



## Ammoniakleiding incidenten en beheersbaarheid

Onderzoek naar de consequenties en  
beheersbaarheid van een ongeval met  
een ammoniak buisleiding

Antea Group

Understanding today.  
Improving tomorrow.

projectnummer 0494999.100  
definitief revisie 6.2  
29 augustus 2025

# Ammoniakleiding incidenten en beheersbaarheid

## Onderzoek naar de consequenties en beheersbaarheid van een ongeval met een ammoniak buisleiding

projectnummer 0494999.100  
documentnummer 20250514-494999  
definitief revisie 6.2  
29 augustus 2025

### Auteur(s)

Adviesgroep SAVE

### Opdrachtgever

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Bescherming persoonlijke levenssfeer

Postbus 20906  
2500 EX Den Haag

## Colofon

### Projectgroep

ing. R. (Roel) Steenberg  
drs. G. (Govert) Jongsma  
bsc K. (Kevin) Heinst

### Gecontroleerd

ing. R. (Roel) Steenberg

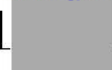
datum

29 augustus 2025

beschrijving

Definitief

Bescherming persoon



## Inhoudsopgave

|          |                                                                   |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Inleiding</b>                                                  | <b>5</b>  |
| 1.1      | Plan van aanpak                                                   | 5         |
| 1.2      | Afbakening                                                        | 6         |
| 1.3      | Leeswijzer                                                        | 6         |
| <b>2</b> | <b>Achtergrond ammoniakbuisleiding</b>                            | <b>8</b>  |
| 2.1      | Delta Rhine Corridor                                              | 8         |
| 2.2      | Leidinglekage                                                     | 9         |
| 2.3      | Leidingbreuk                                                      | 10        |
| 2.4      | Interventiewaarden                                                | 12        |
| 2.4.1    | AEGL                                                              | 13        |
| 2.4.2    | ERPG                                                              | 13        |
| 2.5      | Nederlandse interventiewaarden Ammoniak                           | 14        |
| 2.5.1    | Gehanteerde grenswaarden voor de beoordeling effecten             | 14        |
| 2.6      | Ventilatievoud                                                    | 14        |
| 2.7      | Praktijk versus risicomodellen                                    | 16        |
| 2.7.1    | Lessen uit incidenten                                             | 17        |
| 2.7.2    | Omgevings- en weersomstandigheden                                 | 18        |
| 2.7.3    | Grootte van een krater en plas                                    | 18        |
| <b>3</b> | <b>Beoordelingskader consequenties</b>                            | <b>20</b> |
| 3.1      | Ontwrichting                                                      | 20        |
| 3.2      | Beoordeling maatschappelijke ontwrichting                         | 20        |
| 3.2.1    | Fysieke veiligheid                                                | 22        |
| 3.2.2    | Ecologische veiligheid                                            | 22        |
| <b>4</b> | <b>Consequenties bij lekkage</b>                                  | <b>24</b> |
| 4.1      | Consequentie van stikstofdepositie                                | 24        |
| 4.1.1    | Herstelmaatregelen                                                | 24        |
| 4.2      | Consequentie voor de ondergrond                                   | 25        |
| 4.2.1    | Chemisch                                                          | 25        |
| 4.2.2    | Fysische effecten                                                 | 26        |
| 4.2.3    | Biologisch                                                        | 27        |
| 4.3      | Invloed buisleiding diameter op omvang effect.                    | 27        |
| <b>5</b> | <b>Consequenties bij leidingbreuk</b>                             | <b>29</b> |
| 5.1      | Reikwijdte effecten                                               | 29        |
| <b>6</b> | <b>Repressieve inzet bij een breuk in een ammoniakbuisleiding</b> | <b>33</b> |
| 6.1      | Inleiding                                                         | 33        |
| 6.1.1    | Tijdslijn                                                         | 33        |
| 6.2      | Repressie mogelijkheden                                           | 33        |
| 6.2.1    | Beperken van de uitstroomhoeveelheid (1)                          | 34        |
| 6.2.2    | Het beperken van de plasoppervlakte (2)                           | 35        |
| 6.2.3    | Beperken van de uitdamping naar de lucht (3)                      | 35        |
| 6.2.4    | Bestrijding van de wolk/ de concentratie in de lucht (4)          | 36        |
| 6.2.5    | Het verkleinen van een plas (5)                                   | 38        |
| 6.2.6    | Ontruiming (6)                                                    | 38        |
| 6.3      | Ervaring buitenland                                               | 38        |
| 6.3.1    | Veiligheidszones                                                  | 39        |
| 6.3.2    | Praktijkonderzoek                                                 | 40        |
| 6.3.3    | Verschil met Nederland                                            | 40        |
| 6.4      | Samenvatting bestrijdingsmogelijkheden                            | 42        |

|          |                                              |           |
|----------|----------------------------------------------|-----------|
| 6.4.1    | Nadere beschouwing                           | 42        |
| <b>7</b> | <b>Beoordeling consequenties</b>             | <b>44</b> |
| 7.1      | Beoordeling consequenties                    | 44        |
| 7.1.1    | Omgeving en locatie incidenten               | 45        |
| 7.1.2    | Meteorologische condities                    | 45        |
| 7.1.3    | Uitgewerkte beoordeling consequenties        | 46        |
| 7.2      | Inzet hulpdiensten en invloed op de gevolgen | 47        |
| 7.3      | Lessen met betrekking tot buisleidingontwerp | 47        |
| <b>8</b> | <b>Kennisleemtes</b>                         | <b>49</b> |
| <b>9</b> | <b>Conclusie</b>                             | <b>50</b> |



# 1 Inleiding

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat is betrokken bij de ontwikkeling van de Delta Rijn Corridor (DRC). Voor deze corridor is een zoekgebied gedefinieerd in de Structuur Visie Buisleiding (SVB). In het kader van de energietransitie is bij private initiatief nemers de behoefte ontstaan om een ammoniak transportleiding te realiseren in de DRC. In de afgelopen twee jaar zijn meerdere onderzoeken uitgevoerd met betrekking tot buisleidingtransport van nieuwe energiedragers waaronder ammoniak.

Ammoniak is een waterstofdrager die, vanwege zijn fysische eigenschappen, uitermate geschikt is voor lange afstandstransport van waterstof. Transport van ammoniak als waterstofdrager is in veel opzichten effectiever dan transport van waterstof in de toekomstige energiemix of andere gebruikelijke waterstofdragers, zogeheten 'Liquid Organic Hydrogen Carriers' (LOHCs). Ammoniak kan bij een gelijk volume meer waterstof, en daarmee energie, transporteren dan andere waterstofdragers en zuivere gasvormige waterstof. Ammoniak zal naar verwachting vooral via zeehavens in vloeibare vorm het land inkomen en daar opgeslagen en verladen worden.

Ammoniak is toxisch, ook voor het aquatisch milieu. Door de toxiciteit van de stof heeft ammoniak impact op de omgevingsveiligheid. Bij een bepaalde omvang kan het vrijkomen van ammoniak leiden tot maatschappelijke ontwrichting, in de vorm van een groot aantal dodelijke slachtoffers, ernstig letsel of milieuschade, doordat sprake is van een grote uitstroming met ammoniak leidend tot significante effectgebieden. Transport van deze stof kent andere risico's dan huidig energiedragers en chemische stoffen die door buisleidingen worden getransporteerd. (hoofdzakelijk brandbare koolwaterstoffen zoals aardgas en olie). Een incident met ammoniak kan een toxische wolk creëren die snel van de bron afdrijft en zich over een groot gebied verspreidt. Anders dan bij de meeste koolwaterstoffen is ook sprake van langdurige (meerdere dagen) ongewenste effecten voor de omgeving.

Het ministerie heeft ten behoeve van het veiligheidskader ammoniak de volgende onderzoeksvraag:

*In het geval van een incident met een ammoniakbuisleiding, wat zijn de effecten naar de omgeving en welke omvang van een uitstroming leidt tot een beheersbaar ongevalscenario?*

Ten behoeve van deze onderzoeksvraag zijn de volgende aandachtspunten geformuleerd:

- Schets het verloop van een ongevalscenario van een ammoniakbuisleiding, zowel breuk als lekkage.
- Wat zijn de gevolgen van de verschillende effecten op de omgeving, en wanneer is sprake van een beheersbaar scenario (zowel mens als milieu)
- Inventariseer de mogelijkheden voor de hulpdiensten om de effecten te beperken, met behulp van de beschikbare middelen en manschappen
- Welke aanpassingen in het buisleidingontwerp beïnvloeden de uitkomsten (hierbij wordt reeds uitgegaan van toepassing best beschikbare technieken).
- Hoe verhouden de externe veiligheidseisen t.o.v. het veilige buisleidingenontwerp?

## 1.1 Plan van aanpak

### 1. Startoverleg met Ministerie en het RIVM

In de eerste stap van het onderzoek wordt een startoverleg georganiseerd met vertegenwoordigers van het ministerie I&W en het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Tijdens dit overleg worden de doelstellingen, verwachtingen, en de rollen en verantwoordelijkheden van alle betrokken partijen besproken en vastgelegd. Tevens zullen hier de belangrijkste onderzoeksvragen worden aangescherpt en een gedetailleerde planning worden opgesteld.

### 2. Verzamelen en visualiseren van omgevingseffecten bij een incident

In de tweede fase van het onderzoek worden de mogelijke omgevingseffecten van een incident met een ammoniakbuisleiding verzameld en geanalyseerd. Dit omvat naast de effecten op de omgeving ook de effecten op de ondergrond. De gegevens worden vervolgens gevisualiseerd om een duidelijk beeld te krijgen van de potentiële impactgebieden.



### 3. Uitwerking tijdsverloop van een incident

Op basis van eerdere incidenten, achtergronddocumentatie en de kennisnotitie 31112024 van het RIVM is inzicht vergaard in het incidentverloop bij ammoniakbuisleidingen en de daarbij opgetreden effecten. Op basis van deze informatie wordt een globale uitwerking gemaakt van het tijdsverloop van een dergelijk incident. Dit omvat de initiële breuk of lekkage, de directe en indirecte gevolgen. Dit helpt bij het beter begrijpen van de dynamiek van een incident en het bepalen van kritieke tijdsintervallen voor interventie.

### 4. Overleg met kennisdragers over de repressie mogelijkheden bij een Incident

Door middel van een werksessie met H2K en een interview met ASTI is inzicht vergaard in de repressiemogelijkheden bij een incident met een ammoniakbuisleiding. H2K te Vlaardingen is een dienstverlenend bedrijf dat zich gespecialiseerd heeft in het verzorgen van brandweeropleidingen, het geven van praktijktrainingen en het adviseren en ondersteunen van bedrijven. H2K geeft trainingen over veilig omgaan met ammoniak en over de bestrijding van ammoniakincidenten. ASTI is het Ammonia Safety and Trainings Institute uit de Verenigde Staten en is gespecialiseerd in het faciliteren van non-profit trainingen aan bedrijven en de overheid en het ondersteunen bij opstellen van noodplannen gerelateerd aan ammoniak. Dit heeft geleid tot een beoordeling waarbij de effecten en de kritische tijd intervallen behorend bij een ammoniakincident en over de mogelijke de repressieve mogelijkheden zijn neergelegd en daarbij gezocht is naar realistische scenario's met betrekking tot inzet van hulpverleners. Deze inventarisatie geeft de mogelijkheden voor het effectief beheersen van het ongevalsscenario.

### 5. Beoordeling effecten

De vijfde stap in het onderzoek richt zich op een beoordeling van de effecten van een incident met een ammoniakbuisleiding. Hierbij worden de verzamelde gegevens en analyses gebruikt om de ernst van de verschillende scenario's te beoordelen.

### 6. Periodieke afstemming met begeleidingscommissie

Gedurende het gehele onderzoek vinden periodieke afstemmingsmomenten plaats met de begeleidingscommissie. Tijdens deze sessies worden de voortgang, bevindingen en eventuele knelpunten besproken. De commissie biedt feedback en advies, en zorgt ervoor dat het onderzoek op koers blijft en aansluit bij de gestelde doelen en verwachtingen.

De begeleidingscommissie bestond onder andere uit de volgende vertegenwoordigers van de betreffende ministeries:

|                 |                                      |
|-----------------|--------------------------------------|
| - V. van de Pas | Bescherming persoonlijke levenssfeer |
| - K. Theune     |                                      |
| - R. de Ruiter  |                                      |
| - M. Spoelstra  | NIPV                                 |
| - J. Langeveld  | DCMR – PGS 12 begeleidingscommissie  |
| - E. Bloem      | RIVM                                 |
| - Y. Geertzema  | RIVM                                 |

## 1.2 Afbakening

Binnen dit onderzoek is het uitgangspunt dat een ongeval met ammoniak zich voordoet. Het beschouwen van de kans dat een ongeval zich voordoet blijft buiten beschouwing, omdat een effectenstudie wordt opgesteld. Hierbij ligt de focus niet op de kans of een ongeval zich voordoet maar op de effecten die optreden bij een ongeval. Het aspect kans wordt binnen dit onderzoek volledigheidshalve wel besproken, maar alleen ter ondersteuning van de risicobeoordeling. Verder ligt de focus binnen dit onderzoek op warme ammoniak (omgevingstemperatuur en een druk > 10 bar) aangezien deze vorm de voorkeur heeft voor transport door buisleidingen over lange afstanden. Voor de opslag en verlading van koude ammoniak dient de PGS 12 als best-practice.

## 1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk één beschrijft de doelstelling van het onderzoek. Hoofdstuk twee geeft de achtergrond met betrekking tot ammoniakbuisleidingen en schetst het scenarioverloop van een incident. In hoofdstuk drie

worden de mogelijke effecten die kunnen optreden bij een incident toegelicht. Hoofdstuk vier richt zich op het beoordelingskader voor de risicobeoordeling van de effecten van een incident met een ammoniakbuisleiding. In hoofdstuk vijf is een overzicht opgenomen van de mogelijke repressiemogelijkheden. In hoofdstuk zes is de risicobeoordeling uitgewerkt. Hoofdstuk zeven bevat de conclusie en aanbevelingen.

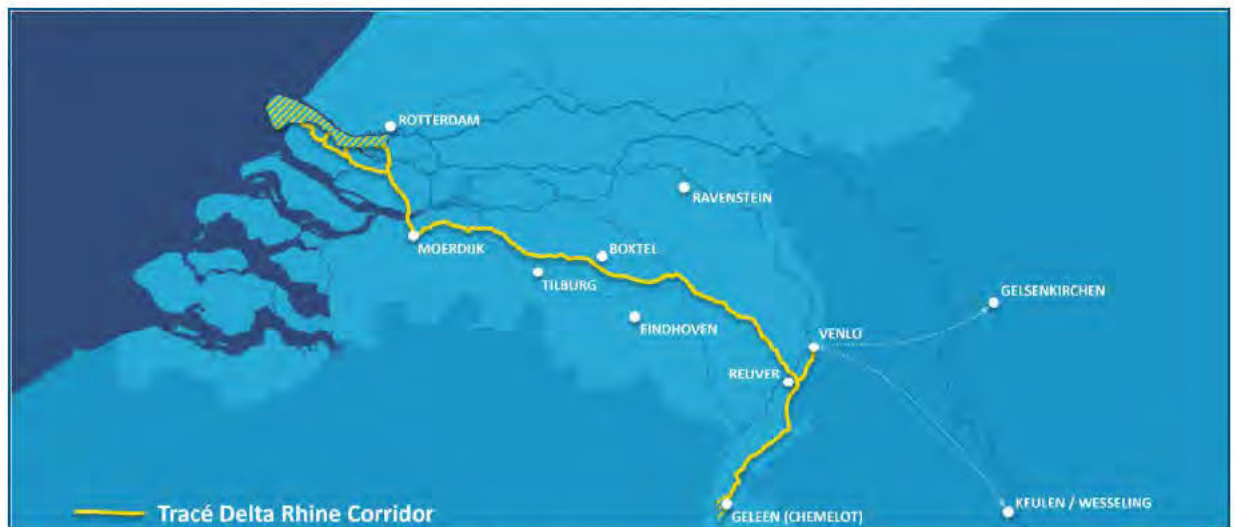


## 2 Achtergrond ammoniakbuisleiding

## 2.1 Delta Rhine Corridor

In de energietransitie waarin Nederland zich momenteel begeeft wordt gezocht naar duurzame bronnen van energie. Een van deze bronnen is waterstof. Voor transport van waterstof wordt gezocht naar waterstofdragers waarmee energie efficiënt over lange afstanden getransporteerd kan worden. Ammoniak is één van de waterstofdragers waarvoor onderzocht wordt of deze binnen de Delta Rhine Corridor (DRC) via een buisleiding getransporteerd kan worden. De planning op het moment van schrijven is dat de ammoniakbuisleiding niet voor 2030 gerealiseerd zal worden.

Deze buisleidingen transporteren ammoniak van de havens in Nederland (Rotterdam) via Venlo naar Duitsland. Ook is nog een aftakking naar het industriecomplex Chemelot in Zuid-Limburg mogelijk.



Figuur 2.1 voorgesteld Tracé Delta Rhine Corridor (geel)

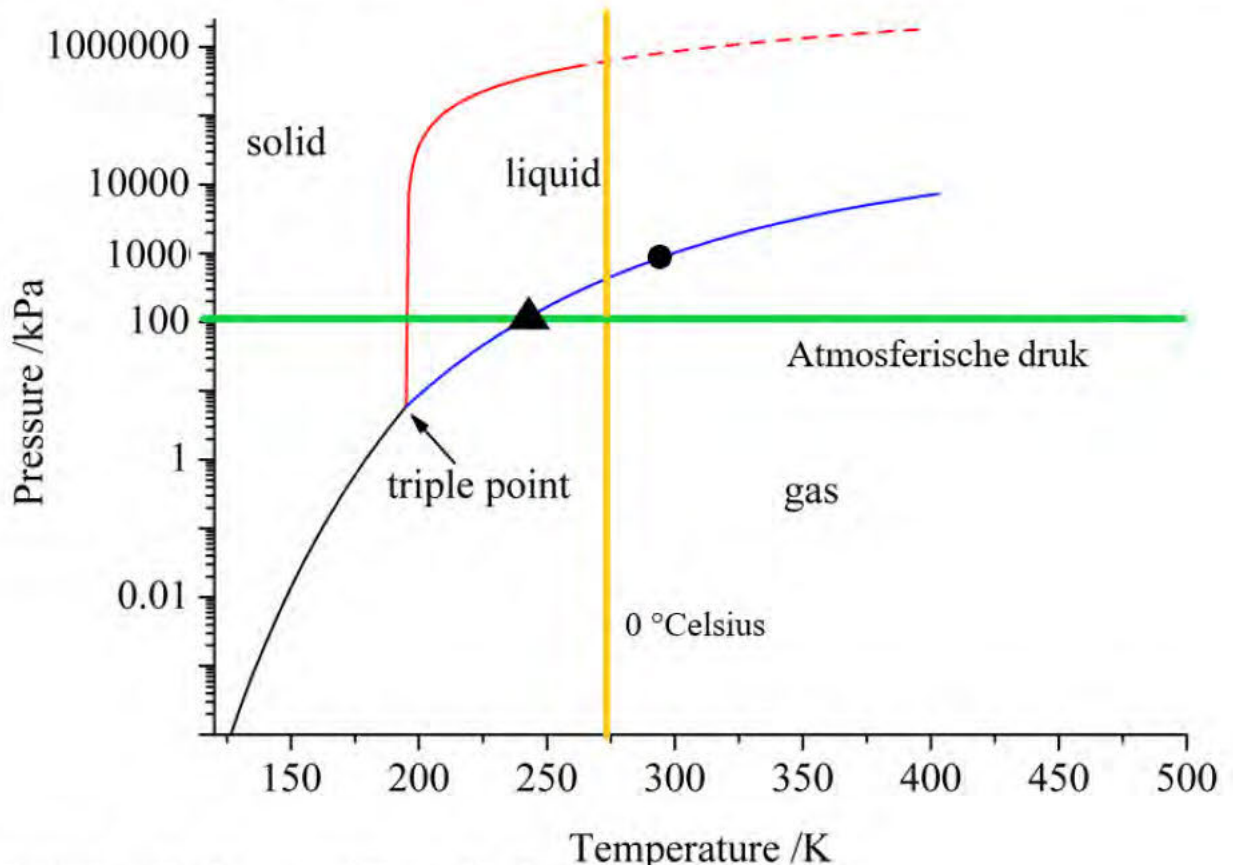
De exacte ligging van een ammoniakleiding is onbekend, maar dit zal ergens in het zoekgebied van de Delta Rhine Corridor liggen. De locatie heeft als vanzelfsprekend invloed op de incidenten die kunnen ontstaan. Afhankelijk van de locatie verschilt de kans en de consequenties die een incident heeft. In dit onderzoek is gekeken naar de centrale lijn binnen het zoekgebied en is geen kwantitatieve analyse gemaakt van alle verschillende omgevingen.

Transport van ammoniak via een buisleiding zal gevoed worden uit een ammoniakterminal. In een ammoniakterminal wordt ammoniak opgeslagen op een atmosferische druk en bij  $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dit is het atmosferisch kookpunt van ammoniak. Door middel van een goed geïsoleerde opslagtank en ammoniakcompressoren, die de verdampende ammoniak weer comprimeren naar een vloeistof, is dit een stabiele en efficiënte opslagvorm. Bij deze condities wordt dit vaak 'koude' ammoniak genoemd.

Bij transport via binnenvaartschip, spoor of buisleiding ontbreken de voorzieningen om de ammoniak gekoeld te houden tot onder zijn atmosferische kookpunt. Om deze reden wordt lange afstandstransport van ammoniak in een buisleiding getransporteerd op omgevingstemperatuur, maar bij een druk (>8,6 barg, bij 20 °C) waarbij ammoniak vloeibaar is. Transport van ammoniak via de DRC betreft alleen 'warme' ammoniak bij de hier omschreven omstandigheden.

In Figuur 2.2 is een fasediagram opgenomen waarin de relatie tussen druk-temperatuur en de fase van ammoniak is af te lezen.





Driehoek = 'Koude' ammoniak (1 atm = 100 kPa en -33 °C)

Cirkel = 'warme' ammoniak (10 atm = 1000 kPa en 10 °C)

Figuur 2.2 Fasediagram ammoniak

## 2.2 Leidinglekage

Bij een leidingbreuk zijn de grootste effecten op de leefomgeving te verwachten.. Die effecten (kunnen) leiden tot een onveilige situatie voor getroffen mensen en heeft grote impact op het milieu. In dit rapport is derhalve ook beperkt inzage verschaft in deze consequenties. Een lekkage kan door verschillende oorzaken ontstaan, de oorzaak bepaald de grootte van de uitstroming. In dit rapport is niet gekeken naar de kans en oorzaak van het ontstaan van een lekkage. Bij een ondergrondse lekkage van een ammoniakbuisleiding is onderscheid gemaakt in twee type uitstroombesonderheden, dit is gebaseerd op het vermogen van de leidingexploitant om dit te detecteren.

Het eerste scenario betreft het vrijkomen van ammoniak uit een kleine opening. Hierbij is de uitstroom zo gering (in de orde van grootte van minder dan 1 kg per dag) dat deze niet opgemerkt wordt in de controlekamer. De exacte hoeveelheid is afhankelijk van de leidingdiameter en de aanwezige detectiesystemen. Dit kan leiden tot een langdurige uitstroom van ammoniak, die mogelijk pas bij een inspectie van de leiding wordt ontdekt. De vrijgekomen ammoniak blijft grotendeels of volledig ondergronds, wat kan resulteren in schade aan de ecologie.

