



Sicherer Umgang mit tiefkalt verflüssigten Gasen und Druckgasflaschen

26.04.2018

Dr. Ines Raabe, SGU CABS

Uwe Strehle, PanGas

Programm

- Einleitung
- Teil 1: Tiefkalt verflüssigte Gase
 - Gefahren
 - sichere Handhabung, Lagerung, Transport
- Teil 2: Druckgasflaschen
 - Gefahren
 - sichere Handhabung, Lagerung, Transport
- Teil 3: Was tun im Notfall?
- Fragen



Teil 1: Tiefkalt verflüssigte Gase

Weitere Informationen:

Richtlinie der ETH Zürich zum Umgang mit tiefkalt verflüssigten Gasen („Kryo-Gase“) und Trockeneis

Einleitung: tiefkalt verflüssigte Gase

- Definition: Gas, das deutlich unterhalb Siedetemperatur abgekühlt ist («Kryo-Gas»)
- tiefkalt verflüssigte Gase haben i.A. eine Temperatur von $< -150^{\circ}\text{C}$

Beispiele:

Gas	Stickstoff	Helium	Argon	Sauerstoff	Wasserstoff
chem. Formel	N ₂	He	Ar	O ₂	H ₂
Siedepunkt [°C]	-196	-269	-186	-183	-253

Verwendung an der ETH

- Hauptsächlich Stickstoff (N_2), Helium (He), Argon (Ar)
- zum Kühlen von Anlagen, z.B. Magneten
- zur Aufbewahrung von Proben (z.B. biologisches Material)
- Gasverflüssigungsanlage im HEZ, zentrale Tanks, Abfüllstationen, mobile Dewar-Gefässe



Quelle:
<http://www.ssnmr.ethz.ch>



Beispiel: flüssiger Stickstoff

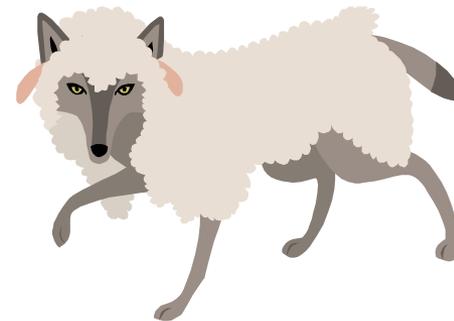
- Umgebungsluft besteht aus knapp 80% Stickstoff
- nicht ätzend
- nicht giftig
- nicht brennbar
- nicht brandfördernd
- chemisch inert («Schutzgas»)
- geruchlos
- farblos

→ auf den ersten Blick ziemlich harmlos... **Oder???**



Gefahren

- Erfrierungen (Kälteverbrennungen), Unterkühlung
- Erstickungsgefahr
- Überdruck / Explosion
- Brand (bei brennbaren Gasen, z.B. Wasserstoff)
- Einkondensieren von Sauerstoff / Sauerstoff-Anreicherung
- Materialschäden, z.B. Versprödung, thermische Spannungen
- Lärm (z.B. beim Abfüllen)





Erfrierung / Kälteverbrennung

- durch tiefkalte Flüssigkeiten und extrem kalte Gase / Dämpfe
- bereits kurzzeitiger Kontakt kann **Gewebe schädigen** (Haut, Augen)
- **Kälteverbrennungen** bei längerem Kontakt möglich
- Einatmen von extrem kalten Gasen → **Lungenschäden**
- Berührung von extrem kalten Oberflächen (z.B. Leitungen) mit blossen Händen → «festkleben»





Experiment mit flüssigem Stickstoff

- Blume wird in flüssigen Stickstoff getaucht
- Beobachtung: Blume zerbricht schon nach kurzem Kontakt mit tiefkaltem Gas



Erstickungsgefahr



- durch Verdrängung von Sauerstoff aus der Atemluft
- extreme Expansion beim Verdampfen
→ 1 Liter flüssiger Stickstoff gibt ca. 700 Liter Gas!
- Sauerstoffmangel: Symptome treten **plötzlich und oft ohne Vorwarnung** auf

Gehalt an O ₂ in der Luft	Was geschieht?
ca. 21%	normale Umgebungsluft
< 16%	ausgeatmete Luft; Leistungseinbusse
< 11%	Feuerlöschung
< 10%	plötzlich auftretende Bewusstlosigkeit
< 6-8%	Tod durch Ersticken innert Minuten

Unfälle aus der Praxis (Kaltverbrennungen)

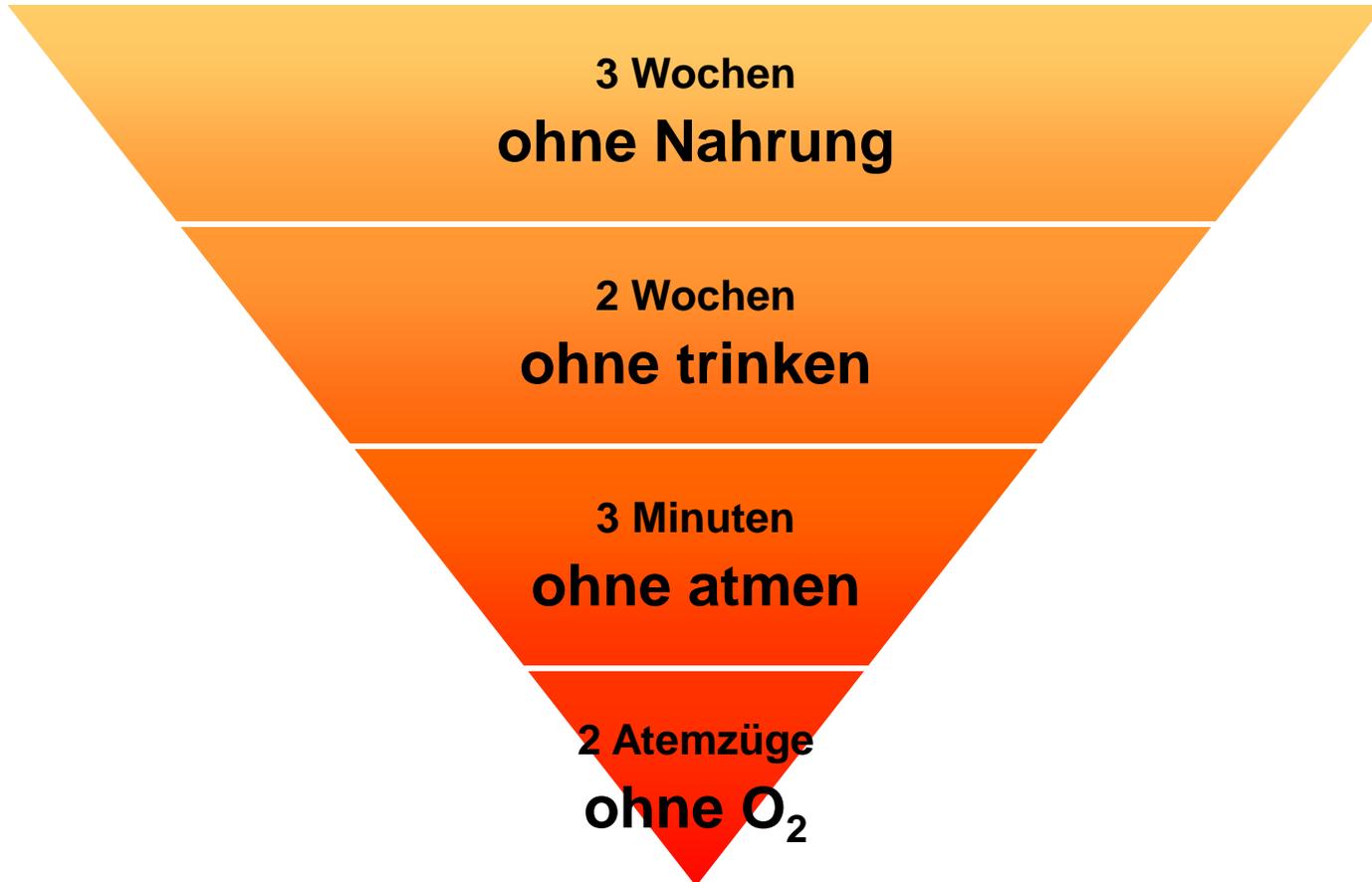
Kaltverbrennung bei Demontagearbeiten. Als der Flansch des Ventils geöffnet wurde, tropfte unerwartet Flüssigkeit, die vermutlich wieder einkondensierte, aus der Leitung und traf den Mitarbeiter am Hosenbein.

