentyp	Volumen in Litern	Fülldruck in Bar	Inhalt in Litern „Free-Flow“
10	10	200	2000
20	20	200	4000
40	40	160	6000
50	50	200	10000

Flaschenkennzeichnung



Sauerstoff technisch

Ist- Zustand (Überwiegend): Blaue Flasche, blauer Hals
Neu: Blaue Flasche, weißer Hals, Kennbuchstabe N



Sauerstoff medizinisch

Ist- Zustand (Überwiegend): Blaue Flasche, weißer Hals
Neu: Weiße Flasche, weißer Hals, Kennbuchstaben N

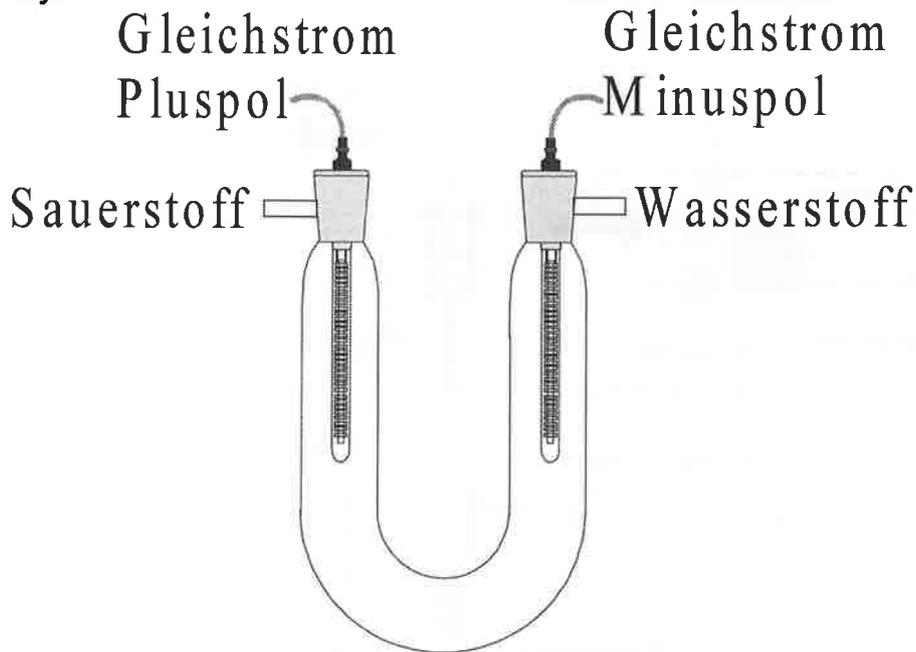
Die Verwendung von med. Sauerstoff anstelle techn. Sauerstoffs hängt damit zusammen, dass bei med. Sauerstoff vor der Befüllung die Flaschen gereinigt werden um eventuell eingetretene Fremdgase zu entfernen. Würden wir techn. Sauerstoff mit einem Restgehalt an Rückgas (meist CO-Verbindungen durch das Schweißen) verwenden, kann dies durch die hohe Hämoglobinaffinität des CO gesundheitsschädliche Folgen haben. Der Unterschied des Sauerstoffes zur Höhenatmung bzw. zum Fliegen liegt in seinem sehr geringen Restfeuchteanteil gegenüber den anderen Sauerstoffgüteklassen.



Herstellung

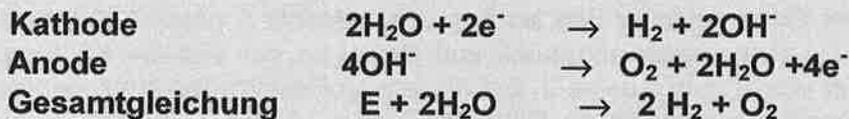
Zur technischen Herstellung von Sauerstoff gibt es zwei wichtige Verfahren:

Elektrolyse

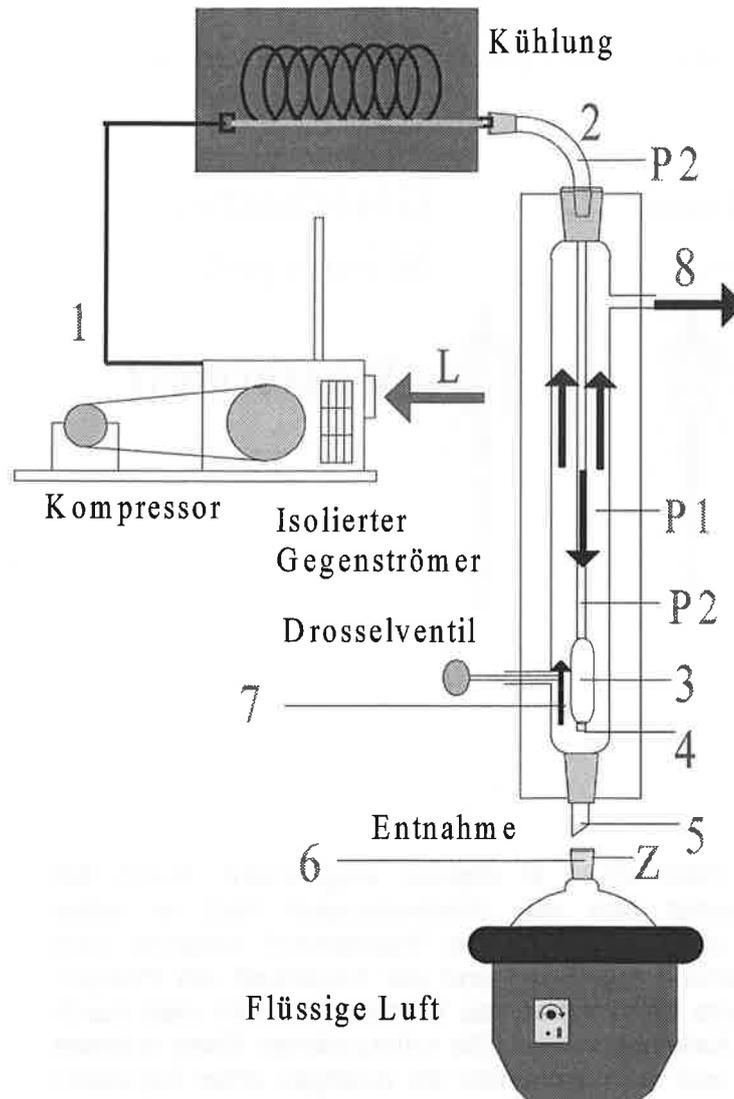


Bei der Elektrolyse wird Gleichstrom in Wasser eingebracht. Durch die anliegende Spannung spaltet sich das Wassermolekül H_2O in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff. Der Wasserstoff scheidet sich hierbei am Minuspol bestehend aus Eisen und der Sauerstoff am Pluspol, Nickelanode ab. Die bessere Leitfähigkeit des Wassers erreicht man durch Zugabe von Natrium- oder Kaliumhydroxid. Die entstandenen Gase müssen sorgfältig getrennt werden weil sie miteinander als Knallgas unter Explosion wieder zu Wasser reagieren würden.

Elektrolysevorgang



Luftverflüssigung nach Linde

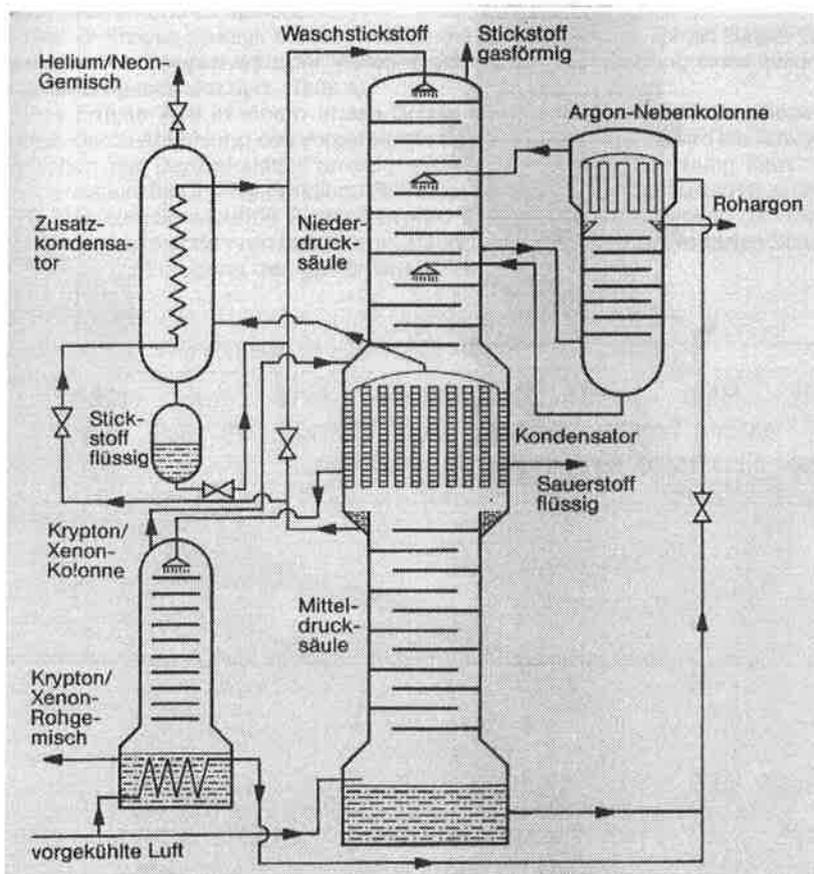
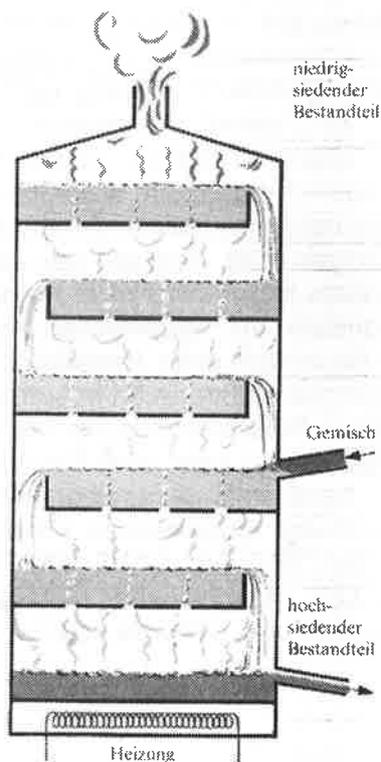


Linde entdeckte 1901, dass mit der Möglichkeit einer Drosseldüse (Joule-Thomson-Effekt) und nachgeschaltetem Gegenströmer auf wirtschaftliche Weise Luft verflüssigt werden kann.

Als erstes wird mit Hilfe eines Kompressors Luft L angesaugt und auf ca.50-200 bar verdichtet P2. Da die Luft durch die Kompression heiß wird 1, ist es vorteilhaft sie so weit wie möglich abzukühlen. Im abgekühlten Zustand wird die Luft 2 in den Gegenströmer und an das Drosselventil 3 geleitet. Die Luft wird durch die Drossel weiter abgekühlt und strömt an der von der Kühlung kommenden Luft vorbei zum Auslass 8. Bei diesem Vorbeiströmen kühlt sie die Luft vor der Drossel weiter ab 4. Die jetzt etwas kältere Luft wird beim Vorbeiströmen P1 die kommende Luft noch weiter abkühlen. Dieser Vorgang läuft selbständig weiter bis wir in den Temperaturbereich der flüssigen Luft kommen. Bei solchen Vorgängen spricht man von selbsterregenden Arbeitsweisen. Nach einer gewissen Weile können wir an der Entnahme 5 flüssige Luft Z erhalten. Man muss das Gemisch jedoch weiter auf tiefen Temperaturen 6 halten, da es sich sonst wieder verflüchtigt.



Bei dem anschließenden Separieren wird das Gas langsam erwärmt. Da die Gase verschiedene Siedepunkte haben, verflüchtigen sie sich unterschiedlich und können nacheinander abgepumpt werden.



Anlage zur Gewinnung verschiedener Gase



Sauerstoffproblematik

Sauerstoff ist eines der am stärksten elektronegativen Elemente und daher sehr reaktionsfreudig. Die Verbindung mit anderen Elementen erfolgt exotherm, d.h. unter Abgabe von Energie. Die Gefahr einer Reaktion steigt mit Druck und Temperatur stark an und geschieht oftmals explosionsartig. Sauerstoff kann, im Gegensatz zu seiner harmlosen Art unter atmosphärischem Druck, sowie er unter erhöhtem Druck steht zum Gefahrenpotential werden. Außer seiner toxischen Wirkungsweise für Lebewesen kann seine erhöhte Reaktionsbereitschaft unerwünschte Effekte gegenüber verwendeten Materialien zeigen. Die Auswahl der verwendeten Materialien und Hilfsstoffe in einem System hängt somit nicht nur von dem im Einsatz befindlichen Medium ab, sondern im wesentlichen von dessen Betriebsdrucks. Die Anwesenheit von Sauerstoff unter Hochdruck ermöglicht es auch, dass nicht oder nur schwer brennbare Materialien trotzdem verbrannt werden können. Ein Einsatzbereich dieses Phänomens in der Technik ist das Brennschneiden von Stahl. Poröse Materialien oder zum Beispiel Textilien oder Textilstoffe neigen, wenn sie Sauerstoff angereichert haben, bei Entzündung zur schlagartigen Verbrennung. Zugelassene Werkstoffe sind genormt und Stähle zum Beispiel in der TRG 200 (TRG 200, Technische Regeln Druckgase Nr.200) erfasst. Um verschiedene Materialien unter Sauerstoffeinwirkung einstufen zu können, wurde um 1970 ein Sauerstoffindex erstellt.

Sauerstoffindex

Eigenschaft	Sauerstoffindex
Gut brennbar	<0.21
Brennbar	0.21-0,3
In Verbindung mit Zündquelle brennbar	0.3-0.5
Selbstlöschend	>0.5

Sämtliche Materialien, Hilfs -und Zusatzstoffe sind mit einer Sauerstoffindexzahl in einer Tabelle erfasst und können so auf ihre Verträglichkeit gegenüber Sauerstoff hin eingeordnet werden.



Stoffbeispiele

Stoffart	Indexzahl
Gummi	0.17
Baumwolle	0.18
Schmieröl	0.21
Polyester	0.23
Wolle	0.26
Silikonöl	0.28
Viton	0.57
Teflon	0.95

Damit es jedoch zu einer Verbrennung kommt, müssen gewisse Vorbedingungen erfüllt werden. Dies lassen sich in einer Grafik als sogenannte „Feuertriangel“ darstellen.

Feuertriangel



Brennstoff: Alle nicht O₂-kompatible Materialien, auch Verschmutzungen. Je größer die Oberfläche des Materials ist, desto mehr kann oxidiert werden und desto anfälliger wird das Material für die Verbrennung.

Zündung: Startschuss für Verbrennungsreaktionen ist die Zündung. Sie entsteht durch: chemische Reaktionen, elektrostatische Entladung, Schlagbeanspruchung oder Kompressionswärme, Druckstöße, Textilfasern oder Funkenflug (z.B. durch Rostpartikel im Gasstrom). Eine hohe Gefahr liegt auch in der Entstehung der Reibungswärme infolge zu schneller Strömungsgeschwindigkeiten. Passiert das Gas zum Beispiel eine Engstelle oder einen Bogen, so kann es dort eine lokale Erwärmung geben, die schnell die Zündtemperatur erreicht. Empfohlen ist daher eine maximale Füllgeschwindigkeit von 40 Liter pro Minute.

Sauerstoff: Je höher der O₂-Partialdruck desto intensiver die Verbrennung.



Hauptursachen für Brände in sauerstoffführenden Anlagen sind:

- Verändernde Gasdrücke durch Rohrquerschnittsänderungen und Rohrsäulenschwingungen bei Gasströmungen.
- Systemverschmutzung, falsche Schmiermittel oder poröse Oberflächen mit hoher Reibung.
- Elektrostatische Entladung oder Ströme durch anliegende Spannung.

Sauerstoffkompatibel

Bei dem Einsatz von sauerstoffhaltigen Gemischen über 21% ist es unbedingt notwendig, dass die verwendeten Materialien mit dem Sauerstoff nicht reagieren. Dieser Zustand muss auf jeden Fall auch unter steigenden Sauerstoffpartialdrücken beibehalten werden. Materialien, die unter atmosphärischem Druck nicht reagieren, können dies unter erhöhtem Druck durchaus tun.

Nicht kompatible Materialien	Weiches Teflon Standardmäßige NBR O-Ringe Neoprene Herkömmliche Schmier-und Pflegemittel Reinigungsmittel (z.B. Aceton)
Kompatible Materialien	Kupfer, Messing und blanker Stahl „Viton“ O-Ringe (Du Pont) PTFE-Teflon Spezielle O ₂ -geeignete Schmiermittel z.B. Krytox, Tribolub oder Halokarbon

Sauerstoffrein

Unsere sauerstoffkompatiblen Materialien können jedoch durch diverse Verschmutzungen für den Einsatz mit erhöhten Sauerstoffdrücken unbrauchbar werden.

Als häufigste Verschmutzungen zählen z.B.	Öle und Fette, insbesondere Kompressorenöl, Maschinenöl oder Silikonfett Reinigungsrückstände Rost und Oxide Farbe
--	---



Sauerstoffreinheit ist vor allem im gesamten Hochdruckbereich Flasche-Ventil-1.Stufe-Finimeter eine unabdingbare Voraussetzung. Der Mitteldruckbereich ist wegen des niedrigeren Sauerstoffpartialdruckes weit weniger problematisch, sollte aber trotzdem nicht vernachlässigt werden.

Sauerstoffreinigung

Um sauerstoffkompatible Ausrüstungsgegenstände auch sauerstoffrein zu halten müssen diese jährlich neben der normalen Inspektion auch gereinigt werden.

Zuerst werden die Gegenstände in ihre Bestandteile zerlegt und mechanisch mit feinem Schleifpad oder einer Messingbürste von grober Verschmutzung gereinigt. Zur eigentlichen Vorreinigung legen wir die Teile für längere Zeit in ein Säure- oder Laugenbad, um Rost, Oxide oder sonstige hartnäckige Verkrustungen zu entfernen. Bei optisch sauberen oder neuwertigen Teilen reicht die Vorreinigung mit handelsüblichen Reinigungsmitteln. Nach sorgfältigem Spülen mit klarem Wasser müssen nun bei der Hauptreinigung jegliche Fettrückstände entfernt werden. Als sehr guter Fettentferner hat sich in der Praxis Aceton bewährt. Dieses dürfte in jedem besseren Kfz- oder Malerzubehörladen erhältlich sein. Sehr hilfreich ist der Einsatz einer UV-Lampe, da Verschmutzungen unter diesem Licht oft fluoreszierend leuchten. Beim Zusammenbau ist darauf zu achten, dass die Teile nicht mit ungeschützten Händen in Kontakt kommen, da dies bereits eine neue Verschmutzung darstellt. Nach der Hauptreinigung trägt man am besten Handschuhe. Kommen die Teile nun nicht sofort zum Einsatz, schweisst man sie am besten in Plastikbeutel ein.

Das Für und Wider der Sauerstoffreinigung ergibt sich aus der Höhe des verwendeten Sauerstoffpartialdruckes, gesetzlicher Vorschriften und langerprobten Handhabungsweisen erfahrener Nitroxverbände.

Die 40er Regel

Einige der ersten Organisationen, die Nitrox verwendeten, hielten sich an eine sogenannte 40er Regel (US-Norm). Diese Regel besagt, dass Ausrüstungsgegenstände bis zu einem Sauerstoffprozentanteil von 40% ohne sauerstoffreinigende Vorbehandlung oder dem Einsatz sauerstoffkompatibler Materialien benutzt werden dürfen. Ausgenommen von dieser Regelung sind Flaschen und Ventile, da sie beim „Vorspannvorgang“ mit reinem Sauerstoff in Kontakt kommen. Da es sich bei dem Einsatz der 40er Regel um konventionelle Pressluftausrüstungsteile handelt, verwendet man für den Regler-Ventil Anschluss auch das DIN Innengewinde oder den INT Bügelanschluss. In vielen Jahren hat sich diese Regelung als problemlos und ungefährlich bewährt.

Achtung: In der deutschen Gesetzgebung ist verankert, dass Druckgase mit einem höheren Sauerstoffgehalt als 21% wie reiner Sauerstoff zu handhaben sind. Daraus resultiert eine spezielle Ausrüstung.



Helium

(engl. Helium , griech. von Helios = Sonne)

Helium wurde erst 1868 von dem englischen Chemiker Sir William Ramsay eindeutig identifiziert und als eigenständiges Element zugeordnet. Die Vorkommnisse auf der Erde sind sehr begrenzt, obwohl Helium mit 23% nach Wasserstoff das zweitgrößte Vorkommen im Universum bildet. Durch seine geringe Atommasse von nur 4,0026 (O_2 hat 15,9994) wird es zum Beispiel als Füllgas in Ballone eingesetzt. Im Tauchsport hat sich Helium einen festen Platz in der Tieftaucherei geschaffen, da es weit weniger narkotisch wirkt wie Stickstoff und durch sein geringe Dichte unter Druck leichter zu atmen ist. Die geringe Dichte und somit leichtere Flüchtigkeit des Gases stellt aber auch die Technik vor neue Probleme. Anlagen, die sich unter Einsatz vieler Gase als dicht herausstellten, zeigten unter Heliumatmosphäre auf einmal Leckverluste. Anlagen, Ventile oder Verschraubungen, die einen sehr hohen Dichtigkeitsgrad aufweisen, werden auch als Heliumdicht bezeichnet. Ein weiterer Effekt der geringeren Dichte zeigt sich beim Sprechen unter Heliumeinfluss. Die Stimme verzerrt sich, dies ist als Donald-Duck-Effekt bekannt. Dies liegt daran, dass sich die Stimmbänder im Laufe der Evolution auf das dichtere Medium Luft eingestellt haben. Zur Kommunikation zwischen Taucher und Bordpersonal werden deshalb Stimmentzerrungsgeräte zum Einsatz gebracht. Ein weiteres Problem in der Taucherei stellt die gute Wärmeleitfähigkeit des Heliums dar. Es sollte daher unter allen Umständen vermieden werden den Trockentauchanzug mit einer Heliummischung zu befüllen, da es sowieso bessere Möglichkeiten gibt wie wir später sehen werden.

Ein sehr großes Problem, welches sich auch im Preis niederschlägt ist die Heliumgewinnung. Gegenüber den unheimlich großen Mengen im Universum steht gerade einmal in der Atmosphäre 0,0005 Vol.% und in einigen Erdgasen 1,8-7,6% zur Verfügung. Hauptverbreitungsgebiete sind Kanada, New Mexiko, Kansas, Utah, Texas und die GUS, wo es durch Verflüssigung des Erdgases und Trennung der anderen Gase gewonnen wird.



Technisches Merkblatt Helium

Handelsname	Helium, verdichtet He
Chemische Charakterisierung	Ungiftig, nicht brennbar, Edelgas
Form	Gasförmig
Farbe	Farblos
Geruch	Geruchlos
Physikalische Charakterisierung	
Gefrierpunkt	Verfestigt sich nur unter Druck >25bar
Siedepunkt	-269°C
Flammpunkt	Nicht brennbares Gas
Dampfdruck	(+20°C) ---
Dichte	(+15°C, 1 bar) 0,167 kg/m ³
Löslichkeit im Wasser	(+20°C) 0.0016g/l H ₂ O
Reaktionen	
Sonstige Angaben	Gasförmiges Helium ist leichter als Luft. Mit Helium angereicherte Räume müssen vor dem Begehen gelüftet werden. Bei Sauerstoffmangel umluftunabhängiges Atemgerät benutzen.
Transport	GGVSee/IMDG-Code:KI.2, UN-Nr.1046 GGVE/GGVS:KI.2,Ziff. 1a, ICAO/IATA-DGR: Art.-Nr.864, RID/ADR: KI.2,Ziff.1a ADNR: KI.1d, Ziff. 3
Vorschriften	Chemikalien-Altstoff-Verordnung: CAS-Nr.: 7440-59-7; Druckbehälterverordnung; TRG 101 Anlage 1, Guppe 1.1 und TRG 104 Anlage 1, Gruppe A, B ₁ , B ₂ ; UVV-Gase
Schutzmaßnahmen	Dichtheit der Behältnisse überwachen; bei Brand Behälter mit Wasser kühlen und aus Gefahrenzone bringen. Bei Behältererhitzung besteht Berstgefahr.
Maßnahmen zur Brandbekämpfung	
Nach Gasaustritt	Für gute Lüftung sorgen
Geeignete Löschmittel	-----
Ungeeignete Löschmittel	-----
Weitere Angaben	Für den Arzt: Symptomatische Behandlung. In reiner Heliumatmosphäre erfolgt ohne vorherige Anzeichen sofortige Bewußtlosigkeit und Erstickung.
Ökologie	Keine Gefährdung des Lebens im Wasser.



Lieferform

Unterschieden wird das Helium in folgenden Reinheitsgraden, wobei die Güteklasse 4.6 für die Taucherei ausreichend ist.

- Ballongas
- Helium 4.6
- Helium 5.0
- Helium 5.3
- Helium 5.6
- Helium 6.0
- Helium flüssig

Reinheitsgrade

Produkt- bezeichnung	He-Vol.-%	N ₂ vpm	O ₂ vpm	H ₂ O vpm
Ballongas	>=90.0			
4.6	>=99.996	<20	<5	<5
5.0	>=99.999	<4	<1	<3
5.3	>=99.9993	<2	<1	<2
5.6	>= 99.9996	<1	<1	<2
6.0	>=99.9999	<0.1	<0.1	<0.5
flüssig	>=99.9999	<0.1	<0.1	<0.5

Abgefüllt wird Helium in Einzelflaschen oder bei Mehrbedarf in Flaschenbündeln.

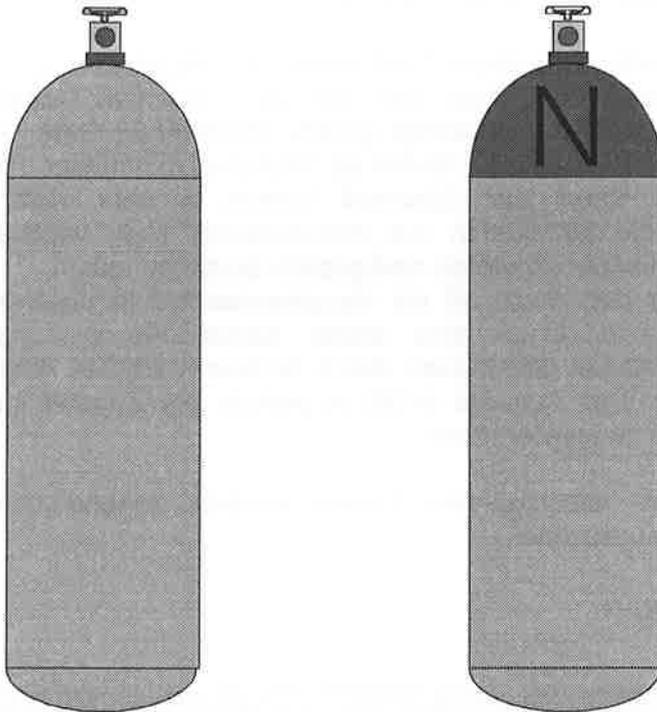
Ventil –und Bündelanschluss: W 21,80 x 1/14" nach DIN 477 Nr. 6

Flaschengrößen

Flaschentyp	Volumen in Litern	Fülldruck in Bar	Inhalt in Litern „Free-Flow“
10	10	200	1800
40	40	150	5400
50	50	200	9100



Flaschenkennzeichnung



Ist-Zustand (Überwiegend: Graue Flasche und graue Schulter
Neu Graue Flasche, braune Schulter, Kennbuchstaben N



Stickstoff

(engl. Nitrogen , lat. Nitrogenium >Salpeterbildner<)

Entdeckt wurde Stickstoff von dem deutsch-schwedischen Apotheker Carl Scheele 1772 und unabhängig im selben Jahr von dem Schotten Daniel Rutherford. Der Anteil an der Erdkruste beträgt gerade einmal 0,03 Gew. % wobei die größte Menge in der Lufthülle zu finden ist. Stickstoff nimmt hier mit 78,10 Vol.% den größten Raum ein. Stickstoff kommt in sehr vielen Verbindungen vor, wobei die wichtigsten die Aminosäuren sind, welche Entstehung von Leben auf unserem Planeten maßgeblich bestimmt haben.

