



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

Verkenning vervoer gevaarlijke stoffen

RIVM-rapport 2025-0116



Verkenning Vervoer Gevaarlijke Stoffen

RIVM-rapport 2025-0116

Colofon

© RIVM 2025

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

DOI 10.21945/RIVM-2025-0116

T.J. Kerckhoffs, RIVM

L.H. Polak, RIVM

G.H. Heideman, RIVM

Contact:

Henrieke Heideman

Milieu en Veiligheid, Centrum Veiligheid

omgevingsveiligheid@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat in het kader van project I/123003/25/AV.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Verkenning vervoer gevaarlijke stoffen

Chemische stoffen zijn nodig om alledaagse producten te maken, zoals medicijnen en cosmetica. Ze kunnen ook een bron van energie zijn, zoals methanol en ammoniak. Sommige chemische stoffen zijn gevaarlijk. In Nederland worden deze stoffen vervoerd over de weg, via het spoor, over het water en door buisleidingen. Bij een ongeval met gevaarlijke stoffen kan er brand, een explosie of een gifwolk ontstaan. Er gelden daarom veel regels om deze stoffen veilig te vervoeren.

Voor de toekomst is het belangrijk dat deze regels rekening houden met ontwikkelingen die invloed hebben op het vervoer van gevaarlijke stoffen. Het RIVM onderzocht vanuit veel verschillende invalshoeken welke ontwikkelingen dat zijn. Hierdoor komen niet alleen de voor de hand liggende thema's aan bod, zoals klimaatverandering, energietransitie en de woningmarkt, maar ook de invloed van economische, technologische en internationale politieke ontwikkelingen.

Als gevolg van klimaatverandering is er bijvoorbeeld steeds vaker extreem weer. Dat kan de infrastructuur beschadigen of het gebruik ervan hinderen. De komende jaren zijn dan ook veel investeringen nodig om wegen, spoorwegen en vaarwegen aan te passen aan het veranderende weer. Tegelijkertijd worden door de grote vraag naar woningen steeds meer huizen gebouwd dicht bij plekken waar gevaarlijk stoffen worden vervoerd. Vooral langs spoorlijnen. Een ongeval zou daardoor op meer mensen effect kunnen hebben.

Verder zullen door de energietransitie andere stoffen worden gebruikt, zoals waterstof, die bij een ongeval andere effecten hebben dan fossiele brandstoffen. Tegelijkertijd is het onzeker hoeveel van welke stof in Nederland en daarbuiten zal worden gebruikt. Ook is niet duidelijk hoe deze stoffen worden vervoerd en langs welke routes. Grote investeringen zijn nodig om grote hoeveelheden van deze stoffen veilig te kunnen vervoeren. Geopolitiek is het onder andere belangrijk om aandacht te hebben voor mogelijke bewuste (digitale) verstoringen van vervoer. Dat geldt ook voor ongewenste afhankelijkheden van bepaalde landen, bijvoorbeeld voor de levering van stoffen.

In het algemeen merkt het RIVM op dat veel ontwikkelingen nog onzeker zijn. Daardoor wachten veel betrokken partijen op elkaar voordat ze keuzes maken en stellen ze investeringen uit. Om Nederland te kunnen voorbereiden op de toekomst, is het belangrijk om onzekerheden te signaleren en zo veel mogelijk weg te nemen.

Kernwoorden: transport, gevaarlijke stoffen, externe veiligheid, buisleidingen, binnenvaart, spoor, modal shift, waterstof(dragers), infrastructuur, energietransitie

Synopsis

Exploration of future developments in the transport of dangerous goods

Chemical substances are used to make everyday products such as medicines and cosmetics. They can also be a source of energy, such as methanol and ammonia. Some chemical substances are hazardous. In the Netherlands, these substances are transported by road, by rail, by water, and through pipelines. An accident involving hazardous substances may cause a fire, an explosion, or a toxic cloud. This is why there are many rules in place to make sure that these substances are transported safely.

It is important that these rules take into account developments that affect the future transport of hazardous substances. RIVM has studied these developments from many different perspectives. As a result, not only apparent topics are considered, such as climate change, the energy transition, and the demand for housing, but also the effects of economic, technological, and geopolitical developments.

Due to developments concerning climate change, for example, there will be more frequent occurrences of extreme weather events. They have the potential to damage infrastructure or restrict its use. Therefore, substantial investments will be required over the coming years to adapt railways and rivers to the changing climate. Another noticeable development has been the increase in housebuilding in areas close to transport routes of hazardous substances, particularly near railways. Consequently, an accident in such an area would affect a greater number of people.

Furthermore, the energy transition will result in the use of other substances such as hydrogen. In an accident, these substances have other effects than fossil fuels have. At the same time, it is uncertain which substances will be used in the Netherlands and beyond, and in which quantities. It is also unclear how these substances will be transported, and along which routes. Significant investments will need to be made in order to ensure the safety of large-scale transportation of these substances. Amongst other things, from a geopolitical perspective, it is important to pay attention to possible malicious (cyber) disruptions to the transport of hazardous substances. The same applies to unwanted dependencies on certain foreign countries for the supply of substances.

In general, RIVM notes that many developments remain uncertain. Because of these uncertainties, many of the parties involved are waiting for others to take decisive action first and are postponing investments. In order to prepare for the future, it is important to identify uncertainties and to remove them as much as possible.

Keywords: transport, hazardous substances, external safety, pipelines, inland shipping, railways, modal shift, hydrogen and hydrogen carriers, infrastructure, energy transition

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1 Inleiding — 13

- 1.1 Vraagstelling en afbakening — 13
- 1.2 Aanpak — 14
- 1.3 Leeswijzer — 16

2 De toenemende gevolgen van klimaatverandering — 17

- 2.1 Fysieke infrastructuur – algemeen — 17
- 2.2 Spoor — 18
- 2.3 Binnenvaart (hoofdvaarwegennet) — 20
- 2.4 Weg (hoofdwegennet) — 22
- 2.5 Buisleiding — 23
- 2.6 Samenvatting gevolgen van klimaatverandering — 24

3 Energietransitie — 25

- 3.1 Elektriciteit — 27
- 3.2 Waterstof — 28
- 3.3 Ammoniak — 30
- 3.4 Methanol — 31
- 3.5 LOHC's — 32
- 3.6 Overige energiedragers — 33
- 3.7 Energietransitie per modaliteit — 34
 - 3.7.1 Weg — 34
 - 3.7.2 Binnenvaart — 36
 - 3.7.3 Buisleiding — 37
 - 3.7.4 Spoor — 38
- 3.8 Samenvatting energietransitie — 38

4 Infrastructurele ontwikkelingen — 39

- 4.1 Eigenschappen van de verschillende modaliteiten — 39
 - 4.1.1 Routing spoorgoederenvervoer — 42
- 4.2 Infrastructurele projecten — 43
 - 4.2.1 Spoor — 43
 - 4.2.2 Buisleiding — 45
- 4.3 Samenvatting infrastructurele ontwikkelingen — 48

5 Demografische en sociaal-culturele ontwikkelingen — 49

- 5.1 Spoor — 50
- 5.2 Binnenvaart — 52
- 5.3 Weg — 53
- 5.4 Buisleiding — 53
- 5.5 Samenvatting demografische en sociaal-culturele ontwikkelingen — 54

6 Technologische ontwikkelingen — 55

- 6.1 Spoor — 57
- 6.2 Binnenvaart — 58
- 6.3 Weg — 60
- 6.4 Buisleiding — 60
- 6.5 Samenvatting technologische ontwikkelingen — 61

7	Economische ontwikkelingen — 63
7.1	Vraag naar en aanbod van (andere) stoffen — 65
7.2	Arbeidsmarkt — 67
7.3	Samenvatting economische ontwikkelingen — 68
8	Geopolitieke ontwikkelingen — 69
8.1	Hybride dreigingen — 70
8.2	Ongewenste afhankelijkheden — 72
8.3	Weerbaarheid — 74
8.4	Samenvatting geopolitieke ontwikkelingen — 76
9	Duiding en verdieping door experts — 77
9.1	Alternatieve energiedragers — 77
9.1.1	Ammoniak — 78
9.1.2	Methanol — 80
9.1.3	Waterstof — 80
9.2	Gebruik en transport van batterijen — 81
9.3	Invloed van klimaatverandering — 81
9.4	Digitalisering en cyberveiligheid — 83
10	Beschouwing — 85
10.1	Risicobeheersing — 85
10.2	Omgeving — 87
10.3	Incidentbestrijding en weerbaarheid — 88
10.4	Kennisbehoefte — 88
10.5	Concluderende opmerkingen — 89
	Literatuur — 91
	Afkortingenlijst — 105
	Bijlage 1 Geraadpleegde experts — 107

Samenvatting

Chemische stoffen spelen een belangrijke rol in onze samenleving. Ze zijn nodig voor de productie van alledaagse artikelen, zoals medicijnen en cosmetica, of worden als brandstof gebruikt om in de Nederlandse energiebehoefte te voorzien. Sommige van deze stoffen zijn gevaarlijk, omdat er risico's aan verbonden zijn, zoals een brand, explosie of gifwolk. Om gebruik te kunnen maken van deze stoffen, vindt er vervoer plaats over weg, water, spoor en via buisleidingen. Het vervoer en de veiligheid hiervan wordt geborgd via (internationale) regelgeving. Toch bestaat er bij het vervoer een bescheiden kans op een groot ongeval dat gevaarlijk kan zijn voor mensen in de omgeving. Er zijn diverse maatschappelijke en technologische ontwikkelingen die van invloed zijn op de veiligheid van het vervoer van gevaarlijke stoffen.

Dit rapport bevat de uitkomsten van een door het RIVM uitgevoerde verkenning naar deze ontwikkelingen, die relevant zijn voor de toekomst van het veilig vervoer van gevaarlijke stoffen in Nederland. Doel hiervan is om inzicht te bieden in beleid, gericht op de blijvende veiligheid van het vervoer van gevaarlijke stoffen, en om decentrale overheden te ondersteunen bij afwegingen hierover. Een uniek aspect van deze verkenning is dat er met een brede, multidisciplinaire blik is gekeken naar het onderwerp vervoer van gevaarlijke stoffen en niet alleen naar ontwikkelingen die traditioneel gezien nauw samenhangen met het werkveld externe veiligheid. Op basis van een uitgebreid literatuur onderzoek, waar nodig aangevuld met inbreng van deskundigen, is een overzicht van ontwikkelingen opgesteld vanuit zeven verschillende invalshoeken: klimaatverandering, energietransitie, infrastructurele ontwikkelingen, demografische en sociaal-culturele ontwikkelingen, technologie, economie en geopolitiek.

Klimaatverandering is de eerste van deze invalshoeken. Toenemende weersextremen als hitte, droogte en neerslag kunnen leiden tot schade en verstoringen aan infrastructuur. Om de veiligheid op peil te houden en de bruikbaarheid van de infrastructuur te borgen, is het belangrijk om infrastructuur klimaatbestendig in te richten in termen van veiligheid en capaciteit. Afgezien daarvan is het bij toenemende temperaturen belangrijk om een gezonde werkplek te waarborgen voor mensen die zijn betrokken bij het vervoer van gevaarlijke stoffen.

Als gevolg van de energietransitie zal niet alleen een (verdere) verschuiving plaatsvinden naar hernieuwbare brandstoffen als waterstof(dragers), en daarmee ook naar andere risico's, maar ook een verschuiving naar andere modaliteiten voor het vervoer hiervan. Het is nog onzeker welke energiedrager in welke mate gebruikt zal worden en hoe deze energiedragers worden vervoerd. Daardoor is anticiperen op de risico's en besluiten om te investeren in infrastructuur lastig. Ook zullen de modaliteiten zelf worden verduurzaamd en zal aandrijving steeds meer plaatsvinden met behulp van hernieuwbare energievormen. Het veilig combineren van hernieuwbare aandrijving en een gevaarlijke lading is hierbij een aandachtspunt.

Hoewel dit niet eenvoudig is, wordt over het algemeen een *modal shift* van wegvervoer naar vervoer via spoor, vaarweg of buisleiding nagestreefd. De komende jaren vinden er veel werkzaamheden plaats ter onderhoud, uitbreiding en vernieuwing van de Nederlandse infrastructuur. Hierdoor wordt mogelijk (tijdelijk) gebruik gemaakt van andere routes, waardoor externe veiligheidsrisico's kunnen verschuiven. Dit is echter infrastructuur die om ruimte zal moeten concurreren met de huisvestingsbehoefte van een gestaag toenemende bevolking en een groeiend aantal huishoudens. Vanuit een demografisch perspectief zullen er steeds meer mensen steeds dichter bij infrastructuur wonen, met name in de buurt van knooppunten voor openbaar vervoer. Dit betekent dat er meer mensen in gebieden zullen wonen tot waar de effecten van een ongeval met het goederenvervoer, zoals een brand, explosie of gifwolk, kunnen reiken. Het is belangrijk om externe veiligheidsaspecten mee te wegen bij de besluitvorming omtrent de aanleg van infrastructuur voor het transport van gevaarlijke stoffen en bij ruimtelijke ontwikkeling nabij infrastructuur. Ook de perceptie van het vervoer van gevaarlijke stoffen en de risico's daarvan is een aandachtspunt, met name voor het spoorgoederenvervoer, dat veelal door dichtbevolkte gebieden loopt.

Technologisch gezien kan steeds verdergaande digitalisering en de mogelijke introductie van autonome systemen als zelfrijdende treinen en vrachtwagens (*truck platooning*) bijdragen aan een verhoging van de efficiëntie, capaciteit en veiligheid van het vervoer van gevaarlijke stoffen. Dit verhoogt echter de kwetsbaarheid voor zowel moedwillige als niet-moedwillige digitale verstoringen, met mogelijke fysieke gevolgen. Ook de *human factor*, de veranderende relatie tussen mens en technologie, kan voor nieuwe risico's zorgen.

Pogingen tot moedwillige verstoringen in de vorm van (digitale) sabotage van (vitale) infrastructuur zijn uitingen van (hybride) dreigingen waar Nederland in toenemende mate mee te maken zal krijgen. Geopolitiek gezien is er sprake van een toenemende concurrentie tussen landen. Instrumenten als hybride conflictvoering en het uitbuiten van economische afhankelijkheden worden in dit kader steeds vaker ingezet. Dit raakt niet alleen de maatschappij in het algemeen, maar ook het toekomstige vervoer van gevaarlijke stoffen. Het verstoren van processen en controlesystemen beïnvloedt de veiligheid van het transport van gevaarlijke stoffen. Vanuit geopolitiek perspectief is het raadzaam om aandacht te besteden aan ongewenste afhankelijkheden en het creëren van bewustzijn rond cyberrisico's die gevolgen hebben voor de fysieke omgeving. Tot slot is het vanuit een economische invalshoek nog erg onzeker hoe de vraag naar stoffen als waterstof(dragers) er in de toekomst precies uit zal zien, wat voor veranderende vervoersstromen kan zorgen. Het is nog moeilijk voor (commerciële) partijen om zich te committeren aan omvangrijke investeringen op dit vlak zolang nog onzeker is of en hoe deze terugverdiend kunnen worden. Afgezien daarvan kan een tekort aan gekwalificeerd personeel de infrastructurele ontwikkelingen en energietransitie vertragen.

Overkoepelend leiden bovenstaande en andere ontwikkelingen tot vraagstukken op een aantal vlakken. Hoe wordt vanuit een risicobeheersingsperspectief bijvoorbeeld omgegaan met fysieke infrastructuur die vanuit verschillende hoeken gelijktijdig onder druk kan

komen te staan? Tegelijkertijd is nog onzeker welke stoffen in de toekomst precies vervoerd zullen worden, langs welke routes en met welke modaliteiten. Ten tweede rijst de vraag hoe om te gaan met een veranderende omgeving waar het vervoer van gevaarlijke stoffen doorheen gaat. Niet alleen is de ruimte voor de aanleg van (nieuwe) infrastructuur schaars, ook moet rekening gehouden worden met mensen die steeds dichterbij infrastructuur wonen. Ten derde ontstaan er nieuwe vragen op het gebied van incidentbestrijding. Zo hebben alternatieve energiedragers niet alleen andere eigenschappen maar brengen ze ook andere risico's met zich mee dan bijvoorbeeld fossiele brandstoffen. Hoewel er nu al ervaring is met het gebruik en vervoer van deze stoffen, zullen het gebruik en vervoer ervan grootschaliger worden.

Het bestrijden van digitale incidenten zal ook steeds belangrijker worden. Tot slot is er een groeiende behoefte aan kennis en opleiding op verschillende vlakken met betrekking tot het vervoer van gevaarlijke stoffen. Onder meer op het gebied van cybersecurity, veilige ruimtelijke ontwikkeling, klimaatadaptatie en alternatieve energiedragers, met de bijpassende veiligheidsmaatregelen.