Duisburg, 22.10.2009



Durchnässte Socken mit
Flüssigsauerstoff
nach einem Rohrbruch.

Bereits wenige Sekunden genügen...



Wann ist besondere Vorsicht geboten?

- wenn Sie eine Leckage (z. B. zwischen aus einer Leitung) hören
 - wenn Sie kaltes Gas ausströmen sehen → «Nebelbildung»
 - beim Aufladen oder bei der Beschädigung eines NMR-Magneten
 - in nicht bzw. schlecht belüfteten Räumen
 - bei Abfüllanlagen innerhalb von Gebäuden
-
- aber auch schon beim Hantieren relativ kleiner Mengen → Faustregel:
mehr als 0.3 Liter tiefkalt verflüssigtes Gas pro m³ Raumvolumen

Unfall: Erstickung durch flüssigen Stickstoff (I)

Worker at Hospital Dies; Gas Leak Suspected

By EUN LEE KOH

Published: September 21, 2000

A man who was installing an M.R.I. machine at New York-Presbyterian Hospital was **killed** yesterday, apparently after nitrogen he was using leaked from its tank, officials said. **Six other people were injured** in the incident.

The worker, Paul Ambrose, 25, of England, died about 11:25 a.m., apparently from **asphyxiation**, while working in a poorly ventilated trailer alongside the hospital on 70th Street and York Avenue, said Mayor Rudolph W. Giuliani, who arrived at the hospital shortly after the incident occurred.

Two other workers, after learning that Mr. Ambrose had not left the trailer, went back inside and found him unconscious, the authorities said. The two workers and four other people in the vicinity complained of varying degrees of lightheadedness. They were treated at the hospital and released.

While the authorities are still investigating the cause of the accident, they strongly **suspect that one of the liquid nitrogen tanks that was used while installing an M.R.I. had leaked**, Mr. Giuliani said.[...]

Quelle **The New York Times** <http://www.nytimes.com>

Unfall: Erstickung durch flüssigen Stickstoff (II)

Flüssiger Stickstoff

Studenten führen an einem Sonntag in ihrem Institut Versuche durch. Ein Student geht los, um eine Kanne mit flüssigem Stickstoff zu holen. Nach einiger Zeit merken die Kollegen, dass der junge Mann nicht wiederkommt und gehen nachsehen. Sie finden ihn eingefroren in flüssigem Stickstoff, der den Boden bedeckt. Offenbar hat der Mann **das Bewusstsein verloren, als er im schlecht gelüfteten Raum zu wenig Sauerstoff bekam**. Die Anlage ist dann ausgelaufen. (Göttingen)

Tödliches Experiment bei minus 220 Grad

Göttingen (AP). Nach einem Unfall ist ein 24-jähriger Student im Labor des physikalischen Instituts der Universität Göttingen erfroren. Wie die Polizei gestern mitteilte, wollte der junge Mann gemeinsam mit einem 25-jährigen Kommilitonen ein Experiment für den nächsten Tag vorbereiten. Die Studenten arbeiteten in verschiedenen Räumen. Nach einer Weile wollte der 25-jährige nach dem Kommilitonen sehen und fand ihn steifgefroren auf dem Boden des Stickstoffraums. Der Hahn einer Stickstoffleitung sei geöffnet und der gesamte Fußboden vereist gewesen.

Wiederbelebungsmaßnahmen eines Notarztes blieben ohne Erfolg. Flüssigstickstoff lagert nach Angaben der Polizei in Behältern bei minus 220 Grad.

Unfälle aus der Praxis (Überdruck)

Der junge (22-jährige) Koch versuchte ein Rezept der Molekularküche nachzukochen und verzichtete dabei anscheinend auf jegliche Sicherheitsvorkehrungen. Plötzlich explodierte das Behältnis, in dem der junge Mann den flüssigen Stickstoff aufbewahrt hatte und riss dem Koch eine Hand ab. Die andere Hand musste später im Krankenhaus auf Grund der schweren Verletzungen ebenfalls amputiert werden.

Berliner Morgenpost

Stickstoff-Unfall: Koch verliert beide Hände

Berlin, 14.07.2009.

Ein Opfer der Elemente wurde der 22-jährige Martin E. aus Berlin, als er im Badezimmer seiner Freundin mit flüssigem Stickstoff experimentierte. Der junge Koch versuchte ein Rezept der Molekularküche nach zu kochen und verzichtete dabei anscheinend auf jegliche Sicherheitsvorkehrungen. Gestern gegen 23.20 Uhr explodierte das Behältnis, in dem der junge Mann den flüssigen Stickstoff aufbewahrt hatte und riss dem Koch eine Hand ab. Die andere Hand musste später im Krankenhaus auf Grund der schweren Verletzungen ebenfalls amputiert werden.

ø **Offensichtlich hat der junge Koch eine handelsübliche Thermoskanne verwendet!**

Überdruck / Explosion

- Erwärmung über den Siedepunkt in geschlossenen Gefässen (ohne Druckausgleich)
 - starker Druckanstieg
 - **Explosionsgefahr**
- Erwärmung auch durch **externe Hitzeeinwirkung** (z.B. Brand) möglich
- Vorsicht auch bei Gefässen mit Druckausgleich: Blockierung des Überdruckventils durch **Vereisung** möglich!

Unfälle mit tiefkalt verflüssigten Gasen

A Cautionary Tale from the Past

Many of you may know that I was **blinded in one eye** during a lab accident in 1970, shortly after I arrived at MIT as an assistant professor. **I always wore glasses** whenever I was at my bench, and while I felt I conscientiously observed safety measures, my experience proves one can't be too cautious about wearing safety glasses.

As I prepared to go home from the lab during the early hours of the morning of the accident, I looked in the bays to see what my co-workers were doing, and then returned to my own bench, **removed my safety glasses**, and put on my parka. As I was walking to the door, I passed the bench where a first-year graduate student was flame-sealing an NMR tube. I asked how it was going, and he replied, "Good, I've got it sealed."

He was sealing off the tube at atmospheric pressure under a flow of nitrogen gas while cooling the tube in a liquid nitrogen bath, a technique neither of us had performed before. Nor, I regret to say, had we looked up the procedure, which we subsequently discovered to be incorrect.

I stopped by his bench, picked up the tube from the bath, and held it to the light. The tube immediately frosted over, and, as I wiped it to better see the contents, I noticed that the solvent level was exceedingly high. Suddenly the solvent level dropped several inches. Though I instantly realized **condensed oxygen had been sealed in the NMR tube**, I was quite literally unable to move a muscle before it exploded. **Glass fragments shredded my cornea, penetrated the iris, and cause the partial collapse of one eye.** My only other injuries were superficial face cuts.