In der Taucherei finden wir den Stickstoff als Hauptbestandteil in unserer Pressluft. Da er jedoch unter Druck eine starke narkotische Wirkung verursacht, wird er in bestimmten Situationen durch andere Inertgase oder Sauerstoff ersetzt. Eine wichtige Aufgabe erfüllt er jedoch als Zugabe im Trimix, um HPNS-Symptome zu unterdrücken.

Die Narkosewirkungen von verschiedenen Gasen werden anhand des Stickstoffes verglichen und eingeordnet.

Narkosewirkung von Gasen

Gas	Chem. Kurzzeichen	Fett-Löslichkeit	Molekular-Gewicht	Narkotisches- Stickstoff-Verhältnis
				Schwach Narkotisch
Helium	He	0,015	4,0026	0,235 (gegen 0)
Neon	Ne	0,019	20,179	0,279
Wasserstoff	H ₂	0,036	1,00794	0,541
Stickstoff	N ₂	0,067	28,02	1
Argon	Ar	0,14	39,948	2,327
Krypton	Kr	0,43	83,80	7,14
Xenon	Xe	1,7	131,29	25,6
				Stark Narkotisch



Technisches Merkblatt Stickstoff

Handelsname	Stickstoff, verdichtet N₂
Chemische Charakterisierung	Ungiftig, nicht brennbar, chem. sehr reaktionsträge
Form	Gasförmig
Farbe	Farblos
Geruch	Geruchlos
Physikalische Charakterisierung	
Gefrierpunkt	-210°C
Siedepunkt	-196°C
Flammpunkt	Nicht brennbares Gas
Dampfdruck	(+20°C) ---
Dichte	(+15°C, 1 bar) 0,314 kg/m ³
Löslichkeit im Wasser	(+20°C) 0.0212g/l H ₂ O
Reaktionen	
Sonstige Angaben	Mit Stickstoff angereicherte Räume müssen vor dem Begehen gelüftet werden. Bei Sauerstoffmangel umluftunabhängiges Atemgerät benutzen.
Transport	GGVSee/IMDG-Code: Kl.2, UN-Nr.1066 GGVE/GGVS: Kl.2, Ziff. 1a, ICAO/IATA-DGR: Art.-Nr.1273, RID/ADR: Kl.2, Ziff.1a ADNR: Kl.1d, Ziff. 3
Vorschriften	Chemikalien-Altstoff-Verordnung: CAS-Nr.: 7727-37-9; Druckbehälterverordnung; TRG 101 Anlage 1, Guppe 1.1 und TRG 104 Anlage 1, Gruppe B ₁ , B ₂ ; UVV-Gase
Schutzmaßnahmen	Dichtheit der Behältnisse überwachen; bei Brand Behälter mit Wasser kühlen und aus Gefahrenzone bringen. Bei Behältererhitzung besteht Berstgefahr.
Maßnahmen zur Brandbekämpfung	
Nach Gasaustritt	Für gute Lüftung sorgen
Geeignete Löschmittel	-----
Ungeeignete Löschmittel	-----
Weitere Angaben	Für den Arzt: Symptomatische Behandlung. In Stickstoffatmosphäre über 88% erfolgt ohne vorherige Anzeichen sofortige Bewusstlosigkeit und Erstickung.
Ökologie	Keine Gefährdung des Lebens im Wasser. Das Produkt ist Bestandteil der Atemluft.



Lieferform

Unterschieden wird der Stickstoff in folgende verschiedene Güteklassen:

- Stickstoff technisch 3.5
- Stickstoff 4.0
- Stickstoff 4.6
- Stickstoff 5.0
- Stickstoff 5.3
- Stickstoff 5.6
- Stickstoff flüssig

Reinheitsgrade

Produkt- bezeichnung	N ₂ -Vol.- %	O ₂ vpm	Ar vpm	KW vpm	H ₂ O vpm	Tau- Punkt °C
Stickstoff Technisch 3.5	>=99.95					
4.0	>=99.99	<50	<30		<30	-52
4.6	>=99.996	<5	<30	<0.5	<5	-65
5.0	>=99.999	<2	<5	<0.1	<3	-71
5.3	>= 99.9993	<2	<3	<0.1	<2	-72
5.6	>=99.9996	<0.5	<3	<0.1	<2	-72
flüssig	>=99.999	<2			<1	-76

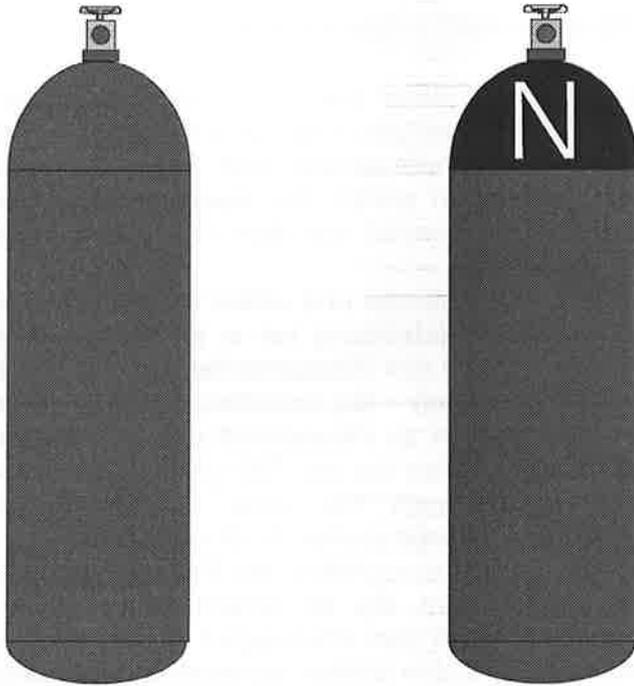
Abgefüllt wird Stickstoff in Einzelflaschen oder Flaschenbündel.
 Ventil- und Bündelanschluss: W 24,32 x 1/14" nach DIN 477 Nr. 10

Flaschengrößen

Flaschentyp	Volumen in Litern	Fülldruck in Bar	Inhalt in Litern „Free-Flow“
10	10	200	2000
20	20	200	4000
50	50	200	10000



Flaschenkennzeichnung



Ist-Zustand (überwiegend): Flasche und Flaschenhals: dunkelgrün
Neu: Dunkelgrüne Schulter, schwarzer Hals und Kennbuchstabe N



Wasserstoff

(engl. Hydrogen , griech. Hydrogenium = Wassererzeuger)

1671 berichtete der Engländer Robert Boyle von einem leicht brennbaren Rauch, den er jedoch nicht als eigenständiges Element erkannte. Die erste Isolierung des Wasserstoffs als Reinelement gelang 1766 Henry Cavendish, dem auch die Entdeckung zugeschrieben wurde. Der Name des Hydrogen, als Kurzzeichen deswegen auch H_2 , stammt von dem Franzosen Antoine Laurent de Lavoisier.

Wasserstoff kommt mit ca. 1% in der Erdkruste und einem Massenanteil von 11,19% im Wasser vor. Seine größte Verbreitung hat er im Universum mit einem Anteil von ca. 75%. Die Erzeugung des Wasserstoffes geschieht durch das Elektrolyseverfahren (siehe auch Sauerstofferzeugung), durch katalytische Umwandlung von Wasserglas zu Wasserstoff und Kohlendioxyd und hauptsächlich aus Kohlenwasserstoffen die bei 700-1000°C über Nickel geleitet werden. Wasserstoff spielt auch bei allen Lebewesen eine Schlüsselrolle, indem er Bestandteil aller organischer Verbindungen ist.

Für das Tauchen wäre der Wasserstoff hinsichtlich des Preises gegenüber dem Helium auf jeden Fall vorzuziehen. Es ist jedoch lange nicht so reaktionsträge. Als Gemisch mit Sauerstoff über 4% reagiert er sehr stark und neigt zur Explosion. Aus Sicherheitsgründen sollten verwendete Mischungen einen O_2 -Gehalt von 2,5% nicht überschreiten. Durch die äußerst geringe Dichte des Wasserstoffes ist er außerdem auf großen Tiefen einfacher zu atmen als andere Gase.

Achtung:

PATD rät von der Verwendung des H_2 beim Tauchen dringend ab, da die Gefahren des Umgangs für nichtfachmännischen Betrieb nicht beherrschbar sind !!!



Technisches Merkblatt Wasserstoff

Handelsname	Wasserstoff, verdichtet H₂
Chemische Charakterisierung	Ungiftig, brennbar
Form	Gasförmig
Farbe	Farblos
Geruch	Geruchlos
Physikalische Charakterisierung	
Gefrierpunkt	-259°C
Siedepunkt	-253°C
Zündtemperatur	560°C
Explosionsgrenzen	untere: 4.0 Vol.-% in Luft obere: 75.6
Dampfdruck	(+20°C) ---
Dichte	(+15°C, 1 bar) 0,084 kg/m ³
Löslichkeit im Wasser	(+20°C) 0.0017g/l H ₂ O
Reaktionen	Bildet mit Luft bzw. Sauerstoff oder Chlor explosionsfähige Gemische. Bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten erfolgt Selbstentzündung.
Sonstige Angaben	Gasförmiger Wasserstoff ist leichter als Luft. Mit Wasserstoff angereicherte Räume müssen vor dem Begehen gelüftet werden. Erstickung und akute Explosionsgefahr. Bei Sauerstoffmangel umluftunabhängiges Atemgerät benutzen.
Transport	GGVSee/IMDG-Code: Kl.2, UN-Nr.1049 GGVE/GGVS: Kl.2, Ziff. 1b, ICAO/IATA-DGR: Art.-Nr.924, RID/ADR: Kl.2, Ziff.1b ADNR: Kl.1d, Ziff. 3
Vorschriften	Arbeitsstoff-Verordnung; ausgen. Abschn.2, §3(2)7 und Abschn.3, §13(1). Chemikalien-Altstoffverordnung: CAS-Nr.: 1333-74-0; Druckbehälterverordnung; TRG 101 Anlage 1, Gruppe 1.2 und TRG 104 Anlage 1, Gruppe C; UVV-Gase; Explosionsschutz-Richtlinien (Ex-RI)
Schutzmaßnahmen	Dichtheit der Behältnisse überwachen; bei Brand Behälter mit Wasser kühlen und aus Gefahrenzone bringen. Bei Behältererhitzung besteht Berstgefahr.
Maßnahmen zur Brandbekämpfung	
Nach Gasaustritt	Für gute Lüftung sorgen, Zündquellen entfernen
Geeignete Löschmittel	Feuerlöscher, Wasser
Weitere Angaben	Für den Arzt: Symptomatische Behandlung. Wasserstoff kann Sauerstoff in Atemluft verdrängen und es besteht Erstickungsgefahr. Das Einatmen des Gases führt zu Schläfrigkeit und einer Stimmverzerrung.
Ökologie	Keine Gefährdung des Lebens im Wasser.



Lieferform

Wie auch schon die letzten Gase wird der Wasserstoff in verschiedene Güteklassen eingeteilt.

- Wasserstoff 3.0
- Wasserstoff 3.8
- Wasserstoff 5.0
- Wasserstoff 5.3
- Wasserstoff 5.6
- Wasserstoff 6.0
- Wasserstoff flüssig

Reinheitsgrade

Produkt- bezeichnung	H ₂ -Vol.- %	O ₂ vpm	N ₂ vpm	H ₂ O vpm	Kohlen- Wasserstoff vpm
3.0	>=99.9	<10	<1000	<30	
3.8	>=99.98	<10	<200	<20	
5.0	>=99.999	<2	<5	<5	<0.5
5.3	>=99.9993	<2	<3	<2	<0.5
5.6	>= 99.9996	<1	<2	<2	<0.1
6.0	>=99.9999	<0.5	<0.3	<0.1	<0.1
flüssig	>=99.999	<2	<5	<5	<0.5

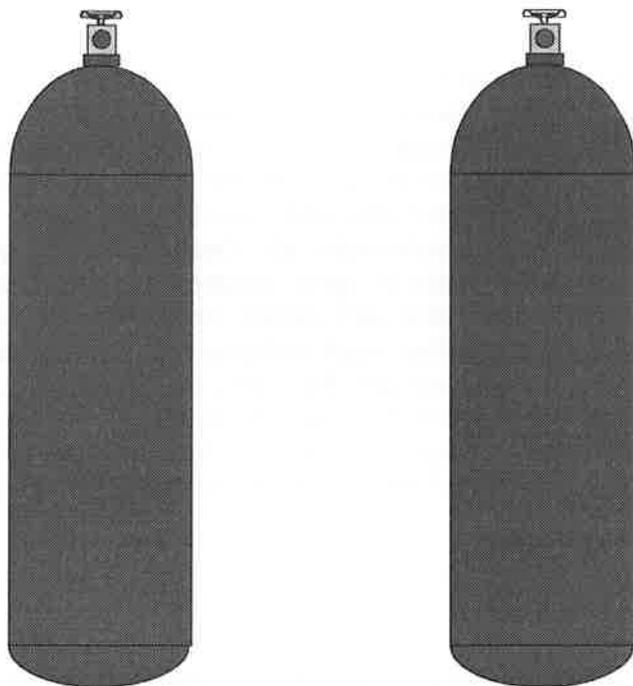
Abgefüllt wird Wasserstoff in Einzelflaschen oder Flaschenbündeln.
 Ventil- und Bündelanschluss: W 21,80 x ¹/₁₄" links nach DIN 477 Nr. 1

Flaschengrößen

Flaschentyp	Volumen in Litern	Fülldruck in Bar	Inhalt in Litern „Free-Flow“
10	10	200	1800
20	20	200	3600
50	50	200	8900



Flaschenkennzeichnung



Ist- Zustand (Überwiegend): Rote Flasche mit rotem Hals
Neu: Rote Flasche mit rotem Hals



Argon

(engl. Argon, griech. Argos = träge)

Argon wurde 1894 von Rayleigh und Ramsay entdeckt. Man findet es zu 0,93 Vol. % in der Luft und in großen Mengen auch in Mineralquellen und Grubengasen. Die Herstellung von Argon geschieht über fraktionierte Destillation von verflüssigter Luft. Den technischen Einsatz erfüllt das Argon vor allen beim Schutzgasschweißen und als Füllung für Leuchtstoffröhren.

Im Tauchsport hat das Argon eine Exotenrolle als Dekompressionsgas eingenommen. Es wurde zwar noch nicht in groß angelegten Testreihen erprobt, seine Wirksamkeit hat jedoch Keller bei seinen Tieftauchversuchen getestet. Als Bottommix ist es aufgrund seiner stark narkotischen Wirkung und seiner hohen Dichte ungeeignet. In Belastungsreihen wird es eingesetzt um das Verhalten von Tauchern bei hoher Atemarbeit zu untersuchen.

Einen großen Stellenwert hat Argon jedoch als Füllgas für Trockentauchanzüge da es eine schlechte Wärmeleitfähigkeit besitzt.

Wärmeleitfähigkeit Gase

Gaswärmeleitfähigkeit als Prozentanteil der Wärmeleitfähigkeit von Luft Bei 1 Bar und 300 K							
Gas	Nitrox	H ₂	He	Ar	CO ₂	SF ₆	CF ₄
K _{Gas} /K _{Luft}	100%	704%	586%	68.2%	62.4%	53.7%	65.5%

Für die Befüllung des Trockentauchanzuges darf nur reines Argon oder Argox benutzt werden, da Mischgase insbesondere mit CO₂-Anteil Hautirritationen herbeiführen können (Bildung von Kohlensäure). Das Argon wird hier in 2-3 Liter Flaschen mitgeführt und besitzt wegen der Verwechslungsgefahr mit Atemluft einen speziellen Argonanschluss.

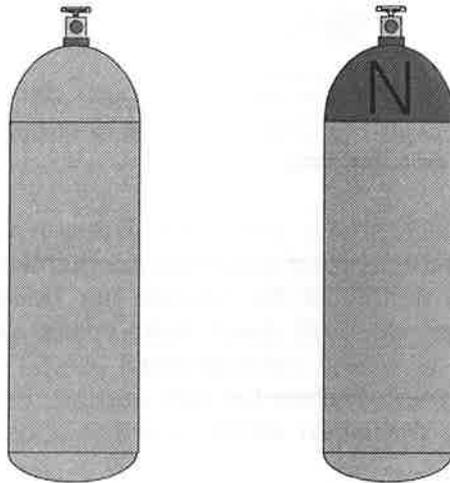
Flaschen- und Bündelanschluss : W 21,80 x 1/14" nach DIN 477 Nr. 6

Flaschengrößen

Flaschentyp	Volumen in Litern	Fülldruck in Bar	Inhalt in Litern „Free-Flow“
10	10	200	2000
20	20	200	4000
50	50	200	10000



Flaschenkennzeichnung



Ist-Zustand (Hauptsächlich) Graue Flasche mit grauem Hals
 Neu: Graue Flasche, grüner Hals und Kennbuchstabe N

Reinheitsgrade

Produkt- bezeichnung	Ar-Vol.- %	O ₂ vpm	N ₂ vpm	KW vpm	CO CO ₂ vpm	H ₂ O vpm	Tau- Punkt °C
Schweiß- Argon 4.8	>=99.998	<3	<10	<1	<1	<5	-65
5.0	>=99.999	<2	<5	<0.1	<0.1	<3	-71
5.3	>=99.9993	<1	<4	<0.1	<0.1	<2	-72
5.6	>=99.9996	<1	<1	<0.1	<0.1	<1	-76
6.0	>= 99.9999	<0.2	<0.5	<0.1	<0.1	<0.5	-80
flüssig	>=99.998	<3	<10	<1	<1		-76



Neon

(engl. Neon , griech. Neos = neues Element)

Dieses und die folgenden Gase haben schon wegen der geringen Verfügbarkeit keine allzu große Rolle im Tauchsport, sollten aber kurz erwähnt werden, da sie alle bereits benutzt worden sind.

1898 wurde Neon erstmals von W.Ramsay und M.W. Travers aus rohem Argon isoliert. Neon ist ein farb-, geruchs- und geschmacksneutrales Gas mit dem Atomgewicht von 20,179. Es gehört zu der Gruppe der Edelgase und wird gewonnen indem man es aus der Luft durch fraktionierte Destillation zieht. In der Luft selbst kommt es mit einem Volumenanteil von 0,013⁰/₁₀₀ vor. Neon kann beim Tauchen anstelle von Helium benützt werden. Es hat eine sehr geringe narkotische Wirkung, verhindert HPNS und den „Donald-Duck-Effekt“.

Xenon

(engl. Xenon , griech. Xenon = das Fremde)

1898 ebenfalls von Ramsay und Travers entdeckt. Farb-, geruchs- und geschmacksneutrales Gas mit dem Atomgewicht 131,3 und dem Schmelzpunkt -111.9°C.

Xenon hat mit 3,73 g/l etwa die 3-fache dichte der Luft und wird ebenfalls durch fraktionierte Destillation gewonnen. Xenon gehört zu den seltensten Elementen der Erde und kommt in der Luft mit einem Volumenanteil von 2,4 x 10⁻⁹ % vor.

Krypton

(engl. Krypton , Kryptos = verdeckt)

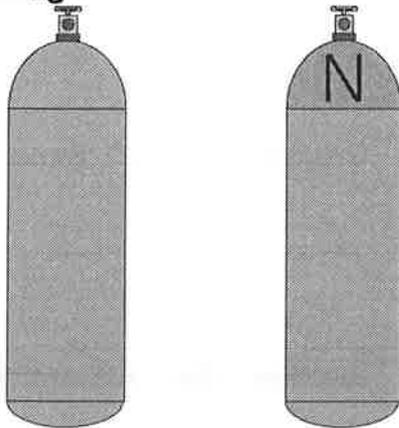
1898 von Ramsay und Travers entdeckt und isoliert. Farb-, geruchs- und geschmacksneutrales Gas mit dem Atomgewicht 83,8 und dem Schmelzpunkt -157°C. Krypton hat eine ähnliche Dichte wie Xenon und kommt in der Luft mit einem Volumenanteil von 0,00011% vor. Man gewinnt es ebenfalls durch fraktionierte Destillation.

Achtung: Das Atmen von Gemischen, welche Xenon oder Krypton enthalten, kann auf Grund deren narkotischer Wirkung zu Bewusstlosigkeit führen, und muss deshalb unterlassen werden!!!

Flaschenanschlüsse : W 21,80 x 1/14" nach DIN 477 Nr. 6



Flaschenkennzeichnung



Ist-Zustand (Überwiegend): Graue Flasche und grauer Hals
Neu: Graue Flasche, hellgrüner Hals, N



Testfragen Teil 1

Wie lauten die maximalen Grenzwerte für Sauerstoff in Nitroxmischungen?

Welche Sauerstoffqualitäten werden für Atemmischungen vorgeschrieben?

Wie kann Sauerstoff erzeugt werden?

Erkläre kurz die „Feuertriangel“.

Nenne 3 Sauerstoffkompatible und 3 nicht Sauerstoffkompatible Materialien.

Wie lautet der Flaschenanschluss bei Edelgasen?

Wie hoch ist der Sauerstoffgrenzwert bei Wasserstoffmischungen?

Wo findet Argon seine Hauptverbreitung in der Taucherei?



Lösungen Teil 1

Wie lauten die maximalen Grenzwerte für Sauerstoff in Nitroxmischungen?

Unterer Grenzwert 0,16 bar
obere Grenzwerte bei Optimalbedingungen 1,6 bar, sonst 1,4 bar

Welche Sauerstoffqualitäten werden für Atemmischungen vorgeschrieben?

Sauerstoff Medizinisch oder Höhenatmung

Wie kann Sauerstoff erzeugt werden?

Durch Elektrolyse oder Luftzerlegung nach Linde

Erkläre kurz die „Feuertriangel“.

Zur Verbrennung benötigt man: -eine Zündung, -Brennstoff und Sauerstoff

Nenne 3 sauerstoffkompatible und 3 nicht sauerstoffkompatible Materialien.

Kompatibel: Kupfer, Messing, Stahl, Viton, PTFE Teflon, spez. Schmiermittel
Nicht kompatibel: weiches Teflon, NBR O-Ringe, Neoprene, Silikonöl

Wie lautet der Flaschenanschluss bei Edelgasen?

W 21,80 x 1/14" nach DIN 477 Nr. 6

Wie hoch ist der Sauerstoffgrenzwert bei Wasserstoffmischungen?

2,5%

Wo findet Argon seine Hauptverbreitung in der Taucherei?

Als Füllgas für Trockentauchanzug



Mischmethoden

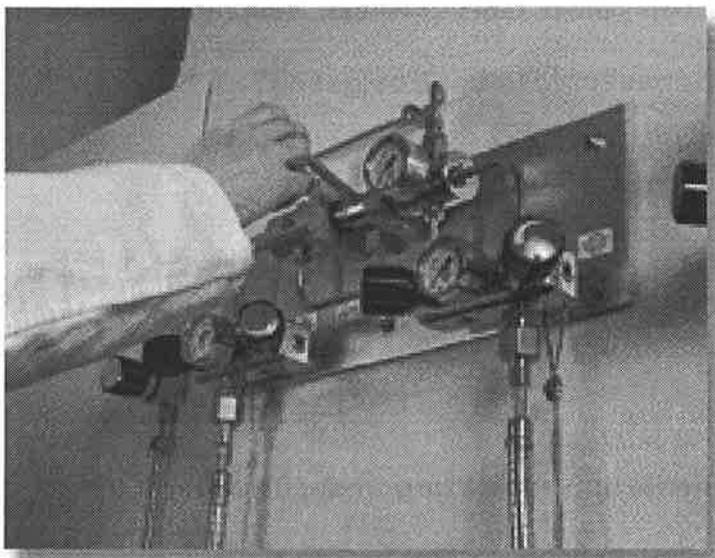
Partialdruckmethode

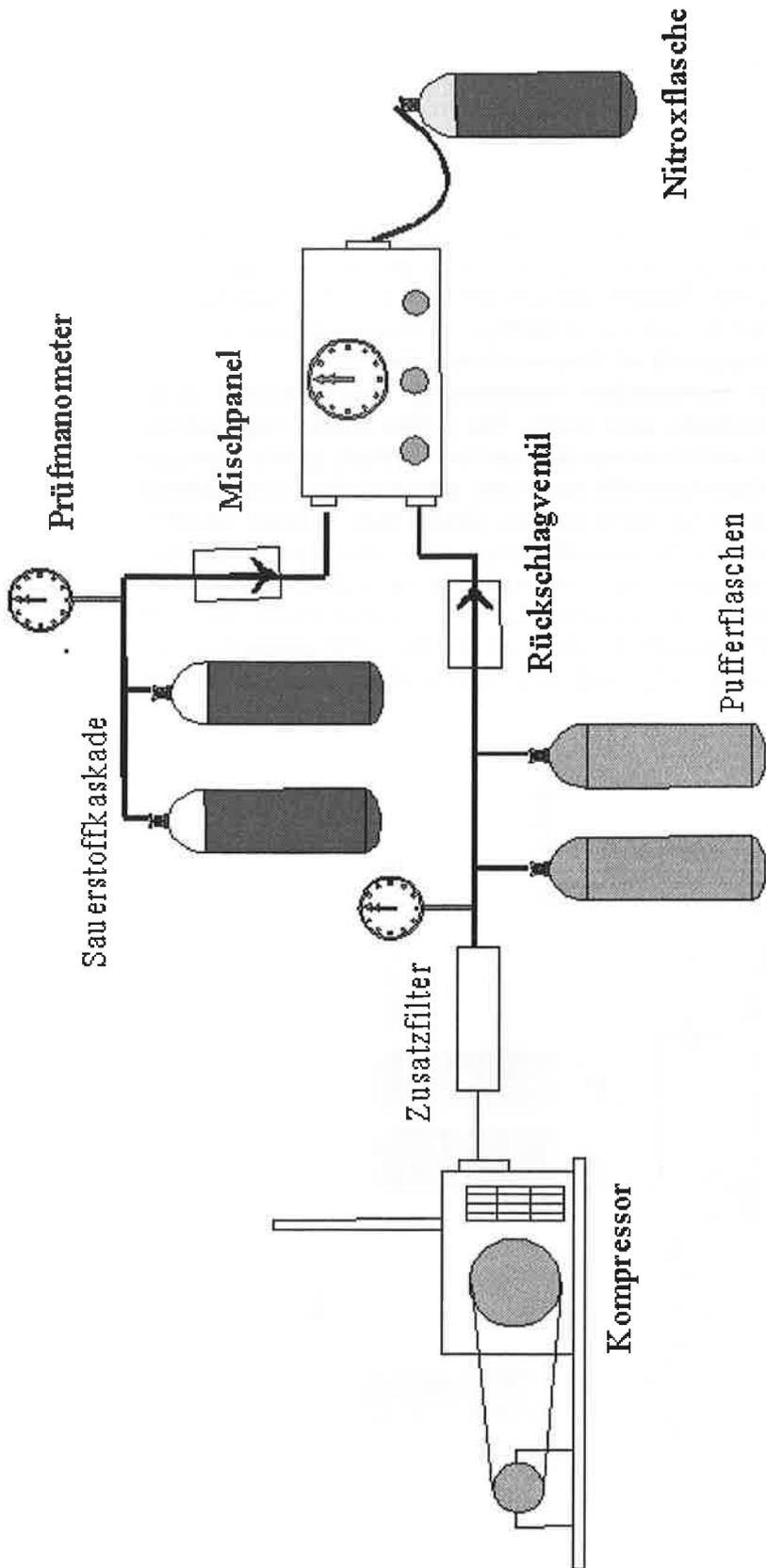
Bei dem Mischen nach der Partialdruckmethode werden zwei oder mehrere Gase in bestimmten Mengen zusammengemischt. Man geht davon aus, dass sich Gase beim Komprimieren identisch verhalten, was jedoch nur bis zu einem bestimmten Druck funktioniert. Die darüber hinaus gehende Ungenauigkeit kann jedoch bis 200 bar Fülldruck und der Ungenauigkeit von Misch- und Meßmethoden vernachlässigt werden. In eine Nitroxflasche wird mittels Umfüllschlauch oder Mischpanel reiner Sauerstoff bis auf einen berechneten Wert vorgefüllt. Mit einem Kompressor füllt man dann die Flasche mit Luft vollends auf.

