

Veilig werken met vloeibare stikstof

Inleiding

Vloeibare stikstof wordt gebruikt voor diverse handelingen, zoals voor opslag van biologische materialen, als koelmedium bij laboratoriumwerkzaamheden en voor klinische behandelingen (bijv. wegbranden van wratten). Bij het overtappen van vloeibare stikstof in een open dewarvat, het vullen van vaten onder druk en het transporteren van met vloeibare stikstof gevulde vaten, komen verschillende risico's voor.

Deze handleiding is afgeleid van KAM regel 29 (Kwaliteit, Arbeidsomstandigheden en Milieu) van het RIVM. Alle gevaren die te maken hebben met vloeibare stikstof worden hierin opgesomd. Niet alle gevaren zijn even relevant voor het practicum. Bij elk risico is aangegeven in hoeverre dit voor het practicum van belang is.

Fysische eigenschappen

Stikstof is bij kamertemperatuur een kleurloos en reukloos gas. Onder deze conditie is stikstof nauwelijks zwaarder dan lucht (lucht zelf bevat 78% stikstof). Door afkoeling wordt de dichtheid hoger. Koude stikstof heeft dan ook de neiging zich in eerste instantie in laag gelegen ruimten te concentreren. Het kookpunt ligt bij $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. Stikstof is niet brandbaar. Op zichzelf is stikstof niet toxisch, maar als het in grotere hoeveelheden vrij komt dan verdringt het zuurstof uit de lucht waardoor het verstikkend werkt. Eén liter vloeibare stikstof verdampt tot 700 liter gas! (zie tabel 1).

Tabel 1: eigenschappen

Naam	Stikstof
Symbool	N_2
Moleculair gewicht	28,01 g/mol
Kookpunt	$-195,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (77,3 K)
Dichtheid gas (bij $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ en 1013 mbar)	1.185 kg/m^3
Dichtheid vloeistof (bij 77,3 K)	$0,809\text{ kg/dm}^3$
Molair volume V_{mol} (bij 1013 mbar en $0\text{ }^{\circ}\text{C}$)	$22,4\text{ dm}^3$

Het gasvolume van 1 liter vloeibare stikstof bij kamertemperatuur (molair volume $\approx 24\text{ l}$):

$$V_g = \frac{m_{\text{N}_2}}{M_{\text{N}_2}} \times V_{mol} = \frac{809\text{ g}}{28.02\text{ g}} \times 24\text{ l} = 693\text{ l}$$

Bij het werken met vloeibare stikstof zijn gevaren te onderscheiden die voortkomen uit de eigenschappen van het gas en gevaren die voortkomen uit de lage temperatuur van de vloeibare stikstof (de specifieke 'cryogene' gevaren). Deze verschillende gevaren kunnen leiden tot effecten op de mens en tot effecten op materialen:

- Gasvorming
- Koken
- Zuurstofverrijking
- Drukvorming
- Temperatuurverlaging
- Verbrossing

- Transport

Gevaren en maatregelen

Gasvorming (verstikking)

Gevaar:

Door toevoer van warmte uit de omgeving zal vloeibare stikstof gaan verdampen. Door de lage temperatuur van het gas treedt condensatie van de waterdamp in de lucht op. Dit is te zien als een witte mist. Naast zichtbelemmering geeft dit een indicatie van de omvang van de stikstofwolk. Koud uitstromende stikstof is zwaarder dan lucht en zal zich in eerste instantie dicht bij de grond of in kelderruimten (als de toegang open is) concentreren.

Een overmaat stikstof kan zuurstof uit de lucht verdrijven. De aanwezigheid van stikstof en het tekort aan zuurstof zijn met menselijke zintuigen niet waar te nemen. Bij een zuurstofgehalte in de lucht van 19% (de ondergrens, de normale waarde is ongeveer 21%) kan zonder gezondheidsrisico's de ruimte worden betreden. Bij een zuurstofgehalte dat lager ligt dan 16% bestaat echter al een reëel verstikkingsgevaar.