[...]

The lesson to be learned from my experience is straightforward: there's simply never an adequate excuse for not wearing safety glasses in the laboratory at all times.

Sauerstoff-Anreicherung

- flüssiges Helium (He) oder flüssiger Stickstoff (N₂): **Gefahr, dass Sauerstoff aus der Luft einkondensiert**
- Vorsicht bei Kühlfallen an Vakuum-Apparaturen (z.B. Schlenk-Linien)!
- flüssiger Sauerstoff (O₂) und Luft-Kondensat sind **extrem brandfördernd**
- **Explosionsgefahr** beim Kontakt mit organischen Stoffen (z.B. Lösemittel, Öl, Schmiermittel)



Quelle:
<http://de.wikipedia.org>

Brandförderung durch Sauerstoff

Anstieg der Verbrennungsgeschwindigkeit



Materialschäden

- manche Materialien werden bei extrem tiefen Temperaturen **spröde**
→ nicht geeignet für Arbeiten mit tiefkalt verflüssigten Gasen
- Bei extremer Abkühlung → Kontraktion / Zusammenziehen → Gefahr von **Rissen, Auseinanderreisen** etc.
- Gilt nicht nur für Leitungen und Gefässe, sondern auch für Dichtungen, Verbindungsstücke, etc.

Materialversprödung

- ▲ Viele Materialien werden bei tiefen Temperaturen, die tiefkalt verflüssigte Gase haben, glasartig spröde.
- ▲ Nur spezielle Materialien wie rostfreiem Stahl und Aluminiumlegierungen, welche für diese Temperaturen zugelassen sind, dürfen verwendet werden.
- ▲ Geeignete Dichtungsmaterialien sind vor allem hochfluorhaltige Polymere wie PTFE (Teflon).



Spezielle Gefahren tiefkalt verflüssigter Gase

THE LINDE GROUP

PanGas



Schutzmassnahmen - technisch

- Umgang / Lagerung nur in ausreichend belüfteten Räumen (Labor-Abluft!) oder im Freien
- Lagertanks und Abfüllstationen dürfen nicht frei zugänglich sein (z.B. Einzäunung)
- je nach Menge: zusätzlich Sauerstoff-Überwachung / Gas-Detektoren notwendig (**ab mehr als 0.3 Liter tiefkalt verflüssigtes Gas pro m³ Raumvolumen**) → SGU kontaktieren: cabs@ethz.ch
- verwendete Materialien müssen kälte-resistent sein (z.B. Metallschläuche statt Plastikschräuche verwenden)

Schutzmassnahmen - organisatorisch

- korrekte **Kennzeichnung** der Räume und Dewar-Gefässe (Warnsymbol «Gefahr durch Kälte», ggf. zusätzlich auch «Erstickungsgefahr», Gebotsschilder)
→ Kennzeichnungsmaterial erhältlich via SGU: stickers@ethz.ch
- **Instruktion aller Personen**, die mit tiefkalt verflüssigten Gasen umgehen / arbeiten



Kryobehälter (Kenzeichnungen)



Gefahr vor Kälte



Augenschutz
benutzen



Kälteschutz
benutzen



Erstickungsgefahr



22
1977

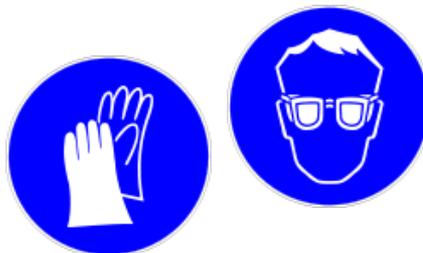
Stickstoff
flüssig

Azote liquide



Schutzmassnahmen - Schutzausrüstung

- Beim Umgang mit tiefkalten Gasen immer **geeignete Kleidung und persönliche Schutzausrüstung** tragen:
 - saubere, trockene, nicht eng anliegende Kleidung aus Naturfasern (Arme und Beine vollständig bedeckt)
 - Keine offene Taschen, umgekrempelte Ärmel oder Hosenbeine
 - geschlossenes, trittsicheres Schuhwerk
 - gut isolierende Kälteschutz-Handschuhe, nach Möglichkeit mit Stulpen oder Manschetten
 - Schutzbrille (ggf. Face Shield)
 - Ringe, Armreifen, Armbanduhren etc. sind vor der Arbeit abzulegen



Massnahmen beim Befüllen

- ▲ Nur befüllen mit zugelassenem Füllschlauch
- ▲ Prüfen, ob Schlauch dicht an Behälter angeschlossen ist
- ▲ Langsam befüllen
- ▲ Für kleine Mengen, kleine Behälter benutzen
- ▲ Nur Equipment benutzen, welches für Tieftemperaturen geeignet ist
- ▲ Persönliche Schutzausrüstung tragen
- ▲ Aus dem ausströmenden Gasstrahl heraustreten!



Allgemeine Regelungen: Lagerung

- In **Durchgängen, Durchfahrten, Fluren oder Treppenhäusern (Fluchtwege)** ist das Lagern von Druckgasbehältern und Dewars (auch leer) **verboten**
- Lagerräume müssen ausreichend **belüftet** sein, entsprechend Menge und Risiken der Gase (in Kellerräumen: zwingend künstliche Belüftung → Labor-Abluft!)
- Lager, Tankanlagen und Abfüllstationen im Freien sind vor unbefugten Zugriff zu schützen
- **keine Lagerhaltung am Verbrauchsort** (z.B. in Laboren oder Werkstätten)
- ggf. **Gasüberwachung** installieren

Allgemeine Regelungen: Transport

- Generell: **nicht in Personenaufzügen**, sondern im Warenlift (grosse Behälter) oder über das Treppenhaus (kleine Behälter)
- Liftbenützung:
 - gegen Umfallen gesichert
 - kein gleichzeitiger Transport von Personen
- offene **Behälter sichern** gegen umfallen oder herabfallen
- fahrbare Behälter müssen kippsicher sein
- bei offenen Behältern darf ein **Deckel nur lose aufgelegt** werden.
- für den externen Transport (öffentliche Strasse): ADR/SDR-Richtlinien beachten → sgu-gefahren@ethz.ch

Allgemeine Regelungen: Umgang

- **ACHTUNG:** Beim Umfüllen in Gefässe, welche noch Raumtemperatur haben, nimmt das Sieden extrem heftig zu!
- nur spezielle Behältern verwenden → **keine Thermoskannen!**
- das Arbeiten mit tiefkalt verflüssigten Gasen (speziell das Umfüllen) muss extrem vorsichtig geschehen
- beim Umfüllen muss immer **eine Person anwesend** sein, der Behälter darf beim Abfüllen nicht unbeobachtet bleiben
- Arbeiten in Kellerräumen nur bei genügender künstliche **Lüftung**
- nicht-isolierte Leitungen oder Behälter, in denen sich tiefkalt verflüssigte Gase befinden, dürfen **niemals mit blossen Händen berührt** werden
- tiefkalt verflüssigter Sauerstoff gehört nicht in offene Gefässe

Kaffee-Pause





Teil 2: Druckgasflaschen

Weitere Informationen:

Gasrichtlinie der ETH Zürich für Druckgasflaschen mit komprimierten und verflüssigten Gasen

