



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Om (adem)lucht verleggen

Een verkennend onderzoek naar
verstikkingsgevaar op de werkplek in Nederland

Om (adem)lucht verleggen

Een verkennend onderzoek naar verstikkingsgevaar op de werkplek in Nederland

RIVM-rapport 2025-0166

Colofon

© RIVM 2026

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

DOI 10.21945/RIVM-2025-0166

M.P.N. Spruijt (auteur), RIVM
D.L.J. Bozuwa (auteur), RIVM
H.J. Manuel (auteur), RIVM
S.P. Verkleij (auteur), RIVM

Contact:
Mark Spruijt
Veiligheid\Omgevingsveiligheid
mark.spruijt@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid in het kader van Z/110080/25/SB

Dit is een uitgave van:
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Om (adem)lucht verlegen

Een verkennend onderzoek naar verstikkingsgevaar op de werkplek in Nederland

Een van de verraderlijkste ongevallen op de werkplek is verstikking. Ook door de grote gevolgen: mensen kunnen erdoor sterven of er blijvende schade aan overhouden, bijvoorbeeld aan de hersenen. Het RIVM onderzocht waar en in welke situaties er verstikkingsgevaar is, en hoe vaak dat in de afgelopen twintig jaar in Nederland is opgetreden. Het RIVM deed dat voor het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW).

Dodelijke ongevallen op het werk door verstikking komen weinig voor: ze betreffen ongeveer 1 procent van alle dodelijke arbeidsongevallen. Als vergelijking: een derde van de dodelijke ongevallen op het werk komt door vallen. Maar de kans om in een verstikkende situatie te overlijden, is erg groot. Dat kan binnen een paar minuten gebeuren, tenzij iemand in de omgeving meteen ingrijpt. Bijvoorbeeld door het slachtoffer te reanimeren of simpelweg in de frisse lucht te zetten. Daar komt bij dat reddingsacties zelf gevaarlijk kunnen zijn: in een kwart van de gevallen wordt een collega die te hulp schiet zelf ook slachtoffer.

De oorzaken en werksituaties van ongevallen door verstikking zijn heel verschillend. Ze komen niet alleen voor in de industrie waar met gevaarlijke stoffen wordt gewerkt, maar ook in bedrijfstakken en situaties die niet voor de hand liggen. Zoals in een ruimte overvallen worden door een gebrek aan zuurstof. Deze situaties kunnen onder andere ontstaan in de veehouderij als de zuurstof boven in een mestkelder is verdwenen. Of bij de zuurstofvrije verwerking, verpakking en opslag van fruit of voedsel, om bederf uit te stellen.

Brancheorganisaties en bedrijven zijn zich bewust van het gevaar van verstikking en geven daar aandacht aan. Zoals in de verplichte organisatie van werkprocessen om arbeidsrisico's te voorkomen (Risico-Inventarisatie en Evaluatie).

Toch blijven ongevallen door verstikking gebeuren. Het RIVM raadt daarom aan om werkenden alert te houden en bewust te maken van mogelijke gevaren. Bijvoorbeeld door per sector aandacht te blijven vragen voor gevaarlijke situaties, zoals bij boerenbedrijven in de weken dat mest over het land wordt uitgereden. Ten slotte zijn er instructies nodig om bij een reddingsactie ook zelf veilig te kunnen handelen.

Kernwoorden: verstikkingsgevaar, besloten ruimte, zuurstofgebrek, gevaarlijke stoffen, arbeidsrisico, arbo

Synopsis

Gasping for air

Asphyxiation hazards at work

Asphyxiation is one of the most insidious occupational hazards. That's partly due to the potential for serious consequences, including death and lasting effects such as brain damage. The National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) has investigated where and under which circumstances asphyxiation is a risk and how many incidents have occurred in the Netherlands in the past twenty years. It did so at the behest of the Dutch Ministry of Social Affairs and Employment.

Workplace deaths due to asphyxiation are rare, accounting for approximately 1 percent of all fatal occupational accidents. For comparison, falls are responsible for about one third of these fatalities. Still, the chance not to survive is very high in situations involving asphyxiation. It can happen in minutes if no-one is nearby to take immediate action, for example by resuscitating the victim or, if in time, simply by moving them into fresh air. Rescue can also be hazardous, with a quarter of attempts resulting in would-be rescuers ending up as victims themselves.

The causes and circumstances surrounding asphyxiation at work are highly diverse. Besides hazardous substances in industrial environments, there are less obvious dangers as well. Oxygen deficiency in confined spaces is one possibility. This can happen in livestock farming, for example, where the gases released by a manure pit can result in an oxygen-deficient environment. Gaseous preservatives used in the processing, packaging, and storage of fresh fruit or other foods can also be dangerous.

Trade associations and businesses are aware of these hazards and take them into account. For example, they are included in mandatory hazard identification and risk assessment (HIRA) procedures as part of occupational health and safety management.

Despite these precautions, incidents continue to occur. The National Institute for Public Health and the Environment therefore recommends ensuring that workers are made aware of potential hazards and encouraging continued vigilance. Industry-specific campaigns could also be used to raise awareness of the hazards at appropriate times, in the weeks when farmers are spreading fertiliser for example. Last, instructions should be provided to ensure that rescuers stay safe themselves.

Keywords: asphyxiation hazard, confined space, oxygen deficiency, hazardous substances, occupational hazards, HSE, OSHA

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1 Inleiding — 11

- 1.1 Algemeen — 11
- 1.2 Definitie verstikkingsgevaar — 11
- 1.3 Wet- en regelgeving — 12
- 1.4 Leeswijzer — 13

2 Methode — 15

3 Dataverzameling — 19

- 3.1 Literatuuronderzoek — 19
 - 3.1.1 Scopus — 19
 - 3.1.2 Websites — 20
- 3.2 Databases — 20
 - 3.2.1 Storybuilder — 20
 - 3.2.2 Storybuilder-MHC — 21
 - 3.2.3 MLvO (Monitor Leren van Ongevallen) — 22
 - 3.2.4 CBS — 23
 - 3.2.5 ARIA — 23
 - 3.2.6 Eurostat — 24
 - 3.2.7 HSE (Health and Safety Executive) — 24
 - 3.2.8 US-BLS (U.S. Bureau of Labor Statistics) — 24
 - 3.2.9 Samenvatting incidentfactoren — 25

4 Incidenten — 27

- 4.1 Fruitteelt/ULO-cellen — 27
- 4.2 Veeteelt/mestkelders — 28
- 4.3 Scheepvaart/scheepsruimen — 30
- 4.4 Industrie/besloten ruimtes — 32
- 4.5 Lassen — 33
- 4.6 Duiken en activiteiten met adembescherming — 34
- 4.7 Andere sectoren en activiteiten — 35

5 Discussie en conclusies — 39

Literatuur — 43

Verklarende woordenlijst — 47

Afkortingenlijst — 49

Samenvatting

Achtergrond

Het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW) heeft het RIVM gevraagd om inzicht te verschaffen in waar verstikkingsgevaar kan voorkomen, wat mogelijke oorzaken zijn en wat de omvang van het gevaar is. Over arbeidsongevallen wordt op verschillende manieren en plekken informatie verzameld, en informatie over verstikkingsgevaar is niet overal makkelijk te achterhalen. Om aan de vraag van SZW te voldoen, hebben we onderzoek uitgevoerd aan de hand van de volgende twee onderzoeksvragen:

1. Wat is de omvang van verstikkingsgevaar (ten opzichte van andere ongevalstypen) in Nederland?
2. Wat is er bekend over ongevallen met verstikkingsgevaar, wat zijn de oorzaken en wat kunnen we hieruit leren?

Methode

Bij het beantwoorden van de vragen hebben we gekeken naar alle soorten bedrijven waar verstikkingsgevaar een rol kan spelen. We hebben daarbij zoveel mogelijk recente data gezocht, tot maximaal twintig jaar terug. Waar nodig is recente informatie voorzien van extra context met oudere gegevens.

Om vraag 1 te kunnen beantwoorden, hebben we gezocht naar informatie over aantallen ongevallen van alle ongevalstypen en ongevallen met verstikking. Ook is gezocht naar informatie over de populaties werknemers waarbinnen deze incidenten plaatsvinden om een onderlinge vergelijking te kunnen maken. Hierbij hebben we gebruik gemaakt van cijfers die we tegenkwamen in artikelen, op websites (van media en onderzoeksinstituten) en databases. Hierbij is niet alleen in Nederland gezocht maar ook in enkele landen met min of meer vergelijkbare werkomstandigheden (Verenigd Koninkrijk, Australië, Verenigde Staten, Frankrijk en andere EU-landen). Het betreft dus incidenten in de genoemde landen, waarbij de informatie relatief makkelijk te achterhalen was. Hiermee zijn de cijfers in Nederland in perspectief te plaatsen. Tot slot hebben we incidentfactoren met elkaar vergeleken. Een incidentfactor wordt berekend door het aantal incidenten per jaar te delen door 100.000 werknemers. We hebben ons gericht op dodelijke slachtoffers omdat er minder informatie te vinden is over ongevallen met niet-dodelijk letsel. Ongevallen met niet-dodelijk letsel laten zich ook moeilijker vergelijken vanwege verschillen in definities van niet-dodelijk letsel.

Om vraag 2 te beantwoorden, is gezocht naar beschrijvingen van ongevallen met verstikkingsgevaar. Hierbij hebben we gebruik gemaakt van literatuur en websites en gesproken met een aantal vertegenwoordigers van sectoren waar activiteiten voorkomen waarbij verstikkingsgevaar te verwachten is. Ook hierbij bleken er met name dodelijke ongevallen te worden beschreven. Deze beschrijvingen zijn gebruikt om informatie te achterhalen over mogelijke oorzaken en om te achterhalen hoe een en ander in de praktijk geregeld is. De

ongevalsbeschrijvingen zijn ingedeeld per sector of activiteit. Dit leverde een niet-uitputtende lijst op met ongevallen bij fruitteelt, veeteelt, scheepvaart, 'industrie', lassen en duiken.

Conclusies

Uit de achterhaalde incidentfactoren blijkt dat grofweg één op de honderd dodelijke slachtoffers op de werkvloer door verstikking om het leven komt. Getalsmatig ligt dit flink lager dan bij het meest voorkomende ongevalstype: vallen. Van alle dodelijke slachtoffers wordt ongeveer een derde veroorzaakt door valincidenten. Het percentage incidenten met een dodelijke afloop bij verstikking ligt wel hoger dan gemiddeld voor alle ongevalstypen bij elkaar. Dit is een opmerkelijk gegeven. Het percentage wordt mogelijk beïnvloed als de niet fatale incidenten met verstikking minder snel worden gemeld. De effecten van verstikking zijn al snel ofwel dodelijk ofwel kunnen verdwijnen als het slachtoffer snel in de frisse lucht wordt gezet of wordt gereanimeerd. De dodelijke gevallen worden dan mogelijk eerder gemeld dan de gevallen waarbij de effecten snel verdwijnen, zodat er mogelijk een relatief hoog percentage met dodelijke afloop wordt waargenomen. Blijvend letsel na een verstikkingsongeval is overigens niet ondenkbaar.

Hoewel er dus voor verstikking een kleinere incidentfactor lijkt te zijn, blijven incidenten door de jaren heen hardnekkig voorkomen en lijkt het percentage dodelijke slachtoffers hoger te zijn dan gemiddeld. Dit gegeven is een goede reden om te blijven monitoren, alertheid te betrachten, en de aard en omvang van verstikking in de loop van de tijd niet uit het oog te verliezen.

Incidenten komen voor in veel verschillende sectoren. Zowel bij traditionele sectoren waar veel in besloten ruimtes wordt gewerkt ('industrie', scheepvaart, duiken) als waar dat minder het geval is (veeteelt, lassen, fruitteelt). Ondanks verschillen in sectoren worden overal protocollen geschreven of herschreven, al dan niet naar aanleiding van opgetreden incidenten. Echter ook met dit inzicht komen in de loop van de tijd dus nog steeds ongevallen voor. Alsnog vergeet men mogelijk zowel in de organisatie van werk als in de daadwerkelijke uitvoering van werkzaamheden zaken. Mogelijk omdat ongevallen met verstikkingsgevaar weinig voorkomen en het ontbreken van zuurstof een 'onzichtbaar gevaar' is. De kans op mede-slachtoffers door reddingspogingen is aanzienlijk. Mensen hebben van nature direct de neiging te gaan helpen als ze iemand buiten bewustzijn aantreffen. Interventies of maatregelen kunnen zich hierop richten.

Het rapport geeft enkele aanbevelingen voor vervolgonderzoek:

- Onderzoek of er manieren zijn om gewenst veilig gedrag in risicosectoren te stimuleren.
- Onderzoek of gerichte en tijdige informatieverspreiding over verstikkingsgevaar mogelijk en effectief is.
- Ga na hoe het werken volgens de arbeidshygiënische strategie verder verbeterd en geborgd kan worden.
- Evalueer in hoeverre leren van ongevallen en kennisdeling in de praktijk zijn opgepakt en versterkt kunnen worden.

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Primair ligt de verantwoordelijkheid voor veilig werken bij werkgevers. Werknemers (bijvoorbeeld werkenden in loondienst of uitzendkrachten) en zelfstandigen zonder personeel (zzp'ers) worden geacht om hiertoe ook inspanningen te leveren en verantwoordelijkheid te dragen. Het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW) faciliteert het veilig werken in een ondersteunende rol en heeft in de 'Arbovisie 2040' als missie uitgesproken: 'Elke dode of zieke door werk is er één te veel ('zero death')' [1].