Die Gefahr dieses Verfahrens liegt im Umgang mit reinem Sauerstoff unter hohem Druck. Die Flasche und das Ventil müssen sowohl sauerstoffkompatibel als auch sauerstoffrein sein. Der Kompressor zum „Nachdrücken“ sollte mit einem zusätzlichen Filter (personal filter) ausgerüstet sein, um feinste Öldämpfe, die durch den konventionellen Filter gelangen können zu absorbieren. Bei Mischpanels und Aggregaten, bei denen der Kompressor parallel zur Sauerstoffquelle geschaltet ist, muss dieser mit einem Rückschlagventil gegen Eindringen von Sauerstoff geschützt werden.

Nach dem Mischen ist es notwendig, die Flaschen eine gewisse Zeit zu lagern oder besser zu rollen, um eine vollständige Durchmischung zu gewährleisten, da es beim Füllen zu einer Schichtung kommen kann. Bei stationären Anlagen bietet es einen zusätzlichen Komfort, wenn eine Gasbank zwischengeschaltet wird (siehe Grafik). In Stoßzeiten lassen sich so schneller Flaschen befüllen. In Leerlaufzeiten füllt man dann die Bank wieder auf. Bei einem versehentlichen Öffnen des Sauerstoffvorrates wird der Sauerstoff durch die zwischengeschalteten Rückschlagventile abgefangen.

Da dieses Verfahren sehr kostengünstig und einfach in der Handhabung ist, hat es sich als das Weitverbreitetste durchgesetzt.

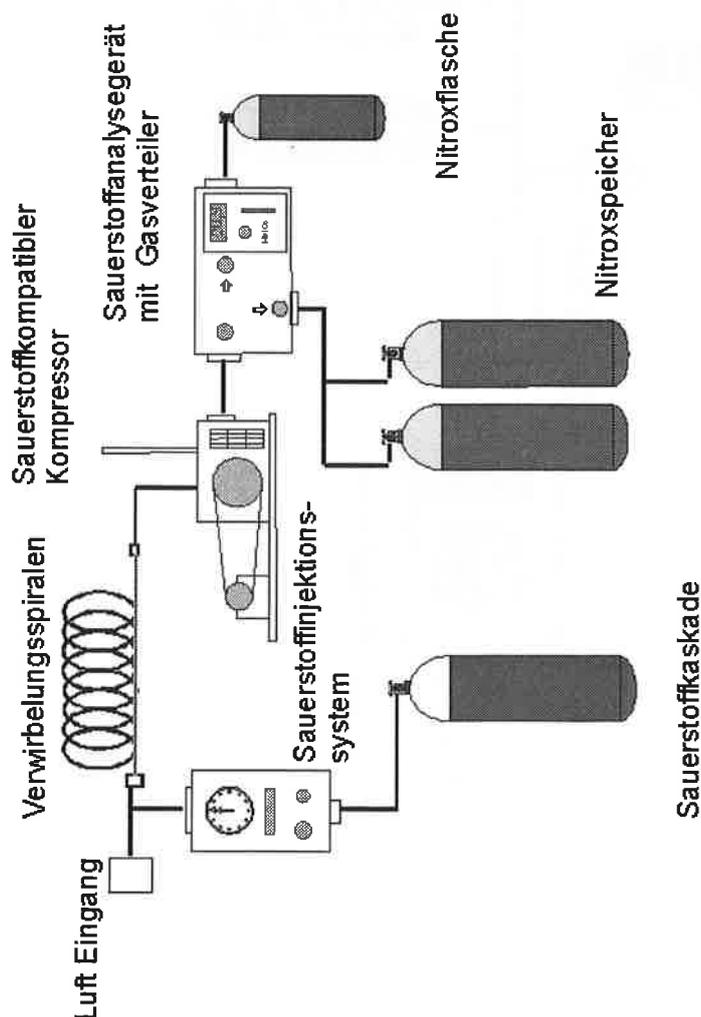




Konstantbeimischung

Bei der Konstantdosierungsmethode (continuous flow) wird über eine Einspritzdüse Sauerstoff in den Luftstrom des Ansaugschlauches eingeleitet. Die eingebrachte Menge steuert man über ein Sauerstoffinjektionssystem. Beim Passieren der Verwirbelungsspiralen und des Kompressors erreicht man eine sehr gute Vermischung des Sauerstoffs mit der Luft. Das so entstandene Nitroxgemisch wird ständig auf seinen Sauerstoffgehalt überprüft. Hierzu ist im Gasverteiler ein Sauerstoffmessgerät im Gasstrom installiert.

Das System ist infolge der zwingenden Verwendung eines ölfreien bzw. sauerstoffkompatiblen Kompressors sehr teuer. Der große Vorteil liegt jedoch darin, dass die Gasgemische sofort verwendet werden können, große Mengen hergestellt werden, die ständige Kontrolle eine sehr genaue Mischung zulässt und vor allem reiner Sauerstoff nie unter hohem Druck zum Einsatz kommt. Durch ändern der eingebrachten Sauerstoffmenge kann der O₂-Gehalt des Endgemisches schnell und während des Füllvorganges verändert werden. Die Verbreitung der Konstantbeimischungsmethode wird hauptsächlich von der NOAA befürwortet und es gibt bereits mobile Geräte. Im nichtprofessionellen Bereich kommt diese Methode aufgrund des teuren Kompressors jedoch kaum zum Einsatz.



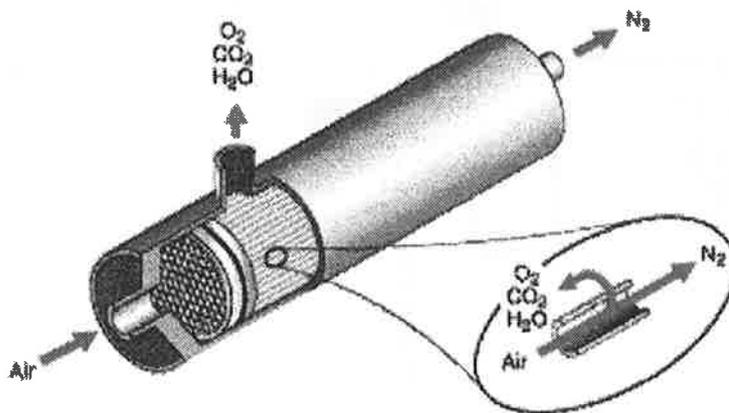


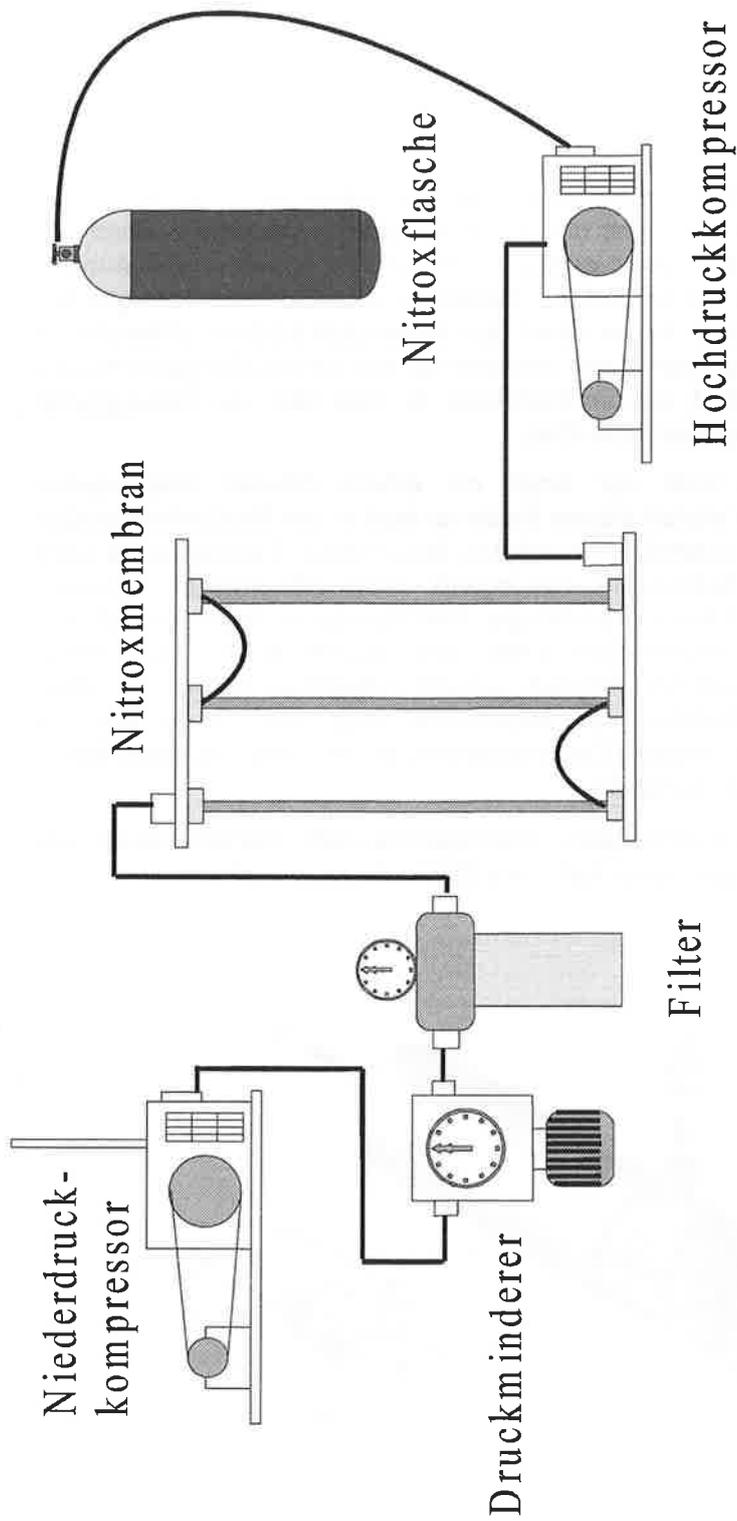
Nitrox-Membran

Die Nitroxmembran besitzt die Eigenschaft sauerstoffangereicherte Gemische zu erstellen indem sie O_2 schneller diffundieren lässt als N_2 . Vom Aufbau her besteht die Membrane aus einer großen Zahl von Hohlfasern, die ähnlich einem Molekularsieb für verschiedene Moleküle andere Durchlässigkeiten besitzt. Die hier verwendete Faser lässt den Sauerstoff leichter diffundieren als den Stickstoff. Am Ende der Faser besitzen wir ein stickstoffangereichertes Gemisch welches entweicht und im Gehäuse, in dem sich der Faserstrang befindet das sauerstoffangereicherte Gas.

Dieses Gemisch muss man nur noch mit einem ölfreien Kompressor komprimieren. Der große Vorteil dieses Systems liegt in der Produktion großer Mengen von Nitrox ohne zusätzlich benötigten Sauerstoffs. Tauchgebiete oder Tauchschiffe, die eine lückenlose Gaslogistik nicht sicherstellen können, werden durch dieses Verfahren unabhängig. Die Membrane liefert jedoch nur Gemische bis zu einem prozentualen Anteil des Sauerstoffs von etwa 40%. Durch beheizen der Membrane können jedoch inzwischen Werte bis 46% erreicht werden. Das Problem der Membrane liegt darin, dass sie bei Abkühlung an Effektivität verliert. Die Abkühlung kommt beim durchströmen der Luft aber zwangsläufig zustande.

Die mit einer Membran erzeugten Nitroxgemischen werden auch als Menox oder als „denitrogenized Air“ kurz DNA_x bezeichnet







Mischen nach Gewicht

Gase kann man unter anderem anhand ihres Gewichtes zuordnen, da diese verschiedene Dichten aufweisen. Kennt man das Mischungsverhältnis, so kann man anhand des prozentualen Anteils das jeweilige Gasgewicht errechnen. Mit Hilfe des bekannten Leergewichtes der Flasche und einer Präzisionswaage füllt man die verschiedenen Gase anhand ihrer errechneten Gewichtsanteile nacheinander ein. Nach ausreichender Homogenisierung des Gemisches prüft man es auf seinen Sauerstoffgehalt. Dieses Verfahren wird ausschließlich von der Industrie benutzt, da es einen hohen finanziellen und auch technischen Aufwand darstellt. Diese Methode hat den Vorteil, dass sie sehr genau ist, da ein sich erhitzendes Gas oder das Ausdehnen einer Flasche keinen Einfluss auf das Ergebnis hat.

Mischen nach Volumen

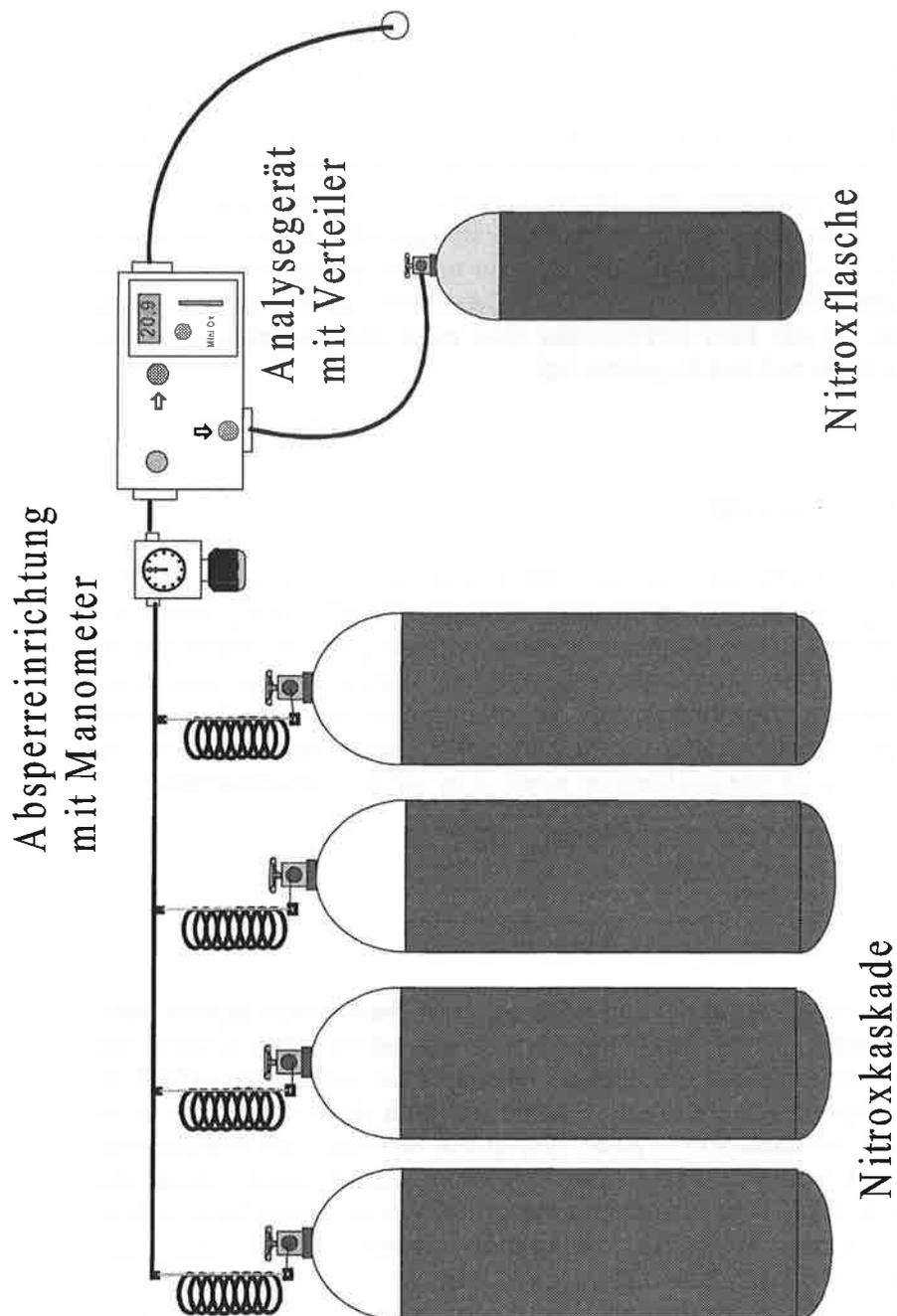
Beim Mischen nach Volumen werden die Gase unter atmosphärischen Bedingungen gemischt und analysiert. Stimmt die Mischung wird sie anschließend verdichtet. Diese Methode erzeugt äußerst genaue Mischungen, da das reale Volumen der konstituierenden Gase berücksichtigt wird. Der große Nachteil dieses Verfahrens ist die zwingende Bereitstellung von ausreichend großen Mischbehältern zum atmosphärischen Mischen. Für ein 10 Liter DTG benötigt man beispielsweise einen 2 m³ großer Mischbehälter.

Premix

Eine zum „Mischen“ zwar einfache und genaue, zum Bevorraten jedoch sehr aufwendige Möglichkeit ist das Beziehen von bereits gemischten Gasen. Es sind so gut wie bei jedem Gashersteller sämtliche Gasmischungen erhältlich und so entfällt die eigene Mischstation. Für sie tritt jetzt aber eine mehr oder weniger aufwendige Umfüllstation in Kraft. Der große Nachteil von Premix liegt zum einen im meist höheren Preis, zum anderen jedoch darin, dass um ständig 200 bar volle DTG's zu erreichen eine große Anzahl Speicherflaschen notwendig sind. Daher ist eine zwingende Notwendigkeit das die Speicherflaschen 300 bar beinhalten. Wollen wir nun verschiedene Mischungen zu Verfügung haben, müssen wir die Anzahl der Speicherflaschen für jede Mischung bereithalten. Bei 3 verschiedenen Mischungen übertrifft dies schnell 10 Speicherflaschen oder man muss Nitrox und Pressluft mischen.



Speicherflaschenanlage



40er-Bank

Ähnlich dem oben beschriebenen Premix kann man eine Nitroxkaskade aus gereinigten Flaschen aufbauen. Hierin kann man Nitrox-40 (Premix) aus Sauerstoff und gereinigter Pressluft herstellen. Dieses Gas kann man zum Herstellen von anderen Nitrox- oder Trimix-Gemischen in Flaschen überströmen lassen, welche nach der NOAA-40er-Regel nicht gereinigt sein müssen. Damit lässt sich eine sichere, einfache und preisgünstige Mischanlage erstellen.



Testfragen Teil 2

Nenne 2 Vor- und 2 Nachteile der Partialdruckmethode?

Wie funktioniert die Konstantbeimischungsmethode?

Skizziere und beschrifte einen Schnitt durch eine Nitroxmembranfaser?

Wie wird hauptsächlich in der Industrie gemischt ?

Was versteht man unter Premix ?



Lösungen Teil 2

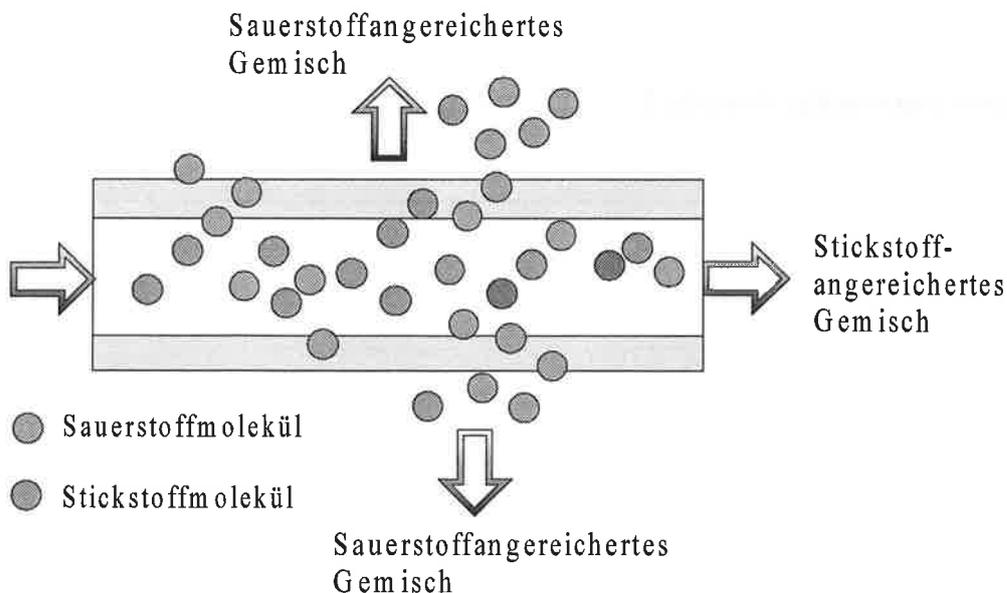
Nenne 2 Vor- und 2 Nachteile der Partialdruckmethode?

- Kostengünstig
- jedes Mischungsverhältnis
- Umgang mit Sauerstoff unter hohem Druck
- Kompressor muss ölfreie Luft liefern

Wie funktioniert die Konstantbeimischungsmethode?

Sauerstoff wird unter atmosphärischem Druck in den Ansaugstrom des Kompressors gebracht und in Verwirbelungsspiralen und im Kompressor vermischt.

Skizziere und beschrifte einen Schnitt durch eine Nitroxmembranfaser?



Wie wird hauptsächlich in der Industrie gemischt ?

Mischen nach Gewicht

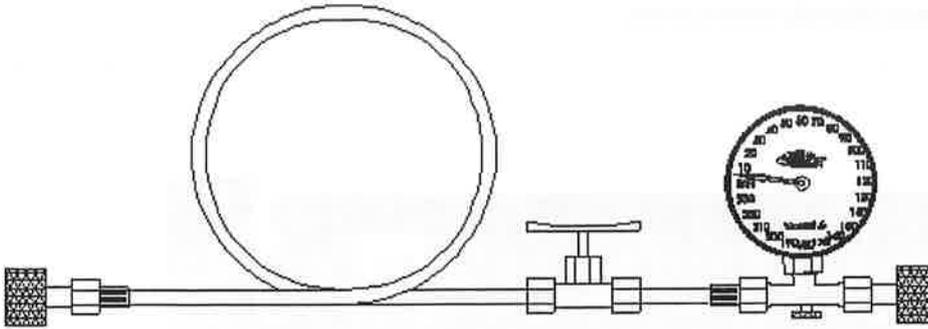
Was versteht man unter Premix ?

Fertigmischungen in Speicherflaschen



Mischanlagen und Gasverdichter

Die einfachste Art der „Mischanlage“ stellt der Überströmschlauch dar. Jedoch ist er durch das Fehlen eines genauen Manometers und Nadelventils für genaue Mischungen ungeeignet. Ein O₂-geeigneter Schlauch mit genauem Manometer und Nadelventil ist aber für den einfachen mobilen Einsatz bereits eine sehr guten Kompromiss.



Bei den Mischpanels stehen dem Benutzer im Moment sowohl „mechanische“ sowie computergesteuerte Modelle zur Verfügung. Diese Anlagen sind transportabel in praktischen Koffern untergebracht oder stationär im Verbund mit Kompressoren, Reingas und Pufferflaschen. Das Bedienen der Anlagen erfolgt stets nach Herstellerangaben und wird in Manuals beschrieben oder besser auf herstellerspezifischen Lehrgängen geschult.

Da die Grundhandhabungsweise der meisten Mischpanel identisch ist, führen wir exemplarisch durch die Bedienungsanweisung des Lenhardt & Wagner Mischpanel.

Füllen von Nitroxflaschen

- Alle Ventile schließen
- Nitroxflasche an Füllschlauch anschließen und öffnen. (1)
- Durch kurzes öffnen der Entlüftungsschraube (2) die Rohrleitungen der Nitrox-Fülleiste spülen. Anschließend das Entlüftungsventil wieder schließen.
- Ermitteln welches Gemisch in der Nitroxflasche vorhanden ist. Hierzu Testventil (3) öffnen, abwarten bis sich am Messgerät (4) ein konstanter Wert eingestellt hat, Wert ablesen und Testventil schließen.
- Gewünschte Gaszusammensetzung festlegen und Sauerstoff- bzw. Pressluftmenge, die gemischt werden sollen berechnen.
- Sauerstoffvorratsflaschen öffnen. Die drei Manometer (5) an der linken Seite der Fülleiste zeigen den jeweiligen Druck der Vorratsflasche an.
- Druck in der Nitroxflasche am großen Manometer (6) auf der rechten Seite der Fülleiste ablesen.
- Überströmventil einer Vorratsflasche mit dem nächst höheren Druck als in der Nitroxflasche öffnen (7) und Sauerstoff bis zum gewünschten Druck überströmen lassen.
- Überströmventil wieder schließen. Sollte der Fülldruck nicht ausreichen, das Überströmventil mit dem nächst höheren Druck öffnen und nach Erreichen des gewünschten Fülldruckes in der Nitroxflasche wieder

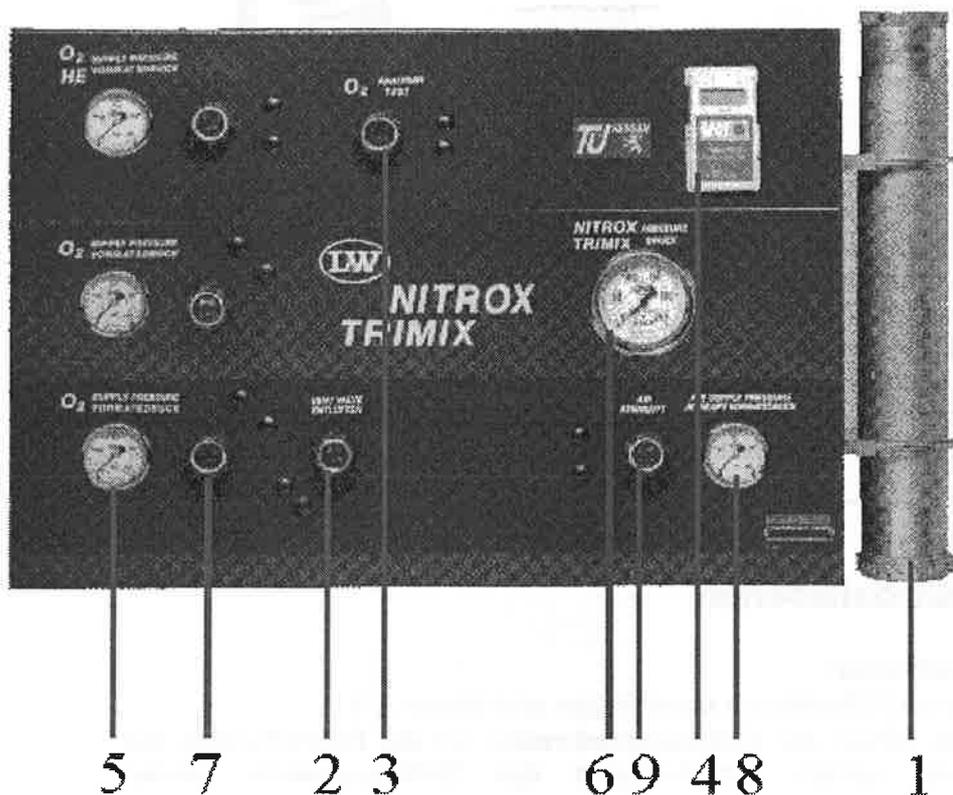


schließen. Gegebenenfalls mit der dritten Vorratsflasche ebenso verfahren.