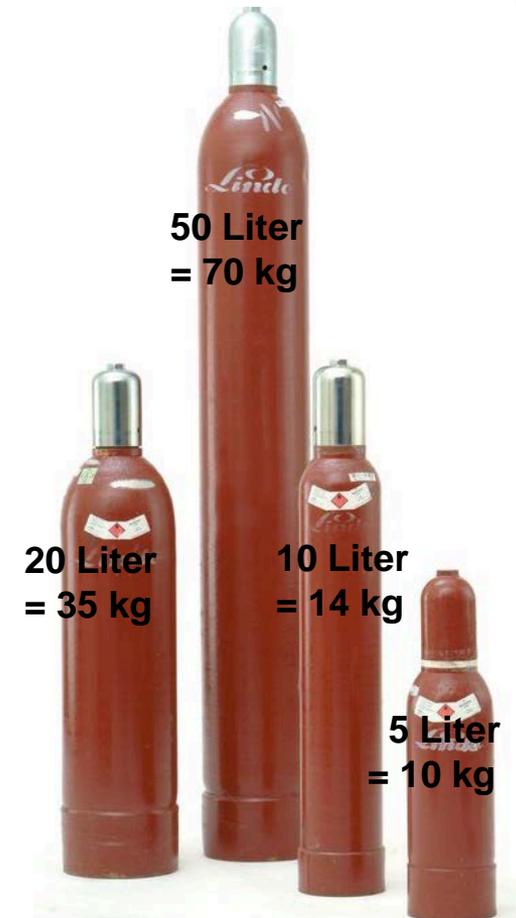
Verwendung an der ETH

- Verschiedenste Gase
- In den meisten Laborgebäuden und in Werkstätten (z.B. zum Schweißen)
- Gasvernetzungen oder lokal
- Diverse zentrale Gasflaschenlager



Gefahren

- Je nach verwendetem Gas, z.B.
 - Brand / Explosion
 - Vergiftung / Gesundheitsschäden
 - Verätzung
 - Erstickung
- Gefahren durch die Druckgasflaschen
 - Gewicht (50 L Argon-Flasche wiegt ca. 70 kg!)
 - Druck



Quelle: PanGas

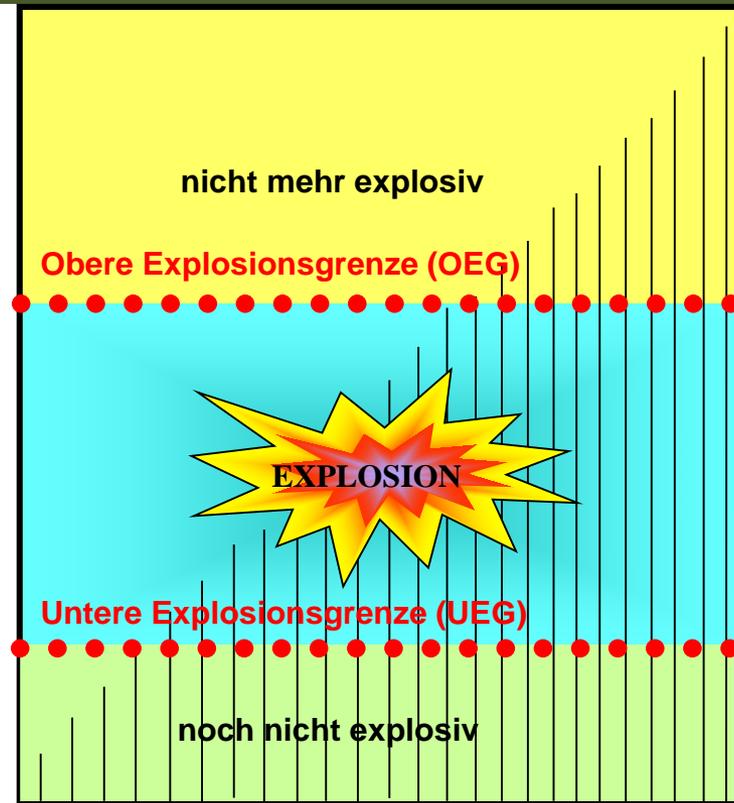


Brand / Explosion

- Beispiele für brennbare Gase
 - Wasserstoff (H_2)
 - Methan (CH_4)
 - Propan (C_3H_8), Campinggas
 - Acetylen (C_2H_2)
 - Kohlenmonoxid (CO)
 - Formiergas, je nach Mischungsverhältnis (Mischung H_2/Ar oder H_2/N_2)
- Gas kann sich entzünden
- Je nach Menge Bildung einer explosionsfähigen Atmosphäre möglich



Brand / Explosion



Gas	H ₂	C ₃ H ₈	CH ₄
UEG [Vol%]	4.0	1.7	4.4
Inhalt / Druck	10 L / 200 bar	10.5 kg	10 L / 200 bar
Raumvolumen (bei dem UEG erreicht wird)	40	331	46



Vergiftung / Gesundheitsschäden

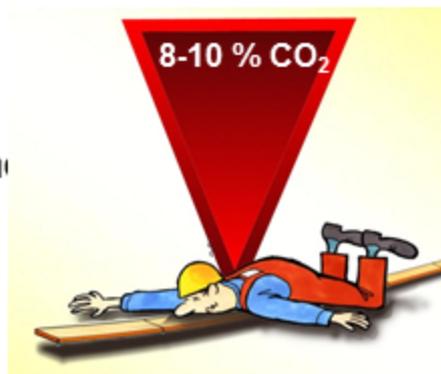
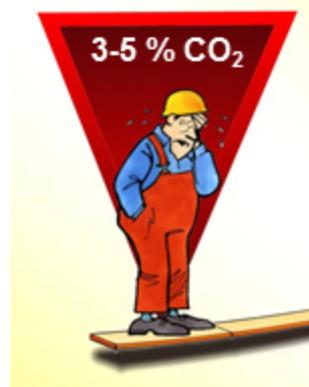
- Beispiele für giftige Gase
 - Kohlenmonoxid (CO)
 - Arsenwasserstoff (AsH₃)
 - Fluor (F₂)
 - Phosgen (COCl₂)
- Beispiel für ein gesundheitsschädliches Gas
 - Kohlendioxid (CO₂) – auch oft in Form von Trockeneis verwendet

Gas	Kurzzeit-Grenzwert [ppm]
CO	60
F ₂	0.2
Cl ₂	0.5
COCl ₂	0.2

MAK-Wert \Rightarrow 5000 ml/m³ (ppm)

Wirkung bei CO₂-Konzentrationen (Sauerstoffmangel?)

- ▲ 0.04 Vol.-% \Rightarrow Normale CO₂-Konzentration der Luft
- ▲ 1-1,5 Vol.-% \Rightarrow Einwirkung auf den Stoffwechsel nach mehreren Stunden
- ▲ 3-5 Vol.-% \Rightarrow Kopfschmerzen, Atemstörungen und Unwohlsein (spätestens nach 30 Minuten Exposition)
- ▲ 8-10 Vol.-% \Rightarrow Krämpfe, Ohnmacht, Atemstillstand und Tod eintreten.
- ▲ >10 Vol.-% \Rightarrow Bewusstlosigkeit mit Todesfolge in weniger als einer Minute



Eine Kohlendioxid- (CO₂) Konzentrationen von 10 Vol.-% ist bereits akut lebensbedrohlich. Der Sauerstoffgehalt der Atemluft beträgt dabei noch ca. 19 Vol.-% und wäre damit ausreichend.



Verätzung

- Beispiele für ätzende Gase
 - Chlor (Cl_2)
 - Chlorwasserstoff (HCl)
 - Fluor (F_2)
 - Ammoniak (NH_3)
- Verätzung durch **Einatmen**
- Verätzung durch **Kontakt mit Schleimhäuten oder Haut**

Unfall mit Fluorgas an der ETH

Fluorgas-Austritt im Giftlabor der Organischen Chemie.