In deze verkenning wordt geen antwoord gegeven op de vraag of de veiligheid van het vervoer van gevaarlijke stoffen nu beter of slechter zal worden. Ontwikkelingen bestaan uit een mix van positieve en negatieve zaken. Het is onduidelijk hoe deze over vijf, tien of zelfs twintig jaar precies zullen uitpakken. Tegelijkertijd valt op dat er voor bijna alle onderwerpen sprake is van een hoge mate van onzekerheid. Onzekerheden kunnen een zorgvuldige risicobeheersing en afweging in de weg zitten. Daarom kan het helpen om deze onzekerheden te erkennen en tegelijkertijd te werken aan vermindering ervan. Dit is echter niet eenvoudig, omdat dit veelal een langetermijn- en integraal perspectief op de verschillende ontwikkelingen vereist, zoals geschetst in dit rapport. Voor een doelmatige risicobeheersing van het vervoer van gevaarlijke stoffen is het van belang om inzichtelijk te maken hoe de besproken trends kunnen doorwerken op (de veiligheid van) dat vervoer. Bij voorkeur worden belangrijke thema's voor vervolgonderzoek geïdentificeerd in samenwerking met experts en belanghebbenden uit verschillende disciplines.

1 Inleiding

Om in onze energiebehoefte te voorzien, bijvoorbeeld voor het verwarmen van huizen of voor het aandrijven van auto's, hebben we brandstoffen als diesel, benzine of aardgas nodig. In het kader van de energietransitie zullen deze brandstoffen geleidelijk worden vervangen door hernieuwbare varianten, zoals waterstof, ammoniak, methanol of hernieuwbare elektriciteit. Daarnaast gebruiken we dagelijks veel producten die geproduceerd worden met chemische grondstoffen, zoals medicijnen, cosmetica of kunststoffen. Veel van deze stoffen vallen onder de noemer gevaarlijke stoffen, bijvoorbeeld omdat ze (onder bepaalde omstandigheden) brandbaar, explosief of giftig zijn. Echter, zonder het transport, de opslag en het gebruik van deze stoffen vallen veel processen stil.

Binnen Nederland vindt het vervoer van gevaarlijke stoffen plaats over de weg, het water, het spoor en via buisleidingen.¹ Het vervoer van deze stoffen brengt risico's met zich mee. Zowel binnen Nederland als daarbuiten vinden er continu ontwikkelingen plaats die mogelijk van invloed zijn op deze risico's en daarmee op het veilige verloop van het vervoer van gevaarlijke stoffen. Soms betreft dit technische ontwikkelingen die betrekking hebben op de voor het vervoer gebruikte modaliteiten (spoor, buisleiding, enzovoort) en soms gaat het om bredere maatschappelijke opgaven, zoals demografische veranderingen of geopolitieke verschuivingen, die op hun beurt weer specifieke effecten of vraagstukken genereren die van invloed zijn op het vervoer van gevaarlijke stoffen.

Het doel van deze verkenning is om een overzicht te bieden van een brede set van (maatschappelijke) ontwikkelingen die potentieel het toekomstige verloop en de veiligheid van het vervoer van gevaarlijke stoffen kunnen beïnvloeden, zowel positief als negatief. Het RIVM heeft deze verkenning uitgevoerd op verzoek van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

1.1 Vraagstelling en afbakening

Enerzijds dient deze verkenning als input om de veiligheid van het vervoer van gevaarlijke stoffen in de toekomst te kunnen blijven waarborgen en als input voor het hierop gerichte beleid op nationaal niveau. Anderzijds kan de hier verzamelde informatie de dialoog en afwegingen rondom dit onderwerp ondersteunen. Oorspronkelijk was de gedachte dat deze inzichten ondersteuning konden bieden aan decentrale overheden en andere relevante partijen. Echter, aangezien de verkenning een overzicht van ontwikkelingen in grote lijnen biedt, zal vervolgonderzoek naar de uiteindelijke doorwerking van deze trends noodzakelijk zijn om dit te bereiken. De geïdentificeerde trends uit deze verkenning kunnen een startpunt zijn voor de dialoog met

¹ Een klein deel van het vervoer van gevaarlijke stoffen vindt via de lucht plaats, zoals het vervoer van gevaarlijke stoffen naar boorplatforms via helikopters. Aangezien deze stroom zeer gering van aard is, wordt deze niet verder beschouwd.

belanghebbenden en experts, om zo samen te komen tot belangrijke onderwerpen voor vervolgonderzoek.

Binnen deze verkenning staat de volgende vraag centraal: *Welke (maatschappelijke) ontwikkelingen kunnen worden geïdentificeerd die mogelijk een effect hebben op het veilige vervoer van gevaarlijke stoffen binnen Nederland en, indien mogelijk, welke bijbehorende handelingsperspectieven zijn er?* Aangezien de vraag in kwestie relatief breed is, heeft deze enige toelichting en afbakening. Om te beginnen is het belangrijk om te benadrukken dat de verkenning geen toekomstverkenning is in de zin van een wetenschappelijke toekomststudie waarin verschillende maatschappelijke toekomstscenario's of wensbeelden worden geschetst, veelal meerdere decennia vooruitkijkend.² In plaats daarvan is gekozen voor het presenteren van een integraal overzicht van ontwikkelingen die (of waarvan de contouren) nu al zichtbaar zijn. De verkenning is meer ingestoken vanuit de vraag *'wat komt er af op Nederland?'* dan vanuit de vraag *'wat is een gewenst eindpunt of doel?'*, en sluit beter aan bij de eerdergenoemde doelstelling. Een meer kwantitatieve verkenning van de ontwikkeling van vervoersstromen in de tijd is geen onderdeel van dit rapport en is een mogelijke vervolgstap op deze verkenning.

Naarmate de tijdshorizon langer wordt, wordt het moeilijker om relevante ontwikkelingen (en de onderlinge interacties) te identificeren, extrapoleren en duiden in de juiste maatschappelijk context. Sommige onderwerpen, zoals klimaatverandering, zijn langetermijnprocessen waarvan de nu in kaart te brengen gevolgen zich de komende decennia doen gelden. Aan de andere kant zijn er ook onderwerpen, zoals geopolitiek, waarvan ontwikkelingen moeilijk te duiden zijn voorbij een horizon van bijvoorbeeld vijf jaar. Er worden langetermijnontwikkelingen meegenomen als de gevolgen op de langere termijn al voldoende kunnen worden onderbouwd. Voor ontwikkelingen waarbij de gevolgen op langere termijn nog niet goed kunnen worden ingeschat, wordt een kortere tijdspanne gehanteerd.

Verder ligt de focus specifiek op de effecten van deze ontwikkelingen op het vervoer van gevaarlijke stoffen binnen Nederland. Internationale ontwikkelingen als klimaatverandering worden meegenomen, maar met een focus op Nederland als effectgebied. Tot slot kijkt deze verkenning met een brede, integrale blik naar mogelijke (maatschappelijke) ontwikkelingen, maar ligt de focus specifiek op de doorwerking op het vervoer van gevaarlijke stoffen. Ontwikkelingen moeten hier dus redelijkerwijs een (directe) relatie mee hebben. Tot slot wordt in dit document geen oordeel gegeven over of, dan wel in welke mate, het vervoer van gevaarlijke stoffen veilig is. Er wordt alleen stilgestaan bij ontwikkelingen die deze veiligheid mogelijk kunnen beïnvloeden.

1.2 Aanpak

De kern van de totstandkoming van deze verkenning is een uitgebreid literatuuronderzoek, aangevuld met en gevalideerd aan de hand van interviews en een expertsessie met deskundigen (zie bijlage 1) die

² Een voorbeeld van een dergelijke toekomstverkenning is de studie *Kiezen voor later: Vier visies voor 2050* van het Centraal Planbureau [1].

werkzaam zijn binnen of inhoudelijk verbonden zijn aan het vervoer van gevaarlijke stoffen en de verschillende modaliteiten. Om het literatuuronderzoek te structureren en om een integrale blik op het onderwerp te faciliteren, is er literatuur verzameld aan de hand van de DESTEP-analyse.³ Hierbij wordt vanuit het perspectief van een aantal brede maatschappelijke categorieën gekeken of er relevante ontwikkelingen zijn voor het onderwerp in kwestie, in dit geval het vervoer van gevaarlijke stoffen. De letters binnen de DESTEP-analyse staan traditioneel gezien voor (varianten van) **D**emografie, **E**conomie, **S**ociaal-maatschappelijk, **T**echnologie, **E**cologie en (geo)**P**olitiek.

Elk van de zes categorieën is vervolgens wat formulering betreft verder afgestemd op het onderwerp van deze verkenning en ingedeeld in een of meerdere subcategorieën. Zo is de categorie 'ecologie' ingestoken vanuit het concept 'leefomgeving', met daarin een onderscheid tussen ontwikkelingen op het gebied van de natuurlijke omgeving (bijvoorbeeld klimaatverandering) en op het gebied van ruimtelijke ordening. Voordeel van bovenstaande DESTEP-analyse is dat onderzoekers aangemoedigd worden om een onderwerp vanuit verschillende, initieel mogelijk minder voor de hand liggende hoeken te bekijken en zo minder snel in een informatiekoker terecht komen.

Voor elk van de (sub)categorieën is gezocht naar informatie uit de relevante literatuur. Hierbij is hoofdzakelijk grijze literatuur geraadpleegd in de vorm van publicaties van overheidsorganisaties, adviesbureaus, denktanks, brancheverenigingen, internationale organisaties, enzovoort. Ter aanvulling is voor sommige onderdelen ook geput uit academische literatuur en uit nieuws- dan wel persberichten. Het literatuuronderzoek is afgerond per 1 april 2025, publicaties die zijn verschenen na deze datum zijn, enkele uitzonderingen daargelaten, niet meegenomen in de verkenning.

Voordat informatie uit de literatuur wordt opgenomen in het overzicht van ontwikkelingen, gerangschikt langs de DESTEP, moet expliciet een link kunnen worden gelegd met het vervoer van gevaarlijk stoffen. Hierbij kan het gaan om een relatie met een van de modaliteiten (buisleiding, weg, spoor, water), met routes en verwachte volumes van stoffen, veiligheidsrisico's, perceptie, kennis, enzovoort. Volgend op het in de breedte verzamelen van de individuele ontwikkelingen, zijn deze nader tegen het licht gehouden en gegroepeerd in de verschillende hoofdstukken binnen dit rapport. Deze hoofdstukken volgen echter niet altijd de lijn van de DESTEP-indeling (zie de leeswijzer hieronder). Dit is omdat in de praktijk veel van de categorieën nauw met elkaar verbonden zijn, dan wel inhoudelijk bij elkaar komen onder overkoepelende onderwerpen als de energietransitie of infrastructurele ontwikkelingen. Verder geldt dat er voor sommige elementen uit de DESTEP-analyse onvoldoende relevante ontwikkelingen zijn geïdentificeerd om hier een apart hoofdstuk aan te wijden, te meer als deze ontwikkelingen ook elders een logische plek konden krijgen. Voor de leesbaarheid van dit rapport is ervoor gekozen om voor de hoofdstukindeling af te wijken van de methodische groepering.

³ Het voor deze methode gehanteerde acroniem kan verschillen binnen de literatuur (STEEP, ETPS, enzovoort).

De belangrijkste bevindingen uit het rapport op het gebied van nieuwe energiedragers, klimaatverandering, digitalisering en cyberveiligheid zijn in een expertsessie voorgelegd aan verschillende experts die, direct of indirect, betrokken zijn bij het vervoer van gevaarlijke stoffen (zie bijlage 1 voor de deelnemers). Dit ter validatie en, primair, ter verdere reflectie op eventuele handelingsperspectieven. De resultaten van de expertsessie worden besproken in hoofdstuk 9.

1.3 Leeswijzer

Deze verkenning is opgedeeld in tien hoofdstukken, deels langs de lijnen van de uitgevoerde DESTEP-analyse en deels in voor het vervoer van gevaarlijke stoffen belangrijke onderwerpen. Hoofdstuk 2 beschrijft de eerste categorie en gaat in op klimaatverandering. Hoofdstuk 3 is daarentegen een voorbeeld van de laatste categorie met een uiteenzetting van ontwikkelingen in het kader van de energietransitie. Hetzelfde geldt voor hoofdstuk 4 met een focus op ontwikkelingen op het gebied van infrastructuur. Hoofdstuk 5 gaat in op demografische ontwikkelingen en hoofdstuk 6 op technologische ontwikkelingen. Hoofdstukken 7 en 8 behandelen respectievelijk economische en geopolitieke ontwikkelingen. Achter in het document is een overzicht van alle gebruikte literatuur opgenomen. Wat betreft deze per onderwerp ingedeelde hoofdstukken geldt dat de bevindingen waar relevant zijn opgesplitst per modaliteit. Het abstractieniveau van de hoofdstukken verschilt en is in lijn met de aard van het besproken onderwerp.

Volgend op deze naar onderwerp ingedeelde hoofdstukken, bevat hoofdstuk 9 een overzicht van de reflecties uit de expertsessie. Tot slot bevat hoofdstuk 10 een beschouwing van de belangrijkste bevindingen en terugkerende thema's.

2 De toenemende gevolgen van klimaatverandering

Het klimaat op aarde is aan het veranderen. Deze verandering heeft gevolgen voor verschillende aspecten van de samenleving, zowel direct als indirect, en voor het veilig vervoeren van gevaarlijke stoffen. Klimaatverandering is tegelijkertijd een ontwikkeling die almaar blijft versnellen: het wordt steeds warmer, steeds eerder dan gedacht. In Nederland is het nu al gemiddeld 2,3 °C warmer dan in 1900. Hierbij zal er in stedelijke gebieden in verhouding sprake zijn van meer opwarming dan in landelijke gebieden als gevolg van het hitte-eilandeffect [2, 3].

Het is de verwachting dat de temperatuur verder zal stijgen, met als gevolg vaker voorkomende en ernstigere weersextremen, zoals extreme neerslag, droogte en hitte [2]. Ook het risico op aanverwante gebeurtenissen, zoals het ontstaan van wateroverlast tijdens zware neerslag of natuurbranden ten tijde van aanhoudende hitte en droogte, neemt toe [4]. In het bijzonder extreme droogte en zware neerslag zijn twee uitersten van elkaar die elk vragen om een bepaalde inrichting van de bebouwde omgeving dan wel de fysieke infrastructuur, om de gevolgen hiervan te ondervangen. Twee uitersten waar Nederland steeds vaker mee te maken zal krijgen. Los van uitingen van extreem weer waarvan nu ook al de gevolgen te zien zijn, zal ook de zeespiegelstijging gestaag doorzetten en zelfs versnellen als gevolg van klimaatverandering [5]. Dit kan in de toekomst gevolgen hebben voor de leefbaarheid en bewoonbaarheid van delen van Nederland. Gezien vanuit het vervoer van gevaarlijke stoffen, heeft klimaatverandering zowel gevolgen voor de begaanbaarheid, en daarbij de veiligheid, van de fysieke infrastructuur als voor de veiligheid en gezondheid van de betrokken werknemers. Hieronder wordt verder ingegaan op de gevolgen van klimaatverandering voor het vervoer via spoor, weg, water en buisleiding.

2.1 Fysieke infrastructuur – algemeen

In het algemeen komt het functioneren, en daarmee mogelijk ook de veiligheid, van veel infrastructuur als gevolg van klimaatverandering onder druk te staan. Zaken als verzakking van het spoor, de weg of buisleidingen als gevolg van droogte, lage grondwaterstanden of extreme neerslag zullen op zijn minst leiden tot verstoringen van (goederen)vervoer in het algemeen en dus ook van het vervoer van gevaarlijke stoffen. Indien niet op tijd opgemerkt, ontstaan hierdoor mogelijk ook ongevallen. Bepaalde vaarroutes kunnen tijdelijk onbereikbaar worden als gevolg van bijvoorbeeld zeer lage waterstanden, waardoor een *modal shift* kan optreden, wat op zijn beurt weer een verschuiving van de (externe) veiligheidsrisico's met zich meebrengt. Daarnaast kunnen *modal shifts* en het tijdelijk onbereikbaar worden van bepaalde routes de congestie op de nog wel beschikbare routes vergroten. Ook kan klimaatverandering door bijvoorbeeld wateroverlast op de weg of afgesloten wegen door natuurbranden gevolgen hebben voor de bereikbaarheid van infrastructuur voor incidentbestrijders en zorgen voor een toenemende druk op de capaciteit van hulpverlening.



Voor werknemers die betrokken zijn bij het vervoer van gevaarlijke stoffen, geldt primair dat de hoeveelheid ervaren hittestress zal toenemen. Dat geldt onder meer voor mensen die door de aard van hun werkzaamheden buiten moeten werken, bijvoorbeeld op een overslagpunt, of tijdens de bouw dan wel het onderhoud van fysieke infrastructuur. Dat geldt eveneens voor mensen die betrokken zijn bij incidentbestrijding. Ook mensen die vooral binnen werken, kunnen op kantoor te maken krijgen met een hogere hittebelasting dan voorheen. Werknemers krijgen, ongeacht hun functie, tevens thuis te maken met de gevolgen van een opwarmende leefomgeving, met mogelijke invloed op de hoeveelheid slaap. Dit alles kan leiden tot een hogere ziektelast (uitval) en concentratieproblemen [6, 7]. Dit gegeven kan mogelijk ook de veiligheid van het vervoer van gevaarlijke stoffen negatief beïnvloeden, te meer daar er al problemen zijn met het vinden van voldoende gekwalificeerd personeel (zie hoofdstuk 7).

