# Inleiding

CO2 is ook wel bekend onder de namen koolstofdioxide of R744. CO2 wordt al lang gebruikt als koudemiddel, maar door de komst van de CFK’s en HCFK’s werd deze stof verdrongen van de markt. Nadat het bekend werd dat de CFK- en HCFK –koudemiddelen de ozonlaag aantasten, kwam CO2 weer in beeld als goed alternatief.

Tegenwoordig wordt CO2 zowel toegepast in de commerciële- en klein koeling, als in de industriële koudeinstallaties. Omdat de stof CO2 zelf niet brandbaar en niet giftig is wordt CO2als relatief veilig gezien, hoewel er enkele punten zijn die de aandacht verdienen tijdens ontwerp, bouw en inwerkstelling van de installatie.

Als koudemiddel (R744) is CO2geclassificeerd als niet giftig, niet corrosief, heeft een ozonedepletion potential (ODP) van 0 en een global warming potential (GWP) van 1. Dit betekent dat het als milieu­vriendelijk wordt bestempeld.

Voor deze aanvullende brochure is gebruik gemaakt van de informatie die beschikbaar wordt gesteld in en door De Warenwet, PGS 15, wet milieubeheer, Arbeidsomstandighedenbesluit, Koudecentraal, AgentschapNL en NVKL.

Zodra nieuwe wet- en regelgeving betreffende het gebruik van CO2 kenbaar wordt gemaakt, zal deze informatie opgenomen worden in deze arbobrochure. Nekovri adviseert om bij vragen over concrete toepassingen en risico’s contact op te nemen met de betreffende leverancier(s).

# Risicobenoeming

De belangrijkste risico’s zijn

* Verhoogde druk:

De thermofysische eigenschappen van CO2 zijn dusdanig van aard dat er een hoge werkdruk ontstaat. Het voordeel hiervan is dat de volumetrische capaciteit stijgt en compactere onderdelen en systemen kan ontwerpen. In het onderwerp dient dus wel rekening te worden gehouden met verhoogde druk.

Verder zijn er risico’s verbonden met houders (opslag) van CO2.

* Verstikking en bevriezing door lekkage:

Levensbedreigende niveaus van CO2kunnen ontstaan indien er in één keer een grote hoeveelheid CO2ontsnapt. Bij een verhoogde concentratie CO2 in de lucht neemt partiële dampdruk van CO2 toe. Het lichaam ervaart dat als een hogere tegendruk waardoor de ademhaling en de hartslag intensiever worden. Dit kan (afhankelijk van de hoeveelheid CO2) leiden tot ernstige gezondheidsproblemen.

Verder kan door het vrijkomen van CO2 bevriezing optreden. Dit risico is in het bijzonder aanwezig wanneer de CO2 onder hoge druk staat en de houder/leiding zonder bescherming wordt aangeraakt of er op dat moment een lekkage ontstaat bij hoge druk.

In het algemeen onderscheiden we 3 toepassingen van CO2, namelijk:

1) Gebruik van CO2als warmteoverdrachtsvloeistof

2) Gebruik van CO2 als koudemiddel bij lage temperaturen in een cascadesysteem met druk tussen 25 en 40 bar

3) Gebruik van C02 als enige koudemiddel onder hoge druk, tussen +/- 30 en 120 bar)

In deze handleiding gaan we uit van louter CO2 en CO2 gebruik in de installatie. Er zijn ook andere toepassingen (Cascade in combinatie met bijv. ammoniak) waardoor aanvullende risico’s in kaart moeten worden gebracht. Voor de risico’s van ammoniak, zie arbobrochure “werken met ammoniak”

Verder zal deze arbobrochure niet ingaan op specifieke details m.b.t. installaties gezien de diversiteit aan systemen en onderdelen. Neem bij vragen altijd contact op met de betreffende leverancier.

# Risico’s en maatregelen (bron aanpak)

Bij het bestrijden van arbeidsrisico’s dient altijd de bronaanpak (arbeid hygiënische strategie) gevolgd te worden. Hierbij wordt de volgende volgorde van maatregelen aangehouden:

1. Wegnemen/elimineren van de bron/oorzaak
2. Technische maatregelen
3. Organisatorische maatregelen
4. Individuele maatregelen/bescherming

De werkgever is verantwoordelijk voor het in kaart brengen van de risico’s, het nemen van de maatregelen en controle op naleving van de regels. De werknemer is gebonden aan het opvolgen van instructies, het samenwerken ter verbetering en het terugkoppelen van incidenten en gevaarlijke situaties. Daarnaast mag een medewerker nooit zichzelf of zijn collega’s in gevaar brengen.