Chemie-Unfall auf dem Hönggerberg

(Li) Gestern Donnerstag kam es um 11:10 Uhr im Giftlabor der Organischen Chemie im Keller des HCI-Gebäudes auf dem Hönggerberg zu einem **Austritt von Fluorgas** aus einem Druckgasbehälter. Ein 32-jähriger Chemie-Doktorand aus China baute zusammen mit dem für solche Versuche als Sicherheits-Beauftragter zuständigen 49-jährigen Chemie-Laboranten eine Apparatur auf, um einen speziellen Zucker zu fluorieren. Dabei brach ein Verbindungs-Rohr zum Reduktions-Ventil und das ausgetretene Fluorgas entzündete sich. Durch das rasche Eingreifen des Chemie-Laboranten konnten der **Brand** eingedämmt und Brandverletzungen verhindert werden. Die beiden Betroffenen wurden dennoch **medizinisch betreut, da unklar war, ob sie Fluorgas eingeatmet hatten**.

Das Inhalieren von Fluorgas kann zu schweren Verätzungen führen. Da sich Fluorgas aber nach kurzer Zeit chemisch umsetzt und damit ungefährlich wird, musste das Gebäude nicht evakuiert werden. Spezialisten des Wissenschaftlichen Dienstes der Stadtpolizei, der Chemiezug der Feuerwehr und der Sicherheitsdienst der ETH führten im und vor dem Chemiegebäude HCI entsprechende Messungen durch.

Quelle: ETH life; <http://archiv.ethlife.ethz.ch/articles/news/chemieunfall.html>

Erstickung



- Beispiele für erstickend wirkende Gase
 - Alle Edelgase (He, Ne, Ar, Kr, Xe)
 - Stickstoff (N₂)
 - Kohlendioxid (CO₂)
- oft **geruch- und farblos**
- erstickend durch **Verdrängung von Sauerstoff** aus der Atemluft



Quelle: BG RCI

 **stern.de** <http://www.stern.de/panorama/wiesbaden-gastronom-offenbar-an-trockeneis-erstickt-2035593.html>
Erscheinungsdatum: 8. Juli 2013, 17:05 Uhr

Wiesbaden

Gastronom offenbar an Trockeneis erstickt

Er wollte augenscheinlich eine Ladung Trockeneis in seinem Auto transportieren - und starb durch das ausströmende CO₂-Gas. Ein Wiesbadener Gastronom verunglückte auf tragische Weise.



Unfall mit Trockeneis

Autofahrer rettet erstickende Familie im Tunnel



Quelle: Luzerner Polizei

Wegen einer defekten Gasflasche sind zwei Eltern und ihre beiden Kinder im Auto bewusstlos geworden. Fahrzeuge sind minutenlang am stehenden Wagen vorbeigefahren.

Glück im Unglück für eine Familie, die am Samstag mit einer CO₂-Gasflasche fürs Aquarium im Auto nach Hause gefahren ist: Vor dem Sonnenbergtunnel bei Kriens strömte Gas aus der Flasche, und alle vier Autoinsassen wurden bewusstlos. Ein Autofahrer konnte sie retten.

Im Sonnenbergtunnel wurde das Auto der Familie immer langsamer, bis es stehen blieb. Danach rollte es rückwärts auf die Überholspur, wie die Luzerner Polizei am Montag mitteilte.

Grosse Erstickungsgefahr

Während mehrerer Minuten fuhren nachfolgende Fahrzeuge an dem Auto vorbei, bis jemand stoppte. Der Autofahrer konnte die Türen öffnen und das Auto sichern. Als die Autotüren offen waren, erholten sich alle vier Autoinsassen nach und nach. Zwei Ambulanzteams brachten die Familie ins Spital. Alle konnten vier das Spital nach einer Kontrolle wieder verlassen - unverletzt.

Offenbar hatte die junge Familie grosses Glück, wie die Luzerner Polizei weiter schreibt. Auf Anfrage bei der Rechtsmedizin bestand für die Bewusstlosen äusserst grosse Erstickungsgefahr. (oli/sda)

Explosion durch Druckaufbau oder mechanische Beschädigung

- plötzlich freiwerdender Überdruck → **Flasche wird zum Geschoss**
- Kann mühelos auch Türen oder Mauern durchschlagen
- Bei brennbaren Gasen: zusätzlich Brand / Explosion möglich
- Mögliche Ursachen:
 - Ventilbruch / Beschädigung der Flasche
 - Überdruck im Inneren der Flasche durch äussere Hitzeeinwirkung



Quelle: <http://www.nibis.de>

Unfall: Explosion durch Druckaufbau

In Frauenfeld brennt in einem Hallenkomplex mit Mehrfachnutzung eine einliegende «Turnfabrik». Trotz raschem Einsatz der Stützpunktfeuerwehr Frauenfeld breitet sich das Feuer auf eine benachbarte mechanische Werkstatt aus. Im Verlauf des Brandes explodieren verschiedene Gasflaschen, mitunter beschädigen zwei Acetylenflaschen das Einsatzleitfahrzeug und die Autodrehleiter schwer.

Gefahr durch Acetylenflaschen

Während dieser Arbeiten fliegen gegen 14.15 Uhr kurz nacheinander zwei Acetylenflaschen wie Raketen aus der mechanischen Werkstatt. Die eine Flasche steigt senkrecht in die Höhe, dreht sich ein paar Mal um die eigene Achse und fliegt schliesslich Richtung Führungsstandort. Am Einsatzleitfahrzeug, an dem etwa acht Personen, darunter auch zwei Polizisten, beschäftigt sind, durchschlägt die «Granate» die herausgelassene Sonnenstore. Bevor sie auf dem Boden aufschlägt, streift sie die beiden Polizisten, die wie durch ein Wunder nur leicht verletzt werden. Nach dem Aufprall fliegt die Acetylenflasche auf Kniehöhe Richtung San Hist, zerstört eine Tisch- und Bankgarnitur, die vor dem Fahrzeug steht, und wird unter dem Fahrzeug Richtung parkierter Anhänger einer Transportfirma abgelenkt, wo sie schliesslich auf

dem Platz liegenbleibt und ausgast. Allen am Einsatzleitfahrzeug und in der San Hist arbeitenden Personen stand ein Schutzengel zur Seite, es grenzt an ein Wunder, dass nicht mehr passiert ist. Gleichzeitig fliegt die zweite «Granate» auf Hüfthöhe auf der Südseite aus der mechanischen Werkstatt und trifft, nachdem sie durch einen parkierten Kleinbus abgelenkt wird, der ca. 1 m neben einem durch einen AdF besetzten Teilstück steht, seitlich in das am Boden stehende Leiternpaket der ADL. Dort wird sie nochmals abgelenkt und bleibt nachher auf dem Platz liegen und gast aus. Unmittelbar vor dem Aufprall treffen sich die beiden Kdt von Frauenfeld und Gachnang für eine Lagebesprechung bei der ADL. Der Kdt der FW Gachnang wird durch die Acetylenflasche leicht am Bein gestreift, die Flasche umkurvt unter Getöse den Kdt der FW Frauenfeld, schlägt links von ihm im



Leiternpaket ein und verlässt es auf seiner rechten Seite wieder. Instinktiv werfen sich alle in der Nähe stehenden AdF auf den Boden. Selbst der anwesende Feuerwehrinspektor des Kantons Thurgau kann sich mit einem wagemutigen Sprung in Sicherheit bringen. Keiner der Anwesenden hat auf Anhieb realisiert, welches Glück sie in Anspruch genommen haben. Nach und nach wird auf der Ostseite klar, dass auch hier

Steigende Temperatur \Rightarrow steigender Druck!