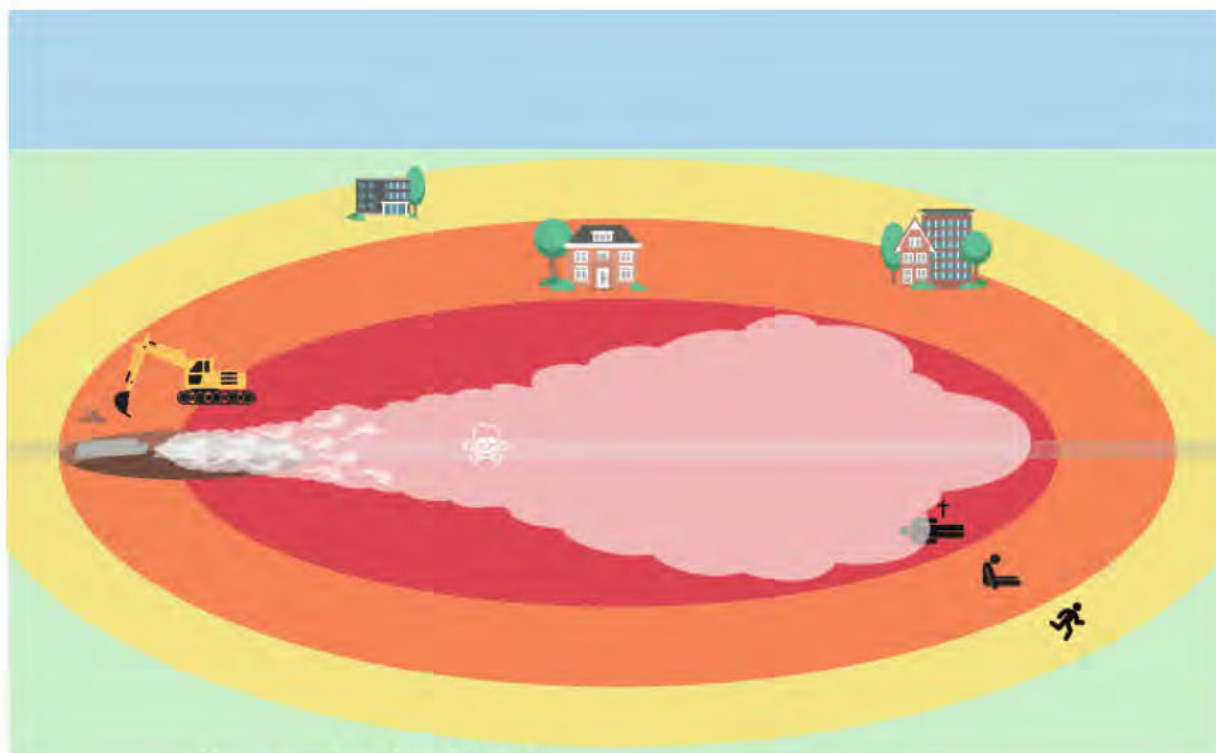
Het tweede scenario gaat over het vrijkomen van ammoniak uit een grotere opening. Dit wordt gedetecteerd in de controlekamer van de leidingexploitant. Daarnaast geldt dat grotere lekkages op beperkte afstand van het lek ammoniak waarneembaar door geur en mogelijk irritatie. Na detectie wordt de leiding afgesloten, waardoor de uitstroom na detectie beperkt blijft tot de ammoniakinhoud van het afgesloten gedeelte van de leiding. Afhankelijk van de grootte van de opening kan de ammoniak ook bovengronds komen. Hoewel dit scenario minder ernstig is dan een totale leidingbreuk, kunnen de gevolgen zowel boven- als ondergronds merkbaar zijn. Hierbij is sprake van hinder voor de omgeving, schade aan de natuur, maar geen gevaar voor de mensen in de nabije omgeving.

Uit bovenstaande blijkt dat elke lekkage van een leiding ecologische gevolgen heeft, dit is toegelicht in hoofdstuk 4. Naarmate de uitstroming groter wordt zal de vrijkomende ammoniak bovengronds komen en impact kunnen hebben op de omwonenden, dit is vergelijkbaar met leidingbreuk, zie de hierop volgende paragraaf.

## 2.3 Leidingbreuk

In deze paragraaf wordt het scenario van een breuk in een ammoniakbuisleiding voor het transport van onder druk vloeibaar gemaakte warme ammoniak uiteengezet.

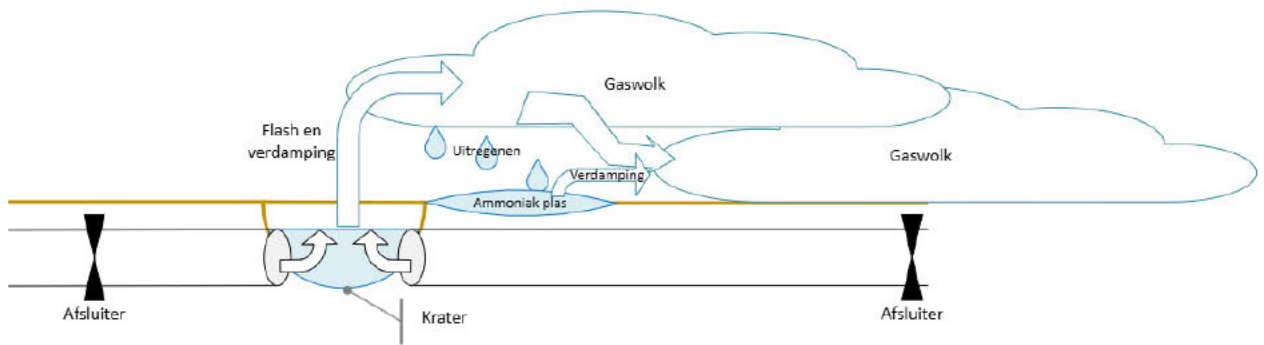
In de onderstaande paragrafen wordt stap voor stap de ontwikkeling van het scenario uiteengezet. Een breuk in een ammoniakbuisleiding kan bijvoorbeeld voorkomen bij graafwerkzaamheden.



- 1<sup>e</sup> ring: 100% letaal gebied
- 2<sup>e</sup> ring: Grote kans op sterfte of ernstige gezondheidsschade
- 3<sup>e</sup> ring: Gezondheidsschade

Figuur 2.1 Visualisatie breuk van een leiding [bron: Scenarioboek NIPV]





Figuur 2.2 Visualisatie uitstroming uit een lange ondergrondse buisleiding

In bovenstaande illustraties is te zien hoe een twee-fasen uitstroming uit een bovengrondse buisleiding eruitziet. Bij een twee-fasen uitstroming komt de onder druk vloeibaar gemaakte ammoniak vrij in een mengsel van gas en vloeistof. Een gedeelte van de ammoniak verdampt en vormt een gas, deze verdamping zorgt voor afkoeling van de andere ammoniak waardoor deze vloeibaar blijft.

In figuur 2.2 is de uitstroming van een ondergrondse leiding weer gegeven. Door de druk die vrijkomt bij een breuk van een ondergrondse buisleiding ontstaat een krater waarin een deel van de vloeistof zich zal verzamelen. De uitstroming zal verticaal richting het oppervlakte gaan onder invloed van de aanwezige krater. In de afstromende wolk bevinden zich grote hoeveelheden kleine ammoniakdruppels. Door de verdamping van de ammoniak uit deze druppels koelen deze verder af. Door coalescentie (net als in een regenwolk) worden deze druppels steeds groter. Onder invloed van de zwaartekracht vallen de steeds groter wordende druppels steeds sneller naar het aardoppervlak. Er ontstaat een regen van vloeibare ammoniak, die zich kan verzamelen in poelen en plassen. Deze bevatten dan koudgekookte vloeibare ammoniak.

#### Uitstroombfases [bron: RIVM – KN-2025-0022]

De modellering van een uitstroom vanuit een ammoniakbuisleiding vindt plaats in vier stappen:

1. Een bijna directe drukverlaging van de operationele druk (bijvoorbeeld 80 of 100 bar) naar ongeveer 6 bar.
2. Een *superheated state*, waarin de temperatuur van de vloeistof boven het kookpunt ligt, maar bij de heersende druk niet kan verdampen. Door de druk in buisleiding stroomt de vloeistof uit. Zodra het vrijkomt valt de druk terug naar atmosferische druk en verdampt een gedeelte onmiddellijk, de zogenaamde *flash expansion*.
3. De kokende fase. In deze fase verdampt de ammoniak in de buisleiding door de toegevoegde warmte uit de grond. Dit zorgt voor een overdruk in de buisleiding waardoor er een uitstroming in de gas en vloeistoffase blijft bestaan.
4. Atmosferische uitstroom. Als de druk in de buisleiding gelijk is aan de druk in de buitenlucht stopt de uitstroom uit de buisleiding nagenoeg.

In de modellering in Safeti-NL draagt de uitstroom tijdens stap 2 en 3 bij aan de gifwolk. Vanaf stap 2 ontstaat daarnaast een plas die bijdraagt aan de gifwolk. Voor dit rapport wordt hierna gesproken over een eerste fase (stap 2 en 3) en een tweede stap (fase 4). In de eerste fase is de vorming van ammoniak vanuit de buisleiding bepalend voor het effect, in de tweede fase wordt de toevoer van ammoniak naar de wolk bepaald door de verdamping van vloeibare ammoniak uit de gevormde plassen in de krater en op de grond.

#### Leidingbreuk en eerste uitstroom

Deze fase kenmerkt zich door het snel vrijkomen van gasvormige en vloeibare ammoniak, de druk in de leiding (tussen de 10 en 100 barg) veroorzaakt onder andere een krater. Na het ontstaan van de leidingbreuk neemt de druk in de leiding af. De voornaamste uitstroom ontstaat doordat ammoniak door de druk in de leiding naar buiten wordt geduwd.

Doordat de vloeibare ammoniak uit de buisleiding vrijkomt bij een temperatuur die hoger is dan het kookpunt gaat de vloeibare ammoniak verdampen. Deze verdamping verloopt zeer snel, aangezien de dampspanning van ammoniak bij 20 °C ongeveer 8,6 bar is. Deze zeer snelle verdamping leidt tot extreme afkoeling van de gaswolk. Dit leidt tot (re-)condenseren van een deel van de gaswolk, waardoor opnieuw vloeibare ammoniak



ontstaat die deels in de krater en deels in poelen onder de gaswolk verzamelt. De fase van snelle verdamping door uitstroom in de vloeistoffase in de leiding kan ongeveer 20 - 30 minuten duren. Safeti-NL schat dat ongeveer 15-20% van de lekkage als gasvormige ammoniak benedenwinds voor effecten zorgt. De rest blijft achter in vloeistofvorm in en rondom de krater. De hoeveelheid vrijgekomen ammoniak is afhankelijk van de diameter van de buisleiding.

Als een breuk in een ammoniakbuisleiding zich voordoet is het van belang om zo snel mogelijk het insluitingssysteem te activeren. Dit systeem stopt de pompen en sluit de kleppen in de buisleiding waardoor ammoniak niet verder naar de breuk kan stromen. De reactietijd is afhankelijk van het systeemontwerp, waarin de wijze van detectie, snelheid van detectie en de reactiesnelheid van insluitsystemen zijn vastgelegd. Dit leidt ertoe dat niet alle ammoniak in de gehele buisleiding uitstroomt. Desondanks kan het, afhankelijk van de afstand tussen de afsluitkleppen, nog steeds gaan om een aanzienlijke hoeveelheid ammoniak.

Door de verdamping van een groot deel van de ammoniak, ontstaat een toxische wolk waarvan de grootte bepaald wordt door de hoeveelheid uitgestroomde ammoniak en het gedeelte dat verdampt. Dit wordt ook beïnvloed door de meteorologische omstandigheden en de locatie (bos, weiland, water, bebouwing etc.) waar de lekkage plaats vindt. Deze wolk zal dan over het nabijgelegen gebied trekken, uit berekeningen met Safeti-NL blijkt dat het vrijkomen van ammoniakgas op deze manier ongeveer de eerste 20 tot 30 minuten plaats vindt nadat de leiding is gescheurd. Hierna blijft alleen de plasverdamping nog over als bron van ammoniakgas

### Plasvorming en plasverdamping

Zoals hierboven reeds eerder toegelicht, de plasverdamping begint zodra de ammoniak de buisleiding verlaat in vloeibare vorm. Het zal onder andere uitregenen op de ondergrond en er verzamelt zich uiteindelijk ook ammoniak in de krater. Maar uiteindelijk wordt in de latere fase de toevoer van ammoniakgas naar de wolk bepaald door uitdamping uit de gevormde plas(sen) met ammoniak.

Uit de buisleiding blijft ammoniak stromen die boven de breuk een plas vormt. Uit deze plas blijft ammoniak verdampen omdat de omgevingstemperatuur nog steeds boven het kookpunt ligt. Deze verdamping blijft de wolk van gasvormige ammoniak aanvullen, uit deze wolk vallen druppels ammoniak door condensatie. Hierdoor kunnen op andere locaties ook kleine plasjes ammoniak ontstaan. Dit proces van verdamping kan meerdere dagen doorgaan. Dit komt omdat de verdamping warmte onttrekt aan de plas ammoniak, hierdoor daalt de temperatuur. Door de daling in temperatuur vertraagt de verdampingssnelheid. De ammoniak die nog verderop in de buisleiding zit is vloeibaar. Zolang de overdruk groter is dan de tegendruk van de ammoniakplas in de krater zal het overgebleven ammoniak in de buisleiding de krater instromen, hoelang dit duurt is afhankelijk van het buisleiding ontwerp (diameter, druk en afstand tussen inblokafsluiter).

De ammoniak in de plas zal blijven verdampen door de hogere omgevingstemperatuur en de toevoer van energie als gevolg van o.a. wind. Dit leidt ertoe dat een toxische wolk gevormd wordt die continue gevoed wordt uit de koudkokende ammoniak plas. Deze wolk blijft zich, afhankelijk van verschillende factoren, nog een tijd verspreiden.

## 2.4 Interventiewaarden

Ammoniak is een giftige stof die een scherpe irriterende geur heeft. Het inademen van deze stof bij lage concentraties leidt tot irritatie aan de keel en luchtwegen. Bij hogere dosissen of langdurige blootstelling leidt dit tot letsel (aan huid, ogen en longen) en kan uiteindelijk dodelijk zijn. Om te beoordelen welke consequenties deze blootstelling heeft op mensen wordt gebruik gemaakt van interventiewaarden. Met interventiewaarden voor de incidentenbestrijding kunnen de Geneeskundige Hulpverleningsorganisatie in de Regio (GHOR) samen met de Brandweer het niveau van gevaar inschatten. Zo zijn beslissingen te nemen over opschaling van de incidentbestrijdingsorganisatie, maatregelen ter bescherming van de bevolking en de communicatie met de bevolking. De Nederlandse interventiewaarden voor de incidentbestrijding zijn te vinden in de Handleiding & Stofdocumenten Interventiewaarden 2023, via Zoek stoffen([externe link](#)) en in het Overzicht interventiewaarden 2025.



### **Welke interventiewaarden zijn er**

De drie niveaus van gezondheidseffecten waarvoor de Nederlandse Interventiewaarden worden afgeleid zijn:

- Voorlichtingsrichtwaarde (VRW (Voorlichtingsrichtwaarde)) - de luchtconcentratie die met grote waarschijnlijkheid door de blootgestelde bevolking als hinderlijk wordt waargenomen, of waarboven lichte gezondheidseffecten mogelijk zijn.
- Alarmeringsgrenswaarde (AGW (Alarmeringsgrenswaarde)) - de luchtconcentratie waarboven onherstelbare of andere ernstige gezondheidseffecten kunnen optreden, of waarbij door blootstelling aan de stof personen minder goed in staat zijn zichzelf in veiligheid te brengen.
- Levensbedreigende waarde (LBW (Levensbedreigende waarde)) - de luchtconcentratie waarboven mogelijk sterfte of levensbedreigende aandoeningen kunnen ontstaan.

### **Interventiewaarden Verenigde Staten**

In de Verenigde Staten zijn soortgelijke interventiewaarden afgeleid, de AEGls en de ERPGs. De AEGls en ERPGs worden veelal gebruikt voor stoffen waarvoor geen Nederlandse interventiewaarden zijn afgeleid, waarbij de AEGls de voorkeur verdienen. Deze waarden worden door het ASTI gebruikt, zie hiervoor hoofdstuk 3.

#### **2.4.1 AEGl**

De Acute Exposure Guideline Level is een interventiewaarde voor de incidentenbestrijding die is afgeleid in de VS onder auspiciën van de US EPA (United States Environmental Protection Agency). [RIVM]

##### **Doel van de AEGls**

De AEGls zijn, evenals de Nederlandse interventiewaarden, bedoeld voor incidentbestrijding. Ze zijn bedoeld om rampenbestrijders te helpen om de algemene bevolking te beschermen in geval van het vrijkomen van een chemische stof bij rampen en incidenten waarbij een kortdurende blootstelling aan een gevaarlijke, chemische stof of stoffen kan worden verwacht. AEGls worden gebruikt om effectgebieden te identificeren waarbinnen gezondheidsrisico's kunnen ontstaan. Hierbij worden zowel de blootstellingsconcentratie als de duur van de blootstelling meegewogen. Er zijn AEGl-waarden voor vijf blootstellingstijden, namelijk 10 minuten, 30 minuten, 1 uur, 4 uur en 8 uur.

De AEGl-systematiek gaat uit van verschillende niveaus van ernst van toxicologische effecten. Het betreft de zogenoemde 4 D's: Detection, Discomfort, Disability en Death. De drie niveaus van AEGl-waarden geven aan bij welke blootstelling de ernst van de te verwachten effecten overgaat:

1. AEGl-1, van detection naar discomfort,
2. AEGl-2, van discomfort naar disability,
3. AEGl-3, van disability naar death.

#### **2.4.2 ERPG**

De Emergency Response Planning Guidelines (ERPG (Emergency Response Planning Guidelines)) waarde is een interventiewaarde voor de incidentenbestrijding die is afgeleid in de VS onder verantwoordelijkheid van de American Industrial Hygiene Association (AIHA). [RIVM]

##### **Doel van de ERPG-waarden**

ERPG-waarden zijn bedoeld om te gebruiken bij calamiteiten met stoffen om op een zeer snelle manier te kunnen inschatten of een kortdurende blootstelling aan stoffen een gezondheidsrisico oplevert en of specifieke interventies noodzakelijk zijn. De ERPG-richtwaarden zijn vastgesteld voor éénmalige, kortdurende blootstelling aan stoffen via de lucht. De ERPG-systematiek is grotendeels vergelijkbaar met de AEGl systematiek. ERPG-waarden zijn alleen afgeleid voor een blootstellingsduur van 1 uur. ERPG-waarden worden afgeleid door het ERP comité dat bestaat uit zo'n 10 experts die deelnemen op persoonlijke titel.



## 2.5 Nederlandse interventiewaarden Ammoniak

De effecten van het inademen van ammoniak zijn afhankelijk van de concentratie ammoniak in de ingeademde lucht en de duur van blootstelling. De onderstaande interventiewaarden voor blootstelling worden vaak gebruikt

|               | Interventiewaarden (mg/m <sup>3</sup> ) 20 °C |     |       | Interventiewaarden (ppm) 9 °C |     |       |
|---------------|-----------------------------------------------|-----|-------|-------------------------------|-----|-------|
|               | VRW                                           | AGW | LBW   | VRW                           | AGW | LBW   |
| <b>10 min</b> | 21                                            | 200 | 1.900 | 29                            | 272 | 2.583 |
| <b>30 min</b> | 21                                            | 200 | 1.100 | 29                            | 272 | 1.495 |
| <b>1 uur</b>  | 21                                            | 140 | 780   | 29                            | 190 | 1.060 |
| <b>2 uur</b>  | 21                                            | 99  | 550   | 29                            | 135 | 748   |
| <b>4 uur</b>  | 21                                            | 99  | 390   | 29                            | 135 | 530   |
| <b>8 uur</b>  | 21                                            | 99  | 280   | 29                            | 135 | 381   |

Tabel 2.1 Interventiewaarden concentratie ammoniak in mg/m<sup>3</sup> en ppm

Deze interventiewaarden zijn bepaald voor blootstelling in de buitenlucht, dit betekent dat de concentratie in een gebouw beïnvloed wordt door de (natuurlijke) ventilatie van dit betreffende gebouw. Oftewel de interventiewaarden die in Tabel 2.1 is opgenomen geeft geen goede indicatie van het effect in het gebouw, wel voor mensen die zich buiten bevinden.

Om het effect in het gebouw te beschouwen moet gecompenseerd worden voor:

- de tijd dat de wolk boven het gebouw aanwezig is (dit wordt o.a. bepaald door de windsnelheid);
- de concentratie van de ammoniak wolk die door middel van ventilatie naar binnen komt.
  - o De concentratie van een wolk varieert, aan de rand van de wolk is de concentratie lager dan in het midden.

In Safeti-NL is het ook mogelijk om door middel van de dosiseffectbenadering te beoordelen welk effect een giftige wolk heeft op de mensen die in een gebouw aanwezig zijn. Deze houdt rekening met de daadwerkelijke opbouw van de concentratie in een gebouw onder invloed van de concentratie en tijdsduur dat deze wolk aanwezig is. Zeker voor de effecten van de éérste fase is dit een manier om de effecten in het gebouw te beschouwen.

### 2.5.1 Gehanteerde grenswaarden voor de beoordeling effecten

Voor de inzet van hulpdiensten moet uitgegaan worden van de Nederlandse interventiewaarden. Deze bieden inzage in de blootstellingsgrenzen uitpandig, hier zijn de hulpdiensten aanwezig en mensen die onderweg zijn, buiten werken etc. Hiervoor zijn de LBW en AGW het belangrijkste.

Omdat er ook sprake is van een langdurig effect, door verdamping uit een plas, is het ook nuttig om te kijken naar andere blootstellingsgrenzen. Zoals de gevolgen inpandig en bij langdurige blootstelling, hiervoor wordt ook de dosiseffectafstand gebruikt. De kanttekening is weliswaar dat deze uit gaat van een relatief hoge ventilatievoud wat niet representatief is voor woningen (zie paragraaf 2.6).

## 2.6 Ventilatievoud

De ventilatievoud van gebouwen verschilt enorm, met ventilatievoud wordt bedoelt hoe vaak per uur de gehele luchtinhoud van een gebouw wordt ververs met buitenlucht. De ventilatievoud van gebouwen is opgebouwd uit mechanische en natuurlijke ventilatie. De laatste wordt bijvoorbeeld bij woningen beïnvloed door het type woning, bijv. vrijstaand versus appartement. De ventilatievoud van woningen is lager dan van de meeste andere gebouwen, zie hiervoor Tabel 2.2. Voor nieuwe woningen is de ventilatievoud meestal lager dan éénmaal per uur.



| Ruimte             | Bbl/<br>Bouwbesluit<br>bestaande<br>bouw (/uur) | Bbl/<br>Bouwbesluit<br>nieuwbouw<br>(/uur) | Branche;<br>(Arbo)<br>richtlijnen<br>(/uur) |
|--------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Nachtclub/bar      | 8                                               | 15                                         | 25                                          |
| Theater            | 0,92                                            | 1,7                                        | 2,8                                         |
| Grote concertzaal  | 0,94                                            | 1,8                                        | 2,9                                         |
| Kleine concertzaal | 4,5                                             | 8,6                                        | 14                                          |
| Vergaderruimte     | 1,6                                             | 3,1                                        | 3,9                                         |
| Kantoorruimte      | 0,66                                            | 1,2                                        | 1,6                                         |
| Klaslokaal (VO)    | 2,3                                             | 5,7                                        | 4                                           |
| Supermarkt         | 0,51                                            | 0,96                                       |                                             |

Tabel 2.2 Ventilatievoud overige gebouwtype (RIVM-briefrapport 2021-0207)

De opbouw van de concentratie inpandig is derhalve lastig te voorspellen per type gebouw. Voor oude en nieuwe gebouwen en de functie kan dit significant variëren. Om deze reden wordt in Safeti-NL rekening gehouden met een ventilatievoud van 6 /uur. Als voorbeeld kan bij een ventilatievoud van 6 /uur ervanuit gegaan worden dat de inhoud van het gebouw in 10 minuten vervangen is door lucht van buiten. Als buiten het gebouw 10 minuten lang dezelfde concentratie van ammoniak aanwezig is dan wordt deze inpandig ook bereikt. Tegelijkertijd blijkt uit praktijk testen dat er ook een interactie plaatsvindt tussen 'warme' objecten op omgevingstemperatuur en de koude ammoniak (waaronder druppels) in de wolk, zie paragraaf 2.7.1.

Naast de eerste effecten van een incident moet ook rekening worden gehouden met de langdurige effecten van plasverdamping. Hiervoor zijn de bovengenoemde interventiewaarde, gebaseerd op een blootstelling van 'slechts' 30 minuten, een onderschatting aangezien uit de berekeningen blijkt dat de effecten enkele uren tot dagen kan duren.

In de PGS 1 deel 5 uit 2003 is een theoretische onderbouwing opgenomen voor de bescherming tegen toxische stoffen binnenshuis. De gebruikte kentallen en modellen zijn weliswaar uit 2003, de belangrijkste conclusies blijven relevant. De meest optimale bescherming tegen toxische stoffen wordt bereikt in luchtdichte gebouwen met een inpandige ruimte zonder ventilatiesysteem. Naast snelle alarmering en adequaat handelen (schuilen inpandig, ramen en deuren sluiten en ventilatie afschakelen) is het van belang om snel 'sein veilig' te geven en te zorgen dat gestart wordt met ventileren.

Belangrijke aandachtspunten die de mate van bescherming beïnvloeden zijn:

**Ventilatie:** Ventilatie uitschakelen is cruciaal voor het voorkomen dat ammoniak zich inpandig opbouwt, zodra het buiten veilig is deze zelfde ventilatie nodig voor het afvoeren van vervuilde lucht en het aanvoeren van schone lucht. Dit kan zowel natuurlijk als mechanisch gebeuren. Onbedoelde ventilatie via kieren en naden kan het gewenste ventilatieniveau verstoren.

**Bescherming binnenshuis:** Het afschakelen van mechanische ventilatie en het afplakken van ventilatieopeningen kan de stijging van de concentratie binnenshuis vertragen. De concentratie blijft het laagst in luchtdichte gebouwen.