2.2

Spoor

Het inzetten op meer goederenvervoer via het spoor is in lijn met doelstellingen die zijn gericht op het verminderen van emissies en

daarmee ook op het helpen mitigeren van klimaatverandering. Vervoer per spoor is wat dit betreft een van de schoonste vormen van transport (interview #2). Tegelijkertijd zal het spoornet toenemend onder druk komen te staan als gevolg van (variaties in) extreme neerslag en het vaker voorkomen van extreem hoge temperaturen. Hevige neerslag kan leiden tot waterstromen die zand onder het spoor vandaan spoelen en waterstromen die allerlei soorten vuil richting het spoor met zich meevoeren. Spoorwegen hebben wegens hun veelal relatief lage ligging in het landschap een vrij grote kans om door deze stromen te worden getroffen. Dit kan leiden tot vervuiling van het ballastbed, dat hierdoor zijn functie verliest [3]. De vervuiling kan ook de werking van wissels belemmeren. Verder is er het risico dat er water blijft staan op of rond het spoor, dan wel dat delen van het spoor kunnen worden weggespoeld of (spoor)tunnels onderlopen bij extreme neerslag en wanneer er bijvoorbeeld een hoogteverschil met de omgeving is [3]. Tegelijkertijd zullen er als gevolg van klimaatverandering vaker situaties optreden waarbij periodes van extreme neerslag worden afgewisseld met periodes van extreme droogte [2]. Als gevolg daarvan zal ook het grondwaterpeil meer fluctueren dan nu het geval is. Hierdoor versnelt, met name in veenweidegebieden, de bodemdaling. Extreme neerslag leidt op zijn beurt weer tot hoge grondwaterstanden. Bovenstaande kan respectievelijk leiden tot verzakking dan wel opdrijving van sporen en (spoor)tunnels [2].⁴ Door weersextremen neemt ook het risico op verstoringen door bommen op het spoor of door blikseminslag toe.

Als gevolg van periodes van droogte en extreme hitte neemt ook de kans op (berm-, natuur)brand langs het spoor toe. Lange periodes van extreme hitte kunnen tegelijkertijd ook zorgen voor 'spoorspatting', ofwel het zijwaarts of opwaarts wijken van spoorstaven, waardoor de kans op ontsporing toeneemt. (Spoor)bruggen hebben mogelijk meer moeite met openen en sluiten als gevolg van uitzetting [3]. Daarnaast kan extreme hitte ook zorgen voor verstoringen van de stroomvoorziening, wat kan leiden tot verstoringen van spoorinstallaties als schakelstations en relaiskasten. Als gevolg van bovenstaande gebeurtenissen zal het spoorverkeer vaker stil moeten worden gelegd om de veiligheid te kunnen garanderen. Een gegeven dat de gemiddelde jaarlijkse spoorcapaciteit voor het reizigersverkeer en het goederenvervoer (waaronder het vervoer van gevaarlijke stoffen) negatief zal beïnvloeden (interview #2).

Er is een aantal handelingsperspectieven om het spoor bestendig te maken tegen bovenstaande gevolgen van klimaatverandering. Uiteraard is het klimaatadaptief inrichten niet alleen van belang voor het veilig vervoer van gevaarlijke stoffen over het spoor, maar voor al het treinverkeer. Voor een groot deel betreffen deze handelingsperspectieven het klimaatbestendig inrichten van het spoor en de spoorinfrastructuur. Wat betreft vaker voorkomende periodes van extreme hitte en het risico op spoorspatting, is er een aantal zaken die meegenomen kunnen worden bij de constructie dan wel vernieuwing van spoorlijnen. Zo hebben het type dwarsliggers, het materiaal van het ballastbed of de aanwezigheid

⁴ Het Nederlandse spoornetwerk heeft tegelijkertijd ook vaker last van verzakking en beschadiging als gevolg van de activiteiten van de das. Deze beschermde diersoort komt in Nederland steeds vaker voor en graaft diens burchten onder meer in (spoor)dijken, met (potentiële) schade als gevolg. Wegens de beschermde status van deze soort, is het herstellen of voorkomen van schade en het hiertoe mogelijk ingrijpen in het leefgebied van de das sterk gereguleerd en zeer tijdrovend [8].

van ankerschoenen invloed op de gevoeligheid voor spoorspatting [3]. Wat betreft de gevolgen van hevige neerslag is een eerste stap om (verder) in kaart te brengen welke (delen van) trajecten wegens hun ligging bijzonder kwetsbaar zijn voor waterstromen. Vervolgens kan worden beoordeeld of en waar er aanpassingen nodig zijn. Hetzelfde geldt voor gebieden waar bodemdaling naar verwachting een relevant onderwerp wordt. Dit zal vooral spelen in het westen, noorden en in beperkte mate in het zuiden van het land [3]. Voor regio's waar spoortrajecten op een veenbodem liggen, kan het 'vernatten' hiervan een oplossing bieden om bodemdaling tegen te gaan. Dit levert tegelijkertijd het voordeel op van het verminderen van de uitstoot van CO₂ uit het veen [9]. Vanuit het perspectief van de belasting die het spoor veroorzaakt op de ondergrond, kan ook worden gekeken naar de gehanteerde dikte van het ballastbed op trajecten met een verhoogd risico op bodemdaling [3].

2.3 Binnenvaart (hoofdvaarwegennet)⁵

De binnenvaart zal als gevolg van klimaatverandering vaker te maken krijgen met de gevolgen van frequentere en langdurigere periodes van droogte. Sommige vaarroutes in Nederland maken gebruik van stuwdammen en sluizen om de bevaarbaarheid te borgen. Ten tijde van ernstige droogte zullen er mogelijk echter 'schutbeperkingen'⁶ moeten worden doorgevoerd om te voorkomen dat er te veel water verloren gaat [10]. In de praktijk betekent dit dat delen van vaarroutes (tijdelijk) niet bevaarbaar zijn. (Extreem) lage waterstanden kunnen in zijn algemeen de binnenvaart belemmeren, een effect dat versterkt wordt door het wegsmelten van gletsjers, waardoor er in de toekomst minder aanvoer van smeltwater is, en door droogte in het achterland, waardoor grote rivieren minder water zullen aanvoeren. Als lage waterstanden vaker voorkomen, betekent dit voor de grote rivieren dat de capaciteit van een aantal belangrijke vaarroutes, zoals de Waal en in het bijzonder de Rijn, zal afnemen [10, 11], 2023; BCI, 2023). Er zullen dan meer knelpunten ontstaan in de doorstroming van het goederenvervoer per binnenvaartschip. Een binnenvaartschip van 110 meter voor de Rijn kan al snel 100-120 ton vracht minder meenemen op een standaard laadcapaciteit van circa 3000 ton (4 procent) als het waterpeil slechts 10 centimeter lager is. Ook zullen schepen minder snel kunnen varen, omdat een hogere snelheid leidt tot een toename van de diepgang [10].

Vaarroutes kunnen als gevolg van lage waterstanden smaller worden waardoor schepen dicht bij elkaar komen te varen en elkaar moeilijker kunnen passeren [10]. Omdat schepen minder zwaar beladen worden, zijn ze mogelijk gevoeliger voor wind. Ook geldt dat minder diepliggende schepen een langere remweg hebben doordat delen van de schroef mogelijk boven water uitsteken [10]. Bovenstaande betekent dat het risico op aanvaringen (primair 'kop-staart botsingen') kan toenemen (interview #1). Gezien het ontwerp van de schepen brengen midscheepse aanvaringen overigens grotere risico's voor de externe veiligheid met zich mee dan bij 'kop-staartbotsingen' het geval is.

⁵ Hoofdvaarwegen zijn vaarwegen waarover jaarlijks meer dan 5 miljoen ton goederen of 25.000 twenty-foot equivalents vervoerd worden.

⁶ 'Schutten' refereert aan het proces waarbij schepen door sluizen heen gaan en dus van een hoger naar een lagere niveau worden gebracht of vice versa door water in of uit de sluis te laten stromen.

Niet alleen toenemende periodes van droogte kunnen een effect hebben op de binnenvaart, maar juist ook periodes van extreme neerslag en het frequenter plaatsvinden van (zware) stormen. In zowel Nederland als het buitenland, kan extreme neerslag leiden tot hoge waterstanden op belangrijke vaarroutes. Als gevolg daarvan kunnen schepen mogelijk niet meer onder bruggen en andere obstakels door varen [11]. Stormen kunnen mogelijk leiden tot schade aan schepen die onderweg zijn. Extreme neerslag kan bovendien zorgen voor slecht zicht, wat ook gevolgen kan hebben voor de veilige bediening van objecten als bedienaren de verkeerssituatie niet meer kunnen inschatten [12]. Daarnaast kan hevige regenval leiden tot verstoring van de radarbeelden en kunnen de stroomsnelheden van het water toenemen. Los van waterspiegelstijgingen als gevolg van extreme neerslag heeft ook de eerdergenoemde stijging van de zeespiegel mogelijke gevolgen voor de binnenvaart. Door deze stijging kan het gebeuren dat de rivieren hun water niet meer goed kwijt kunnen in de zee als gevolg van verschillen in waterspiegel [13, 14]. Extreme hagel en valwinden kunnen zorgen voor schade aan kleine objecten die belangrijk zijn voor de veiligheid, zoals camera's, verlichting of antennes [12]. Tot slot kan ook aanhoudende (extreme) hitte ervoor zorgen dat bijvoorbeeld bruggdelen uitzetten, met als gevolg dat deze niet meer kunnen worden bediend voor de scheepvaart [15].

Het effect van de verschillende hierboven genoemde punten is onder andere dat (beladen) schepen noodgedwongen langer in een haven of andere ligplaats blijven liggen. In zijn algemeen kan het vervoer van goederen via de binnenvaart minder betrouwbaar worden [10]. Indien situaties langer aanhouden, leidt een en ander mogelijk tot een (tijdelijke) verschuiving in modaliteit, naar bijvoorbeeld vervoer over het spoor of over de weg. Lage waterstanden hebben in het verleden al geleid tot een *modal shift*, waarbij te zien was dat niet alle stofstromen weer terugkeren naar de binnenvaart (expertsessie, zie bijlage 1). Met name het vervoer van droge bulkclading vindt nu in mindere mate per schip plaats. Vloeibare stofstromen worden tijdens een periode van laagwater vaak via het spoor vervoerd en keren daarna vaak weer terug naar de binnenvaartsector, terwijl containervervoer steeds meer per weg vervoerd wordt. Uiteraard is dit niet per se van toepassing op alle hoeveelheden en typen vracht die normaal per schip worden vervoerd, te meer omdat ten tijde van extreme weersomstandigheden ook andere modaliteiten, zoals het spoor, al onder druk staan. Binnenvaartschepen vervoeren echter grote hoeveelheden (zie paragraaf 4.1), zodat er veel vrachtwagens en spoorketelwagens nodig zijn om één binnenvaartschip te vervangen. Afgezien daarvan dient er rekening te worden gehouden met een verschuiving van de externe veiligheidsrisico's in het geval van een *modal shift*, doordat verschillende modaliteiten andere eigenschappen en andere routes hebben. Daardoor zijn de kans op en de impact van ongevallen anders in het geval van een *modal shift*.

Er is een aantal zaken waarop ingezet kan worden om de effecten van langdurige droogte en daarmee primair lage waterstanden voor de binnenvaart te helpen mitigeren. Net als bij spoor heeft dit enerzijds te maken met het inrichten van de fysieke infrastructuur. Zo kan in internationaal verband bijvoorbeeld meer worden ingezet op het in goede afstemming met elkaar bufferen van water. Ook kan worden geïnvesteerd

in het bevorderen van de diepgang van rivieren door middel van langsdammen⁷ (wat ten koste kan gaan van de breedte van de vaargeul) of infrastructuur die het schutverlies bij sluizen helpt te minimaliseren [10]. Zo kan er bij het bouwen of vervangen van dammen gekozen worden voor infrastructuur in de vorm van bijvoorbeeld sluizen die schutverliezen (deels) tegengaan en kunnen scheepsliften een uitkomst bieden. Om schutbeperkingen en zoutindringing⁸ op bepaalde routes tegen te gaan, kan water worden omgeleid. Dit leidt dan wel tot verminderde bevaarbaarheid van trajecten waar het water wordt weggehaald.

Anderzijds kan worden gekeken naar mogelijkheden voor het verbeteren van de prognoses over de waterstanden. Momenteel hebben deze veelal een tijdshorizon van één week, afhankelijk van de vaarweg in kwestie. Als deze tijdshorizon kan worden opgerekt, geeft dit de binnenvaart meer ruimte om te anticiperen op potentieel lage waterstanden en op de potentieel onveilige situaties die hierdoor kunnen ontstaan. Men kan bijvoorbeeld de hoeveelheid vracht hier beter op afstemmen en op tijd op zoek gaan naar alternatieve modaliteiten [10]. Dit kan voorkomen dat verladers al op voorhand voor zekerheid kiezen en op een andere modaliteit overstappen. Het verbeteren van de prognoses is echter niet eenvoudig en naarmate de tijdshorizon langer wordt, worden de onzekerheden groter.

2.4 Weg (hoofdwegennet)⁹

Ook voor het vervoer (van gevaarlijke stoffen) per weg geldt dat klimaatverandering door middel van toenemende weersextremen kan leiden tot schade aan de infrastructuur en daarmee tot mogelijke verstoringen en onveilige situaties. Toenemende droogte kan leiden tot verzakking van delen van het wegdek waardoor dit kan gaan 'golven'. Dit wil zeggen dat de gelijkmatigheid, en daarmee ook de veiligheid, van het wegdek in het geding komt in de vorm van een verschillende mate van verzakking op een bepaald tracé. Dit is veelal het gevolg van verschillen in de fundering van delen van het wegdek [16]. Vitale leidingen en kabels in de ondergrond kunnen hierbij tevens beschadigd raken [12]. Vaker voorkomende extreme neerslag zal tegelijkertijd leiden tot verminderd zicht voor weggebruikers en meer plasvorming op de weg, met alle gevolgen voor de verkeersveiligheid van dien, zoals aquaplaning, alsmede voor de erosie van wegtaluds bij onder meer viaducten [12]. Verder zullen tunnels en verdiepte wegen steeds kwetsbaarder worden voor (frequenter) onderlopen als gevolg van hevige neerslag. Tunnels die tegelijkertijd door (tijdelijk) hogere waterstanden kunnen worden opgedreven en zwaar beschadigd kunnen raken, met langdurige stremmingen en omleidingen tot gevolg [16].

Frequenter en extremere hittegolven kunnen ertoe leiden dat infrastructuur als bruggen niet meer goed kan functioneren (openen en

⁷ Bij langsdammen wordt er een dam aangelegd in de lengte van de rivier, waardoor er een hoofdgeul (voor gebruik van de binnenvaart) en een nevengeul ontstaan.

⁸ Zoutindringing refereert aan een situatie waar zout zeewater de plek inneemt van zoet water of mengt tot brak water, bijvoorbeeld bij de monding van rivieren.

⁹ Het hoofdwegennet omvat alle wegen die van nationaal belang zijn, die in die hoedanigheid de belangrijkste bestuurlijke en economische centra in Nederland met elkaar verbinden en die de mainports ontsluiten naar het achterland [12].

sluiten) en dat asfalt omhoog wordt gedrukt ('spatten'). Tevens geldt dat er mogelijk vaker storingen optreden in elektronische systemen [15, 16]. Tot slot bestaat het risico op 'zomergladheid' doordat tijdens de eerste regenbui na een lange periode van droogte niet eerder weggespoeld vuil (rubber, olie, roet) zorgt voor gladheid [12]. Bovenstaande factoren resulteren in een verhoogde waarschijnlijkheid van verkeersongelukken op het hoofdwegennet. Berm- en natuurbranden kunnen ook in het wegverkeer zorgen voor verstoringen, waardoor vrachtverkeer tijdelijk andere routes moet nemen [16].

Om gevaarlijke situaties als gevolg van klimaatverandering zo veel mogelijk te voorkomen, is het onder meer van belang om de hemelwaterafvoer (en het grondwaterpeil) op en rond snelwegen goed te reguleren en de capaciteit, dan wel werking, hiervan af te stemmen op veranderende neerslagpatronen. Een goed ingerichte hemelwaterafvoer rond wegen kan ook helpen met het bufferen van water ten tijde van aanhoudende droogte [12, 15]. De inrichting van hemelwaterafvoer heeft ook effect op de ontwikkeling van een ongevalsscenario waarbij er een gevaarlijke vloeistof vrijkomt. Deze zal namelijk net als het hemelwater worden afgevoerd. (een en ander is afhankelijk van de viscositeit van de betreffende gevaarlijke vloeistof).

Ook is het steeds meer van belang om bij de aanleg van nieuwe wegen rekening te houden met het bodemtype en de gevoeligheid ervan voor bodemdaling als gevolg van veranderingen in neerslag. Voor bestaande wegen kan tijdens onderhoud worden bekeken of er voor andere funderingsconstructies dient te worden gekozen [12, 15].