Beispiel: geborstene Flaschen nach Brandfall



Ventilbruch – zum Glück nur als Test...

- Auch scheinbar harmlose Gase (Druckluft) können gefährlich werden

„Was soll denn an Druckluft schon grossartig gefährlich sein?“



Quelle: Schweizerischer
Feuerwehrverband

Schutzmassnahmen - technisch

- Umgang / Lagerung nur in ausreichend **belüfteten** Räumen (Labor-Abluft!) oder im Freien
- Gasflaschenlager dürfen **nicht frei zugänglich** sein (z.B. Zaun)
- je nach Menge zusätzlich **Gas-Detektoren** notwendig (→ SGU kontaktieren cabs@ethz.ch):
 - brennbare Gase: UEG kann im Raum erreicht werden
 - giftige Gase: Kurzzeit-Grenzwerte können überschritten werden
- verwendete Materialien müssen resistent sein gegenüber den Gasen
- bei brennbaren Gasen: **ggf. EX-Schutz-Massnahmen**
- Gasvernetzung: **kein Eigenbau!**
- **Sicherung** der Flasche gegen Umkippen / Umfallen

Schutzmassnahmen - organisatorisch

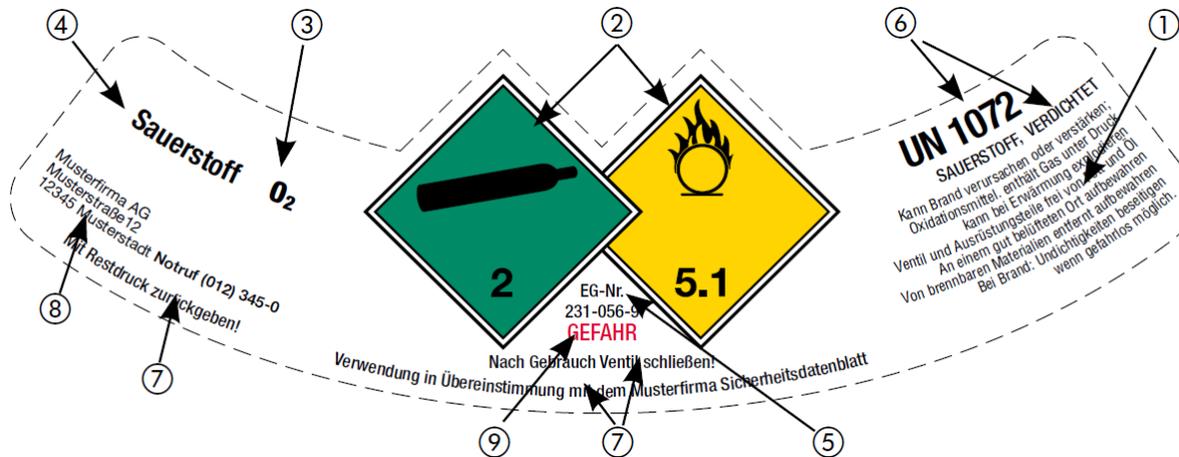
- korrekte **Kennzeichnung** der Räume und Gasflaschenschränke (Warnzeichen «Gasflasche» und ggf. weitere relevante Warnzeichen)
→ Kennzeichnungsmaterial erhältlich via SGU: stickers@ethz.ch
- **Instruktion aller Personen**, die mit Druckgasflaschen umgehen / arbeiten
- kein Flaschenwechsel ohne Instruktion
- **kleinstmögliche Flaschengrösse** verwenden
- **Erhitzung** von Druckgasflaschen auf über 40°C (verflüssigte Gase) bzw. 60°C (komprimierte Gase) **vermeiden**
- **keine Alleinarbeit**

Schutzmassnahmen - Schutzausrüstung

- Beim Umgang mit Druckgasflaschen immer **geeignete Kleidung und persönliche Schutzausrüstung** tragen:
 - Labormantel
 - geschlossenes, trittsicheres Schuhwerk (beim Transport: möglichst Sicherheits-Schuhe)
 - Schutzbrille
 - beim Flaschenwechsel / Umgang mit gefährlichen Gasen: zusätzlich Handschuhe, ggf. Atemschutz (Gasmasken mit entsprechendem Filter)

Kennzeichnung von Gasflaschen (SN EN 1089-3)

- Industrie- und Medizinalgase (ausser LPG, Camping-Gas, Feuerlöscher): **Etikette an der Flaschenschulter** vorgeschrieben



- 1 – Gefahren- und Sicherheitshinweise
- 2 – Gefahrenzettel nach ADR
- 3 – Zusammensetzung, Reinheit
- 4 – Handelsname des Gases
- 5 – EG-Nummer (nicht bei Gemischen)

- 6 – UN-Nummer und Benennung des Stoffes
- 7 – Hinweise des Herstellers
- 8 – Kontaktdaten des Herstellers
- 9 – Signalwort

Kennzeichnung von Gasflaschen (SN EN 1089-3)

- Die meisten Flaschen haben zusätzlich noch eine Farbkennzeichnung
- **neuer Farbcode** seit 2006, d.h. an der ETH sollten keine Flaschen nach altem Farbcode mehr anzutreffen sein → falls doch → schnellstmöglich entsorgen!
- Vorsicht: alter und neuer Farbcode stimmen nicht überein!!!



Farbcode – nach Gefährdungen

Eigenschaften	Schulterfarbe		Beispiele
giftig und/oder ätzend ¹⁾	gelb		Ammoniak, Chlor, Arsin, Fluor, Kohlenmonoxid, Stickoxid, Schwefeldioxid
entzündbar ²⁾	rot		Wasserstoff, Methan, Ethylen, Formiergas Stickstoff/ Wasserstoffgemisch
oxidierend ³⁾	hellblau		Sauerstoff-, Lachgasgemische (außer Inhalationsgemische, Tafel 3)
erstickend ⁴⁾ (inert)	leuchtendes grün		Krypton, Xenon, Neon, Schweißschutzgasgemische, Druckluft technisch.

Farbcode für häufig verwendete Gase

Gas	Schulterfarbe	Gas	Schulterfarbe
Acetylen	kastanienbraun	Stickstoff	schwarz
Sauerstoff	weiß	Kohlendioxid	grau
Distickstoffoxid (Lachgas)	blau	Helium	braun
Argon	dunkelgrün		