- Den fehlenden Restdruck mit Pressluft auffüllen. Hierzu Speicherflasche öffnen oder Kompressor starten. Sobald der Atemluftmanometer (8) einen höheren Druck als den Nitroxflaschendruck anzeigt, Atemluftventil (9) öffnen und die Nitroxflasche bis zum errechneten Enddruck auffüllen. Atemluftventil schließen. Nitroxflasche schließen. Zum Abklemmen der Nitroxflasche Entlüftungsventil öffnen.

Nach dem Mischvorgang kann das Gemisch über die Anlage oder ein separates Analysegerät analysiert werden.

Mischpanel



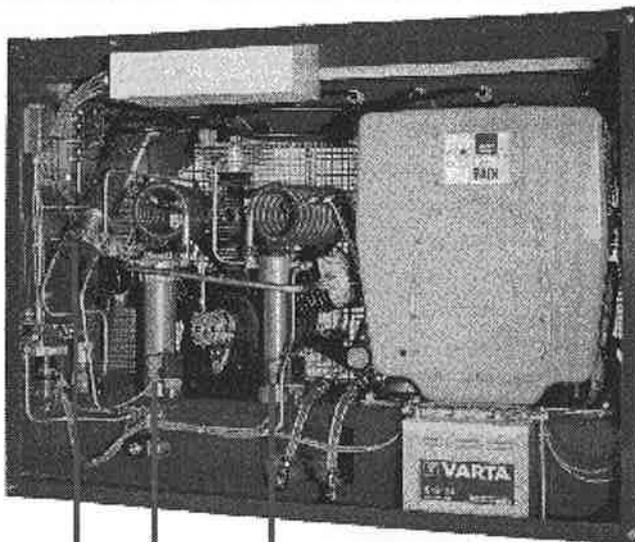
Mischpanel für Nitrox und Trimix mit separat angebrachtem Filter und integriertem Sauerstoffanalysegerät. Mischanlagen für Trimix müssen auf Heliumdichtigkeit ausgelegt sein.



Kompressoren

Die große Gefahr des Mischens liegt nicht in den geprüften Anlagen oder verwendeten Reingasen, wie zum Beispiel Sauerstoff oder Helium, sondern in der von uns zugefügten Komponente Luft. Falls nicht richtig gereinigt, kann die Luft unsere sauerstoffreine Anlage für den Gebrauch mit Sauerstoff unbrauchbar machen. Der sicherste Weg wäre für das Mischen saubere Reingase von der Industrie zu beziehen. Nitrox würden wir dann aus Reinkomponenten Sauerstoff und Stickstoff herstellen. Der Verbrauch von diesen Reingasen wäre jedoch beträchtlich und die Verfügbarkeit nur an sehr wenigen Orten sichergestellt. Dieses Verfahren wird so auch hauptsächlich von der gaserzeugenden Industrie verwendet um Gemische mit sehr hoher Reinheit zu erzielen. In der täglichen Praxis werden wir jedoch weiterhin mit der Komponente Luft arbeiten und können dies mit der richtigen Vorbereitung auch ohne Bedenken tun. Das Hauptaugenmerk richten wir hierbei auf unseren Druckerzeuger, den Kompressor. Um einen Kompressor für die Herstellung sauerstoffkompatibler Luft verwenden zu können, darf die erzeugte Druckluft Verschmutzungsgrenzwerte nicht überschreiten. Dies muss von Zeit zu Zeit durch Messgeräte überprüft werden. Falls man sich für diese Aufgabe einen neuen Kompressor zulegt, kann mit verschiedenen Herstellern vereinbart werden, sauerstoffkompatibles Öl zu verwenden. Neben einer sehr leistungsfähigen Filteranlage kann, falls nicht an dem Mischpanel angebracht, mit nachgeschalteten Zusatzfiltern gearbeitet werden.

Kompressor

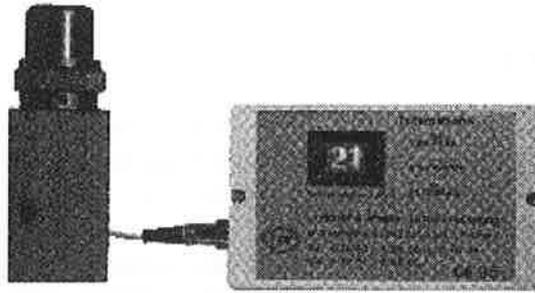


Zwischenfilter

Zwischenfilter

Endfilter Kohle-Molekularsieb

Diese Filter müssen jedoch sorgfältig gewartet und gegebenenfalls ausgetauscht werden. Die Zeitabstände der Filterwechsel lassen sich auch durch zwischengeschaltete Messgeräte überwachen.



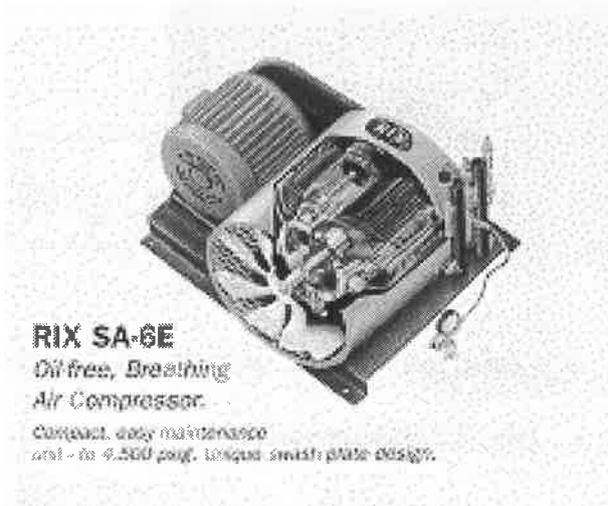
Atemluftüberwachung

Das Gemisch welches man normalerweise durch einen Hochdruckkompressor verdichtet wird hat ca. 1 bar Eingangsdruck und ca. 21% Sauerstoff. Wollen wir nun Gase mit höheren Sauerstoffanteilen und/oder höheren Eingangsdrücken verdichten, benötigen wir spezielle Geräte. Der Kompressor in Standardausführung erfüllt die Kriterien für ein sicheres Arbeiten in keinsten Weise. Es kann auch nur davon abgeraten werden von sogenannten „Kompressortunern“ umgebaute Kompressoren einzusetzen. Nur das Auswechseln des Öles macht einen Kompressor noch lange nicht geeignet für erhöhte Sauerstoffkonzentrationen. Die eingebauten Materialien sind oftmals nicht sauerstoffkompatibel und es erlischt bei Umbauten auch die Herstellergarantie. Die einzige sichere und vernünftige Lösung liegt in der Verwendung von sauerstoffkompatiblen Kompressoren sowie Boostern.

Ölreduzierte Kompressoren werden in der ersten und zweiten Stufe wie gewöhnliche Kompressoren mittels eines Ölfilmes geschmiert. Die dritte Stufe jedoch läuft durch Einsatz geeigneter Materialien trocken, da man dort auch den höchsten Sauerstoffpartialdruck erhält.

Ölfreie Kompressoren, wie sie auch von der Firma RIX hergestellt werden, laufen auf allen Stufen trocken.

RIX-Kompressor



Erreicht wird dies durch den Einsatz von auswechselbaren Bronzelaufbuchsen und gehärteten Edelstahlkolben, gedichtet mit selbstschmierenden TFE-Buchsen. Diese Bauweise verschmutzt die Atemluft nicht mit Öl und erzeugt beim Betrieb intern auch kein Kohlenmonoxid.



Booster

Die beste Lösung bei der Verdichtung verschiedenster Gase stellt der **Gasbooster** dar. Der Booster arbeitet völlig schmierölfrei und wird mit elektrischer Energie, Gasdruck oder von Hand betrieben. Vor allem der Betrieb von Hand macht ihn von der Versorgung durch Strom autark. Führend auf dem Gebiet der Boosterentwicklung ist die Firma Haskel anhand deren Geräte die Wirkungsweise erläutert werden soll.

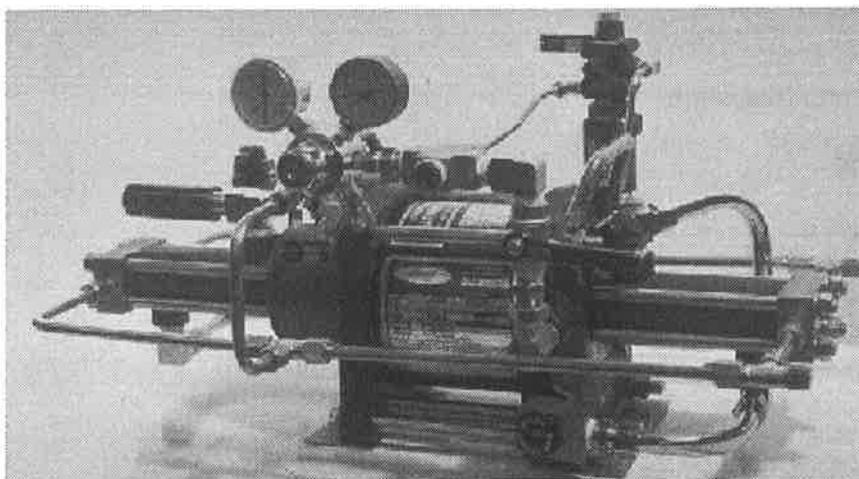
Der Handbetrieb eines Boosters macht selbstverständlich nur bei kleinen Flaschenvolumen Sinn. Der Haupteinsatzbereich liegt hier vor allem bei DTG's von Kreislaufgeräten oder Argontariersystemen und die Hauptverbreitung dieses Gerätes finden wir beim Militär.

Handumfüllpumpe



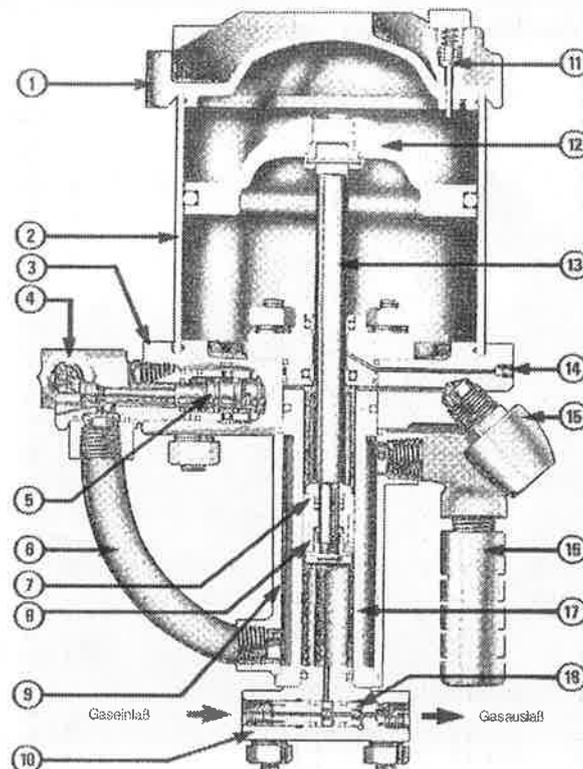
Beim Umfüllen von Premixflaschen bedienen wir uns der motorisierten Versionen.

Gasbooster (Haskel)





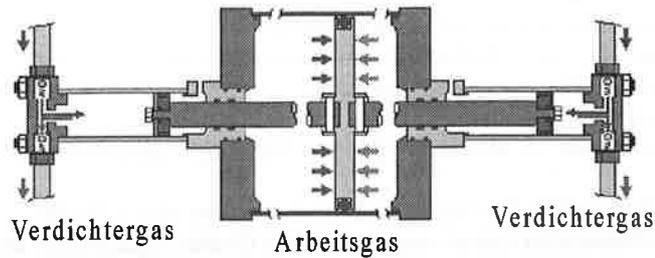
Der Booster kann verschiedenste Gase mit Hilfe von Gasdruck als Antrieb umpumpen oder verdichten. Der zu verdichtende Druck errechnet sich aus dem Arbeitsdruck, Vordruck des zu verdichtenden Gases und des Arbeitskolben-Verdichterkolbenverhältnisses. Ist der Arbeits- und Verdichterdruk gleich groß so kommt der Booster zum Stillstand. Gekühlt wird der Booster durch entspanntes Gas aus dem Arbeitsbereich (Abgasluft). Die Abdichtung des Arbeitsgases vom Verdichtergas erfolgt durch selbstschmierende Gleitringe.



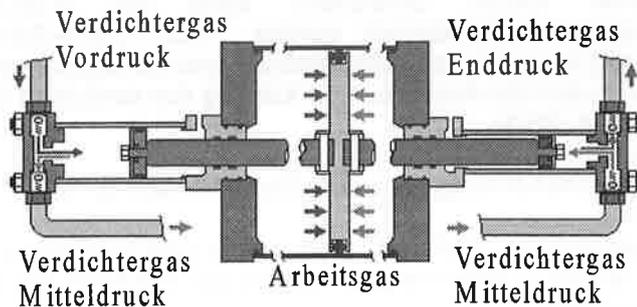
- 1 Luftgehäusedeckel oben
- 2 Luftzylinder
- 3 Luftgehäusedeckel
- 4 Drucklufteinlass
- 5 Steuerschieber
- 6 Kühlleitung
- 7 Gaskolben
- 8 Gaskolben-Dichtungssystem
- 9 Kühlmantel
- 10 Gaszylinderkopf
- 11 Pilotventil
- 12 Druckluftkolben
- 13 Kolbenstange
- 14 Entlüftungsöffnung zwischen den beiden Kolbenstangendichtungen
- 15 Druckausgleichsbohrung mit Filter
- 16 Auspuffschalldämpfer
- 17 Gaszylinder
- 18 Rückschlagventile



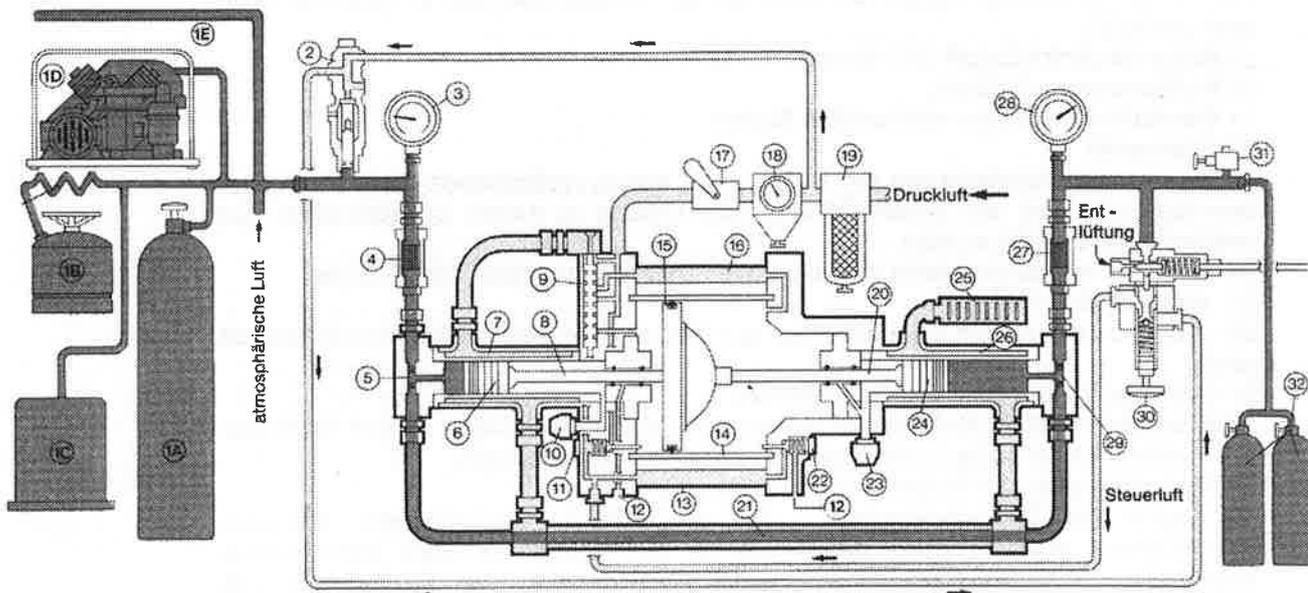
Doppelwirkende Booster



Zweistufige Booster



In der folgenden Skizze sieht man eine typische Anordnung eines Gasboosters für das automatische Umfüllen, Verdichten und Speichern von Gasen.



Erläuterungen zur Skizze

- 1 A) Gasflasche
- B) Flüssiggas
 Flüssiggas, das verdampft, wenn der Druck reduziert und/oder die Temperatur erhöht wird.
- C) Stickstoff, Sauerstoff oder Wasserstoff aus Luftzerlegungsanlage.
- D) Elektrisch angetriebener mechanischer Kompressor
- E) Erdgas
 atmosphärische Luft



- 2 Druckschalter:** Ein einstellbarer pneumatischer Druckschalter, der vom Ansaugdruck betätigt wird und den Mindestansaugdruck reguliert. Wenn der Ansaugdruck den Schalterpunkt erreicht, wird der Gaskompressor über das Luftsteuerventil abgeschaltet. Der Kompressor startet automatisch, wenn der Ansaugdruck über den Schalterpunkt ansteigt.
- 3 Manometer** mit Sicherheitstrennwand und Sicherheitsrückwand für den Ansaugdruck. Der Skalenendwert sollte 1,5 mal höher als der maximale Ansaugdruck sein.
- 4 Gaseinlassfilter** (5 Mikron). Dieser Filter soll Verunreinigungen von der Anlage fernhalten,
- 5 Rückschlagventile** für Gaseinlass und -auslass der 1. Stufe
- 6 Selbstschmierendes radial vorgespanntes Dichtungssystem der 1. Stufe.**
- Wichtig:** Unter keinen Umständen sollte der Gaszylinder und das Kolbendichtungssystem geschmiert werden. Das Haskel-Schmiermittel Teile-Nr. 28443 (Molycote) ist nur für den Luftantriebsteil und die Steuerventilteile bestimmt.
- 7 Kühlmantel**, in dem die Auspuffluft zur Kühlung des verdichteten Gases benutzt wird.
- 8 Kolbenstange 1. Stufe**
- 9 Steuerschieber**
- 10 Druckausgleichsbohrung mit Filter** (Siehe Hinweis zu 12).
- 11 Pilotventil**
- 12 Entlüftungsöffnung.** Falls das Gas toxisch oder brennbar ist, muss von dieser Öffnung eine Leitung zu einem ungefährlichen, gut belüfteten Ort geführt werden.
- 13 Steuerluftleitung**
- 14 Druckluftzylinder**
- 15 Druckluftkolben**
- 16 Antriebsluftleitung**
- 17 Absperrventil für die Antriebsluft**
- 18 Druckminderer und Manometer** für die Anzeige des Antriebsluftdruckes. Dieses Teil ist nicht unbedingt erforderlich, wenn der Kompressor über den Enddruck geregelt wird (siehe 30).
- 19 Filter für Antriebsluft** (20 Mikron)
- 20 Kolbenstange 2. Stufe**
- 21 Gaskühler zwischen den beiden Stufen**
- 22 Pilotventil**
- 23 Druckausgleichsbohrung mit Filter.** Falls das zu verdichtende Gas toxisch oder brennbar ist, muss von dieser Öffnung eine Leitung zu einem ungefährlichen, gut belüfteten Ort geführt werden.
- 24 Selbstschmierendes radial vorgespanntes Dichtungssystem der 2. Stufe.**
- 25 Auspuff-Schalldämpfer**
- 26 Kühlmantel**, in dem die Auspuffluft zur Kühlung des verdichteten Gases benutzt wird.
- 27 Gasfilter** für den Gasauslass (5 Mikron)
- 28 Manometer** mit Sicherheitstrennwand und Sicherheitsrückwand für den Enddruck. Der Skalenendwert sollte 1,5fach höher als der Betriebsdruck sein.
- 29 Rückschlagventile** für Ein- und Auslass der 2. Stufe.
- 30 Regler mit Sicherheitsventil** - Ein pneumatischer Druckschalter, der vom Betriebsdruck betätigt wird. Der Regler ist auf einen maximalen Betriebsdruck eingestellt. Wenn dieser Druck erreicht wird, schaltet der Regler über das Luftsteuerventil den Kompressor ab. Der Kompressor startet automatisch, wenn der Druck unter diesen Wert fällt. Der Regler enthält außerdem ein eingebautes Sicherheitsventil, das normalerweise 15% über den maximalen Betriebsdruck eingestellt ist. Falls das Gas toxisch oder brennbar ist, muss von dieser Öffnung eine Leitung zu einem ungefährlichen, gut belüfteten Ort geführt werden.
- 31 Absperrventil**, um die Leitung zu den Hochdruckflaschen entlüften zu können, wenn diese gewechselt werden.
- 32 Hochdruckgasflaschen oder -behälter**



Testfragen Teil 3

Welche Gefahr liegt in der Verwendung von Luft beim Mischen?

Welche Methoden gibt es, um die Luft richtig „vorzubereiten“ und wie überwacht man dies?

Welche verschiedene Arten von Filtern kennst du und wo werden sie eingesetzt ?

Welche großen Vorteile besitzt ein ölfreier Kompressor?

Was unterscheidet einen Booster von einem Kompressor ?



Lösungen Teil 3

Welche Gefahr liegt in der Verwendung von Luft beim Mischen?

Verschmutzung der Anlagen und Verunreinigung des Gemisches bei mangelhafter Filterung.

Welche Methoden gibt es, um die Luft richtig „vorzubereiten“ und wie überwacht man dies?

Sorgfältige Filterung. Überwachungsintervalle der Hersteller oder automatische Überwachungsgeräte. Zeitweise Luftlieferqualität des Kompressors mit Prüfröhrchen messen.

Welche verschiedene Arten von Filtern kennst du und wo werden sie eingesetzt ?

Zwischenfilter für Feuchtigkeit. Endfilter mit Kohle und Molekularsieb für Gase und Öldämpfe sowie „Personal Filter“ mit Kohlefüllung um bei unklaren Kompressorzuständen vor die Flasche zu schrauben. Das Eindringen von Reinsauerstoff in Filter muss mit Rückschlagventilen unterbunden werden.

Welche großen Vorteile besitzt ein ölfreier Kompressor?

Keine Verschmutzung der Atemluft mit Öldampf oder Kohlenmonoxid.

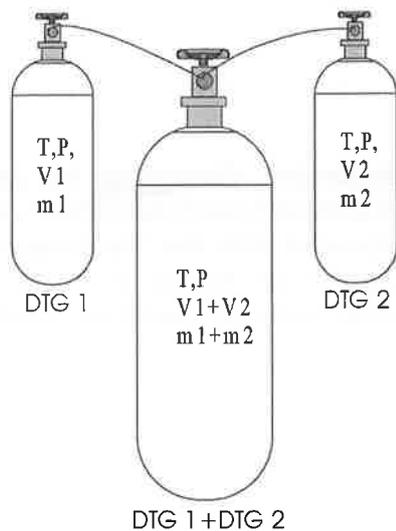
Was unterscheidet einen Booster von einem Kompressor ?

Antrieb hauptsächlich mit einem Gas. Enddruck hängt von Gasarbeitsdruck sowie Arbeitskolben-Verdichterkolbenverhältnis ab.



Physikalische Grundlagen

Unsere Mischgase bestehen im allgemeinen aus mindestens zwei verschiedenen Reingasen. Wenn wir nun beide Reingase in ein Behältnis füllen (umpumpen) so werden sich diese gleichmäßig untereinander vermischen.



Dalton

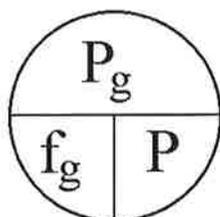
Dalton beschreibt diesen Vorgang so: Jedes Einzelgas nimmt sich den Gesamtraum ein, als wäre das andere Gas nicht vorhanden und behält in dem Gesamtraum seinen Einzeldruck. Der Gesamtdruck P_{ges} eines Gasgemisches setzt sich so nach Dalton aus den Einzeldrücken P_i , auch Teil- oder Partialdrücke genannt, der Reingase zusammen.

$$P_{ges} = P_1 + P_2 + \dots$$

Ist der Anteil f_i (als Dezimalanteil, 32% \rightarrow 0.32) des Gases bekannt, so lässt der Partialdruck berechnen:

$$P_i = f_i \cdot P_{ges}$$

Der Partialdruck ist sowohl bei Mischgastauchen als auch beim Mischen der Gase eine der zentralen physikalischen Größen. Das Hilfsmittel war das „T-im-Kreis“ (siehe Nitrox-Manual)





Boyle & Mariotte

Ändert man bei einer unverändert bleibenden Gasmenge bei konstanter Temperatur ($T_1 = T_2$) das Volumen, so ändert sich auch der Druck. Ändert man den Druck, so verändert sich das Volumen. Für den Zustand 1 (vorher) und den Zustand 2 (nachher) gilt:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 \quad \text{oder} \quad P \cdot V = \text{constant}$$

Gay-Lussac

Ändert man bei einer unverändert bleibenden Gasmenge bei konstantem Volumen ($V_1 = V_2$) die Temperatur, so ändert sich auch der Druck. Ändert man den Druck, so verändert sich die Temperatur. Für die Temperatur muss im Folgenden immer die absolute Temperatur (in Kelvin: $K = ^\circ\text{C} + 273.15$) benutzt werden. Für den Zustand 1 (vorher) und den Zustand 2 (nachher) gilt:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad \text{oder} \quad P/T = \text{constant}$$

Charles

Ändert man bei einer unverändert bleibenden Gasmenge bei konstantem Druck ($P_1 = P_2$) das Volumen, so ändert sich die Temperatur. Ändert man die Temperatur, so verändert sich das Volumen. Für den Zustand 1 (vorher) und den Zustand 2 (nachher) gilt:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \text{oder} \quad V/T = \text{constant}$$

Ideales Gasgesetz

Die Gesetze von Boyle & Mariotte, Charles und Gay-Lussac lassen sich zusammenfassen: Das Produkt des Druckes, des Volumens und der inversen absoluten Temperatur bleiben bei einer abgeschlossenen Gasmenge konstant.