Maatregelen:

- In ruimten waar vloeibare stikstof wordt getapt, waar drukvaten met vloeibare stikstof worden gevuld of waar vaten staan opgeslagen, moet een goede ventilatie aanwezig zijn. Bij een zuurstofgehalte beneden de 19% mag een ruimte uit veiligheidsoverwegingen niet zonder persluchtapparatuur of verse luchtkap betreden worden. Bij twijfel moet eerst het zuurstofgehalte in de ruimte gemeten worden. Permanente zuurstof monitoring wordt aanbevolen in die gevallen, waarbij grote hoeveelheden stikstof vrij kunnen komen.
- Een stikstofwolk mag, vanwege mogelijk verstikkingsgevaar, niet zonder voorzorgsmaatregelen betreden worden.
- Voorkom openingen naar (ongeventileerde) kelderruimten zodat ophoping van stikstof op deze plekken niet mogelijk is.

Relevantie voor het practicum

Er is bij het practicum nooit meer dan 20 liter stikstof aanwezig. Dat is dus maximaal $20 \cdot 700 = 14000 \text{ l} = 14 \text{ m}^3$ stikstof in gasvorm. In een worst case scenario (bij instantane verdamping van alle vloeibare stikstof en zonder ventilatie) zal in onze practicumzaal (inhoud 384 m^3) die 14 m^3 stikstof maximaal $14/384$ lucht verdrijven. Bij een 21% zuurstofgehalte van de lucht wordt dan $14/384 \cdot 0.21 = 0.73\%$ van de zuurstof verdreven. We blijven dus ruim buiten de gevarezone. Wanneer je onverhoopt een vat omgooit, zorg dan wel dat personen de directe omgeving verlaten.

Koken

Gevaar:

Als vloeibare stikstof in aanraking komt met voorwerpen die relatief warmer zijn, zal de stikstof gaan koken. In de bulk-tank is dit reeds het geval. Pas wanneer stikstof wordt getapt of overgegoten in vaten die de omgevingstemperatuur hebben of wanneer relatief warme voorwerpen in een vat met vloeibare stikstof worden gedompeld, zal de gebruiker merken dat de stikstof kookt. Er kunnen dan druppels vloeistof samen

met de dampwolk uit het vat treden. Dit spatten verergert naarmate er bij hogere druk wordt getapt of naarmate sneller wordt gegoten. Onbedekte lichaamsdelen kunnen in contact komen met de vloeibare stikstof met als gevolg blaarvorming, brandwonden en bevroeringsverschijnselen. Vooral effecten op de ogen kunnen zeer ernstig en van blijvende aard zijn.

Ook kunnen deze verschijnselen optreden als niet geïsoleerde leidingen, die dienen voor het transport van vloeibare stikstof, aangeraakt worden met bijvoorbeeld blote handen. Bij abrupt lostrekken kan dan een ernstige verwonding ontstaan doordat de huid loslaat.

Maatregelen:

- a) Bij het tappen van vloeibare stikstof uit een bulktank kan gebruik worden gemaakt van een systeem dat automatisch afslaat als een vat gevuld is. Het voordeel van zo'n systeem is dat er weinig stikstof verloren gaat, waardoor het spatgevaar kleiner is. In het systeem wordt gebruik gemaakt van temperatuurvoelers, waarbij het principe dus gebaseerd is op de lage temperatuur van vloeibare stikstof. Als zo'n systeem in een (afgesloten) ruimte wordt gebruikt, wordt aanbevolen een noodknop in de ruimte te plaatsen. In geval van calamiteit kan door het induwen van deze knop de aftapinstallatie snel uitgeschakeld worden.
- b) Als een automatische afslag niet aanwezig is dan mag vloeibare stikstof uitsluitend bij een lage druk (1 tot 1,5 bar) worden getapt. Bij een lage druk kan goed worden gezien wanneer het vat overstroomt. Als heel snel of bij hogere druk wordt gevuld vindt veel dampvorming plaats en kookt de stikstof heftig waardoor de gebruiker niet kan zien wanneer het vat vol is. Bovendien is het spatgevaar dan ook veel groter. Om spatten tegen te gaan kan gebruik worden gemaakt van een fasescheider in de uitstroomopening.
- c) Raak leidingen waar vloeibare stikstof doorheen loopt niet aan met blote handen; onmiddellijk vastvriezen kan het gevolg zijn.
- d) Draag bij het tappen van vloeibare stikstof - vanwege de gezondheidseffecten bij contact met vloeibare stikstof - gelaatscherm en handschoenen. Bij het niet geautomatiseerd tappen uit een bulktank wordt daarnaast het dragen van veiligheidsschoenen aanbevolen (zie Persoonlijke beschermingsmiddelen).