Farbcode für Gasgemische

Gas/Gasgemisch

Schulterfarben

Kohlendioxid/Stickstoff

grau/schwarz



Kohlendioxid/Sauerstoff

grau/weiß



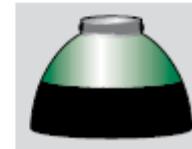
Argon/Sauerstoff

dunkelgrün/weiß



Argon/Stickstoff

dunkelgrün/schwarz



Farbcode für Medizinalgas-Mischungen

Gas/Gasgemisch

Schulterfarben

Synthetische Luft/
Druckluft für Atemzwecke
Für Sauerstoffkonzentrationen zwischen 20 – 23 %

weiß/schwarz



Gemisch Sauerstoff/Helium
Für alle Sauerstoffkonzentrationen

weiß/braun



Gemisch Sauerstoff/Kohlendioxid
Für alle Sauerstoffkonzentrationen

weiß/grau



Gemisch Sauerstoff/Distickstoffoxid
Für alle Sauerstoffkonzentrationen

weiß/blau

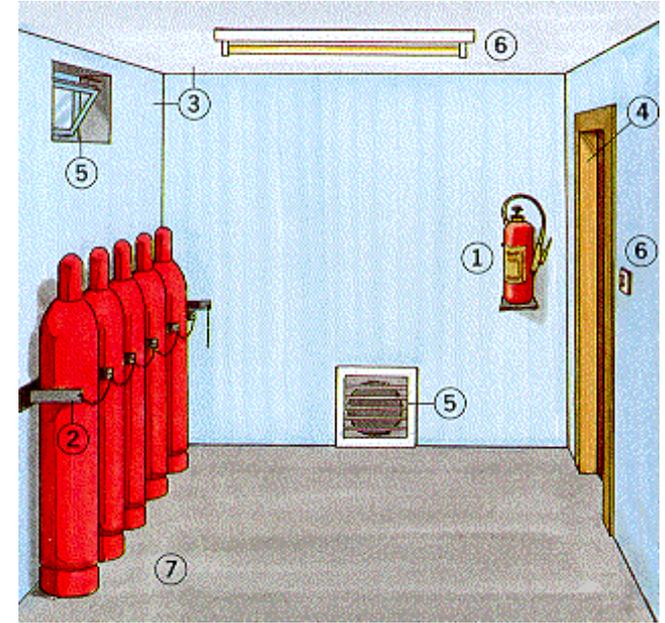


Allgemeine Regelungen: Lagerung

- in Durchgängen, Durchfahrten, Fluren oder Treppenhäusern (Fluchtwege) ist das Lagern von Druckgasflaschen (auch leer) **verboten**
- **keine Zusammenlagerung** mit brennbaren Stoffen
- mit feuerfester Kette sichern
- Lagerräume müssen ausreichend **belüftet** sein (Labor-Abluft!)
- Druckflaschen **stehend lagern**; Flüssiggase nie liegend lagern
- Lager im Freien sind vor unbefugten Zugriff zu schützen
- **keine Lagerhaltung am Verbrauchsort** (z.B. in Laboratorien oder Werkstätten); gilt auch für Leergebinde
- ab 200 L Gesamt-Volumen im Labor → Lagerung aller Flaschen in **Sicherheitsschränken**
- gefährliche Gase → Lagerung immer in **Sicherheitsschränken**
- ggf. **Gasüberwachung** installieren

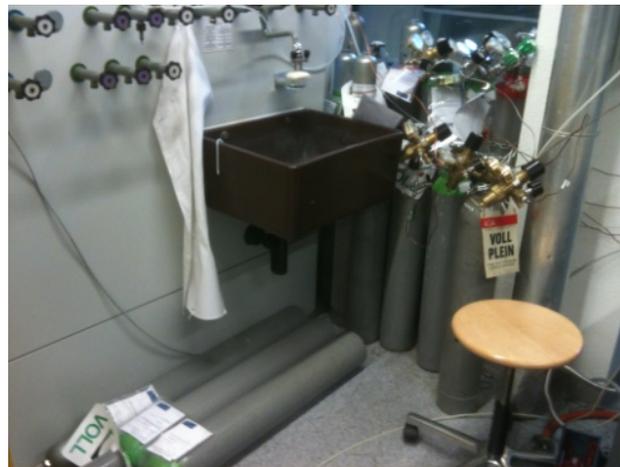


Lagerung im Freien oder in Räumen



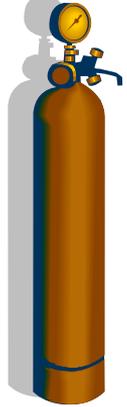
Quelle: BG RCI

Lagerung – hier besteht Optimierungsbedarf



Allgemeine Regelungen: Transport

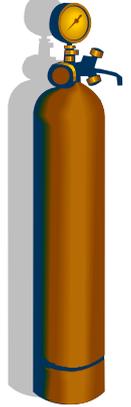
- Transport nur auf **Flaschenkarren**, gesichert mit feuerfester Kette
- immer **Schutzkappe aufschrauben**, kein Transport mit Reduziereinheit
- Eine Druckflasche nie rollen, schleppen oder über den Boden schleifen
- Liftbenützung:
 - nur im Warenlift, nicht im Personenlift
 - gegen Umfallen gesichert
 - kein gleichzeitiger Transport von Personen
- Für den externen Transport (öffentliche Strasse): ADR/SDR-Richtlinien beachten → sgu-gefahrengut@ethz.ch



Allgemeine Regelungen: Umgang (I)

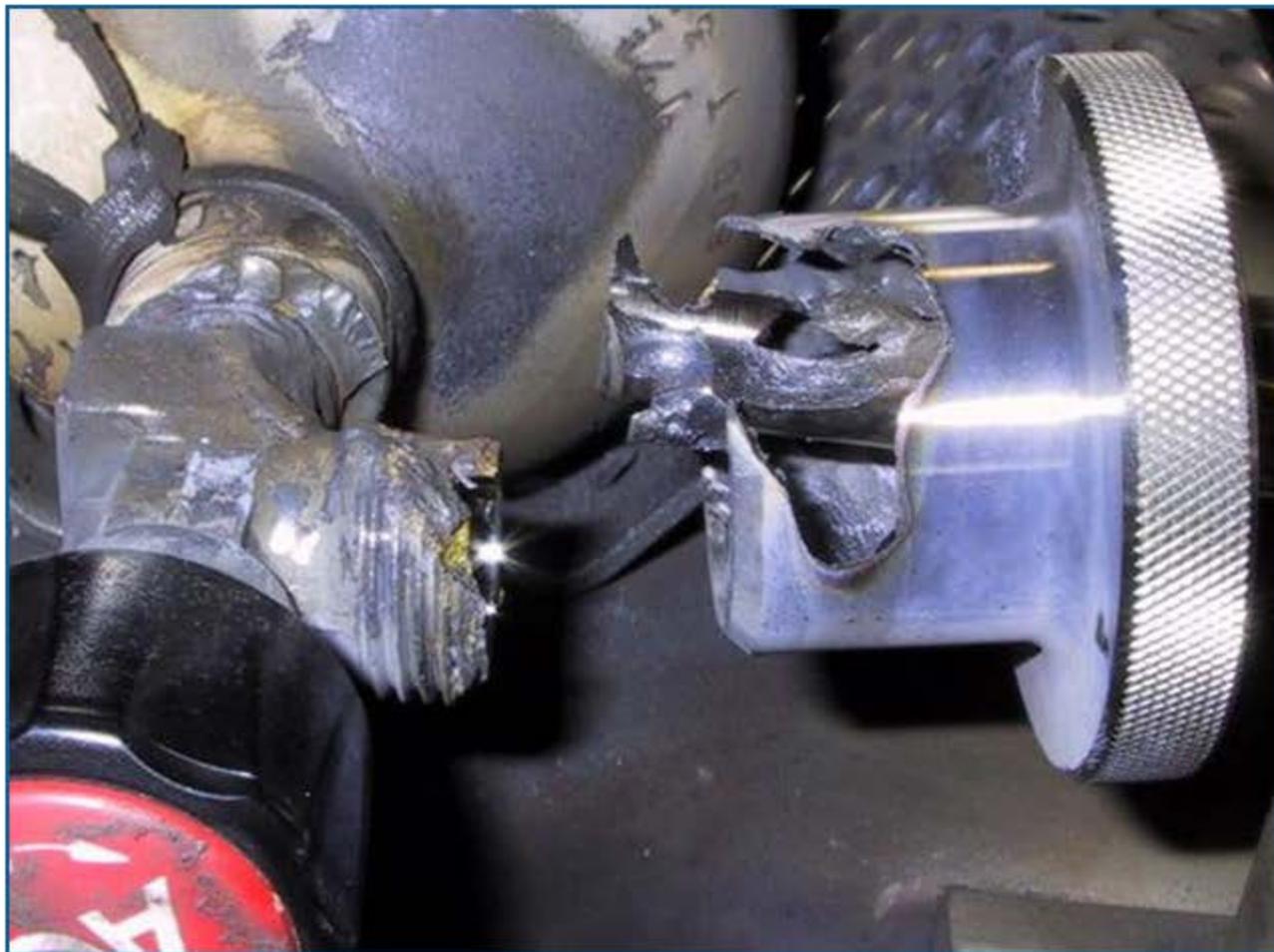
- **Sicherheitsdatenblätter** der Gase beachten
- genügende **Lüftung** muss vorhanden sein (Labor-Abluft!)
- bei längerer Unterbrechung der Gasentnahme **Flaschenventile vollständig schliessen**
- Gasflaschen müssen immer an einem festen Ort, z.B. Mauer gegen Umfallen **gesichert** sein (z.B. Kette oder feuerfestes Fixiersystem) und **vor starker Erwärmung geschützt** werden
- nur die für das entsprechende Gas **zugelassene Reduzierventile** verwenden, das gilt insbesondere für komprimierten Sauerstoff. Keine Zwischenstücke / Adapter verwenden!!!
 - brennbare Gase: Linksgewinde
 - nicht brennbare Gase: Rechtsgewinde