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

oder

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$



wobei n die Gasmenge in Mol (Molekülgewicht in Gramm) und R die allgemeine Gaskonstante ist: $R \approx 8.31\text{J}/(\text{molK})$. Ein Mol Gas hat bei 20°C und 1bar Umgebungsdruck ein Volumen von rund 22,4 Litern.

Eigenschaften von Gasen

Stoff	Chemische Formel	Molmasse M in g/mol
Argon	A	39,94 ⁴
Helium	He	4,002 ³
Kohlendioxid	CO ₂	44,01
Krypton	Kr	28,01 ^{83,80}
Luft	-----	(28,95)
Neon	Ne	20,18 ³
Sauerstoff	O ₂	32
Stickstoff	N ₂	28,02 ¹
Wasserstoff	H ₂	2,016
Xenon	Xe	131,30 ✓

Beispiele

*Ein geschlossener Ballon ($V_1=1.5\text{Liter}$) wird bei gleichbleibender Temperatur von 23 Meter Tiefe ($P_1=3.3\text{bar}$) auf 12 Meter Tiefe ($P_2=2.2\text{bar}$) gebracht. Wie groß ist er dort? $V_2=(3.3 \cdot 1.5 / 2.2)\text{Liter}=2.25\text{Liter}$.

*Ein Tauchflasche (konstantes Volumen) mit einem Fülldruck von 210bar erwärmt sich im Kofferraum von 15°Celsius ($=288\text{Kelvin}$) auf 70°Celsius ($=343\text{Kelvin}$). Wie hoch ist der Druck? $P_2=(210 \cdot 343 / 288)\text{bar}=250\text{bar}$.

*Ein Ballon ($V_1=1.5\text{Liter}$) erwärmt sich an der Oberfläche (konstanter Druck) von 15°Celsius ($=288\text{Kelvin}$) auf 70°Celsius ($=343\text{Kelvin}$). Wie groß ist er dort? $V_2=(1.5 \cdot 343 / 288)\text{Liter}=1.79\text{Liter}$.

*2000 Liter Luft ($20^\circ\text{C}=293\text{Kelvin}$) wird von 1.013 bar in eine 10 Liter Flasche komprimiert und erwärmt sich dabei auf $50^\circ\text{C}=323\text{Kelvin}$. Wie groß ist der Flaschendruck? $P_2=(1.013 \cdot 2000 \cdot 323 / (10 \cdot 293))=223\text{bar}$.



*Eine 15 Liter Flasche wird auf 200bar gefüllt und erwärmt sich dabei auf 50°C=323Kelvin. Wieviel Liter Luft bei 1.013 bar und 18°C=291Kelvin enthält sie und auf welchen Druck wird sie absinken, wenn sie sich auf 18°C=291Kelvin abgekühlt hat.

$$V_2 = (200 \cdot 15 \cdot 291 / (1.013 \cdot 323)) \text{ Liter} = 2668 \text{ Liter}$$

$$P_2 = (200 \cdot 291 / 323) \text{ bar} = 180 \text{ bar}$$

*Eine 50-Liter-Flasche ist bei 20°C auf 200 bar mit Sauerstoff gefüllt. Berechne das Gewicht des Gases.

$$n = 0.05 \text{ m}^3 \cdot 2 \cdot 10^7 \text{ Pa} / (293 \text{ K} \cdot 8.31 \text{ J} / (\text{mol} \cdot \text{K})) = 410 \text{ mol}$$

1mol Sauerstoff wiegt 32g, d.h. die Gesamtmasse beträgt $410 \cdot 32 \text{ g} = 13 \text{ kg}$

Reale Gase

Van-der-Waals

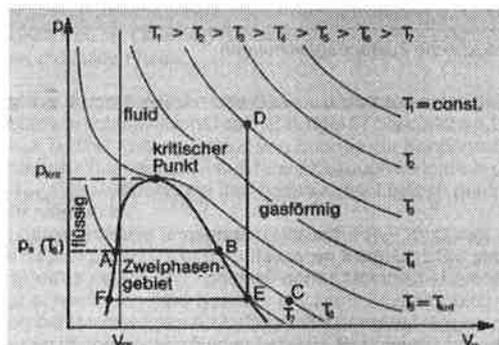
Eine nähere Betrachtung von Gasen machte **van der Waals** 1873. Er definierte den Druck, den ein Gas ausübt, als Resultat von Molekülstößen auf die Behälterwand und gegeneinander. Das Verhältnis zwischen Molekülgröße und Gesamtvolumen (Gasbehälter) ist im Normalfall sehr klein, die Moleküle selber nehmen einen verschwindend geringen Teil des Gasvolumens ein. Erhöht man den Druck, macht sich irgendwann die Molekülgröße bemerkbar, da nun deren Anzahl stetig erhöht wird.

Van der Waals zog noch eine weitere Beobachtung mit in seine Berechnungen ein. Reale Gasmoleküle können, wenn ihr Abstand untereinander verringert wird, Kräfte aufeinander ausüben. Diese sogenannten Van-der-Waals-Kräfte heben sich im Innern des Gases gegenseitig auf, jedoch nicht an der Oberfläche. Der an der Oberfläche messbare Druck ist damit geringer als der echte Druck im Volumen. Mit unseren Messgeräten nehmen wir den Druck an der äußeren Grenzfläche wahr und vernachlässigen damit die Kraft, mit der ein Molekül nach innen gezogen wird.

Beide Effekte haben zur Folge, dass sich das Gas bei hohen Drücken oder niedrigen Temperaturen nicht mehr wie eine ideale Feder (doppelter Druck → halbe Länge bzw. doppelter Druck → halbes Volumen) verhält, sondern in verschiedenen Druckbereichen härter oder weicher wird

Um Eigenvolumen (b) und Binnendruck (a) zu berücksichtigen, machte Van-der-Waals folgenden Ansatz:

$$\left(p + \frac{a}{V^2} \right) \cdot (V - b) = n \cdot R \cdot T$$





Realgasfaktoren

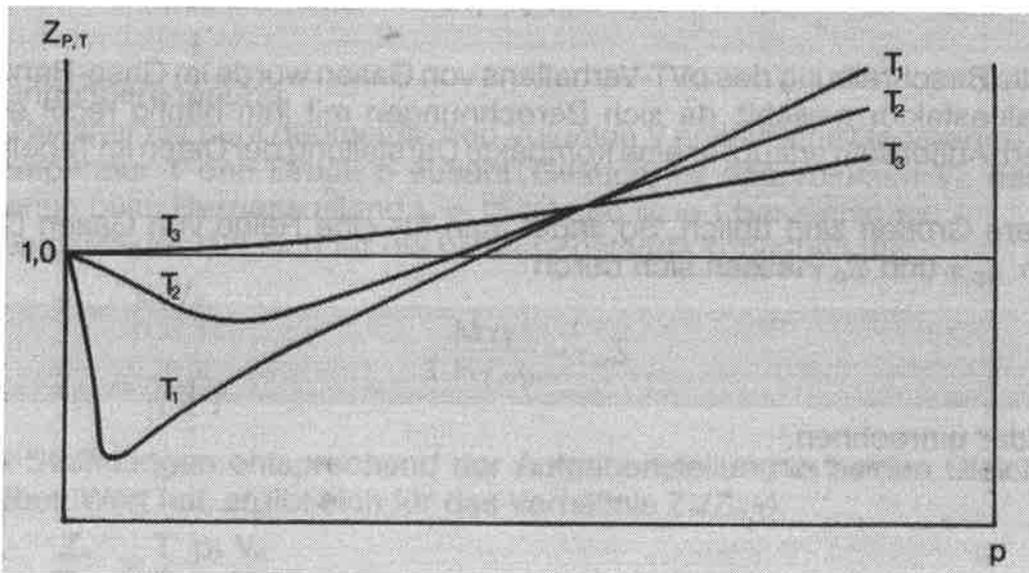
Das Berechnen von realen Gasen mittels der Van-der-Waals-Gleichung zeigt sich meist als kompliziert. Letztendlich interessiert nur die Abweichung von der idealen Feder. Deshalb führte man vom Druck und der Temperatur abhängige Korrekturfaktoren ein, welche diese Abweichung widerspiegeln:

$$p \cdot V = Z(p, T) \cdot n \cdot R \cdot T$$

Für ein ideales Gas wäre $Z = 1$, ist $Z < 1$, so bedeutet dies, dass das Gas stärker kompressibel ist als das ideale Gas, d.h., dass in einem Gasbehälter mehr Gas ist, als idealer Weise erwartet würde. Bei $Z > 1$ ist das Verhalten umgekehrt. Z ist meist als Polynom des Druckes tabelliert: $Z(p, T) = 1 + B(T) \cdot P + C(T) \cdot P^2 + \dots$

Realgasfaktor Z für Luft bei 0°C

Druck	Z
150 bar	0.9821
200 bar	1.0129
250bar	1.0558



Realgasfaktoren für $T_3 > T_2 > T_1$.

Sehr gute Information zu Gasen gibt es im „Gasehandbuch“ von Messer-Griesheim



Testfragen Teil 4

Auf welcher Annahme basiert Daltons Gasgleichung?

Wie lautet Daltons Gasgleichung?

Welche weiteren Formeln lassen sich aus der allg. Gasgleichung herleiten?

Welche Besonderheiten von Gasen werden in der van der Waals'schen Gleichung mit berücksichtigt ?



Lösungen Teil 4

Auf welcher Annahme basiert Daltons Gasgleichung?

Gase sind Gemische und somit hat jeder Gasbestandteil anhand seines prozentualen Anteils im Gesamtgemisch auch seinen Druckanteil.

Wie lautet Daltons Gasgleichung?

$$P_{\text{ges}} = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

Welche weiteren Formeln lassen sich aus der allg. Gasgleichung herleiten?

Boyle-Mariotte, Gay-Lussac und Charles

Welche Besonderheiten von Gasen werden in der van der Waals'schen Gleichung mit berücksichtigt ?

Gasmoleküle haben Volumen und können aufeinander Kräfte ausüben



Mischungsberechnungen

Zum Herstellen von Gasmischen gibt es, wie wir vorangegangen gesehen haben, verschiedene Möglichkeiten. Zum einen über Reingase sowie auch über Zumischen mit Mischgasen (Bsp. Konstantbeimischung). Im folgenden werden wir sehen wie sich dies auf die einzelnen Berechnungen auswirkt.

Nitrox aus Reingasen

Wir wollen in eine leere Flasche ein Nitrox 32 Gemisch mit Enddruck 200 Bar einfüllen. Es stehen uns die Reingase Sauerstoff sowie Stickstoff zur Verfügung.

Nitrox32 = 32% O₂ und 68% N₂

Ermitteln des Einzelgasdrucks anhand seines prozentualen Anteils

$$P_g = P \cdot f_g$$

Daraus folgt für den Sauerstoff

$$P_{O_2} = 200 \text{ bar} \cdot 0,32 = 64 \text{ bar}$$

und für den Stickstoff

$$P_{N_2} = 200 \text{ bar} \cdot 0,68 = 136 \text{ bar}$$

Und für den Gesamtdruck

$$P = P_{O_2} + P_{N_2} = 64 \text{ bar} + 136 \text{ bar} = 200 \text{ bar}$$

Wir füllen zuerst 64 bar Sauerstoff in die Flasche und anschließend bis auf 200 bar Stickstoff (136 bar).

Dieses Beispiel ist rein akademischer Natur, da man für den Eigengebrauch nie Nitrox aus Reingasen mischt. Das einzige Gasmisch, welches aus Reinkomponenten hergestellt wird ist Heliox, bei welchem an Stelle von Stickstoff Helium benutzt wird.



Nitrox aus Sauerstoff und Luft

In eine leere Flasche soll Nitrox gemischt werden. Hierzu gibt man zuerst ein gewisse Menge Sauerstoff ΔPO_2 in die Flasche und füllt dann mit Luft bis zum Enddruck P_{End} auf. Die Luft liefert den Stickstoff zum Nitrox, aber auch einen gewissen Anteil an Sauerstoff. Die vorzugebende Menge an Sauerstoff für ein Nitrox mit einem Sauerstoffanteil f berechnet sich nach

$$\Delta PO_2 = \frac{f - 0.21}{0.79} \cdot P_{End}$$

Beispiel:

Füllen von Nitrox 36 auf 200 bar:

$$\Delta PO_2 = \frac{f - 0.21}{0.79} \cdot P_{End} = \frac{0.36 - 0.21}{0.79} \cdot 200 \text{ bar} = 38 \text{ bar}$$

Man füllt also 38 bar Sauerstoff in die leere Flasche und füllt dann mit Luft bis auf 200 bar auf.

Nitrox aus Premix und Luft

Benutzt man anstelle von reinem Sauerstoff ein Premix mit Sauerstoffgehalt f_p , so berechnet sich der Premixvordruck ΔP_p für das gewünschte Nitrox nach

$$\Delta P_p = \frac{f - 0.21}{f_p - 0.21} \cdot P_{End}$$

Nitrox-Refill

Befindet sich in einem Tank noch ein Nitroxgemisch mit dem Sauerstoffgehalt $fO_{2,old}$ und dem Druck P_{old} , so kann man gezielt mit Sauerstoff und Pressluft auftopfen ($P_{end} = P_{old} + \Delta P(O_2) + P_{air}$) um ein neues Nitroxgemisch $fO_{2,end}$ zu erhalten, das in seiner Zusammensetzung nicht gleich sein muss wie das ursprüngliche. Falls die Formel ein negatives Ergebnis liefert, muss der Tank weiter geleert werden.

$$\Delta P(O_2) = \frac{(fO_{2,end} \cdot P_{end}) - (fO_{2,old} \cdot P_{old}) - 0.21 \cdot (P_{end} - P_{old})}{0.79}$$

Eine Tauchflasche enthält noch 110 bar Nitrox 36, die neue Füllung soll Nitrox 32 mit 200 bar sein:

$$\Delta P(O_2) = \frac{0.32 \cdot 200 - 0.36 \cdot 110 - 0.21 \cdot (200 - 110)}{0.79} = 7 \text{ bar},$$

den Rest mit Luft auffüllen, bis 200 bar erreicht sind.



Helium-Prefill für Trimix

Wieviel Helium wird für ein Trimix $f_{O_2}/f_{He}/f_{N_2}$ und eine Enddruck P_{end} benötigt?

$$\Delta P(He) = f_{He} \cdot P_{end}$$

Zum Mischen von 200 bar Trimix 15/45/40 benötigt man $0.45 \cdot 200\text{bar} = 90\text{bar}$ Helium in der Flasche.

Sauerstoff-Prefill für Trimix

Wieviel Sauerstoff muss auf dieses Helium aufgetoppt werden?

$$\Delta P(O_2) = \frac{(f_{O_2, end} \cdot P_{end}) - 0.21 \cdot (P_{end} - \Delta P(He))}{0.79}$$

Zum Mischen des Gemisches Trimix 15/45/40 mit 200 bar benötigt man $\Delta P(O_2) = \frac{(0.15 \cdot 200\text{bar}) - 0.21 \cdot (200\text{bar} - 90\text{bar})}{0.79} = 8.7\text{bar}$ Sauerstoff in der Flasche. Der Enddruck wird durch Auffüllen mit 101.3 bar Luft erreicht.

Remaining-Blends

Ein Flasche ist zum Teil mit Luft, Nitrox oder Trimix gefüllt ($f_{O_2, old}$, $f_{He, old}$, $f_{N_2, old}$) bei einem Druck P_{old} . Man füllt nun mit Luft, Nitrox oder Trimix nach ($f_{O_2, add}$, $f_{He, add}$, $f_{N_2, add}$), bis der Enddruck P_{end} erreicht ist. Wie sieht das neue Gemisch f_{end} aus? Dies lässt sich für jede Komponente wie folgt berechnen:

$$f_{end} = \frac{(f_{old} \cdot P_{old}) + f_{add} \cdot (P_{end} - P_{old})}{P_{end}}$$

Eine Trimixfüllung (Trimix 15/35/50, 120 bar) wird mit Luft (21/0/79) auf 200bar aufgefüllt. Wie sieht das neue Gemisch aus?

$$f_{end}(O_2) = \frac{(0.15 \cdot 120\text{bar}) + 0.21 \cdot (200\text{bar} - 120\text{bar})}{200\text{bar}} = 0.174$$

$$f_{end}(OHe) = \frac{(0.35 \cdot 120\text{bar}) + 0 \cdot (200\text{bar} - 120\text{bar})}{200\text{bar}} = 0.21$$

$$f_{end}(N_2) = \frac{(0.5 \cdot 120\text{bar}) + 0.79 \cdot (200\text{bar} - 120\text{bar})}{200\text{bar}} = 0.616$$

Weitere Füllsituation: Bernd Aspacher „Enzyklopädie des Technischen Tauchens“ und „DATECH Mixed Gas“ Software



Überströmen und Umpumpen

Überströmen

Unter Überströmen versteht man den Vorgang, bei dem ein Gas von einer Flasche durch einen Überströmschlauch in eine andere Flasche strömt, getrieben vom Druckunterschied zwischen den Flaschen. Das Überströmen endet spätestens dann, wenn Druckausgleich herrscht.

Hat man zwei Flaschen mit Volumen V_1 und V_2 und drücken P_1 und P_2 , so stellt sich der Druckausgleich ein bei:

$$P = \frac{P_1 \cdot V_1 + P_2 \cdot V_2}{V_1 + V_2}$$

Läßt man in die Flasche 1 überströmen und erzielt dort eine Druckänderung ΔP_1 , so sinkt der Druck in der Flasche 2 um

$$\Delta P_2 = -\frac{\Delta P_1 \cdot V_1}{V_2},$$

das übergeströmte Gasvolumen beträgt $\Delta P \cdot V$.

Überströmen von einer Premixspeicherbank in Tauchflaschen

Wir haben zwei 50 Liter Speicherflaschen mit 200 bar zur Verfügung. Die Speicherflaschen sind mit einander verbunden. Zum Befüllen wäre ein leeres DTG und ein DTG mit Restdruck 90 bar. Beide Geräte fassen 10 Liter. Wir wollen in beide Geräte möglichst hohen und gleichen Druck.

Als erstes wird immer das DTG mit dem höchsten Restdruck aus dem Speicher gefüllt.

$$\begin{array}{r} 2 \cdot 50 \text{ Liter} \cdot 200 \text{ bar} = 20000 \text{ barl} \\ + 10 \text{ Liter} \cdot 90 \text{ bar} = 900 \text{ barl} \\ \hline = 20900 \text{ barl} \end{array}$$

Dieses Volumen befindet sich in beiden Behältern.

$$2 \cdot 50 \text{ Liter} + 10 \text{ Liter} = 110 \text{ Liter}$$

Der Druck in jedem der Behälter beträgt

$$P = 20900 \text{ barl} / 110 \text{ Liter} = 190 \text{ bar}$$

Anschließend wird das zweite DTG befüllt

$$\begin{array}{r} 2 \cdot 50 \text{ Liter} \cdot 190 \text{ bar} = 19000 \text{ barl} \\ + 10 \text{ Liter} \cdot 0 \text{ bar} = 0 \text{ barl} \\ \hline = 19000 \text{ barl} \end{array}$$

Der Druck in jedem der Behälter beträgt

$$P = 19000 \text{ barl} / 110 \text{ Liter} = 173 \text{ bar}$$



Als letzter Schritt werden die beiden DTG gegenseitig ausgeglichen.

$$\begin{array}{r} 10 \text{ Liter} \cdot 190 \text{ bar} = 1900 \text{ barl} \\ + 10 \text{ Liter} \cdot 173 \text{ bar} = 1730 \text{ barl} \\ \hline = \qquad \qquad \qquad 3630 \text{ barl} \end{array}$$

$$P = 3630 \text{ barl} / 20 \text{ Liter} = 181 \text{ bar}$$

Wir haben in jedem DTG 181 bar zur Verfügung.

Überströmen von einer Premixkaskade in Tauchflaschen

Nehmen wir die selbe Ausgangssituation nochmals und lassen von den Speicherflaschen einzeln überströmen. Die Regel hier ist: man beginnt mit der Speicherflasche die am wenigsten voll ist und fülle zuerst in die Zielflasche, die am vollsten ist (natürlich nur, wenn deren Druck geringer ist als die Speicherflasche).

Erste Flasche:

Druckausgleich 50er/200bar und 10er/90bar bei **182bar**.

Druckausgleich 50er/200bar und 10er/182bar bei **197bar**.

Zweite Flasche:

Druckausgleich 50er/182bar und 10er/0bar bei **152bar**.

Druckausgleich 50er/197bar und 10er/152bar bei **190bar**.

Druckausgleich zwischen den 10er-Flaschen bei **193bar**.

Im Vergleich zum oberen Beispiel sieht man, dass das Füllen viel effektiver von statten geht, wenn man die Speicherflaschen einzeln entleert anstelle sie zu verbinden und auf einmal zu entleeren. Dies gilt um so mehr, je leerer die Speicherflaschen sind.

Umpumpen

Beim Umpumpen von Gasen saugt der Kompressor das Gas der Vorratsflaschen an. Dieses muss vorher auf Umgebungsdruck entspannt werden. Man erreicht dies durch Ansaugen aus einem Zweischlauchautomat oder aus einer zweiten Stufen eines normalen Lungenautomaten, wobei die Verbindungsstücke sauber abdichten müssen.

Zum Umpumpen von Sauerstoff oder Nitrox dürfen nur sauerstoffkompatible Kompressoren verwendet werden, da es sonst sofort zu einer Explosion kommt.

Das Umpumpen von Edelgasen (Helium, Argon) ist chemisch kein Problem, d.h. es besteht von den Gasen her keine Brandgefahr. Beim Umpumpen von Argon erhitzt sich der Kompressor allerdings sehr stark und muss deshalb extra gekühlt werden oder darf nur in kurzen Zeitintervallen mit eingeschobenen Kühlpausen betrieben werden.



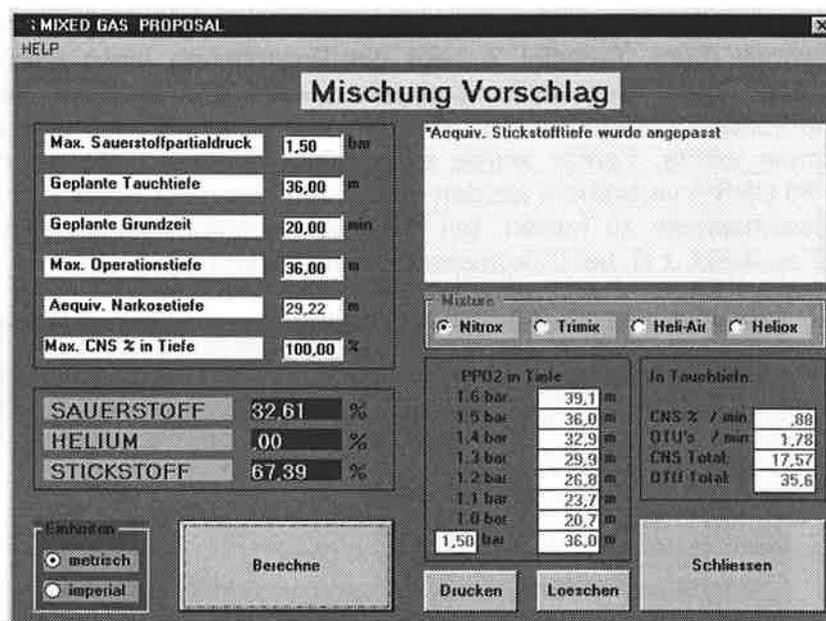
Software zum Gas-Blending

Wie in vielen Teilen der Taucherei, so findet man auch bei der Gasmischerei immer öfters den Einsatz von Computern in Verbindung mit Mischprogrammen. Diese erlauben uns einfach und schnell die komplexesten Gasgemische herzustellen. Die Bedienung dieser Programme variiert untereinander, wir wollen unter der Vielzahl der Anbieter auf das Programm DATECH Mixed Gas von Dr. Bernd Aspacher näher eingehen. Die Installation und Bedienung dieses Programms ist einfach gelöst und auch für Computerlaien verständlich.

Welches Gasgemisch wird benötigt?

Um festzulegen, welche Gas man für einen Tauchgang benötigt, müssen mehrere Parameter berücksichtigt werden: welchen Sauerstoffpartialdruck PPO2 möchte man maximal akzeptieren, wie tief will man tauchen, bis in welche Tiefe sollte das Gas im Zweifelsfall einsetzbar sein, wie stark möchte man narkotisiert sein (im Vergleich zu Luft in einer bestimmten Tiefe) und welches Risiko einer Sauerstoffvergiftung möchte man eingehen? Diese Parameter legen auf einfache Weise ein Gasgemisch fest. Optimal wäre zusätzlich noch, wenn eine Minimierung der Dekompression berücksichtigt würde - dies erfordert jedoch, will man ein Programm allgemeingültig halten, doch etwas kompliziertere Rechnungen.

Beispiel 1



In Beispiel 1 soll ein Tauchgang auf 36 Meter durchgeführt werden, wobei ein maximaler PPO2 von 1.5 bar akzeptiert werden soll. Die Grundzeit soll 20 Minuten betragen, ein Wert, der zur Berechnung der CNS% und der OTU (UPDT) verwendet wird. Die maximale Einsatztiefe soll ebenfalls 36 Meter betragen und die CNS% dürfen während des Tauchgangs 100% erreichen. Das Programm schlägt NITROX als Atemgas vor und berechnet eine 32.6/67.4 Mischung als diejenige Mischung, die alle oben genannten Bedingungen erfüllt. Es erfolgt ferner ein Hinweis, dass die Äquivalente Narkosetiefe (END) berechnet



bzw. angepasst wurde. Im Beispiel geht das Programm davon aus, dass Sauerstoff nicht narkotisch wirkt - diese Festlegung ist jedoch änderbar. Ferner zeigt das Programm an, in welcher Tiefe bestimmte Sauerstoffpartialdrücke erreicht werden (1.0 bar - 1.6 bar) und in welcher Tiefe der vorgegebene maximale PPO2 erreicht wird. Die Ansammlung von CNS% und OTU pro Minute bzw. für den gesamten Tauchgang werden ebenfalls berechnet.

Beispiel 2

Mischung Vorschlag

Max. Sauerstoffpartialdruck: 1,50 bar
 Geplante Tauchtiefe: 80,00 m
 Geplante Grundzeit: 10,00 min
 Max. Operationstiefe: 80,00 m
 Aequiv. Narkosetiefe: 40,00 m
 Max. CNS % in Tiefe: 50,00 %

SAUERSTOFF: 16,67 %
 HELIUM: 39,42 %
 STICKSTOFF: 43,92 %

Mischung: Nitrox Trimix Heli-Air Heliox

PPO2 in Tiefe	
1,6 bar	86,0 m
1,5 bar	80,0 m
1,4 bar	74,0 m
1,3 bar	68,0 m
1,2 bar	62,0 m
1,1 bar	56,0 m
1,0 bar	50,0 m
1,50 bar	80,0 m

In Tauchtiefe	
CNS % / min	0,88
OTU % / min	1,70
CNS Total	8,79
OTU Total	17,8

Einheiten: metrisch imperial

Berechne Drucken Loeschen Schliessen

Was für Nitrox noch relativ einfach zu berechnen ist, erfordert für Trimix schon einen Rechenschritt mehr. Beispiel 2 zeigt die Berechnung eines idealen Gases für 80 Meter Tiefe. Hier wurde vorgegeben, dass man in dieser Tiefe nur so stark narkotisiert (Tiefenrausch) sein darf, wie wenn man mit Luft auf 40 Meter tauchen würde. Ferner wurde eingeschränkt, dass während der Grundzeit nur 50 CNS% verbraucht werden sollen, um hier noch Spielraum für die Dekompressionsphase zu haben, bei man sich eventuell länger einem höheren PPO2 aussetzt, z.B. bei Dekompression mit reinem Sauerstoff.