Relevantie voor het practicum

De enige maatregel die voor ons van belang is, is punt d. Het voorraadvat dat op zaal aanwezig is staat niet onder druk, leidingen met vloeibare stikstof zijn er niet. Koken van de stikstof als deze met warme voorwerpen in contact komt is wel een probleem. Je kunt dat vergelijken met koud water dat je in een hete pan giet en begint te spetteren.

De vloeibare stikstof wordt vanuit het grote voorraadvat in een kleiner transport-dewarvat overgegoten. De opstelling die gekoeld moet worden staat ook in een dewarvat. Deze wordt dan voorzichtig gevuld vanuit het transportvat. Bij beide handelingen kunnen spatten ontstaan.

Bescherm jezelf daartegen (zie Persoonlijke beschermingsmiddelen).

Vul de opstelling tot de bovenkant van het te koelen object. De stikstof blijft koken en verdampen tot de opstelling volledig is afgekoeld. Blijf stikstof bijvullen tot het niet meer kookt.

Zuurstofverrijking

Gevaar:

Zuurstof heeft een hoger kookpunt dan stikstof (-183 °C resp. – 196 °C). Als zuurstof uit de lucht in aanraking komt met vloeibare stikstof kan het dus condenseren. Plaatselijk kan dit leiden tot verhoogde zuurstofconcentraties. Als dewarvaten een nauwe hals hebben, zal zuurstofcondensatie nauwelijks optreden. Bij het gebruik van vloeibare stikstof als koelmedium echter, zal vaak een open vat worden gebruikt. De zuurstofconcentratie kan hierbij hoog oplopen (tot 70 volume%). Bij koeling van brandbare stoffen/materialen of organische materialen geeft het verhoogde zuurstofgehalte een vergroot explosiegevaar.

Maatregelen:

- Gebruik, om condensatie van zuurstof te voorkómen, dewarvaten met een nauwe hals.
- Als open dewarvaten worden gebruikt moeten deze eerst volledig leeg zijn voordat ze opnieuw worden gevuld. Wanneer een open dewarvat steeds wordt bijgevuld kan namelijk een ongewenste zuurstof verrijking optreden.

Relevantie voor het practicum

Geen

Drukvorming

Gevaar:

Als een drukvat met vloeibare stikstof valt of in geval van brand, kan drukverhoging in het vat ontstaan. Ter bescherming tegen drukverhoging zit op de drukvaten een veiligheidsafsluiter welke automatisch open gaat als de druk stijgt.

Als een vat valt kan er echter een scheur komen in de binnenwand van een vat. Het vacuüm verdwijnt dan, waardoor de stikstof aan de luchttemperatuur wordt blootgesteld. Door blootstelling aan deze hogere temperatuur zal de stikstof verdampen. Het ontstane stikstofgas wordt afgeblazen via de veiligheidsafsluiter.

Als een drukvat gas en/of vloeistof blijft afblazen, dient gelet te worden op verstikkingsgevaar.