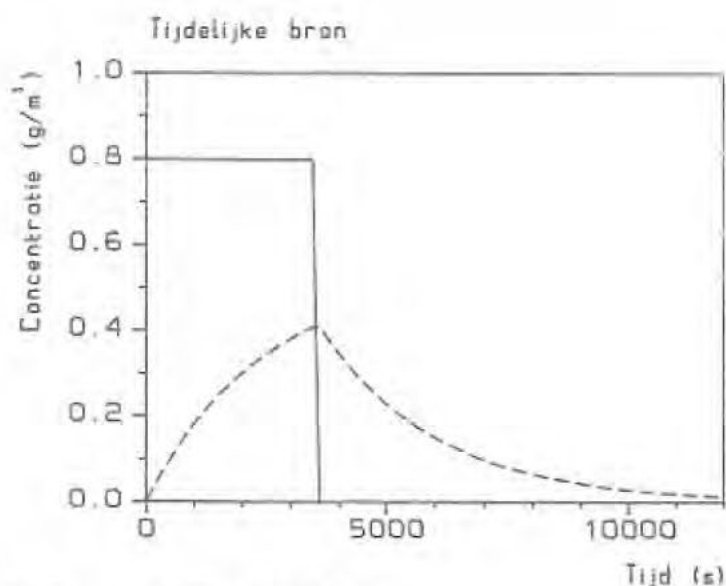
**Optimale schuilruimte:** De meest optimale bescherming tegen een toxische wolk treedt op in een dichte woning met een inpandige ruimte zonder afvoerrooster. Indien geen inpandige ruimte beschikbaar is, is een ruimte aan de lijzijde van het gebouw het meest geschikt om in te schuilen.

**Adsorptie van gassen:** Adsorptie van gassen aan binnenshuis aanwezige materialen speelt een belangrijke rol bij de bescherming. Reactieve gassen (zoals ammoniak) adsorberen meer aan materialen dan inerte gassen, indien deze reactie omkeerbaar is kan dit een langdurige interne bron van ammoniakgas zijn. Tegelijkertijd biedt dit ook een kans om de ammoniak af te vangen en te verwijderen, door natte doeken op te hangen en uit te wringen boven een afvoer.

**Meteorologische Invloeden:** Hogere windsnelheden en grotere temperatuurverschillen tussen binnen en buiten verhogen de natuurlijke ventilatie.

In Figuur 2.3 is weergegeven hoe de concentratie in één ruimte toeneemt ten opzichte van de concentratie buiten. De ventilatievoud is 1 maal per uur. Door adsorptie van de stof stijgt de concentratie inpandig niet naar de concentratie buiten, de mate van adsorptie is heel lastig te voorspellen, deze is afhankelijk van de toxische stof en de aanwezige materialen in een woning, dus deze illustratie betreft een versimpeling van de werkelijke situatie.





Vaste lijn = Concentratie buiten

Stippellijn = concentratie in pandig

Figuur 2.3 Opbouw van de concentratie in pandig bij een tijdelijke bron buiten, ventilatievoud 1/ uur. [bron: PGS 1 – 5]

Wanneer gebruik gemaakt wordt van software, VENCOM is in de PGS 1 – deel 5 gebruikt, die meerdere ruimtes in één gebouw kan beschouwen dan blijkt dat de concentraties per ruimte significant kunnen verschillen. Tabel 2.3 is ter indicatie opgenomen, deze uitkomsten zijn van veel aannames afhankelijk, waarbij niet te voorspellen is hoe dit zich verhoudt tot de werkelijkheid. Zie ook paragraaf 2.7. Naarmate de concentratie en duur toeneemt buiten neemt de concentratie in pandig ook toe, maar afhankelijk van de ruimte en de duur kunnen grote verschillen ontstaan, wat de mate van blootstelling kan beperken.

|                                                      | Woonkamer |                | Slaapkamer<br>loefzijde (1) |                | Slaapkamer<br>lijzijde (3) |                | Badkamer |                |
|------------------------------------------------------|-----------|----------------|-----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|----------|----------------|
|                                                      | 1 uur     | eind<br>waarde | 1 uur                       | eind<br>waarde | 1 uur                      | eind<br>waarde | 1 uur    | eind<br>waarde |
| natuurlijke ventilatie open                          | 43        | 97             | 37                          | 92             | 23                         | 76             | 52       | 97             |
| mechanische ventilatie aan (42 dm <sup>3</sup> /s)   | 41        | 96             | 36                          | 91             | 20                         | 70             | 47       | 96             |
| mechanische ventilatie aan (21 dm <sup>3</sup> /s)   | 34        | 93             | 33                          | 89             | 5                          | 47             | 25       | 92             |
| mechanische ventilatie uit                           | 30        | 89             | 32                          | 87             | 6                          | 56             | 10       | 76             |
| mechanische of natuurlijke<br>afvoerkanaal afgeplakt | 28        | 87             | 31                          | 86             | 6                          | 58             | 5        | 58             |

Tabel 2.3 Concentratie binnen/buiten (%) voor een eengezinswoning – windsnelheid 5 m/s [bron: PGS 1 – 5]

## 2.7 Praktijk versus risicomodellen

Tijdens het onderzoek is gebruik gemaakt van risicomodellen om de effecten voor de omgeving in kaart te brengen. Daarnaast is getracht om te inventariseren op welke wijze een incident bestreden kan worden en om een beoordeling van consequenties op te stellen. Uit de literatuur zijn een aantal kanttekeningen te plaatsen op basis van praktijktesten en incidenten in de praktijk die mogelijk het scenarioverloop of de consequenties beïnvloeden

## 2.7.1 Lessen uit incidenten

Op basis van incidenten die hebben plaatsgevonden, Piro (Servië) 2022 en Minot (VS) 2002, blijkt dat de bescherming in woningen relatief hoog is. Bij beide incidenten is een wolk ammoniak vrijgekomen die zich nabij een (dicht) bevolkt gebied heeft verspreid. Dit heeft in beide gevallen geleid tot personen met gezondheidsklachten, maar een beperkt aantal dodelijke slachtoffers.

Het incident in Minot, North Dakota (VS), vond plaats op 18 januari 2002, toen vijftien wagons met anhydrous ammoniak ontspoorde en ongeveer 240.000 gallons, 908 500 liter, ammoniak vrijkwam. Het was een koude, besneeuwde nacht, en de ammoniakdamp vormde een grote wolk die zich verspreidde over het gebied van de ontsporing en richting Minot dreef.

Er werd een Shelter-in-Place order uitgevaardigd, dit duurde circa 3 uur, wat betekende dat mensen binnen moesten blijven en ramen en deuren gesloten moesten houden. Helaas besloot een jong stel hun huis te verlaten en door de wolk te rijden. De man reed hun voertuig tegen een boom, en zijn vrouw wist een nabijgelegen huis te bereiken en overleefde. Hij kon echter geen schuilplaats vinden, viel op de grond en overleed. (Bron: Crada)

De vrijkomende wolk ammoniak heeft 11.600 mensen bereikt. Het aantal bewoners dat gewond raakte als gevolg van het ongeval was vrij laag in vergelijking met het geschatte aantal dat werd blootgesteld aan de ammoniakwolk: 312 gewonden van de 11.600 getroffen personen. De bewoners die ernstige verwondingen opliepen, waren degenen die al bestaande gezondheidsproblemen hadden die de effecten van de ammoniakblootstelling verergerden. Het fatale letsel was het gevolg van het niet opvolgen van de inpandig schuilen instructie. Het letsel van de hulpdiensten wordt in het incident onderzoek geweten aan het niet of onjuist dragen van de beademingsapparatuur (SCBA). (bron: NTSB incident report)

| Injury Type <sup>a</sup> | Train Operating Crew | Emergency Responders | Residents | Total |
|--------------------------|----------------------|----------------------|-----------|-------|
| Fatal                    | 0                    | 0                    | 1         | 1     |
| Serious                  | 0                    | 0                    | 11        | 11    |
| Minor                    | 2                    | 19                   | 301       | 322   |
| Total                    | 2                    | 19                   | 313       | 334   |

<sup>a</sup>49 Code of Federal Regulations (CFR) 830.2 defines *fatal injury* as "any injury which results in death within 30 days of the accident" and *serious injury* as "an injury which: (1) requires hospitalization for more than 48 hours, commencing within 7 days from the date the injury was received; (2) results in a fracture of any bone (except simple fractures of fingers, toes, or nose); (3) causes severe hemorrhages, nerve, or tendon damage; (4) involves any internal organ; or (5) involves second- or third-degree burns, or any burn affecting more than 5 percent of the body surface."

Deze beperkte casuïstiek toont aan dat de locatie in de praktijk van grote invloed is. Rekenmodellen worden beperkt door de brede toepasbaarheid van de uitkomsten en zijn vaak gebaseerd op experimentele resultaten met 'kleine' bronnen (< 1 m<sup>3</sup> vloeibare ammoniak) met 'warme' ammoniak vloeibaar gemaakt onder druk. Hierbij is het niet mogelijk om specifieke interacties/casussen te voorspellen. In het Safeti-NL rekenmodel wordt de dispersie alleen beïnvloed door de meteorologische condities en de generieke ruwheid van het terrein. Het is mogelijk om in risicomodellen zoals Safeti-NL te compenseren voor de specifieke interactie die plaats vindt met de fysieke omgeving. Echter de 'standaard' richtlijnen in de rekenvoorschriften zijn zo ontworpen dat een brede generieke uitkomst wordt bepaald, die breed toepasbaar is voor alle verschillende situaties.



## 2.7.2 Omgevings- en weersomstandigheden

Omgevings- en weersomstandigheden spelen een belangrijke rol bij de verspreiding van ammoniak.

1. **Windsnelheid en -richting:** Wind is de drijvende kracht achter ammoniakdispersie. Hogere windsnelheden leiden tot snellere verspreiding en ook opmenging naar hogere luchtlagen. Bij een plas is dit ook een bron van verdamping. De windrichting bepaalt het pad van de ammoniakwolk en kan bij richting veranderingen zorgen voor meandering van de wolk.
2. **Temperatuur:** Temperatuur beïnvloedt de verdampingssnelheid van ammoniak. Hogere temperaturen kunnen de snelheid waarmee ammoniak verdampt verhogen, wat leidt tot snellere verspreiding. Daarentegen kunnen lagere temperaturen het verdampingsproces vertragen.
3. **Vochtigheid:** Vochtigheid beïnvloedt de vorming van ammoniak aerosolen. Hogere vochtigheidsniveaus kunnen leiden tot meer aerosolvorming, omdat ammoniak reageert met waterdamp in de lucht. Dit kan zorgen voor een laaghangende ammoniakwolk. Tegelijkertijd zorgen deze aerosolen ook voor zichtbaarheid van de wolk, een lagere vochtigheid betekend een minder zichtbare wolk.
4. **Neerslag:** Regen kan ammoniak uit de atmosfeer spoelen, waardoor de concentratie in de lucht vermindert. Het kan echter ook leiden tot verontreiniging van oppervlaktewater, omdat ammoniak oplost in regenwater. Het toevoegen van water aan een ammoniak plas, bij -33 °C, leidt dan weer tot extra verdamping.
5. **Atmosferische stabiliteit:** Stabiele atmosferische omstandigheden kunnen ammoniak dicht bij de grond vasthouden, wat leidt tot een groter effectgebied. Onstabiele omstandigheden daarentegen kunnen verticale menging en verspreiding van ammoniak bevorderen (bron: Safeti-NL).
6. **Gebouwen:** Warmteoverdracht met de omgeving heeft invloed op de dichtheid van de ammoniakwolk. Gebouwen staan deels in de wolk, dit zorgt voor opwarming en turbulentie (bron: Crada).

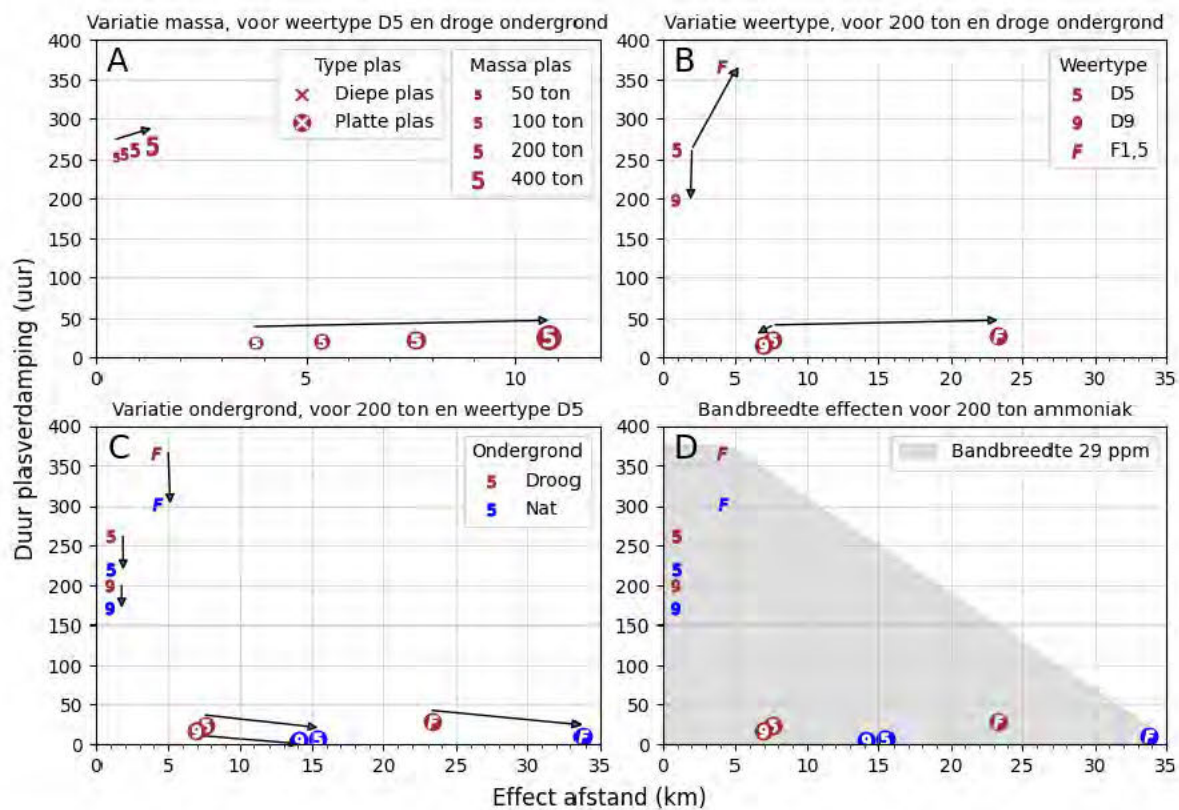
Naast de ventilatievoud speelt de interactie met de omgeving dus ook een wezenlijke rol in de consequenties van een incident.

## 2.7.3 Grootte van een krater en plas

De grootte van het plasoppervlakte bepaalt mede de verdamping en heeft invloed op de repressieve mogelijkheden. De grootste hoeveelheid vloeibare ammoniak zal zich in de krater bevinden. De dimensies zijn afhankelijk van de uitstroming, die wordt beïnvloed door de gatgrootte, druk, buisleidingdiameter, pompdebiet en grondsoort. De NEN 3651 biedt richtlijnen voor het bepalen van de kratergrootte. Uit berekeningen blijkt dat de kratergroottes waarschijnlijk onvoldoende zijn om de vloeistofinhoud van een leiding op te vangen, los van het feit dat de uitstegende ammoniak buiten de krater zal neerdalen.

Voorbeeld: een buisleiding van 12" met een dekking van 1,75 meter en inblokafsluiters om de 5 kilometer. Dit resulteert in een krater met een volume van minimaal 117 m<sup>3</sup> ( deze heeft oppervlakte van 140 m<sup>2</sup> aan het maaiveld en een diepte van 2,5 meter). De vloeistofinhoud van de buisleiding is 365 m<sup>3</sup>, daarnaast beïnvloedt de snelheid van inblokken de uitstromingshoeveelheid, en als ongeveer 1/3 direct verdampt, dan zal ca. 200 m<sup>3</sup> vloeibare ammoniak vrij komen. Bij de nu berekende krater grootte resulteert dit in ca. 100 m<sup>3</sup> ammoniak die zich zal verspreiden buiten de krater. Opgemerkt wordt dat een deel van de afgekoelde vloeibare ammoniak ook in de buisleiding blijft, want deze ligt op een lagere positie. In een niet verharde omgeving leidt 100 m<sup>3</sup> modelmatig tot een plas met een oppervlakte van meer dan 1.000 m<sup>2</sup>.

In Figuur 2.4 is een beschouwing opgenomen van de brandbreedte die uit de berekeningen blijkt. Hierbij zijn steeds enkele variabelen gewijzigd om het effect hiervan op de reikwijdte en duur van het scenario weer te geven. In paneel D is de bandbreedte weergegeven van de uitkomsten bij een 200 ton uitstroming. In de werkelijkheid zal het scenario zich ergens in het grijze gebied bevinden. De reikwijdte zal in ieder geval niet 34 kilometer zijn en 15 dagen lang aanwezig zijn. De twee uitersten In Figuur 2.4.



Figuur 2.4 Effectafstanden uitgezet tegen de duur van de verdamping. Panels A-C lichten specifieke variaties uit, in D staan alle resultaten voor een plas met 200 ton massa en geeft zo de bandbreedte van de effecten weer. [bron: Kennisnotitie 31112024]



## 3 Beoordelingskader consequenties

### 3.1 Ontwrichting

Na een ongeval met gevaarlijke stoffen kan maatschappelijke ontwrichting ontstaan. In een situatie van maatschappelijke ontwrichting zal de continuïteit van de samenleving ernstig verstoord worden. Het bepalen van de mate van ontwrichting is afhankelijk van meerdere factoren. Een aantal van deze factoren zijn:

- Gezondheidsrisico's (toxische effecten);
- Mogelijkheden tot evacuatie van de omwonenden;
- Stilleggen van infrastructuur;
- Economische impact;
- Ecologische schade

Zoals besproken in het voorgaande hoofdstuk zijn er gevolgen voor de gezondheid van omwonenden. Dit door de toxische eigenschappen van ammoniak. De grootte van dit toxische scenario wordt bepaald door de hoeveelheid uitstromende ammoniak. Een hogere uitstroom in combinatie met weersomstandigheden kan leiden tot een groot aantal getroffen omwonenden. Dit zal leiden tot een bepaald aantal slachtoffers wat door brandweer en ambulancezorg geholpen moeten worden. Hoe groter het effectgebied is des te groter de maatschappelijke ontwrichting.

Ook de mogelijkheden tot evacuatie is van invloed op de maatschappelijke ontwrichting. Een van de beste handelingsperspectieven voor omwonenden is indien mogelijk vluchten of ramen en deuren sluiten. Maar ondanks het sluiten van ramen en deuren kan ammoniakdamp het huis intrekken. Hierdoor kan gedurende de tijdsduur, als eerder beschreven, de concentratie verdampte ammoniak in huis ook stijgen tot een niveau waarbij slachtoffers kunnen vallen. Mogelijk zal overgegaan worden tot evacuatie. Hierbij geldt wederom hoe meer getroffen mensen des te groter is de maatschappelijke ontwrichting.

Als de breuk in een ammoniakbuisleiding in de buurt van vitale infrastructuur (weg of spoor) zit, kan het zijn dat deze weg of spoor afgesloten dient te worden. Als deze infrastructuur niet wordt afgesloten is het mogelijk dat bestuurders of passagiers door hoge concentraties ammoniakdamp rijden en hierdoor gewond raken. Het preventief stilleggen van vitale infrastructuur, bijvoorbeeld snelwegen, kan grote ontwrichtende gevolgen hebben. Als bijvoorbeeld een drukke snelweg rondom spitsuur wordt afgesloten heeft dit lange en vele files tot gevolg. Indien de uitstroming dichtbij een belangrijke verkeersader plaatsvinden zal deze zelfs voor langere tijd afgesloten moeten worden. Hierbij moet ook rekening worden gehouden met veranderingen van windrichting, zeker voor langdurige verdamping. Dit kan tot maatschappelijke ontwrichting leiden. Ook de bereikbaarheid van de ongevalslocatie kan hierdoor beperkt worden.

Een breuk in een ammoniakbuisleiding kan ook als gevolg hebben dat bedrijven/ziekenhuizen/gevangenissen of andere belangrijke gebouwen ontruimd of stilgelegd moeten worden. Dit kan grote gevolgen hebben voor de continuïteit van de zorg of voor gevangenen die opeens getransporteerd moeten worden. Ook kan het een enorme economische impact hebben als bedrijven stil komen te liggen. Hierbij is de ongevalslocatie en grootte van het effectgebied van belang. Hoe meer belangrijke functies binnen het effectgebied liggen, des te groter is de maatschappelijke ontwrichting.

### 3.2 Beoordeling maatschappelijke ontwrichting

Voor het beoordelen van de consequenties voor de maatschappij van de verschillende buisleiding varianten is het noodzakelijk om de consequentie beoordeling zo consequent en herkenbaar mogelijk uit te voeren.

Het document "Leidraad risicobeoordeling 2022a"<sup>1</sup> biedt een uitgebreide methodiek voor het uitvoeren van risicobeoordelingen in het kader van nationale veiligheid. Tegelijkertijd is de gehanteerde methodiek merendeels gelijk aan de werkwijze voor de regionale risicoprofielen die opgesteld zijn door de veiligheidsregio's in Nederland. Het is opgesteld door het Analistennetwerk Nationale Veiligheid (ANV) en richt

---

<sup>1</sup> Leidraad risicobeoordeling 2022 | RIVM



zich op het inzichtelijk maken van risico's voor de nationale veiligheid van Nederland. Gegeven de scope van dit rapport is de methodiek een goede manier om semi kwantitatief de risico's te beoordelen voor vergelijking.

### Impactcriteria

De methodiek begint met het vaststellen van impactcriteria die de ernst van een incident meten. Deze criteria zijn onderverdeeld in zes nationale veiligheidsbelangen:

1. **Territoriale veiligheid:** Aantasting van de integriteit van het grondgebied en de internationale positie van Nederland.
2. **Fysieke veiligheid:** Impact op het ongestoord functioneren van mensen, zoals doden, ernstig gewonden, en gebrek aan primaire levensbehoeften.
3. **Economische veiligheid:** Kosten en aantasting van de vitaliteit van de economie.
4. **Ecologische veiligheid:** Langdurige aantasting van het milieu en de natuur.
5. **Sociale en politieke stabiliteit:** Verstoring van het dagelijks leven, aantasting van de democratische rechtsstaat, en sociaal-maatschappelijke impact.
6. **Internationale rechtsorde en stabiliteit:** Aantasting van internationale normen, verdragen, en de stabiliteit van staten grenzend aan Nederland

### Waarschijnlijkheid

Naast de impactcriteria wordt ook de waarschijnlijkheid van een incident beoordeeld. Dit gebeurt door scenario's te onderscheiden in niet-moedwillige en moedwillige scenario's:

- **Niet-moedwillige scenario's:** Deze worden beoordeeld op basis van de aard van het incident en de gevolgen, zoals technische of sociale ontwikkelingen en risicobeheersmaatregelen.
- **Moedwillige scenario's:** Deze worden beoordeeld op basis van de capaciteiten en intenties van de dreigende partij, evenals de kwetsbaarheid van de voorziene doelen

### Scenario's en waarschijnlijkheid

De methodiek maakt gebruik van scenario's en gebeurtenissenbomen om de relatie tussen gebeurtenissen en hun gevolgen te beschrijven. Dit helpt bij het bepalen van de waarschijnlijkheid en impact van verschillende scenario's. De beoordeling van de waarschijnlijkheid en impact is gebaseerd op zowel kwantitatieve gegevens (zoals historische gebeurtenissen en modelberekeningen) als kwalitatieve informatie (zoals expertmeningen en trendanalyses). Deze gestructureerde aanpak zorgt ervoor dat risico's op een systematische en consistente manier worden beoordeeld, wat helpt bij het nemen van effectieve maatregelen om de impact van incidenten te minimaliseren.

In het huidige onderzoek is geen overzicht opgenomen van oorzaken voor een buisleiding incident. In de afgelopen jaren zijn meerdere aanslagen gepleegd op nautische transportbuisleidingen. Dit zou mogelijk betekenen ook dat de mogelijkheid dat een ammoniakbuisleiding een potentieel doelwit voor sabotage kan wezen. De huidige disruptieve acties waren gericht op verstoring van de maatschappij. In hoeverre de kans op een aanslag groter wordt naarmate de buisleidingdiameter toeneemt is onbekend en valt ook buiten de scope van dit onderzoek. Echter de kanttekening is te plaatsen dat de mate van ontwrichting bij uitstroming van een dergelijke giftige stof, door middel van slachtoffers, toeneemt bij grotere uitstroomhoeveelheden. Een grote mate van ontwrichting, veroorzaakt door een buisleiding met toxische stoffen, kan deze buisleiding een potentieel doelwit voor sabotage maken.

### Toepassing op ammoniakbuisleiding incidenten

Bij risicobeoordelingen van ammoniakbuisleiding incidenten zijn de volgende twee impactcriteria het belangrijkste:

- **Fysieke Veiligheid:** De beoordeling moet rekening houden met mogelijke sterfte en ernstig letsel door blootstelling aan ammoniak, evenals de beschikbaarheid van noodhulp en gezondheidszorg om de gevolgen te beperken.
- **Ecologische Veiligheid:** De beoordeling moet de potentiële verontreiniging van bodem en water door ammoniaklekkages in overweging nemen, evenals de impact op flora en fauna in de getroffen gebieden.