Beispiel 3

Mischung Vorschlag

Max. Sauerstoffpartialdruck: 1,50 bar
 Geplante Tauchtiefe: 80,00 m
 Geplante Grundzeit: 10,00 min
 Max. Operationstiefe: 80,00 m
 Aequiv. Narkosetiefe: 40,00 m
 Max. CNS % in Tiefe: 50,00 %

SAUERSTOFF: 11,64 %
 HELIUM: 44,44 %
 STICKSTOFF: 43,92 %

Mischung: Nitrox Trimix Heli-Air Heliox

*Travel Mix wird benötigt. Hypoxia an Oberfläche

PPO2 in Tiefe	
1,6 bar	127,5 m
1,5 bar	119,9 m
1,4 bar	110,3 m
1,3 bar	101,7 m
1,2 bar	93,1 m
1,1 bar	84,5 m
1,0 bar	75,9 m
1,05 bar	88,0 m

In Tauchtiefe	
CNS % / min	0,37
OTU % / min	1,00
CNS Total	3,74
OTU Total	10,0

Einheiten: metrisch imperial

Berechne Drucken Loeschen Schliessen



Ein Programm sollte sich nicht nur auf Trimix (Mischung aus Helium, Sauerstoff und Stickstoff - Gemischt aus Helium, Sauerstoff und Luft) beschränken, sondern auch die Möglichkeit von HeliAir (einfaches Gemisch aus Helium und Luft) oder Heliox (Helium-Sauerstoff-Gemisch) anbieten. Beispiel 3 zeigt ein Gemisch, das sich aus Helium und Luft mischen ließe, ohne Zusatz von Sauerstoff. Ferner ist zu sehen, dass die Software warnt, wenn eine Gefahr auftaucht. Dieses Gemisch kann an der Wasseroberfläche (Umgebungsdruck 1 bar) nicht geatmet werden, da sein Sauerstoffgehalt zu niedrig ist und der kritische PPO2 von 0.16 bar, welcher langfristig für angenehmes Atmen notwendig ist, unterschritten wurde.

Beispiel 4

The screenshot shows a software window titled 'MIXED GAS PROPOSAL' with a 'HELP' button. The main title is 'Mischung Vorschlag'. On the left, there are input fields for: Max. Sauerstoffpartialdruck (1.60 bar), Geplante Tauchtiefe (120.00 m), Geplante Grundzeit (20.00 min), Max. Operationstiefe (120.00 m), Aequiv. Narkosetiefe (60.00 m), and Max. CNS % in Tiefe (50.00 %). Below these are gas composition fields: SAUERSTOFF (12.31 %), HELIUM (45.13 %), and STICKSTOFF (42.57 %). At the bottom left, there are radio buttons for 'metrisch' (selected) and 'imperial', and a 'Berechne' button. On the right, a text box contains four warnings: '*Max. Sauerstoffpartialdruck wurde angepasst', '*Travel Mix wird benötigt, Hypoxia an Oberfläche', '*Aequiv. Stickstofftiefe wurde angepasst', and '*Recreational Narkosetiefe ueberschritten'. Below the warnings are radio buttons for 'Nitrox', 'Trimix' (selected), 'Heli-Air', and 'Heliox'. A table shows 'PPO2 in Tseln' for various depths from 1.6 bar to 1.0 bar. To the right of the table is a 'In Tauchtiefe' section with values for CNS % / min (2.24), DTB' / min (1.92), CNS Total (44.99), and OTU Total (38.5). At the bottom right, there are buttons for 'Drucken', 'Loeschen', and 'Schliessen'.

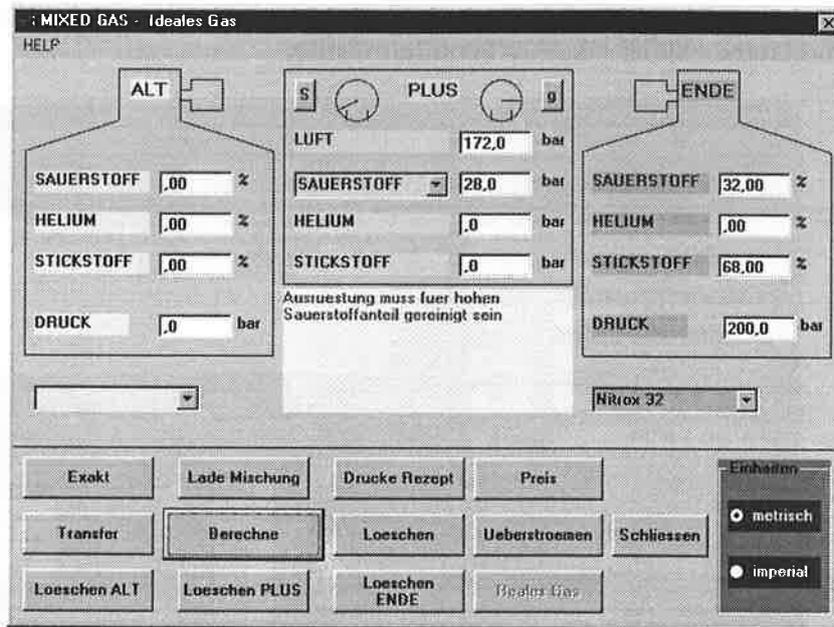
Die Anzahl der Warnungen kann beliebig hoch sein. Beispiel 4 berechnet ein Gas für 120 Meter Tiefe, für das ein maximaler PPO2 von 1.8 angegeben wurde. Die Software korrigiert eigenständig auf maximal 1.6 bar, passt die END an und warnt auch vor einer zu hohen Narkose - hier sollte die Planung sicherlich nachgebessert werden.



Wie mische ich das Gas?

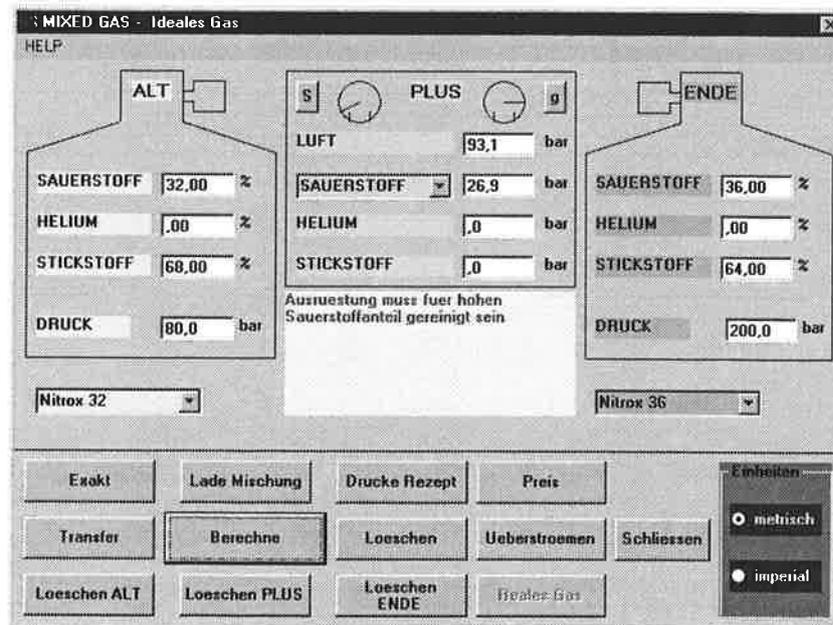
Ist das gewünschte Gas bestimmt, so besteht die zweite Aufgabe darin, die Rezeptur für dieses Gas zusammen zu stellen. Auch hierbei gibt es verschiedenste Situationen, welche die Software beherrschen sollte.

Beispiel 5



Die einfachste Situation ist in Beispiel 5 dargestellt. Man hat eine leere Flasche (ALT) und gibt an, was man letztendlich (ENDE) in der Flasche haben möchte; hier Nitrox 32 mit 200 bar. Das Programm gibt an, dass hierfür 28 bar Sauerstoff und 172 bar Luft in der Flasche gemischt werden muss. Da Sauerstoffgemische mit mehr als 40% Sauerstoffanteil im Spiel sind (hier der reine O₂ beim Mischen), erfolgt eine Warnung, dass die Mischapparatur sauerstoffverträglich (oxygen clean + oxygen compatible = oxygen service) sein muss, wobei zusätzlich lokale gesetzliche Bestimmungen zu beachten sind.

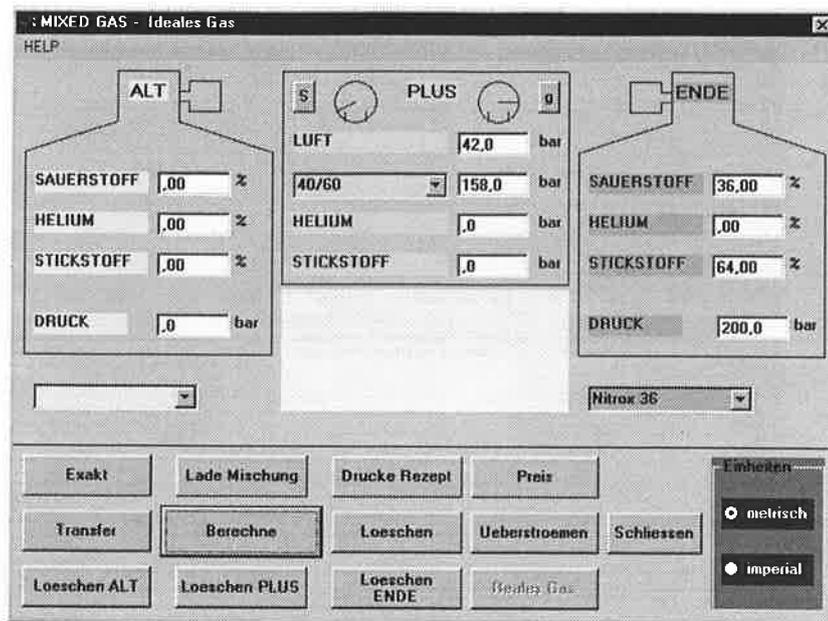
Beispiel 6





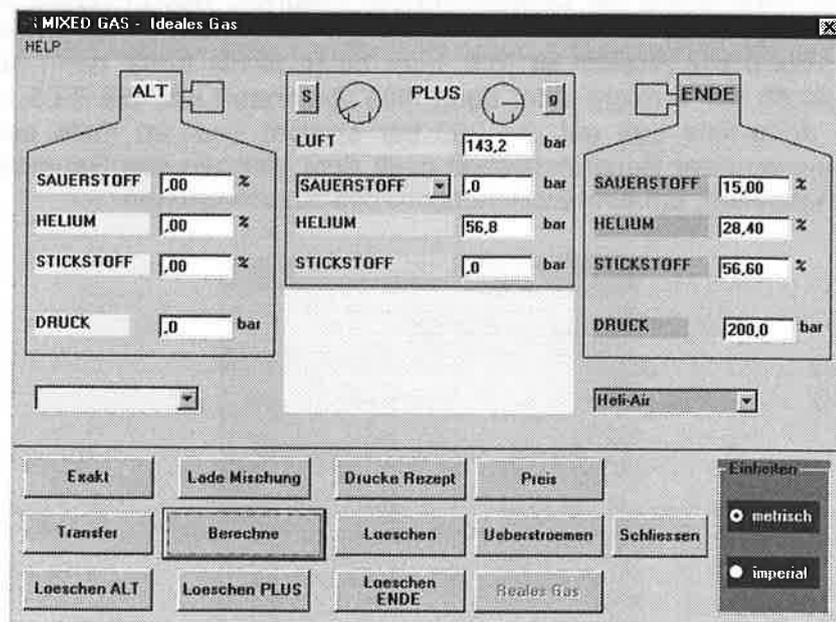
Sehr schön ist es, wenn man die Flasche vorher nicht leeren muss und auf einem vorhandenen Restinhalt aufsetzen kann. Beispiel 6 zeigt an, dass in der Flasche noch 80 bar Nitrox 32 enthalten sind. Der Gasmischer möchte zusätzlich noch einen Gaswechsel vornehmen, d.h. das Endgemisch soll nicht mehr Nitrox 32 sein, sondern Nitrox 36 ist gewünscht - auch die ist möglich.

Beispiel 7



In der Praxis kommt es auch immer wieder vor, dass man nicht reinen Sauerstoff zum Mischen benutzt, sondern ein Premix, d.h. eine Vormischung, die in ihrem Sauerstoffgehalt bereits reduziert ist. Beispiel 7 zeigt das Mischen von Nitrox 36 unter Zuhilfenahme einer Nitrox 40 Vormischung. Hiervon werden 158 bar benötigt, die dann durch 42 bar Luft zu Nitrox 36 verdünnt werden. Das Programm gibt einige Standardgemische als Premix vor, erlaubt aber auch die freie Eingabe der Mischung.

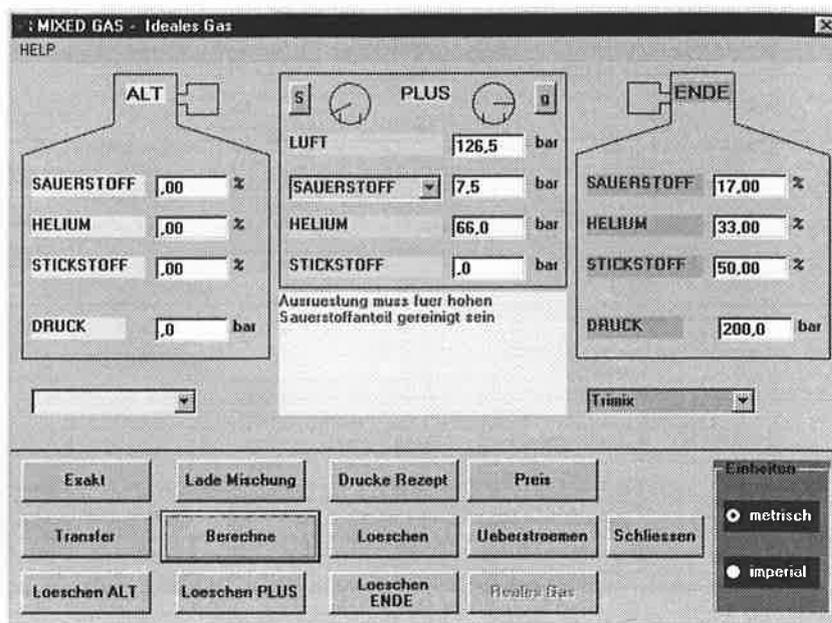
Beispiel 8





Beispiel 8 zeigt das Mischen von HeliAir, der einfachsten Form eines Trimix-Gemisches. Hierzu gibt man zuerst eine der drei gewünschten Prozentzahlen an und wählt dann unter der ENDE-Flasche HeliAir an - die restlichen Anteil werden berechnet und die Mischung ist ohne Zugabe von Sauerstoff oder Premix herstellbar, nur Helium und Luft (Air) wird benötigt.

Beispiel 9



Aber auch beliebige Trimix-Gemische sind berechenbar. Beispiel 9 zeigt die Rezeptur für Trimix 17/33/50. Hierfür müssen 66 bar Helium, 7.5 bar Sauerstoff und 126.5 bar Luft gemischt werden.

Für all diejenigen, die sich mit dem Addieren dieser Drücke schwer tun, ist eine zusätzlich Berechnung der Zwischendrücke integriert. Nach Angabe der Füllreihenfolge sagt diese (Beispiel 10): nimm die leere Flasche und fülle Stickstoff ein, bis 0 bar erreicht ist (d.h. man muss nichts tun!), dann fülle Helium ein, bis 66 bar erreicht sind, dann fülle Sauerstoff ein, bis 73.5 bar erreicht sind, dann fülle Luft auf, bis 200 bar erreicht sind. Im Falle einer Trimix-Mischung wird der Sauerstoffgehalt nach dem Mischen von Sauerstoff und Helium angegeben, um eine Zwischenkontrolle zu ermöglichen.

Beispiel 10





Eine weitaus exotischere Methode des Mischen stellt die gravimetrische Füllmethode dar. Hierbei wird eine Flasche nicht gefüllt, bis ein bestimmter Druck erreicht ist, sondern bis eine bestimmte Gewichtszunahme erreicht ist. Die Methode ist zwar komplizierter in ihrer Durchführung, aber bei weitem genauer, da Effekte wie Druckerhöhung aufgrund von Temperaturerhöhung oder Flaschenvolumenvergrößerung aufgrund von Temperaturerhöhung oder Druckerhöhung keine Rolle mehr spielen. Auch die Problematik 'Ideales Gas contra Reales Gas' wird umgangen. Beispiel 11 sagt also: fülle die 15-Liter-Flasche mit Helium, bis diese ca. 177 Gramm schwerer wurde, dann fülle Sauerstoff nach, bis die Flasche abermals ca. 161 Gramm schwerer wurde und toppe das Ganze mit Luft auf, bis diese eine Gewichtszunahme von 2485 Gramm bewirkt hat.

Beispiel 11

Mixed Gas



PLUS



P

LUFT	2485,35	g
SAUERSTOFF	160,63	g
HELIUM	176,82	g
STICKSTOFF	0,	g

Absolutes Flaschenvolumen: 15 Liter

Berechne

Dies ist die genaueste Mischmethode, was die Zusammensetzung angeht. Der ALT Tank sollte leer oder sein Inhalt exakt bekannt sein. Die Waage muss 1/10 Gramm anzeigen. Beachtet dass Luft nahezu 1% Argon enthaelt, welches wie Stickstoff behandelt wird.

Eine weitere Frage beschäftigt den Füller: wie lange hält meine Vorratsflasche beim Überströmen, wie viel Restdruck verbleibt, wenn ich die leere Flasche bis zu einem bestimmten Druck fülle oder wenn ich bis zum Druckausgleich überströmen lasse. Die Beispiele 12 und 13 geben hierüber Auskunft.



Beispiel 12

Ueberstroemen

Voll-Flasche		Leer-Flasche
Druck <input type="text" value="189,2"/>	→	Druck <input type="text" value="36"/>
Volumen <input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="540"/> Liter	Volumen <input type="text" value="15"/>

bis Druck

Beispiel 13

Ueberstroemen

Voll-Flasche		Leer-Flasche
Druck <input type="text" value="153,8"/>	→	Druck <input type="text" value="153,8"/>
Volumen <input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="2307,692"/> Liter	Volumen <input type="text" value="15"/>

bis Druck



Wie überprüfe ich eine Gasmischung?

Beim Mischen können immer wieder Fehler passieren oder Abweichungen stellen sich ein; deshalb ist es unerlässlich, das Gemisch anschließend zu analysieren und bei Abweichungen die Randbedingungen für das Echtmischung nochmals zu berechnen. Im Beispiel 14 werden die Daten für ein Trimix 17/33/50 nachberechnet, das für einen 80 Meter Tauchgang und maximalem PPO₂ von 1.5 bar vorgesehen war. Die Software berechnet, dass die maximale Operationstiefe (MOD) aufgrund des Sauerstoffgehalts bei 78 Metern liegt und dass die Narkosetiefe für die geplanten 80 Meter bei 47 Metern liegen würde - bei diesen Berechnungen kann man festlegen, ob Sauerstoff narkotisch wirkt oder nicht. Ferner werden wieder die Werte für PPO₂, CNS und OTU angegeben und es erfolgen Warnungen, wenn gewisse Sicherheitsparameter überschritten sind.

Beispiel 14
 Beispiel 15

MIXED GAS CHECK

Mischung Prüfen

Max. Sauerstoffpartialdruck: 1.5 bar
 Geplante Tauchtiefe: 80.0 m
 Geplante Grundzeit: 20.0 min
 Sauerstoff: 17 %
 Helium: 33 %
 Stickstoff: 50 %

* Tauchtiefe muss kleiner als max. Operationstiefe sein
 * Recreational Narkosetiefe ueberschritten

Max. Operationstiefe: 78.2 m
 END fuer MOD: 45.8 m
 Aequi. Narkosetiefe: 46.9 m
 Max. CNS-Zeit in Tiefe: 99.7 min

Einheiten:
 metrisch
 imperial

Berechne Trimix
 Mix laden Loeschen Drucken Schliessen

PPO₂ in Tiefe:

1.6 bar	84.3 m
1.5 bar	78.2 m
1.4 bar	72.4 m
1.3 bar	66.9 m
1.2 bar	61.6 m
1.1 bar	56.7 m
1.0 bar	48.8 m
1.53 bar	80.0 m

In Tauchtiefe:

CNS z / min:	1.00
OTU's / min:	1.82
CNS Total:	20.06
OTU Total:	36.4

In MOD:

CNS z / min:	1.80
OTU's / min:	1.78
CNS Total:	17.57
OTU Total:	35.6

Trimix Analyse

Gas + Gewicht

Leergewicht Flasche: 15000 g
 Vollgewicht Flasche: 18000 g
 Flaschenvolumen: 15 Liter
 Fuehldruck: 200 bar
 Sauerstoffgehalt (Analyse): 17 %
 Heliumgehalt: 38.8 %

Berechne Schliessen

Beispiel 15 zeigt zu guter Letzt noch eine Methode zur nachträglichen Analyse von Trimixgemischen. Normalerweise analysiert man in Tauchgasen nur den Sauerstoffgehalt. Bei Nitrox und HeliAir sind damit auch die anderen Komponenten bestimmt, nicht jedoch bei Trimix. Hier kann man nun nach Analyse des Sauerstoffgehalts und nach Eingabe des Füllgewichts, Fülldrucks und Flaschenvolumen den Heliumgehalt berechnen.

Grundsätzlich gilt, dass man Software nur einsetzen sollte, wenn man es auch von Hand rechnen kann - die Software dient zur Kontrolle dieser Rechnungen!



Mischgasarten

Nitrox

Nitrox ist das gängigste unter den Mischgasen. Es setzt sich aus O_2 und N_2 zusammen. Selbst unsere Atemluft ist ein Nitrox 21/79 Gemisch. Um Tabellen zu erstellen und der einfacheren Verfügbarkeit dieser Gase wurden gewisse häufiger benutzte Gemische standardisiert. Den Anfang machte 1970 Dr. Morgan Wells von der National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA) indem er ein Gas in der Zusammensetzung 32% Sauerstoff und 68% Stickstoff als NOAA1 bezeichnete. Später kam noch das NOAA2 in der Zusammensetzung 36% Sauerstoff und 64 % Stickstoff dazu. Standardisierungen von Gasen wurden ebenfalls von Firmen, wie beispielsweise den Drägerwerken, vorgenommen. Die gängigsten Gemische sind:

Bezeichnung	% O_2 / % N_2
Nitrox 0	29/71
NOAA I	32/68
Nitrox D	32,5/67,5
NOAA II	36/64
Nitrox C	40/60
Safe Air	22-50/78-50
Nitrox B	60/40

Bei den Bezeichnungen steht der erste Wert für den Sauerstoffgehalt und der zweite für den Stickstoff. Man schreibt also NOAA 1, Nitrox 32, Nitrox 32/68 oder EAN₃₂, wobei EAN für „enriched air nitrox“ steht.

HeliAir

HeliAir ist ein Gemisch aus Helium und Luft. Sheck Exley setzte es erfolgreich bei Höhlentauchgängen ein, da er vermutete, dass die vorhergehenden Unfälle von Tauchern aus der Stickstoffnarkose resultierten. Die Produktion von HeliAir ist relativ einfach, da Helium in ein DTG vorgefüllt wird und dann über einen normalen Kompressor bis zum Enddruck Luft nachgefüllt wird. Da hier mit keiner Sauerstoffmischung über 21% umgegangen wird, stellt dieses Verfahren keinerlei Anspruch auf Sauerstoffreinheit oder Sauerstoffkompatibilität. Wir haben durch die festgelegte Mischung Luft (21-79) ein später mit Helium genau definiertes O_2 - N_2 -He Verhältnis.



Heliox

Heliox ist eine Mischung aus Helium und Sauerstoff. Diese Mischung wird bis ca. 100m verwendet. Bei größeren Tiefen oder schneller Kompression kann das Fehlen eines „Narkotikums“ zum HPNS führen kann. Ein weiteres Problem ist der hohe Anschaffungspreis des Heliums, der bei dem großen Anteil im Heliox zum tragen kommt. Der Einsatz von Heliox rechnet sich nur bei langen Grundzeiten, da bei kurzen Grundzeiten die Dekompressionszeit gegenüber Trimix erheblich länger sind und bei Trimix ein HPNS wesentlich später auftritt.

Trimix

Trimix besteht aus den Komponenten Helium, Stickstoff und Sauerstoff. Durch den Stickstoffanteil wird das Gas billiger und der Stickstoff unterdrückt zum Teil das HPNS. Ein Nachteil gegenüber Heliox ist die relative Stickstoffnarkose, die normalerweise auf maximal 40m eingestellt wird.

Hydreliox

Bei großen Tauchtiefen kann die hohe Dichte des Atemgases zu Problemen führen. Zum Einsatz kommt hier als inerte Bestandteil Wasserstoff in der Kombination mit Sauerstoff und Helium. Der narkotische Faktor des Wasserstoffes liegt über dem des Heliums und so entfällt die Zumischung von Stickstoff zur Unterdrückung des HPN-Syndroms. Das große Problem des Wasserstoffes liegt in der starken Reaktionsfreudigkeit mit Sauerstoff. Der maximale Sauerstoffgehalt liegt deshalb auch bei maximal 2,5% im Atemgemisch und die Einsatztiefe beginnt bei ca. 200 Meter.

Argox

Atemgemisch aus Argon und Sauerstoff. Wegen des sehr starken narkotischen Potentials sowie der großen Dichte von Argon eignet sich diese Mischung ausschließlich als Dekompressionsgas.

Neox

Atemgemisch aus Neon und Sauerstoff. Neon hat ein ähnliches Verhalten wie Helium was die Narkose betrifft, führt jedoch nicht zu HPNS oder Sprachverzerrungen. Das Problem liegt im hohen Anschaffungspreis des Neon und in der sehr schwierigen Druckkammerbehandlung bei einem Tauchunfall.