In geval van brand stijgt de buitentemperatuur zo sterk dat het vat niet voldoende isoleert. De stikstof in het vat verdampt snel, waardoor de druk stijgt. Als de veiligheidsafsluiters de drukstijging niet kunnen compenseren, kan een scheur in het buitenvat optreden. De aanwezige stikstof komt dan ineens vrij. De kans op een explosie door drukstijging in het binnenvat is zeer gering. De vrijgekomen stikstof kan zuurstof uit de lucht verdrijven. Let op verstikkingsgevaar als iemand in de ruimte aanwezig is of als de ruimte betreden moet worden. Verder zal de vrijgekomen stikstof bijdragen aan (tijdelijke) vermindering van de vuurzee.

Maatregelen:

- Zorg voor stabiele opstellingen voor de vloeibare stikstofinstallatie; door kleine wielen te vervangen door grotere wordt een opstelling vaak veel stabiel.

- Plaats stikstofdrukvlotten niet in ruimten waar een verhoogd brandgevaar bestaat of waar ze mogelijk aan abnormaal hoge temperaturen worden blootgesteld;
- Let bij het betreden van de ruimte op verstikkingsgevaar als drukvlotten in geval van brand niet verplaatst kunnen worden.

Relevantie voor het practicum

Geen

Temperatuurverlaging

Gevaar

Bij het vrijkomen van stikstofgas treedt temperatuurverlaging van de omgeving op. Als de temperatuurverlaging van de omgeving lang in stand blijft betekent dit dat de ventilatie niet voldoende is, of dat er een defect aan respectievelijk installatie of vat is waardoor de stikstof blijft vrijkomen en de ventilatie het niet aan kan. Wanneer (langdurig) gewerkt moet worden in deze ruimte kan onderkoeling van het menselijk lichaam plaatsvinden en kan verstikkingsgevaar ontstaan. Ook kan longbeschadiging optreden door het gedurende langere tijd inademen van koude gassen.

Geschikte kleding kan onderkoeling voorkomen. Verstikking en longbeschadiging kunnen uitsluitend worden tegengegaan door persluchtapparatuur te dragen. Dit geeft tijdens het werk echter een extra belasting.

Maatregelen:

Het tappen van stikstof uit drukvlotten moet plaatsvinden in ruimten die voldoende geventileerd zijn. In normale situaties zal dan bij het tappen uit drukvlotten geen noemenswaardige temperatuurverlaging van de omgeving plaatsvinden. Als het - bijvoorbeeld bij reparaties - nodig is gedurende langere tijd in een koude omgeving te werken, draag dan geschikte kleding en geschikte adembescherming.

Relevantie voor het practicum

Geen

Verbrossing

Gevaar:

Door de lage temperatuur van vloeibare stikstof kunnen materialen bros worden of krimpen met lekkage of breuk als gevolg. Voor opslagtanks en leidingen geldt nog dat functie-storingen kunnen optreden als een installatie in bedrijf wordt genomen zonder dat deze goed droog is. Het aanwezige water zal namelijk bevriezen.

Voor de werkzaamheden als tappen en transport van vloeibare stikstof is het verschijnsel verbrossing van belang. Dit risico bestaat met name als stikstof gemorst wordt in de buurt van (auto)banden en schoenzolen. De banden van bijvoorbeeld transportwagentjes kunnen vastvriezen en het rubber wordt dan bros door de kou. Een rubberen schoenzool zal ook bros worden door de kou!

Ook de bekleding van de vloer heeft te lijden onder de lage temperatuur van vloeibare stikstof. Als de stikstof op bijvoorbeeld linoleum of op steen terecht komt, zal de vloer scheuren of springen.

Maatregelen:

- De vloer van de ruimte waarin stikstof wordt getapt moet bestand zijn tegen de lage temperatuur van vloeibare stikstof; gebruik bijvoorbeeld hardboard.
- Let, als stikstof gemorst is, op mogelijke verbrossing van materialen in de omgeving (bijv. schoenzolen, banden van transportkarren).