De economische impact van bijvoorbeeld een leidingbreuk bij de ontvangende zijde van de ammoniakbuisleiding zal ook aanwezig zijn. Dit is echter niet te beoordelen in deze fase van de plannen van de DRC. Op de langere termijn zal een groot incident met een ammoniakbuisleiding ook impact hebben op de sociale veiligheid.

Voor de beoordeling van de nationale veiligheid wordt het criterium Maatschappelijke ontwrichting als niet acceptabel gedefinieerd. Er is sprake van maatschappelijke ontwrichting als één of meer van de belangen ernstig (klasse C) of hoger wordt aangetast.

### 3.2.1 Fysieke veiligheid

Onder fysieke veiligheid verstaat "Leidraad risicobeoordeling 2022a" het ongestoord functioneren van de mens in Nederland en zijn omgeving. De impactcriteria vanuit het leidraad zijn onder andere:

- **Doden (Impactcriterium 2.1):** Dit criterium meet sterfte door directe en indirecte gezondheidsbedreigingen op korte en langere termijn. Voorbeelden zijn ongelukken in chemische fabrieken of kerncentrales, terroristische aanslagen, en pandemieën.
- **Ernstig gewonden en chronisch zieken (Impactcriterium 2.2):** Dit criterium betreft ernstig letsel of langdurige functiebeperkingen door directe en indirecte gezondheidsbedreigingen van lichamelijke en geestelijke aard.
- **Gebrek aan primaire levensbehoeften (Impactcriterium 2.3):** Dit criterium meet lichamelijk lijden door gebrek aan primaire levensbehoeften zoals schoon drinkwater, sanitair, voeding, en gezondheidszorg.

De gevolgen van een incident met een ammoniakbuisleiding zullen hoofdzakelijk criterium 2.1 en 2.2 beïnvloeden.

| Criteria                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | A   | B        | C          | D             | E       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------|------------|---------------|---------|
| <b>2.1 Doden</b><br>De totale sterfte is de som van overlijden door:<br>- lichamelijk letsel<br>- ziekte<br>- geestelijk letsel (zelfdoding)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <10 | 10 – 100 | 100 – 1000 | 1000 – 10.000 | >10.000 |
| <b>2.2 Ernstige gewonden en chronische ziekten</b><br><i>Ernstig lichamelijk letsel;</i><br>gedefinieerd als direct of indirect levensbedreigend letsel (triageklasse 1 respectievelijk 2). T1-slachtoffers moeten binnen 1u worden geholpen en T2-slachtoffers binnen 6u, willen zij geen risico op overlijden lopen.<br><i>Een infectieziekte;</i><br>Deze wordt als ernstig beschouwd indien er een ziekenhuisopname voor nodig is.<br><i>Chronisch lijden;</i><br>Onder chronisch ziekten worden in dit verband personen verstaan die gedurende lange periode (> 1 jaar) functiebeperkingen ondervinden en/of medische (ook psychische) zorg nodig hebben. | <10 | 10 – 100 | 100 – 1000 | 1000 – 10.000 | >10.000 |

### 3.2.2 Ecologische veiligheid

Ecologische veiligheid richt zich op het ongestoord blijven voortbestaan van de natuurlijke leefomgeving in en nabij Nederland. De relevante impactcriteria zijn:

- **Langdurige aantasting van het milieu en de natuur (Impactcriterium 4.1):** Dit criterium meet de langdurige of blijvende aantasting van de kwaliteit van het milieu, zoals verontreiniging van lucht, water of bodem, en verstoring van ecologische functies zoals biodiversiteit

Er wordt onderscheid gemaakt tussen drie typen beleidsmatig verschillende natuurgebieden: broedgebieden van weidevogels (in het agrarisch gebied de zogenaamde 'high nature value' gebieden); de Ecologische Hoofdstructuur (EHS): dat zijn de EHS-natuurgebieden uitgezonderd die EHS gebieden die ook tot Natura 2000

behoren, verder aangeduid als 'EHS-gebieden'; en de natuurgebieden aangewezen in de Natura 2000 regelgeving, verder aangeduid als 'Natura 2000 gebieden'.

De schade aan natuurgebieden moet worden bepaald als de daadwerkelijke schade die wordt toegebracht: *er wordt vanuit gegaan dat het betreffende natuurgebied moet worden beschouwd als verloren gegaan voor de nabije toekomst*. Het feit dat er een natuurgebied verloren gaat telt hier dus als overweging; vervolgens wordt de ernst van het verlies uitgedrukt aan de hand van het type natuurgebied dat verloren is gegaan, en de oppervlakte van het verloren gegane gebied. Een andere factor die een rol speelt bij de bepaling van de ernst van het verlies, is de te verwachten duur van de aantasting. Deze is afhankelijk van de vraag of en op welke termijn er sprake zal zijn van natuurlijke regeneratie. Bij de bepaling van de impactscore speelt de verwachte tijdsduur van de aantasting een globale rol. Indien de verwachte tijdsduur minder is dan een jaar, wordt voor alle gevallen de laagste score gehanteerd (label A); bij een verwachte tijdsduur van langer dan tien jaar (een 'permanente aantasting') dan worden de labelwaarden met één stap verhoogd.

De schade aan natuurgebieden moet worden bepaald als de daadwerkelijke schade die wordt toegebracht: *er wordt vanuit gegaan dat het betreffende natuurgebied moet worden beschouwd als verloren gegaan voor de nabije toekomst*. Het feit dat er een natuurgebied verloren gaat telt hier dus als overweging; vervolgens wordt de ernst van het verlies uitgedrukt aan de hand van het type natuurgebied dat verloren is gegaan, en de oppervlakte van het verloren gegane gebied. Een andere factor die een rol speelt bij de bepaling van de ernst van het verlies, is de te verwachten duur van de aantasting. Deze is afhankelijk van de vraag of en op welke termijn er sprake zal zijn van natuurlijke regeneratie.

| Beleidscategorie        | <3% | 3-10% | >10% |
|-------------------------|-----|-------|------|
| Broedgebied weidevogels | A   | B     | C    |
| EHS gebieden            | B   | C     | D    |
| Natura 2000 gebieden    | C   | D     | E    |
| Waddenzee               | C   | D     | E    |



## 4 Consequenties bij lekkage

Een incident met een ammoniakbuisleiding kan aanzienlijke ecologische schade veroorzaken, met name door stikstofdepositie en bodemverontreiniging. Stikstofdepositie in de omgeving leidt tot schade aan kwetsbare natuurgebieden, doordat de extra stikstof de natuurlijke balans verstoort en de biodiversiteit vermindert. Dit kan zowel bij grote als kleine uitstromingen optreden, waarbij ammoniak aan het oppervlak vrijkomt en neerslaat op de omringende vegetatie.

### 4.1 Consequentie van stikstofdepositie

Een grote ammoniakspill leidt tot een aanzienlijke toename van stikstofdepositie in de omgeving. Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) in de lucht komt uiteindelijk op de grond terecht, wat leidt tot verhoogde stikstofniveaus in de bodem. Hoewel ammoniak zelf basisch is, kan het in de bodem omgezet worden in ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), wat bij opname door planten leidt tot verzuring van de bodem. Dit proces kan de beschikbaarheid van essentiële voedingsstoffen voor planten verstoren en de bodemgezondheid aantasten.

De verhoogde stikstofniveaus kunnen leiden tot een onbalans in de voedingsstoffen, wat de groei van stikstofminnende planten zoals brandnetels en bramen bevordert. Dit kan de biodiversiteit verminderen doordat deze planten andere, minder stikstofminnende soorten verdringen. Planten die gevoelig zijn voor hoge stikstofniveaus, zoals bepaalde vaatplanten en mossen, kunnen beschadigd raken. Dit geldt vooral voor soorten die voorkomen in hei-schrale graslanden, soortenrijke heiden, en bepaalde vennen.

Ammoniak kan ook in waterlichamen terechtkomen, wat afhankelijk van de concentratie leidt tot eutrofiëring of zelfs sterfte. Dit proces veroorzaakt een overmatige groei van algen, wat zuurstoftekorten in het water kan veroorzaken en schadelijk is voor aquatische organismen. Een grote hoeveelheid ammoniak in de lucht kan bijdragen aan de vorming van fijnstof ( $\text{PM}_{2.5}$ ), wat schadelijk is voor de luchtkwaliteit en de gezondheid van mens en dier. De effecten van een grote ammoniakspill kunnen langdurig zijn, omdat stikstof zich ophoopt in de bodem en langzaam wordt afgebroken. Dit betekent dat herstelmaatregelen nodig zijn om de natuur te helpen herstellen.

#### 4.1.1 Herstelmaatregelen

Het herstel van de natuur na een grote ammoniakspill kan variëren afhankelijk van de ernst van de schade en de specifieke omstandigheden van het getroffen gebied. Over het algemeen kan het jaren tot decennia duren voordat de natuur volledig hersteld is.

Er zijn verschillende maatregelen die kunnen helpen bij het herstel van de natuur na een ammoniakspill:

**Bodemplaggen:** Het verwijderen van de bovenste stikstofrijke laag van de bodem kan helpen om de stikstofbelasting te verminderen.

**Vaker maaien:** Door vaker te maaien en het maaisel af te voeren, kan de stikstof die in planten is opgenomen, worden verwijderd.

**Ruigtes verwijderen:** Het verwijderen van door stikstof ontstane ruigtes kan ruimte en licht creëren voor lagere kruiden en hun insectenfauna.

**Hydrologische maatregelen:** Het verbeteren van de waterhuishouding kan helpen om de effecten van verzuring en vermisting te verminderen.

**Herbebossing en herbeplanting:** Het aanplanten van inheemse plantensoorten kan helpen om de biodiversiteit te herstellen en de bodemstructuur te verbeteren.

**Monitoring en beheer:** Regelmatige monitoring en beheer van de getroffen gebieden zijn essentieel om het herstelproces te volgen en bij te sturen waar nodig.

Deze maatregelen kunnen bijdragen aan het herstel van de natuur, maar het is belangrijk om te beseffen dat herstel een langdurig proces is en dat voortdurende inspanningen nodig zijn om de natuur te ondersteunen.



## 4.2 Consequentie voor de ondergrond

Wat betreft de bodem kunnen de effecten variëren afhankelijk van de omvang van het incident. Hieronder zijn de mogelijke uitstromingsscenario's opgesomd:

- Zeer kleine uitstroom: Deze uitstroom kan alleen worden gedetecteerd met inline inspectie en heeft minimale, maar toch aanwezige effecten op de bodem.
- Kleine uitstroom: Deze uitstroom wordt door de controlekamer opgemerkt en leidt tot het afsluiten van de leiding. De bodem kan lokaal worden aangetast door deze uitstroom. Dit is potentieel ook door middel van geur waarneembaar in de omgeving, wat gemeld kan worden.
- Grote leidingbreuk: Deze situatie heeft de meest ingrijpende gevolgen, is snel zichtbaar in de controlekamer en leidt tot het inschakelen van inblokafsluiters binnen korte tijd. Afhankelijk van de snelheid van uitstroming kan dit zelfs tot een emergency shut down leiden, oftewel volledig automatisch sluiten van de inblokafsluiters.

Effecten op de ondergrond kunnen veelvoudig zijn. Ze zijn onder te verdelen tot de onderstaande drie hoofdklasse.

- Chemische effecten, zoals verzuring of verontreiniging door ammoniak.
- Fysische effecten, zoals verzakking of erosie door de druk van de uitstroom.
- Biologische effecten, zoals schadelijke gevolgen voor de bodemfauna en -flora.

Deze gecombineerde effecten kunnen de bodemstructuur, -vruchtbaarheid en -gezondheid ernstig ondermijnen, wat op lange termijn negatieve gevolgen heeft voor het ecosysteem, landbouwproductiviteit en/of grondwaterkwaliteit in de getroffen gebieden.

### 4.2.1 Chemisch

De chemische effecten van de bodem door lekkage zijn naast de aard en de duur van de lekkage tevens sterk afhankelijk van het type bodem waarin de lekkage zich voordoet. Het bufferende vermogen van bijvoorbeeld de verzuring die door de lekkage uiteindelijk optreedt zal in een kalkrijke kleigrond groter zijn dan in een zure veengrond of in een kalkarme zandgrond.

De effecten van een lekkage op het de bodemchemie zal daarom in meer algemene zin worden beschreven.

Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) is goed oplosbaar in water (tot 33% m/m). In de verzadigde zone van de bodem reageert ammoniak met water tot ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) waarbij een hydroxylgroep ( $\text{OH}^-$ ) vrijkomt. Door de hydroxylgroep wordt het bodemchemisch complex in eerste instantie basisch. Een hogere pH kan de beschikbaarheid van elektronenacceptoren zoals zuurstof en nitraat verminderen, wat de redoxpotentiaal verlaagd.

De oxidatie van ammonium tot nitraat gebeurt in twee stappen door autotrofe bacteriën uit verschillende geslachten. Tijdens de eerste stap naar nitriet wordt  $\text{H}^+$  gevormd wat aangeeft dat nitrificatie een verzurend proces is. Daarnaast kan in de bodemlucht door (langzame) oxidatie ammoniak tevens omgezet worden in stikstofmonoxide ( $\text{NO}$ ). Het ontstane stikstofmonoxide wordt met behulp van zuurstof en water omgezet in salpeterzuur ( $\text{HNO}_3$ ).

Op basis van het bovenstaande kan worden gesteld dat door een overmaat aan ammoniak in de bodem als gevolg van leidingbreuk de zuurgraad van de bodem sterk gaat variëren. Dit leidt tot instabiliteit van de evenwichtstoestand van het bodemchemisch complex en de redoxpotentiaal waardoor bijvoorbeeld zware metalen gemobiliseerd kunnen worden.

Zware metalen zijn van nature in de bodem aanwezig omdat deze een natuurlijk bestanddeel van de aardkorst vormen. Metalen zijn in de bodem aanwezig in verschillende (fysisch-chemische) bindingsvormen (speciatie). Metalen kunnen zowel aanwezig zijn in zeer stabiele, slecht opneembare verbindingen, als in goed oplosbare of zelfs als vluchtige verbindingen (in de vorm van hydriden of organo-metaalverbindingen). Voor de beoordeling van de risico's is inzicht in de speciatie van belang. Afhankelijk van het klei-humuscomplex kan de bindingssterkte sterk wisselend zijn, daarnaast kunnen metalen als (co)precipitaten van zouten in de bodem aanwezig zijn. De stabiliteit van deze zouten is eveneens wisselend, van zeer stabiel en slecht oplosbaar



(sulfiden) tot goed oplosbaar (hydroxiden). Voor deze eigenschappen geldt dat ze meestal sterk afhankelijk zijn van de condities in de bodem, zoals pH en redoxpotentiaal. Als deze condities veranderen, kan de oplosbaarheid toe- of afnemen.

Wanneer een verhoging van de zuurgraad en een afname van de redoxpotentiaal optreedt resulteert dit meestal in een vermindering van de mobiliteit, met name als sulfaatreducerende condities worden bereikt (waarbij sulfaat wordt omgezet in sulfide). Barium en arseen kunnen daartegen mobieler worden.

Afname van de redoxpotentiaal kan ook worden veroorzaakt door de verdringing van zuurstof door ammoniak in de bodemlucht waardoor de chemische reacties in de bodem veranderen, er treedt o.a. nitraatreductie op.

Verzuring van de bodem resulteert voor de meeste metalen in zowel een hogere oplosbaarheid als een vermindering van de adsorptie. Voor negatief geladen metalen (zoals arseen, seleen en antimoon) geldt dat verlaging van de pH gunstig is voor de adsorptie. Dit komt omdat de lading van de bodemdeeltjes bij verlaging van de pH verandert van negatief in positief, waardoor de adsorptie van de negatief geladen anionen toeneemt. Voor cadmium, koper, nikkel lood en zink is aangetoond dat de mobiliteit toeneemt bij zowel een verlaging als bij een verhoging van de zuurgraad. Dit aspect is voor verschillende typen bodems aangetoond.

In het algemeen kan worden gesteld dat bodem met een hoger lutum- en organische stofgehalte een groter adsorberend vermogen hebben. De effecten van een leidingbreuk op de vorming van bodemverontreiniging als gevolg van mobilisatie van zware metalen zullen in deze bodems naar verwachting geringer zijn.

De effecten van een leidingbreuk op het bodemchemisch evenwicht kunnen naast het wegnemen van de belasting door ammoniak worden verminderd c.q. deels opgeheven door het ingrijpen op de zuurgraad van de bodem. Afhankelijk van de toestand waarin het bodemchemisch complex zich bevindt zal dit bijvoorbeeld door bekalken mogelijk zijn. Voor het verlagen van de zuurgraad is het toedienen van organische stof, ijzer- of aluminiumsulfaat een mogelijke oplossing. Na verloop van tijd moet het bodemchemisch evenwicht zich weer stabiliseren. Het tijdsbestek waarbinnen een stabiel bodemchemisch evenwicht wordt bereikt, zal afhangen van de duur en omvang van de lekkage, van het bodemtype en de opgetreden mate van bodemverontreiniging. Verwacht wordt dat dit een tijdsspanne van ettelijke jaren kan bedragen.

#### 4.2.2 Fysische effecten

De fysische effecten van de bodem door lekkage zijn zoals bij de chemische effecten afhankelijk van het bodemtype en aard en duur van de lekkage. Doordat de pH van de bodem sterk fluctueert bij een leidingbreuk, een hoge pH bij begin leidingbreuk en een lage pH bij langdurige breuk door vorming van salpeterzuur, zal de bodemstructuur van veen- en kleigronden instabiel worden. De directe verbindingen tussen mineralen en organische stof en de gronddeeltjes (kleideeltjes) zorgen voor cementatie ofwel het vaster worden van de klei. Doordat de fluctuaties in pH de mineralen en organische stoffen doet afstoten (ofwel het afstoten van kationen of anionen) en er daarvoor zorgt dat de bindingen tussen de mineralen, organische stoffen en de kleideeltjes verslechterd zal de grond zeer slap worden. Dit kan verzakking als gevolg hebben, ook het freatisch grondwater zal hierdoor beïnvloed worden<sup>2</sup>.

Bij veengronden kan de afbraak van veen worden verergerd. Als de pH boven 7 komt te liggen wordt de reductiefactor van veen 1 ofwel, de maximale reductie die plaats kan vinden. Laagveen is basischer van oorsprong (pH 6-7) maar ammoniak lekkage kan de pH verhogen naar 10, dit betekent dat ook laagveen (naast het zuurdere hoogveen) gereduceerd gaat worden bij toetreding van ammoniak in de veengrond. (*van veen in veenweidegebieden: effecten van zomerdroogte, verbraking en landgebruik*). Verder heeft niet opgelost ammoniak een heftige reactie als het in contact komt met zuren. Bij langdurige lekkage waarbij verzuring optreedt kan het veen en haar eigenschappen uit balans raken en afbraak vermeederen.

Bij zandgronden zal het effect van de pH fluctuaties minder zijn doordat zand inert is. Wel zal het organisch stofgehalte beïnvloed worden door deze fluctuaties. De bindingscapaciteit van het zand voor mineralen zal verslechterd worden (CEC - NutriNorm).

---

<sup>2</sup> TAW. (1996). Technisch Rapport Klei Voor Dijken. Taw, 81



De lage temperatuur waar ammoniak mee getransporteerd wordt zal ervoor zorgen dat bij lekkage het vocht in de bodem zal bevriezen. Hierbij zet de bodem uit en kan worden opengeboren<sup>3</sup>. Intreding van ammoniak in het grondwater kan ernstige gevolgen hebben voor waterwingebieden en de beschikbaarheid van drinkwater in gebieden die hiervan afhankelijk zijn.

#### 4.2.3 Biologisch

Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) heeft aanzienlijke effecten op het bodemleven en de bodemgezondheid.

1. **Bodemverzuring:** Ammoniak draagt bij aan bodemverzuring. Wanneer ammoniak in de bodem terecht komt, wordt het omgezet in ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) en nitraat ( $\text{NO}_3^-$ ). De opname van ammonium door planten leidt tot verzuring omdat planten positieve waterstofionen uitscheiden om hun lading neutraal te houden.
2. **Effect op bodemorganismen:** Ammoniak kan de activiteit van bodemorganismen beïnvloeden. Hoge concentraties kunnen schadelijk zijn voor gevoelige plantensoorten en micro-organismen. Dit kan leiden tot een afname van de biodiversiteit in de bodem.
3. **Microbiële processen:** Direct na toediening van ammoniumhoudende meststoffen kunnen bepaalde microbiële omzettingsprocessen tijdelijk worden geremd. Een bekend voorbeeld is de tijdelijke remming van het nitrificatieproces, waarbij ammonium wordt omgezet in nitraat.
4. **Biodiversiteit:** Ammoniak kan de groei van stikstofminnende planten bevorderen, zoals brandnetels en bramen, wat kan leiden tot een onbalans in de plantengemeenschap en een afname van de biodiversiteit.

##### Regenwormen dood door blootstelling aan ammoniak [mestinjectie]

Microben zetten ammonium deels of volledig om naar nitraat. Kan worden opgenomen worden door planten maar bij te veel uitspoeling. Dan ook calcium, kalium en magnesium uitspoeling → verzuring. Bodem verarmt. Verschuiving van soortenrijke, voedselarme vegetaties naar voedselrijke situaties met enkele stikstofminnende soorten.

Verzuurde bossen broedsucces koolmees verlaagd door verminderd calciumbeschikbaarheid en minder stevige eieren<sup>4</sup>.

Verzuring leidt tot ontwikkelen van allerlei chemische processen die schadelijk zijn voor het bodemleven en de vegetatie.<sup>5</sup>

Verwacht wordt dat door de lekkage een overmaat aan nitraat ontstaat, er ontstaat een te hoge trofiegraad, er treedt eutrofiëring of zelfs hypertrofiëring op.

#### 4.3 Invloed buisleiding diameter op omvang effect.

Bij kleinere ongevallen, zoals lekkage, beperken de effecten zich vooral tot de bodem en natuur bij mensen in de nabijheid kan dit irritatie of geuroverlast geven. De omvang van een uitstroming en de omgeving/ondergrond bepaald de effecten naar de omgeving. Het is zeer lastig om de effecten nauwkeuriger te omschrijven. Bij een leidingbreuk heeft het ontwerp van de buisleiding effect op de hoeveelheid die vrijkomt. Maar bij lekkage scenario's is sprake van een scenariooverloop waarbij dit minder van belang is. Nauwkeurige en snelle detectie gecombineerd met de mogelijkheid om in te grijpen helpen om de uitstroomhoeveelheid te minimaliseren. Indien het lek niet gedetecteerd wordt dan bepalen de druk en het pompdebiet wat vrijkomt, en is de afstand tussen inblokafsluiters niet relevant. Bij een leidingbreuk, waarvan detectie verwacht mag worden, uiteraard wel.

| Uitstroomsnelheid         | Consequenties                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zeer klein maar langdurig | Deze effecten zullen op lange duur nadelig zijn voor de ondergrond en de omgeving. Maar bij kleine onopgemerkte lekkages is het aannemelijk dat dit lang kan plaatsvinden voordat dit signaleerd wordt aan de hand van effecten in de omgeving. |

<sup>3</sup> <https://www.eurofins-agro.com/nl-nl/wat-voor-effect-hebben-vorst-en-sneeuw-op-de-bodem-en-bemesting>.

<sup>4</sup> [www.natuurkennis.nl/biogeochemie](http://www.natuurkennis.nl/biogeochemie)

<sup>5</sup> [www.betavak.nl/ammonium](http://www.betavak.nl/ammonium) op bladeren



**Ammoniakleiding incidenten en beheersbaarheid**

Onderzoek naar de consequenties en beheersbaarheid van een ongeval met een ammoniak buisleiding

projectnummer 0494999.100

29 augustus 2025 revisie 6.2

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

|                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                       | Door een nul inventarisatie van de natuur te maken en periodiek te monitoren is het wellicht mogelijk om trends te signaleren.                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Klein en gedetecteerd | Dit incident kan grotere effecten hebben op verschillende vlakken zowel fysisch, chemisch en biologisch. Deze effecten op de ondergrond vereisen waarschijnlijk herstelmaatregelen. Vanuit de ondergrond en natuur zal herstel op basis van eigen kracht meerdere jaren tot decennia kosten, dit is echter al lastig te voorspellen voor specifieke casussen, voor een divers traject als de SVB-strook is dit in dit kader onmogelijk. |
| Leidingbreuk          | Dit betreft een grotere casus van het hierboven geschetste beeld. De gevolgen zullen aan de oppervlakte en in de ondergrond merkbaar zijn. Hiervoor zullen herstelmaatregelen genomen moeten worden.                                                                                                                                                                                                                                    |

Het ontwerp van de buisleiding, met name de mogelijkheid om lekkages te detecteren beïnvloed de omvang van de effecten die een eventuele lekkage of breuk heeft op de omgeving. De consequenties zijn ook sterk afhankelijk van de omgevingscondities, zoals type grond, aanwezigheid van oppervlaktewater, grondwater of drinkwater.