2.5 Buisleiding

Van alle hierboven genoemde modaliteiten zijn buisleidingen relatief goed bestand tegen de verschillende effecten van klimaatverandering. Door de plaatsing in de ondergrond zijn ze bijvoorbeeld een stuk minder gevoelig voor de effecten van langdurige hitte (uitzetting, 'spatting'). Wel geldt dat deze modaliteit gevoeliger is voor verzakkingen van de bodem [17], onder meer als gevolg van veranderingen in het grondwaterpeil door periodes van aanhoudende neerslag en droogte. Ook kunnen veranderende waterstanden en bijkomende zaken als bodemerosie ervoor zorgen dat de gronddekking van buisleidingen verandert, waardoor het risico op schade toeneemt. Daarnaast kunnen buisleidingen die (deels) in de rivierbodem liggen onbedoeld opdrijven (interview #4). Bodemerosie en het bodemprofiel kunnen door de grondbeheerder of leidingbeheerder worden gemonitord, zodat er tijdig maatregelen getroffen kunnen worden [18]. Bij nieuw aan te leggen buisleidingen is het van belang om al op voorhand goed na te denken over de te nemen route van een buisleiding, met inachtneming van de verschillende typen ondergrond en de gevoeligheid hiervan voor bodemdaling. Zo is zandgrond hier minder gevoelig voor dan klei- of veengrond.

2.6 Samenvatting gevolgen van klimaatverandering

Nederland krijgt steeds meer te maken met weersextremen in de vorm van extreme hitte, droogte en neerslag, waardoor ongestoord gebruik van de fysieke infrastructuur onder druk staat. Als gevolg van extreme neerslag dan wel droogte kunnen spoorwegen bijvoorbeeld vervormen (spoorspatten), onderlopen of deels wegspoelen. Tegelijkertijd zorgen extreme waterstanden ervoor dat vaarwegen (tijdelijk) minder begaanbaar worden voor de binnenvaart. Wegen kunnen verzakken of gaan 'golven' als gevolg van extreme droogte, terwijl extreme neerslag kan zorgen voor plasvorming en slecht zicht, zodat het risico op ongevallen toeneemt. Hoewel buisleidingen relatief goed bestand zijn tegen klimaatverandering, neemt ook daar het risico op verzakkingen toe. Deze druk op de fysieke infrastructuur betekent dat er soms noodgedwongen nieuwe of andere routes of modaliteiten moeten worden gekozen. Deze vorm van *modal shift* leidt tot een verschuiving van de risico's op het gebied van externe veiligheid.

De hoeveelheid hittestress voor werknemers die betrokken zijn bij het vervoer van gevaarlijke stoffen neemt toe. Dit geldt zowel voor mensen die werkzaam zijn in de buitenlucht als op kantoor. Dit alles kan leiden tot een hogere ziektelast (uitval) en concentratieproblemen.

Het klimaatbestendig inrichten van de Nederlandse infrastructuur in termen van veiligheid, capaciteit en als gezonde werkplek is een steeds belangrijkere opgave voor het gebruik en het op peil houden van de veiligheid hiervan.

3 Energietransitie

Om klimaatverandering en de in hoofdstuk 2 omschreven effecten hiervan te mitigeren, zal de uitstoot van broeikasgassen drastisch moeten worden teruggebracht. Zo heeft Nederland als doel om in 2050 nagenoeg klimaatneutraal te zijn en moet de uitstoot van CO₂ in 2030 met 55 procent zijn teruggebracht [19]. Onlangs werd echter duidelijk dat de doelstelling voor 2030 steeds verder uit het zicht verdwijnt als rigoureuze maatregelen uitblijven [20]. Een van de maatregelen die zijn gericht op deze verduurzaming is de energietransitie. Naar verwachting zullen fossiele energiebronnen de komende jaren stapsgewijs plaatsmaken voor duurzame vormen van energie. Dit betekent tegelijkertijd dat er andere (gevaarlijke) stoffen zullen worden vervoerd en dat enkele van de modaliteiten die dit vervoer uitvoeren zelf ook de stap naar (verdere) verduurzaming moeten zetten.

Duurzame energievormen zijn, in tegenstelling tot de fossiele energiebronnen, niet eindig. Daarnaast zorgen het gebruik van duurzame energiebronnen en een meer diverse energievoorziening ervoor dat Nederland minder afhankelijk is van andere landen dan bij het gebruik van fossiele brandstoffen. Zo zorgde de oorlog in Oekraïne voor een recordstijging van de energieprijzen voor Nederlandse huishoudens en bedrijven [21]. Ondanks de voordelen van duurzame vormen van energie is de energietransitie een uitdaging en is het nog onzeker hoe onze energiehuishouding er uiteindelijk uit zal komen te zien. Het blijft onzeker hoe vrachtauto's en schepen in de toekomst worden aangedreven en wat de belangrijkste energiebron voor de industrie zal zijn. De energietransitie zorgt ervoor dat transportstromen zullen veranderen. De opslag en het transport van energie zijn inherent met risico's verbonden, maar de aard en omvang van het risico verschillen per energievorm. Met de alternatieve energiebronnen, de nieuwe technieken en de schaal waarop deze worden toegepast als gevolg van de energietransitie is er vaak minder ervaring dan met het gebruik van fossiele brandstoffen. Bovendien kan er zowel in batterijen als in de meeste andere hernieuwbare energiedragers minder energie per volume worden opgeslagen, wat betekent dat er meer transport nodig is om dezelfde hoeveelheid energie te vervoeren. Uitgaande van de risicomodelbenadering dat elke vervoersbeweging een kleine kans op een ongeval heeft, zorgt een toename van het aantal transportbewegingen op een route ervoor dat de kans op een ongeval op die route ook toeneemt.

De belangrijkste alternatieve vormen van energie worden hieronder toegelicht, niet alleen om ontwikkelingen hieromtrent uit te lichten, maar ook om te dienen als context voor de andere onderdelen van deze verkenning. Een overkoepelend thema in de energietransitie is onzekerheid.



Het is onduidelijk welke vorm van energie in welke mate gebruikt zal worden en hoe groot de transportstromen van de verschillende energiedragers zullen zijn (interview #3). Prognoses van vervoersstromen zijn snel achterhaald en het is nog niet duidelijk welke modaliteiten voor het transport van deze energiedragers in welke mate zullen worden ingezet. Dit bemoeilijkt het anticiperen op de risico's van het transport van deze gevaarlijke stoffen, bijvoorbeeld de voorbereiding op de incidentbestrijding. Bovendien kan een *lock-in*-scenario investeringen vertragen en de ontwikkeling van alternatieve energiedragers in de weg zitten [22] (interview #4). In dat geval is er volop geïnvesteerd in infrastructuur voor een bepaalde energiedrager, zoals een ammoniakbuisleiding, en moeten de investeringen worden terugverdiend, terwijl deze energiedrager later niet de meest optimale keuze blijkt te zijn. De keuze om investeringen wel of niet te doen kan van invloed zijn op de gebruikte modaliteit en daarmee op de externe veiligheidsrisico's. Zolang bijvoorbeeld de investeringen in een ammoniakbuisleiding uitblijven, zal de stof op andere manieren vervoerd worden. Welke energiedrager gebruikt wordt, beïnvloedt het type effecten in het geval van een ongeval (bijvoorbeeld brandbaar versus giftig).

3.1 Elektriciteit

Veel processen die energie vereisen en nu gebruikmaken van fossiele brandstoffen, zullen in de toekomst geëlektrificeerd worden. Denk hierbij aan het verwarmen van huizen met een warmtepomp, koken op inductie of elektrisch rijden. Om de CO₂-uitstoot te verminderen, is het nodig dat de benodigde elektriciteit in de toekomst uit een duurzame bron komt. Nu wordt elektriciteit vaak opgewekt met steenkool of aardgas, maar in de toekomst zal dit steeds vaker met windturbines of zonnepanelen gebeuren. Daarnaast is het huidige kabinet van plan om het aantal kerncentrales uit te breiden, zodat er in de toekomst meer elektriciteit zal worden opgewekt [23].

Als gevolg van de energietransitie zal het gebruik van fossiele brandstoffen naar verwachting afnemen, waardoor ook transportstromen zullen veranderen. Als gevolg van de voorgenomen uitbreiding van het aantal kerncentrales wordt er bijvoorbeeld een toename van de hoeveelheid radioactief afval verwacht [24], waardoor er mogelijk ook meer radioactief materiaal getransporteerd zal worden. Het aantal transporten met radioactief materiaal als gevolg van de werking van een kerncentrale maakt echter slechts een klein deel uit van het totaal aantal transporten met radioactieve stoffen [25].¹⁰ Per nieuwe kerncentrale zullen er naar verwachting enkele transporten per jaar bij komen, waarbij het transport met name over de weg zal plaatsvinden, afhankelijk van de locatie van de kerncentrale. Zeer incidenteel kan er mogelijk ook transport van opgewekt nucleair materiaal per spoor vanuit Frankrijk richting de COVRA in Zeeland plaatsvinden. Er worden strenge eisen gesteld aan de transportverpakking van nucleair materiaal, zodat de kans op emissies als gevolg van een transportongeval uiterst klein wordt geacht [26].

Een belangrijke uitdaging bij de elektrificatie is de opslag van elektriciteit. Stroom moet immers ook beschikbaar zijn als de zon niet schijnt of als het windstil is. Een overschot aan energie kan worden opgeslagen in energieopslagsystemen (EOS'en) zoals buurt- en thuisbatterijen, waarbij ook rekening gehouden moet worden met externe veiligheidsrisico's [27]. De toenemende elektrificatie en de noodzaak tot het opslaan van energie, zal leiden tot een toename van het vervoer van batterijen en het gebruik van batterijen in voertuigen [28]. Ook zal er een toename zijn van het vervoer van batterijenafval en defecte batterijen. Hierbij dient er aandacht te zijn voor de risico's die dit met zich meebrengt, zoals een brand waarbij gevaarlijke stoffen vrijkomen, of een explosie. De internationale regelgeving voor het vervoer van batterijen voor alle modaliteiten is constant in ontwikkeling. Zo wordt er gekeken naar de classificatie en vervoersvoorwaarden voor het vervoer van verschillende typen batterijen (interview #7). Aangezien de hoeveelheid energie die in een batterij kan worden opgeslagen per volume veel lager is dan bij bijvoorbeeld diesel, vormt het elektrificeren van transport zelf een uitdaging, met name voor langere afstanden. Voertuigen kunnen dan immers minder lading meenemen of moeten vaker opladen, wat de efficiëntie van het transport vermindert. Meer hierover in paragraaf 3.7.

¹⁰ Formeel valt het vervoer van splijtstoffen niet onder de Wet vervoer gevaarlijke stoffen. Echter, om een zo goed mogelijk beeld te geven van ontwikkelingen rond de energietransitie, is deze informatie hier alsnog opgenomen.

Niet alle processen kunnen overigens geëlektrificeerd worden. Met name industriële processen die in korte tijd grote hoeveelheden energie gebruiken, vereisen een andere aanpak. Ook netcongestie, een tekort aan capaciteit op het elektriciteitsnet op piekmomenten, kan elektrificatie in de weg zitten. Daarom zijn er nog andere energiedragers nodig, die ook vervoerd moeten worden of als brandstof gebruikt zullen worden. Er kan elektriciteit gebruikt worden voor de productie van deze brandstoffen, zoals waterstof, en *e-fuels*, zoals synthetisch geproduceerde e-diesel. Hoe het energiesysteem wordt ingericht, bijvoorbeeld met lokale energyhubs,¹¹ en waar energiedragers worden geproduceerd, bepaalt voor een deel welke stoffen en routes gebruikt worden.

3.2 Waterstof

Een belangrijke alternatieve energiedrager die naar verwachting een grote rol zal spelen in de energietransitie is waterstof (H_2). Waterstof kan gemaakt worden door de splitsing van water, met behulp van elektriciteit of rechtstreeks gebruik van fossiele brandstoffen. Een belangrijk voordeel is dat waterstof niet giftig is en er bij de verbranding van waterstof geen CO_2 vrijkomt. Waterstof is echter wel brandbaar en explosief, zodat er bij het transport, net als bij aardgas, rekening moet worden gehouden met externe veiligheidsrisico's. Bovendien is waterstof een klein molecuul, waardoor het bijvoorbeeld makkelijker uit leidingen kan weglekken dan aardgas. Als waterstof onverhoopt vrijkomt, kan er na ontsteking een volkbrand, fakkelbrand of explosie ontstaan. Doordat er geen roet ontstaat bij de verbranding van waterstof, zijn waterstofvlammen onzichtbaar, wat lastig kan zijn bij de bestrijding van een brand.

Voor de energietransitie is het belangrijk dat waterstof op een duurzame manier geproduceerd wordt. Indien waterstof gemaakt wordt met hernieuwbare elektriciteit, wordt gesproken van 'groene' waterstof. Als waterstof gemaakt is met behulp van fossiele brandstoffen (meestal aardgas), waarbij dus CO_2 vrijkomt, wordt gesproken van grijze waterstof; hierbij is er naast een transportstroom van waterstof dus ook nog transport van fossiele brandstoffen, met de bijkomende externe veiligheidsrisico's van dien. Er is ook nog een tussenvorm die minder duurzaam is dan groene waterstof maar de voorkeur verdient boven grijze waterstof. Dit wordt blauwe waterstof genoemd. Hierbij wordt de CO_2 die vrijkomt bij de productie van waterstof afgevangen en hergebruikt of opgeslagen. Het afvangen van CO_2 zorgt voor een extra transportstroom en dus extra externe veiligheidsrisico's naast het transport van het benodigde aardgas en de geproduceerde waterstof. Blauwe waterstof is dus niet volledig hernieuwbaar en emissieloos, maar verdient de voorkeur boven grijze waterstof zolang er nog niet genoeg groene waterstof beschikbaar is.

Momenteel is 95 procent van de waterstof in Europa nog afkomstig uit fossiele brandstoffen (grijze waterstof) [29]. Om de beschikbaarheid van duurzaam geproduceerde (groene) waterstof te verhogen, zullen er veel nieuwe elektrolyzers en grote hoeveelheden elektriciteit nodig zijn, tenzij groene waterstof wordt geïmporteerd uit landen met lagere energieprijzen. In dit laatste geval ontstaat er wel weer afhankelijkheid

¹¹ Een energyhub is een lokaal systeem waar energieopwekking, opslag en vraag lokaal op elkaar worden afgestemd tussen verschillende partijen, zodat het elektriciteitsnet ontlast wordt.

van andere landen. Naar verwachting komt de waterstof dan in de vorm van een waterstofdrager aan in een van de havens, waarvandaan deze ofwel zal worden omgezet in waterstof en in die vorm zal worden vervoerd, ofwel verder zal worden getransporteerd in de vorm van de waterstofdrager. Er moet dus ruimte zijn in de haven voor conversie, opslag en doorvoer. Naar verwachting is er in 2050 circa 5,5 megaton groene waterstof nodig, die vooral gebruikt zal worden voor de energie-intensieve industrie, als grondstof voor ammoniakproductie of voor de productie van biogene en synthetische brandstoffen [30].

Een belangrijke barrière voor het gebruik van waterstof is de lage energiedichtheid. Dit is de hoeveelheid energie die in een bepaald volume is opgeslagen. Bij een normale druk en temperatuur, bevat een gelijk volume waterstof circa drie keer minder energie dan een gelijk volume methaan, het hoofdbestanddeel van aardgas [31]. Daarom wordt waterstof vaak vervoerd of opgeslagen onder hoge druk. Bij het vervoer van waterstof over de weg met behulp van tubetrailers en batterijwagens worden drukken van circa 200-500 atmosfeer gehanteerd, en vrachtauto's die op waterstof rijden gebruiken drukken van circa 350 bar [31]. Deze hoge drukken brengen, naast het reguliere brandbare en explosieve karakter van waterstof, een risico met zich mee tijdens het vervoer, zodat er strenge eisen gelden voor het vervoer van gecomprimeerde waterstof [32].

Door lage energieprijzen in andere landen kan import van waterstof financieel aantrekkelijk zijn, maar het transport ervan wordt bemoeilijkt door de lage energiedichtheid, zeker bij gebrek aan een waterstofbuisleiding. Voor afstanden tot 1000 km, is transport van waterstof per buisleiding waarschijnlijk de goedkoopste optie. Over langere afstanden worden andere alternatieve energiedragers, zoals ammoniak en methanol, aantrekkelijker [33]. Dit zorgt voor andere uitdagingen bij het vervoer (zie paragrafen 3.3 en 3.4). De alternatieve energiedragers zullen dan ofwel in de haven worden omgezet naar waterstof, of in de vorm van de alternatieve energiedrager worden vervoerd. Naar verwachting zullen er verschillende parallelle stromen bestaan.

Een mogelijk oplossing om de energiedichtheid drastisch te verhogen is het vloeibaar maken van waterstof. Vloeibare waterstof wordt ook wel cryogene waterstof genoemd. Waterstof wordt echter pas vloeibaar bij een temperatuur van -253 °C. Er is dus veel energie nodig om waterstof vloeibaar te maken. Daarom is de vraag in hoeverre het transport van cryogene waterstof daadwerkelijk zal plaatsvinden, en hoe haalbaar dit is over langere afstanden [34]. Ondanks de energieverliezen is het gebruik van cryogene waterstof aantrekkelijk, omdat er minder ruimte nodig is om dezelfde hoeveelheid energie te vervoeren dan bij gasvormige waterstof. Het kabinet ziet vloeibare waterstof daarom als kansrijk [35]. De energiedichtheid in vloeibare staat is nog altijd ongeveer 3,6 keer lager dan de energiedichtheid van bijvoorbeeld benzine [20]. Momenteel mag vloeibare waterstof op grond van Europese regels echter alleen in containertanks worden vervoerd. Daardoor kunnen er nu nog geen grote hoeveelheden vloeibare waterstof worden vervoerd. Er wordt wel gekeken naar de veiligheidsvoorschriften die nodig zijn om vloeibare waterstof op grote schaal per schip te kunnen transporteren. Er gaan specifieke risico's

gepaard met het vloeibare karakter van waterstof, zoals het risico op brandwonden door de extreem lage temperatuur en explosierisico's [36].