Mischen

#	Vorgang	Bemerkung
1	Anschluss des Reingases und der Luftversorgung an dem Mischpanel	Sauerstoff und Inertgas muss Reinheitsgrad entsprechen. Luft muss ausreichend gereinigt und ölfrei sein (mit Prüfröhrchen messen). Anschlüsse müssen Normen entsprechen. Flaschendrucke beachten! Bei 300 bar Flaschen Druckminderer auf 200 bar verwenden.
2	Überprüfung der Nitroxflasche auf Druck und Gemisch.	Notieren der Daten mit der Flaschennummer auf dem Mischblatt. Nur Flaschen mit zulässigem Ventil und gültigem TÜV füllen.
3	Berechnung der benötigten Gasmenge zum Mischen.	Daten auf Mischblatt notieren
4	Anschluss der Nitroxflasche am Mischpanel.	
5	Öffnen der Sauerstoffflasche und überprüfen ob genügend Restdruck für Mischvorgang vorhanden ist.	Öffnen der Ventile soll langsam erfolgen um schlagartigen Druckanstieg zu vermeiden. Falls Gasmenge nicht genügt, Mischung gegebenenfalls neu berechnen.
6	Öffnen der Nitroxflasche und füllen mit Sauerstoff bis auf errechneten Wert.	Falls bei Erreichen des max. Sauerstoffdruckes kein automatisches Abstellen erfolgt, muss der Vorgang genau verfolgt werden.
7	Sauerstoffventil am Mischpanel schließen.	
8	Luftversorgung öffnen wenn der Vordruck höher als der Nitroxflaschendruck ist. Nitroxflasche etwas unter errechneten Enddruck füllen.	Durch höheren Luftvordruck kann kein Sauerstoff in Richtung Mischpanel strömen. Auf Rückschlagventil achten!
9	Mischung abkühlen lassen und O ₂ -Gehalt mit Analysegerät prüfen. Gegebenenfalls mit Luft ergänzen.	Durch noch nicht erreichten Enddruck kann sich das Gemisch höchstens in Richtung Luftdefizit verschieben. Sauerstoff nachdrücken entfällt oftmals da er nicht immer in diesen hohen Drücken vorhanden ist und hantieren mit hohen Sauerstoffdrücken birgt eine große Gefahr.
10	Gemisch zum Schluss analysieren und Daten im Mischblatt und auf der Flasche eintragen.	Nachweis über erstelltes Gemisch.
11	Empfänger analysieren und den Erhalt auf dem Mischblatt quittieren lassen.	Absicherung für richtiges Gemisch.



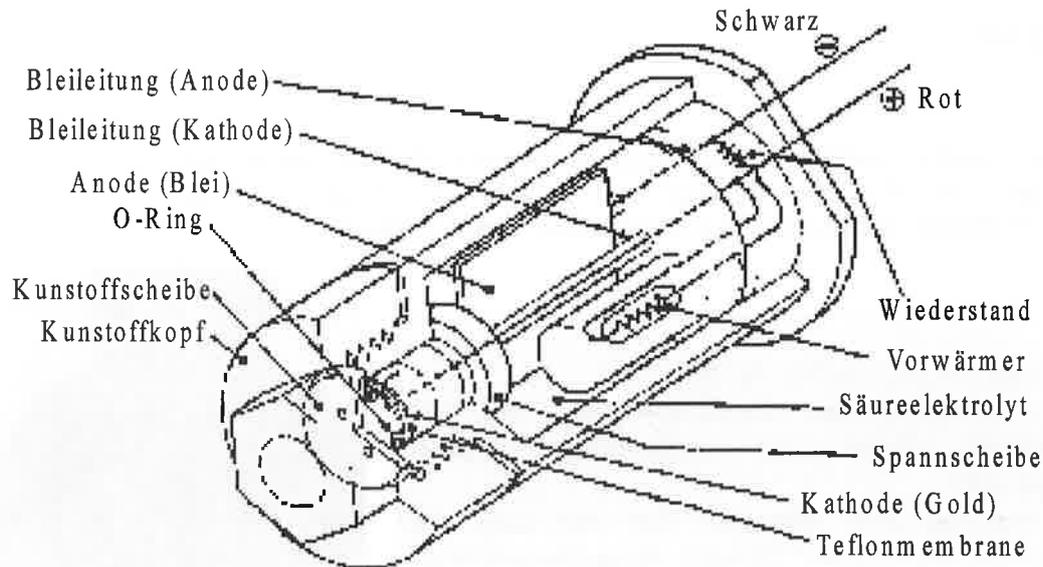
Gasanalyse

Es ist für jeden Taucher wichtig, das selbstgemischte oder als Fertigmischung bezogene Gas vor dem Tauchgang auf seinen Sauerstoffgehalt zu analysieren. Für diesen Zweck gibt es verschiedene Meßmethoden:

1. Das elektrochemische Verfahren
2. Die colorimetrische Detektion bei der die einzelnen Gase auf Indikatoren farblich reagieren
3. Die magnetische Methode bei der sich die einzelnen Gase unter Einsatz eines Magnetfeldes unterschiedlich verhalten
4. Die thermische Leitfähigkeit bei der die Wärmeübertragungskapazität gemessen wird
5. Die Gaschromatographie



Zum Einsatz für den Sporttaucher kommt aufgrund seiner Anwenderfreundlichkeit jedoch ausschließlich das elektrochemische Verfahren. Das Gerät besteht aus einer Brennstoffzelle die während der Messung in den Gasstrom eingebracht wird. Eindringende Sauerstoffmoleküle werden an einer Goldkathode elektrochemisch reduziert. Die für den Reduziervorgang benötigten Elektronen erhält man durch die Oxidation an einer Bleianode. Proportional zur Menge der Sauerstoffmoleküle wird eine bestimmte Stromstärke erzeugt. Der erzeugte Strom wird im Messgerät in einen Messwert umgewandelt. Wichtig vor der Benützung ist die Kalibrierung des Gerätes, da sich mit der Zeit das elektrochemische Element verbraucht. Ein weiterer Grund für die Kalibrierung des Gerätes liegt in dem schwankenden Luftdruck. Würden wir das Gerät beispielsweise auf Meereshöhe kalibrieren und es dann in eine andere Höhenlage bringen, zeigte es uns durch den geringerwerdenden Partialdruck weniger O_2 an. Auch Messfehler aufgrund von verschiedenen Temperaturen lassen sich durch die Kalibrierung mindern. Kalibriert wird mittels des Stellknopfes bis auf dem Display der Sauerstoffwert der Umgebungsluft angezeigt wird, also 20,9% O_2 . Alternativ hierzu kann man auch mit Reinsauerstoff auf 100% kalibrieren. Der zu messende Gasstrom wird nun an den Sensor gebracht und es beginnt die Messung. Für sehr genaue Messungen benützt man einen Konstantflowvorsatz. Bei sorgfältiger Behandlung hält ein Sensor ca. 1 Jahr. Die Lebensdauer wird vor allem durch Feuchtigkeit herabgesetzt. Wichtig ist somit vor jeder Messung das Ventil leicht ausblasen. Die Brennstoffzelle ist verbraucht, wenn sich das Gerät nicht mehr exakt kalibrieren lässt, das heißt wenn die Werte ständig schwanken oder 100% nicht erreicht werden können.



Nitroxgemische analysiert man nachdem der Sauerstoff mit Luft aufgefüllt wurde. Falls der Wert nicht stimmt, sollte man das DTG kurze Zeit rollieren um eine sorgfältige Durchmischung zu gewährleisten und danach noch einmal messen. Gemische mit hohem Sauerstoffgehalt brauchen länger um sich homogen zu vermischen.

Bei **Heliair** und **Heliox** gehen wir nach derselben Methode vor, da Heliox aus lediglich zwei Komponenten besteht und der Stickstoffgehalt bei Heliair durch die Zugabe von Luft genau definiert ist.

Trimix muss, da zwei variable Inertgaskomponenten eingefüllt werden, zweimal gemessen werden. Die erste Messung macht man, nachdem Helium auf den Sauerstoff aufgefüllt wurde und die zweite Messung, nachdem das ganze mit Luft auf Enddruck ergänzt hat.

Falls Gemische von der Berechnung um mehr als 1% abweichen und nicht nachgemischt wird, sind die Tauchgangsdaten neu zu berechnen.

Füllprotokoll

Hersteller	Kunde	Hersteller-Analyse	Kunden-Analyse	MOD	Datum	Kunden-Unterschrift
Duck, D.	Maus, M.	31,8%	32,0%	40 m	16.5.1996	
Luke, L.	Dalton, J.	35,9%	36,1%	33 m	10.9.1996	





Druckgasbehälter und Kennzeichnung

Die Druckgasbehälter werden zum einen anhand ihrer Größe und zum anderen auf Grund ihrer Materialbeschaffenheit unterschieden. Geregelt wird dies in der TRG 310 und 801 für Stahlflaschen, sowie der TRG 802 für Aluminiumflaschen. Als Exoten sind auch Druckbehälter aus glasfaserverstärkten Kunststoff mit Aluminiumeinlage im Verkehr, die vor allem durch ihr geringes Gewicht Vorteile bringen.

Die gängigste Art, in der Reingase und Gasgemische von der Industrie ausgeliefert werden, sind entweder 20 oder 50 Liter Stahlflaschen mit einem Fülldruck von 200 Bar. Zur Verbesserung der Gasbevorratung beim Endkunden werden inzwischen von vielen Gaserzeugern Behälter mit einem Fülldruck von 300 Bar angeboten. Die Entnahme erfolgt durch einen separaten Druckminderer oder es erfolgt eine Druckreduzierung in dem Ventil selbst.

Im Gegensatz zu Stahlflaschen haben sich Aluminiumflaschen nicht im großen Umfang durchgesetzt. Sie halten im Gegensatz zu Stahl weit weniger Lastwechsel stand und das bei der Korrosion entstehende Oxid ist nicht mit allen Gasen kompatibel. Aluminiumflaschen werden hauptsächlich in der Größe von 20 Litern ausgegeben. Der große Nachteil der GFK-Behälter liegt in ihrer Empfindlichkeit gegenüber Stößen die zum Materialbruch führen können.

Kennzeichnung

Nach der Messung müssen die Gemischbestandteile mit ihrem prozentualen Anteil auf einem Aufkleber am Flaschenhals notiert werden. Dies ist besonders wichtig um Verwechslungen zu vermeiden. Das Verwechseln beispielsweise von Bottommix und Dekomix wäre fatal. Deshalb ist es speziell wichtig, die MOD auf den Flaschen zu vermerken.

Die Nitroxflasche selbst ist nach der Druckgasbehältervorschrift für Gase über 21% Sauerstoff blau (neu: weiss) lackiert und Sauerstoff-TG eingestempelt. Bei der Version 3156 Nitrox gibt es keine Farbvorschrift und es haben sich international die Farben Gelb/Grün/Gelb eingebürgert, mit der Aufschrift NITROX oder MIXED GAS.

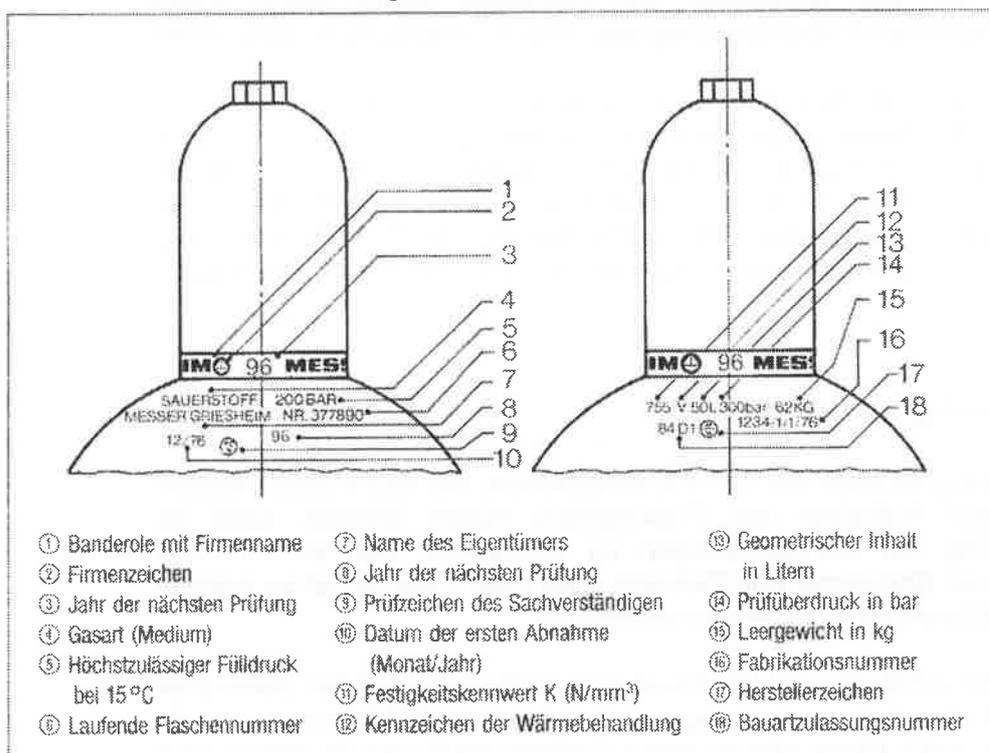


Sicherheit im Umgang mit Gasen

Kennzeichnung

Druckgasflaschen sind nach den Technischen Regeln Druckgase festgelegt. Insbesondere in der TRG 270, TRG 311, TRG 801 und 803. Die Gasart ist in der Flaschenschulter eingeschlagen und außerdem durch einen für die Gasart festgelegten farblichen Anstrich versehen. Bei Gasgemischen richtet sich die Farbe und das Anschlussventil nach der TRG 102.

Tafel 14 Flaschenkennzeichnung

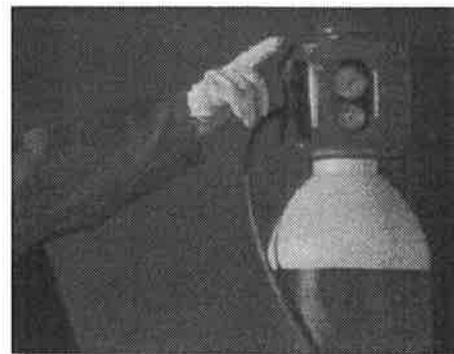


Ventile

Um Verwechslungen bei verschiedenen Gasarten zu vermeiden, sind die zur Gasart zugelassenen Ventile in der DIN 477 geregelt. Es gilt für nicht brennbare Gase Rechtsgewinde und für brennbare Linksgewinde.

Schutzkappen oder Bügel

Um Ventilverletzungen zu vermeiden, sind während des Transportes die zugelassenen Kappen oder Bügel anzubringen. Flaschen ohne Bügel oder Kappe sind in Transportboxen zu transportieren.





Prüfung von Druckgasflaschen

Gemäß der Druckbehälterverordnung sind Druckflaschen in regelmäßigen Abständen zu kontrollieren. Prüfungen führt der TÜV oder TUA durch. Die Füllanstalten sind angehalten die gültigen Fristen zu kontrollieren. Die Prüffristen für Stahlflaschen beträgt in der Regel 10 Jahre bei unbrennbaren und 5 Jahren bei brennbaren Gasen sowie 2 Jahre bei Tauchgeräten aus Stahl.

Beförderung

Vorbemerkungen

Diese Sicherheitshinweise sind Empfehlungen für den sicheren Transport von Gasflaschen in Straßen-Fahrzeugen. Diese Vorschriften gelten sowohl für gefüllte als auch für entleerte Behälter. Verbindliche Vorschriften über den Transport gefährlicher Güter auf der Straße werden hierdurch nicht ersetzt, sondern ergänzt. Die Beachtung der Hinweise dient Ihrer eigenen Sicherheit und hilft, bußgeldpflichtige Ordnungswidrigkeiten zu vermeiden.

Fahrzeuge

Straßen-Fahrzeuge, wie Lkws, Werkstattwagen, Kombiwagen, normale Pkws und Anhänger (auch Einachser) sind nur dann für den Transport von Gasbehältern (Gasflaschen, Kryobehältern) geeignet, wenn sie gut be- und entlüftbar sind, und die Behälter gegen Fortrollen bzw. Umfallen zuverlässig zu sichern sind. Ab bestimmten Mengen gelten darüber hinaus gesonderte Anforderungen.

Vor Antritt der Fahrt

Bevor die Gasflaschen in das Fahrzeug geladen werden, sind Druckminderer und sonstige Armaturen von den Flaschenventilen abzuschrauben. Alle Flaschenventile sind durch Aufschrauben von **Flaschenkappen** vor Beschädigung zu schützen, mit Ausnahme derjenigen Flaschen, bei denen der Schutz der Ventile durch einen ständig angebrachten Flaschenkragen erfolgt. Kleine Gasflaschen, bei denen kein ständiger Ventilschutz angebracht ist und bei denen auch keine Flaschenkappe aufgeschraubt werden kann, sind zum Schutz der Flaschenventile in dafür vorgesehenen Flaschenkoffern oder -kästen zu befördern.

Ladungssicherung

Um zu verhindern, dass beim Bremsen, beim Kurvenfahren oder auch bei Unfällen die Behälter selbst beschädigt werden oder anderes Ladegut beschädigen, sind sie durch geeignete Mittel zu sichern. Bewährt als Einrichtungen zur Ladungssicherung haben sich z.B. spannbare Gurte, die



an genügend stabilen Fahrzeugteilen befestigt werden müssen. In der Nähe der Stirnwand des Fahrzeuges sind die Gasflaschen in jedem Falle **quer** zur Fahrtrichtung (stehend oder liegend) zu laden.

Lüftung

Die Ladefläche muss ausreichend gelüftet sein. Dies ist bei einer offenen Ladepritsche ohnehin kein Problem. Ist die Ladepritsche mit einer Plane abgedeckt, dann sollte es möglich sein, vorn und hinten, vorzugsweise oben und unten, für eine Diagonallüftung zu sorgen.

Schwieriger ist die Lüftung eines Kastenwagens, eines Kombis oder gar des Kofferraums eines Pkws einzurichten. Auch das ist lösbar: Für die Zu- und Abluftöffnung sind jeweils etwa 1/10 der Grundfläche aller gleichzeitig beförderten Gasflaschen vorzusehen. (In der Regel genügen ca. 100 cm² Lüftungsöffnung. Wenn beide Öffnungen sogar noch diagonal angebracht sind, dann kann von ausreichender Lüftung gesprochen werden. Vorteilhaft sind fest eingebaute Kiemen- oder Rosetten- Lüfteröffnungen. Aber aufpassen: Die Öffnungen dürfen nicht geschlossen (z.B. zugeklebt) sein. Ausnahmsweise dürfen auch geöffnete Fenster oder ein geöffneter Kofferraumdeckel zur Lüftung verwendet werden, die aber auch beim Parken nicht geschlossen werden dürfen.

Rauchen und offenes Feuer

Das Rauchen und offenes Feuer ist im und um das Fahrzeug streng verboten, solange sich Gasbehälter darin befinden, egal welche und wie viele.

Beförderung unterhalb der Freigrenzen

Befördert man wenige Flaschen, so benötigen man z.B. kein Beförderungspapier und keinen Feuerlöscher.

Die "Freigrenze", bis zu der dies möglich ist, ist abhängig von der Gasart (siehe "Beförderungspapier" Form1808/2 03.96, abgedruckt auf der letzten Seite dieses Sicherheitshinweises). Achtung! Ein paar Voraussetzungen müssen für den Transport ohne Beförderungspapiere erfüllt sein:

Die Gasbehälter müssen mit der Stoffbezeichnung beschriftet sein. Das ist bei Firmenbehältern in der Regel der Fall.

Bei der Berechnung, ob man unter- oder oberhalb der Freigrenze liegt, sollte man leere Gasbehälter wie volle betrachten. ("Leere" Flaschen sind ja tatsächlich nicht leer!)

Folgende Faustformel kann man sich aber merken: Bis zu 3 große Flaschen (50 Liter) sind immer unterhalb der Freigrenze, wenn sich keine weiteren Gefahrgüter an Bord befinden. Bei bestimmten Gasarten kann das auch erheblich mehr sein; genaue Auskunft erhält man dazu von der Service-Stelle.

Natürlich muss man auch alle Bedingungen, die bereits weiter oben (fett gedruckt) genannt wurden, ausnahmslos einhalten. Muss man kein Beförderungspapier ausstellen, dann kann man die folgenden Absätze überspringen und mit dem Kapitel "Nach der Fahrt" fortfahren.



Beförderung oberhalb der Freigrenzen

Die Ermittlung der Freigrenzen haben wir einfach gelöst. Die Lieferstellen halten ein Beförderungspapier (Form 1808/2) bereit, mit dem die Freigrenzen unkompliziert ermitteln werden können.

- Name und Anschrift des Absenders
- Name und Anschrift des Empfängers
- Stoffbezeichnung (komplett).
- Anzahl der Behälter
- Menge der Gefahrgüter Bruttomasse in kg

Absender ist der Transporteur. Empfänger ist z.B. der Tauchplatz, Basis oder Mischstation. Genaue Anschrift ist erforderlich. Die Stoffbezeichnung entnimmt man bitte von den Aufklebern auf den Behältern. In den meisten Fällen findet man im Beförderungspapier die gleiche Stoffbezeichnung, bereits vorgedruckt, so dass man in der entsprechenden Zeile nur noch die Anzahl der Behälter eintragen muss, je nach Größe (Gewicht) der Behälter in die zutreffende Spalte. Die Beschreibung der Behälter (= Gasflaschen) steht bereits ganz oben in der Überschrift des Beförderungspapiers.

Nachdem man noch die Menge der Gefahrgüter als Bruttomasse je Zeile eingetragen hat, ist das Beförderungspapier vollständig ausgefüllt. Verwendet man zum Transport von Gasbehältern ein Fahrzeug, dessen höchstzulässiges Gesamtgewicht (das steht in ihrem Fahrzeugschein) 3,5 t überschreitet, so muss der Fahrer geschult sein und die Bescheinigung über die erfolgreiche Teilnahme (GGVS-Schein) während des Gefahrguttransportes mitführen. Im Fahrzeug dürfen sich nur Personen befinden, die mit dem Transport unmittelbar zu tun haben. Die Tauchpartner darf man mitnehmen, weil sie ja beim Ausladen helfen oder weil sie den Weg zeigen sollen.

Mitführen muss man auf dem Fahrzeug aber 2 Feuerlöscher. Einen 2-kg-Löscher für einen Motorbrand und einen weiteren 6-kg-Pulverlöscher für Reifen- und Ladungsbrände. Empfehlenswert sind aber zwei 6-kg-Pulverlöscher für die Brandklassen A B C, die auch für Glutbrände geeignet sind. Mit nur einem 12-kg-Löscher an Bord riskiert man ein Bußgeld! Im Fahrzeug müssen auch 2 tragbare und funktionstüchtige (Batterien regelmäßig prüfen) orangefarbene Leuchten sein. Man beziehen diese Leuchten am besten vom guten LKW-Zubehörhandel. Die wissen auch welche Leuchten das sind.

Ebenso muss man ein Unfallmerkblatt (ggf. auch mehrere) im Führerhaus an Bord haben. Vom Gaslager erhält man das zutreffende Unfallmerkblatt. Ist man Absender, dann muss man für das zutreffende Unfallmerkblatt sorgen.

Zur Ausrüstung gehört ferner ein Werkzeugsatz (im Kasten oder im Bündel) für Notreparaturen und mindestens ein Unterlegkeil, je nach Fahrzeuggröße. Die

Schutzausrüstung muss den Angaben im Unfallmerkblatt entsprechen.



Nach der Fahrt

Beim Be- und Entladen stellt man bitte den Motor ab, das schont die Umwelt und erspart ein Bußgeld. Man zieht beim Halten und Parken immer die Handbremse an. Aus Kombiwagen und PKW-Kofferräumen sind die Gasbehälter sofort nach der Fahrt zu entladen, da im Stand keine ausreichende Lüftung gewährleistet werden kann. Zur Gasentnahme sind die Gasflaschen in jedem Fall aus dem Fahrzeug zu entfernen und erst dann mit Druckminderern zu versehen.

Garagen

In Garagen dürfen die Fahrzeuge mit den Gasbehältern nur abgestellt werden, wenn der Laderaum, in dem sich die Behälter befinden, weiterhin gelüftet bleibt und die Garage ebenfalls gut gelüftet ist. Das ist in Großgaragen (z.B. Parkhäusern) in aller Regel der Fall, in Kleingaragen (bis 25 m²) oder in Tiefgaragen in der Regel jedoch nicht. Beachten Sie insbesondere, dass bei manchen öffentlichen oder privaten Garagen oder Parkhäusern das Parken mit Gefahrgut evtl. eingeschränkt ist.

Auslandsfahrten

Bei Fahrten ins Ausland: Man benötigt immer ein Beförderungspapier und eine sogenannte ADR-Erklärung. Unterhalb der Freigrenze muss ein Feuerlöscher (mind. 2 kg) an Bord sein, oberhalb der Freigrenze zusätzlich alle anderen fettgedruckten Gegenstände des Abschnitts "Beförderung oberhalb der Freigrenze."

Eine Empfehlung

Die Polizei kontrolliert Gefahrguttransporte immer häufiger und auch detaillierter. Verstöße gegen die GGVS werden als Ordnungswidrigkeit mit Bußgeldern geahndet. Ein paar Hundert EURO sind da leicht fällig. Unsere Empfehlung: Wenn man diese Hinweise genau beachten, kann man sich viel Ärger und sicher auch Bußgelder sparen.



Anhang

Gesetzliche Grundlagen

TRG 280

Betreiben von Druckgasbehältern

Die Technischen Regeln Druckgase (TRG) geben den Stand der Sicherheitstechnik hinsichtlich Werkstoffe, Herstellung, Berechnung, Ausrüstung, Kennzeichnung, Prüfung und Betrieb der Druckgasbehälter sowie hinsichtlich Errichtung, Prüfung und Betrieb aller Füllanlagen und Druckgase wieder. Sie werden vom Deutschen Druckbehälterausschuss (DBA) aufgestellt und von ihm laufend dem Stand der Technik angepasst. Auf §4 Abs. 2 der Druckbehälterverordnung (DruckbehV) wird hingewiesen (EG-Gleichwertigkeitsklausel). Die TRG werden herausgegeben durch den Verband der Technischen Überwachungs-Vereine e.V., Postfach 10 38 34, 45038 Essen.

Geltungsbereich

1.1 Diese TRG gilt für das Betreiben von Druckgasbehältern.

1.2 Diese TRG gilt auch für Vertriebslager (§ 24 der Druckbehälterverordnung).

1.3 Für das Entleeren, von Tanks von Eisenbahnkesselwagen, Straßentankfahrzeugen und vor Tankcontainern sind die Technischen Regeln Druckbehälter (TRB) 85; und 852 sinngemäß anzuwenden.

1.4 Diese TRG gilt nicht für das Füllen von Druckgasbehältern; Hierfür gelten die TRG 402 bzw. Technischen Regeln für Acetylenanlagen und Calciumcarbidlager (TRAC) 209; Für das Füllen und Betreiben von Druckgaspäckungen und Druckgaskartuschen; hierfür gelten die TRG 300, 301 und 403; Für das Füllen und Betreiben von Treibgastanks; Hierfür gelten die TRG 380 und 404; Für das Entleeren von Acetylenflaschen, hierfür gelten die TRAC 206 und 208; Für das Lagern von Einwegflaschen mit einem Rauminhalt von nicht mehr als 1000 cm² in Lager-, Vorrats- und Verkaufsräumen nach TRG 300 Abschnitt 6.

1.5 Diese TRG gilt auch nicht für noch nicht gefüllte Druckgasbehälter sowie für entleerte gereinigte Druckgasbehälter.

Begriffsbestimmungen

2.1 Betreiben

Zum Betreiben im Sinne dieser TRG gehören das Befördern, Lagern, Bereitstellen, Entleeren und Instandhalten von Druckgasbehältern sowie das Bereithalten von Druckgasbehältern für Feuerlöschzwecke.

2.2 Lagern

Als Lagern gilt, wenn Druckgasbehälter in Vorrat gehalten werden. Als Lagern gilt nicht, wenn Druckgasbehälter zum Entleeren nach Nummer 2.3 angeschlossen sind oder zum Zwecke ihrer Instandhaltung bereitgestellt werden.