## 5 Consequenties bij leidingbreuk

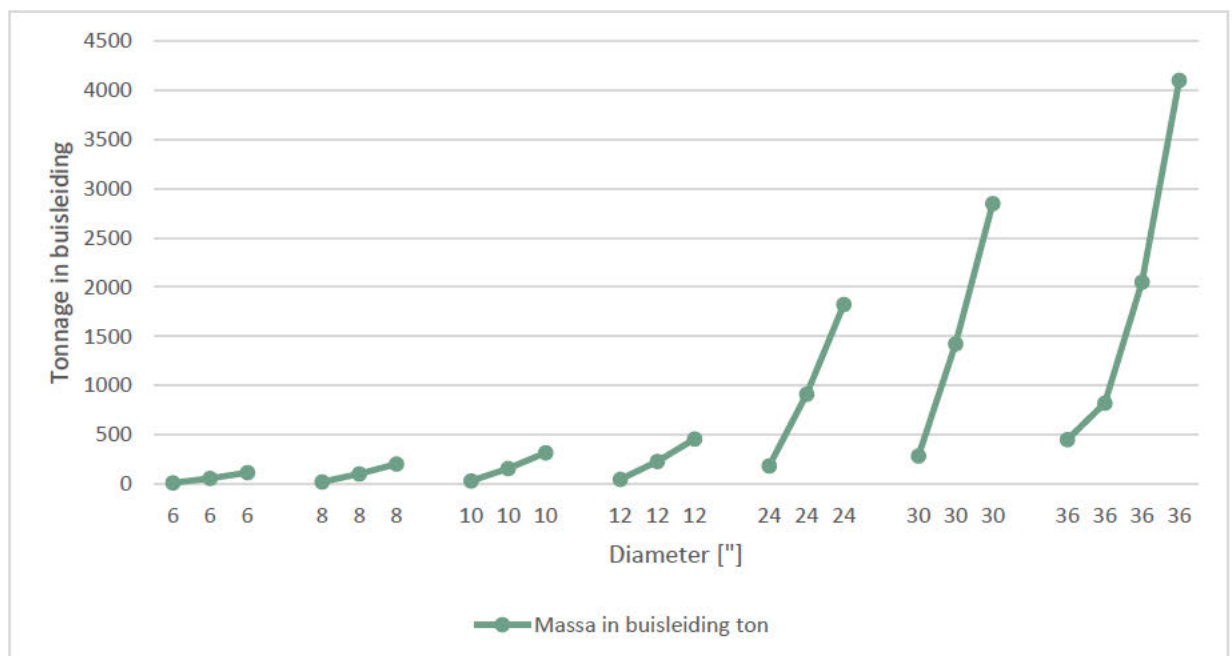
Door het RIVM zijn effectberekeningen uitgevoerd om vast te stellen hoever de effecten reiken van een ammoniakleidingbreuk. Hierbij is naast het effect van de eerste flash en naast de reikwijdte van de effecten die in het eerste half uur ontstaan ook specifiek gekeken naar de effecten na dit eerste half uur, in de tweede fase. De effecten na ongeveer het eerste half uur worden bepaald door plasverdamping, uiteraard afhankelijk van omgevingscondities en het ontwerp van de leiding. Het RIVM heeft de uitgangspunten vastgelegd in de kennisnotitie 31112024

De berekeningen zijn uitgevoerd voor de volgende buisleiding ontwerpen:

Diameter: 6", 8", 10", 12", 24", 30" en 36"

Afstand inlokafsluiter: 1, 5 en 10 kilometer

In onderstaand figuur is de spreiding van de vloeistofinhoud van ammoniak in de buisleiding, tussen de inlokafsluiter, weergegeven. Hierbij is uitgegaan van dezelfde ingrijptijd, 65 seconden tot sluiten inlokafsluiters.



Iedere bol staat voor de afstand tussen inlokafsluiter van 1, 5 en 10 kilometer

Figuur 5.1 Tonnage in buisleidingen

### 5.1 Reikwijdte effecten

In Figuur 5.2 is een overzicht opgenomen van de reikwijdte van de flasheffecten als gevolg van de maximaal uitstromende hoeveelheid. Dit is het effect van de flash, dit effect vindt plaats binnen de eerste 30 minuten (afhankelijk van het leidingontwerp). Hierna wordt de plasverdamping dominant voor de vorming van ammoniakgas, zie hoofdstuk 2.

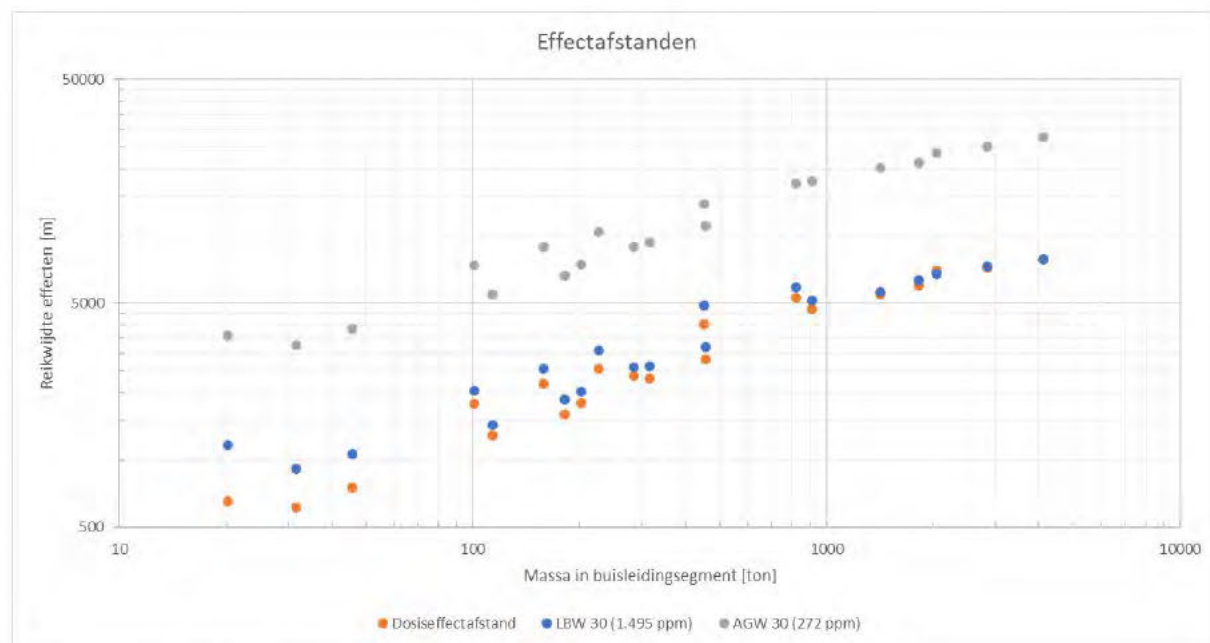
Naarmate de afstand tussen afsluiters afneemt, neemt ook de duur van de eerste uitstroming en flash af. Dit is per buisleidingdiameter weergegeven voor twee afstanden tussen inlokafsluiters.

- 8" leiding: 1 km = 250 seconde, 5 km = >1.800 seconde
- 12" leiding: 1 km = 210 seconde, 5 km = 1.800 seconde
- 24" leiding: 1 km = 160 seconde, 5 km = 1.300 seconde
- 36" leiding: 1 km = 140 seconde, 5 km = 1.100 seconde

Bij een gelijke afstand tussen inlokafsluiters maar een grotere diameter neemt de snelheid waarop een grotere hoeveelheid vrijkomt toe. Dit vertaalt zich naar een grotere hoeveelheid ammoniak die flasht en zich verspreid

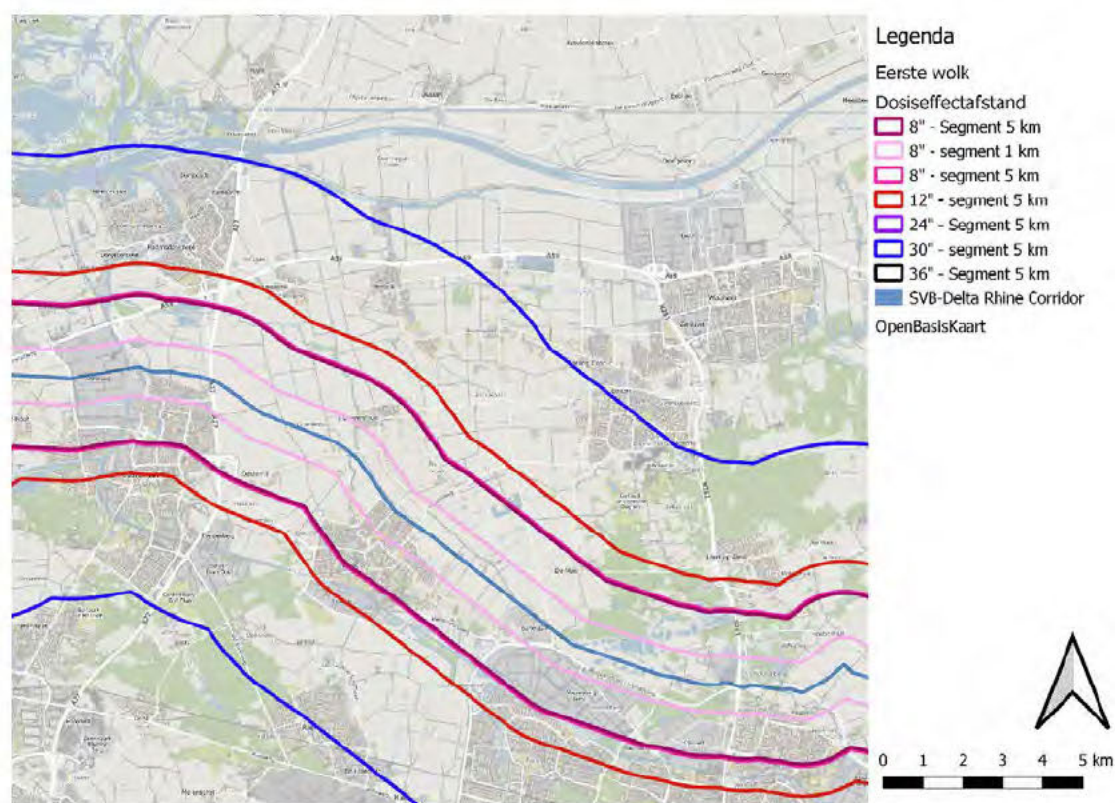


over de omgeving, met als gevolg hogere concentraties ammoniak in een wolk en een verdere verspreiding naar de omgeving oftewel grotere effectafstanden.



Figuur 5.2 Effectafstanden flash als gevolg van de uitstroomhoeveelheid (eerste fase)

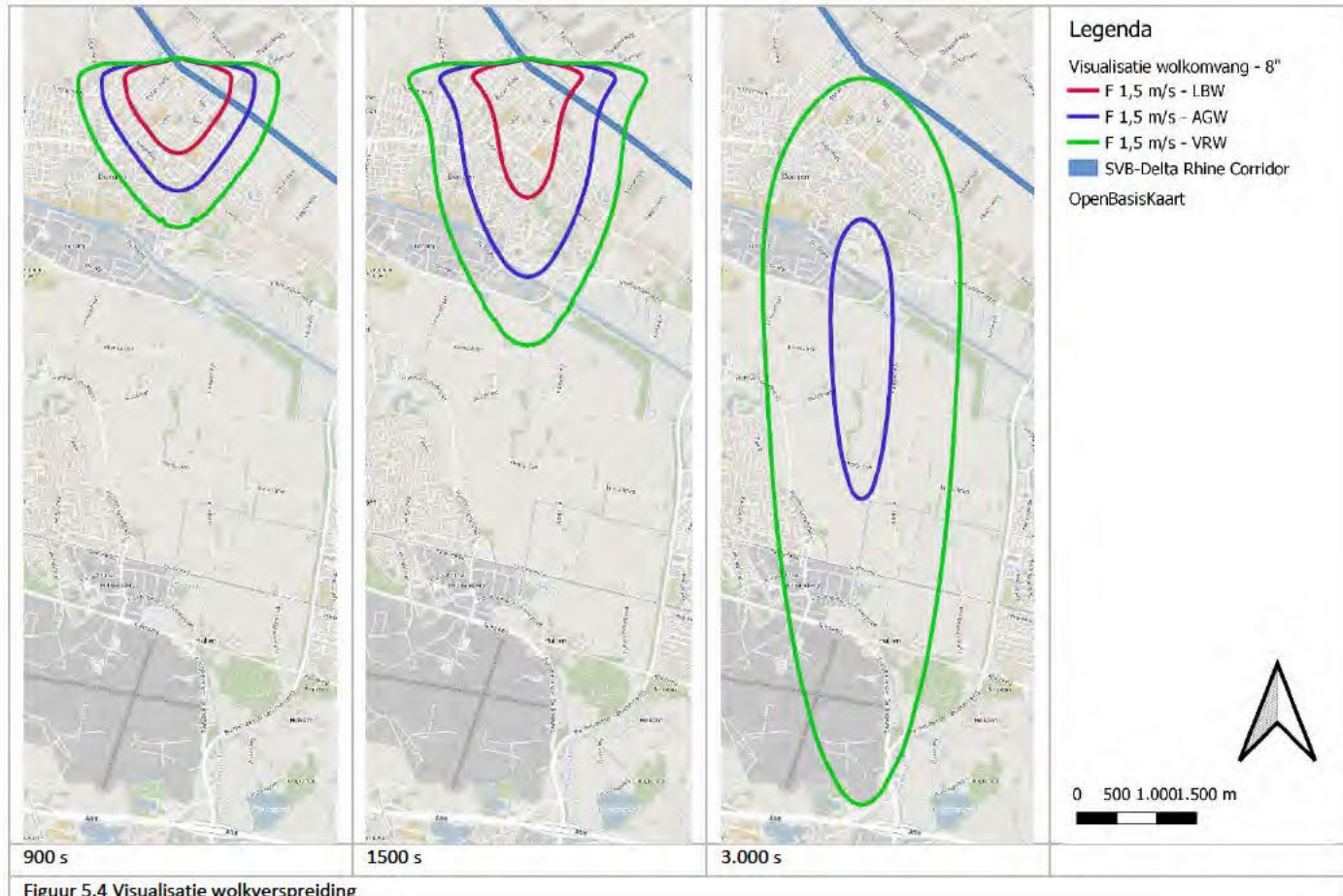
Het is mogelijk om voor iedere buisleiding aan te geven hoever de effecten reiken rondom het buisleiding tracé van de DRC. Ter illustratie is in Figuur 5.3 een kaart opgenomen waarop de dosiseffectafstand van verschillende buisleidingdiameters is te zien.



Figuur 5.3 Reikwijdte dosiseffectafstand a.g.v. flashverdamping bij verschillende buisleidingdiameters



In Figuur 5.4 is te zien hoe de verspreiding van een ammoniak wolk, veroorzaakt door flashverdamping, eruit ziet. Binnen 900 seconde, oftewel 15 minuten, is de wolk reeds verspreid over circa 2,5 kilometer. Na 25 minuten heeft de wolk (concentratie VRW) zich verspreid tot 4 kilometer. Ondertussen neemt de flasverdamping af, maar zal de ammoniak nog steeds vrijkomen als gevolg van plasverdamping. De wolk blijft zich echter verspreiden, zoals te zien in de momentopname op 50 minuten, tot over een nog groter gebied. Terwijl zich rondom de plasverdamping ook ammoniak blijft vrijkomen.

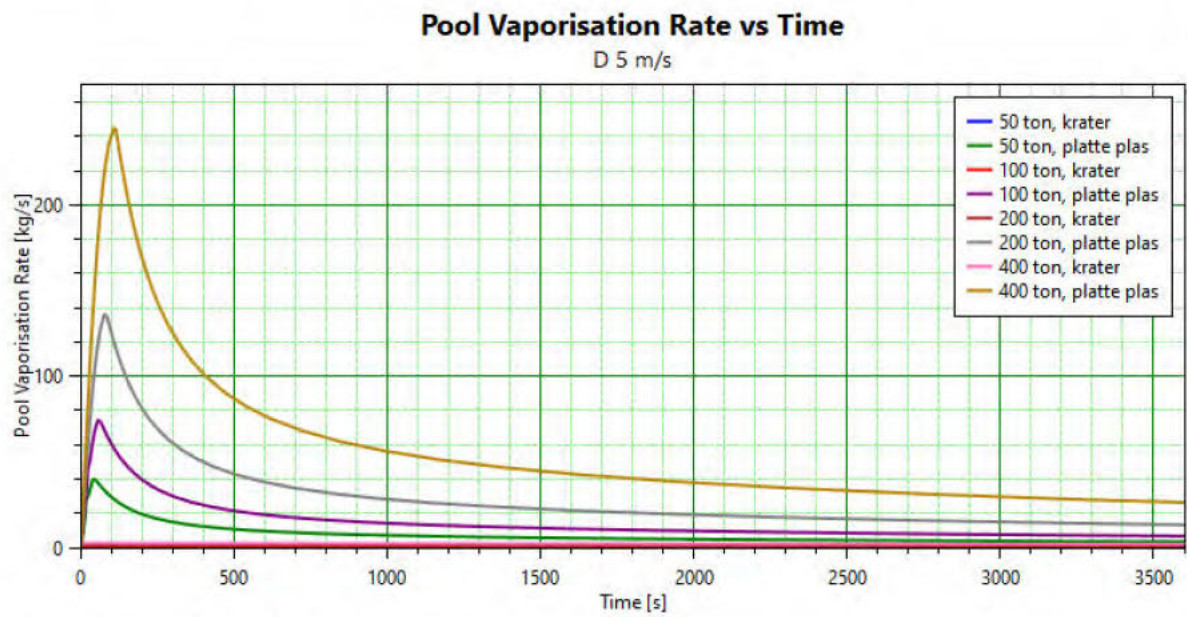


Figuur 5.4 Visualisatie wolkverspreiding

### Plasverdamping

Na deze eerste fase vindt een transitie plaats waarbij de plasverdamping uiteindelijk bepalend is voor de effecten naar de omgeving. In Figuur 5.5 zijn de effectafstanden veroorzaakt door plasverdamping weergegeven, voor 50, 100, 200 en 400 ton. 50 ton staat gelijk aan de inhoud van een spoorketelwagon en in dit geval een relatief kleine buisleidingdiameter. De verdamping wordt onder andere bepaald door de grootte van de plas, temperatuur van de ondergrond en de windsnelheid. De plasomvang wordt op zijn beurt weer bepaald door de grootte van de krater en de uitstromende hoeveelheid ammoniak. In deze grafiek is ook een spreiding te zien tussen de effectafstanden, dit heeft ermee te maken dat twee berekeningen zijn gedaan, één waarbij de volledige inhoud in de krater/diepe plas blijft en één waarbij alleen een platte plas ontstaat. In de praktijk zal de waarheid ergens tussen beide situaties in liggen, een deel van de ammoniak zal in de krater blijven, maar een deel zal ook over de rand heen gaan en zich daar verspreiden, zie ook Figuur 2.4. Naast dit effect zal ook sprake zijn van het neerregenen van ammoniak. De 'platte' plas is veelal binnen 24 uur verdampt, de effecten vanuit de krater of diepe plas kunnen meerdere dagen aanwezig zijn. Deze plas zal nog dagen tot weken blijven verdampen, al is het effectgebied relatief klein.





Figuur 5.5 Verdampingssnelheid een platte plas en een diepe plas (krater)

## 6 Repressieve inzet bij een breuk in een ammoniakbuisleiding

### 6.1 Inleiding

In overleg met het bedrijf H2K is gekeken naar welke mogelijkheden de brandweer zou kunnen hebben in geval van een scenario van een (grootschalige) leidingbreuk. In een sessie zijn de verschillende repressie mogelijkheden bij een ammoniakleidingincident geïnventariseerd

Doel hiervan is het inschatten van repressieve mogelijkheden bij een leidingbreuk.

#### 6.1.1 Tijdslijn

Op tijdstip T=0 minuten ontstaat er een leidingbreuk als gevolg van graafschade door een kraan. Een deel van de inhoud van de ondergrondse buisleiding verdampt en vormt een wolk die naar de omgeving afdrijft. Deze wolk blijft zich vormen tot ongeveer 30 minuten na de leidingbreuk. Tegelijkertijd vormt zich een ammoniakplas in de krater en regent ammoniak uit. Deze ammoniak in de plas verdampt ook na ongeveer 30 minuten is de plasverdamping de belangrijkste bron van ammoniakgas, dit gas blijft een ammoniak wolk vormen. De brandweer arriveert na ongeveer 15 minuten, indien de kazerne beschikbaar is en de locatie bereikbaar is, en kan hun eerste inzet doen tussen 20 en 30 minuten na de leidingbreuk.

| Tijdstip (minuten) | Gebeurtenis                                      |
|--------------------|--------------------------------------------------|
| 0                  | Ontstaan leidingbreuk door bijv. graafschade     |
| 0 – 1              | Alarmering hulpdiensten                          |
| 0 - 30             | Vorming van mistwolk                             |
| 15                 | Aankomst 1 <sup>e</sup> eenheid brandweer        |
| 20 - 30            | Eerste moment waarop inzet brandweer mogelijk is |
| 30                 | Alleen plasverdamping vanuit plas                |

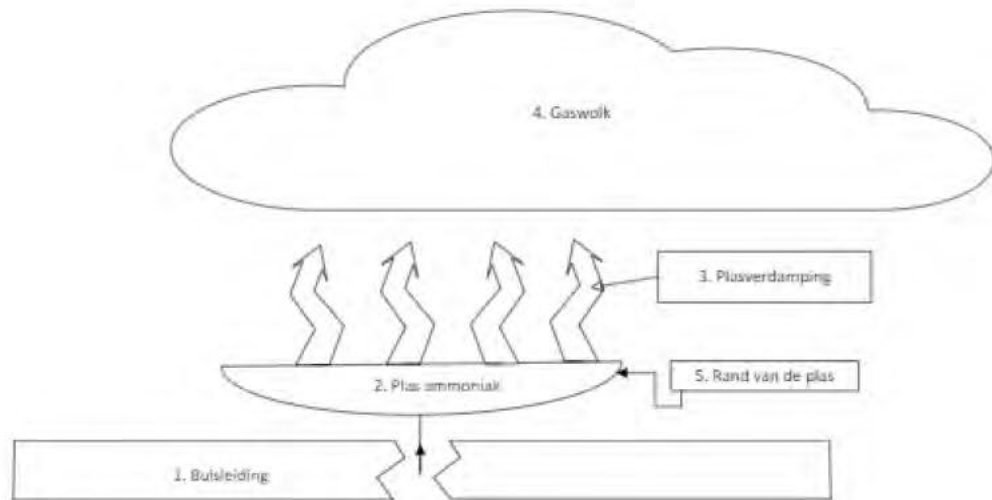
Bij deze aankomsttijd wordt geen rekening gehouden met de mogelijkheid dat de dichtstbijzijnde kazerne wellicht onbereikbaar is door de vrijkomende ammoniak. Ook moet rekening worden gehouden met het feit dat wellicht specialistisch materieel of specialistische manschappen. Indien dit het geval is dan zal de aanrij- en inzetijd toenemen. Op het moment van aankomst zal met behulp van beschermingsmiddelen, zoals adembescherming, beoordeeld moeten worden wat mogelijk is in overleg met de adviseur gevaarlijke stoffen (AGS). Dit zal afhankelijk zijn van de lokale omstandigheden.

### 6.2 Repressie mogelijkheden

De repressie van een incident kan onderverdeeld worden naar 6 inzetacties. In onderstaande afbeelding is een schematische weergave opgenomen van een incident met een ammoniakbuisleiding. De 6 verschillende inzetacties zijn opgenomen in het figuur.

In de rest van de paragraaf is uitgewerkt hoe deze inzetacties werken en op welke wijze dit bij een incident met een ammoniakbuisleiding kan functioneren.





Figuur 6.1 Aspecten van een ammoniak incident

1. Beperken van de uitstroomhoeveelheid
2. Het beperken van de plasoppervlakte van de koudkokende plas
3. Beperken van de uitdamping van ammoniak naar de lucht
4. Bestrijding van de wolk (concentratie in de lucht beperken)
5. Het verkleinen van een plas
6. Ontruiming van de omgeving (is niet weergegeven in het plaatje)

Bij de beoordeling van de verschillende repressie mogelijkheden is steeds gekeken naar het hoofddoel van repressie:

*Het voorkomen of beperken van de blootstelling van mensen en/of milieu aan een hoge concentratie ammoniak*

Hierbij is initieel buiten beschouwing gelaten wat deze hoge concentratie ammoniak precies is. Wel is het belangrijk dat de hulpverleners hun werk veilig kunnen uitvoeren. Bij het beoordelen van de repressie routes zijn de volgende vragen besproken:

- Hoe werkt deze methode
- Welke technieken zijn er
- Tot welke incident grootte is deze techniek effectief
- Is deze techniek toepasbaar

### 6.2.1 Beperken van de uitstroomhoeveelheid (1)

**Doel:** het verlagen van de hoeveelheid ammoniak die vrijkomt uit de buisleiding.

In het geval van een grotere lekkage of een leidingbreuk zal de leiding worden afgesloten. Zoals eerder beschreven bij een scenario van een leidingbreuk, zal er aanzienlijke hoeveelheden ammoniak vrijkomen. Na de initiële flash bevat de leiding afgekoelde ammoniak tot onder het kookpunt, en er zal een twee-fase systeem aanwezig zijn (ammoniagtas en ammoniakvloeistof) in de buisleiding. Het afsluiten van een buisleiding heeft geen invloed op de effecten die als gevolg van flash zullen ontstaan. Dit is een mogelijke maatregel die invloed heeft op het insluiten van ammoniak die zich in de buisleiding op hoopt en kan helpen bij de opruiming van de spill.