Een andere optie is het omzetten van waterstof naar andere waterstofrijke energiedragers, zoals ammoniak, en *Liquid Organic Hydrogen Carriers* (LOHC's) als methanol, met een hogere dichtheid. Met name bij vervoer over grote afstanden, zullen waterstofrijke energiedragers een grote rol spelen. Deze energiedragers worden hieronder verder toegelicht.

3.3 Ammoniak

Waterstof kan worden omgezet naar ammoniak (NH_3), die een hogere energiedichtheid heeft dan waterstof. Dit betekent dat er per volume-eenheid meer energie aanwezig is, zodat dus minder ruimte nodig is om dezelfde hoeveelheid energie te vervoeren of op te slaan. De productie van ammoniak gebeurt wereldwijd al op grote schaal in de (kunstmest)industrie, voornamelijk echter veelal met energie uit fossiele bronnen. Aangezien ammoniak een van de meest verhandelde stoffen ter wereld is, is er al ruime ervaring met transport en opslag en is er al veel infrastructuur voorhanden [37]. Ammoniak kan ofwel direct gebruikt worden als brandstof of weer worden omgezet ('gekraakt') naar waterstof. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat bij het kraken van ammoniak milieubelastende stikstofoxiden (NO_x) vrijkomen [38]. Daarnaast gaat er bij iedere omzettingsschapel veel energie verloren, zodat direct eindgebruik van ammoniak het meest efficiënt is.

De technieken om ammoniak te produceren en te vervoeren zijn al in een vergevorderd stadium van ontwikkeling, en ammoniak is met een kookpunt van -33 °C makkelijker vloeibaar te maken dan waterstof. Daarom is de verwachting dat ammoniak, zeker in het begin van de energietransitie, een grote rol zal spelen bij de import en export van waterstof. Oorspronkelijk was de verwachting dat de vraag naar ammoniak de komende jaren verdubbelen [34]. Nu een ammoniakbuisleiding voorlopig geen onderdeel uitmaakt van de Delta Rhine Corridor (zie hoofdstuk 4), is onzeker in hoeverre dat scenario nog realistisch is. Momenteel wordt ammoniak vervoerd via alle modaliteiten. In Nederland vindt het vervoer van ammoniak per buisleiding voornamelijk op industrieterreinen plaats, maar dan slechts op een zeer kleine schaal die niet te vergelijken is met de hoeveelheden die voor de energietransitie noodzakelijk zijn (interview #4). Over kleine afstanden wordt gekoeld ammoniak door geïsoleerde buisleidingen getransporteerd, terwijl ammoniak over grotere afstanden onder druk wordt getransporteerd, om de stof vloeibaar te houden.

Ammoniak is minder brandbaar en explosief dan waterstof. Daarentegen is de stof zeer giftig. De toxiciteit van ammoniak zorgt ervoor dat een ongeval bij het transport of de opslag van ammoniak op grote afstand nog slachtoffers zou kunnen eisen [39]. Bij een ongeval zou een tank of buisleiding kunnen scheuren, waarna er ammoniak uit stroomt en verdampt, zodat er een giftige wolk ontstaat. Het effect van een giftige wolk reikt potentieel verder dan dat van een brand of explosie en kan tot op grote afstand van het ongeval merkbaar zijn. Doordat ammoniak nog lang kan verdampen uit de gevormde plas, kan het zeker bij grote ongevallen,

zoals buisleidingongevallen, lang duren voordat de omgeving weer veilig is. In verband hiermee streeft het kabinet ernaar om de opslag en het transport van ammoniak te beperken [35]. Bij voorkeur wordt ammoniak in de zeehavens gebruikt als eindproduct of direct geconverteerd naar een ander product [35], waardoor er minder ammoniak wordt getransporteerd en de kans op een ongeval met ammoniak afneemt [40]. Indien dit niet mogelijk is, geeft het kabinet de voorkeur aan transport via buisleiding of binnenvaart, waarbij het kabinet transport per spoor zo veel mogelijk wil ontmoedigen [35]. Hierbij dient te worden opgemerkt, dat er momenteel nog geen concrete plannen zijn voor de aanleg van een ammoniakbuisleiding. Oorspronkelijk maakte een ammoniakbuisleiding deel uit van de scope van de Delta Rhine Corridor (zie hoofdstuk 4) en hoewel hier ruimte voor gereserveerd blijft in de buisleidingenstrook, wordt er in eerste instantie geen ammoniakbuisleiding aangelegd [41].

De kosten voor de productie van groene ammoniak, dat wil zeggen ammoniak geproduceerd met behulp van hernieuwbare energie, worden veelal bepaald door de kosten van hernieuwbare elektriciteit, terwijl de kosten van (intercontinentaal) transport van ammoniak, slechts voor zo'n 15 procent de prijs bepalen [42]. Het ligt dus in de lijn der verwachting dat ammoniak in landen met een lage prijs voor hernieuwbare elektriciteit geproduceerd wordt en vervolgens per schip naar de haven van Rotterdam vervoerd wordt. De naar verwachting relatief lage prijs van ammoniak in vergelijking met die van andere waterstofdragers, maakt ammoniak tot een aantrekkelijke waterstofdrager [38]. Indien de veiligheidsmaatregelen die nodig zijn voor het transport of de opslag van ammoniak echter veel kosten, zou ammoniak minder aantrekkelijk kunnen worden. Afgezien daarvan brengen het transport en de opslag van ammoniak door het giftige karakter ervan een ruimtelijk vraagstuk met zich mee. De ruimtelijke impact van installaties zelf is beperkt, maar afhankelijk van politieke keuzes met betrekking tot preventieve maatregelen kunnen de benodigde veiligheidsafstanden een groot ruimtebeslag eisen [22].

3.4 Methanol

Een andere mogelijke energiedrager is methanol, dat groen geproduceerd kan worden uit CO₂ en waterstof. Methanol maakt onderdeel uit van de groep van *liquid organic hydrogen carriers* (LOHC's), een klasse vloeibare organische verbindingen die als waterstofdrager kunnen fungeren. Om daadwerkelijk een hernieuwbare energiedrager te zijn, is het van belang dat methanol geproduceerd wordt met behulp van groene waterstof en koolstof uit een hernieuwbare koolstofbron, zoals afgevangen CO₂. Net als bij waterstof en ammoniak, wordt de prijs van methanol grotendeels bepaald door de prijs van hernieuwbare energie [42]. Momenteel wordt methanol veelal uit fossiele bronnen geproduceerd en is er nog niet genoeg afgevangen CO₂ beschikbaar om genoeg groene methanol te produceren. De verwachting is dat het richting 2050 makkelijker wordt om genoeg CO₂ duurzaam af te vangen [38]. Methanol kan direct als eindproduct gebruikt worden als brandstof of grondstof, of als waterstofdrager waarbij waterstof weer vrijgemaakt wordt. Als methanol geïmporteerd wordt, kan het dus zo zijn dat methanol in de haven wordt omgezet in waterstof voor doorvoer in het nationaal waterstofnetwerk (zie hoofdstuk 4) of voor processen die waterstof vereisen, of dat vervoer

naar het achterland direct zonder omzetting plaatsvindt. Bij het vrijmaken van waterstof treedt echter energieverlies op, waardoor direct eindgebruik van methanol de voorkeur heeft. Daarnaast kan bij het vrijmaken in theorie de zeer zorgwekkende stof (ZZS) koolstofmonoxide (CO) vrijkomen. Dit is echter niet per definitie problematisch omdat CO met behulp van water weer kan worden omgezet tot CO₂ [43]. Er zijn wel vragen of methanol op grote schaal duurzaam geproduceerd kan worden en of er voldoende duurzame CO₂ aanwezig is.

Een belangrijk voordeel voor het gebruik van methanol is dat het minder giftig is dan ammoniak en er bij een ongeval geen gifwolk ontstaat, zodat de afstanden waarop dodelijk slachtoffers kunnen vallen bij een ongeval vele malen kleiner zijn. Hierdoor wordt het gebruik door de maatschappij wellicht makkelijker geaccepteerd dan het gebruik van ammoniak [40]. Bovendien is methanol vloeibaar bij kamertemperatuur, zodat het makkelijker op te slaan en te vervoeren is dan waterstof en het niet gekoeld hoeft te worden. Hoewel methanol een hoge energiedichtheid heeft in vergelijking met waterstof, is deze echter nog steeds lager dan voor fossiele brandstoffen als diesel, die een 2,2 keer hogere energiedichtheid heeft [39].

Naar aanleiding van een multicriteria-analyse, wordt methanol door het kabinet gezien als veelbelovende waterstofdrager. Met name direct eindgebruik van methanol, zonder omzetting naar waterstof, scoort hoog [35]. De verwachte (import)kosten van methanol verschillen sterk, waardoor het onzeker is in hoeverre groene methanol kan concurreren met andere energiedragers [40].

3.5 LOHC's

Naast methanol bestaan er nog vele andere LOHC's.¹² Op de gewenste locatie kan waterstof worden ontbonden, waarbij de originele waterstofarme verbinding weer teruggewonnen wordt. Deze kan dan gebruikt worden om waterstof opnieuw te binden. Een belangrijk voordeel hierbij is dat LOHC's onder normale omstandigheden per definitie vloeibaar zijn, wat het transport en de opslag vereenvoudigt en de risico's die gepaard gaan met het onder druk brengen of koelen van waterstof elimineert. Daarnaast kan er dankzij het vloeibare karakter al bestaande petrochemische infrastructuur worden hergebruikt. Een belangrijk nadeel is dat er bij LOHC's (met uitzondering van methanol) dubbele transportstromen op gang komen. Om de waterstofarme drager te kunnen hergebruiken, moet deze immers weer vervoerd worden naar de locatie waar waterstof gebonden wordt [44], hetgeen dus extra infrastructuur en opslagcapaciteit vereist. Afgezien daarvan brengen extra vervoersbewegingen ook weer risico's met zich mee. De veiligheidseffecten van een ongeval met LOHC's zijn over het algemeen echter vele malen kleiner dan van een ongeval met waterstof of ammoniak. Enkele LOHC's zijn weliswaar brandbaar [45], maar de effectafstanden die gepaard gaan met het transport van brandbare vloeistoffen zijn vele malen kleiner dan voor bijvoorbeeld ammoniak. Veel LOHC's bevatten echter zeer zorgwekkende stoffen (ZZS) of kunnen bij

¹² Het gebruik van LOHC's gaat gepaard met twee stofstromen (paren), namelijk een waterstofarme en een waterstofrijke drager. Waterstof wordt aan de waterstofarme drager gebonden, waardoor een waterstofrijke drager ontstaat.

het afgeven van waterstof ZZS vormen [43, 46]. Als de waterstofarme verbinding op zich een ZZS is, gaat het gebruik van de waterstofdrager gepaard met grote transportstromen van ZZS. Aangezien ZZS gevaarlijk zijn voor mens en milieu, is het belangrijk om hier in het ontwerp van de LOHC's rekening mee te houden. De LOHC-paren die nu als kansrijk genoemd worden, zijn tolueen/methylcyclohexaan (MCH) en dibenzyltolueen (DBT)/perhydropdibenzyltolueen (PDBT) [34].

De externe veiligheidsrisico's van tolueen en MCH zijn vergelijkbaar met die van benzine. Net als benzine zijn tolueen en MCH geschikt om door buisleidingen te transporteren. DBT/PDBT lijken wat eigenschappen betreft meer op diesel, maar de viscositeit (stroperigheid) maakt vervoer per buisleiding lastig. Indien ervoor wordt gekozen om DBT niet uit het buitenland te importeren, dient er vanuit veiligheidsperspectief rekening te worden gehouden met de productie van dibenzyltolueen, waarbij het giftige benzylchloride nodig is. Voor de productie van benzylchloride is chloorgas nodig. Chloorgas is een zeer toxisch gas, zodat het transport van chloorgas externe veiligheidsrisico's met zich meebrengt.

De toekomstige importkosten van LOHC's zijn momenteel erg onzeker en bepalen voor een groot deel in hoeverre LOHC's aantrekkelijk zijn voor grootschalig gebruik [38]. Naarmate het dehydrogeneren (vrijmaken van waterstof) uit LOHC's efficiënter verloopt, zullen LOHC's aantrekkelijker worden. Het kabinet ziet LOHC's als een geschikte oplossing voor de grootschalige doorvoer voor bedrijven die niet zijn aangesloten op het nationaal waterstofnetwerk [35].

3.6 Overige energiedragers

Naast de hierboven genoemde energiedragers, is het mogelijk om brandstoffen die nu al veelvuldig gebruikt worden, zoals diesel, duurzaam te synthetiseren met behulp van elektriciteit. Dan wordt er gesproken over *e-fuels*. Het nadeel van deze brandstoffen is dat het allemaal brandstoffen op basis van koolstof zijn, waardoor bij verbranding altijd CO₂ in de atmosfeer terechtkomt. Het gebruik van *e-fuels* heeft een aantal voordelen. Zo zijn er geen infrastructurele aanpassingen nodig, hebben deze brandstoffen een hoge energiedichtheid en is er al ervaring met de veiligheidsaspecten. De synthetische brandstof heeft immers dezelfde eigenschappen als zijn fossiele tegenhanger. Zo zou e-diesel gebruikt kunnen worden voor het wegtransport, al zijn de verwachte kosten en de benodigde energie voor de productie belangrijke nadelen [47].

De overheid ziet ook een belangrijke rol voor het synthetische alternatief voor vloeibaar aardgas (LNG), LSM (*liquid synthetic methane*) genaamd, al is de productie van LSM op grote schaal nog in ontwikkeling [35]. LSM is met name aantrekkelijk om elektriciteit te kunnen opwekken op het moment dat er weinig hernieuwbare elektriciteit voorhanden is, bijvoorbeeld bij gebrek aan zon en wind [38]. Tijdens het transport kunnen er net zoals bij regulier aardgas echter wel kleine hoeveelheden methaan weglekken, wat een negatief effect heeft op de duurzaamheid van LSM, aangezien methaan een veel sterker broeikasgas is dan CO₂ en de volledige emissieloosheid van LSM in de weg staat. LSM zou ook een rol kunnen spelen als transitiebrandstof in de scheepvaart.

Er zijn nog vele andere mogelijke energiedragers, zoals natriumboorhydride (NaBH_4). De technologie hiervoor is echter nog in de beginfase van ontwikkeling en lijkt op dit moment nog niet kansrijk. Bovendien is grootschalig transport hiervan nog niet toegestaan. Daarom wordt hier in dit rapport niet verder op ingegaan. Wel is het belangrijk om de ontwikkelingen continu te blijven evalueren. Door technologische en economische ontwikkelingen zou een andere energiedrager in de toekomst aantrekkelijker kunnen worden.

3.7 Energietransitie per modaliteit

De energietransitie heeft gevolgen voor alle modaliteiten, doordat stofstromen zullen veranderen. Daarnaast zullen vervoersmiddelen in de toekomst vrijwel niet meer door fossiele brandstoffen worden aangedreven, maar door alternatieve energiedragers. Zoals uit de eerdere paragrafen al blijkt, is het nog erg onzeker welke energiedrager in de toekomst in welke mate welke rol zal vervullen en welke hoeveelheden er vervoerd zullen worden via welke modaliteit. Naar verwachting zullen er verschillende energiestromen naast elkaar bestaan, zodat er opslag-, overslag- en transportmogelijkheden voor deze verschillende stromen moeten zijn. Afgezien daarvan vraagt het gebruik van alternatieve energiedragers als brandstof om tank-, laad- en bunkerfaciliteiten. Welke alternatieve energiedrager gebruikt wordt als brandstof zal ook invloed hebben op transportstromen, omdat er dan een zekere vraag naar die energiedrager ontstaat. Alternatieve energiedragers hebben soms andere externe veiligheidsrisico's, bijvoorbeeld omdat ze toxisch zijn of het vervoer onder aangepaste omstandigheden moet plaatsvinden. Deze aspecten zullen hieronder verder worden toegelicht per modaliteit.

3.7.1 Weg

Om klimaatverandering tegen te gaan, moet wegtransport 95-100 procent emissieloos zijn richting 2050 [48]. Op korte afstanden kunnen elektrische vrachtwagens een goed alternatief zijn voor fossiele brandstoffen, maar voor langere afstanden is dit momenteel nog geen realistische oplossing, aangezien er nog geen vrachtauto's met een voldoende groot kilometerbereik zijn [47]. Om elektrisch wegtransport te stimuleren is een uitgebreide infrastructuur van oplaadpunten vereist, maar ook dan is het de vraag of de extra benodigde tijd in verband met het regelmatig opladen economisch gezien aantrekkelijk genoeg is. Een belangrijk aandachtspunt vanuit veiligheidsperspectief is de brandveiligheid en incidentmanagement in het geval van elektrische trucks [49]. Batterijpakketten en de benodigde laadvermogens van e-trucks zijn vele malen groter dan bij personenauto's. Het gevaar bij Li-ion batterijen is een *thermal runaway*, waarbij er brand kan ontstaan en giftige gassen kunnen vrijkomen. Bovendien is er een risico op explosies. Een vergelijking tussen e-bussen en dieselmotoren liet zien dat de kans op brand bij een elektrische bus kleiner was en langzamer verliep. Wel was de toxiciteit iets hoger, maar over het algemeen werden elektrische bussen niet onveiliger geacht [50]. Wel zijn batterijbranden lastiger te bestrijden dan traditionele dieselbranden.