2.3 Bereitstellen

Als Bereitstellen gilt, wenn gefüllte Druckgasbehälter an den zum Entleeren vorgesehenen Stellen als Reservebehälter an Entnahmeeinrichtungen angeschlossen sind oder zum baldigen Anschluss bereitgehalten werden, soweit dies für den Fortgang der Arbeiten erforderlich ist.

Als Bereitstellen gilt auch, wenn gefüllte Druckgasbehälter

- an Arbeitsplätzen für den Handgebrauch
- auf Verladerrampen oder -flächen zum alsbaldigen Abtransport
- in Verkaufsräumen zur Darbietung des Warensortiments in der jeweils erforderlichen Anzahl und Größe bereitgehalten werden.

2.4 Entleeren

Als Entleeren gilt, wenn Druckgasbehälter mit Entnahmeeinrichtungen verbunden sind und Gase entnommen werden.

2.5 Instandhalten

Das Instandhalten umfasst Maßnahmen der Wartung, Inspektion und Instandsetzung (siehe auch DIN 31 051).

2.6 Füllzustand

Als gefüllte Behälter im Sinne dieser TRG gelten auch teilentleerte Behälter.

Als entleerte Behälter sind entleerte, nicht gereinigte Behälter zu verstehen.

2.7 Luftwechsel

Der Luftwechsel ist der Luftvolumenstrom für einen Raum, bezogen auf das Raumvolumen und die Zeiteinheit 1 Stunde.

2.8 Sicherheitsabstand

Der Sicherheitsabstand ist der zwischen Druckgasbehältern und benachbarten Anlagen, Einrichtungen oder Gebäuden einzuhalten Abstand. Durch ihn sollen gefährliche Einwirkungen, insbesondere gefährliche Erwärmungen, auf die Druckgasbehälter vermieden werden. Anlagen, von denen eine Gefahr ausgehen kann, sind z. B. Lager mit brennbaren Stoffen wie Holz, Verpackungsmaterial, oberirdische Behälter für brennbare Flüssigkeiten.

2.9 Schutzbereich

Der Schutzbereich ist ein räumlicher Bereich um Druckgasbehälter mit brennbaren oder sehr giftigen Gasen, in dem infolge Undichtheiten an Anschlüssen und Armaturen oder betriebsmäßig beim Anschließen oder Lösen von Leitungsverbindungen oder infolge menschlicher Fehlhandlungen das Auftreten von Gas oder Gas/Luft-Gemischen nicht ausgeschlossen werden kann.

2.10 Der Schutzbereich nach Nummer 2.9 wird bei Gasen, die leichter als Luft sind, von einem zylindrischen Raum mit oben halbkugelförmigem Anschluss gebildet (siehe Bild 1), bei Gasen, die schwerer als Luft sind, von einem kegelförmigen Raum gebildet (siehe Bild 2).

2.11 Feuerhemmend

Feuerhemmend im Sinne dieser TRG ist das Brandverhalten von Bauteilen entsprechend DIN 4102 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen“ für eine Einwirkungsdauer von 30 Minuten (Feuerwiderstandsklasse F 30).

2.12 Feuerbeständig

Feuerbeständig im Sinne dieser TRG ist das Brandverhalten von Bauteilen entsprechend DIN 4102 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen“ für eine Einwirkungsdauer von 90 Minuten (Feuerwiderstandsklasse F 90).

2.13 Räume unter Erdgleiche

Räume unter Erdgleiche sind Räume, deren Fußboden allseitig tiefer liegt als die anschließende Geländeoberfläche.



Allgemeine Anforderungen

3.1 Druckgasbehälter dürfen nur von Personen betrieben werden, die mit dem Umgang vertraut sind und von denen zu erwarten ist, dass sie ihre Aufgaben zuverlässig erfüllen.

3.2 Die Beschäftigten sind vor Aufnahme ihrer Tätigkeit in dem jeweils erforderlichen Umfang über 1. das Betreiben der Druckgasbehälter, 2. die besonderen Gefahren beim Umgang mit Druckgasbehältern und 3. die bei Unfällen und Störungen zu treffenden Maßnahmen zu unterweisen. Die Unterweisungen sind in angemessenen Zeitabständen zu wiederholen.

3.3 Druckgasbehälter müssen der vorgesehenen Betriebsweise entsprechend betrieben werden. Sie müssen so betrieben werden, dass Beschäftigte oder Dritte nicht gefährdet werden.

3.4 Druckgasbehälter müssen so betrieben werden, dass ihr betriebssicherer Zustand erhalten bleibt, eine gefährliche äußere Korrosion nicht auftritt und sie vor schlagartiger Beanspruchung bewahrt bleiben.

3.5 Druckgasbehälter müssen so betrieben werden, dass keine gefährliche Erwärmung auftreten kann; die Entfernung zu Heizkörpern soll mindestens 0,5 m betragen. Eines Schutzes gegen Sonneneinstrahlung bedarf es nicht.

3.6 Solange Druckgasbehälter unter Druck stehen, dürfen Schrauben von drucktragenden Teilen und eingeschraubte Ventile nicht gelöst und nur von Fachkräften mit den dazu geeigneten Werkzeugen nachgezogen werden.

3.7 Besondere Vorkommnisse, Mängel und Schäden an Druckgasbehältern und ihrer Ausrüstung sowie das Ansprechen ihrer Sicherheitseinrichtungen sind dem für den Betrieb Verantwortlichen umgehend zu melden.

3.8 Weist ein Druckgasbehälter Mängel oder Schäden auf, durch die Beschäftigte oder Dritte gefährdet werden, so ist er unverzüglich gefahrlos zu entleeren; ist dies nicht möglich, so sind andere geeignete Maßnahmen zu treffen, die eine Gefährdung weitgehend ausschließen, z. B. Räumung des gefährdeten Bereichs, Beseitigung von Zündquellen. Ggf. sind Feuerwehr und/oder Füllwerk zu benachrichtigen.

3.9 Für Druckgasbehälter, bei deren Betrieb wegen der Bauart oder der Ausrüstung Besonderheiten zu beachten sind, muss eine Betriebsanweisung aufgestellt sein, die alle sicherheitstechnisch notwendigen Angaben für den Betrieb, insbesondere über Inbetriebnahme, Wartung während des Betriebes, Verhalten bei außergewöhnlichen Vorkommnissen, Außerbetriebnahme und Beseitigung von Störungen, enthält.

3.13 Die in den TRG der Reihe 100 für bestimmte Gase festgelegten besonderen Maßgaben sind zu beachten.

3.14 Alle mit oxidierend wirkenden Gasen in Berührung kommenden Teile von Druckgasbehältern und ihrer Ausrüstung müssen frei von Öl und Fett gehalten werden.

3.15 Druckgasbehälter sind gegen Umfallen oder Herabfallen zu sichern. Eine besondere Sicherung ist nicht erforderlich, wenn z. B. durch die Bauart der Behälter, durch die Aufstellung in größeren Gruppen oder die Art der Lagerung ein ausreichender Schutz erreicht wird.

3.15.1 Ist mit einer Beschädigung von Druckgasbehältern durch Anfahren zu rechnen, müssen

die Behälter gesichert werden, z. B. durch Abschränkungen.

3.16 Die Absperrrichtungen gefüllter oder entleerter Druckgasbehälter, die nicht angeschlossen sind, müssen fest verschlossen und mit den vorgesehenen Schutzeinrichtungen versehen sein (z. B. Ventilschutzkappen, ggf. Verschlussmutter). Für Flaschenbündel siehe jedoch TRG 370.

3.17 Im Brandfall sollen gefüllte Druckgasbehälter aus dem brandgefährdeten Bereich entfernt werden. Ist dies nicht möglich, so sollen die Druckgasbehälter



durch Besprühen mit Wasser o. a. geeigneten Mitteln aus geschützter Stellung vor zu starker Erhitzung bewahrt werden.

3.18 Im Brandfall ist die Feuerwehr auf das Vorhandensein von Druckgasbehältern aufmerksam zu machen.

3.19 Druckgasbehälter, die örtlich erhitzt oder der Brandhitze ausgesetzt waren, müssen deutlich entsprechend gekennzeichnet und vor einer eventuellen Weiterverwendung geprüft werden, z. B. in Füllwerken.

3.20 Die Schutzbereiche mehrerer Druckgasbehälter können sich gegenseitig überschneiden; hierbei dürfen die Behälter unmittelbar nebeneinander stehen (siehe Bild 3).

Befördern von Druckgasbehältern

4.1 Druckgasbehälter dürfen nur auf den dafür vorgesehenen Einrichtungen, z. B. Rollreifen, Flaschenfuß oder Konkavböden, gerollt werden. Druckgasbehälter dürfen nicht geworfen werden.

4.2 Zum Befördern von Druckgasbehältern dürfen nur solche Lastaufnahmemittel verwendet werden, die eine Beschädigung oder ein Herabfallen der Druckgasbehälter zuverlässig ausschließen. Nicht geeignet sind z. B. Magnet- oder Greiferkrane, ausgenommen Greiferkrane mit besonders dafür geeigneten Greifern;.

4.3 Druckgasbehälter sind bei der Beförderung auf Fahrzeugen so zu verstauen, dass sie nicht umkippen, herabfallen oder ihre Lage verändern können.

4.4 Werden Druckgasbehälter in Fahrzeugen geschlossener Bauweise – auch solche mit Planenabdeckung – befördert, so ist für ausreichende Belüftung, z. B. durch Lüftungsschlitze, die sich oben und unten am Fahrzeug befinden, zu sorgen, damit keine explosionsfähige oder die Atmung gefährdende Atmosphäre entstehen kann.

4.5 Werden Druckgasbehälter mit angeschlossenen Verbrauchsgeräten befördert, müssen die Absperrventile geschlossen sein. Dies gilt nicht, wenn Verbrauchsgeräte während der Fahrt bestimmungsgemäß mit Gas versorgt werden müssen.

4.6 Druckgasbehälter dürfen nicht zusammen mit leicht entzündlichem Ladegut, wie z. B. Holzspänen oder Papier, befördert werden.

4.7 Bei dem Befördern von Druckgasbehältern im öffentlichen Verkehr sind die verkehrsrechtlichen Vorschriften über die Beförderung gefährlicher Güter zu beachten.

5 Lagern von Druckgasbehältern

5.1 Allgemeines

5.1.1 Beim Lagern von Druckgasbehältern wird unterschieden zwischen Lagern in Räumen und Lagern im Freien. Als Lager im Freien gelten auch solche, die mindestens nach zwei Seiten offen sind, sowie solche, die nur an einer Seite offen sind, wenn die Tiefe – von der offenen Seite her gemessen – nicht größer ist als die Höhe der offenen Seite. Eine Seite des Raumes gilt auch dann als offen, wenn sie aus einem Gitter aus Draht oder dergleichen besteht. 5.1.2 Soweit in den nachfolgenden Bestimmungen die Anzahl der gefüllten Druckgasbehälter begrenzt ist, dürfen entleerte ungereinigte Druckgasbehälter in doppelter Anzahl vorhanden sein.

Druckgasbehälter dürfen nicht gelagert werden in Räumen unter Erdgleiche, in Treppenträumen, Haus- und Stockwerksfluren, engen Höfen sowie Durchgängen und Durchfahrten oder in deren unmittelbarer Nähe, an Treppen von Freianlagen, an besonders gekennzeichneten Rettungswegen, in Garagen und in Arbeitsräumen.



Zu den Arbeitsräumen gehören nicht Lagerräume, auch wenn dort Arbeitnehmer beschäftigt sind.

5.1.3.1 Druckgasflaschen für Pressluft oder Sauerstoff dürfen abweichend von Nummer 5.1.3 in Räumen unter Erdgleiche gelagert werden.

5.1.3.2 Bis zu 50 gefüllte Druckgasflaschen dürfen abweichend von Nummer 5.1.3 in Räumen unter Erdgleiche gelagert werden, wenn bei technischer Lüftung die Einrichtung für die technische Lüftung einen zweifachen Luftwechsel in der Stunde gewährleistet.

Die Einrichtung für die technische Lüftung muss entweder ständig wirksam sein oder durch eine Gaswarneinrichtung automatisch eingeschaltet werden, wenn von der Gaswarneinrichtung Gas festgestellt wird.

Beim Ausfall der Einrichtung für die technische Lüftung muss ein Alarm ausgelöst werden; bei natürlicher Belüftung die Lüftungsöffnungen mindestens einen Gesamtquerschnitt von 10% der Grundfläche dieses Raumes haben, eine Durchlüftung bewirken und der Fußboden nicht mehr als 1,5 m unter der Geländeoberfläche liegt.

5.1.4 Das Umfüllen von Druckgasen sowie die Instandhaltung von Druckgasbehältern sind in Lagern nicht zulässig.

5.1.5 Die Lager dürfen dem allgemeinen Verkehr nicht zugänglich sein. Unbefugten ist das Betreten der Lager zu verbieten. Auf das Verbot ist durch Schilder hinzuweisen.

5.1.6 Bei der Lagerung von Druckgasbehältern mit brennbaren oder sehr giftigen Gasen müssen Einrichtungen vorhanden sein, um im Brand- oder Schadensfall Hilfe anfordern zu können. Diese Forderung ist erfüllt, wenn ein Fernsprecher rasch erreichbar ist.

5.1.7 Für Lager von Druckgasbehältern muss mindestens ein geeigneter Feuerlöscher leicht erreichbar sein. In der Nähe von Lagern mit mehr als 500 gefüllten Druckgasflaschen oder mehr als 50 gefüllten Fässern muss zusätzlich ein Hydrant vorhanden sein. Die Anforderungen sind auch erfüllt, wenn eine Werksfeuerwehr vorhanden ist.

5.1.8 In Lagerräumen dürfen sich keine Gruben, Kanäle oder Abflüsse zu Kanälen ohne Flüssigkeitsverschluss sowie keine Kellerzugänge oder sonstige offene Verbindungen zu Kellerräumen befinden. Ferner dürfen sich dort auch keine Reinigungs- oder andere Öffnungen von Schornsteinen befinden.

Bei der Lagerung im Freien gilt Satz 1 nur für den Schutzbereich von Druckgasbehältern mit Gasen, die schwerer als Luft sind, und mit Gasen in flüssigem Zustand.

5.1.9 Im Schutzbereich von Druckgasbehältern, in denen brennbare Gase gelagert werden, dürfen sich keine Zündquellen befinden, durch die Gase gezündet werden können.

5.1.10 In den Schutzbereichen um Druckgasbehälter mit brennbaren Druckgasen dürfen für den Betrieb des Lagers erforderliche Fahrzeuge mit üblichen Verbrennungs- oder Elektromotorenverkehren es sei denn, brennbare Gase können in gefahrdrohender Menge in den Bereich der Fahrzeuge gelangen.

5.1.11 Auf die Schutzbereiche und die jeweilige Gefährdung (Explosions- oder Vergiftungsgefahr) ist durch Warnschilder hinzuweisen.

5.2 Lager in Räumen

5.2.1 Räume zum Lagern von Druckgasbehältern müssen von angrenzenden Räumen durch mindestens feuerhemmende Bauteile getrennt sein. Feuerbeständige Bauteile sind erforderlich, wenn in angrenzenden Räumen, die nicht dem Lagern von Druckgasbehältern dienen, Brand oder Explosionsgefahr besteht.



5.2.2 Die Außenwände von Lagerräumen müssen mindestens feuerhemmend sein.

5.2.3 Die Dacheindeckung muss ausreichend widerstandsfähig gegen Flugfeuer und strahlende Wärme sein.

5.2.4 Der Fußbodenbelag in Lagerräumen muss mindestens schwer entflammbar und so beschaffen sein, dass die Druckgasbehälter sicher stehen.

5.2.5 Lagerräume müssen ausreichend be- und entlüftet werden. Eine natürliche Lüftung ist ausreichend, wenn unmittelbar ins Freie führende Lüftungsöffnungen mit einem Gesamtquerschnitt von mindestens 1/100 der Bodenfläche des Lagerraums vorhanden sind. Bei der Anordnung der Lüftungsöffnungen muss die Dichte der Gase berücksichtigt werden. Nummer 5.1.3.2 bleibt unberührt.

Die in Satz 2 geforderte Größe der Lüftungsöffnung kann auf den eigentlichen Lagerplatz für Druckgasbehälter bezogen werden, sofern sich die Lüftungsöffnung unmittelbar am Lagerplatz befindet.

5.2.6 In Lagerräumen dürfen keine brennbaren Stoffe wie z.B. brennbare Flüssigkeiten, Holz, Holzspäne, Papier, Heu, Stroh und Gummi gelagert werden.

Abweichend hiervon dürfen in Lagerhallen, in denen nicht mehr als 50 gefüllte Druckgasflaschen, darunter nicht mehr als 25 Druckgasflaschen mit brennbaren, brandfördernden oder sehr giftigen Gasen, gelagert werden, wenn der Lagerplatz für Druckgasflaschen durch eine mindestens 2 Meter hohe Wand aus nicht brennbaren Baustoffen abgetrennt ist und zwischen Wand und den brennbaren Stoffen ein Abstand von mindestens 5 Metern eingehalten wird.

5.2.7 Lagerräume für Druckgasbehälter mit brennbaren oder giftigen Gasen, die an einen öffentlichen Verkehrsweg angrenzen, sind an der unmittelbar an den Verkehrsweg angrenzenden Seite mit einer Wand ohne Türen und bis zu einer Höhe von 2 m ohne offenbare Fenster oder sonstigen Öffnungen auszuführen. Dies gilt nicht für Türen, die selbstschließend und mindestens feuerhemmend ausgeführt sind.

5.2.8 Mit verschiedenen Gasen gefüllte Druckgasbehälter dürfen unter folgenden Bedingungen gemeinsam in einem Lagerraum gelagert werden: 1. Druckgasbehälter mit brennbaren und Druckgasbehälter mit brandfördernden Gasen, wenn dabei die Gesamtzahl 150 Druckgasflaschen oder 15 Druckgasfässer nicht übersteigt. Zusätzlich dürfen Druckgasbehälter mit inerten Gasen in beliebiger Menge gelagert werden. 2. Druckgasbehälter mit brennbaren und Druckgasbehälter mit inerten Gasen in beliebiger Menge. 3. Druckgasbehälter mit brandfördernden und Druckgasbehälter mit inerten Gasen in beliebiger Menge. 4. In den Fällen 1 bis 3 dürfen zusätzlich 15 Druckgasflaschen oder ein Druckgasfass mit sehr giftigen Gasen gelagert werden. Größere Mengen von Druckgasflaschen mit sehr giftigen Gasen müssen in einem besonderen Lagerraum gelagert werden. Zwischen Druckgasbehältern mit brennbaren und Druckgasbehältern mit brandfördernden Gasen muss ein Abstand von mindestens 2 m eingehalten werden.

5.2.9 Lagerräume, in denen Druckgasbehälter für brennbare oder sehr giftige Gase gelagert werden, müssen schnell verlassen werden können.

5.2.10 Lagerräume, in denen mehr als 25 gefüllte Druckgasflaschen oder zwei gefüllte Druckgasfässer mit brennbaren Gasen oder mehr als fünf gefüllte Druckgasflaschen oder auch nur ein Druckgasfass mit sehr giftigen Gasen gelagert werden, dürfen nicht unter oder über Räumen liegen, die dem dauernden Aufenthalt von Personen dienen. Verbindungen zu angrenzenden



Räumen sind nur zulässig, wenn diese Räume einen eigenen Rettungsweg haben.

5.2.11 Werden mit brennbaren oder sehr giftigen Gasen gefüllte Druckgasflaschen und -fässer in Räumen gelagert, so müssen die Druckgasbehälter allseits von einem Schutzbereich umgeben sein. Diese Schutzbereiche sind für Druckgasbehälter mit brennbaren Gasen Zone 2 nach § 2 Abs. 4 Nr. 1 Buchst. c der Verordnung über elektrische Anlagen in explosionsgefährdeten Räumen (ElexV).

Die Abmessungen der Schutzbereiche ergeben sich aus Tafel 1. Bei Räumen mit einer Grundfläche $\leq 20 \text{ m}^2$ ist der gesamte Raum Schutzbereich.

Die in Satz 2 geforderte Größe der Lüftungsöffnung kann auf den eigentlichen Lagerplatz für Druckgasbehälter bezogen werden, sofern sich die Lüftungsöffnung unmittelbar am Lagerplatz befindet.

5.3 Lager im Freien

5.3.1 Bei Lagern im Freien muss die Aufstellfläche so beschaffen sein, dass die Druckgasbehälter sicher stehen.



Tabellen und Prozedurformulare

Sauerstoffvorgabe für Nitrox

Die folgende Tabelle gibt an, wieviel reiner Sauerstoff für ein gewünschtes Nitroxgemisch in die Flasche vorgegeben werden muss, wenn diese anschließend auf den Flaschenenddruck gefüllt wird.

EANx	Flaschenenddruck [bar]					
	200	210	220	230	240	250
26	12,7	13,3	13,9	14,6	15,2	15,8
28	17,7	18,6	19,5	20,4	21,3	22,2
30	22,8	23,9	25,1	26,2	27,3	28,5
32	27,8	29,2	30,6	32,0	33,4	34,8
34	32,9	34,6	36,2	37,8	39,5	41,1
36	38,0	39,9	41,8	43,7	45,6	47,5
38	43,0	45,2	47,3	49,5	51,6	53,8
40	48,1	50,5	52,9	55,3	57,7	60,1
50	73,4	77,1	80,8	84,4	88,1	91,8

Die folgende Tabelle gibt an, wieviel Premix 40/60 für ein gewünschtes Nitroxgemisch in die Flasche vorgegeben werden muss, wenn diese anschließend auf den Flaschenenddruck gefüllt wird.

EANx	Flaschenenddruck [bar]					
	200	210	220	230	240	250
26	52,6	55,3	57,9	60,5	63,2	65,8
28	73,7	77,4	81,1	84,7	88,4	92,1
30	94,7	99,5	104,2	108,9	113,7	118,4
32	115,8	121,6	127,4	133,2	138,9	144,7
34	136,8	143,7	150,5	157,4	164,2	171,1
36	157,9	165,8	173,7	181,6	189,5	197,4
38	178,9	187,9	196,8	205,8	214,7	223,7
40	200,0	210,0	220,0	230,0	240,0	250,0
50						

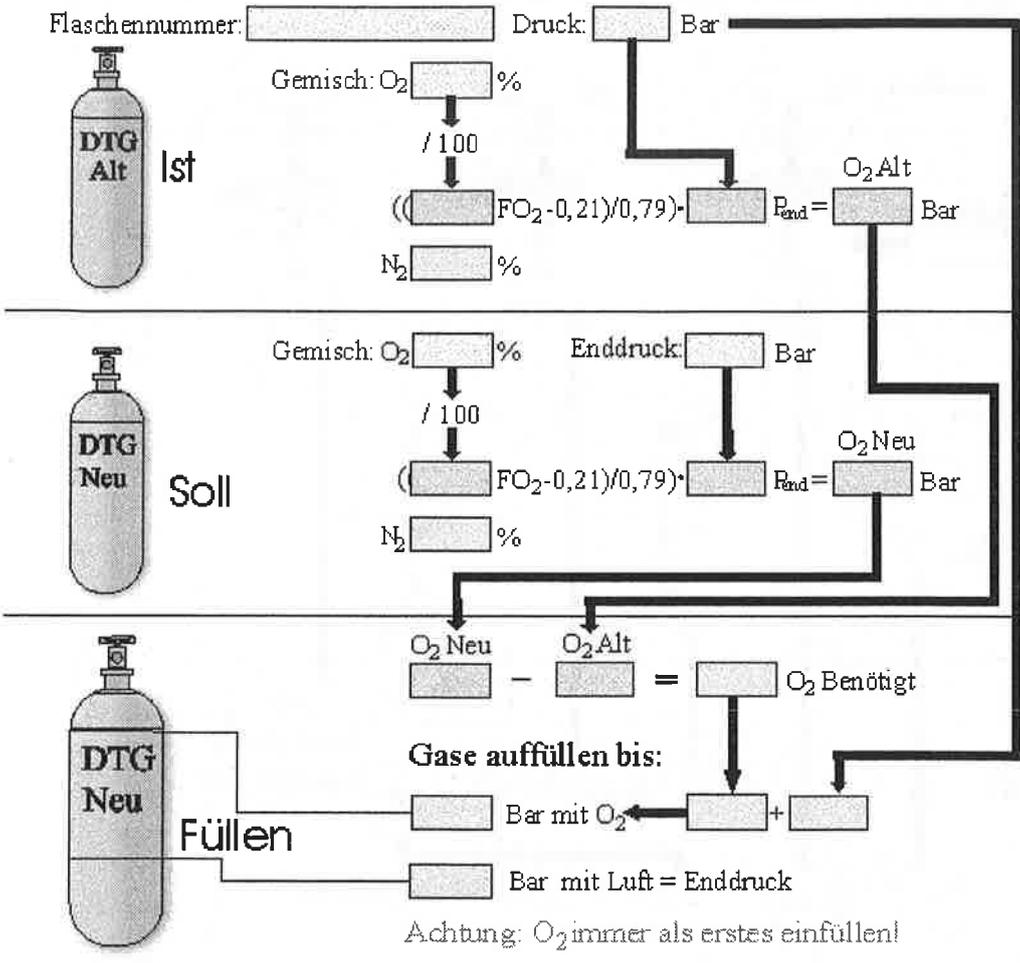
Die folgende Tabelle gibt an, wieviel Premix 50/50 für ein gewünschtes Nitroxgemisch in die Flasche vorgegeben werden muss, wenn diese anschließend auf den Flaschenenddruck gefüllt wird.

EANx	Flaschenenddruck [bar]					
	200	210	220	230	240	250
26	34,5	36,2	37,9	39,7	41,4	43,1
28	48,3	50,7	53,1	55,5	57,9	60,3
30	62,1	65,2	68,3	71,4	74,5	77,6
32	75,9	79,7	83,4	87,2	91,0	94,8
34	89,7	94,1	98,6	103,1	107,6	112,1
36	103,4	108,6	113,8	119,0	124,1	129,3
38	117,2	123,1	129,0	134,8	140,7	223,7
40	131,0	137,6	144,1	150,7	157,2	163,8
50	200,0	210,0	220,0	230,0	240,0	250,0



Nitrox-Mischblatt

Nitrox Mischblatt



Analyse ergibt: MOD Bei 1,4 bar pO₂ Meter
 O₂ % Bei 1,6 bar pO₂ Meter

Datum: Mischer Unterschrift: Empfänger Unterschrift:

- Gegebene Werte
- Errechnete und/oder übertragene Werte
- Ergebnisse

Copyfree by: Franz Rettenmaier



Trimix Mischblatt

Trimix Mischblatt

Flaschennummer:

DTG Alt
Ist

Druck P in Bar

Gemisch: O₂ %
/ 100
fO₂

N₂ %
/ 100
fN₂

He %
/ 100
fHe

DTG Neu
Soll

Druck P in Bar

Gemisch: O₂ %
/ 100
fO₂

N₂ %
/ 100
fN₂

He %
/ 100
fHe

DTG Neu
Füllen

benötigtes He
= -

benötigte Luft
= (-) / 0,79 =

benötigter Sauerstoff
= - - =

Achtung: O₂ immer als erstes einfüllen!

Analyse ergibt:

O₂ %

END:

Meter

Datum:

Mischer Unterschrift:

Empfänger Unterschrift:

Gegebene Werte

Errechnete und/oder übertragene Werte

Ergebnisse

Copy free by: Franz Rettenmaier