Allgemeine Regelungen: Umgang (II)



- Flaschenventile ganz öffnen, dann $\frac{1}{4}$ Drehung retour
- beim Öffnen und Schliessen von Ventilen **nie Gewalt anwenden**
- **Nie Fett oder Öl zum Schmieren** von Ventilen oder Verbindungsstücken verwenden
- Gasflaschen **nie selbst auffüllen!** Gasreste in der Flasche könnten mit dem neu eingefüllten Gas gefährliche Reaktionen eingehen
- Flaschen nie restlos entleeren
- defekte Gasflaschen nicht weiter verwenden; als defekt kennzeichnen
- keine gefährlichen Arbeiten allein und ausserhalb der Gebäudeöffnungszeiten

Sauerstoff Ausbrand: ...Trotz Edelstahl!



Sauerstoffunfall: 16. März 2009 in Australien



Regelungen: Gefährliche Gase / Vernetzungen

- für gefährliche Gase: spezielle Regeln für Benützung und Gasvernetzung, Mengen, Materialien, Überwachung, Installation
- brennbare Gase: max. 10 L, ansonsten Bewilligung von SGU notwendig
- giftige Gase: max. 2 L Kleinflasche, ansonsten Bewilligung von SGU notwendig
- bei korrosiven Gasen: Druckminderer häufig betätigen und nach Gebrauch spülen
- Gasvernetzungen immer eindeutig kennzeichnen
- Gasvernetzungen müssen für die entsprechenden Gase ausgelegt sein (Materialverträglichkeit); keine dauerhaften Gasvernetzungen „Marke Eigenbau“ ohne Einbezug von Fachpersonen

So lieber nicht...



Quelle: BG RCI



Teil 3: Was tun bei einem Notfall?



Gaswarnanlagen an der ETH



Blitzleuchten /
Warnlampen

Display





Was tun bei einem Gasalarm?

- **Raum sofort verlassen und sperren** – wenn möglich Gaszufuhr abstellen.
- Vorgehen gemäss Alarmblatt
- Alarm-Display / Anzeige vor dem Raum → Infos:
 - welches Gas?
 - wo genau?
 - welche Konzentration? steigend / fallend?
- solange der Hauptalarm (Horn) ansteht: **Labor nicht betreten!**
- wenn Horn wieder aus und (Blitz-)-Lampe noch an:
 - Betreten nur für Berechtigte erlaubt (Laborverantwortliche, Erstintervention)
 - nur mit entsprechender PSA und wenn möglich, mit mobile Gasdetektoren
- Falls Alarm anstehend bleibt / Konzentration steigt etc. → alarmieren (**888**) und Unterstützung anfordern
- Jeder Alarm ist auf der GA hinterlegt → Alarmblatt aktuell halten!



Was tun bei einer Verletzung?

- Erste-Hilfe Zip-Bags
- Augenduschen
- Notduschen
- ETH Betriebs-sanität



Unfall – was tun?		Accident – how to react?	
1. Verletzungsart > Alarmieren Kind of injury > Call 'S.O.S.'	immer 888 always		
Schwerer Unfall Severe accident	0-144		
Vergiftung Poisoning	0-145		
2. Nothilfe leisten (ABC,...) First Aid (ABC,...)			
Alle Notfälle / All emergencies: 888			
ETH Zürich, Abt. Sicherheit / safety@su.ethz.ch / www.sicherheit.ethz.ch			



Notfall-Nummern



ETH Alarmzentrale (AZ)

= 24/7!

888 (intern)

044/ 342 11 88 (mobil
oder extern)

Externe Intervention

(0)118 Feuerwehr

(0)144 Ambulanz

(0)117 Polizei

Vergiftung

(0)145 Tox-Center

Das Wichtigste: Alarmieren!

W-Fragen

- **Wo** ist der Notfall?
- **Was** ist passiert?
- **Wer** ruft an?
- **Wann** ist es passiert?
- **Wie viele** Betroffene?
- **Welche** Verletzungen / Schäden?
- **Wie** ist es passiert?
- **Welche** besonderen Gefahren gibt es (z.B. Gasflaschen im Labor)?



The plumber asks if it is sufficient when he is coming tomorrow afternoon.

Was tun bei einem Labor-Unfall?

- **Ruhig bleiben - 1. Priorität: EIGENE SICHERHEIT**
- Alarmieren: **888**
- Unfallstelle absichern, wenn möglich Personen aus Gefahrenzone bringen
- **nicht ohne entsprechende Ausrüstung in die Gefahrenzone begeben**
- Auf Interventionskräfte warten; wenn möglich: Erste Hilfe leisten
- Interventionskräften die notwendigen Informationen weitergeben (**aber an niemand andern!**)
- nicht unnötig herumlaufen → keine Kontaminations-Verschleppung
- Unfallstelle nicht aufräumen / putzen → wegen Beweis-/ Spurensicherung!



Feuer – was tun?

- alarmieren (888 oder Handtaster)
- Löschposten in den Korridoren
- Feuerlöscher



Feuer – was tun? Fire – how to react?

1. Alarmieren
Call 'S.O.S.'



2. Personen retten
Rescue all people



3. Türen schliessen
Close all doors



4. Brand bekämpfen
Fight the fire



Alle Notfälle / All emergencies: 888

ETH Zürich, Abt. Sicherheit / safety@su.ethz.ch / www.sicherheit.ethz.ch



Prävention – Feuerlöscher sollten immer gut zugänglich sein...



Haben Sie „die Gefahr im Griff“?

→ Testen Sie Ihr Wissen (oder frischen Sie es auf)...

- E-Learning-Module «Gefahr im Griff» der SUVA zu verschiedene Themen, z.B.
 - Risiko-Verhalten
 - Persönliche Schutzausrüstung
 - Gefahrstoffe
 - etc.



➔ http://www.suva.ch/files/wbt_gefahren_im_griff/index.de.html

- Online Spiel «Gase unter Druck» der BG RCI

➔ <http://www.bgrci.de/gase-unter-druck/startseite/onlinespiel/>



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

FRAGEN???