Thermal runaway van een batterij kan onder andere veroorzaakt worden door een interne beschadiging van de batterij, die van buitenaf lastig te signaleren is. De fabrikanten werken aan verbetering van

batterijmanagementsystemen om interne beschadigingen nog sneller op te merken, waardoor dit risico enigszins gemitigeerd wordt. Het is op dit moment nog lastig om eisen op te stellen voor de levensduur van batterijen en ook is nog niet duidelijk hoe dit gedefinieerd moet worden (laadcycli, leeftijd, kilometers enzovoort) (interview #6). *Thermal runaway* kan echter ook veroorzaakt worden door externe factoren, zoals een botsing of externe brand. Hoewel de brandlast over het algemeen niet heel veel groter is dan bij dieselloertuigen, zijn branden van e-voertuigen lastiger te blussen en kan een Li-ion brand opnieuw oplaaen nadat deze geblust is. Vrachtauto's passen niet in dompelcontainers of *salvagecontainers* die bij het bergen van elektrische personenauto's worden gebruikt, zodat er een nieuwe strategie vereist is voor het bergen van elektrische vrachtwagens. Bovendien dient veiliggesteld te worden dat de brand niet naar de lading kan overslaan, in het bijzonder wanneer de lading een brandbare stof betreft. Momenteel is het vervoer van gevaarlijke stoffen met een elektrisch aangedreven voertuig toegestaan voor enkele categorieën voertuigen en gevaarlijke stoffen. Bredere toelating zal pas gebeuren als dit veilig wordt geacht. Doordat de bestrijding lastiger verloopt en langer duurt, kan er bij een incident overlast ontstaan voor het andere wegverkeer (interview #6). Een bepaald wegdeel is dan mogelijk langere tijd niet toegankelijk en de inzet van de brandweer duurt langer, zodat brandweerlieden en materiaal niet beschikbaar zijn voor andere incidenten.

Als alternatief voor batterijen kan (groene) waterstof gebruikt worden als brandstof voor het vrachtverkeer. Door de lage dichtheid kunnen er op hetzelfde volume brandstof aanzienlijk minder kilometers gereden worden dan op diesel, zodat het bereik van waterstofvrachtauto's een stuk lager ligt. In de TEN-T-wetgeving van de Europese Commissie is vastgelegd dat er elke 200 km en in iedere grote stad van het TEN-T-netwerk (het *Trans-European Network of Transportation*) een waterstoftankstation geschikt voor vrachtauto's moet zijn [51]. Door de lagere energiedichtheid van waterstof, zal een tankstation vaker bevoorraad moeten worden, zo'n 5,7 keer vaker dan een dieseltankstation voor waterstof onder druk en 1,4 keer vaker voor vloeibare waterstof [52]. Hierdoor zullen er vaker tankauto's met waterstof naartoe rijden.

Als alternatief kan ook e-diesel gebruikt worden, die geproduceerd wordt uit (groene) waterstof en CO₂. Dit heeft als voordeel dat er geen nieuwe veiligheidsrisico's bij komen en de energiedichtheid gelijk blijft. Daarnaast zijn er minder investeringen benodigd, voldoet de huidige infrastructuur, zijn er geen wijzigingen aan de voertuigen noodzakelijk [52] en is de bevoorrading van tankstations en het transport hetzelfde als van de fossiele brandstoffen. Een nadeel hierbij is echter dat de productie van e-diesel niet efficiënt verloopt, zodat er veel energie verloren gaat en er grote hoeveelheden groene elektriciteit benodigd zijn. Bovendien moet er een constante stroom CO₂ beschikbaar zijn en zal de prijs van e-diesel aanzienlijk hoger liggen dan van fossiele diesel. Ammoniak wordt door zijn toxiciteit niet als veilige optie als brandstof voor het wegvervoer gezien, zodat er ook geen transportstromen richting tankstations en dergelijke worden verwacht.

3.7.2 *Binnenvaart*

Het is nog onzeker hoe binnenvaartschepen in de toekomst worden aangedreven als fossiele brandstoffen worden uitgefaseerd. Door de lage energiedichtheid wordt waterstof niet als realistische optie gezien. Hetzelfde geldt voor elektrisch aangedreven schepen, die alleen op korte afstand een oplossing zullen vormen omdat batterijen anders een te groot deel van de lading van het schip beslaan. Zo nemen batterijen tot een factor 100 meer ruimte in dan standaard diesel, al zou het ruimtebeslag de komende jaren door de ontwikkeling van nieuwe batterijen wel kunnen afnemen [53]. Om de laadtijd te verkorten, is het mogelijk om de batterijen in verwisselbare batterij-containers te plaatsen. Hiervoor is uitbreiding van de infrastructuur van wissellocaties noodzakelijk en moet het elektriciteitsnet het laden van de batterijcontainers op knooppunten aankunnen. De mogelijkheid van het ontstaan van batterijbranden is hierbij een belangrijk aandachtspunt (interview #6). EOS'en op schepen zijn lastig te blussen, waardoor voldoende afstand tot gevaarlijke stoffen gewenst is om domino-effecten te voorkomen. De aanwezigheid van een goed ventilatiesysteem kan de opbouw van explosieve dampen voorkomen. De batterijbrand zelf vormt door de relatief grote afstand van binnenvaartroutes tot de bebouwde omgeving niet direct een risico voor de externe veiligheid.

Als gevolg van de lagere dichtheid van alternatieve brandstoffen zullen binnenvaartschepen grotere volumes brandstof moeten meenemen om even ver te kunnen varen. Dit betekent dat er ofwel minder lading vervoerd kan worden, wat zorgt voor een lagere efficiëntie van de binnenvaart, ofwel vaker gebunkerd (het leveren van brandstof aan schepen) dient te worden. Met een toename van het aantal bunkerbewegingen neemt het risico op een incident met uitstroom en het risico voor de omgeving toe. Het bunkeren op doorgaande vaarwegen en het bunkeren van schepen met tankwagens verdient hierbij extra aandacht [54]. Daarnaast zijn er dus meer bunkerstations vereist langs de route, zodat er op meerdere plekken brandstof dient te worden opgeslagen, met een bijbehorend risico voor de omgeving tot gevolg. De beschikbaarheid van bunkerinfrastructuur voor alternatieve brandstoffen is een aandachtspunt, en aangezien binnenvaartschepen vaak internationaal varen is afstemming met buurlanden belangrijk.

Om het bunkeren van alternatieve brandstoffen veilig te laten verlopen, is een duidelijk wettelijk kader nodig. Momenteel is het varen op alternatieve brandstoffen nog niet in (internationale) regelgeving geborgd. Hierbij moet, naast bunkersituaties, gekeken worden naar de benodigde veiligheidseisen aan schepen die op deze brandstoffen varen en naar de vraag of deze schepen dan veilig gevaarlijke stoffen kunnen vervoeren (interview #7). Ook zal de energietransitie een groot ruimtebeslag vragen in de havens. Fossiele industrie en infrastructuur zullen in de overgangsperiode naast de productie, opslag en transport van alternatieve brandstoffen blijven bestaan.

Welke energiedrager gebruikt wordt voor schepen, bepaalt voor een deel ook stofstromen voor het vervoer van gevaarlijke stoffen, omdat bunkerstations bevoorraad moeten worden. Met het bunkeren van methanol en ammoniak is nog slechts beperkt ervaring [42]. Wereldwijd lijkt er meer interesse te zijn in het varen op methanol dan op ammoniak.

Vanuit extern veiligheidsperspectief is het voordeel van methanol dat de PR-10⁻⁶ contouren bij het bunkeren van relatief klein zijn, zo'n 3-5 keer kleiner dan voor LNG [55]. Omdat de beschikbaarheid van (groene) methanol en ammoniak en de benodigde schepen de komende jaren nog niet geborgd is en er veel (infrastructurele) aanpassingen vereist zijn, wordt op korte termijn vooral het bijmengen van biobrandstoffen en het varen op aardgas verwacht. Binnenvaartschepen gaan lang mee (>50 jaar), waarbij delen van de motor tussentijds worden vervangen of vernieuwd. Na ongeveer 20 jaar is de gehele motor vernieuwd [53]. Hierdoor kan het, zonder versnelde vernieuwing, lang duren voordat de vloot is verduurzaamd [54]. Afgezien daarvan zijn de investeringskosten voor alternatieve aandrijflijnen hoger dan voor standaard dieselaandrijflijnen.

Naast het varen op alternatieve brandstoffen, zorgt de energietransitie er mogelijk ook voor dat de lading van binnenvaartschepen verandert. Zo zal het transport van kolen en fossiele brandstoffen afnemen, en wordt er een toename in het vervoer van natte bulk (biobrandstoffen en chemie) verwacht [53].

3.7.3 Buisleiding

Als gevolg van de energietransitie zal de vraag naar fossiele brandstoffen afnemen, en zullen er andere stofstromen ontstaan. Hierdoor verandert de behoefte aan buisleidingen ook en zullen er in de toekomst andere stoffen via buisleidingen vervoerd worden. Bestaande delen van het aardgasnetwerk zullen hergebruikt worden voor vervoer van waterstof, en ook zullen er nieuwe buisleidingen worden aangelegd. Een overzicht van de toekomstige buisleidinginfrastructuur is te vinden in hoofdstuk 4.

Als gevolg van de toegenomen interesse in het afvangen en opslaan van CO₂ (*carbon capture & storage*, CCS) neemt de behoefte aan buisleidingen voor het vervoer van CO₂ in zowel gasvormige toestand als *dense phase*¹³ CO₂ toe. Zo zijn er in Nederland plannen voor twee buisleidingen in het Rotterdamse havengebied, Porthos & Aramis en zal er als onderdeel van de *Delta Rhine Corridor* (DRC, zie paragraaf 4.2) richting Duitsland een CO₂-buisleiding worden aangelegd. CO₂ is niet brandbaar, maar is in hoge concentraties wel giftig en verstikkend. Daarnaast kent *dense phase* CO₂ enkele andere specifieke eigenschappen waar bij de aanleg van buisleidingen rekening mee dient te worden gehouden. Voor de productie van blauwe waterstof is ook CCS benodigd. In het bijzonder in de beginfase van de energietransitie, als er nog weinig groene waterstof beschikbaar is, kan de productie van blauwe waterstof, en dus de transportstroom van CO₂ een vlucht nemen. Interessant genoeg zorgt CCS ook voor een verminderde efficiëntie van de productie van waterstof, zodat er verhoogde hoeveelheden aardgas vereist zijn voor de productie. De productie van blauwe waterstof zal dus, naast de waterstofstroom, tot transportstromen van CO₂ en aardgas leiden [31].

Mogelijk ontstaat er door de energietransitie ook een toegenomen vraag naar ammoniak als waterstofdrager. Hoewel het kabinet de voorkeur geeft aan het beperken van het transport van ammoniak en direct

¹³ In de *dense phase* bevindt CO₂ zich in de vloeistoffase of superkritische fase. De superkritische fase komt alleen voor bij relatief hoge druk. In de superkritische fase verdwijnen de faseovergangen tussen gas en vloeistof en bezit de stof eigenschappen van beide fasen.

eindgebruik in de haven, wordt indien vervoer door Nederland toch noodzakelijk is, de voorkeur gegeven aan transport per buisleiding en binnenvaart [35]. In de DRC blijft ruimte gereserveerd voor de aanleg van een ammoniakbuisleiding voor het geval de behoefte daaraan in de toekomst blijft bestaan en dit veilig wordt geacht. Een belangrijk aandachtspunt bij ammoniakbuisleidingen is dat de gevormde krater na een ongeval, zoals een leidingbreuk, volloopt met vloeibare ammoniak waaruit plasverdamping kan optreden. Als gevolg hiervan blijft er ammoniak in de lucht zitten totdat de plas volledig is verdampt. Hoewel de kans op een ongeval bij buisleidingen zeer klein is, kan het vrijkomen van grote hoeveelheden ammoniak wel gevaar opleveren voor de omgeving en kan het door plasverdamping lang duren voordat de omgeving van de buisleiding weer veilig is, waarbij de hulpverleners slechts beperkt handelingsperspectief hebben. Daarom worden de potentiële gevolgen van een incident en de (on)mogelijkheden met betrekking tot het handelingsperspectief voor de incidentbestrijders nog verder in kaart gebracht [35].

3.7.4 *Spoor*

Doordat treinen nu al grotendeels elektrisch worden aangedreven, is de verwachte impact van de energietransitie op de modaliteit zelf gering. Naar verwachting zal er geen grote verduurzamingsslag in het spoorgoederenvervoer plaatsvinden, anders dan het gebruik van hernieuwbare elektriciteit. Uiteraard kan de energietransitie wel zorgen voor veranderende vervoersstromen, doordat het vervoer van fossiele brandstoffen op de lange termijn wordt vervangen door het vervoer van alternatieve energiedragers. Hierbij dient, net als bij de andere modaliteiten, rekening gehouden te worden met de andere eigenschappen en andere externe veiligheidsaspecten van deze alternatieve energiedragers.

3.8 **Samenvatting energietransitie**

De komende jaren zullen traditionele fossiele brandstoffen vervangen worden door hernieuwbare bronnen van energie. Het is nog onzeker welke energiedrager in welke mate gebruikt zal worden en hoe deze energiedragers worden vervoerd. Daardoor is anticiperen op de risico's en het besluiten om te investeren in infrastructuur lastig. Bovendien hebben alternatieve vormen van energie vaak andere risico's en wordt gebruikgemaakt van nieuwe technieken. Hiermee is vaak nog minder ervaring, zoals op het gebied van veilig bunkeren en de respons tijdens incidenten. Ook zijn infrastructurele aanpassingen of uitbreidingen vereist, zoals de aanleg van nieuwe buisleidingen. Aangezien traditionele fossiele brandstoffen en nieuwe energiedragers in de overgangsfase tegelijkertijd worden gebruikt, is voor beiden passende infrastructuur nodig. Daarnaast zullen ook de modaliteiten zelf worden verduurzaamd. Zo zal er steeds meer gebruik worden gemaakt van hernieuwbare energievormen (met batterijen, waterstof) voor de aandrijving van schepen en vrachtwagens en verdient de veilige combinatie van de aandrijving met de te vervoeren gevaarlijke stoffen aandacht.

4 Infrastructurele ontwikkelingen

Het vervoer van gevaarlijke stoffen maakt gebruik van verschillende modaliteiten en van de daaraan verbonden fysieke infrastructuur in Nederland en daarbuiten. Veranderingen in het gebruik van verschillende stoffen, bijvoorbeeld in het kader van de energietransitie en verduurzamingsambities met het oog op klimaatverandering, hebben een effect op het relatieve (voorspelde) gebruik van de modaliteiten. Ontwikkelingen bij de fysieke infrastructuur, in de vorm van zowel (groot) onderhoud of uitbreiding van bestaande routes als de aanleg van nieuwe tracés, werken direct door op de mogelijkheden om (veranderend) vervoer van gevaarlijke stoffen te accommoderen. Dit hoofdstuk gaat eerst kort in op de kerneigenschappen van de vier modaliteiten weg, water, spoor en buisleiding. Vervolgens wordt een overzicht gegeven van lopende, grote infrastructuurprojecten.

4.1 Eigenschappen van de verschillende modaliteiten

De verschillende modaliteiten (weg, water, spoor, buisleiding) hebben logischerwijs ook verschillende eigenschappen (zie Tabel 1). Zo zijn buisleidingen geschikt voor het vervoer van grote hoeveelheden van één stof over een langere periode en afstand, maar liggen het begin- en eindpunt van het vervoer vast en kan er niet naar een andere route worden afgeweken (interview #4). Daarnaast is het aanleggen van een buisleiding een private investering, wat maakt dat vraag en aanbod voor een langere periode gegarandeerd moeten zijn om de investering aantrekkelijk te maken. Per trein en binnenvaartschip kunnen verschillende stoffen worden vervoerd en kunnen routes gevarieerd worden (afhankelijk van de beschikbaarheid van waterwegen en spoorlijnen). Het vrachtverkeer is geschikt voor het vervoer van relatief kleine hoeveelheden en is met name financieel aantrekkelijk op korte afstanden en voor *'the last mile'*.

Voor alle modaliteiten geldt dat de kans op een ongeval waarbij gevaarlijke stoffen vrijkomen zeer klein is, aangezien er strenge veiligheidsmaatregelen gelden. De gebruikte modaliteit kan invloed hebben op de mate waarin de bevolking betrokken is bij een ongeval, doordat het vervoer door meer of minder dichtbevolkte gebieden plaatsvindt.