## Risico matrix

Hierna volgt een matrix, waarin alle risico’s en maatregelen kort omschreven staan, gevolgd door een uitgebreide uitwerking per risico/maatregel.

Legenda voor de uitwerking/instructie bladen

|  |  |
| --- | --- |
|  | Verplichte maatregel |
|  | Optionele maatregel / aanbeveling |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Gevaar door:**  | **1. Bron aanpak** | **2. Technisch** | **3. Organisatorisch** | **4. Instructie en PBM** |
| **Verhoogde druk in het systeem/houders****- Explosiegevaar**Pictogram explosieve stoffen | Bij ontwerp/bouw, maar vooral ombouw van installatie dient installatie en onderdelen van de installaties bestand te zijn tegen verhoogde druk. Dit omdat bij stilstand van de installatie de temperatuur, vergeleken bij de omgevings­­temperatuur, oploopt en de daarbij behorende druk hoog kan zijn: het kritisch punt ligt op 31,1 °C bij een druk van 73,8 bar.Afhankelijk hoe CO2 wordt gebruikt (Warmteoverdracht, koudemiddel in cascade of op zichzelf staand koudemiddel) moet de installatie voldoen aan eisen die zijn beschreven in warenwetbesluit drukapparatuur. | Zorgen voor periodiek onderhoud door deskundig personeel. Zorgen voor keuring.De volumetoename (thermische uitzettingscoëfficiënt) is bij CO2 circa vier keer groter dan bij NH3. Zorg voor een tegendruk onafhankelijk ontlastorgaan.Wanneer een installatie stil komt te staan (storing of breuk) kan de temperatuur van de CO2 oplopen en kan de maximale ontwerpdruk van de installatie worden overschreden. Door veerveiligheid wordt CO2 afgeblazen. Eventuele noodkoeling plaatsen. | Vastleggen wanneer en onder welke omstandigheden onderhoud en keuring plaatsvindt. Duidelijke richt­lijnen wie bevoegd is om aan de installatie te werkenIn verband met volumetoename dient vloeistof tijdens werkzaam­heden eerst te worden verwijderd, voordat er wordt ingeblokt. | Zorg, indien noodzakelijk bij niet uitbesteed onderhoud, voor speci­fieke instructies m.b.t. reparatie, schoonmaken, bijvullen van de installatie.  |
| **-Houder onder druk** |  | Opslag van CO2 (houders onder druk) buiten de installatie dient te gebeuren aan de hand van de voorschriften die zijn geïllustreerd in PGS 15. | Cilinders goed vastzetten om omvallen te voorkomen. Bewaar de houder beneden 50°C in een goed geventileerde ruimte. | Draag werkhandschoenen en veiligheidsschoenen bij het hanteren van gascilinders.Zorg ervoor dat de bestuurder op de hoogte is van de mogelijke gevaren van de lading en dat hij weet hoe te handelen bij een ongeval of noodtoestand. |
| **CO2lekkage:****- verstikking**Verstikkingsgevaar (bordje) | Afhankelijk van de toepassing:Kijken of het mogelijk is om voor toepassing te kiezen welke de minste hoeveelheid of meest geschikte combinatie gevaarlijke koudemiddelen bevat.CO2 is een relatief veilig middel. Zorg dat de technische, organisatorische, instructies en BPM goed zijn afgestemd. . | Verstikking:Gebruik van detectie. Afhankelijk van het type installatie, de omvang van de ruimte en de mate van ventilatie wordt vaste of mobiele detectie geëist. Bij meer dan 12 kg CO2 in installatie kunnen aanvullende eisen worden gesteld. Gebruik van ventilatie. Zorg dat zowel detectie als afzuiging laag wordt geplaatst i.v.m. gewicht van CO2.Bevriezing:Door atmosferische druk heeft de stof zeer lage temperatuur. Hierdoor kans op ernstige vriesbrand. Zorg voor veilige componenten in de installatie en juiste materialen tussen o.a. bijvullen. | Vastleggen wanneer en onder welke omstandigheden onderhoud en keuring plaatsvindt. Duidelijke richtlijnen wie bevoegd is om aan de installatie te werken | Zorg voor instructies die stap voor stap beschrijven wat te doen bij vergiftiging en bevriezing Zorg verder voor de juiste BPM. |
| **- Bevriezing****http://www.stickerexpress.nl/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/w/1/w16.jpg** |