Ernstige arbeidsongevallen zijn meldingsplichtig volgens artikel 9 van de Arbeidsomstandighedenwet (hierna: Arbowet). Een ernstig arbeidsongeval is een ongeval met dodelijke afloop, resulterend in een ziekenhuisopname of in blijvend letsel. Wanneer er in een organisatie een arbeidsongeval heeft plaatsgevonden, vraagt de Arbeidsinspectie aan de werkgever dit ongeval te onderzoeken en hierover te rapporteren (GAO: Gedifferentieerde Aanpak Ongevalsonderzoek). In uitzonderingsgevallen kan de Arbeidsinspectie besluiten zelf onderzoek te doen. Bijvoorbeeld wanneer er sprake is van een dodelijk ongeval of een ongeval met een kind (15 jaar en jonger) of jeugdige (16- en 17-jarigen).

Jaarlijks verschijnt de Monitor Arbeidsongevallen, waarin per categorie de opgetreden arbeidsongevallen worden gerapporteerd. Daarnaast worden de gesignaleerde trends benoemd en geanalyseerd. Desondanks is het lastig om uit deze verzameling ongevalsdata het risico op verstikking te destilleren. SZW wil graag meer inzicht hierin en heeft het RIVM gevraagd dit te onderzoeken. Om inzicht te verschaffen waar verstikkingsgevaar kan voorkomen, wat mogelijke oorzaken zijn en wat de omvang van het gevaar is, hebben we de volgende twee onderzoeksvragen geformuleerd:

1. Wat is de omvang van verstikkingsgevaar (ten opzichte van andere ongevalstypen) in Nederland?
2. Wat is er bekend over ongevallen met verstikkingsgevaar, wat zijn de oorzaken en wat kunnen we hieruit leren?

1.2 Definitie verstikkingsgevaar

Volgens het Arbeidsomstandighedenbesluit (hierna: Arbobesluit) is er sprake van verstikkingsgevaar wanneer er onvoldoende zuurstof in de atmosfeer aanwezig is. Dit is het geval zodra het zuurstofgehalte in de atmosfeer minder dan 18 volumeprocent bedraagt (Arbobesluit, 2025, artikel 3.5g). Dit is dan ook de definitie die we voor deze verkenning hanteren. Verstikkingsgevaar kan bijvoorbeeld ontstaan als gevolg van chemische reacties, biologische (zuurstof consumerende) reacties en het gebruik van inerte gassen.

Naast verstikkingsgevaar zijn er andere risico's verbonden aan een onveilige atmosfeer in een besloten ruimte, zoals de aanwezigheid van giftige of brandbare gassen. Formeel, volgens de strikt gehanteerde

definitie van verstikkingsgevaar, vallen deze andere risico's en daaraan verbonden ongevallen buiten de scope van ons onderzoek. In dit project wordt dus over verstikkingsgevaar gesproken wanneer een atmosfeer minder dan 18% zuurstof bevat, ongeacht de oorzaak daarvan. Dit neemt niet weg dat de scheidslijn tussen een verstikking en een vergiftiging in specifieke gevallen moeilijk te trekken is. Enkele van deze combinaties zijn mogelijk exemplarisch, en worden daarom alsnog meegenomen.

Omdat verstikkingsgevaar bij allerlei typen bedrijven kan voorkomen, worden in dit onderzoek alle branches meegenomen en niet alleen bedrijven waar met gevaarlijke stoffen wordt gewerkt.

1.3 Wet- en regelgeving

Er is regelgeving om verstikkingsgevaar te voorkomen. Arbowet, -besluit en -regeling geven aan welke maatregelen moeten worden genomen.

De Arbowet stelt dat arbeid zo georganiseerd moet worden dat er geen nadelige invloed bestaat op de veiligheid en gezondheid van de werknemer en dat bestaande risico's zoveel als mogelijk bij de bron worden voorkomen. Wanneer dit niet of onvoldoende mogelijk is, dienen passende maatregelen getroffen te worden om de veiligheid en gezondheid van werknemers te beschermen. Deze maatregelen gelden ook voor het werken in een gevaarlijke atmosfeer.

Het Arbobesluit beschrijft een aantal concretere regels en richtlijnen die invulling geven aan de Arbowet over bijvoorbeeld de inrichting van arbeidsplaatsen, gevaarlijke stoffen en fysieke belasting. Het Arbobesluit stelt dat werknemers alleen in een ruimte mogen werken als onderzoek heeft uitgewezen dat er geen gevaar is voor verstikking, bedwelming, vergiftiging, brand of explosie. Als dat gevaar er wel is, moeten er eerst doeltreffende maatregelen worden genomen om veilig werken mogelijk te maken. Ruimtes waar sprake is van mogelijk verstikkingsgevaar vallen hieronder.

In de Arboregeling wordt een verdere uitwerking van het Arbobesluit gegeven met gedetailleerde voorschriften, zoals de eisen waar arbeidsmiddelen aan moeten voldoen.

Het hierboven beschreven kader is algemeen geformuleerd en is zowel bindend als richtinggevend. Werkgevers hebben in ieder geval de verplichting om een veilige werkplek aan te bieden, afdoende maatregelen te nemen en te werken aan bewustwording onder werknemers. De werknemers dienen inzicht te krijgen in de risico's die aan het werk zijn verbonden. Per branche kan meestal ook worden teruggevallen op de Risico-inventarisatie en -evaluatie (RI&E) en een eventuele Arbocatalogus.

1.4 Leeswijzer

Het voorliggende rapport gaat in op verstikkingsgevaar op de werkplek: waar komt het voor, in welke mate komt het voor en wat zijn mogelijke oorzaken?

Hoofdstuk 2 beschrijft de methode die we gebruikt hebben om informatie te vinden. We hebben gekeken in wetenschappelijk literatuur, grijze literatuur (websites van branches, kranten, openbaar ministerie, etc.) en databases, en we hebben informatie verzameld in enkele gesprekken met externe contacten. Hoofdstuk 3 geeft de resultaten uit de literatuur en databases. In hoofdstuk 4 vindt de lezer een beschrijving van de incidenten die we hebben gevonden, ingedeeld per categorie of sector.

Ten slotte geven we in hoofdstuk 5 onze conclusies en aanbevelingen.

2 Methode

Het voorliggende onderzoek heeft een verkennend karakter. In het onderzoek hebben we gezocht naar informatie die relatief makkelijk te ontsluiten was via literatuur (wetenschappelijke en grijze, zoals uitspraken van de rechtbank en krantenberichten¹), databases en enkele contacten in het veld. Hierbij is voornamelijk getracht een goed overzicht te maken om te bezien of er in een eventueel vervolgonderzoek een verdere verdiepingsslag (bijvoorbeeld met meer contacten in het veld) gemaakt kan worden.

Bij het beantwoorden van beide onderzoeksvragen hebben we het volgende kader gebruikt:

- We hebben gekeken naar alle soorten bedrijven of activiteiten waar verstikkingsgevaar een rol kan spelen en hebben op voorhand geen sectoren of activiteiten uitgesloten.
- We hebben zoveel mogelijk recente data gezocht, tot maximaal twintig jaar terug. Waar nodig is recente informatie voorzien van extra context met oudere gegevens.
- Incidenten vonden voornamelijk plaats in Nederland (of op Nederlandse zeeschepen). Waar nodig is een en ander aangevuld met informatie en incidenten in enkele landen met een enigszins vergelijkbare situatie qua werkomstandigheden. Hiermee zijn cijfers en incidenten in Nederland in perspectief te plaatsen.

Voor het beantwoorden van de twee onderzoeksvragen hebben we verschillende paden bewandeld.

Om vraag 1 te kunnen beantwoorden, is gebruikgemaakt van incidentfactoren. Een incidentfactor wordt berekend door het aantal incidenten per jaar te delen door 100.000 werknemers. We hebben daarvoor informatie gezocht over aantallen incidenten en de populatie werknemers waarbinnen deze incidenten plaatsvinden. Met de incidentfactoren zijn dan op verschillende manieren vergelijkingen te maken, bijvoorbeeld tussen verschillende landen of groepen of op ongevalstype. Voor dit onderzoek wilden we met name kunnen vergelijken op ongevalstype, om de omvang van verstikkingsgevaar ten opzichte van andere ongevalstypen in te kunnen schatten. Om de informatie te vinden, is gebruikgemaakt van cijfers die we tegenkwamen in artikelen, op websites (van media en onderzoeksinstituten) en databases.

In dit rapport wordt telkens de incidentfactor bepaald voor het aantal dodelijke slachtoffers per 100.000 werknemers per jaar ($ds/10^5 wn*j$). We hebben ons gericht op dodelijke slachtoffers omdat er minder informatie te vinden is over ongevallen met niet-dodelijk letsel. Ongevallen met niet-dodelijk letsel laten zich moeilijker vergelijken vanwege verschillen in definities van niet-dodelijk letsel. De gevonden data voor de beantwoording van vraag 1 zijn in hoofdstuk 3 verzameld.

¹ Er is gezocht in webpagina's, niet in fysieke kranten of archieven.

Wetenschappelijke artikelen zijn gezocht met behulp van Scopus, een citatie-database. Zo hebben we gezocht op artikelen die te maken hebben met verstikkingsgevaar in relatie tot werkomstandigheden. De zoektermen die zijn uitgetoetst staan vermeld in Tabel 1.

Tabel 1 Zoektermen voor het vinden van artikelen over verstikkingsgevaar in Scopus.

Zoekterm	Aantal artikelen	Relevantie
Suffocation AND hazard	189	Laag, veelal medisch georiënteerd. Zoekterm daarna ingeperkt, zie volgende regel
(asphyxiation OR oxygen deficiency OR suffocation) AND hazard AND (occupational OR work)	59	Deze combinatie van termen levert een set met een aantal relevante artikelen voor dit rapport op

Om vraag 2 te beantwoorden, hebben we gezocht naar beschrijvingen van ongevallen met verstikkingsgevaar. Hierbij is eerst gebruikgemaakt van literatuur en websites. Naar aanleiding van die gevonden informatie is gesproken met een aantal vertegenwoordigers van sectoren waar verstikkingsgevaar te verwachten is. Soms betrof dit geen 'sector', maar een activiteit waar verstikkingsgevaar te verwachten is, zoals 'duiken'. Hiermee konden we verder ingaan op bepaalde onderwerpen en sectoren. We hebben gesproken met vertegenwoordigers van Rijkswaterstaat (RWS), de frisdrank- en bierindustrie, de vleesverwerkende industrie, de binnenvaart, Stichting Gezondheidszorg Agrarische Sectoren (Stigas), de metaalsector en het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM).

In de gesprekken gaven we aan te zoeken naar informatie over verstikkingsgevaar:

- We vroegen waar verstikkingsgevaar voor kan komen, of er incidenten uit het verleden bekend zijn en of er statistieken bekend zijn waarop we de ernst van verstikkingsgevaar in kunnen schatten.
- We vroegen of er protocollen bekend zijn. Er is bijvoorbeeld voor Ultra Low Oxygen-cellen (ULO-cellen: bewaarcellen voor fruit) een protocol gemaakt. Hierin wordt precies beschreven hoe je moet omgaan met de cellen en welke gevaren er zijn. Protocollen en verbeteringen daarvan vloeien vaak voort uit eerdere ongevallen.

Dit leverde voornamelijk informatie op over incidenten en enkele protocollen, die we in hoofdstuk 4 gebruikt hebben. Een aantal brancheverenigingen en enkele afzonderlijke bedrijven geven aan zich wel bewust te zijn dat er verstikkingsgevaar in hun branche voorkomt. Waar er geen specifiek protocol bestaat, geeft men aan dat het in de arbocatalogi vermeld staat.

Ook in de gesprekken werd gevonden dat met name dodelijke ongevallen worden beschreven. Deze ongevallen zijn gebruikt om informatie te achterhalen over mogelijke oorzaken en wat er in de praktijk geregeld is qua maatregelen. De ongevalsbeschrijvingen zijn ingedeeld per sector of activiteit. Dit leverde een niet-uitputtende lijst op met ongevallen bij fruitteelt, veeteelt, scheepvaart, 'industrie', lassen en duiken.

3 Dataverzameling

3.1 Literatuuronderzoek

3.1.1

Scopus

De zoektocht in Scopus leverde een artikel van Selman et al. op [2]. De auteurs beschrijven dodelijke ongevallen in besloten ruimtes in Australië. In een overzichtstabel geven ze de incidentfactoren voor besloten ruimtes uit bekende bronnen in de literatuur uit Australië, Nieuw-Zeeland, Singapore, Canada en de Verenigde Staten. De definitie van een besloten ruimte varieert van land tot land, zodat de precieze onderlinge vergelijkbaarheid beperkt is.

De berekende incidentfactoren verschillen desondanks niet sterk en komen allemaal uit in een bereik van 0,05-0,08 ds/10^{e5} wn*j. Deze incidentfactoren betreffen alle ongevalstypen in besloten ruimtes, zowel fysieke ongevallen, zoals vallen en bekneld raken, als ongevallen door inademing van giftige gassen of zuurstofgebrek. Voor Singapore en de Verenigde Staten was er ook informatie voorhanden om getallen te herleiden voor besloten ruimtes. De incidentfactoren voor ongevallen in besloten ruimtes door giftige stoffen of zuurstofgebrek bedragen 0,03 (Verenigde Staten) en 0,08 (Singapore) ds/10^{e5} wn*j. De overzichtstabel uit het artikel is gebruikt voor Tabel 3 aan het eind van dit hoofdstuk.

Het artikel van Selman verwijst naar een artikel van Burlet-Vienney et al. [3]. Hierin wordt een incidentfactor afgeleid voor de Canadese provincie Quebec van 0,07 ds/10^{e5} wn*j voor alle incidenten in besloten ruimtes. Het artikel geeft aan dat de categorie 'vergiftiging/verstikking' 27,5% van de incidenten in besloten ruimtes uitmaakt, hetgeen een incidentfactor van 0,02 ds/10^{e5} wn*j voor 'vergiftiging/verstikking' in besloten ruimtes oplevert.

Selman et al. berekenen ook dat maximaal 17% van de dodelijke slachtoffers reddingswerkers of toegesnelde collega's waren. Zij roepen op om extra aandacht te schenken aan preventie als het gaat om besloten ruimtes. Volgens hen (vertaald): *'...overlijden de betreders van besloten ruimtes via verschillende ongevalstypes, zoals de aanwezige atmosfeer (25-62%) of fysieke gevaren als vallen (tot ca. 49%). Dodelijke slachtoffers onder reddingswerkers vallen echter bijna alleen door de aanwezige atmosferen. Redding in een besloten ruimte is een complexe taak en wordt geregeld ondernomen zonder een goede planning of risico-inschatting; dit leidt dan tot onnodige dodelijke slachtoffers...'*

Het literatuuronderzoek leverde verder geen overzichtsartikelen op. Wel zijn enkele artikelen gevonden die een beschrijving geven van incidenten in besloten ruimtes. Deze zijn gebruikt in enkele incidentbeschrijvingen in hoofdstuk 4.

3.1.2 *Websites*

Via zoekmachines op internet is gekeken of er andere informatie te vinden is over incidenten in relatie tot besloten ruimtes. Dit leidde tot de databases die genoemd worden in paragraaf 3.2, tot de contacten die we gebeld hebben of in online meetings gesproken hebben en tot voorbeelden van incidenten, die we in hoofdstuk 4 vermeld hebben.

3.2 **Databases**

3.2.1 *Storybuilder*

Het RIVM verzamelde in samenwerking met de Nederlandse Arbeidsinspectie (NLA) gegevens over ernstige arbeidsongevallen in de Storybuilder-database. De arbeidsongevallen in deze database hebben plaatsgevonden in Nederland in de periode van 1998 tot en met 2014. Het betrof arbeidsongevallen met ernstige gevolgen, die zijn gemeld bij en onderzocht door de NLA. Ze zijn vervolgens geanalyseerd door het RIVM en opgenomen in de Storybuilder-database. Opgemerkt wordt dat niet alle meldingsplichtige ongevallen ook daadwerkelijk gemeld worden bij de NLA. Uit onderzoek van de NLA blijkt dat er sprake is van 50-70% ondermelding. Ook zijn niet alle gemelde arbeidsongevallen opgenomen in Storybuilder (bijvoorbeeld omdat de NLA geen onderzoek instelde). En worden ongevallen niet onderzocht als er geen formele arbeidsrelatie bestaat tussen slachtoffer en werkgever. Zzp'ers komen dus in feite niet voor in de database. Ook komen werkgevers die zelf het slachtoffer zijn niet voor in de database. Berekende incidentfactoren uit deze database zullen dus een onderschatting geven.

De database bevat informatie over verschillende typen ongevallen, zoals vallen van een ladder, contact met bewegende delen van een machine en contact met gevaarlijke stoffen in een besloten ruimte. Van deze typen ongevallen zijn informatiekaarten gemaakt. De kaarten geven informatie over directe oorzaken en gebeurtenissen die voorafgaan aan de ongevallen, alsook over mogelijke maatregelen die de ongevallen hadden kunnen voorkomen en de gevolgen voor de slachtoffers hadden kunnen beperken.

Volgens de informatiekaart over contact met gevaarlijke stoffen in een besloten ruimte is de top drie van zaken waar het mis ging: detectie van een gevaarlijke atmosfeer in de besloten ruimte; voorkoming van schadelijke stoffen in de ruimte en persoonlijke beschermingsmiddelen [4]. Bij deze ongevallen ging het om besloten ruimtes met een potentieel gevaarlijke atmosfeer door de aanwezigheid van giftige of brandbare gassen, of door het ontbreken van voldoende zuurstof. Voor het onderzoek in voorliggend rapport is specifiek gekeken naar de ongevallen waarbij voldoende zuurstof ontbrak. In 31,6% van deze ongevallen in besloten ruimtes speelde dat volgens de informatiekaart een rol. Het betrof dan 25 ongevallen, ca. 0,1% van alle ongevallen in de database. In 17 jaar tijd vielen hierbij 37 slachtoffers, waarvan er 14 kwamen te overlijden².

De gemiddelde overlijdenskans voor alle ongevallen in de database is 4%. De selectie van 14 dodelijke slachtoffers in de 25 gemelde ongevallen waarbij het aan voldoende zuurstof ontbrak (met in totaal 37

² De 37 slachtoffers en 14 dodelijke slachtoffers werden bepaald door nadere analyse van de database.

slachtoffers) zou een flink hogere kans van 38% opleveren. Dit lijkt aan te geven dat deze incidenten al snel een ernstige afloop kunnen hebben. Het is echter goed mogelijk dat dit een flinke overschatting is. De effecten van het ontbreken van zuurstof (tot een bepaald percentage) kunnen snel verdwijnen door frisse lucht in te ademen. Mogelijk worden dus voornamelijk de ernstige ongevallen met fatale afloop gemeld.

In de periode waarin de Storybuilder-database werd gevuld (1998-2014) bedroeg het arbeidsvolume 8,5 miljoen werkenden [5]. De 14 dodelijke slachtoffers leveren dan een incidentfactor op van ca. $0,01 \text{ ds}/10^5 \text{ wn}^* \text{ j}$ voor verstikkingsgevaar. Voor alle ongevallen met 'contact met gevaarlijke stoffen in een besloten ruimte' is de incidentfactor $0,02 \text{ ds}/10^5 \text{ wn}^* \text{ j}$, gebaseerd op 28 dodelijke slachtoffers. Hierbij wordt opgemerkt dat dit onderschattingen zullen zijn, aangezien niet alle gemelde incidenten in Storybuilder zijn opgenomen. Ter vergelijking: volgens de Monitor arbeidsongevallen 2023 kwamen in Nederland tussen 2019 en 2023 gemiddeld 62 werknemers per jaar om [6]. Op een arbeidsvolume van 8,9 miljoen werknemers in die periode levert dit een incidentfactor op van $0,7 \text{ ds}/10^5 \text{ wn}^* \text{ j}$ voor alle ongevallen.

We kunnen het ongevalstype verstikking ook nog vergelijken met het ongevalstype 'vallen'. Storybuilder bevat negen verschillende ongevalstypen met vallen, zoals vallen van een ladder, van het dak, van steigers etc. Volgens de Storybuilder-database wordt 32% van alle slachtoffers en 31% van de dodelijke slachtoffers veroorzaakt door valincidenten. Ruwweg een derde van de dodelijke slachtoffers komt dus voor bij valincidenten, en uitgedrukt in een incidentfactor levert dit een waarde van $0,2 \text{ ds}/10^5 \text{ wn}^* \text{ j}$ op.

3.2.2 *Storybuilder-MHC*

Naast de Storybuilder-database met gegevens over alle arbeidsongevallen bestaat er ook nog een Storybuilder-database met informatie over ongevallen specifiek bij Seveso-inrichtingen. Seveso-inrichtingen zijn bedrijven met grote hoeveelheden gevaarlijke stoffen, die moeten voldoen aan wetgeving onder de omgevingswet. De ongevallen die zijn voorgevallen bij Seveso-inrichtingen worden aangegeven met de code MHCON (Major Hazard Control Ongevallen) in het systeem van de NLA. De NLA hanteert enkele criteria voor onderzoek van MHC-ongevallen. Die betreffen de vraag of de veiligheid van werknemers in het geding kwam of kon komen, of het een mogelijk zwaar ongeval betreft, of er waardevolle lessen zijn te trekken en of er sprake is van politieke/maatschappelijk gevoeligheden. MHC-ongevallen die plaatsvonden tussen 2004 en 2024 en waarover genoeg informatie te vinden was in het systeem van de NLA, zijn in de Storybuilder-MHC-database ingevoerd. Hierover werd tot en met 2024 jaarlijks gerapporteerd aan de Tweede Kamer in het kader van de Staat van de Veiligheid Seveso-inrichtingen [7].

De database bevat informatie over verschillende typen ongevallen, namelijk ongevallen waarbij een gevaarlijke stof vrijkwam, waarbij een brand uitbrak, waarbij een explosie optrad of waarbij mensen in besloten ruimtes iets overkwam. Van de 387 incidenten in de database betroffen 3 ongevallen een 'blootstelling in een insluitsysteem', de term voor 'besloten ruimte' in het model. Daarbij vielen vijf slachtoffers. Twee

kwamen te overlijden, één slachtoffer had 'vermoedelijk niet-permanent letsel' en twee slachtoffers hadden letsel met een onbekende ernst. De twee dodelijke slachtoffers vielen in één ongeval in 2009. De ongevallen worden beschreven in paragraaf 4.4.

3.2.3 MLvO (*Monitor Leren van Ongevallen*)

De MLvO is ontwikkeld om, in opvolging van de Storybuilder-database, informatie over ernstige arbeidsongevallen te verzamelen. De MLvO bestaat uit 36 verschillende vragenlijsten die overeenkomen met de 36 ongevalstypen die in Storybuilder ook worden beschreven. In tegenstelling tot Storybuilder, waarbij een analist op basis van ongevalsrapportages de informatie in de database invoert, vullen arbeidsinspecteurs zelf de vragenlijsten voor de MLvO in voor ieder ongevalsonderzoek dat zij afronden. Dat betekent dat de MLvO-database informatie bevat over alle ernstige arbeidsongevallen die bij de NLA worden gemeld en onderzocht. De MLvO wordt sinds 2020 door arbeidsinspecteurs ingevuld en bevat tot nu toe data tot en met 2023. Voor ieder type ongeval wordt informatie verzameld over de bezigheden van het slachtoffer direct voordat het ongeval plaatsvond, gebeurtenissen die hebben bijgedragen aan het ontstaan van het ongeval en (factoren die invloed hebben op) de gevolgen voor het slachtoffer.

Net als Storybuilder verzamelt de MLvO informatie over ongevallen die ontstaan als gevolg van *Contact met gevaarlijke stoffen in een besloten ruimte*. Echter, sinds de vragenlijst in gebruik is, zijn er slechts negen ongevallen gemeld en onderzocht die onder dit type vallen. Dat betekent dat het zeer beperkt mogelijk is om betekenisvolle analyses te doen op basis van deze dataset en dat het nog niet mogelijk is om daar conclusies aan te verbinden. Daarom hebben we hier ook geen incidentfactoren berekend. Wel is het mogelijk om een korte, globale beschrijving te geven van de informatie die in de dataset is opgenomen.

In totaal vielen bij deze negen ongevallen zestien slachtoffers, wat opvallend hoog is vergeleken met andere ongevalstypen in de database. Bij slechts 1,4% van het totale aantal ongevallen in de database waarvoor voldoende informatie beschikbaar was voor analyse, valt meer dan één slachtoffer. Voor ongevallen in besloten ruimtes is dat ruim 44%. Bij vijf van de negen ongevallen heeft de inspecteur aangegeven dat de atmosfeer waarin de slachtoffers zich bevonden verstikkend was. Voor alle vijf deze ongevallen waarbij verstikking een rol speelde gold dat de besloten ruimte niet of onvoldoende werd geventileerd en dat de zuurstof in de atmosfeer was verdrongen. De manier waarop de atmosfeer gevaarlijk werd kan verschillen. Zo is het mogelijk dat de atmosfeer al gevaarlijk was op het moment dat de slachtoffers de besloten ruimte betraden, maar ook kan het voorkomen dat een stof de ruimte gaandeweg het werk binnenstroomt en zuurstof verdringt.

Voor ieder ongeval is van het slachtoffer met het meest ernstige letsel bekend wat de gevolgen waren. Dat wil dus zeggen dat van de vijf ongevallen waarbij verstikking een rol heeft gespeeld, voor vijf slachtoffers letselinformatie beschikbaar is. Indien er meer slachtoffers betrokken waren is deze informatie voor hen niet bekend. Bij twee van deze ongevallen is het zwaarst getroffen slachtoffer overleden en bij

twee andere ongevallen liepen de slachtoffers vermoedelijk blijvend letsel op.

3.2.4 CBS

De database van Het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS, StatLine) geeft de mogelijkheid om over de afgelopen tien jaar (jaarlijks, in de periode 2013 t/m 2024) te selecteren op het aantal arbeidsongevallen met meer dan vier dagen verzuim [5]. Algemene data kunnen gezocht worden met de zoekterm 'ongevallen werk'. Hieruit blijkt dat er jaarlijks gemiddeld 13.000 ongevallen van alle ongevalstypen op de werkplek plaatsvinden met meer dan vier dagen verzuim.

De zoekterm 'dodelijke bedrijfsongevallen' levert een tabel 'doodsoorzaken, niet-natuurlijke dood (inwoners), div. kenmerken, 1996-2011' op. Dit betreft personen die zijn overleden door een niet-natuurlijke dood: zelfdoding, moord, verkeers-/bedrijfs-/privé-ongevallen en overig/onbekend. Recentere getallen zijn niet bekend, maar de tabel biedt wel inzicht in de bedrijfstakken waar fatale bedrijfsongevallen plaatsvonden. Een nadere specificatie naar 'verstikking' als doodsoorzaak kan niet worden gemaakt. Gemiddeld over 1996-2011 kwamen er jaarlijks tussen de 0,4 en 0,5 dodelijke ongevallen per 100.000 inwoners voor.

Onder de zoekterm 'verstikking' levert StatLine onder meer de tabel 'Fysieke Arbeidsbelasting Werknemers'. De tabel geeft over de periode 2018-2024 het percentage werknemers dat na bevraging aangeeft vaak of altijd gevaarlijk werk te moeten doen waarbij verstikking kan voorkomen. Gemiddeld geeft 0,5% van de ondervraagden aan dat ze vaak werk doen waar verstikkingsgevaar voor kan komen. Enkele bedrijfstakken scoren hoger dan het gemiddelde: delfstoffenwinning (1,8%), industrie (1,0%), energievoorziening (2,1%), waterbedrijven en afvalbeheer (1,1%), bouwnijverheid (1,1%) en vervoer en opslag (0,8%). 'Landbouw, Bosbouw en Visserij' scoort met 0,3% lager dan het gemiddelde.

3.2.5 ARIA

Het Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles (BARPI), het Franse bureau voor analyse van industriële risico's en verontreinigingen, verzamelt industriële en technologische ongevalsgegevens in een database [8]. Deze database, getiteld Analyse, Recherche et Information sur les Accidents (ARIA) heeft als doel om te leren van ongevallen. De website vermeldt dat de database niet volledig is. BARPI beschikt over een eigen team ongevalsonderzoekers die zelf op zoek gaan en die ook externe informatie ontvangen over ongevallen waar geen meldingsplicht voor bestaat. Daarnaast bevat het niet alleen ongevallen waarbij mensen zijn betrokken, maar ook ongevallen waarbij dieren zijn overleden of de omgeving is verontreinigd.

Er is gezocht naar ongevallen in de afgelopen twintig jaar, met de termen 'suffocation' of 'asphyxie' en er is gezocht naar ongevallen met stikstof of CO₂ waarbij mensen zijn overleden of zwaargewond zijn geraakt. Hierbij zijn negentien verschillende ongevallen gevonden. Aangezien er in de afgelopen 20 jaar 34.663 ongevallen in ARIA zijn geregistreerd, betreft verstikking 0,06% van alle ongevallen.

Van de negentien ongevallen hebben de meeste in Frankrijk plaatsgevonden, namelijk dertien. Dit is enigszins voor de hand liggend omdat BARPI een Franse organisatie is. Daarnaast vermeldt ARIA nog drie ongevallen in andere EU-lidstaten en drie ongevallen buiten Europa. Tabel 2 laat zien in welke sector deze ongevallen hebben plaatsgevonden. Relevante incidenten zijn beschreven in hoofdstuk 4.

Tabel 2 Aantal ongevallen in de ARIA database met dodelijke of zwaargewonde slachtoffers per categorie.

ARIA Categorie	Aantal ongevallen
Veeteelt	3
Industrie/besloten ruimtes	6
Brandweer	3
Voedingsmiddelenindustrie	3
Afvalverwerking	3
Lassen	1

3.2.6 Eurostat

De Europese Unie (EU) verzamelt data over ongevallen op het werk via de European Statistics on Accidents at Work (ESAW) structuur [9]. Per EU-lidstaat worden incidentfactoren bepaald voor dodelijke en niet-dodelijke slachtoffers, per industriesector en type verwonding.

Voor de EU wordt een gemiddelde incidentfactor gegeven van 1,7 ds/10^{e5} wn*j voor alle ongevalstypen [10]. Er wordt geen incidentfactor voor zuurstofgebrek gegeven, maar wel het percentage incidenten met 'verdrinking en verstikking' van dodelijke en niet-dodelijke slachtoffers tezamen: 0,029% van alle ongevallen. Dat zou dan tot een incidentfactor van 0,05 ds/10^{e5} wn*j leiden.

3.2.7 HSE (Health and Safety Executive)

In het Verenigd Koninkrijk houdt de Health and Safety Executive (HSE) het aantal dodelijke slachtoffers onder werkenden bij [11]. De HSE maakt daarbij onderscheid tussen werknemers en zzp'ers.

De incidentfactor in 2024 is 0,4 ds/10^{e5} wn*j en voor zzp'ers 1,0 ds/10^{e5} wn*j³. De data worden ook uitgesplitst naar ongevalstype. De categorie 'Verdrinking of verstikking' geeft daarbij vijf dodelijke slachtoffers onder werknemers gedurende vijf jaar (2020-2024). Dit zou een incidentfactor van ca. 0,04 ds/10^{e5} wn*j opleveren. Deze data hebben betrekking op een relatief korte reeks van vijf jaar en de twee jaren van de Coronapandemie kunnen de getallen mogelijk wat meer beïnvloeden dan bij de andere gevonden databases. Gezien het lage aantal ongevallen en het geringe aantal jaren is het getal vooral indicatief van aard en er kan geen onderscheid worden gemaakt tussen verdrinking en verstikking.

3.2.8 US-BLS (U.S. Bureau of Labor Statistics)

In de Verenigde Staten registreert het U.S. Bureau of Labor Statistics (US-BLS) aantallen dodelijke slachtoffers in besloten ruimtes [12]. In de periode 2011-2018 telden ze gemiddeld 128 dodelijke slachtoffers per jaar in besloten ruimtes voor alle ongevalstypen, dus ook slachtoffers

³ Hier betekent wn (werknemers) dan zzp'ers en is dit dus 1 dodelijk slachtoffer per 100.000 zzp'ers per jaar.

door bijvoorbeeld vallen, bedolven worden, branden en elektrocutie. In deze periode werden 39 gevallen als gevolg van zuurstofgebrek gemeld. Ter vergelijking werden 126 gevallen van inademing van gevaarlijke stoffen gemeld, waaronder zwavelwaterstof (38 gevallen), koolmonoxide (23), methaan (10), rioolgassen (6), en oplosmiddelen en ontvettingsmiddelen (5).

Het aantal werknemers volgens een survey uit 2017 is 135 miljoen werkenden [13]. De berekende incidentfactor wordt dan $0,003 \text{ ds}/10^5 \text{ wn}^* \text{ j}$ voor zuurstofgebrek. Voor alle ongevalstypen in besloten ruimtes tezamen is de incidentfactor $0,1 \text{ ds}/10^5 \text{ wn}^* \text{ j}$. En voor ongevallen door gevaarlijke stoffen of zuurstofgebrek is de incidentfactor $0,02 \text{ ds}/10^5 \text{ wn}^* \text{ j}$. Ter vergelijking: voor alle ongevalstypen wordt een incidentfactor van $3,5 \text{ ds}/10^5 \text{ wn}^* \text{ j}$ berekend [14].

3.2.9 *Samenvatting incidentfactoren*

De in de literatuur en databases gevonden waarden voor incidentfactoren zijn samengevat in Tabel 3. Bij het vergelijken van incidentfactoren is enige voorzichtigheid geboden vanwege een aantal onzekerheden in de informatie:

- de verschillende databases bevatten niet alle incidenten omdat niet alles gemeld wordt of er soms geen meldingsplicht bestaat;
- sommige databestanden nemen niet alle sectoren mee (bijvoorbeeld Eurostat);
- definities van werkomstandigheden, zoals de definitie van een besloten ruimte, wisselen per databron;
- soms worden dodelijke en niet-dodelijke slachtoffers meegenomen in tellingen;
- het is onduidelijk of overal wel werknemers en zelfstandigen als aparte klassen worden meegenomen;
- het is niet overal bekend of ongevallen op de weg wel of niet worden meegenomen.

Desondanks geeft dit een indicatie waarmee in ieder geval ongevallen met puur verstikking of verstikking en inademen van giftige stoffen vergeleken kunnen worden met alle overige ongevalstypen. De verschillen in de tabel zijn per soort ongeval overigens relatief klein: ze blijven binnen één orde van grootte.

Tabel 3 Incidentfactoren dodelijke slachtoffers per 100.000 werkenden per jaar (IF) uit verschillende bronnen

Soort ongevallen	Bron	Periode	Land ¹	IF
Alle ongevalstypen	NLA	2023	NLD	0,7
	USBLS ²	2023	USA	3,5
	HSE ²	2020-2024	GBR	0,4
	Eurostat ³	2022	EU	1,7
Verdrinking of verstikking	HSE	2018	GBR	0,04
	Eurostat ³	2022	EU	0,05 ⁴
Alle ongevalstypen in besloten ruimtes (incl. fysiek)	Selman et al.	2000-2012	AUS	0,05
		2007-2012	NZL	0,05
		1998-2001	CAN	0,07
		1980-1989	USA	0,08
		1997-2001	USA	0,07
	2013	GBR	0,05 ⁵	
USBLS	2011-2018	USA	0,1	
Alleen ongevallen in besloten ruimtes door giftige stoffen of zuurstofgebrek	Selman et al.	2007-2014	SGP	0,08
		1992-2005	USA	0,03
	Burlet-Vienney et al.	1998-2001	CAN	0,02
		USBLS	2011-2018	USA
Alleen ongevallen in besloten ruimtes door zuurstofgebrek	USBLS	2011-2018	USA	0,003
	Storybuilder	1998-2014	NLD	0,01
Alleen ongevallen door zuurstofgebrek, niet in besloten ruimtes (bijv. duiken)	Geen	Data?		

¹ Landcodes (ISO 3166): AUS = Australië, CAN = Canada, GBR = Verenigd Koninkrijk, NLD = Nederland, NZL = Nieuw-Zeeland, SGP = Singapore, USA = Verenigde Staten

² USBLS = United States Bureau of Labour Statistics. HSE = Health & safety Executive. Berekeningen IF, zie paragraaf 3.2.

³ Alleen NACE-klassen A + C-N, niet B en O-U

⁴ Dodelijke slachtoffers plus niet-dodelijke slachtoffers tezamen

⁵ Schatting Selman et al., geen onderliggende data

4 Incidenten

Onderzoeksvraag 2 vraagt om te onderzoeken wat er bekend is over ongevallen met verstikkingsgevaar, wat de oorzaken zijn en wat er van de ongevallen te leren valt. In dit hoofdstuk geven we een overzicht van gevonden incidenten. In de praktijk zijn er verschillende werkomgevingen in diverse sectoren waarbij zuurstofgebrek kan optreden. Besloten ruimtes komen daarbij het meest voor. Ook is het optreden van zuurstofgebrek mogelijk bij het gebruik van ademapparatuur ter bescherming of bij duiken. Mogelijke maatregelen of interventies die we tegenkwamen bespreken we in het hoofdstuk discussie en conclusies, maar sommige specifieke zaken die genoemd werden in onderzoeksrapporten geven we hier ook meteen weer.

Zoals in de inleiding aangegeven, hebben we de focus gelegd op incidenten waarbij de atmosfeer minder dan 18% zuurstof bevatte. In de praktijk komen incidenten voor waar (deels) ook de aanwezigheid van giftige gassen een rol speelde of kon hebben gespeeld. Ten aanzien van maatregelen om ongevallen te voorkomen zijn er wel grote overeenkomsten. Ook bij aanwezigheid van giftige gassen spelen bronmaatregelen, organisatorische maatregelen en zaken als het gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM's) een grote rol.

4.1 Fruitteelt/ULO-cellen

In Ultra Low Oxygen-cellen (ULO-cellen) wordt fruit voor langere tijd bewaard. Fruit als appels en peren wordt in een ULO-cel op een lagere temperatuur gebracht, waarna het zuurstofgehalte daalt en het CO₂-gehalte stijgt door het natuurlijke ademproces van het fruit. Indien het zuurstofgehalte niet snel genoeg daalt wordt eventueel stikstof toegevoegd. Het CO₂-gehalte mag niet te hoog oplopen: boven de 4% wordt een CO₂-scrubber gebruikt. Het in de hand houden van de gewenste bewaarcondities wordt het ULO-regime genoemd.

De condities in de ULO-cellen kunnen verstikkingsgevaar opleveren. Verschillende instituten wijzen op de gevaren bij het werken met ULO-cellen. Stigas en de Boerenbond (België) hebben hiervoor protocollen opgesteld [15, 16]. De protocollen geven aan waaraan voldaan moet worden en op welke momenten gevaren zijn te verwachten:

- bij het nemen van monsters uit de ULO-cel;
- bij het leeghalen na afloop;
- bij het betreden van de cel voor laatste handelingen, als deze nog niet op ULO-regime is gekomen (ook dan kan de concentratie zuurstof al onvoldoende zijn).

De protocollen zijn ontwikkeld naar aanleiding van dodelijke ongevallen met ULO-cellen in het verleden⁴. Ze beschrijven waarom het belangrijk is om aandacht te schenken aan het omgaan met ULO-cellen. Ook geven ze een praktische invulling aan wettelijke voorschriften uit het Arbobesluit.

⁴ Volgens de Boerenbond in België naar aanleiding van een incident in het najaar van 2016. Vermoedelijk het vermelde incident uit 2016.

Incidenten

In het literatuuronderzoek zijn vijf ongevallen gevonden in de afgelopen twintig jaar, waarbij zes mensen zijn overleden.

In 2019 kwam een Nederlandse monteur van een installatiebedrijf om toen hij via het inspectieluik de cel in was gegaan voor een reparatie [17]. Later werd hij buiten bewustzijn aangetroffen door de eigenaars, waarna reanimatie niet meer mocht baten.

Een ervaren medewerker van een veiling in het Belgische Sint-Truiden krom in 2016 in een ULO-cel en stierf ter plaatse [18]. Hoogstwaarschijnlijk had hij geen zuurstofmasker op. Een collega wilde hem helpen, krom hem achterna en raakte ook in ademnood, maar kon nog gereanimeerd worden. Volgens de veiling was de overleden medewerker vertrouwd met het werk in de ULO-cellen. Volgens een brandweerman was dit het vierde dodelijke ongeval in 29 jaar tijd in deze regio.

In 2009 kwam een Poolse werknemer van een Gingeloms fruitbedrijf om het leven [19]. Hij wilde een zakje appels gaan terughalen dat hij had laten vallen in de koelcel. Een collega die bij het ongeval was betrokken, waarschuwde anderen op het bedrijf, die uiteindelijk de hulpdiensten inschakelden. De hulp kwam echter te laat: de man was na enkele minuten al overleden.

In 2007 kwamen twee Poolse mannen om het leven in een ULO-cel van een fruitbedrijf in Gelderland [20]. Vermoedelijk zijn de twee medewerkers van het bedrijf door een luik aan de bovenkant van de koelcel naar binnen geklommen om appels te pakken.

In Vlaanderen in 2006 klommen een jongen van zeven en zijn broer in een ULO-cel en kwamen vast te zitten [21]. Door het lage zuurstofgehalte en de lage temperatuur raakten ze bewusteloos en onderkoeld, waarna hulp voor de jongen van zeven te laat kwam en hij overleed. De oudere broer werd wel gered.

Bijna twintig jaar voor het bovenstaande incident was er in Vlaanderen ook al een dodelijk ongeval door verstikking te betreuren [22]. Een schilder van een extern bedrijf was bezig met werkzaamheden boven een ULO-koelcel. Hij opende het controleluik en leunde naar binnen om een appel te grijpen. Door het zeer lage zuurstofgehalte in de buurt van het luik viel hij de cel in en mocht hulp niet meer baten.

4.2 Veeteelt/mestkelders

In mestkelders kunnen er verschillende gevaarlijke gassen vrijkomen, met name als de mest in beweging komt, bijvoorbeeld door vermenging of als er verpompt gaat worden voor transport. Sommige gassen die kunnen vrijkomen, zoals ammoniak, waterstofsulfide en blauwzuurgas, zijn van zichzelf al giftig. Daarnaast zijn gassen als waterstofsulfide en koolstofdioxide zwaarder dan lucht, waardoor ze de zuurstof uit de lucht kunnen verdrijven [23]. Een gevolg kan zijn dat werknemers bewusteloos raken, kunnen vallen en eventueel in de mest kunnen

verdrinken. Ook kan er methaangas vrijkomen, waardoor er brand of een explosie kan optreden [24].

Beaver et al. geven een overzicht van dodelijke slachtoffers in mestkelder/mestverwerkingsinstallaties in de Verenigde Staten en daarbuiten tussen 1975 en 2004 [25]. Zij tellen 77 dodelijke slachtoffers in de Verenigde Staten en 14 dodelijke slachtoffers in andere landen. Verstikking wordt genoemd als voornaamste oorzaak, waarbij in sommige ongevallen verhoogde sulfideconcentraties in het bloed werden aangetroffen. Een relatief groot aantal slachtoffers was jonger dan 16 jaar (21%). Veel slachtoffers waren bezig met onderhoudswerkzaamheden (34%) en in 22% van de gevallen betrof het reddingswerkers of toegesnelde omstanders. De auteurs concluderen dat er aanpassingen nodig zijn in Occupational Safety and Health Administration (OSHA)-regels over het betreden van besloten ruimtes en dat de opleiding over het omgaan met mestverwerking verbeterd moet worden.

Incidenten

Ook in Nederland gebeuren er ongevallen met mestgassen. In het literatuuronderzoek hebben we zeven ongevallen gevonden in de afgelopen twaalf jaar, waarbij negen mensen zijn overleden. Het is hierbij vaak niet duidelijk of deze ongevallen plaatsvinden door een gebrek aan zuurstof of dat ze veroorzaakt worden door de giftige eigenschappen van de gassen (of een combinatie).

In 2025 was er een boer mest aan het mengen toen meerdere koeien onwel werden door de vrijgekomen giftige gassen [26]. De brandweer moest ter plaatse komen en de boer en twee werknemers zijn ter controle naar het ziekenhuis gegaan.

In 2021 overleed een persoon door een val in een mestkelder. In 2020 zijn er twee ongevallen gebeurd met mestgassen waarbij drie mensen zijn overleden. In beide gevallen zijn de mensen waarschijnlijk bedwelmd geraakt en in de mestkelder gevallen [27-30].

In 2018 is er een ongeval gebeurd tijdens werkzaamheden in een mestput [31, 32]. Een tiener raakte waarschijnlijk bedwelmd tijdens de werkzaamheden en viel in de mestput. Zijn vader heeft vervolgens geprobeerd hem te redden, maar is ook bedwelmd geraakt. De brandweer heeft de twee mannen uit de put gehaald en ze zijn overgebracht naar het ziekenhuis, waar de tiener een aantal dagen later gestorven is aan zijn verwondingen.

In 2016 kwam één man om het leven doordat er een leiding sprong en er mest lekte. De man stierf door de vrijgekomen giftige gassen [33].

In 2013 kwamen drie mensen om tijdens het schoonmaken van een mestsilo, een vierde persoon raakte zwaargewond [34]. Het ongeval gebeurde doordat de man die in de silo bezig was bedwelmd raakte door de vrijgekomen mestgassen. Dit gebeurde ondanks dat deze persoon uitgerust was met een luchtkap (voor de toevoer van ademlucht) en een gasmeter (om te waarschuwen voor gevaarlijke concentraties gevaarlijke gassen). Daarop is de collega van de bewusteloze man te

hulp geschoten en bedwelmd geraakt, waarna nog twee andere mannen zonder adembescherming de silo in zijn gegaan om te helpen en ook bedwelmd zijn geraakt. De Onderzoeksraad voor de Veiligheid (OvV) heeft dit incident onderzocht en kwam onder meer met een aanbeveling om 'veilig werken met mest' structureel op te nemen in de agrarische opleiding. Zij zien een schaalvergroting om mestverwerking en bevelen aan de sector aan om hier meer actie op te ondernemen.

4.3 Scheepvaart/scheepsruimen

Scheepsruimen worden vaak geïnertiseerd met onbrandbare gassen, zoals stikstof of koolstofdioxide om (brandbare) chemicaliën of bederfelijke waren te beschermen tegen oxidatie, brand of explosie. Vaak wordt stikstof gebruikt, omdat dit aan boord van een schip zelf geproduceerd kan worden. Na het vullen van een scheepsruim met lading wordt de resterende atmosfeer bovenin geïnertiseerd door stikstof toe te voegen totdat er voldoende zuurstof is verdreven. Voor brandbare vloeistoffen bijvoorbeeld hangt dit af van de onderste explosiegrens.

Incidenten

De OvV heeft als taak om ongevallen in de zeevaart te onderzoeken. In de afgelopen twintig jaar zijn ten minste drie OvV-rapporten gepubliceerd die te maken hadden met verstikkingsgevaar. Ter illustratie zijn ook twee niet-Nederlandse ongevallen uit artikelen uit de literatuur gegeven, die zeer gelijksoortige incidenten beschrijven.

De OvV beschrijft een recent incident uit 2022 met fatale afloop in een scheepsruim van een zeevaartschip [35]. In dit incident werd aan een matroos gevraagd om een check te doen in het ruim om te zien of dit klaar was voor het ontvangen van een nieuwe lading. De scheepsruimen van dit schip werden regelmatig voorzien van ladingen waar een inerte atmosfeer bij aangebracht wordt. Daarom waren er ook procedures opgesteld om hier veilig mee om te gaan. Zo werd er normaal gesproken gewerkt met een vergunning voor toegang, een gasmeter en een tweede persoon bij de opening van het ruim. Omdat het ruim net was schoongemaakt en er geen bijzonderheden waren met het ruim volgde de matroos deze procedures niet. Het naastliggende ruim was gevuld met lading en ondertussen met stikstof geïnertiseerd. Een afsluiter naar het ruim bleek niet goed te sluiten, waardoor stikstof het te controleren ruim in lekte en het zuurstofgehalte was gedaald. Op het moment dat de matroos afdaalde in het ruim verloor hij het bewustzijn en viel hij van redelijke hoogte. Toen hij niet reageerde, werd de eerste stuurman naar de tank gestuurd. De stuurman viel ook in het ruim, maar van grotere hoogte dan de matroos. De matroos kon later gereanimeerd worden en werd naar het ziekenhuis gebracht met zware verwondingen van de val. De stuurman kon niet meer gereanimeerd worden en overleed.

De OvV gaf een aantal lessen mee naar aanleiding van dit incident en gaf aan dat de procedures voor het voorkomen van dit soort ongevallen strikt opgevolgd moeten worden. De maatregelen die nu niet genomen waren, zijn ook beschreven in de informatiekaart 'Contact met gevaarlijke stoffen in een besloten ruimte' van het RIVM [4].

Sundal et al. beschrijven een dodelijk ongeval uit 2017 op een schip dat houtsnippers vervoerde en op dat moment in een haven in Noorwegen lag [36]. Een ervaren douanebeambte was door een mangat gevallen en werd dood aangetroffen. Een collega wilde hem helpen maar werd snel duizelig van de dampen, raakte buiten bewustzijn maar kwam snel weer bij in de frisse lucht. De 'dampende' houtsnippers hadden de zuurstof in het ruim verbruikt: er werd ca. 2% zuurstof gemeten in het ruim boven de snippers. Ook was er een verhoogde concentratie koolmonoxide aanwezig. Een enkele teug van dit mengsel kan al leiden tot bewusteloosheid en de dood. De auteurs geven aan dat dit ongeval alsook soortgelijke ongevallen valt te voorkomen door enkele simpele regels te volgen.

Het artikel van Sundal bevat een referentie naar een artikel van Svedberg dat onderzocht hoe houtsnippers de atmosfeer in scheepsruimen beïnvloeden [37]. Dat onderzoek werd uitgevoerd in 2008, nadat er een dodelijk ongeval was voorgevallen tijdens verlading van de houtsnippers in Zweden. Een zeeman overleed nadat hij een ongeventileerd trappenhuis naast het scheepsruim betrad en daar het bewustzijn verloor.

In 2014 overleed de hoofdwerktuigkundige op een in Nederland geregistreerd motorschip, na het betreden van de boegschroefruimte [38]. Na ongeveer twee uur werd de hoofdwerktuigkundige op de grond van de boegschroefruimte gevonden. Omdat er gedacht werd dat hij van de trap was gevallen werd hij gereanimeerd zonder ademluchtapparaat. Een van de bemanningsleden ging medische spullen halen en toen hij terugkwam na enkele minuten was de eerste stuurman (die aan het reanimeren was) bewusteloos en een ander bemanningslid liep rond alsof hij dronken was. Er was een ademluchtapparaat dat op de mond van de eerste stuurman werd geplaatst. De rest van de bemanningsleden verliet de ruimte en liet de eerste stuurman en de hoofdwerktuigkundige achter in de boegschroefruimte. De brandweer haalde uiteindelijk de eerste stuurman en de hoofdwerktuigkundige uit de ruimte. Drie bemanningsleden, onder wie de eerste stuurman, werden enkele dagen opgenomen in het ziekenhuis en de hoofdwerktuigkundige overleed. Bij allemaal werd koolmonoxidevergiftiging vastgesteld. Het schip vervoerde houtpellets die koolmonoxide produceren. De koolmonoxide kon waarschijnlijk door een lek in het inspectieluik van de laadruimte in de boegschroefruimte terechtkomen.

In 2014 overleed de eerste stuurman van een in Nederland geregistreerd schip toen hij een ladingcontrole ging uitvoeren [39]. Het schip vervoerde zinkconcentraat. De eerste stuurman betrad het ruim met een ademmasker met filter (omgevingslucht-afhankelijk). Na enige tijd ging de tweede stuurman bij de eerste stuurman kijken en vond hem bewusteloos zittend op de trap, ongeveer drie meter van de deur. Reanimatie mocht niet meer baten en de eerste stuurman overleed door verstikking. Verstikking kon optreden doordat zinkconcentraat zuurstof onttrekt aan de omgeving.

4.4 Industrie/besloten ruimtes

In industriële omgevingen komen veel soorten besloten ruimtes voor. Ruimtes als opslagtanks en -vaten, reactoren, grote leidingen en kelders moeten periodiek geïnspecteerd worden. Soms staan te inspecteren installatieonderdelen ook in afgesloten ruimtes. Voor die inspecties moeten de ruimtes soms betreden worden en gelden de nodige regels om ongevallen te voorkomen.

Incidenten

In de afgelopen twintig jaar zijn enkele ongevallen te vinden met verstikking als directe oorzaak, of mogelijke oorzaak, bij het werken in besloten ruimtes.

De OvV beschrijft een dodelijk incident bij het schoonmaken van een reactor met katalysatorresten in 2023 [40]. In dit incident werd gewerkt in een reactor onder inerte atmosfeer. Het incident betrof geen verstikking maar verbranding door het katalysatormateriaal, maar het OvV-rapport meldt nog andere incidenten in Europa. In een incident uit 2010 in Finland kwam een technicus om het leven nadat hij afdaalde in de reactor. Hij droeg geen bescherming, omdat hij in de veronderstelling was dat deze onder normale atmosfeer stond. Hij wilde de reactor inspecteren nadat het werk was uitgevoerd en wist niet dat de voorgaande ploeg inmiddels weer bezig was geweest om deze te vullen met stikstof. Omdat dit soort ongevallen in de loop van de tijd herhaaldelijk zijn gebeurd, heeft de OvV opgeroepen om te stoppen met dit werk in Nederland. Volgens de OvV moeten de stakeholders (het bedrijf, de industrie en de minister) inzetten op het ontwikkelen van veiligere werkwijzen, anders dan deze methode, het fysieke betreden van inerte reactoren.

In 2014 zijn twee medewerkers van een bedrijf omgekomen bij onderhoudswerkzaamheden aan een reinigingsinstallatie. De reinigingsinstallatie bevatte argon, een zuurstof verdrijvend gas, waardoor de medewerkers onwel werden en uiteindelijk kwamen te overlijden. Voordat de medewerkers de installatie betraden, was die niet gezuiverd van het argongas. Ook waren er geen metingen gedaan van het zuurstofgehalte in de installatie, en ondanks dat de medewerkers zuurstofmeters tot hun beschikking hadden, hebben ze die niet gebruikt [41].

Een ander ongeval (2010) vond plaats bij de retailafdeling van een grote Nederlandse vleesverwerker [42]. Om vlees zeer nauwkeurig op gewicht klein te kunnen snijden wordt vloeibare stikstof gebruikt. Dit gebeurt door het vlees procesmatig (op een lopende band, in een afgeschermd machine) kortstondig te besproeien met koude vloeibare stikstof. Hierbij wordt een bevroren korstje gevormd, waarmee het stuk vlees beter gefixeerd wordt voordat het door de snijmachine gaat. De focus op voedselveiligheid, het handhaven van de arbeidshygiëne en het veilig werken met scherpe gereedschappen is in de sector evident. Het incident vond plaats buiten de productietijd. De slachtoffers betroffen niet het productie-, maar het schoonmaakpersoneel. Lekkend stikstof uit het vriesapparaat werd een medewerkster fataal. Stikstof is onzichtbaar, verspreidde zich en vulde de ruimte. Het verdrong de zuurstof en

creëerde een verstikkende atmosfeer. Een tweede slachtoffer ontdekte de oorzaak, probeerde de lekkende machine uit te zetten maar raakte zelf bedwemd, en liep ook ernstige brandwonden (frostbite, bevrozing) op aan zijn handen door de blootstelling aan de koude. Hij overleefde het ongeval ternauwernood doordat een derde collega hem wist te redden uit de ruimte.

In 2009 zijn tijdens een onderhoudsstop aan een fosforoven drie medewerkers zonder adembescherming in een besloten ruimte geweest waar op dat moment een schadelijke atmosfeer heerste (inert rookgas, met een spoor fosfine). Twee medewerkers zijn hierbij om het leven gekomen, een derde medewerker is ter observatie in het ziekenhuis opgenomen [43]. De enorme oven was al geruime tijd buiten bedrijf, en er was geen sprake van gevaarlijke stoffen (fosfor) of processen (verhitting, smelten van erts, een elektrothermisch proces), terwijl dit in normaal bedrijf wel het geval was. De dikwandige oven werd voorzien van een volledig nieuwe bekleding van ovenstenen. De gespecialiseerde contractors die de stenen exact op maat aanbrachten werkten de gehele periode, weken achtereen, probleemloos zonder adembescherming. De ruimte tochtte door, en werd eveneens actief met slangen geventileerd. Een niet volledig afgesloten inerte gasleiding (in normaal bedrijf nodig voor een zuurstofvrij te houden proces, uitkomend in de oven) bleef daardoor gedurende de gehele periode van onderhoud onopgemerkt. Juist op de dag waarop rond het middaguur de laatste steen was aangebracht vond het ongeval plaats. De ventilatie was uitgeschakeld en de ovenruimte was nu een semi-besloten omgeving. De eerste voorbereiding tot ingebruikname werd getroffen. De dienstdoende nachtploeg gebruikte een ladder om van bovenaf via het mangat af te dalen in de oven, om daar nog iets in te leggen. Onwetend dat de atmosfeer in de ruimte in enkele uren tijd zuurstofarm, en toxisch was geworden. Een van de twee medewerkers van de nachtploeg kwam te overlijden en daarnaast overleed een collega die zijn bedwemde collega's wilde helpen.

In 2011 en 2010 vonden twee incidenten plaats, die in Storybuilder-MHC zijn opgenomen. Beide vonden plaats in industriële omstandigheden, maar zijn geen van beide incidenten met zuurstofgebrek. Ze worden hier kort genoemd, omdat de omstandigheden en oorzaken lijken op incidenten met zuurstofgebrek. Ook hier was men zich onvoldoende bewust van het gevaar, zijn verschillende procedures niet gevolgd en werd in één geval de ruimte vaker betreden dan initieel de bedoeling was. In het ongeval uit 2010 betrad een onderhoudsmedewerker een besloten ruimte (een indamper) om te inventariseren welke onderdelen besteld moesten worden voor onderhoud. Hij kreeg hierbij een gevaarlijke stof (natronloog) in zijn oog. In het ongeval uit 2011 betrad een onderhoudsmonteur een tank voor inspectie en reparatie. De tank was schoon opgeleverd, maar door de warmte kon zoutzuur vrijkomen uit de poriën van de tank.

4.5 Lassen

Bij laswerkzaamheden wordt gebruikgemaakt van een inert gas, bijvoorbeeld argon. Als dit in een kleine ruimte vrijkomt, kan de zuurstof uit die ruimte verdreven worden en kan de lasser stikken.

Incidenten

In voorliggend onderzoek zijn twee ongevallen gevonden, één in 2011 en één in 2017, waarbij in totaal drie mensen zijn overleden.

In 2017 is er een man omgekomen tijdens laswerkzaamheden in een schip in aanbouw [44]. De man was in een krappe ruimte aan het lassen. Daarbij werd argon gebruikt. De leiding waarmee het argongas werd aangevoerd was lek, waardoor het gas de zuurstof in de ruimte verdrong. Collega's van het slachtoffer troffen hem bewusteloos aan. Hij overleed later in het ziekenhuis.

In 2011 kwamen bij laswerkzaamheden twee mensen om [45]. De laswerkzaamheden werden verricht aan de buitenzijde van een tank, die toegankelijk was via een mangat. Bij de laswerkzaamheden werd gebruikgemaakt van formeergas 10 (90% stikstof en 10% waterstof), wat als eigenschap heeft dat het zuurstof verdringt. Aan de binnenkant van de tank was een formeergaskamer aangebracht ter hoogte van de aan te brengen lasnaad zodat er een zuurstofarme omgeving gecreëerd kon worden. Deze gaskamer was echter niet gasdicht. Blijkbaar is de lasser in de tank gekropen, mogelijk om de gaskamer te controleren en aan het eind van de werkdag werd hij vermist. Het tweede slachtoffer is hem daarna gaan zoeken. Toen het tweede slachtoffer ook niet terugkwam, zijn twee andere werknemers beide vermisten gaan zoeken en hebben beide slachtoffers levenloos gevonden in de tank.

4.6 Duiken en activiteiten met adembescherming

Duikers en personen met adembescherming, zoals brandweerpersoneel, zijn voor zuurstof afhankelijk van de zuurstoffles op hun rug. Als de zuurstof opraakt terwijl een duiker nog onder water is, of brandweerpersoneel door andere omstandigheden zonder zuurstof komt te zitten, kan men stikken.

Incident

Bij werkzaamheden aan de Afsluitdijk in 2022 kwam een duiker om het leven [46]. Volgens het OM was er sprake van een tragisch ongeval, waar niemand aan schuldig is. De duiker is blijkbaar te laag terechtgekomen en beklemd geraakt onder een grote plak keileem. Het onderzoek van de NLA liet zien dat de werkgever zich aan de regels heeft gehouden en dat de gebruikte werkwijze vaker werd toegepast. Wel werd in overleg met de NLA na het ongeluk de manier van werken bij de dijk aangepast.

In 2017 kwam een duiker om het leven bij duikwerkzaamheden bij het stuwcomplex in de Rijn bij Driel [47]. Hij werd verrast door een krachtige zuiging als gevolg van een groot gat aan de onderzijde van de stuw. Door de kracht van het water werd hij tegen de stuwwand gezogen. De rechtbank oordeelde dat er een gebrekkige overdracht was geweest van de leiding van het bedrijf naar de duikploegleider. De duikploegleider had echter wel meer moeten doen om te bepalen of het werk veilig kon worden uitgevoerd. De rechtbank had de indruk dat er een schijnveiligheid heerste bij het bedrijf en deelde taakstraffen uit aan de duikploegleider en de directeurs.

In 2008 is een duiker van de gemeentelijke duikploeg omgekomen bij een poging om een autowrak te identificeren in het Kanaal van Gent naar Terneuzen [48]. De duiker ging op zoek naar de auto, maar vond hem niet en gaf op gegeven moment aan dat hij overging op reservelucht en even later dat hij geen lucht kreeg. Hij steeg daarop op naar de oppervlakte en maakte paniekerige bewegingen. Hij reageerde niet toen hem werd verteld om zijn trimvest op te blazen om aan de oppervlakte te blijven. Vervolgens nam hij zijn volgelaatsmasker af en verdween even later onder water. De duiker bleek later ook geen loodgordel te hebben afgedaan, wat in een dergelijk geval volgens de procedures wel had moeten. De OvV concludeerde dat er het nodige moest gebeuren op het vlak van opleiding en training en gaf aanbevelingen aan de gemeente en het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK) om veilig brandweerdijken te waarborgen middels duidelijke verantwoordelijkheden, voldoende kennis, oefening en het organiseren van landelijke kaders. Ook benadrukte de OvV om structureel kennis van ongevallen te delen, om de veiligheid blijvend te verbeteren. Het OvV-rapport gaf nog twee beschrijvingen van incidenten in Urk uit 2007 en in Utrecht uit 2001, die werden meegenomen als achtergrond voor enkele van de aanbevelingen. Deze worden hieronder ook nog beschreven, ook al valt het ongeval uit 2001 buiten de twintig jaar waar dit rapport naar kijkt.

In het ongeval uit 2007 in de haven van Urk moest een duiker een pop uit een gezonken auto redden tijdens een oefenduik. Nadat de duiker de pop had gevonden, meldde hij ademluchtproblemen en schakelde over op reservelucht. Daarna was er geen communicatie meer met de duiker. De duiker kwam vast te zitten aan de seinlijn onder het autowrak. Na een luchtbelexplosie werd de duiker bewusteloos en zonder volgelaatsmasker door de reserveduiker op de bodem gevonden. Reanimatiepogingen slaagden niet. De oorzaak van de problemen onder water en het vastzitten aan de seinlijn bleef onduidelijk.

In het ongeval uit 2001 kwam een duiker om tijdens een duik oefening van de brandweer in de Kernhaven in Utrecht [49]. Tijdens de oefening kwam de man in de problemen doordat hij verstrikt raakte in een haspel op de bodem van de haven. Daarna heeft de man, waarschijnlijk in paniek, zijn duikmasker afgeworpen waardoor hij zonder zuurstof kwam te zitten. Collega-duikers schoten de man in nood te hulp, maar er ontstond een onoverzichtelijke situatie. Daardoor trokken de collega-duikers elkaar in het donkere water omhoog in plaats van de drenkeling. De drenkeling werd uiteindelijk gevonden, nadat hij minstens acht minuten zonder zuurstof onder water had gelegen. Hij overleed enkele dagen later in het ziekenhuis.

4.7 Andere sectoren en activiteiten

In de voorgaande paragrafen zijn sectoren en activiteiten genoemd waarin we ten minste twee of meer dodelijke ongevallen hebben gevonden. Van sommige andere werkomgevingen of activiteiten verwachtten we ook dat er incidenten met zuurstofgebrek zouden kunnen optreden, maar daar hebben we geen dodelijke ongevallen gevonden in de afgelopen twintig jaar. Hieronder volgt een korte beschrijving van die overige sectoren en activiteiten. De lijst is niet

uitputtend: er zijn waarschijnlijk nog andere sectoren en activiteiten die we niet in ogenschouw hebben genomen.

- **Uitgravingen.** Bij het werken in uitgravingen (greppels, sleuven, grondverwijdering) werden geen incidenten met verstikking gevonden. Het grootste gevaar lijkt hier bedelving door instorting van wanden te zijn [50].
- **Koelcellen.** Een ander voorbeeld is het werken in koelcellen. Soms wordt hier voor de brandveiligheid gewerkt met een verlaagde concentratie zuurstof. Potentieel kan hier ook verstikking door zuurstofgebrek optreden. We hebben hier geen dodelijke ongevallen gevonden.
- **Silo's.** Silo's worden op veel verschillende plekken gebruikt en ingezet voor veel verschillende producten. In paragraaf 4.2 is een incident vermeld dat plaatsvond in een mestsilos, omdat dit redelijk past bij deze sector, maar verdere incidenten hebben we niet gevonden. Er werd wel een incident gevonden uit 2023 waarbij een persoon door 'verstikking' om het leven kwam in een suikersilo. Hier werd het slachtoffer bedolven door suiker en was er geen sprake van zuurstofverdringing.
- **Mijnen.** Bij het werken in mijnen zijn er gevaren als het instorten van delen van een mijn, verstikkingsgevaar, uitdroging of het inademen van mijnngassen of fijne deeltjes en wordt er gewerkt met handgereedschap en machines die ook gevaren met zich meebrengen. Mijnen worden in veel definities van besloten ruimtes uitgesloten: deze zijn immers bedoeld als werkplek waar gedurende langere tijd gewerkt kan worden. We hebben in Nederland (ook na navraag bij Staatstoezicht op de Mijnen) geen incidenten met verstikking in recente jaren gevonden.
- **Binnenvaart.** In paragraaf 4.3 hebben we incidenten beschreven op zeevaartschepen. Ook in de binnenvaart wordt gewerkt met potentieel zuurstofloze ruimten. Voor de afgelopen twintig jaar hebben we geen incidenten met verstikking gevonden [51]. Het laatst bekende incident stamt uit 2000, toen de Nederlandse schipper van een Belgische chemicaliëntanker in Rotterdam overleed nadat hij de ladingtank betrad om restanten van de lading te verwijderen. Hij had een volgelaatsmasker met filterbus gebruikt, maar dat bood geen bescherming tegen de zuurstofloze atmosfeer die in het ruim hing. Wel zijn er incidenten bekend met gegaste ruimten, of waar materialen gebruikt worden om de lading te beschermen tegen vraat. In 2019 werden bijvoorbeeld twee mensen onwel op een binnenvaartschip bij Nieuwegein door fosfine (gevormd uit aluminiumfosfide) [52]. Naar aanleiding van dit incident is het protocol bij gebruik van fosfine in de binnenvaart aangepast.
- **Containers.** Er zijn vaker incidenten gemeld met gegaste containers, die chemicaliën bevatten om bederfelijke goederen te beschermen tegen vraat (zoals het hierboven genoemde aluminiumfosfide). Als deze geopend worden, terwijl die chemicaliën nog niet uitgereageerd zijn, kunnen er incidenten met vergiftiging optreden. Eventueel kunnen er ook verstikkingsincidenten optreden als door biologische of anorganische processen zuurstof verbruikt is. Dergelijke incidenten hebben we niet aangetroffen.

- **Frisdrank/bierindustrie.** Koolzuur wordt toegevoegd aan sommige frisdranken en bijvoorbeeld aan fusten om bier te kunnen tappen. Gebruik van koolzuur in besloten ruimtes kan ervoor zorgen dat zuurstof wordt verdreven, bijvoorbeeld door ongelukken of lekken. Ook kan het in een productieomgeving bij brouwen en afvullen ontsnappen. We hebben geen fatale incidenten gevonden en deze zijn ook niet naar voren gekomen in enkele gespreken met personen uit deze sector.
- **Metaalsector.** In de metaalsector wordt gewerkt met verschillende brandbare en toxische gassen en op verschillende werkplekken, waaronder besloten ruimtes. De activiteit 'lassen' hebben we in paragraaf 4.5 reeds genoemd. Buiten die incidenten zijn ons geen verdere ongevallen bekend.
- **Brandblussystemen.** In diverse opslagen worden brandblussystemen gebruikt om de effecten van brand te beperken. Automatische CO₂- of schuimsystemen kunnen bij activering zuurstof verdringen in een opslagloods, wat verstikkingsgevaar oplevert voor aanwezige personen. Er zijn ons geen dodelijke ongevallen bekend.

5 Discussie en conclusies

In dit hoofdstuk worden aan de hand van de informatie uit de voorgaande hoofdstukken de twee gestelde onderzoeksvragen beantwoord:

1. Wat is de omvang van verstikkingsgevaar (ten opzichte van andere ongevalstypen) in Nederland?
2. Wat is er bekend over ongevallen met verstikkingsgevaar, wat zijn de oorzaken en wat kunnen we hieruit leren?

Aansluitend geven we enkele aanbevelingen voor toekomstig onderzoek en voor activiteiten die kunnen worden ondernomen ter verkleining van de kans op ongevallen of ter implementatie van gerichte maatregelen.

Wat is de omvang van verstikkingsgevaar (ten opzichte van andere ongevalstypen) in Nederland?

Incidentfactoren uit literatuuronderzoek geven waarden van ca. 0,3 tot 3,5 dodelijke slachtoffers per 100.000 werknemers per jaar ($ds/10^5 wn*j$), voor alle arbeidsongevallen. Verstikking door werkzaamheden op de werkvloer komt uit op incidentfactoren van 0,003-0,01 $ds/10^5 wn*j$. Databronnen verschillen nogal in de verzamelde data, maar dit ligt dus ruwweg een factor 100 lager dan voor alle arbeidsongevallen tezamen. Getalsmatig ligt dit flink lager dan bij het meest voorkomende ongevalstype: vallen. Van alle dodelijke slachtoffers wordt ongeveer een derde veroorzaakt door valincidenten.

Het percentage incidenten met een dodelijke afloop bij verstikking ligt wel hoger dan gemiddeld voor alle ongevalstypen bij elkaar. Dit is een opmerkelijk gegeven. Het percentage wordt mogelijk beïnvloed als niet fatale incidenten met verstikking minder snel worden gemeld. De effecten van verstikking zijn al snel ofwel dodelijk ofwel ze kunnen verdwijnen als het slachtoffer snel in de frisse lucht wordt gezet of wordt gereanimeerd. De dodelijke gevallen worden dan mogelijk eerder gemeld dan de gevallen waarbij de effecten snel verdwijnen, zodat er mogelijk een relatief hoog percentage met dodelijke afloop wordt waargenomen. Blijvend letsel na een verstikkingsongeval is overigens niet ondenkbaar.

Wat is er bekend over ongevallen met verstikkingsgevaar, wat zijn de oorzaken, en wat kunnen we hieruit leren?

De omstandigheden waaronder verstikking optreedt (of kan optreden) zijn vrij divers. Het kan voorkomen in bedrijfstakken waar men gewend is om met gevaarlijke stoffen om te gaan, zoals de industrie, maar zeker ook in bedrijfstakken waar dat minder het geval is. Dit is niet verwonderlijk, aangezien verstikking veelal simpelweg zuurstofverdrrijving betreft. Vaak door een overmaat aan (inert) gas of doordat de zuurstof geconsumeerd is door biologische of anorganische processen of door mensen zelf. In veel gevallen betreft het een besloten omgeving en soms treedt het op in combinatie met vorming van toxische gassen. In dit rapport hebben we de focus gelegd op incidenten waarbij de

concentratie zuurstof te laag wordt (onder de 18%) en incidenten met alleen vergiftiging door toxische gassen (vaak in besloten ruimtes) buiten beschouwing gelaten. Ten aanzien van maatregelen als bronmaatregelen, organisatorische maatregelen en zaken als het gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen (PBM's) hebben deze echter wel grote overeenkomsten.

Een aantal brancheverenigingen en enkele afzonderlijke bedrijven geven aan wel bekend te zijn met verstikking. Het staat bijvoorbeeld in de arbocatalogi vermeld. Ook wordt het gevaar bij bedrijven onderkend, en is verstikking vaak standaard opgenomen in de RI&E. Toch komen incidenten met verstikking in de loop van de tijd nog steeds voor. Bij het bekijken van de incidenten zijn er verschillende oorzaken die vaker terug lijken te komen. Deze oorzaken bieden mogelijkheden voor maatregelen of interventies. Om effectief te zijn zouden interventies zich dan op deze verschillende oorzaken moeten richten:

- **Bewustzijn.** Gezien het feit dat ongevallen zich na verloop van tijd blijven voordoen lijkt de continue alertheid op de werkvloer niet gegarandeerd. Ondanks voorgeschreven procedures en werkwijzen is het collectieve geheugen in en om de werkplek aan slijtage onderhevig. Mogelijk worden nieuwe medewerkers ook niet goed geïnstrueerd over de gevaren. Er zijn verschillende voorbeelden uit de incidenten in dit rapport te geven.
 - o Jongeren of seizoenarbeiders denken even snel een appel te kunnen pakken uit een ULO-cel.
 - o Bij omgaan met mest lijkt het gevaar van giftige gassen (en/of zuurstofverdringing) niet altijd 'top of mind' te zijn. Volgens de contactpersoon uit de sector lijkt het erop dat mensen de risico's wel kennen, maar ze vaak onderschatten, wat tot ongevallen kan leiden.
 - o Ook in de scheepvaart wordt soms vergeten dat ladingen als houtsnippers zuurstof kunnen wegvangen of dat ruimten soms onder stikstofatmosfeer worden gezet en dat deze stikstof in sommige gevallen van het ene naar het andere ruim zou kunnen lekken.
 - o Lassers realiseren zich niet altijd dat lasgassen in een besloten ruimte de zuurstof kunnen verdringen.
 - o In de industrie is er vaak wel het nodige geregeld tegen verstikkingsgevaar, maar realiseert men zich niet altijd dat men zich in een besloten ruimte bevindt, of dat deze besloten is geraakt door activiteiten.
- **Procedures.** In verschillende sectoren en voor verschillende activiteiten zijn procedures en protocollen opgesteld of zaken geregeld in arbocatalogi voor het omgaan met besloten ruimtes of verstikkingsgevaar op zich. Mogelijk door het 'onzichtbare' gevaar is er een aantal zaken op te merken bij de incidenten:
 - o Soms vergeten zelfs ervaren personen de regels voor PBM's en veilig werken (voorbeeld uit fruitteelt/ULO-cellen). Of men wijkt 'even' af van de procedures om te kijken of het ruim al leeg is (voorbeeld uit scheepvaart).
 - o Soms worden de procedures niet gevolgd en ontbreken de voorgeschreven ventilatie en/of PBM's (voorbeeld uit de industrie). Uit de incidentbeschrijvingen is niet altijd duidelijk waar dat mee te maken heeft. Het kan bijvoorbeeld te maken

hebben met gebrekkig toezicht of de veiligheidscultuur. Beperkt bewustzijn of de onderschatting van het gevaar kan ook hier een rol in spelen.

- **Reddingswerkers.** Een aantal van de beschreven incidenten laat zien dat personen zijn overleden doordat ze bedwelmde collega's wilden helpen. Personen die te hulp schieten, raken relatief vaak verwond of komen te overlijden. Selman et al. en Beaver et al. rapporteren respectievelijk dat 17% en 22% van de slachtoffers bestaat uit reddingswerkers of toegesnelde omstanders. In de incidenten in dit rapport is een tweedeling te zien:
 - o Wanneer men zich niet bewust is van het risico, zal er ook geen voorbereiding zijn op een eventuele reddingsactie. In de incidenten is te zien dat dit dan familieleden betreft (met name voorbeelden bij veeteelt/mestkelders) of collega's, die te hulp schieten en zelf letsel oplopen of overlijden.
 - o Wanneer er wel zaken geregeld zijn rondom het risico, is toch niet altijd duidelijk doordacht hoe een eventuele reddingsactie precies uitgevoerd moet worden. Of er is onvoldoende geoefend op deze actie, zal tijdsdruk bij een noodgeval onhaalbaar blijken. Een enkele keer lijken er wel zaken geregeld, maar kreeg een mangatwacht bijvoorbeeld gebrekkige instructie over zijn taken (voorbeeld uit de industrie) of werd een duiker ingezet terwijl men zich niet goed op de hoogte had gesteld van de gevaren, waar dat op papier wel goed geregeld leek.

Er zijn een paar zaken die vrij specifiek zijn voor de sectoren of activiteiten. Bij ULO-cellen is het inspectieluik zeker een aandachtspunt, en wordt dat ook in de protocollen duidelijk genoemd. Bij het ongeval met de mestsilo noemde de OvV al dat de sector schaalvergrotingen rondom mest beter op kan pakken, bijvoorbeeld door 'veilig werken met mest' structureel op te nemen in de agrarische opleiding.

Aanbevelingen voor vervolgstudie:

- Er zijn verschillende sectoren waarin verstikkingsgevaar kan optreden. Artikelen beschrijven wel wat er allemaal moet gebeuren om veilig te werken, maar gaan vaak uit van specifieke sectoren. Soms komt het gevaar neer op het gedachteloos 'even een appeltje pakken' in een ULO-cel terwijl dat al snel fataal kan zijn. Gedrag lijkt hierin in ieder geval een factor. Onderzocht kan worden of er mogelijkheden zijn om het gewenste gedrag te stimuleren.
- Naar aanleiding van een opmerking van de medewerker van Stigas is het wellicht mogelijk gericht informatie te verspreiden op het moment dat het ertoe doet. Bijvoorbeeld aandacht vragen voor mestkelders als het weer tijd wordt om mest uit te rijden. Of voor ULO-cellen als het plukseizoen aanvangt. Onderzocht kan worden of gerichte en tijdige informatieverbreiding over verstikkingsgevaar mogelijk en effectief is.
- Onderzoeken in hoeverre werken volgens de arbeidshygiënische strategie kan worden verbeterd. In een van de incidenten in de industrie moest de ruimte veel vaker worden betreden dan

oorspronkelijk bedoeld. In strijd met de arbeidshygiënische strategie wordt dan de blootstelling verhoogd, terwijl het niet noodzakelijk is. Dit speelt waarschijnlijk ook bij andere sectoren en activiteiten een rol. Bij het incident waarin werd gecontroleerd hoe het scheepsruim ervoor stond bijvoorbeeld, had dit mogelijk ook via een camera gekund. Met sectoren zou besproken kunnen worden welke acties hieruit voort kunnen komen.

- De OvV heeft in enkele rapporten aanbevolen om beter te kunnen leren van ongevallen en om kennisontwikkeling te vergroten. Bijvoorbeeld door ongevallen en bijna-ongevallen beter te registreren en te evalueren. Of door het opzetten van platforms die informatie verzamelen en verspreiden, en door zaken rondom 'veilig werken' structureel op te nemen in opleidingen. Onderzocht kan worden in hoeverre dit is opgepakt in de praktijk en of dit nog versterkt kan worden.

De eerste drie genoemde aanbevelingen zouden in een setting met meerdere sectoren besproken kunnen worden. Er zijn waarschijnlijk best practices die binnen een bepaalde sector gebruikt worden, maar nog niet bekend zijn of als zodanig gebruikt worden in andere sectoren. Dit ligt dan ook deels in het verlengde van de aanbevelingen in sommige van de OvV-rapporten om kennis beter te delen.

Literatuur

1. Arboportaal, *SZW Arbovisie 2040: De trend gekeerd. Samenwerken aan een gezond en veilig werkend Nederland.*, 2023. Beschikbaar via <https://www.arboportaal.nl/documenten/2023/10/30/szw-arbovisie-2040>. (Geraadpleegd 3-2-2026).
2. J. Selman, J. Spickett, J. Jansz en B. Mullins, *An investigation into the rate and mechanism of incident of work-related confined space fatalities*. *Safety Science*, 2018. **109**: p. 333–343.
3. D. Burlet-Vienney, Y. Chinniah, A. Bahloul en B. Roberge, *Occupational safety during interventions in confined spaces*. *Safety Science*, 2015. **79**: p. 19–28.
4. Lerenvoorveiligheid.nl. *Contact met gevaarlijke stoffen in een besloten ruimte*. Beschikbaar via <https://lerenvoorveiligheid.nl/ongevalseinformatie/typen-ongevallen/contact-met-gevaarlijke-stoffen-in-besloten-ruimte>. (Geraadpleegd 21-01-2026).
5. CBS. *Arbeidsongevallen 4 dagen verzuim of meer; werknemers, kenmerken ongeval*. Beschikbaar via <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/84030NED/table?ts=176217918470>. (Geraadpleegd 21-01-2026).
6. NLA, *Monitor arbeidsongevallen 2023*, 2023. Beschikbaar via <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/publicaties/2024/08/26/monitor-arbeidsongevallen-2023>. (Geraadpleegd 18-2-2026).
7. H.J. Manuel, J.H.J. Wijten, M.P.N. Spruijt en A.G. Wolting, *Analyse van incidenten met gevaarlijke stoffen bij Seveso-inrichtingen 2024*, RIVM 2024-0019, 2024. Beschikbaar via <https://www.rivm.nl/publicaties/analyse-van-incidenten-met-gevaarlijke-stoffen-bij-seveso-inrichtingen-2024>. (Geraadpleegd 31-07-2025).
8. *ARIA database*. Beschikbaar via <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/>. (Geraadpleegd 11-11-2025).
9. Eurostat. *European Statistics on Accidents at Work (ESAW)*. Beschikbaar via <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-statistical-working-papers/-/ks-ra-12-002>. (Geraadpleegd 21-01-2026).
10. Eurostat. *Accidents at work statistics (NB: Eurostat geeft data voor NACE-klassen A + C-N, niet B en O-U, waardoor incidentfactoren van NLA voor Nederland hoger zijn dan gemeld door Eurostat)*. Beschikbaar via https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Accidents_at_work_statistics. (Geraadpleegd 21-01-2026).
11. HSE. *Index of data tables (Data uit tabel RIDKIND)*. Beschikbaar via <https://www.hse.gov.uk/statistics/tables/index.htm>. (Geraadpleegd 21-01-2026).
12. U.S.B.o. Labor_Statistics. *Fatal occupational injuries involving confined spaces*. Beschikbaar via <https://www.bls.gov/iif/factsheets/fatal-occupational-injuries-confined-spaces-2011-19.htm>. (Geraadpleegd 30-07-2025).

13. U.S.B.o. Labor_Statistics. *Appendix Table 2. Number of workers represented (Er is geen data gevonden voor een gemiddelde over de jaren 2011-2018)*. Beschikbaar via <https://www.bls.gov/news.release/ebs2.t08.htm>. (Geraadpleegd 30-07-2025).
14. U.S.B.o. Labor_Statistics. *Civilian occupations with high fatal work injury rates*. Beschikbaar via <https://www.bls.gov/charts/census-of-fatal-occupational-injuries/civilian-occupations-with-high-fatal-work-injury-rates.htm>. (Geraadpleegd 05-08-2025).
15. Stigas, *Veilig werken in en rond ULO-cellen*, 2023. Beschikbaar via <https://www.stigas.nl/agroarbo/protocol-veilig-werken-en-rond-ulo-cellen/>. (Geraadpleegd 28-07-2025).
16. Boerenbond, *Protocol ULO-cellen, voor fruitteeltbedrijven*, 2017. Beschikbaar via https://www.boerenbond.be/sites/default/files/media/files/2021-10/20171102_Brochure_Protocol_ULO_cellen_2017_LR.pdf. (Geraadpleegd 28-07-2025).
17. Nieuwe_Oogst. *Monteur omgekomen in koelcel op fruitbedrijf*. Beschikbaar via <https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2019/03/06/monteur-omgekomen-in-koelcel-op-fruitbedrijf> (Geraadpleegd 29-07-2025).
18. Pressreader. *Tragisch ongeval bij veiling Haspengouw kost leven aan 36-jarige arbeider*. Beschikbaar via <https://www.pressreader.com/belgium/het-belang-van-limburg/20161005/281479275916517>. (Geraadpleegd 28-07-2025).
19. Standaard.be. *Gestikte Pool in koelcel wilde zakje appels terughalen*. Beschikbaar via <https://www.standaard.be/binnenland/gestikte-pool-in-koelcel-wilde-zakje-appels-terughalen/45647345.html>. (Geraadpleegd 03-10-2025).
20. Vilt.be. *Twee Polen omgekomen in Nederlandse koelcel*. Beschikbaar via <https://vilt.be/nl/nieuws/twee-polen-omgekomen-in-nederlandse-koelcel>. (Geraadpleegd 28-07-2025).
21. Vilt.be. *Halfuur in fruitkoelcel wordt jongetje fataal*. Beschikbaar via <https://vilt.be/nl/nieuws/halfuur-in-fruitkoelcel-wordt-jongetje-fataal> (Geraadpleegd 29-07-2025).
22. Vilt.be. *Vorig ongeluk met fruitkoelcel bijna twintig jaar oud*. Beschikbaar via https://vilt.be/nl/nieuws/Vorig_ongeluk_met_fruitkoelcel_bijna_twintig_jaar_oud. (Geraadpleegd 28-07-2025).
23. Stigas. *Gevaren van mestgassen*. Beschikbaar via <https://www.stigas.nl/agroarbo/bijlagen/gevaren-van-mestgassen/#:~:text=Algemeen%3A%20het%20gas%20is%20zwaarder%20dan%20lucht%20en,%28rotte%20eieren%29.%20Symptomen%20bij%20blootstelling%3A%20dodelijk%20bij%20inademing>. (Geraadpleegd 24-10-2025).
24. P. Tamsma. *40 koeien door stalvloer gezakt*. Beschikbaar via <https://www.stigas.nl/blog/40-koeien-door-stalvloer-gezakt>. (Geraadpleegd 24-10-2025).
25. R.L. Beaver en W.E. Field, *Summary of documented fatalities in livestock manure storage and handling facilities - 1975-2004*. Journal of Agromedicine, 2007. **12 (2)**: p. 3-23.

26. D. Bijlsma. *Zeven koeien dood door giftige meststoffen op boerderij, drie personen naar het ziekenhuis*. Beschikbaar via <https://www.ad.nl/binnenland/zeven-koeien-dood-door-giftige-meststoffen-op-boerderij-drie-personen-naar-het-ziekenhuis~a4f8a5df/>. (Geraadpleegd 24-10-2025).
27. T. Hallema. *Twee mannen komen om in gierput Oostrum*. Beschikbaar via [https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2020/01/24/twee-mannen-komen-om-in-gierput-oostrum#:~:text=Twee%20mannen%20zijn%20vrijdagmiddag%20om%20het%20leven%20gekomen,mestopslag%20aan%20het%20werk%2C%20meldt%20dagblad%20De%20Limburger](https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2020/01/24/twee-mannen-komen-om-in-gierput-oostrum#:~:text=Twee%20mannen%20zijn%20vrijdagmiddag%20om%20het%20leven%20gekomen,mestopslag%20aan%20het%20werk%2C%20meldt%20dagblad%20De%20Limburger.). (Geraadpleegd 24-10-2025).
28. T. Hallema. *Man komt om na val in gierput*. Beschikbaar via <https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2020/01/21/man-komt-om-na-val-in-gierput>. (Geraadpleegd 24-10-2025).
29. RTL_nieuws. *Drie doden per jaar door mestgassen: één ademteug en je bent weg*. Beschikbaar via <https://www.rtl.nl/nieuws/nederland/artikel/5022231/nog-altijd-mestongevallen-risico-aandacht>. (Geraadpleegd 24-10-2025).
30. Veilig_op_1. *Twee personen overlijden in gierput Oostrum*. Beschikbaar via <https://www.veiligop1.nl/nieuws/twee-personen-overlijden-gierput-oostrum/>. (Geraadpleegd 24-10-2025).
31. Nu.nl. *Tiener overleden na val in mestput op Groningse boerderij*. Beschikbaar via <https://www.nu.nl/binnenland/5276873/tiener-overleden-na-val-in-mestput-op-groningse-boerderij.html?referrer=https%3A%2F%2Fwww.bing.com%2F>. (Geraadpleegd 24-10-2025).
32. Mestportaal.nl. *Ongeval mestput in Oldehove*. Beschikbaar via <https://www.mestportaal.nl/2018/ongeval-mestput-in-oldehove/>. (Geraadpleegd 24-10-2025).
33. Nos.nl. *Boer overleden door inademen mestgassen*. Beschikbaar via <https://nos.nl/artikel/2095621-boer-overleden-door-inademen-mestgassen>. (Geraadpleegd 9-12-2025).
34. OvV. *Gevaren mestgassen onderschat*. Beschikbaar via <https://onderzoeksraad.nl/pers/gevaren-mestgassen-onderschat/>. (Geraadpleegd 24-10-2025).
35. OvV. *Dodelijk ongeval in ladingtank van chemicaliëntanker, 2023*. Beschikbaar via https://onderzoeksraad.nl/wp-content/uploads/2023/11/dodelijk_ongeval_in_ladingtank_van_chemicalientanker_ncc_safa.pdf. (Geraadpleegd 28-07-2025).
36. M.K. Sundal, et al., *Asphyxiation death caused by oxygen-depleting cargo on a ship*. Forensic Science International, 2017. **279**: p. e7–e9.
37. U. Svedberg, J. Samuelsson en S. Melin, *Hazardous Off-Gassing of Carbon Monoxide and Oxygen Depletion during Ocean Transportation of Wood Pellets*,. The Annals of Occupational Hygiene, 2008. **52**(4): p. 259–266.
38. OvV, *Koolmonoxide in boegschroefruimte, 2015*. Beschikbaar via <https://onderzoeksraad.nl/onderzoek/koolmonoxide-in-boegschroefruimte-13-juli-2014/>. (Geraadpleegd 23-2-2026).
39. OvV, *Verstikking door betreden ladingruim, 2015*. Beschikbaar via <https://onderzoeksraad.nl/onderzoek/verstikking-door-betreden-ladingruim-12-maart-2014/>. (Geraadpleegd 4-2-2026).

40. OvV, *Dodelijk ongeval in een reactor*, 2025. Beschikbaar via <https://onderzoeksraad.nl/wp-content/uploads/2025/04/Dodelijk-ongeval-in-een-reactor.pdf>. (Geraadpleegd 28-07-2025).
41. Rechtbank_Oost-Brabant, *ECLI:NL:RBOBR:2015:6619*. 2015.
42. EVMi. *Bedrijfsongeval: dode bij Vion Retail*. Beschikbaar via <https://evmi.nl/nieuws/bedrijfsongeval-dode-bij-vion-retail>. (Geraadpleegd 18-2-2026).
43. OvV, *Dodelijk ongeval bij onderhoudswerk fosforoven*, 2009. Beschikbaar via <https://onderzoeksraad.nl/onderzoek/dodelijk-ongeval-bij-onderhoudswerk-fosforoven-bij-thermphos/>. (Geraadpleegd 4-2-2026).
44. Rechtbank_Oost-Brabant, *ECLI:NL:RBOBR:2021:1619*. 2021.
45. Rechtbank_Zeeland-West-Brabant, *ECLI:NL:RBZWB:2016:3412*. 2016.
46. C. Gutker. *Dodelijk duikongeluk Afsluitdijk is tragisch ongeval, werkgever niet schuldig bevonden*. Beschikbaar via <https://www.nhnieuws.nl/nieuws/335735/dodelijk-duikongeluk-afsluitdijk-is-tragisch-ongeval-werkgever-niet-schuldig-bevonden>. (Geraadpleegd 24-2-2026).
47. Rechtspraak.nl. *Veroordelingen na dodelijk duikongeval stuwcomplex Driel*. Beschikbaar via <https://www.rechtspraak.nl/organisatie-en-contact/organisatie/rechtbanken/rechtbank-overijssel/nieuws/veroordelingen-na-dodelijk-duikongeval-stuwcomplex-driel>. (Geraadpleegd 24-2-2026).
48. OvV, *Duikongeval, Terneuzen, 12 maart 2008*, 2009. Beschikbaar via https://onderzoeksraad.nl/wp-content/uploads/2023/11/rapport_terneuzen.pdf. (Geraadpleegd 23-2-2026).
49. Rechtbank_Utrecht, *ECLI:NL:RBUTR:2003:AH9535*. 2003.
50. Simplified_Safety. *Veiligheid bij graafwerkzaamheden (er worden overigens geen onderbouwende data geleverd)*. Beschikbaar via <https://simplifiedsafety.nl/blog/veiligheid-graven-sleuven>. (Geraadpleegd 21-01-2026).
51. Platformzeroincidents. *Op weg naar nul incidenten*. Beschikbaar via <https://platformzeroincidents.com/>. (Geraadpleegd 05-12-2025).
52. Nos.nl. *Schippersechtpaar op intensive care door giftig gas in lading*. Beschikbaar via <https://nos.nl/artikel/2313633-schippersechtpaar-op-intensive-care-door-giftig-gas-in-lading>. (Geraadpleegd 2026-03-02).

Verklarende woordenlijst

ESAW

Binnen de EU worden de deelnemende landen gevraagd om statistische gegevens te delen over ongevallen met werknemers. Deze methode is omschreven in documentatie om overal dezelfde data op te halen en wordt European Statistics on Accidents at Work (ESAW) genoemd.

NACE

Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne (NACE) is een Europese classificering/indeling van industriële sectoren. Op hoofdniveau loopt de indeling van A – 'Agriculture, Forestry and Fishing' tot V – 'Activities of Extraterritorial Organisations and Bodies'. Het CBS gebruikt in Nederland de Standaard Bedrijfsindeling (SBI), die hiervan afgeleid is.

Incidentfactor (IF)

Een incidentfactor wordt berekend door het aantal incidenten per jaar te delen door 100.000 werknemers. In dit rapport wordt telkens de incidentfactor bepaald voor het aantal dodelijke slachtoffers per 100.000 werknemers per jaar ($ds/10^5 wn*j$). Daarmee kunnen de incidentfactoren op verschillende manieren vergeleken worden, bijvoorbeeld tussen verschillende landen of groepen of op ongevalstype.

ULO-cel

In Ultra Low Oxygen-cellen (ULO-cellen) wordt fruit voor langere tijd bewaard. Dit wordt in een ULO-cel op een lagere temperatuur gebracht, waarna het zuurstofgehalte daalt en het CO₂-gehalte stijgt door het natuurlijke ademproces van het fruit.

Afkortingenlijst

Arbobesluit	Arbeidsomstandighedenbesluit
Arbowet	Arbeidsomstandighedenwet
ARIA	Analyse, Recherche et Information sur les Accidents (database van BARPI, Frankrijk)
BARPI	Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles
BZK	Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties
CBS	Centraal Bureau voor de Statistiek
DOI	Digital Object Identifier
ESAW	European Statistics on Accidents at Work
GAO	Gedifferentieerde Aanpak Ongevalsonderzoek
HSE	Health and Safety Executive (Verenigd Koninkrijk)
IF	Incidentfactor
MHC	Major Hazard Control
MHCON	Major Hazard Control Ongevallen
MLvO	Monitor Leren van Ongevallen
NACE	Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté Européenne (indeling van bedrijfstakken)
NLA	Nederlandse Arbeidsinspectie
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
OvV	Onderzoeksraad voor de Veiligheid
PBM	Persoonlijk Beschermingsmiddel
RI&E	Risico Inventarisatie & Evaluatie
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
RWS	Rijkswaterstaat
SodM	Staatstoezicht op de Mijnen
Stigas	Stichting Gezondheidszorg Agrarische Sectoren
SZW	Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid
ULO-cel	Ultra Low Oxygen cel
US-BLS	U.S. Bureau of Labor Statistics
Zzp'er	Zelfstandige zonder personeel

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

juni 2026

De zorg voor morgen
begint vandaag