Tabel 1 Eigenschappen van de verschillende modaliteiten en het vervoersaandeel

	Weg	Binnenvaart	Spoor	Buisleiding
Gewichtsaandeel transport VGS (2023) [56]	3,4%	24,6%	1,3%	70,7%
Vervoersprestatie (2023) (aandeel tonkm) [56]	3,0%	35,6%	1,1%	60,3%
Laadcapaciteit (hoeveelheid per voertuig) [57, 58]	Relatief kleine hoeveelheden	Grote hoeveelheden	Middelgrote hoeveelheden	Zeer grote hoeveelheden van slechts één stof over een lange periode en afstand
Route flexibiliteit	Zeer groot, er zijn veel verschillende routes mogelijk. Geschikt voor 'the last mile'.	Middel, alleen tussen havens over beperkt aantal rivieren. Waterstanden beperken beschikbare routes.	Groot, er kan uitgeweken worden over andere spoorlijnen, relatief veel herkomsten en bestemmingen.	Klein. Er kan niet worden uitgeweken over andere routes. Transport gaat alleen van A naar B.
Kosten [57]	Per tonkm duurder dan binnenvaart en spoor. Voordelig op korte afstand.	Afhankelijk van schipgrootte en lading goedkoper dan spoor per tonkm. Goedkoper dan wegvervoer.	Hoge kosten voor opstellen en rangeren [59], hoge toetredingsbarrières. Per tonkm duurder dan binnenvaart, goedkoper dan wegvervoer [60].	Zeer hoge investeringskost en voor de aanleg van buisleidingen, lange terugverdientijd afhankelijk van marktpositie en volume (interview #4).
Flexibiliteit ¹⁴ [58]	Groot	Klein	Klein, vervoersrechten op het spoor moeten vaak lang van tevoren worden aangevraagd.	Beperkt, er worden relatief constante stromen vervoerd.
Betrouwbaarheid [58]	Hoog	Medium	Laag, door bijvoorbeeld verstoringen	Hoog
Overige opmerkingen	Dominant op korte afstanden, hoge CO ₂ uitstoot per tonkm, bijdrage aan filevorming	-	Duurzaam, omwonenden ondervinden hinder van trillingen.	Bijna geen emissies in operationele fase [17]

¹⁴ Onder flexibiliteit valt onder andere hoe kort van tevoren er wijzigingen kunnen worden aangevraagd, hoe makkelijk hoeveelheden kunnen worden veranderd en hoe kort van tevoren men kan besluiten om van een bepaalde modaliteit gebruik te maken.



De keuze voor een bepaalde modaliteit is niet altijd eenvoudig, maar hangt af van verschillende factoren, waaronder de prijs, snelheid van transport, beschikbaarheid van infrastructuur, betrouwbaarheid, flexibiliteit en hoeveelheid te vervoeren goederen. Sommige ontwikkelingen die in dit rapport besproken worden, kunnen voor een verschuiving van het vervoer van de ene modaliteit naar een andere modaliteit zorgen, een zogenaamde *modal shift*. Over het algemeen wordt een *modal shift* van weg naar spoor, binnenvaart of buisleiding nagestreefd [61, 62], omdat het vrachtvervoer op de weg bijdraagt aan filevorming en een hoge CO₂-uitstoot per tonkilometer heeft.

Daarnaast kan een *modal shift* zorgen voor een verschuiving van externe veiligheidsrisico's. Zo kan de ongevalskans verschillen en kan de hoeveelheid gevaarlijke stoffen die vrijkomen veranderen, waardoor het effectgebied verandert [63]. Als laatste speelt de omgeving een rol. Soms gaat transport met de ene modaliteit (bijvoorbeeld per spoor) door een dichtbevolkter gebied dan bij een andere modaliteit het geval is. Dit kan een belangrijke afweging zijn om een *modal shift* van de ene modaliteit naar de andere modaliteit te stimuleren of juist te ontmoedigen. Zo hanteert het kabinet voor het vervoer van waterstofdragers de

preferentievолgorde van 1. Buis, 2. Binnenvaart, 3. Spoor en 4. Weg [35]. Dit betekent echter niet dat al het vervoer in de toekomst via buisleidingen zal plaatsvinden. Iedere modaliteit heeft zijn eigen functie en voordelen, en de modaliteiten zullen dus naast elkaar blijven bestaan. Daarom is het bij het aanleggen van nieuwe, of uitbreiden van bestaande infrastructuur van belang om de externe veiligheidsrisico's van het vervoer van gevaarlijke stoffen mee te wegen in de besluitvorming.

Het is ook niet altijd eenvoudig om een gewenste *modal shift* te realiseren. Een voorbeeld hierbij is een *modal shift* naar het spoorgoederenvervoer. Het spoorgoederenvervoer is een kleine markt met enkele dominante aanbieders, die de laatste jaren grote verliezen hebben geleden [60]. Daarnaast zijn de kosten voor het opstellen en rangeren van goederentreinen en het gebruik van het spoor hoog en wordt spoorgoederenvervoer door verladers als onbetrouwbaar gezien. Dit laatste komt vooral door verstoringen en achterstallig onderhoud op de havenspoorlijn [64]. Tot 2025 bestond er een korting op de gebruikersvergoeding, maar doordat deze is vervallen, worden de kosten voor het gebruik van de spoorinfrastructuur hoger voor de goederenvervoerders [65]. Daarnaast heeft het spoor te maken met een complexe ritplanning, onder andere door beschikbare capaciteit van het spoor, werkzaamheden en geluidsplafonds. Deze factoren kunnen een *modal shift* voor het vervoer van gevaarlijke stoffen van weg naar spoor in de weg zitten.

4.1.1 *Routing spoorgoederenvervoer*

Het spoorgoederenvervoer gaat, met uitzondering van de Betuweroute, door stads- en dorpskernen. Dit zorgt, onder andere vanuit een externe veiligheidsperspectief, voor discussies omtrent de routes van het spoorgoederenvervoer. Momenteel zijn er drie belangrijke hoofdroutes voor het goederenvervoer die de zeehavens met Duitsland verbinden: de Bentheimeroute (Deventer – Almelo – Oldenzaal/Bad Bentheim en Zutphen – Oldenzaal/Bad Bentheim); De Brabanneroute (Moerdijk – Venlo); en de Betuweroute (Rotterdam – Zevenaar). De Betuweroute, die in Nederland door dunbevolkte gebieden loopt, is speciaal aangelegd voor het goederenvervoer om de andere spoorlijnen te ontlasten en de overlast van het goederenvervoer te beperken. Zodra de werkzaamheden aan het derde spoor in Duitsland klaar zijn (zie paragraaf 4.2), is het doel om de Betuweroute meer te gebruiken (interview #5). Kanttekening hierbij is dat de Betuweroute aan de Duitse kant van de grens juist door meer dichtbevolkte gebieden loopt (interview #2). Daarnaast zal vanwege de bereikbaarheid van herkomst en bestemming niet al het spoorgoederenvervoer over de Betuweroute gaan.

Met de invoering van de Regeling basisnet en de bijbehorende risicoplafonds was de hoop dat het spoorgoederenvervoer van gevaarlijke stoffen grotendeels via de Betuweroute zou plaatsvinden. De risicoplafonds en de toekomst van de Regeling basisnet zijn ten tijde van schrijven een discussiepunt onder betrokken partijen. Het is nog onduidelijk wat de uitkomst van deze discussie zal zijn, en of en hoe dit de routes van het goederenvervoer in de toekomst zal beïnvloeden. Het basisnet heeft in de huidige vorm met de risicoplafonds niet de beoogde sturende werking, en verladers kiezen ook niet vrijwillig voor de Betuweroute [66]. De Betuweroute is duurder voor spoorvervoerders

doordat er meer kilometers gereden moeten worden [65]. Daarnaast zijn spoorvervoerders ook afhankelijk van de capaciteit die ze op het Duitse spoor krijgen. In de capaciteitsplanning wordt er vaak geen rekening gehouden met de lading van een trein en of er gevaarlijke stoffen vervoerd worden, omdat dit vaak ook pas kort voor vertrek bekend is [66]. Daarnaast is er vanuit internationale regelgeving vrijheid van route en tijdstip voor het goederenvervoer, waardoor het weigeren van een capaciteitsaanvraag op grond van veiligheid omwille van de lading van een trein niet is toegestaan [67].

4.2 Infrastructurele projecten

Infrastructurele ontwikkelingen kunnen van invloed zijn op het vervoer van gevaarlijke stoffen. Grote onderhoudswerkzaamheden of nieuwe routes kunnen ervoor zorgen dat bepaalde trajecten meer belast worden met het vervoer van gevaarlijke stoffen, terwijl het vervoer op andere trajecten juist afneemt. Daarnaast kunnen nieuwe routes, zoals een nieuwe buisleiding, een bepaalde modaliteit aantrekkelijker (of überhaupt mogelijk) maken, waardoor er een *modal shift* optreedt. Dit kan zorgen voor een verschuiving van de risico's.

Hieronder worden enkele grote projecten, die naar verwachting een belangrijke rol zullen spelen in het vervoer van gevaarlijke stoffen, verder uitgewerkt. Naast deze projecten vindt er de komende jaren een enorme operatie plaats om infrastructuur in stand te houden [68], hetgeen direct of indirect van invloed kan zijn op het vervoer van gevaarlijke stoffen, doordat er (tijdelijk) andere routes moeten worden gereden of doordat er op bepaalde routes juist meer capaciteit beschikbaar komt. Zo wordt er doorlopend gewerkt aan het verbeteren van de goederenvervoerscorridors Oost, Zuidoost en Zuid en worden de wegen die onderdeel uitmaken van het Europese TEN-T-netwerk verbeterd om aan de eisen van de Europese Commissie te voldoen. Werkzaamheden aan de infrastructuur beïnvloeden niet elke modaliteit op dezelfde manier. Op het spoor en in de binnenvaart zijn omleidingsroutes schaarser dan in het wegverkeer, zodat de versturende werking van een stremming potentieel groter is. Infrastructurele projecten aan de weg zijn talrijk en laten wij hier daarom buiten beschouwing. In de binnenvaart zullen er naar verwachting ook geen grote veranderingen optreden die invloed hebben op de te varen routes [68]. Daarom zullen deze projecten niet apart in dit rapport worden besproken. Wel wordt er de komende jaren gewerkt aan het vergroten van de capaciteit van sluizen, het creëren van meer ligplaatsen en het bevaarbaar maken van bepaalde routes voor andere typen schepen. Zo werd het Julianakanaal in de eerste helft van 2025 geschikt gemaakt voor een groter type schepen door het te verbreden en te verdiepen [69]. Mogelijk zorgen deze werkzaamheden voor tijdelijke stremmingen. Hieronder worden de belangrijkste projecten aan de spoorinfrastructuur en de aanleg van nieuwe buisleidingen nader toegelicht. Een uitgebreide beschrijving van infrastructuurle projecten is te vinden in het Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport [68].

4.2.1 Spoor

Een groot deel van het spoor stamt van kort na de tweede wereldoorlog. Omdat het relatief oud is, vindt er de komende jaren veel onderhoud

plaats. Daarnaast zullen er extra kilometers spoor worden aangelegd om de capaciteit te verhogen en nieuwe routes te faciliteren. Uitbreiding van het spoorwegennet is met name in dichtbevolkte gebieden niet altijd makkelijk, omdat er sprake is van ruimtegebrek (interview #2).

Tussen Zevenaar en Emmerich wordt een derde spoor op de Betuweroute aangelegd [70]. Hierdoor krijgen passagierstreinen en goederenvervoer aparte sporen, zodat de betrouwbaarheid en de capaciteit van het goederenvervoer op de lange termijn toenemen. Zo kunnen er in de toekomst circa 160 treinen per dag over de Betuweroute rijden, terwijl dat er in de oude situatie 110 per dag waren. Als bijkomend voordeel ontstaat er extra capaciteit op andere delen van het spoorwegennet, doordat treinen naar de Betuweroute verplaatsen. Tijdens de werkzaamheden zullen er echter minder goederentreinen over de Betuweroute kunnen rijden. Deze treinen zullen over de andere routes naar Duitsland worden omgeleid, zodat de druk op andere trajecten, in het bijzonder de Brabantroute, toeneemt. De grootste hinder zal naar verwachting tot halverwege 2026 duren, maar het derde spoor is op zijn vroegst pas in 2030 klaar [71] (interview #2).

Daarnaast zullen andere druk bereden trajecten worden aangepast om de capaciteit te vergroten. Zo wordt er momenteel gewerkt aan het traject Meteren-Boxtel [72]. Deze werkzaamheden zijn naar verwachting in 2030 gereed. Dit traject is van belang voor het goederenvervoer. Om de route te laten aansluiten op de Betuweroute, wordt bij Meteren een extra spoorboog aangelegd. Daarnaast komt er tussen 's-Hertogenbosch en Vught een extra spoor en komt een deel van het spoor verdiept te liggen. Door de aansluiting van het zuiden op de Betuweroute, komt er op andere trajecten meer ruimte voor reizigerstreinen en ontstaat er een robuuster en potentieel veiliger netwerk voor het goederenvervoer.

Om de spooraansluiting vanuit het noorden te verbeteren, wordt er gesproken over de aanleg van de Lelylijn en de Nedersaksenlijn. De Lelylijn is een beoogde spoorlijn tussen Lelystad en Groningen, waarover zowel goederen als personen kunnen worden vervoerd. Door de aanleg van de Lelylijn ontstaat er veel ontwikkelpotentieel voor het bouwen van woningen langs het tracé [73]. Bij het bouwen van woningen dicht langs het spoor moet rekening gehouden worden met de externe veiligheidsrisico's als gevolg van het vervoer van gevaarlijke stoffen over het spoor. Door de aanleg van de Lelylijn zou de Eemshaven beter aangesloten kunnen worden op het spoorgoederenvervoernetwerk (interview #2). Momenteel is er echter een gebrek aan financiële middelen [74]. Recent kwam naar voren dat het kabinet het voor de Lelylijn gereserveerde budget wil gebruiken voor de aanleg van de Nedersaksenlijn [75]. Daarmee lijkt het onwaarschijnlijk dat de Lelylijn op korte termijn wordt aangelegd.

Behalve de Lelylijn bestaat er ook een voorstel voor de Nedersaksenlijn, een spoorverbinding tussen Groningen en Almelo. Als deze lijn wordt aangelegd, ontstaat er een directe spoorgoederenvervoersverbinding tussen Euroterminal Emmen-Coevorden-Hardenberg en Groningen [76]. Naar verwachting worden er zo'n twee à drie goederentreinen per week op het traject verwacht. In de voorjaarsnota 2025 heeft het kabinet, ten koste van het budget voor de Lelylijn, extra geld gereserveerd voor de

aanleg van de Nedersaksenlijn [75], waarmee de realisatie van de Nedersaksenlijn waarschijnlijker wordt.

Afgezien van de aanleg van nieuwe sporen worden bestaande sporen vernieuwd. Zo wordt de veiligheid van spoorwegemplacements in Rotterdam verbeterd in het project 'Infra op Orde' [77]. Dit project loopt tot eind 2029. De blusvoorzieningen worden gemoderniseerd en wissels, overwegen en spoor worden vervangen. Daarnaast worden 'assentellers', die kunnen aangeven of een spoorsectie vrij of bezet is, vervangen. Verder zal er tussen 2026 en 2030 op veel andere trajecten aan het spoor gewerkt worden, omdat grote delen van het spoor aan vervanging toe zijn [78]. Het is nog onduidelijk waar en wanneer deze werkzaamheden zullen plaatsvinden, omdat er onvoldoende middelen beschikbaar zijn om alle benodigde werkzaamheden in deze periode uit te voeren. Wel is het waarschijnlijk dat er sprake zal zijn van hinder voor het spoorgoederenvervoer gedurende deze werkzaamheden.

Daarnaast wordt er de komende jaren hard gewerkt om delen van het spoor te laten voldoen aan de Europese eisen voor het TEN-T-netwerk [51]. Dit netwerk bestaat uit drie lagen, het *core network* (2030), het *extended network* (2040) en het *comprehensive network* (2050). Voor het spoorgoederenvervoer betekent dit dat sporen die onderdeel van het hoofdnetwerk uitmaken de capaciteit moeten hebben om 2 keer per uur een goederentrein van 740 meter lang te laten rijden en dat het spoor zwaardere treinen moet aankunnen. Ook wordt het spoorwegennetwerk geschikt gemaakt voor ERTMS (zie hoofdstuk 6).

4.2.2 Buisleiding

De komende jaren staan er in Nederland vele nieuwe kilometers buisleiding gepland en zullen oude, al bestaande aardgasleidingen worden omgebouwd voor het vervoer van waterstof. Een belangrijk project is het Nationaal Waterstofnetwerk (NWN), waarbij circa 1200 km aan waterstofbuisleiding beschikbaar moet komen [79] door het hergebruik van aardgasleidingen en de aanleg van nieuwe leidingen. Uit onderzoek is gebleken dat aardgasleidingen na kleine aanpassingen geschikt zijn voor het transport van waterstof [80]. Door de energietransitie is er naar verwachting steeds minder aardgastransport nodig, zodat er aardgasleidingen beschikbaar komen. Dit project moet de vijf grote industriële clusters in Nederland (Rotterdam/Rijnmond, Noordzeekanaalgebied, Chemelot, Zeeland en Noord-Nederland) met elkaar verbinden [81]. Daarnaast moet het NWN met het buitenland verbonden worden om import en export van waterstof via deze modaliteit mogelijk te maken.

Het eerste deel van het NWN, het gedeelte in Rotterdam, zal naar verwachting al in 2026 operationeel zijn, waarna andere tracés geleidelijk zullen volgen [82]. Naar verwachting zal het gehele NWN in 2033 operationeel zijn. Dit is iets later dan het oorspronkelijke plan om het netwerk in 2030 gereed te hebben. Door vertraging van het NWN stellen sommige bedrijven plannen uit. Zo wilde RWE een waterstof-elektrolyser bouwen in Eemshaven, maar de beschikbaarheid van het waterstofnetwerk was hiervoor een belangrijke voorwaarde [83].