Bij incidenten met gas- of procesleidingen in de industrie wordt de uitstroom beperkt door manchetten om de buisleiding te installeren en over de opening te schuiven. Binnen de olie- en gasector worden blow-out preventers toegepast die een soortgelijk doel hebben, namelijk het verkleinen of elimineren van de uitstroom van gevaarlijke stoffen.



De mogelijkheden om ammoniakuitstroming te beperken zijn waarschijnlijk beperkt tot kleine incidenten; bij een guillotinebreuk is het hoogstwaarschijnlijk onmogelijk om de opening te dichten. In het geval van een ammoniakincident zal de opening in de buisleiding bereikbaar moeten zijn van buitenaf (door de ammoniakplas heen) of van binnenuit (wat niet waarschijnlijk is bij een ingeblokte leiding). Het dichten van de opening van buitenaf lijkt niet realistisch, aangezien hiervoor specifieke apparatuur beschikbaar zou moeten zijn, terwijl de hulpdiensten geen informatie hebben over de vorm van de breuk.

Wellicht is het mogelijk om de buisleiding van binnenuit te sluiten met behulp van een balg of een pig (interne stop) vanuit een pigging station. Dit is waarschijnlijk alleen een optie voor lekkagescenario's, maar afhankelijk van het ontwerp zou de pig ook de gehele inhoud naar buiten kunnen drukken. Op dit moment is nog geen enkele pig bekend die deze functionaliteit heeft. Concreet lijkt daarmee bij een leidingbreuk het beperken van de uitstroomhoeveelheid door het afdichten van de uitstroomopening niet een haalbare mogelijkheid.

## 6.2.2 Het beperken van de plasoppervlakte (2)

**Doel:** zoveel mogelijk uitstromende ammoniak opvangen in een plas en zorgen dat het plasoppervlak van de uitdampende koudkokende plas niet groot wordt.

Een gebruikelijke methode om de effecten van incidenten te beperken is het gebruik van barrières om vrije uitstroom te voorkomen. Denk hierbij aan tankbunds of vloeistofbarrières zoals olieschermen op het water, plastic schotten, en zandzakken. De uitstromende ammoniak zal deels in een krater terechtkomen en zich ook buiten de krater verspreiden als neerslag uit de wolk. Als de krater niet groot genoeg is, stroomt de ammoniak vrij naar de omgeving. Het doel is om zoveel mogelijk ammoniak binnen barrières op te vangen en eventueel gecontroleerd af te voeren naar een sloot of goot.

Een nadeel van het zelf opwerpen van barrières in het veld is de noodzaak om onder of in een ammoniakwolk te werken en de bron te benaderen en de beschikbaarheid van het juiste materieel. Dit brengt de brandweermensen zelf in gevaar. Naast de toxische effecten is de lage temperatuur dan een gevaar. De temperatuur van een ammoniakwolk kan, vooral in de beginfase,  $-70^{\circ}\text{C}$  zijn. In een latere fase, wanneer er sprake is van een koud kokende plas, zal de temperatuur van de ammoniakwolk ongeveer  $-33$  tot  $-20^{\circ}\text{C}$  zijn. Door de lage temperatuur worden ook de eisen voor beschermende kleding strenger, zoals een gaspak met thermische bescherming, noodzakelijk voor de veiligheid van brandweermensen bij inzet benedenwinds. De meest effectieve manier om het plasoppervlak te beperken lijkt door gebruik te maken van bestaande barrières of uitstroombeperkingen in het terrein, zoals droogstaande sloten, in plaats van repressieve inzet benedenwinds. Dit zou ook gerealiseerd kunnen worden door loop van een dergelijke buisleiding aan weerszijde te voorzien van aarden barrières die vrije uitstroom beperken.

## 6.2.3 Beperken van de uitdamping naar de lucht (3)

**Doel:** Beperk de hoeveelheid ammoniak die verdampt

De effectiviteit van deze maatregel is afhankelijk van de grootte van de uitstroming. Zolang de oppervlakte van de plas niet te groot wordt zijn er mogelijkheden om de verdamping te beperken. In de praktijk is dit vooral toegepast bij incidenten in industriële omgevingen. Dit kan door het toepassen van speciaal schuim of het afdekken van een plas met bijvoorbeeld een zeil. Verkeerde toepassing kan juist zorgen voor een warmtebron. Binnen de industrie is in het verleden ook gebruik gemaakt van ballen, die preventief in een opvangbak werden geplaatst. Deze oplossing is niet reëel voor buisleidingen.

Het schuim zal chemisch resistent moeten zijn, dit is niet standaard op de tankautospuit aanwezig. Daarnaast wijkt de mengverhouding water-schuim af van de standaard werkwijze. Kortom dit vereist speciale instructies bij een ammoniak incident omdat verkeerd toepassen de ammoniakverdamping kan vergroten. Het toepassen van afdekzeil is makkelijker en vereist minder specialistisch materiaal. Hiervoor is de bescherming van de brandweermensen belangrijk, in situaties waar dit is geoefend is is gebruik gemaakt van volledig gaspak. Wel is het alleen werkbaar bij een plasoppervlak dat qua grootte afdekbaar is (naar schatting plasdiameter 10 meter). Deze repressieve inzet werkt goed in combinatie met de voorgaande inzet, het beperken van de plasoppervlakte.



Voor deze inzet is een gaspakkenteam nodig, zoals te zien in Figuur 6.2, omdat de inzet zeer dichtbij de ammoniakplas zal plaatsvinden. Dit betekent dat rekening gehouden moet worden met de opkomsttijd van dit materieel en getraind personeel.



Figuur 6.2 Toepassing van afdekking om ammoniak verspreiding te beperken

#### 6.2.4 Bestrijding van de wolk/ de concentratie in de lucht (4)

**Doel:** Concentratie van ammoniak in de lucht verlagen en/of voorkomen dat deze zich verspreid

Dit doel kan op meerdere manieren behaald worden:

1. Opmengen of omhoog stuwen met lucht
2. Ammoniak afvangen met water
3. Het weghalen van de impuls (opwerpen barrière)

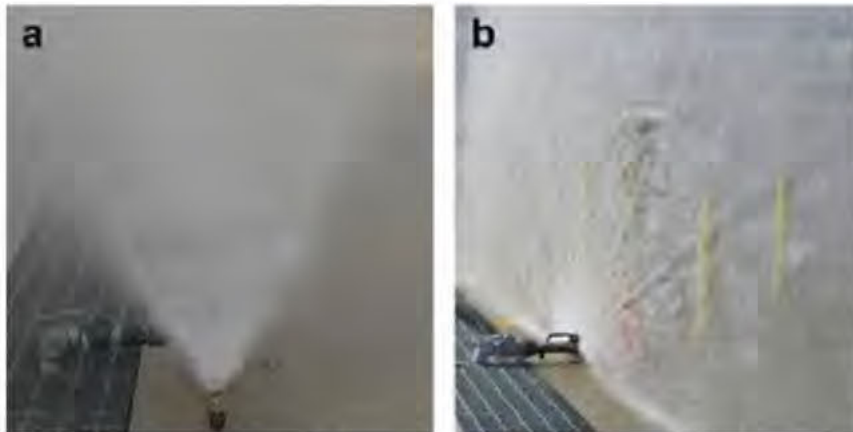
De eerste twee worden nog weleens gecombineerd door een waterscherm te plaatsen. Echter bij grote ammoniak incidenten is het niet mogelijk om een dermate groot scherm te creëren dat dit de gehele wolk afvangt. Deze techniek werkt vooral goed bij stationaire bronnen, zoals los- en laadplaatsen, omdat hier een stationair systeem geplaatst kan worden dat gedimensioneerd is voor de specifieke bron. Voor mobiele applicaties en voor grote incidenten, zoals leidingbreuk, worden de vereisten voor een waterscherm significant hoger. Dit leidt ertoe dat de effectiviteit afneemt naarmate de bron groter wordt. Het kan effectief zijn bij de effecten van plasverdamping. Het plaatsen van stationair een waterscherm nabij een leidingtracé is ongebruikelijk, dit zou dus met een mobiele installatie geregeld moeten worden. Dit vereist ook de beschikbaarheid van voldoende bluswater in de omgeving of door middel van een blusleiding. Opgemerkt wordt ook dat bij het toepassen van water nabij koude ammoniak plassen voorkomen moet worden dat het water de ammoniakplas in loopt en opwarmt, of afstroomt naar het milieu. Het gebruikte water zal ammoniak bevatten kan gevolgen hebben voor het aquatische milieu, goede opvang moet geregeld worden indien mogelijk.

### Conclusies NIPV-waterschermb

Het blijkt dat er grofweg drie manieren zijn waarop een waterschermb een gaswolk kan beïnvloeden:

1. Mechanisch: stroming of luchtverplaatsing door het water. Dit kan onder meer als gevolg hebben dat:
  - a. de dampwolk wordt verdund door het innemen van omgevingslucht.
  - b. vallende waterdruppels de dampwolk mee 'naar beneden trekken'.
  - c. de impuls van een waterschermb een dampwolk 'wegduwt'.
2. Thermisch: afkoelen van het gas door warmte-uitwisseling, waardoor de dichtheid van het gas verandert en mogelijk kan dalen. Wanneer de damp kouder is dan water, kan deze opgewarmd worden door het water en vindt het omgekeerde effect plaats.
3. Fysisch of chemisch: oplossen van het gas in water.

Vastgesteld kan worden, dat de effectiviteit van een waterschermb van veel factoren afhankelijk is. Dit maakt dat het op een juiste wijze toepassen van een waterschermb in de praktijk niet eenvoudig realiseerbaar is. Tevens kan geconcludeerd worden dat het reduceren van de dampconcentratie direct achter een waterschermb goed mogelijk is, maar wel een lage snelheid van de damp en een voldoende hoge snelheid van het waterschermb vraagt. De damp zal daarbij verder (groten)deels weggeduwd worden door het waterschermb. Hierbij kan de damp verdund en verplaatst worden, maar het volledig mitigeren van een dampwolk lijkt niet realistisch. Verder achter het scherm neemt de reductie van de concentratie damp vaak flink af.



Figuur 6.3 Gebruikte waterschermben in de experimenten. Full cone spiral nozzles (a) en waaivorm (b)

Systemen zoals de Turbo Loscher van BASF of het Turbine Response System zijn wellicht ook in staat om vermenging en impulscontrole van een ammoniak wolk te genereren, het is echter onbekend of dit ook in de schaal van ammoniak incidenten effectief is.

Het plaatsen van een fysieke barrière kan helpen om ammoniak te laten condenseren of verdere verspreiding te beperken. Dit is alleen mogelijk indien er sprake is van een klein scenario.



Figuur 6.4 Gebruik ventilator om ammoniak pluimen te sturen (Bron: ASTI)



## 6.2.5 Het verkleinen van een plas (5)

**Doel:** Het verwijderen van ammoniak uit de plas.

De impact van de ammoniak plas op de omgeving kan gemitigeerd worden door de hoeveelheid ammoniak in de plas te verkleinen. Een mogelijkheid om dit te bewerkstelligen is door de vloeibare ammoniak te verpompen of door af te zuigen naar een gesloten opvang of op te mengen in een waterbassin. Binnen de industrie is er ervaring met het gebruik van dompelpompen i.p.v. zuigwagens. Bij het gebruik van zuigwagens wordt met onderdruk de ammoniak opgezogen, hierbij moet de ammoniak koud genoeg zijn i.v.m. het kookpunt bij een lagere druk. Om één ton ammoniak op te slaan in een waterbassin is ca. drie ton water nodig, de grens van oplosbaarheid ligt bij 35% aqua ammonia. Bij deze concentratie zal nog steeds ammoniak verdampen uit de oplossing, des te lager de concentratie des te minder verdamping. Wellicht is het ook mogelijk om ammoniak zuiver op te slaan, indien genoeg materieel beschikbaar is. Bij leidingbreuk scenario's kan sprake zijn van 50 – 500 ton aan ammoniak uitstroming, indien deze is ingeblokt. De benodigde waterhoeveelheid om deze ammoniak eventueel in op te slaan zal een veelvoud hiervan zijn en vereist een goed ontwerp van de installatie i.v.m. de reactiekinetiek tussen water en ammoniak. Op het moment van schrijven zijn er geen installaties bekend die voor dit doeleinde zijn ontworpen en toegepast kunnen worden. De grootte is afhankelijk van de hoeveelheid ammoniak die in de plas achter is gebleven. Om dit proces in werking te kunnen stellen moet het mogelijk zijn om in de buurt van de plas te kunnen komen, zowel met mensen als met middelen. Dit vereist beschermingsmaatregelen voor de repressieve inzet, goede bereikbaarheid van de locatie en de beschikbaarheid van voldoende materieel, kortom deze route vereist waarschijnlijk enkele uren om op te zetten, als het al realiseerbaar is.

## 6.2.6 Ontruiming (6)

**Doel:** Omgeving van het incident ontruimen

De voornaamste maatregel voor omwonenden is het sluiten van ramen en deuren en het uitschakelen van mechanische ventilatie. Hiervoor is het van belang dat deze omwonenden snel geïnformeerd worden over de situatie.

Na het ontstaan van een incident wordt, hopelijk, snel de instructie gegeven om te schuilen in huis en ramen en deuren te sluiten. Evacuatie vanuit een ammoniak wolk vereist het dragen van adembescherming. Voor de hulpverlening betekent dit dat de inzet beperkt is tot 20 minuten, hierna moet de ademluchtfles weer gevuld worden. Indien nog ammoniak aanwezig is, dan zullen ook de evacuees adembescherming moeten dragen. Dit kan met ademlucht, of met vluchtmaskers met filterbussen. De juiste filterbussen kunnen 5.000 ppm voor 20 minuten aan. Dit houdt in dat vluchten onder begeleiding mogelijk is, als de vluchtroutes niet te lang zijn (enkele minuten lopen) en voldoende filterbussen aanwezig zijn. Zodra het slachtoffer getild moet worden door de brandweer, wat zeer aannemelijk is, dan daalt de effectiviteit nog verder. Praktisch gezien ontbreekt het aan materieel om aanzienlijke hoeveelheden mensen te evacueren indien deze onder de wolk zitten. Opgemerkt wordt ook dat slachtoffers die reeds ammoniak hebben ingeademd moeite zullen hebben bij het ademen door een filterbus.

Bij de beoordeling of evacuatie noodzakelijk is zal rekening gehouden moeten worden met de effectiviteit van schuilen in huis en de duur van een ammoniak incident (in hoeverre dit te voorspellen is).

## 6.3 Ervaring buitenland

Tijdens het onderzoek is ASTI (Ammonia Safety and Training Institute) uit de Verenigde Staten geïnterviewd. Deze non-profit organisatie houdt zich bezig met het trainen van de brandweer in de VS op het vlak van ammoniak incident bestrijding en preparatie. De benadering van deze organisatie ten opzichte van ammoniak incidenten wordt de Tripod methode genoemd. Deze is gestoeld op een actieve samenwerking tussen het bedrijfsleven, overheid en brandweer en de omgeving. Waarbij de filosofie verschilt per betrokken partij/stakeholder.

Voor bedrijven is het van belang dat zij inzetten op een goede risicobeoordeling die vertaald wordt naar preventieve en repressieve maatregelen. Waarbij iedere vorm van escalatie of loss of control wordt



geadresseerd met maatregelen gericht op het voorkomen van een loss of containment. Mocht dit wel plaats vinden dan moet het bedrijf beschikken over een noodplan, waarbij ingezet wordt op het beperken van de uitstroming en op het zo snel mogelijk veiligstellen van de omgeving. Hiervoor worden veiligheidszones met ieder zijn eigen handelingsperspectief. Wat te doen verschilt per veiligheidszone, zo wordt op basis van casuïstiek een grote focus gelegd op langdurig schuilen in huis. Maar nabij het incident wordt een veiligheidszone vastgesteld waarbij snelle evacuatie noodzakelijk is.

Voor de overheid en de hulpdiensten geldt dat binnen de tripod benadering actief wordt afgestemd en geoefend hoe deze noodplannen eruitzien. De filosofie is 'Go Big Early'. Welke verschillende scenario's zijn mogelijk, van klein tot groot en hoe wordt ingespeeld op escalatie. Welke veiligheidszones zijn er en op welke wijze moet er gehandeld worden binnen deze gebieden.

Voor de omwonenden geldt dat zij worden betrokken over de gevaren en de gevolgen van ammoniak. En dat zij worden geïnformeerd hoe te handelen bij een incident. Het belang van schuilen in huis en de voordelen die dit oplevert worden veelvuldig toegelicht. Door de effecten die ammoniak heeft op het menselijk lichaam, wordt evacuatie zonder goede bescherming afgeraden, de kans op overleven in huis worden groter geacht, mede op casuïstiek van voorgaande incidenten.

### 6.3.1 Veiligheidszones

De benadering met veiligheidszones is in hoofdzaak te vertalen naar twee gebieden:

2. Evacuatiezone – hier is langdurig een hoge concentratie ammoniak aanwezig. Hiervoor wordt de AEGL 2 (>220 ppm – 30 min) gebruikt als afkapgrens, grofweg vergelijkbaar met AGW. Dit geldt alleen indien dit veilig mogelijk is, zo niet dan is schuilen de enige optie.
3. Schuilen in pandig – in deze zone is het aanbevolen om ramen en deuren gesloten te houden en niet te evacueren. Vanaf de AEGL 2 tot en met AEGL 1 zone, dit is ongeveer vanaf 220 ppm tot 30 ppm.

| Ammonia 7664-41-7 (Final) - Expressed in PPM |        |        |        |       |       |
|----------------------------------------------|--------|--------|--------|-------|-------|
|                                              | 10 min | 30 min | 60 min | 4 hr. | 8 hr. |
| <b>AEGL 1</b>                                | 30     | 30     | 30     | 30    | 30    |
| <b>AEGL 2</b>                                | 220    | 220    | 160    | 110   | 110   |
| <b>AEGL 3</b>                                | 2,700  | 1,600  | 1,100  | 550   | 390   |

Figuur 6.5 AEGL-niveaus als functie van de blootstellingsduur

"Schuilen in pandig wordt toegepast wanneer het evacueren voor mensen een groter risico zou veroorzaken dan blijven waar ze zijn, of wanneer een evacuatie niet kan worden uitgevoerd. Geef de mensen binnen de opdracht om alle deuren en ramen te sluiten en alle ventilatie-, verwarmings- en koelsystemen uit te schakelen." Volgens het ASTI moet deze informatie een prioriteitsbericht zijn voor de eerstehulpverleners en het nooduitzendingsstelsel binnen de gemeenschap. Het coördineren tussen lokale hulpdiensten en de incidentcommandant voor het vaststellen welke handeling in welk gebied nodig is o.a. schuilen in pandig, het evacueren uit gevaarlijke zones en vaststellen wanneer de omstandigheden veilig zijn om dit te doen

De noodplannen in DOT Emergency Response Guide m.b.t. ammoniak zijn als volgt opgebouwd.

- De Isolatiezone definieert een gebied rondom het incident waar mensen kunnen worden blootgesteld aan gevaarlijke (tegen de wind in) en levensbedreigende (met de wind mee) concentraties van materiaal.
- De Beschermingszone definieert een gebied met de wind mee vanaf het incident waar mensen letsel kunnen oplopen, gezondheidsklachten, en niet in staat zijn om beschermende maatregelen te nemen en/of ernstige of onomkeerbare gezondheidseffecten kunnen oplopen.



|                                                                                                                                               |                                    | SMALL SPILLS<br>(From a small package or small tank from a large package) |                                       |                                                       | LARGE SPILLS<br>(From a large package or from many small packages) |                                                     |                                            |                                                   |            |                                                       |            |                                                     |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------|--|
| ID<br>No.                                                                                                                                     | Guide                              | NAME OF MATERIAL                                                          | First<br>ISOLATE<br>in all Directions | Then<br>PROTECT<br>persons Downwind during            |                                                                    | First<br>ISOLATE<br>in all Directions               | Then<br>PROTECT<br>persons Downwind during |                                                   |            |                                                       |            |                                                     |  |
|                                                                                                                                               |                                    |                                                                           |                                       | DAY                                                   | NIGHT                                                              |                                                     | DAY                                        | NIGHT                                             |            |                                                       |            |                                                     |  |
|                                                                                                                                               |                                    |                                                                           | Meters (Feet)                         | Kilometers (Miles)                                    | Kilometers (Miles)                                                 | Meters (Feet)                                       | Kilometers (Miles)                         | Kilometers (Miles)                                |            |                                                       |            |                                                     |  |
|                                                                                                                                               |                                    |                                                                           |                                       |                                                       |                                                                    |                                                     |                                            |                                                   |            |                                                       |            |                                                     |  |
| TABLE 3 - INITIAL ISOLATION AND PROTECTIVE ACTION DISTANCES FOR LARGE SPILLS FOR DIFFERENT QUANTITIES OF SIX COMMON TIH (PIH in the US) GASES |                                    |                                                                           |                                       |                                                       |                                                                    |                                                     |                                            |                                                   |            |                                                       |            |                                                     |  |
|                                                                                                                                               | First ISOLATE<br>in all Directions | Then PROTECT persons Downwind during                                      |                                       |                                                       |                                                                    |                                                     |                                            |                                                   |            |                                                       |            |                                                     |  |
|                                                                                                                                               |                                    | DAY                                                                       |                                       |                                                       |                                                                    |                                                     |                                            | NIGHT                                             |            |                                                       |            |                                                     |  |
|                                                                                                                                               |                                    | Low wind<br>( $< 8$ mph $\approx$<br>$< 10$ km/h)                         |                                       | Moderate wind<br>(8-12 mph $\approx$<br>10 - 20 km/h) |                                                                    | High wind<br>( $> 12$ mph $\approx$<br>$> 20$ km/h) |                                            | Low wind<br>( $< 8$ mph $\approx$<br>$< 10$ km/h) |            | Moderate wind<br>(8-12 mph $\approx$<br>10 - 20 km/h) |            | High wind<br>( $> 12$ mph $\approx$<br>$> 20$ km/h) |  |
|                                                                                                                                               |                                    | Meters (Feet)                                                             | km (Miles)                            | km (Miles)                                            | km (Miles)                                                         | km (Miles)                                          | km (Miles)                                 | km (Miles)                                        | km (Miles) | km (Miles)                                            | km (Miles) |                                                     |  |
| TRANSPORT CONTAINER                                                                                                                           |                                    | UN1005 Ammonia, anhydrous: Large Spills                                   |                                       |                                                       |                                                                    |                                                     |                                            |                                                   |            |                                                       |            |                                                     |  |
| Rail tank car                                                                                                                                 |                                    | 330 (1000)                                                                | 1.9 (1.2)                             | 1.5 (0.9)                                             | 1.1 (0.6)                                                          | 4.5 (2.8)                                           | 2.5 (1.5)                                  | 1.4 (0.9)                                         |            |                                                       |            |                                                     |  |
| Highway tank truck or trailer                                                                                                                 |                                    | 150 (500)                                                                 | 0.9 (0.6)                             | 0.5 (0.3)                                             | 0.4 (0.2)                                                          | 2.0 (1.3)                                           | 0.8 (0.5)                                  | 0.6 (0.4)                                         |            |                                                       |            |                                                     |  |
| Agricultural nurse tank                                                                                                                       |                                    | 60 (200)                                                                  | 0.5 (0.3)                             | 0.3 (0.2)                                             | 0.3 (0.2)                                                          | 1.4 (0.9)                                           | 0.5 (0.3)                                  | 0.3 (0.2)                                         |            |                                                       |            |                                                     |  |
| Multiple small cylinders                                                                                                                      |                                    | 30 (100)                                                                  | 0.3 (0.2)                             | 0.2 (0.1)                                             | 0.1 (0.1)                                                          | 0.7 (0.5)                                           | 0.3 (0.2)                                  | 0.2 (0.1)                                         |            |                                                       |            |                                                     |  |

Figuur 6.6 DOT noodplannen – zones

Voor worst-case scenario's waarbij de volledige inhoud instantaan vrijkomt, kunnen de afstanden aanzienlijk toenemen. Voor dergelijke gebeurtenissen is het verdubbelen van de initiële isolatie- en Beschermingszone passend bij afwezigheid van andere informatie. (Bron: ASTI)

### 6.3.2 Praktijkonderzoek

ASTI voert ook experimenten met ammoniak uit, om te beoordelen welke mogelijkheden er zijn met betrekking tot repressie. Dit houdt in dat tot op heden is beoordeeld hoe de dispersie wordt beïnvloed door:

- Meteorologische omstandigheden en de omgevingsomstandigheden (begroeiing en oppervlaktewater)
- De aanwezigheid van barrières
- De invloed die gebouwen hebben op de dispersie
- De mogelijkheden om de dispersie te beïnvloeden met ventilatoren
- Afdekken met zeil.