Relevantie voor het practicum

Geen

Transport

Gevaar:

Stikstof kan vervoerd worden in open dewarvaten en in drukvaten. Als open dewarvaten via de lift vervoerd worden, kan (vooral bij slecht functionerende open dewarvaten) verstikkingsgevaar optreden, doordat de stikstof verdampt en de zuurstof uit de lucht wordt verdreven. Gewone thermosflessen kunnen exploderen door de lage temperatuur van stikstof. Verder bestaat een reële kans op morsen van vloeibare stikstof bij vervoer ervan in open dewarvaten. Problemen ontstaan vooral als een dewarvat geen draagbeugel bevat.

Maatregelen:

- Voorkom tijdens transport te allen tijde aanraking met vloeibare stikstof:
- Vervoer van open dewarvaten en gesloten vaten mag vanwege het verstikkingsgevaar niet gelijktijdig met personen via de lift plaatsvinden.
- Stikstof mag niet getapt en vervoerd worden in 'gewone' thermosflessen.
- Maak voor transport gebruik van dewarvaten die voorzien zijn van een draagbeugel. Als gebruik gemaakt wordt van glazen dewarvaten, moeten ze tevens voorzien zijn van een beschermkap.

Relevantie voor het practicum

De staf draagt zorg voor de voorraad vloeibare stikstof op de practicumzaal.

Persoonlijke beschermingsmiddelen

Kleding:

Draag uitsluitend schone en droge kleding, het liefst gemaakt van natuurlijke stoffen;
Draag geen nauwsluitende kleding omdat de kleding in geval van nood snel moet kunnen worden uitgetrokken;
Armen en benen moeten volledig bedekt zijn;
Draag de broek over de schoenen en de mouwen over de handschoenen.

Verdere maatregelen

Handschoenen: draag isolerende handschoenen, uit droge brosvrije materialen gemaakt, Zorg dat de handschoenen loszitten, zodat snelle verwijdering mogelijk is. Bijvoorbeeld: 'cryogene' handschoenen.

Schoenen: draag dichte schoenen met profielzolen. Bijvoorbeeld: veiligheidsschoenen ('normale' rubberlaarzen wordt ontraden, omdat rubber ongeschikt is tegen lage temperaturen).

Oogbescherming: draag een volgelaatscherm of een ruime veiligheidsbril

Adembescherming : Draag persluchtapparatuur of een verse luchtkap. NB: Bij gebruik van een persluchtmasker zijn een periodieke gezondheidskeuring of brandweerkeuring en een intensieve training noodzakelijk.

Relevantie voor het practicum

Er zijn handschoenen en beschermingsbrillen aanwezig. Dichte schoenen, lange broek en lange mouwen worden aanbevolen. Bij de hoeveelheden vloeibare stikstof die op het practicum worden gebruikt is specialistische kleding of adembescherming verder niet nodig.

Wat te doen bij ongevallen

Ongevallen bij het practicum zullen vooral bestaan uit wegsplattende vloeistof of het vastpakken van bevroren voorwerpen. De eerste hulp in dergelijke gevallen bestaat uit de volgende maatregelen:

- Stel het slachtoffer gerust
- Bel de EHBO (1007)
- Trek geen vastgevroren ledematen los, probeer die los te weken met koud/lauw water
- Kleding die is vastgevroren eerst laten ontdooien, dan pas verwijderen
- Spoel "brandwonden" gedurende 10 minuten, desnoods over de kleding heen.
- Bij contact met vloeibare stikstof, de bevroren lichaamsdelen ontdooien met lauwwarm water. De temperatuur van het water mag niet hoger zijn dan lichaamstemperatuur. Het opwarmen van de aangedane huid hoger dan lichaamstemperatuur en wrijven vergroot de schade. (N.B. deze brandwonden doen geen pijn)
- Breng EHBO'er / medisch personeel op de hoogte van de toedracht zodat ook zij voorzorgsmaatregelen kunnen nemen om zich zelf te beschermen.

Bron:

*KAM-regel 029 – Veilig werken met vloeibare stikstof
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu*