



# memo

Rekenmethodiek transport dense phase  
koolstofdioxide in buisleidingen

**Datum**  
24 april 2023

**Onze referentie**  
2023-0025/VLH/HdW/PK/sij

## Managementsamenvatting

Het afvangen en opslaan van kooldioxide (carbon capture and storage, CCS) in lege gasvelden onder de Noordzee is één van de manieren om in Nederland bij te dragen aan reductie van kooldioxide (CO<sub>2</sub>) uitstoot. Hierdoor is de vraag naar het transport van CO<sub>2</sub> door buisleidingen toegenomen. Naast gasvormig transport, is ook het transport van dense phase CO<sub>2</sub> in opkomst. In de zogenaamde dense phase bevindt het CO<sub>2</sub> zich in de vloeistoffase of superkritische fase.

Iedere activiteit met gevaarlijke stoffen brengt risico's voor personen in de omgeving met zich mee. De rekenmethode voor het berekenen van de omgevingsveiligheid van chemicaliënleidingen in Nederland is beschreven in module D van de Handleiding Risicoberekeningen Bevb.<sup>1</sup> Onder de Omgevingswet wordt deze handleiding vervangen door het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid.<sup>2</sup> Het transport van dense phase CO<sub>2</sub> is nog niet opgenomen in de rekenmethode.

Het ministerie van Economische zaken en Klimaat (EZK) heeft het RIVM gevraagd om een advies over de te gebruiken rekenmethode voor het transport van dense phase CO<sub>2</sub>. Hiervoor heeft het RIVM aan de hand van een rapport van Bilfinger Tebodin<sup>3</sup>, over de technische aspecten van het transport van dense phase CO<sub>2</sub>, het volgende geconcludeerd:

- De standaard faalfrequentie voor chemicaliënleidingen kan worden gebruikt voor het transport van dense phase CO<sub>2</sub> indien wordt voldaan aan vijf randvoorwaarden.
- De standaard uitstroom- en dispersiemodellering zoals beschreven in de rekenmethode voor chemicaliënleidingen kan worden gebruikt als wordt voldaan aan één randvoorwaarde voor scheurpropagatie.
- Voor buisleidingen voor transport van superkritisch CO<sub>2</sub> moeten twee aanvullende voorschriften worden opgenomen in de rekenmethode. Daarnaast wordt één al bestaand voorschrift van extra toelichting voor specifiek dense phase CO<sub>2</sub> voorzien.

<sup>1</sup> RIVM. Handleiding Risicoberekeningen Bevb. Versie 3.2. 1 januari 2021.

<sup>2</sup> <https://omgevingsveiligheid.rivm.nl/rekenvoorschrift-omgevingsveiligheid>

<sup>3</sup> Bilfinger Tebodin. Onderzoek Technische Aspecten CO<sub>2</sub> in nieuwe en bestaande Buisleidingen. Rapport 54583.00-1917001. 30 oktober 2020

Wanneer niet kan worden aangetoond dat aan de randvoorwaarden voor het gebruik van de standaard faalfrequentie dan wel de uitstroom- en dispersiemodellering wordt voldaan, zal de exploitant in afstemming met het bevoegd gezag zelf een faalfrequentie moeten afleiden en/of met een voorstel moeten komen voor een alternatieve uitstroommodellering. De randvoorwaarden en de voorschriften staan beschreven in bijlage 1.

**Datum**

24 april 2023

**Onze referentie**

2023-0025/VLH/HdW/PK/sij

Met de komst van de Omgevingswet wordt waarschijnlijk geen nieuwe versie van de Handleiding Risicoberekeningen Bevb meer aangewezen. Daarom wordt de rekenmethodiek voor dense phase CO<sub>2</sub> opgenomen in Module V van het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid. De risicoreducerende voorzieningen voor chemicaliënleidingen die beschreven staan in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid kunnen ook voor buisleidingen met dense phase CO<sub>2</sub> worden toegepast.

De toxiciteit van CO<sub>2</sub> is in dit onderzoek niet opnieuw onderzocht, actuele informatie hierover is te vinden op de RIVM website.<sup>4</sup> Specifieke aandachtspunten, zoals de ligging van een CO<sub>2</sub> buisleiding onder een vaarweg of haven, zijn recent onderzocht door DNV Energy Systems.<sup>5</sup> Deze specifieke aspecten zijn in dit advies niet meegenomen. DNV werkt momenteel aan de verdere ontwikkeling en verbetering van de effectmodellering voor CO<sub>2</sub> buisleidingen. Naar verwachting is volgend jaar een verbeterd model beschikbaar. Hierdoor kunnen de effect- en risicoafstanden toenemen. Wij zullen deze ontwikkelingen blijven volgen.

---

<sup>4</sup> Vragen over Safeti-NL, Is er een probitrelatie voor kooldioxide?

<https://www.rivm.nl/omgevingsveiligheid/rekenmethoden-omgevingsveiligheid/vragen-en-antwoorden>

<sup>5</sup> DNV Energy Systems, Guidance for CO<sub>2</sub> pipelines for special situations: water crossings and initial temperature gradient, 10361208-1, Rev. 1, 16-11-2022.

## **Bijlage 1 - Randvoorwaarden en aanvullende voorschriften rekenmethodiek**

**Datum**

24 april 2023

**Onze referentie**

2023-0025/VLH/HdW/PK/sij

Kooldioxide (CO<sub>2</sub>) kan door buisleidingen getransporteerd worden in de gasfase, de vloeistoffase of de superkritische fase. De vloeistof- en superkritische fasen worden samen aangeduid als 'dense phase'. Voor het transport van gasvormig CO<sub>2</sub> door buisleidingen worden de externe veiligheidsrisico's berekend met de rekenmethode voor chemicaliënleidingen (Module D van de Handleiding Risicoberekeningen Bevb). Het transport van dense phase CO<sub>2</sub> is nog niet opgenomen in deze rekenmethode. Het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) heeft het RIVM gevraagd om advies over de te gebruiken rekenmethode voor het transport van dense phase CO<sub>2</sub>.

Voorafgaand aan deze adviesvraag heeft Bilfinger Tebodin de technische aspecten van het transport van dense phase CO<sub>2</sub> onderzocht [1] op verzoek van het ministerie EZK en in opdracht van Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO). Uit dit onderzoek blijkt dat er verschillen zijn tussen het transport van dense phase CO<sub>2</sub> en gasvormig CO<sub>2</sub>, waar in de rekenmethode rekening mee gehouden moet worden.

Bij een risicoberekening is het risico een combinatie van de kans (faalfrequentie) op een ongeval en het effect van dit ongeval. In deze bijlage wordt, op basis van het Bilfinger Tebodin rapport [1], onderzoek gedaan naar de te gebruiken rekenmethode voor het transport van dense phase CO<sub>2</sub> door buisleidingen. In aanvulling op het Bilfinger Tebodin rapport is ook de recent opgeleverde brief met advies over de rekenmethodiek transport waterstof in (aardgas)leidingen [2] gebruikt. Met de komst van de Omgevingswet wordt waarschijnlijk geen nieuwe versie van de Handleiding Risicoberekeningen Bevb meer aangewezen. Daarom wordt de rekenmethodiek voor dense phase CO<sub>2</sub> opgenomen in Module V van het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid.

Deel 1 van deze bijlage gaat in op de faalfrequentie die voor dense phase CO<sub>2</sub> leidingen gebruikt moet worden. De bestaande faalfrequentie voor chemicaliënleidingen kan worden gebruikt als aan vijf aanvullende randvoorwaarden wordt voldaan. In deel 2 en 3 van deze bijlage wordt de effectmodellering (meer specifiek de uitstroom- en dispersiemodellering) voor dense phase CO<sub>2</sub> leidingen besproken. In deel 2 staat onder welke voorwaarde de standaard effectmodellering van het rekenvoorschrift voor chemicaliënleidingen gebruikt mag worden. Voor een goede modellering zijn ten opzichte van het bestaande rekenvoorschrift twee nieuwe voorschriften nodig en is één bestaand voorschrift uitgebreid. Die uitbreiding en aanpassing van voorschriften is beschreven in deel 3. In deel 4 tot slot, is een begrippenlijst opgenomen.

## 1. Randvoorwaarden voor te hanteren faalfrequentie

**Datum**

24 april 2023

**Onze referentie**

2023-0025/VLH/HdW/PK/sij

Het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid, module V, deel 3, geeft faalfrequenties voor chemicaliënleidingen [3]. Deze faalfrequenties kunnen ook voor het transport van dense phase CO<sub>2</sub> worden toegepast als aan vijf aanvullende randvoorwaarden wordt voldaan. De exploitant zal in afstemming met het bevoegd gezag zelf een faalfrequentie moeten afleiden als de dense phase CO<sub>2</sub> buisleiding niet voldoet aan genoemde randvoorwaarden.

### Randvoorwaarde 1:

Bestaande buisleidingen die worden hergebruikt moeten voorafgaand aan het gebruik worden geëvalueerd en ge(her)kwalificeerd voor het transport van dense phase CO<sub>2</sub> en worden geïnspecteerd op wanddefecten.

Bij een voornemen om een bestaande buisleiding te gaan hergebruiken voor dense phase CO<sub>2</sub> wordt eerst een herkwalificatieprocedure gestart. Deze procedure is beschreven in paragraaf 7.2.4 en figuur 15 van het Bilfinger Tebodin rapport en bestaat uit een tiental stappen. Voor de herkwalificatie van buisleidingen staat in het Bilfinger Tebodin rapport dat de volledige ontwerp-, beheer- en onderhoudsgeschiedenis van de beoogde buisleiding achterhaald dient te worden voorafgaand aan de hydraulische analyse (een onderdeel van de herkwalificatieprocedure). Als de geschiedenis niet (volledig) te achterhalen is, moet een nieuw kwalificatieproces worden ingezet. Het inspecteren op wanddefecten staat niet specifiek beschreven in het Bilfinger Tebodin rapport, maar is overgenomen uit de adviesbrief Rekenmethodiek transport waterstof in (aardgas)transportleidingen [2]. Voorafgaand aan de ingebruikname moet de buisleiding worden geïnspecteerd op wanddefecten, bijvoorbeeld via In-line Inspectie (ILI).

### Randvoorwaarde 2:

Voordat een leiding voor het transport van dense phase CO<sub>2</sub> in gebruik wordt genomen moet deze worden gedroogd tot een dauwpunt van -40 tot -45 °C.

Randvoorwaarde 2 is overgenomen uit het Bilfinger Tebodin rapport. De buisleidingen moeten voorafgaand aan de ingebruikname worden gedroogd om watervorming en interne corrosie te voorkomen.

### Randvoorwaarde 3:

Er moet geborgd worden dat alle materialen en componenten die in de buisleiding gebruikt zijn, geschikt zijn voor het transport van alle toestanden van de CO<sub>2</sub> stroom, waarbij ook rekening gehouden wordt met eventuele onzuiverheden die de CO<sub>2</sub> stroom kan bevatten.

Randvoorwaarde 3 is overgenomen uit het Bilfinger Tebodin rapport. Alle materialen en componenten (zoals onderdelen met niet-metalen afdichtingen) moeten gekwalificeerd zijn voor lage temperaturen die kunnen optreden tijdens drukverlaging in de buisleiding of bij lage

buitentemperaturen bij bovengrondse buisleidingen. Verder moet rekening worden gehouden met de oplosbaarheid in dense phase CO<sub>2</sub> van niet-metalen materialen/onderdelen, zoals coatings, afdichtingen, pakkingen en O-ringen, en ook van smeermiddelen die worden gebruikt in leidingcomponenten.

**Datum**

24 april 2023

**Onze referentie**

2023-0025/VLH/HdW/PK/sij

In het Bilfinger Tebodin rapport wordt ook gesteld dat door hoge concentraties onzuiverheden het fase-diagram van CO<sub>2</sub> zodanig kan veranderen, dat dit gevolgen kan hebben voor de vereiste maatvoering en materiaaleigenschappen van de buisleiding, de inlaatdruk en/of de afstand tussen opvoerstations.

**Randvoorwaarde 4:**

De maximale concentratie water in de dense phase CO<sub>2</sub> stroom moet gebaseerd worden op het waterdauwpunt voor transport van gasvormig CO<sub>2</sub>. Hierbij moet ook rekening gehouden worden met de invloed van onzuiverheden in de CO<sub>2</sub> stroom op het waterdauwpunt.

Randvoorwaarde 4 is overgenomen uit het Bilfinger Tebodin rapport. Het maximale watergehalte wordt doorgaans gespecificeerd op 60% van de minimale oplosbaarheid van water bij de minimale systeemontwerptemperatuur, zoals beschreven in paragraaf 5.2.2.3 van het rapport. Omdat de oplosbaarheid van water in gasvormig CO<sub>2</sub> lager is dan in dense phase CO<sub>2</sub> moet de bepaling van het maximale watergehalte op gasvormig CO<sub>2</sub> worden gebaseerd. Omdat onzuiverheden in de CO<sub>2</sub> stroom ook invloed op het waterdauwpunt kunnen hebben, moeten deze meegenomen worden in de beschouwing [4]. Wanneer aan randvoorwaarde 4 wordt voldaan is de vorming van interne corrosie en spanningscorrosie uit te sluiten.

**Randvoorwaarde 5:**

De maximale stroomsnelheid van dense phase CO<sub>2</sub> moet afgestemd zijn op het voorkómen van stromingsgeïnduceerde pulsaties.

In het Bilfinger Tebodin rapport wordt gesteld dat pulsaties kunnen ontstaan wanneer de aanstootfrequentie als gevolg van de stroomsnelheid van het medium gelijk is aan de akoestische eigenfrequentie van het medium in een aftakking of bij een diameterovergang. Voor dense phase CO<sub>2</sub> is de akoestische eigenfrequentie anders dan voor gasvormig CO<sub>2</sub>. De maximale stroomsnelheden voor dense phase CO<sub>2</sub> moeten worden vastgesteld door de exploitant.

## 2. Randvoorwaarde voor het toepassen van de standaard uitstroom- en dispersiemodellering

**Datum**

24 april 2023

**Onze referentie**

2023-0025/VLH/HdW/PK/sij

De uitstroom- en dispersiemodellering voor buisleidingen is beschreven in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid, module V, deel 3 (chemicaliënleidingen) [3]. Deze uitstroom- en dispersiemodellering kan ook voor het transport van dense phase CO<sub>2</sub> worden gebruikt als aan één aanvullende randvoorwaarde wordt voldaan. Deze wordt hieronder beschreven en toegelicht.

### Randvoorwaarde 1:

De scheurstopcapaciteit van de buisleiding voor het transport van dense phase CO<sub>2</sub> voldoet aan de eisen van NEN-3650 [5].

In de rekenmethode wordt bij de modellering van het breukscenario voor ondergrondse buisleidingen en de kraterberekening ervan uitgegaan dat één leidingstuk van 12 meter openscheurt en dat de scheurpropagatie op de las wordt gestopt. Hier is geen randvoorwaarde aan gekoppeld. In het Bilfinger Tebodin rapport is aandacht besteed aan de scheurstopcapaciteit van de buisleiding bij transport van dense phase CO<sub>2</sub>. Met name de langdurige hoge verzadigingsdruk gedurende decompressie van dense phase CO<sub>2</sub> kan ervoor zorgen dat de scheurstopcapaciteit niet voldoende is. De scheurstopcapaciteit van een buisleiding hangt af van de wanddikte en materiaaleigenschappen (o.a. Charpy energie) van de buisleiding. Volgens de NEN-3650 [5] moet de scheurstopcapaciteit van buisleidingen zodanig zijn dat de scheur binnen vijf leidingstukken stopt. Als de scheurstopcapaciteit van de buisleiding niet aan de NEN-3650 voldoet, zal de exploitant met een voorstel moeten komen voor een alternatieve uitstroom- en dispersiemodellering. Hierbij moet onder andere gedacht worden aan de lengte van de scheur, de grootte van de krater en de uitstroomrichting.

### 3. Toelichting en aanvulling op de rekenmethodiek voor CO<sub>2</sub>

**Datum**

24 april 2023

**Onze referentie**

2023-0025/VLH/HdW/PK/sij

De voorschriften voor de rekenmethodiek voor chemicaliënleidingen staan beschreven in het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid, module V, deel 3 [3]. Voor het transport van dense phase CO<sub>2</sub> zijn twee nieuwe voorschriften nodig (voorschriften 1 en 2) en is één bestaand voorschrift uitgebreid (voorschrift 3). De aanpassing wordt hieronder beschreven en toegelicht.

#### Voorschrift 1:

Als het risico van het transport significant toeneemt door de giftigheid van overige componenten (onzuiverheden) in de dense phase CO<sub>2</sub> stroom, moet de invloed van deze overige componenten worden meegenomen in de risicoberekeningen.

In het Bilfinger Tebodin rapport [1] wordt aandacht besteed aan de giftigheid van onzuiverheden in de CO<sub>2</sub> stroom, zoals waterstofsulfide (H<sub>2</sub>S). Om te bepalen wanneer overige componenten moeten worden meegenomen in de risicoberekening is voor inrichtingen de QRA-selectiemethodiek "toxisch en/of ontvlambaar" beschikbaar [6]. In dit document wordt verwezen naar EU Verordening Nr. 1272/2008 [7], (beter bekend als 'CLP').<sup>6</sup> Op basis van de verordening geldt dat een overig component moet worden meegenomen in de risicoberekeningen indien het mengsel op basis van dit component minimaal een van de volgende H-zinnen toegewezen krijgt: H330, H331 (toxiciteit), H220, H221, H224, H225 of H226 (ontvlambaarheid).<sup>7</sup> Verdere toelichting over wanneer de onzuiverheden in de CO<sub>2</sub> stroom moeten worden meegenomen in de risicoberekeningen staat beschreven in de "QRA-selectiemethodiek toxisch en/of ontvlambaar" [6].

#### Voorschrift 2:

De risico's van CO<sub>2</sub> worden altijd berekend op basis van de pure stof CO<sub>2</sub>. Als overige componenten in een CO<sub>2</sub> stroom relevant zijn voor de risicoberekening, dan moet de invloed daarvan met extra scenario's in rekening gebracht worden.

In de huidige versie van Safeti-NL wordt de vorming van vast CO<sub>2</sub> niet meegenomen wanneer er wordt gerekend met mengsels. Het meenemen van de vorming van vast CO<sub>2</sub> is van belang voor een juiste risicoberekening. Daarom dient er in Safeti-NL alleen met puur CO<sub>2</sub> gerekend te worden en niet met mengsels. De risico's van overige aanwezige componenten moeten vooralsnog op een andere manier in kaart worden gebracht, door deze los van het CO<sub>2</sub> te modelleren.

<sup>6</sup> Zie met name paragraaf 3.1.3.6. van de verordening voor de indeling van mengsels op basis van de bestanddelen van het mengsel (somformule).

<sup>7</sup> Op basis van paragraaf 3.1.3.6.1. van de verordening wordt bij het vaststellen van de acute toxiciteitsschatting (ATE) de toxiciteit van CO<sub>2</sub> niet meegenomen.

**Voorschrift 3:**

De temperatuur van het medium is gelijk aan de gemiddelde jaartemperatuur van de bodem (9,8 °C). Dat geldt ook voor CO<sub>2</sub> buisleidingen die deels op de zeebodem liggen.

**Datum**

24 april 2023

**Onze referentie**

2023-0025/VLH/HdW/PK/sij

In paragraaf 13.3.4 van de rekenmethode voor chemicaliënleidingen is beschreven dat de temperatuur van het medium gelijk is aan de jaargemiddelde bodemtemperatuur. Hieraan wordt toegevoegd dat dit ook geldt als een CO<sub>2</sub> buisleiding deels op de zeebodem ligt. Hieronder volgt de toelichting.

Wanneer de temperatuur en druk van het getransporteerde CO<sub>2</sub> boven de kritische temperatuur (31,06 °C) en druk (73,83 bar) liggen, zal het CO<sub>2</sub> zich in de superkritische fase bevinden. De temperatuur van het medium zal gaandeweg het transport afnemen tot deze de bodemtemperatuur heeft bereikt. Als de temperatuur op een gegeven moment onder de kritische temperatuur komt te liggen, zal een overgang plaatsvinden van de superkritische fase naar de vloeistoffase. Bij het doorrekenen van een buisleiding kan in Safeti-NL echter maar één mediumtemperatuur voor de gehele buisleiding worden gedefinieerd. De exacte locatie in de leiding waar de overgang van de superkritische naar de vloeistoffase plaatsvindt, hangt van meerdere parameters af en is niet eenvoudig vast te stellen. Voor dense phase CO<sub>2</sub> wordt daarom (licht) conservatief uitgegaan van het transport in de vloeistoffase bij de jaargemiddelde (bodem)temperatuur van 9,8 °C. Deze aanpak komt overeen met de aanpak voor etheen, een andere gevaarlijke stof die superkritisch kan worden getransporteerd. Hiervoor moet ook volgens het huidige rekenvoorschrift (paragraaf 12.6) uit worden gegaan van een vloeistof uitstroom [3].

Sommige CO<sub>2</sub> leidingen komen deels op de zeebodem te liggen. De gemiddelde jaartemperatuur van de zeebodem is vergelijkbaar met de temperatuur van de bodem op land.<sup>8</sup> Daarom wordt voor buisleidingen die deels op de zeebodem liggen dezelfde temperatuur gebruikt als voor buisleidingen die geheel op land liggen.

---

<sup>8</sup> In de ondiepe wateren van de Waddenzee en langs de Nederlandse kust is er gemiddeld geen verschil in temperatuur tussen de zeebodem en de bovenste waterlaag. De gemiddelde watertemperatuur van het Marsdiep te Den Helder over 1991 t/m 2020 bedroeg 11,4 °C [8]. Temperatuurmetingen van vissersboten op de Noordzee laten verder zien dat de temperatuur van het water niet significant verandert tot dieptes van circa 40 meter. Temperatuurmetingen gedaan door vissers zijn te vinden op EMODnet Physics (<https://map.emodnet-physics.eu/>).



#### 4. Begrippenlijst

**Datum**

24 april 2023

**Onze referentie**

2023-0025/VLH/HdW/PK/sij

<b>Begrip</b>	<b>Uitleg</b>
Aanstootfrequentie	Frequentie waarmee een object wordt aangestoten. De aanstootfrequenties kunnen onder andere een gevolg zijn van wervelingen van de inwendige of uitwendige (vloeistof)stromingen, akoestische trillingen of een trillingsbron in de nabijheid van de leiding, bijvoorbeeld een machine.
Dauwpunt	Temperatuur bij een bepaalde druk waarbij het gas verzadigd is met waterdamp. Bij een druk lager dan de gespecificeerde druk vindt geen condensatie van waterdamp plaats op deze dauwpunttemperatuur.
Eigenfrequentie	Frequentie waarin een object zelf gaat trillen als het eenmalig wordt aangestoten. De eigenfrequentie van een object is afhankelijk van zijn afmeting, massa, stijfheid, vorm en ophanging.
Hydraulische analyse	De hydraulische analyse staat in het Bilfinger Tebodin rapport (§ 7.2.4) als onderdeel van de (her)kwalificatieprocedure genoemd. Deze is in het rapport verder onderverdeeld in: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Leidingdata-acquisitie: ontwerpdruk, buitendiameter, wanddikte, materiaal(certificaten), Charpy-V-kerfslagwaarden, as built route, etc.</li> <li>• Vaststellen CO<sub>2</sub> stroom compositie en verwachte transportcapaciteit.</li> <li>• Bepalen toepasbare CO<sub>2</sub> fase (gas, dense phase).</li> </ul>
Scheurstopcapaciteit	Een materiaaleigenschap die in buisleidingen de voortzetting van een scheur beperkt. De scheurstopcapaciteit is gerelateerd aan de Charpy-V-kerfslagwaarde en de wanddikte. Bij een buisleiding zorgt een goede scheurstopcapaciteit ervoor dat de breuk wordt gestopt binnen een aantal buisverbindingen.
Stromingsgeïnduceerde pulsaties	Pulsaties die kunnen ontstaan wanneer stromend medium in een buisleiding langs medium stroomt dat stilstaat in aftakkingen. De pulsaties ontstaan op het grensvlak van stilstaand en stromend medium, afhankelijk van de geometrie en dimensies van het buisleidingsysteem zal de pulsatie in intensiteit toe of afnemen.

## Referenties

1. W. Huinen, Bilfinger Tebodin Netherlands B.V., *Onderzoek Technische Aspecten CO<sub>2</sub> in Nieuwe en Bestaande Buisleidingen*, 54583.00-1917001, oktober 2020.
2. RIVM, *Rekenmethodiek transport waterstof in (aardgas)transportleidingen*, 2021-0074/VLH/HdW/ib, 2021.
3. RIVM, *Module V van het Rekenvoorschrift Omgevingsveiligheid*, oktober 2020.
4. M. Mohitpour, P. Seevam, K.K. Botros, B. Rothwell, C. Ennis, *Pipeline transportation of carbon dioxide containing impurities*, ASME Press, 2012.
5. NEN 3650-2:2020 (NL) *Eisen voor buisleidingsystemen – Deel 2: Aanvullende eisen voor leidingen van staal*, 2020.
6. RIVM, *QRA-selectiemethodiek "toxisch en/of ontvlambaar"*, Versie 9. 24 mei 2016.
7. *Verordening (EG) Nr. 1272/2008 Van het Europees Parlement en de Raad van 16 december 2008 betreffende de indeling, etikettering en verpakking van stoffen en mengsels tot wijziging en intrekking van de Richtlijnen 67/548/EEG en 1999/45/EG en tot Wijziging van Verordening (EG) nr. 1907/2006.*

## Datum

24 april 2023

## Onze referentie

2023-0025/VLH/HdW/PK/sij