De experimenten zijn gebaseerd op observaties bij incidenten in het verleden. Maar zijn hoofdzakelijk uitgevoerd met kleine hoeveelheden ammoniak. Echter dit leidt tot een aantal interessante observaties. Het grootste gevaar aan ammoniak dispersie is een verspreiding van ammoniak in hoge concentraties op grondniveau. Uit incidenten en experimenten blijkt dat de omgeving, bijv. gebouwen, planten, oppervlaktewater, een grote invloed heeft op de daadwerkelijke dispersie.

De verspreidende koude wolk blijft laag over de grond gaan, echter warme obstakels of barrières zoals schotten of gebouwen helpen om deze koude wolk te breken en te zorgen voor een opstijgende wolk. Dit reduceert de verspreiding significant. Daar staat tegenover dat vochtige lucht juist zorgt voor een wolk die slecht opmengt naar hogere luchtlagen.

Daarnaast is het ook mogelijk om door middel van ventilatoren de concentratie dermate te verlagen dat hulp mogelijk is, maar ook dat opmenging in de verticale richting te verbeteren. Op kleine schaal is dit reeds toegepast, echter op welke schaal dit mogelijk is bij een incident is onbekend. Voor meer informatie kan het CRADA rapport worden geraadpleegd.

### 6.3.3 Verschil met Nederland

Uit voorgaande beschrijving blijkt hoe de filosofie vanuit de ASTI gericht is op een goede voorbereiding bij alle betrokkenen partijen. Dit betreffen veiligheidsstudies, noodplannen en trainingen met alle betrokkenen, hulpdiensten, bedrijven en omwonenden. Deze filosofie wordt in Nederland ook gehanteerd door buisleidingexploitanten en de veiligheidsregio. Echter het verschil tussen de werkwijze in Nederland en de VS is de communicatie met direct omwonenden. In de VS wordt ingezet op actieve participatie, waarbij meer gedaan wordt dan alleen informeren over de gevolgen maar ook wordt ingegaan op de eigen rol en voorbereiding die

omwonenden hebben.

In het kader van de participatie bij de aanleg van een leiding zal dit deels plaats vinden binnen de omgevingswet, maar het verschil met de geschetste werkwijze in de VS is de communicatie over de effecten en gevolgen die ammoniak kunnen hebben op omwonenden en op welke wijze zij zelf kunnen zorgen voor hun eigen veiligheid. Rampbestrijdingsplannen en calamiteitenplannen in Nederland worden niet besproken met de omwonenden, zeker niet actief getraind. Naar verwachting kan dit ook leiden tot onrust en weerstand tegen een activiteit met ammoniak.

Vroegtijdige en regelmatige afstemming en oefening aan de hand van voorbeelden uit de praktijk waarbij inpanning schuilen effectief blijkt te zijn, ook bij langdurige effecten, kan helpen om het draagvlak te verhogen en de zelfredzaamheid.



## 6.4 Samenvatting bestrijdingsmogelijkheden

De analyse van de zes inzetacties is in de onderstaande tabel samengevat. Het blijkt dat veel inzetacties effectief zijn bij kleinere incidenten. Maar zodra de uitstroming en/of effect gebied toeneemt neemt het aantal mogelijkheden voor repressie af. In die gevallen zal inzet door gespecialiseerde manschappen met het juiste materieel benodigd zijn. De opkomsttijd van deze manschappen zal langer dan 15 minuten zijn.

| Repressieroute                                 | Doel                                              | Technieken                                                       | Effectiviteit                                                                            | Toepasbaarheid                                                                                                   |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1. Beperken van de uitstroomhoeveelheid</b> | Verlagen van de hoeveelheid ammoniak die vrijkomt | Manchetten, balg, pig                                            | Zeer beperkt, mogelijk bij kleine incidenten/lekkages                                    | Afhankelijk van scenario, leidinglekage                                                                          |
| <b>2. Beperken van de plasoppervlakte</b>      | Opvangen van uitstromende ammoniak in een plas    | Barrières, tankbunds, olieschermen, plastic schotten, zandzakken | Terrein moet de mogelijkheid bieden. Beste optie is realisatie bij aanleg buisleiding.   | Afhankelijk van scenario, uitstroomgrootte                                                                       |
| <b>3. Beperken van de uitdamping</b>           | Beperken van de hoeveelheid ammoniak die verdampt | Speciaal schuim, afdekzeil                                       | Afhankelijk van plasoppervlakte, vooral kleine plassen.                                  | Beschikbaarheid en reistijd van chemisch resistent blusschuim of Afdekzeil.                                      |
| <b>4. Bestrijding van de wolk</b>              | Impuls uit gaswolk of concentratie verlagen       | Opmengen met lucht, waterscherm, barrière                        | Effectief bij stationaire bronnen                                                        | Ongebruikelijk bij leidingtracé. En toevoer van water naar de plas moet worden voorkomen.                        |
| <b>5. Verkleinen van een plas</b>              | Verwijderen van ammoniak uit de plas              | Afzuigen in waterbassin, pompelpompen                            | Afhankelijk van hoeveelheid ammoniak                                                     | Systemen bestaan nog niet, en moet worden ontworpen voor de specifieke gevaren van ammoniak                      |
| <b>6. Ontruiming</b>                           | Omgeving van het incident ontruimen               | Ademlucht, ademfilters                                           | Beperkt tot 20 minuten inzet. Indien slachtoffers gedragen moeten worden max. 1 persoon. | Afhankelijk van beschikbaar materieel<br>Liefst geen masker bij slachtoffers die reeds ammoniak hebben ingeademd |

### 6.4.1 Nadere beschouwing

Op basis van de informatie in hoofdstuk 6 blijkt dat het lastig is om de effecten van de flash te bestrijden. De aanrijtijd en opbouwtijd die de brandweer nodig heeft verhindert effectief ingrijpen op deze effecten. Daarnaast zijn meerdere factoren en omstandigheden die bepalen of inzet mogelijk en nuttig is. Bij incidenten in de VS is gebleken dat schuilen in woningen/gebouwen met een relatief lage ventilatie een relatief goede bescherming biedt. Veel incidenten waren in industriële omgevingen, sommige bij spoortransport. Echter grote incidenten met ammoniak uit buisleidingen nabij woonkernen zijn niet gerapporteerd in het CRADA rapport. In het geval een incident plaatsvindt zijn de volgende stappen belangrijk:

- Goede voorbereiding door middel van rampbestrijdingsplannen
  - o Hierin is vastgelegd hoe opgeschaald dient te worden
  - o Welke bestrijdingsmogelijkheden aanwezig zijn en welke technieken niet gebruikt moeten worden (toepassing van water op een plas)
  - o Mogelijke reikwijdte van de effecten
- Participatie en betrokkenheid van de omwonenden in de omgeving m.b.t. noodplanning
  - o De gevolgen van ammoniak
  - o Hoe kunnen zij zichzelf beschermen
- Snelle alarmering van de omgeving met een instructie om te schuilen (ramen en deuren dicht etc.)
  - o Voor het gebied dat nog blootgesteld wordt aan de effecten veroorzaakt door plasverdamping, geldt dat dit gebied langdurig blootgesteld wordt aan ammoniak. Hierbij

neemt de effectiviteit van schuilen in huis af. Deze mensen zo snel als veilig mogelijk geëvacueerd moeten worden.

- Snelle instructie om woningen weer te verlaten en goed te laten ventileren
- Bestrijding van de bron moet gericht zijn op het minimaliseren van de effecten van plasverdamping

Daarnaast zijn bij de aanleg van een leiding een aantal lessen te trekken op basis van de kennis uit de industrie en om de bestrijdingsmogelijkheden van de brandweer te vergroten. Uiteraard is kansreductie belangrijk, maar gegeven de mogelijkheid dat een incident ontstaat dan worden de bestrijdingsmogelijkheden verbeterd indien:

- De bereikbaarheid van de incident locatie goed is, hierbij valt te denken aan schouwpaden o.i.d.
- Het terrein de mogelijkheid voor vloeistofopvang vergroten. De aanwezigheid van goten of dijkjes voor vloeistofopvang biedt de mogelijkheid dat plasgroottes verkleind kunnen worden.
- Beperking van de hoeveelheid ammoniak die kan vrijkomen. Op basis van de bestrijdingsmogelijkheden is het lastig om vast te stellen hoeveel dit kan zijn. Echter het is evident dat de effecten afnemen en de bestrijdingsmogelijkheden significant toenemen bij kleinere uitstroomhoeveelheden en plasgroottes.

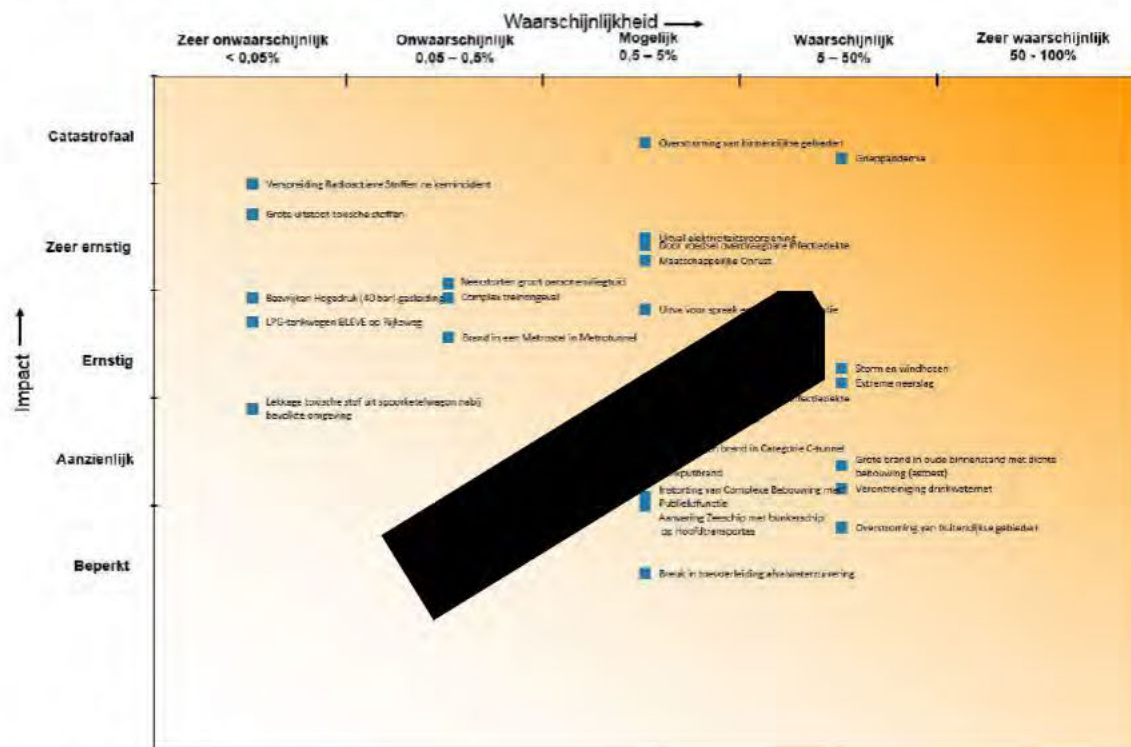
Er is ervaring met de bestrijding van ammoniak, vanuit incidenten in het buitenland en de industrie. Het merendeel van alle incidenten heeft betrekking op kleinere uitstromingen of op situaties waarbij beperkt aantal mensen in de omgeving aanwezig zijn. De brandweer beschikt, zelfs bij opschaling, niet over de apparatuur om de vrijkomende gaswolken te bestrijden. Echter een aantal bestrijdingsmogelijkheden die buiten de standaard mogelijkheden van de brandweer liggen, maar wel mogelijk zijn met de juiste voorbereiding, betreffen:

- Voor kleine incidenten: het opwerpen van fysieke barrières of waterschermen om de ammoniak wolk te laten opwarmen en verticale verspreiding te stimuleren.
- Voor kleine plassen: Het afdekken van de plassen met zeilen, kleden of schuim. Hierbij helpen maatregelen om de plasomvang te beperken.
- Het toepassen van waterschermen om de ammoniak op te laten lossen in het water. Dit vereist wel waterschermen benedenwinds en 'in' de wolk.
- Het toepassen van blowers/ventilatoren om benedenwindse verspreiding van ammoniak te verstoren. Dit is bij kleine ammoniak incidenten en middelgrote koolstofdioxide incidenten toegepast. Er zijn een aantal industriële schaal blowers beschikbaar die toegepast kunnen worden in maatwerk situaties.



## 7 Beoordeling consequenties

De verschillende buisleidingconfiguraties die mogelijk zijn worden beoordeeld. Het doel is om voor de meest typerende configuraties en de verschillende locaties de scenario's te beoordelen. In een risicodiagram zijn kunnen de relevante scenario's op een onderling vergelijkbare wijze afgebeeld worden. De scenario's met de grootste impact en waarschijnlijkheid staan rechtsboven in de figuur. Een kleine waarschijnlijkheid en impact leidt tot een plaats linksonder in het diagram.



Figuur 7.1 Risicodiagram

Om een beoordeling te maken van de consequenties zijn risicobeoordelingen uitgevoerd voor verschillende locaties. Met verschillende omgevingstypen, variërend van woonwijken, verspreid liggende woonbebouwing tot landelijk gebied. En op verschillende locaties langs de SVB-strook.

De kans op een ongeval zal niet significant verschillen voor de verschillende locaties, tenzij de exploitant van een leiding aanvullende mitigerende maatregelen neemt om het falen van een buisleiding te reduceren. Voor de huidige beoordeling ontbreekt deze informatie logischerwijs, dus kan worden uitgegaan dat de kans op het falen van een leiding overal even laag is. In het voorbeeld risicodiagram is ook te zien dat de kans op het falen van een buisleiding of het vrijkomen van een gevaarlijke stof beoordeeld wordt als zeer onwaarschijnlijk. Voor een ammoniakleiding zal deze classificatie ook van toepassing zijn.

### 7.1 Beoordeling consequenties

De huidige beoordeling opgenomen in het hoofdrapport is gedaan voor twee locaties langs het gehele tracé. Dit zijn voorbeeldlocaties, waarbij getracht is om bij de locaties een spreiding te geven tussen de verschillende gebiedstypen. Door te variëren in windrichting, is ook een spreiding in verschillende gebiedstypen beschouwd. Voor iedere locaties zijn vervolgens de volgende stappen doorlopen:

1. Bepalen omvang effectgebieden van zowel de flash als van de plasverdamming
  - a. Dit is gedaan voor 4 windrichtingen (Noord, oost, zuid en west)
2. Bepaal het aantal aanwezigen binnen het effectgebied
  - a. Hierbij is gebruik gemaakt van populatie uit de Populatieservice
3. Beoordeel per scenario wat de gevolgen voor de omgeving zijn, volgens de Leidraad risicobeoordeling.



- a. Hierbij is rekening gehouden met het effect van schuilen in huis. Ammoniak is zeer herkenbaar voor mensen qua geur. Het merendeel van de mensen zal daarom naar binnen vluchten.
- b. De beoordeling heeft plaatsgevonden op expert-judgement waarbij de volgende vuistregels zijn gehanteerd. Dit is gebaseerd op een inschatting en de aanname dat mensen schuilen o.a. doordat de geur- en irritatiedrempel van ammoniak zeer laag liggen:
  - i. Aanwezig binnens effect flash:
    - <1% kans op overlijden
    - 5-10% gezondheidsklachten
  - ii. Aanwezig binnens effect plasverdamping:
    - 5-10% kans op overlijden een significant grotere kans op gezondheidsklachten.

De percentages zijn gebaseerd op verslagen van incidenten die hebben plaatsgevonden en de overwegingen die in het rapport zijn opgenomen. Bij het beoordelen van de consequenties is sprake van een erg brede interval tussen de verschillende ernstcategorieën. In het merendeel van de gevallen bleek het makkelijk om onderscheid te maken tussen bijv. A (<10 dodelijke slachtoffers) of B (10-100 slachtoffers) zonder toepassing van exacte percentages.

### 7.1.1 Omgeving en locatie incidenten

Rondom de Delta Rhine Corridor liggen verschillende omgevingstypen. Hierbij gaat het voornamelijk om de distinctie tussen stedelijk en platteland. Het omgevingstype is van invloed op de ontwikkeling van het scenario. Daarnaast is het omgevingstype ook van belang in het vaststellen van maatregelen. Dit omdat in een stedelijk gebied meer mensen rondom of naast de buisleidingen wonen, hier zijn dan meer maatregelen vereist. Op het platteland zijn minder mensen aanwezig en volstaan mogelijk minder strenge maatregelen.

### 7.1.2 Meteorologische condities

De meteorologische condities spelen een grote rol in de consequenties van een incident. Ten tijde van een risicobeoordeling is het zeer lastig om dit mee te nemen in de beoordeling. Bij kwantitatieve risicobeoordelingen wordt dit door de software verdisconteerd in de kans van optreden. Voor het nu beschouwde traject kunnen wij de volgende drie meteostations van het KNMI als bepalend zien.

De blauwe pijlen geven de richting aan waar de wind vandaan komt en het gedeelte van het jaar dat dit plaatsvindt. De dikte geeft de windsnelheid aan. In de roos is aangegeven welk percentage van het jaar als variabel of stil wordt geclassificeerd.



Bron: KNMI-klimaatviewer en Bos klimaatatlas

\* De meest oostelijke locatie van de SVB ligt tussen station Maastricht en Twente in, echter de windroos voor beide stations komt merendeels overeen.

Als dit vertaald wordt naar effecten voor de omgeving, dan betekent dit dat een zuidzuidwesten wind het vaakst voorkomt, naarmate je verder het land in komt.



### 7.1.3 Uitgewerkte beoordeling consequenties

De grens voor ontwrichting is in het rood aangegeven, dit is categorie C cf. leidraad risicobeoordeling 2022a. Hierbij wordt opgemerkt dat 10 tot 100 slachtoffers weliswaar niet als ontwrichtend wordt geclassificeerd, maar dit zal wel als een ramp worden ervaren, zie ook vuurwerkrampe Enschede.

| Diameter | Locatie                              | Windrichting                     | Criteria     | A   | B        | C          | D             | E       | Toelichting                                                                                                                                                                               |
|----------|--------------------------------------|----------------------------------|--------------|-----|----------|------------|---------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          |                                      |                                  |              | <10 | 10 – 100 | 100 – 1000 | 1000 – 10.000 | >10.000 |                                                                                                                                                                                           |
| 8"       | Westmaas<br>landelijk<br>gebied      | Noord                            | 2.1 Doden    | x   |          |            |               |         | De eerste wolk verspreidt zich over lintbebouwing, waardoor meer dan 10 slachtoffers en gewonden niet uit te sluiten is. Na deze eerste wolk is het effect op de omgeving beperkt         |
|          |                                      |                                  | 2.2 Gewonden |     | x        |            |               |         |                                                                                                                                                                                           |
|          |                                      | Oost (worst-case)                | 2.1 Doden    | x   |          |            |               |         | De eerste wolk omvat >1.000 woningen en bedrijven. Maar het effect vanuit de plas omvat < 10 woningen                                                                                     |
|          |                                      |                                  | 2.2 Gewonden |     |          | x          |               |         |                                                                                                                                                                                           |
|          |                                      | Zuid                             | 2.1 Doden    | x   |          |            |               |         | De eerste wolk omvat 10 - 100 woningen en bedrijven. Maar het effect vanuit de plas omvat <<10 woningen                                                                                   |
|          |                                      |                                  | 2.2 Gewonden |     | x        |            |               |         |                                                                                                                                                                                           |
|          |                                      | West                             | 2.1 Doden    | x   |          |            |               |         | De effecten beperken zich tot minder dan 10 woningen/bedrijfspanen.                                                                                                                       |
|          |                                      |                                  | 2.2 Gewonden | x   |          |            |               |         |                                                                                                                                                                                           |
|          | Dongen<br>(Nabije grote<br>woonkern) | Noord                            | 2.1 Doden    | x   |          |            |               |         | De eerste wolk verspreidt zich over verspreid liggende bebouwing, in totaal kunnen hier tot wel 1.000 personen aanwezig zijn.<br>Na deze eerste wolk is het effect op de omgeving beperkt |
|          |                                      |                                  | 2.2 Gewonden |     | x        |            |               |         |                                                                                                                                                                                           |
|          |                                      | Oost                             | 2.1 Doden    | x   |          |            |               |         | De eerste wolk verspreidt zich over verspreid liggende bebouwing, in totaal kunnen hier tot wel 1.000 personen aanwezig zijn.<br>Na deze eerste wolk is het effect op de omgeving beperkt |
|          |                                      |                                  | 2.2 Gewonden |     | x        |            |               |         |                                                                                                                                                                                           |
|          |                                      | Zuid (worst-case is<br>zuidwest) | 2.1 Doden    |     | x        |            |               |         | De eerste wolk verspreidt zich over een deel van Dongen, in totaal kunnen hier tot wel 10.000 personen aanwezig zijn.<br>Het langdurige effect ligt over 200-500 personen.                |
|          |                                      |                                  | 2.2 Gewonden |     |          | x          |               |         |                                                                                                                                                                                           |
|          |                                      | West                             | 2.1 Doden    |     | x        |            |               |         | De eerste wolk verspreidt zich over een deel van Dongen, in totaal kunnen hier tussen 4-6.000 personen aanwezig zijn.<br>Het langdurige effect ligt over 200-500 personen.                |
|          |                                      |                                  | 2.2 Gewonden |     |          | x          |               |         |                                                                                                                                                                                           |
| 24"      | Westmaas<br>landelijk<br>gebied      | Noord                            | 2.1 Doden    | x   |          |            |               |         | De eerste wolk reikt over lintbebouwing ca. 100 verblijfsobjecten. Na deze eerste wolk is het effect op de omgeving beperkt, <50 personen.                                                |
|          |                                      |                                  | 2.2 Gewonden |     | x        |            |               |         |                                                                                                                                                                                           |
|          |                                      | Oost (worst-case)                | 2.1 Doden    |     | x        |            |               |         | De eerste wolk gaat over een gebied met 7 - 8.000 personen.<br>De tweede wolk gaat over een gebied met < 50 personen.                                                                     |
|          |                                      |                                  | 2.2 Gewonden |     |          | x          |               |         |                                                                                                                                                                                           |
|          |                                      | Zuid                             | 2.1 Doden    |     | x        |            |               |         | De eerste wolk gaat over een gebied met 4 - 5.000 personen.<br>De tweede wolk gaat over een gebied met < 50 personen.                                                                     |
|          |                                      |                                  | 2.2 Gewonden |     |          | x          |               |         |                                                                                                                                                                                           |
|          |                                      | West                             | 2.1 Doden    | x   |          |            |               |         | De effecten beperken zich tot minder dan 100 woningen/bedrijfspanen.                                                                                                                      |
|          |                                      |                                  | 2.2 Gewonden |     | x        |            |               |         |                                                                                                                                                                                           |
|          | Dongen<br>(Nabije grote<br>woonkern) | Noord                            | 2.1 Doden    |     | x        |            |               |         | De eerste wolk verspreidt zich over verspreid liggende bebouwing, in totaal kunnen hier tot 5.000 personen aanwezig zijn.<br>Na deze eerste wolk is het effect op de omgeving beperkt     |
|          |                                      |                                  | 2.2 Gewonden |     |          | x          |               |         |                                                                                                                                                                                           |
|          |                                      | Oost                             | 2.1 Doden    | x   |          |            |               |         | De eerste wolk verspreidt zich over verspreid liggende bebouwing, in totaal kunnen hier tot wel 1.000 personen aanwezig zijn.<br>Na deze eerste wolk is het effect op de omgeving beperkt |
|          |                                      |                                  | 2.2 Gewonden |     |          | x          |               |         |                                                                                                                                                                                           |
|          |                                      | Zuid (worst-case is<br>zuidwest) | 2.1 Doden    |     | x        |            |               |         | De eerste wolk verspreidt zich over een deel van Dongen, in totaal kunnen hier >10.000 personen aanwezig zijn.<br>Het langdurige effect ligt over ca. 600 personen.                       |
|          |                                      |                                  | 2.2 Gewonden |     |          | x          |               |         |                                                                                                                                                                                           |
|          |                                      | West                             | 2.1 Doden    |     | x        |            |               |         | De eerste wolk verspreidt zich over een deel van Dongen, in totaal kunnen hier tussen 4-6.000 personen aanwezig zijn.<br>Het langdurige effect ligt over ca. 600 personen.                |
|          |                                      |                                  | 2.2 Gewonden |     |          | x          |               |         |                                                                                                                                                                                           |
| 36"      | Westmaas<br>landelijk<br>gebied      | Noord                            | 2.1 Doden    | x   |          |            |               |         | De eerste wolk reikt over lintbebouwing ca. 100 verblijfsobjecten. Na deze eerste wolk is het effect op de omgeving beperkt, <50 personen.                                                |
|          |                                      |                                  | 2.2 Gewonden |     | x        |            |               |         |                                                                                                                                                                                           |
|          |                                      | Oost (worst-case)                | 2.1 Doden    |     | x        |            |               |         | De eerste wolk gaat over een gebied met 7 - 8.000 personen.<br>De tweede wolk gaat over een gebied met < 50 personen.                                                                     |
|          |                                      |                                  | 2.2 Gewonden |     |          | x          |               |         |                                                                                                                                                                                           |
|          |                                      | Zuid                             | 2.1 Doden    |     | x        |            |               |         | De eerste wolk gaat over een gebied met 4 - 5.000 personen.<br>De tweede wolk gaat over een gebied met < 50 personen.                                                                     |
|          |                                      |                                  | 2.2 Gewonden |     |          | x          |               |         |                                                                                                                                                                                           |
|          |                                      | West                             | 2.1 Doden    | x   |          |            |               |         | De effecten beperken zich tot minder dan 200 woningen/bedrijfspanen.                                                                                                                      |
|          |                                      |                                  | 2.2 Gewonden |     | x        |            |               |         |                                                                                                                                                                                           |
|          | Dongen<br>(Nabije grote<br>woonkern) | Noord                            | 2.1 Doden    |     | x        |            |               |         | De eerste wolk verspreidt zich over verspreid liggende bebouwing, in totaal kunnen hier tot 5.000 personen aanwezig zijn.<br>Na deze eerste wolk is het effect op de omgeving beperkt     |
|          |                                      |                                  | 2.2 Gewonden |     |          | x          |               |         |                                                                                                                                                                                           |
|          |                                      | Oost                             | 2.1 Doden    | x   |          |            |               |         | De eerste wolk verspreidt zich over verspreid liggende bebouwing, in totaal kunnen hier tot wel 1.000 personen aanwezig zijn.<br>Na deze eerste wolk is het effect op de omgeving beperkt |
|          |                                      |                                  | 2.2 Gewonden |     | x        |            |               |         |                                                                                                                                                                                           |
|          |                                      | Zuid (worst-case is<br>zuidwest) | 2.1 Doden    |     | x        |            |               |         | De eerste wolk verspreidt zich over een deel van Dongen, in totaal kunnen hier >10.000 personen aanwezig zijn.<br>Het langdurige effect ligt over >600 personen.                          |
|          |                                      |                                  | 2.2 Gewonden |     |          | x          |               |         |                                                                                                                                                                                           |
|          |                                      | West                             | 2.1 Doden    |     | x        |            |               |         | De eerste wolk verspreidt zich over een deel van Dongen, in totaal kunnen hier tussen 4-6.000 personen aanwezig zijn.<br>Het langdurige effect ligt over >600 personen.                   |
|          |                                      |                                  | 2.2 Gewonden |     |          | x          |               |         |                                                                                                                                                                                           |



## 7.2 Inzet hulpdiensten en invloed op de gevolgen

Om de effecten van een incident bij een ammoniakleiding te kunnen duiden, is eerst gekeken naar de beheersbaarheid van de effecten. Als de effecten groot zijn maar de beheersbaarheid laag, dan is de impact van de effecten (maatschappelijke ontwrichting) hoger dan bij een goede beheersbaarheid. Het vaststellen van de beheersbaarheid van een ongeval met gevaarlijke stoffen heeft voornamelijk te maken met de handelingsperspectieven van de brandweer. Het is afhankelijk van de situatie op welke wijze de brandweer deze kan uitvoeren. De inzet van de brandweer kan het aantal slachtoffers beperken. Het RIVM heeft in hun Rijksbrede Risicoanalyse Nationale Veiligheid een klasse van gevolgen opgesteld, hierbij wordt gekeken naar beperkte, aanzienlijke, ernstige, zeer ernstige en catastrofale ongevallen. Het onderscheid tussen deze klassen zit in het aantal slachtoffers.

Uit de risicobeoordeling voor een beperkt aantal casussen blijkt dat de kans op overlijden indien mensen schuilen, klein is. Het is verleidelijk om bij de beoordeling aan te nemen dat alle mensen in staat zijn om een goede schuilplaats te vinden. Maar naarmate het aantal mensen onder het effectgebied toeneemt, zal de kans dat iedereen een goede schuilplaats vindt afnemen.

Hier zijn enkele mogelijkheden voor de hulpdiensten:

- Het alarmeren en instrueren van mensen om binnen te blijven en ramen en deuren gesloten te houden.
- Monitoring van de verspreiding van de wolk en het zo snel mogelijk de-alarmeren indien mogelijk, door middel van ventilatie kan de concentratie in gebouwen zo snel mogelijk verlaagd worden.
- Bestrijding van de effecten van de ammoniakplas, mits de grootte van de plas niet te groot is. De omvang van de plas is afhankelijk van de locatie en het ontwerp van de buisleiding.
  - Bestrijding is afhankelijk van de beschikbare middelen. Indien mogelijk zijn noodzakelijke middelen, bijv. chemisch resistent blusschuim en afdekzeil, aan te leggen op strategische locaties langs het buisleidingtracé.

Voor de mensen die binnen het effectgebied van de plas aanwezig zijn is het van belang dat goede communicatie met hun plaats vindt door de hulpdiensten en dat voorzien wordt in evacuatie. Voor de bestrijding van de vloeistofplas geldt dat de huidige middelen onvoldoende zijn en dat de brandweer nog niet voorbereid is op een dergelijk incident. Dit vraagt om een investering in materieel om de effecten van ammoniakplassen deels te bestrijden. Mogelijke middelen zijn:

- Afdekzeilen;
- Chemisch resistent blusschuim;
- Goede ventilatoren of waterschermen.

Maar de beschikbaarheid van middelen en een goede training is geen garantie dat de brandweer in alle situaties effectief kan ingrijpen. De mogelijkheden worden vergroot indien vanuit het ontwerp van de leiding de uitstroomhoeveelheid wordt gereduceerd.

## 7.3 Lessen met betrekking tot buisleidingontwerp

De volgende lessen met betrekking tot het buisleidingontwerp zijn te trekken op basis van de consequenties voor de omgeving.

1. Beperking van de uitstroomhoeveelheid:
  - Het is cruciaal om de hoeveelheid ammoniak die vrijkomt bij een incident te beperken. Dit kan worden bereikt door het installeren van afsluitkleppen op strategische locaties langs de buisleiding. Hiermee kan de vrijkomende hoeveelheid beperkt worden.
  - Dit betekent niet dat over het gehele traject de afsluiters op dezelfde afstand behoeven te zitten. Het is mogelijk om de afstand te verkleinen nabij populatiekernen.
2. Verbeteren bereikbaarheid:
  - Het ontwerp van de buisleiding moet rekening houden met de mogelijkheid van incidenten en de bijbehorende repressieve mogelijkheden. Dit omvat het verbeteren van de bereikbaarheid van de incidentlocatie
3. Ontwerp van opvangsystemen:



- Het ontwerp moet rekening houden met de mogelijkheid van plasvorming bij een breuk. Het is belangrijk om barrières of opvangsystemen te integreren die de vorming van grote vloeistofplassen minimaliseren
- 4. Monitoring en snelle alarmering:
  - Snelle alarmering bij een incident is essentieel om de impact op de omgeving te minimaliseren.

Daarnaast wordt benadrukt dat het voor exploitanten van een ammoniakbuisleiding van belang is om te investeren in de samenwerking met hulpdiensten. Door middel van goede voorbereiding op een incident en het trainen van brandweerpersoneel in het omgaan met ammoniakincidenten is het mogelijk om het aantal slachtoffers drastisch te verminderen.

## 8 Kennisleemtes

Tijdens het onderzoek is gebleken dat het lastig is om het verloop van een scenario met een buisleiding zodanig vast te stellen om te komen tot een eenduidig beeld over de repressieve mogelijkheden van de brandweer bij een incident. De omstandigheden bij een incident kunnen variëren, waarbij niet te voorspellen is hoe deze het verloop van een incident beïnvloeden:

- De grootte en vorming van de krater, bepaald in hoeverre een effectieve inzet mogelijk is op het effect waarop bronbestrijding wellicht mogelijk is.
  - o Hoe wordt deze beïnvloed door ammoniak, met name de bevriezing van de ondergrond is geen onderdeel van dispersie studies uitgevoerd met ammoniak.
- Opvang van vloeistof door de omgeving
  - o Is het mogelijk om de opvang van ammoniak te faciliteren in het ontwerp van de omgeving van een ammoniakbuisleiding. Tegelijkertijd moet de ammoniak niet in water terecht komen.
  - o De aanwezigheid van koude ammoniak plassen in ondiepe plassen leidt tot bevriezingsrisico's wanneer de brandweer ingezet wordt. Welke invloed heeft dit op de bereikbaarheid.
- Beschikbaarheid van middelen in de nabije omgeving
  - o Welke capaciteit van hulpdiensten (brandweer en zorg) is beschikbaar en benodigd in de omgeving.
  - o Buisleiding exploitanten hebben een verantwoordelijkheid om gevolgen van incidenten te beperken. Wat zijn de mogelijkheden van inzetten van middelen en deskundigheid van gespecialiseerde calamiteitenbedrijven in bestrijding van de gevolgen.
  - o Nader onderzoek naar de capaciteit van Zorgverlening na een (beheersbaar)ongevalscenario.
- Bescherming binnenshuis
  - o Bij grootschalige incidenten in het verleden is de letaliteit in huis laag gebleken. Er zijn indicaties dat de locatie van schuilen een grote rol speelt in de mate van bescherming. Het wordt aanbevolen om nader te onderzoeken welke bescherming schuilen binnenshuis biedt bij ammoniak incidenten en welke factoren hierbij een rol spelen, zoals type woning, isolatie, ventilatie en onderhoudsstaat.
  - o Deze kennis kan helpen om de afstemming en voorbereiding van communicatie met omwonenden te verbeteren en het belang van betrouwbare en veilige schuilmogelijkheden aan te tonen.



## 9 Conclusie

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat is bezig met het opstellen van een veiligheidskader voor ammoniaktransport met behulp van buisleidingen. Ammoniak wordt als waterstofdrager getransporteerd en bij een breuk kan dit toxische effecten hebben op de omgeving. Het onderzoek richt zich op het verloop van een incident, de omvang en duur van de effecten, en de beheersbaarheid voor hulpdiensten.

Het ministerie heeft ten behoeve van het veiligheidskader ammoniak de volgende onderzoeksvraag:

*In het geval van een incident met een ammoniakbuisleiding, wat zijn de effecten naar de omgeving en welke omvang van een uitstroming leidt tot een beheersbaar ongevalscenario?*

### Kans op een incident

In dit onderzoek is geen rekening gehouden met de kans op een incident. Door maatregelen te nemen bij de aanleg en ontwerp van de leiding is het mogelijk om de kans op een zwaar ongeval met een buisleiding te verminderen, maar het blijft een mogelijkheid. Zo is het mogelijk om externe beschadigingen (bijv. graafschade) nagenoeg uit te sluiten door aanvullende maatregelen te nemen (afscherming met hekwerk, dikkere wanden of door middel van ondergrondse platen). Door middel van goed onderhoud en inspectie is het mogelijk om de kans op falen door veroudering of slijtage vroegtijdig te herkennen en te voorkomen. Vanuit de geldende NEN-normen, wettelijke verplichtingen en bovenwettelijke maatregelen is het mogelijk om de kans op falen te beperken. Maar zoals eerder gezegd, de kans op een ongeval blijft een mogelijkheid. Investerings in de kansreductie is altijd de moeite waard. Dit is ook nuttig ten behoeve van de communicatie en samenwerking met de omwonenden, wanneer geïnvesteerd wordt in goede voorbereiding op incidenten.

### Kleinere incidenten

Bij kleinere ongevallen, zoals lekkage, beperken de effecten zich vooral tot de bodem en natuur bij mensen in de nabijheid kan dit irritatie of geuroverlast geven. De omvang van een uitstroming en de omgeving/ondergrond bepaald de effecten naar de omgeving. Het is zeer lastig om de effecten nauwkeuriger te omschrijven. Bij een leidingbreuk heeft het ontwerp van de buisleiding effect op de hoeveelheid die vrijkomt. Maar bij lekkage scenario's is sprake van een scenarioverloop waarbij dit minder van belang is. Nauwkeurige en snelle detectie gecombineerd met de mogelijkheid om in te grijpen helpen om de uitstroomhoeveelheid te minimaliseren. Indien het lek niet gedetecteerd wordt dan bepalen de druk en het pompdebiet wat vrijkomt, en is de afstand tussen inblokafsluiters niet relevant. Bij een leidingbreuk, waarvan detectie verwacht mag worden, uiteraard wel.

| Uitstroomsnelheid         | Consequenties                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Zeer klein maar langdurig | Deze effecten zullen op lange duur nadelig zijn voor de ondergrond en de omgeving. Maar bij kleine onopgemerkte lekkages is het aannemelijk dat dit lang kan plaatsvinden voordat dit gesignaleerd wordt aan de hand van effecten in de omgeving.<br>Door een nul inventarisatie van de natuur te maken en periodiek te monitoren is het wellicht mogelijk om trends te signaleren.                                                     |
| Klein en gedetecteerd     | Dit incident kan grotere effecten hebben op verschillende vlakken zowel fysisch, chemisch en biologisch. Deze effecten op de ondergrond vereisen waarschijnlijk herstelmaatregelen. Vanuit de ondergrond en natuur zal herstel op basis van eigen kracht meerdere jaren tot decennia kosten, dit is echter al lastig te voorspellen voor specifieke casussen, voor een divers traject als de SVB-strook is dit in dit kader onmogelijk. |
| Leidingbreuk              | Dit betreft een grotere casus van het hierboven geschetste beeld. De gevolgen zullen aan de oppervlakte en in de ondergrond merkbaar zijn. Hiervoor zullen herstelmaatregelen genomen moeten worden.                                                                                                                                                                                                                                    |

Naarmate de uitstroming toeneemt wordt de kans groter dat ammoniak en/of ammonia weg stroomt en grotere gebieden vervuuld. De langdurige effecten voor de natuur wordt groter naar mate een groter volume vrijkomt, ook in de minder kwetsbare gebieden. Naarmate de leiding in of nabij kwetsbare gebieden komt te liggen wordt de impact van kleine incidenten groter. Hierbij moet gedacht worden aan Natura 2000 gebieden, maar ook water-wingebieden.



### Repressieve mogelijkheden

De repressieve mogelijkheden zijn geïnventariseerd voor het grootste scenario, leidingbreuk. Indien dit scenario beheersbaar is, dan zijn kleinere incidenten die wel een impact hebben bovengronds ook beheersbaar. De mate van maatschappelijke ontwrichting wordt sterk beïnvloed door de grootte van de uitstroming en de omgevingscondities (windrichting, bereikbaarheid en omgeving) van een incident. Naarmate de grootte van het incident toeneemt nemen de repressieve mogelijkheden bij een incident af.

Voor de rampbestrijding zijn de volgende aandachtspunten van belang:

1. Effect flashverdamping.

Het is niet mogelijk om hierop effectief een repressieve inzet te plegen. De beste bescherming van de omgeving kan gerealiseerd worden door snelle alarmering en zorgen dat mensen goed kunnen schuilen. Naarmate de uitstroming groter wordt, bijvoorbeeld een grotere afstand tussen inblokafsluiters en de vrijkomende hoeveelheid ook groter is, dan zal de duur en omvang van de flashverdamping ook toenemen.

- Het is van belang om nabij woongebieden de uitstroomhoeveelheden en de duur van een uitstroming te minimaliseren. Bij grotere buisleidingdiameters vindt een snellere uitstroming plaats, dit leidt ook tot grotere effectafstanden.

Met name goede en snelle alarmering helpt de omwonenden om hun zelfredzaamheid te vergroten. Dit moet dan wel gecombineerd worden met een inzet op het vergroten van handelingsperspectief, door middel van voorlichting, training of andere methodieken die nog niet in beeld zijn.

2. Effect plasverdamping.

Op dit effect is bronbestrijding na een bepaalde tijd mogelijk, maar naarmate het plasoppervlakte groter wordt, wordt bestrijding moeilijker. Hierbij speelt de bereikbaarheid, inzet duur van de brandweer en de beschikbare middelen een rol. De grens zou indicatief geplaatst kunnen worden op een plas met een diameter < 10 meter. Dit komt ook indicatief overeen met een uitstroming van circa 100 ton (indien de krater een aanzienlijk deel van de vloeistof opvangt). Grotere overspanningen zijn bijvoorbeeld lastig af te dekken met afdekzeil, materieel is niet of slecht geschikt hiervoor en de duur van de inzet wordt langer etc. Het stimuleren van vloeistofopvang (afschot, goten etc.) om de plasgrootte te beperken kan helpen.

3. Algemeen de omvang van de uitstroming

De omvang van een uitstroming beïnvloedt de duur en schaal van inzet door hulpdiensten. Zoals reeds aangegeven wordt de bereikbaarheid deels negatief beïnvloed door de omvang van de uitstroming. De secundaire effecten van een incident hebben ook aanzienlijke gevolgen voor de omgeving, denk hierbij aan het afstromen van vloeibare ammoniak, verontreinigd bluswater en de depositie van stikstof. De omvang van deze secundaire effecten worden bepaald door de omvang van de uitstroming.

4. Beschikbaarheid materieel en manschappen

Zoals gezegd, de omvang van de uitstroming bepaalt de inzet van de manschappen. Het bestrijden van de wolk die tijdens de eerste fase ontstaat is niet mogelijk. De mate van bescherming in pandig is afhankelijk van het type gebouw en de duur dat de wolk over deze gebouwen gaat. De inzet om de plasverdamping te beperken vereist specialistisch materieel en de inzet van manschappen die getraind zijn op inzet bij dit type incidenten. De aanrijdtijd van deze manschappen zal aanzienlijk langer zijn.

Tijdens het onderzoek is ook gebleken dat een goede voorbereiding op rampen door de leidingexploitant, hulpdiensten en de omwonenden helpt om de gevolgen verder te minimaliseren. Denk hierbij aan snelle detectie en alarmering, opschaling en voorlichting van de omwonenden met instructies hoe te handelen. Het is van belang dat de exploitant en de hulpdiensten beschikken over goede onderlinge communicatie in de voorbereiding op incidenten en maar ook tijdens. Bij de ontwikkeling van noodplannen en de draaiboeken voor rampbestrijding is het noodzakelijk dat de benodigde informatie over de buisleiding, aanwezige stoffen en betrokkenen personen wordt uitgewisseld, geoefend en geborgd.



### Ontwerp buisleiding

Te zien is dat incidenten met een groter wordende buisleidingdiameters leiden tot een verschuiving van het aantal slachtoffers, tot op een niveau dat sprake is van ontwrichting van de maatschappij. De gevolgen worden bepaald door onderstaande aandachtspunten. Voor het creëren van een beheersbaar ongevalsscenario helpt het om aandacht te besteden aan deze aandachtspunten.

- Snelle en effectieve detectie, een combinatie van verschillende detectietechnieken helpt om de detectiekans te vergroten;
- Afstand tussen afsluiters
- Diameter van de buisleiding
- Snelheid van uitstroming
- Vorming en omvang van de krater
- Opvang van vloeistof door de omgeving
- Bereikbaarheid van het incident
- Windrichting en aanwezige mensen benedenwinds
- Het type gebied, bijvoorbeeld industriegebied, bedrijfsterrein, landelijk gebied of woonbebouwing.

In de PGS 12 wordt voorgeschreven dat de afstand tussen afsluiters zo gekozen moet worden dat maximaal 50 ton kan uitstromen. Dit komt ook ongeveer overeen met de inhoud van een wagon met ammoniak. Naar mate de buisleiding diameter groter wordt betekent dit een steeds kleinere afstand tussen afsluiters. Indien in het ontwerp van een ammoniakbuisleiding en de directe omgeving de volgende aspecten geadresseerd worden, dan worden de gevolgen van een incident geminimaliseerd.

- Snelle detectie met vervolgacties (inblokken en alarmering) bij een incident;
- Gebruik making van verschillende detectietechnieken ter bevordering van de detectiekans;
- minimalisatie van de uitstromende hoeveelheid bij een leidingbreuk en de snelheid (zeker nabij dicht bevolkte gebieden);
- het voorkomen van vrije uitstroming van ammoniak aan het oppervlakte, en
- faciliteren van goede bereikbaarheid van een potentiële incident locatie.

Door in te zetten op een snelle detectie, een beperking van de uitstroomhoeveelheid tot ongeveer 100 ton gebruikmakend van inlokafsluiters en een beperking van de uitstroomdebiet door toepassing van kleinere diameters, worden de gevolgen van een incident beperkt. Dit zijn de uitgangspunten voor het veiligheidskader voor veilig gebruik ammoniakbuisleiding in het publieke domein. Uit de beoordeling die is toegepast in dit rapport is de inschatting dat deze hoeveelheid zorgt voor een beheersbaar ongevalsscenario waarvan repressief ingrijpen een onderdeel daarvan is.

Dit beïnvloed zowel de reikwijdte en de duur van de effecten, maar ook de gevolgen voor mensen die in pandig schuilen. Door het aantal blootgestelde mensen te reduceren zal de kans op mensen met ernstig of dodelijk letsel afnemen. Tegelijkertijd worden de mogelijkheden van de brandweer om effectief in te grijpen om de effecten van plasverdamping te bestrijden. Bij een 6" buisleiding met afsluiters om de 9 km bevindt zich circa 100 ton tussen de afsluiters, bij een 10" buisleiding is de afstand 3 km om circa 100 ton tussen de afsluiters te hebben. De omgeving is, naast de omvang van de uitstroming, ook bepalend voor de mate van maatschappelijke ontwrichting. Bij de keuze van onderlinge afstand tussen inlokafsluiter kan een situationele beoordeling worden uitgevoerd waarbij bij dichtbevolkte gebieden kleinere onderlinge afstanden en kleinere inblokvolumes worden gehanteerd.

Het onderzoek laat zien dat de waarschijnlijkheid van beheersbaarheid toeneemt als eerder genoemde maatregelen worden getroffen en dit afgestemd wordt op de gebieden (o.a. bevolkingsdichtheid) waar het scenario kan plaatsvinden. Op locaties waar een groot incident kan leiden tot onacceptabele situaties, dan zou het ontwerp van de leiding aangepast moeten worden tot acceptabele niveaus. De nu genoemde uitgangspunten, ten behoeve van het veiligheidskader voor veilig gebruik ammoniakbuisleiding in het publieke domein, voor aanpassingen in het ontwerp passen ook binnen het huidige externe veiligheidsbeleid, waarbij kwantitatieve risicoanalyses worden uitgevoerd van buisleidingen. Maatregelen die de uitstroomhoeveelheid beperken kunnen net als de kansreducerende maatregelen in de QRA betrokken worden.

De uitgangspunten die in het onderzoeksrapport naar voren worden gebracht moeten gezien worden als een startpunt voor het ontwerp van een ammoniak leiding en kunnen betrokken worden bij nadere verkenningen over de capaciteit / inzet van de veiligheidsketen bij een ongevalsscenario met ammoniak.

## Over Antea Group

Antea Group is het thuis van 1800 trotse ingenieurs en adviseurs. Samen bouwen wij elke dag aan een veilige, gezonde en toekomstbestendige leefomgeving. Je vindt bij ons de allerbeste vakspecialisten van Nederland, maar ook innovatieve oplossingen op het gebied van data, sensing en IT. Hiermee dragen wij bij aan de ontwikkeling van infra, woonwijken of waterwerken. Maar ook aan vraagstukken rondom klimaatadaptatie, energietransitie en de vervangingsopgave. Van onderzoek tot ontwerp, van realisatie tot beheer: voor elke opgave brengen wij de juiste kennis aan tafel. Wij denken kritisch mee en altijd vanuit de mindset om samen voor het beste resultaat te gaan. Op deze manier anticiperen wij op de vragen van vandaag en de oplossingen voor morgen. Al 70 jaar.

## Contactgegevens

Zutphenseweg 31D  
7418 AH Deventer  
Postbus 321  
7400 AH Deventer

### Copyright ©

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, elektronisch of op welke wijze dan ook, zonder schriftelijke toestemming van de auteurs.

De informatie die in dit rapport is opgenomen is uitsluitend bestemd voor geadresseerde(n) en kan persoonlijke of vertrouwelijke informatie bevatten. Gebruik van deze informatie, door anderen dan de geadresseerde(n) en gebruik door hen die niet gerechtigd zijn van deze informatie kennis te nemen, is niet toegestaan. De informatie is uitsluitend bestemd om te worden gebruikt door de geadresseerde, voor het doel waarvoor dit rapport is vervaardigd. Indien u niet de geadresseerde bent of niet gerechtigd bent tot kennisneming, is openbaarmaking, vermenigvuldiging, verspreiding en/of verstrekking van deze informatie aan derden niet toegestaan, tenzij na schriftelijke toestemming door Antea Group en wordt u verzocht de gegevens te verwijderen en direct een melding te maken bij [security@antegroup.nl](mailto:security@antegroup.nl). Derden, zij die niet geadresseerd zijn, kunnen geen rechten aan dit rapport ontleen, tenzij na schriftelijke toestemming door Antea Group.

[www.anteagroup.nl](http://www.anteagroup.nl)