|  |  |
| --- | --- |
| **Maatregel** | **Toelichting** |
| **1. Bron Aanpak** |
| Verminderen gevaarlijke stof |  | CO2 wordt ingedeeld in de gevarenklasse A1. Bovendien heeft CO2 een ozonedepletion potential (ODP) van o en een global warming potential (GWP) van 1.Dit betekent dat CO2 wordt gezien als een veilig en milieuvriendelijk middel. De noodzaak om de hoeveelheid CO2 (als koudemiddel) te verminderen is op dit moment minder relevant. CO₂ is net als HFK’s een A1-koudemiddel, dus niet giftig en niet brandbaar. Categorie A1 betekent echter niet dat er geen gevaren zijn. CO₂ heeft invloed op de ademhalingsreflex, en al bij een lager concentratieniveau dan bij HFK-koudemiddelen treden er veiligheidsrisico’s op.Er dient altijd een afweging gemaakt te worden tussen de geldende wet- en regelgeving, de toepassingsgebieden, kosten, opbrengsten, veiligheid en milieuaspecten om te komen tot het juiste koudemiddel. M.b.t. de maximaal hoeveelheid CO2 in de installatie, zie EN 378-1:2016+A1:2020M.b.t. de opslag van CO2 buiten het systeem, zie PGS 15. |
| Ontwerp en eisen installatie |  | Afhankelijk van het type installatie zijn verschillende ontwerpeisen van toepassing. Voor specifieke toepassingen, zie Richtlijn drukapparatuur (97/23/EG) in 2014 vervangen door regeling 2014/68/EU. |
|  |  | Met betrekking tot CO2 zelf kunnen de volgende minimale koeltechnische eisen worden gesteld voor een goed functioneerde installatie:- Code voor koudemiddel: R 744- Zuiverheid: minimaal 99,9%- Lucht en andere niet condenseerbare gassen: max 1,5% (volume damp bij 250)- vochtgehalte: max 10 ppm (gewicht)- alle andere vervuiling totaal: max . 0.1% (gewicht)- vaste stoffen/deeltjes: Geen CO2 dat niet aan bovenstaande eisen voldoet wordt niet als koudemiddel gezien. |
| **2. Technische maatregelen** |
| Wet- en regelgeving |  | Wet- en regelgeving van toepassing op CO2 installaties:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Grondslag** | **Delegatie** | **Onderdeel** | **Verplichting:** | **Toelichting** |
| Warenwet | Warenwetbesluit drukapparatuur | geheel | Bijna alle koelinstallaties | Eisen betreffende ontwerp, nieuwbouw in gebruik neming, keuringen |
| Arbeids-Omstandig-hedenwet | Arbobeleidsregels | 4.6-6 | 3 kg of meer CO2 | Detectie |

Indien er gebruik wordt gemaakt van een installatie van CO2 en ammoniak gelden/kunnen andere/extra voorschriften en eisen gelden. |
| Algemene functionele en uitvoeringseisen |  | Voor algemene functionele en uitvoeringseisen dient EN 378-1:2016+A1:2020 en PED 97/23/EG (welke in 2014 vervangen is door regeling 2014/68/EU) te raadplegen. |
| Machinekamer |  | Een machinekamer mag niet vrij toegankelijk zijn voor onbevoegden en mag niet gebruikt worden voor andere doeleinden. Afhankelijk van de omvang van de ruimte en de mate van ventilatie wordt vaste of mobiele detectie geëist (type A installatie). Bij een installatie met meer dan 12 kg CO2 (type B installatie) gelden aanvullende eisen vanuit het Arbo besluit. De installatietypering gelden alleen voor CO2. Indien er een combinatie is met NH3 (ammoniak) moeten de hoeveelheden van deze stof mee worden gewogen in het type installatie en dus ook de bijhorende maatregelen.In betreedbare ruimten waar CO2 wordt opgeslagen of toegepast, waaronder begrepen arbeid aan of verwijderen van reservoirs, installaties of andere verpakkingen waarin zich CO2 bevindt, wordt het CO2 gehalte permanent gemeten met een vast opgestelde detector in de volgende situaties:* in ruimten kleiner dan 100 m3 inhoud waar de luchtverversing van de totale inhoud van de ruimte minder dan vier keer per uur bedraagt;
* in ruimten groter dan 100 m3 inhoud waar de luchtverversing van de totale inhoud van de ruimte minder dan twee keer per uur bedraagt**.**

**Detectieapparatuur**. Laag niveau: 9.000 mg/m3Hoogniveau: 50.000 mg/m3laag-niveau: Wettelijke grenswaardeHoog-niveau: AGW (alarmeringsgrenswaarde)EN 378 geeft aan dat er minimaal 1 detector in elke machinekamer moet worden geïnstalleerd. Vanwege het feit dat CO2 zwaarder is dan lucht dient in elke beschouwde verblijfsruimte en/of in de laagste ondergrondse ruimte een detector geplaatst worden. Sensoren en afzuiging worden dus **laag** geplaatst in de ruimte. Indien ventilatie wordt toegepast vindt afzuiging dicht bij de bodem (op ca. 25 cm boven de bodem) plaats.De CO2-sensor moet een alarm activeren:Alarm 1: TGG 15 minuten: 27.500 mg/m3- 30.000 mg/m3(Arbo besluit). Dit betekent dat binnen 15 minuten de ruimte moet worden verlatenAlarm 2: AGW: 50.000 mg/m3- 55.000 mg/m3 (Arbo besluit): ruimte direct verlaten en treedt procedure in werking dat ruimte niet meer kan/mag worden betreden tenzij men gebruik maakt van onafhankelijk ademhalingsapparatuur.Een 02 sensor moet een alarm activeren bij :18 % vol% zuurstof of lager. Ruimte dient direct verlaten te worden |
|  |  | Geadviseerd wordt om ten behoeve van de functionaliteit van de installatie, gebruik te maken van drogers. |
| Montage, vullen en oplevering |  | Een te hoge concentratie CO2 kan zuurstof in de lucht verdringen, waardoor instructies bij montage en vullen van belang zijn. Let hierbij op de volgende zaken:Veiligheidsmaatregelen bij vullen/leegmaken:- eigen gasdetectie ingeschakeld (uitschakelen doorschakeling algemeen alarm)- bevoegde instanties gewaarschuwd, werkopdracht afgetekend/beschikbaar.- Vluchtwegen vrij- Overige personeel is ingelicht- PBM’s beschikbaar - ander veiligheidsmiddelenVolg de procedures van afpersen en vacumeren. Let op dat vulslangen droog en schoon zijn i.v.m. vermenging van water en CO2 in de installatie.Bij eventueel doorblazen van slangen in machinekamer, zorg ervoor dat detectie is ingeschakeld (niet doorschakelen)Zorg voor voldoende ventilatie bij de vloer.Bijvullen/montage/aftappen wordt gedaan door persoon die **deskundig is en in bezit is van de juiste actuele kennis en instructies**. Besteedt aandacht aan het gegeven of onderhoud/service medewerkers CO2 meting bij zich dragen (op borsthoogte). |
|  |  | Geadviseerd wordt om gebruik te maken, indien van toepassing, van eigen slangen voor het bijvullen van CO2. Op deze manier voorkom je mogelijk problemen m.b.t. vervuiling e.d. Zorg te allen tijden dat er duidelijk afspraken bestaan tussen uw organisatie en de organisatie die verantwoordelijk is voor het onderhoud. |
| **3. Organisatorische maatregelen/instructie** |
| Wet- en regelgeving |  |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Grondslag** | **Delegatie** | **Onder-****deel** | **Verplichting:** | **Toelichting:** |
| Wet milieubeheer | activiteitenbesluit | 4.2.2, artikel 4.20 | Alle koelinstallaties met 12 kg of meer natuurlijke koudemiddel | 2-jaarlijkse keuring |
| Arbeids-omstandigheden wet |  | Artikel 3 | Alle koelinstallaties | Algemene zorgplicht inzake gezondheid en veiligheid werknemers |
| Arbeids-omstandigheden wet |  |  |  |  |
|  | Arbo besluit | H3, afd. 1, 2a, 3.5 a t/m 3.5f | Koelinstallaties met CO2 | Maatregelen tegen verstikkingsgevaar |
|  | Arbobesluit | Art. 4.6, lid 1 en 2 | 3 kg of meer CO2 | Voorkomen van verstikking |
|  | Arbobesluit | Art 7.4a | Koelinstallaties die zijn uitgezonderd van het warenwetbesluit | Keuringen |

 |
| Beheer, controle, onderhoud en toezicht |  | Een installatie met meer dan 12 kg CO2 valt onder artikel 4.20 van het activiteitenbesluit. Dit betekent dat de installatie eens per 2 jaar moet worden gekeurd of veilig functioneren, lekkages en energiezuinigheid door een onafhankelijk deskundig persoon. In combinatie met ammoniak kunnen aanvullende eisen gesteld worden. Zie hiervoor de arbobrochure “werken met ammoniak”.De volgende punten dienen te worden gecontroleerd:* + documentatie drukvaten
	+ veiligheidsvoorzieningen en apparatuur
	+ lasverbindingen in overeenstemming met evt. ultrasoon of röntgen.
	+ leidingen met koudemiddel
	+ documentatie in lijn ligging van open compressoren, pompen, ventilatoren e.d. met hun aandrijving
	+ rapport van de dichtheidsbeproeving van koelsysteem
	+ visuele inspectie van koelsysteem
	+ controle van de merken

Zorg ervoor dat controles opgenomen worden in het logboek van de installatie |
| M.b.t. de opslag van CO2, houders onder druk, de wettelijke richtlijnen van de PGS 15 volgen. |
|  |  | Geadviseerd wordt om bij CO2 opslag , een automatische melding te genereren indien er een bepaalde ondergrens wordt overschreden. Overleg met uw fabrikant/onderhoudsmonteur wat voor u de meest geschikte ondergrens zou moeten zijn. |
|  |  | Zorg bij ruimten waarin CO2 kan vrijkomen voor gevarensignalering (verstikking) op deuren. Verstikkingsgevaar (bordje) Co2 Gevaar (bordje) |
|  |  | Geadviseerd wordt om op afgesproken en relevante plaatsen een zuurstofmasker te plaatsen, mocht zich de situatie voordoen dat er door een calamiteit de ruimte moet worden betreden. Tevens kan een zuurstofmasker aanwezig zijn bij de technische dienst/monteur eigen beheer. |
|  |  | Geadviseerd wordt om een protocol op te nemen welke de procedures weergeeft die tijdens controle van de installatie van toepassing zijn |
|  |  | Geadviseerd wordt om een duidelijke instructie te maken, waarin is opgenomen wat de gevaren/risico’s zijn van werken met CO2 en/of werken in ruimtes waar gekoeld wordt met CO2. Neemt contact op met je installateur/fabrikant om de voor u specifieke situatie en dus risico’s zo nauwkeurig mogelijk in kaart te brengen |
| Detectiesysteem |  | Stationaire detectie:Detectiesystemen dienen te zijn voorzien van CE-markering.De wet voorziet nog geen verplichtingen in de wettelijke termijnen met betrekking tot de keuring van CO2 detectiesystemen. Arbowetgeving geeft aan dat de goede werking van de detectoren is gewaarborgd door middel van periodiek onderhoud en deskundige controle. (dit is niet van toepassing bij installaties bij minder dan 3kg CO2)Als een stationaire meting redelijkerwijs niet uitvoerbaar is wordt voordat de ruimte wordt betreden alsmede tijdens het verblijf in die ruimte het CO2 gehalte gemeten met een draagbare detector |
|  |  | Geadviseerd wordt om bij gebrek aan wetgeving terug te grijpen naar de normen en procedures die de fabrikant hanteert.Geadviseerd wordt om het detectiesysteem minimaal 1 maal per half jaar te controleren op meetnauwkeurigheid en alarmniveau in ruimtes waar met regelmaat menselijke handelingen plaatvinden De controle dient uitgevoerd worden door een erkende partij (fabrikant, leverancier, installateur, ijk- of controle-instituut).Bij keuring van CO2 detectiesystemen in andere ruimten (afhankelijk van activiteiten, grootte, type product e.d.) wordt geadviseerd om dit af te stemmen met de samenwerkende partij.Tussentijds, afhankelijk of onderhoud extern of intern is geregeld, met behulp van checklist controleren. |
| Algemene instructie + richtlijnen bij calamiteiten |  | Algemene instructie + richtlijnen bij calamiteiten. Let hierbij op de volgende aspecten:In slecht geventileerde of afgesloten ruimtes, een op een luchtleiding aangesloten ademhalingsinstallatie of een onafhankelijk beademingsapparaat gebruikenOmdat CO2 zwaarder is dan lucht, zullen de hoogste concentraties CO2 zich altijd op de meest laag gelegen plekken bevinden. Let dus op wanneer personen werkzaam zijn aan vloerdelen of onder de lekkageplaats gelegen ruimten (putten, kelders)CO2 wordt vast als de druk onder 5,2 bar daalt. Indien er een lekkage is zal deze tijdelijk dicht lijken, terwijl bij hogere druk er weer CO2 kan worden afgeblazen. |
|  | Omdat de wet- en regelgeving betreffende CO2 verre van volledig is, is het noodzakelijk om in overleg te treden met bevoegd gezag en navraag te doen bij de desbetreffende hulpinstanties (in het bijzonder de brandweer) over de gebruikte instructies betreffende een mogelijke calamiteit in uw organisatie. |
| **4. PBM** |
| Voorkomen persoonlijk letsel (PBM) |  | Bij het werken aan een installatie met CO2 dient de monteur een persoonlijk gasmeetapparraat te dragen.De volgende locaties leveren extra gevaar op:- besloten ruimten;- belemmerde vluchtroutes;- kruipruimtes- Tussenplafonds.Zorg voor extra veiligheidsmaatregelen, zoals een vluchtmasker met zuurstof, in bovenstaande situaties.CO2 kan reageren met verschillende metaalpoeders en sterke basen en alkalimetalen. Bovendien kan het bij hoge temperatuur heftig reageren met ammoniak en diverse aminen. Als je werkt met CO2 onder druk zorg dan voor de volgende PBM’s:* + Ventilatie
	+ Ruimtelijke afzuiging
	+ plaatselijke afzuiging
	+ onafhankelijke adembescherming (onder geen beding filterbus)
	+ Koude isolerende handschoenen
	+ gelaatscherm met veiligheidsbril
	+ oogbescherming in combinatie met adembescherming
 |
| Gezondheid en grenswaarden |  | * VRW (voorlichtingsgrenswaarde): n.v.t
* AGW (alarmeringsgrenswaarde): 50.000 mg/m3
* LBW (levensbedreigende waarde) : 100.000 mg/m3

Bij contact met de huid:In koud water onderdompelen/nat verband aanbrengen.In geval van bevriezing: met water sproeien gedurende minstens 15 minuten. Breng een steriel verband aan. Behandel als brandwonden. Zorg voor medische hulpBij contact met de ogen:Voorzichtig afspoelen met water gedurende een aantal minuten; contactlenzen verwijderen, indien mogelijk; blijven spoelenAls de stof in de ogen komt, onmiddellijk gedurende minstens 15 minuten met veel water uitspoelen. De ogen grondig spoelen terwijl de oogleden omhooggetrokken zijnNa inademing: bij ademhalingsmoeilijkheden in de frisse lucht brengen en laten rusten in een houding die het ademen vergemakkelijkt. Kan verstikking veroorzaken in hoge concentraties. Symptomen kunnen zijn: verlies van de mogelijkheid tot bewegen of bewusteloosheid. Het slachtoffer is zich niet bewust van de verstikking. Waarschuw een arts. Pas kunstmatige beademing toe zodra de ademhaling ophoudt Lage concentraties CO2 veroorzaken versnelde ademhaling en hoofdpijn.>> vervolg op volgende pagina >>Effecten CO2 op menselijk organisme:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **CO2** | **O2** | **N2** | **Invloed op het menselijk organisme** |
| 0,04 | 21 | 79 | Het natuurlijke aandeel in de lucht |
| 0,5 | 20,9 | 78,6 | 5000 ppm= MAC-waarde |
| Tot 2,5 | 20,5 | 77 | Toename van het ademvolume 50 tot 100% |
| 2,5-4 | 20,5-20,2 | 77-75,8 | Versterkte en verdiepte ademhaling. Na 30 tot 60 minuten blootstelling: hoofdpijn, hartkloppingen, verhoging van de polsslag, opwinding, duizeligheid en neiging tot flauwte |
| 4-7 | 20,2-19,5 | 75,8-73,5 | Toename van het ademvolume tot 300%. Vergiftigingsverschijnselen na 30 min. Hoofdpijn, duizeligheid, zweten |
| 7-10 | 19,5-18,9 | 73,5-71,1 | Ernstige ademnood; bewusteloosheid treedt snel in. Overlading van het bloed door CO2, met dodelijke afloop binnen 4 uur. |
| 10-20 | 18,9-16,8 | 71,1-63,2 | Verlamming van levensbelangrijke centra binnen seconden |
| >20 | <16,8 | <63,2 | Snel intredende dood. |

 |