Uiteindelijk kan het netwerk worden uitgebreid met verdere vertakkingen richting grote waterstofvragers, producenten en opslaglocaties [84]. Op dit moment is het nog onduidelijk waar deze vertakkingen precies komen te liggen. Een belangrijk voordeel van het gebruik van buisleidingen voor het vervoer van waterstof is dat de lage energiedichtheid van waterstof minder problematisch is dan voor andere modaliteiten. Grote volumes waterstof kunnen op deze manier makkelijk door Nederland worden vervoerd. Aangezien waterstof niet giftig is, zijn de effectafstanden voor waterstofbuisleidingen kleiner dan voor bijvoorbeeld ammoniakbuisleidingen. Om die reden geeft het kabinet de voorkeur aan conversie van waterstofdragers naar waterstof op de aanlandingslocatie, waarna waterstof via het NWN kan worden vervoerd (zie hoofdstuk 3) [35].

Naast het NWN worden er ook lokale 'open access'-waterstofleidingen aangelegd met als doel om lokale industrieclusters met het buitenland te verbinden [31]. Uiteindelijk worden deze waterstofnetwerken op het NWN aangesloten, waarmee een fijnmazig netwerk van waterstofleidingen ontstaat. Voorbeelden van lokale waterstofnetwerken zijn het Waterstofnetwerk Rotterdam, het Waterstofnetwerk Noord-Nederland en het Waterstofnetwerk Noordzeekanaalgebied.

Als onderdeel van het NWN zal de *Delta Rhine Corridor* (DRC) worden aangelegd [85]. Dit is een 270 kilometer lange private buisleidingenstrook die tussen Rotterdam en de Duitse grens bij Venlo zal worden aangelegd. Behalve een waterstofbuisleiding zal er in de DRC ook een CO₂-buisleiding worden aangelegd. Oorspronkelijk was het de gedachte dat er daarnaast ook een ammoniakbuisleiding zou worden aangelegd. Omdat de ontwikkeling van deze buisleiding trager verliep dan de ontwikkeling van de CO₂- en waterstofbuisleidingen, is besloten om vooralsnog alleen de waterstof- en CO₂-leidingen aan te leggen aangezien daar op korte termijn behoefte aan is [41]. Voor het aanleggen van een leiding voor ammoniak blijft nog wel ruimte gereserveerd in de buisleidingenstrook, zodat deze in de toekomst kan worden aangelegd, mits de risico's voldoende gemitigeerd kunnen worden en er een initiatiefnemer wordt gevonden. Oorspronkelijk waren gelijkstroomkabels ook onderdeel van de DRC. Deze kabels worden gebruikt voor aanlanding van op zee opgewekte windenergie. Er is echter onvoldoende ruimte in de buisleidingenstrook. Daarom zullen er voor deze kabels alternatieven moeten worden gezocht. Dit heeft mogelijk een negatief effect op netcongestie (zie hoofdstuk 6). De provincie Noord-Brabant had de hoop dat de aanleg van de DRC zou zorgen voor een *modal shift* van spoor naar buisleiding. Echter, de meeste stoffstromen die momenteel over het spoor door Brabant worden vervoerd, zijn niet geschikt om door buisleidingen te vervoeren, omdat er veel verschillende herkomsten en bestemmingen zijn, dus zal er ook vervoer van gevaarlijke stoffen per spoor blijven plaatsvinden [86]. Naar verwachting zal het gedeelte van de DRC tot Boxtel rond 2032 operationeel worden, waarna de leiding tussen Boxtel en de Duitse grens bij Venlo in 2033 gereed moet zijn. Mogelijk kan het verkrijgen van materiaal en personeel nog een struikelblok vormen (interview #4).

Om opslag van afgevangen CO₂ mogelijk te maken, zullen Porthos en Aramis worden aangelegd. Dit zijn twee buisleidingen voor grootschalig transport van CO₂ naar lege gasvelden onder de Noordzee. CO₂ kan in

hoge concentraties giftig en verstikkend zijn, zodat bij het transport ook rekening gehouden moet worden met de externe veiligheidsrisico's. De Porthos-leiding zal circa 50 km lang zijn, waarvan 30 kilometer op land zal liggen in het Rotterdamse havengebied en 20 km in zee richting een platform in de Noordzee [87, 88]. De 30 kilometer op land betreft een verzamelleiding met een relatief lage operationele druk waarop bedrijven kunnen worden aangesloten. Deze leiding leidt naar een compressorstation, waarvandaan CO₂ onder hoge druk verder zal worden vervoerd naar het reservoir onder de zeebodem. De externe veiligheidsrisico's van de leiding op land zijn, gezien de relatief lage druk, beperkt. Op land zal de leiding worden ingepast in een bestaande leidingenstrook langs de A15 om via de Botlek-Vondelingenplaat en de Maasvlakte de zee in te gaan. In 2026 is de Porthos-leiding naar verwachting operationeel en gedurende 15 jaar zal er in totaal zo'n 37 mTon (2,5 Mton per jaar) CO₂ getransporteerd worden. De Aramis-buisleiding zal vanaf de Maasvlakte diep de zee in lopen en zal naar verwachting minimaal 7,5 Mton CO₂ per jaar transporteren, met een maximum van 22 Mton CO₂ per jaar [89, 90]. Deze leiding moet in 2028-2029 operationeel zijn.

Naast bovengenoemde projecten zullen er naar verwachting na 2030 nog andere buisleidingen worden aangelegd. Zo kan er behoefte zijn aan uitbreiding van het netwerk tussen Rotterdam en Zeeland met een CO₂-buisleiding [84] en aan de aanleg van een kerosinebuisleiding van Klaphek naar vliegveld Eindhoven. CO₂-transport van en naar andere plekken in Nederland blijft ook een mogelijkheid [91]. Daarnaast is Amsterdam nu nog beperkt aangesloten op buisleidingennetwerken. In het kader van het bevorderen van een *modal shift* naar buisleidingen kan de behoefte aan buisleidingen voor LPG en propeen toenemen, en mogelijk heeft de industrie ook behoefte aan buisleidingen voor vinylchloride, buteen, ethyleenoxide, propyleenoxide, isopreen en methanol [81]. Momenteel zijn de volumes echter nog niet groot genoeg. Bovendien kunnen nieuwe productieprocessen ervoor zorgen dat er interesse ontstaat in buisleidingen voor zuurstof en pyrolyse-olie. In de verdere toekomst is er mogelijk behoefte aan buisleidingen voor groene methanol en ethanol, met name tussen de grote industrieclusters (zie hoofdstuk 3). Tot slot kan elektrolyse van water voor de productie van waterstof zorgen voor de behoefte aan afvoer van zuurstof via buisleidingen, zeker als de geproduceerde zuurstof nuttig gebruikt kan worden [81].

In principe moeten buisleidingen voor het vervoer van gevaarlijke stoffen worden aangelegd binnen de nationale leidingstroken. In deze stroken is ruimte gereserveerd voor de aanleg van toekomstige buisleidingen [91]. In de omgeving van deze leidingstroken is rekening gehouden met de risico's voor externe veiligheid in de zin dat er afstand wordt gehouden tot bebouwing. Naast de al bestaande buisleidingenstroken zijn er ook indicatieve buisleidingenstroken om ruimte te houden voor de aanleg van toekomstige buisleidingen. Deze indicatieve buisleidingenstroken hebben echter nog geen juridische status [84].

4.3 Samenvatting infrastructurele ontwikkelingen

Over het algemeen wordt een *modal shift* van de weg naar spoor, binnenvaart of buisleiding nagestreefd, maar het realiseren daarvan is complex. De komende jaren vindt er veel onderhoud en vernieuwing van infrastructuur plaats vanwege de staat van de infrastructuur en omwille van uitbreiding van de capaciteit. De onderhouds- en vernieuwingsopgave biedt tegelijkertijd ook mogelijkheden om de veiligheid van de infrastructuur verder te verbeteren. Tijdens de werkzaamheden kan er sprake zijn van hinder en wordt het transport omgeleid via andere routes, waardoor externe veiligheidsrisico's tijdelijk zullen verschuiven. Ook staan er vele nieuwe kilometers buisleiding gepland in Nederland, zoals de DRC, en zullen oude, al bestaande aardgasleidingen worden omgebouwd voor het vervoer van waterstof als onderdeel van het nationaal waterstofnetwerk.

5 Demografische en sociaal-culturele ontwikkelingen

In de vorige drie hoofdstukken is ingegaan op de effecten van een meer exogene ontwikkeling als klimaatverandering en op de ingeslagen, meer beleidsmatige weg op het gebied van de energietransitie en infrastructurele ontwikkelingen. Een ander voor het vervoer van gevaarlijke stoffen relevant onderwerp is de mens zelf: waar deze woont ten opzichte van het vervoer en hoe dit vervoer wordt ervaren.

Er zijn drie algemene demografische trends in Nederland die ook op de langere termijn relevant zijn. Om te beginnen neemt het absolute aantal inwoners van Nederland naar verwachting verder toe. De geschatte aantallen variëren en zijn bijvoorbeeld ook sterk afhankelijk van ontwikkelingen op het gebied van migratie. Het CBS schat voor 2070 een bevolkingsomvang van 20,6 miljoen in ten opzichte van 17,8 eind 2023 [92]. Bovendien neemt het aantal huishoudens, en daarmee het benodigde aantal woningen, toe. Enerzijds heeft dit te maken met de eerdergenoemde bevolkingsgroei, anderzijds met het feit dat huishoudens gemiddeld steeds kleiner worden. Ook op dit vlak is er nog veel onzekerheid over de precieze aantallen, maar het is aannemelijk dat het aantal huishoudens zal stijgen van ongeveer 8 (anno 2021) naar mogelijk 9 of zelfs 10 miljoen in 2070 [93, 94]. Een en ander resulteert in een groot aantal te bouwen woningen. De ambitie is om in 2030 bijna 1 miljoen extra woningen te realiseren ten opzichte van de woningvoorraad in 2021 [95]. Er zijn 16 NOVEX¹⁵-gebieden aangewezen waar provincie-overschrijdend complexe ruimtelijke opgaven samenkomen. In deze gebieden zijn ook verschillende grootschalige woningbouwlocaties aangewezen [96]. Tot slot neemt de vergrijzing van de bevolking verder toe. Dit betreft vooral het aandeel 80-plussers [94]. Deze demografische ontwikkelingen hebben gevolgen voor het vervoer van gevaarlijke stoffen. Dit vraagt om afwegingen over de kwaliteit en bescherming van de fysieke leefomgeving en het beschikbaar maken van woningen. Hierbij is het belangrijk om externe veiligheidsaspecten mee te wegen in de besluitvorming. Deze ontwikkelingen en hun invloed op het vervoer van gevaarlijke stoffen worden in onderstaande paragrafen verder besproken.

Alvorens in te gaan op de verschillende modaliteiten, betreft een laatste algemeen punt de veiligheidsbeleving van omwonenden. Er is maatschappelijke aandacht voor het vervoer van gevaarlijke stoffen en de mogelijke risico's daarvan. In de periode 2019-2022 maakte circa 11 procent van de Nederlanders ouder dan 16 jaar zich ernstig zorgen over het wonen langs een transportroute voor gevaarlijke stoffen [97].

¹⁵ NOVEX staat voor Nationale OmgevingsVisie EXecutiekraacht. Het programma NOVEX is in het leven geroepen om het uitvoeren van al het nationale beleid met een effect op de ruimtelijke inrichting van Nederland te verbeteren.



Onder wonen in de buurt van een activiteit met een risico,¹⁶ staat wonen langs een transportroute op de derde plek in termen van bezorgdheid onder Nederlanders, na wonen in de buurt van een risicovol bedrijf en wonen op verontreinigde grond. Vaak is er sprake van een kloof tussen de feitelijke risico's van een activiteit en de ervaren risico's. Dit kan leiden tot het wantrouwen van informatie en verminderde acceptatie van risicovolle activiteiten [98]. In dat kader is het belangrijk om helder over risico's te communiceren en uit te leggen waarom er wel of niet wordt gehandeld op bepaalde risico's.

5.1 Spoor

Bovenstaande algemene trends vertalen zich op verschillende manieren naar het vervoer van gevaarlijke stoffen per spoor. Primair gaat het daarbij om de vraag waar een toenemende bevolking precies zal wonen en dus ook waar de bijna 1 miljoen extra huizen zullen worden gebouwd. Het is de verwachting dat vooral in nu al dichtbevolkte regio's het aantal huishoudens zal toenemen [99]. Vanuit de politiek wordt vooral ingezet

¹⁶ Hier is gekeken naar verschillende risicofactoren, zoals wonen bij een risicovol bedrijf, in een drukke straat, bij een hoogspanningslijn, onder zeeniveau of in een landbouwgebied.

op het beter benutten van reeds gebruikte ruimte in de vorm van stedelijke verdichting. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het toevoegen van etages aan bestaande gebouwen ('optoppen'), het splitsen van bestaande woningen tot meerdere eenheden, en het combineren van meerdere functies (wonen, recreëren, commercieel) in (bestaande) gebouwen [100]. Het is de schatting dat er ongeveer 100.000 gebouwen zijn in Nederland die geschikt zijn voor optoppen, nog los van gebouwen waar ook in de lengte of breedte aan kan worden toegevoegd. Om het optoppen van gebouwen verder te stimuleren en te faciliteren, is er in 2024 een nationale aanpak optoppen in het leven geroepen [101]. Tot slot zal er mogelijk ook vaker sprake zijn van het op verschillende wijzen 'overbouwen' van het spoor. Dat wil zeggen dat boven op (delen van) het spoor bijvoorbeeld woningen, volledig overkappende stations of kantoren worden gebouwd waardoor het spoor de facto in een soort doorgang in het overbouwde gebouw komt te liggen [102].

Bestaande grote steden zullen ook een hogere bevolkingsdichtheid krijgen, door meer hoogbouw [103] en door het überhaupt ontwikkelen van nu nog niet voor de woningbouw aangewezen gebieden binnen de stad, zoals de ontwikkeling van een nieuwe woonwijk in Dordrecht op een voormalig bedrijventerrein (*Maasterras*) en op een voormalig terrein van de NS (*Wisselspoor*) in Utrecht. De totale ruimte die steden in beslag nemen (het 'stedelijk areaal') neemt tevens toe met circa 5–14 procent [104]. Tegelijkertijd zijn veel grotere steden als Amersfoort, Utrecht, Rotterdam, Eindhoven en Breda belangrijke knooppunten voor het (goederen)vervoer per spoor. Dit betekent dus dat er een situatie ontstaat waarbij er meer mensen in gebieden wonen tot waar de effecten van een ongeval met het spoorgoederenvervoer, zoals een gifwolk, kunnen reiken. Te meer wanneer de verdichting van de steden in kwestie plaatsvindt in of rond bijvoorbeeld stationsgebieden, of wanneer een stad uitbreidt langs delen van het spoor waar nu nog geen of weinig bebouwing is. Vanuit het perspectief van duurzaamheid en bereikbaarheid is het aantrekkelijk om in de buurt van OV-knooppunten te bouwen, in veel NOVEX-plannen zijn daarom verdichtingsplannen in stations- en spoorzones opgenomen.¹⁷ Een andere factor van belang is dat naarmate bebouwing dichter bij het spoor komt te liggen, het steeds moeilijker zal worden om ruimte te vinden voor eventuele uitbreiding van het spoor zelf (interview #2). Het kan verder behulpzaam zijn om inzichtelijk te maken waar grootschalige woningbouw samenkomt met spoorlijnen die gebruikt worden voor het vervoer van gevaarlijke stoffen, om zo inzichtelijk te maken waar de mogelijke knelpunten liggen op het gebied van externe veiligheid.

Bovenstaande toenemende activiteiten langs het spoor brengen tegelijkertijd aanvullende externe veiligheidsrisico's met zich mee. Er komen hierdoor namelijk (structureel) meer mensen in een gebied dat mogelijk kan worden geraakt door een ongeval met gevaarlijke stoffen. Het aandacht geven aan en meenemen van externe veiligheidsaspecten is daarom aan te bevelen in een vroeg stadium van de besluitvorming om wel of niet te verdichten in de buurt van infrastructuur voor gevaarlijke stoffen. Historisch gezien werden activiteiten als bewoning juist zo ver als

¹⁷ Ter illustratie: In NOVEX-gebied metropoolregio Amsterdam liggen er plannen voor circa 53.000 woningen binnen een 1200 m contour van stations [108] en in Eindhoven komen er circa 9000 woningen bij in de omgeving van station Eindhoven Centraal [109].

mogelijk van het spoor geplaatst [100]. In sommige gevallen, zoals het eerdergenoemde overbouwen, ontstaan nieuwe afwegingen op het gebied van externe veiligheid waar rekening mee moet worden gehouden. Zo kan de door de overbouwing gerealiseerde overkapping van het spoor juist zorgen voor minder risico's voor de bredere omgeving (met uitzondering van de omgeving rond de mondingen van de overkapping) en kan het extra (woon)ruimte opleveren, maar zijn er wel (kostbare) aanvullende maatregelen nodig voor de bouw zelf, gericht op de veiligheid van bewoners dan wel gebruikers [102].

Ook in een situatie waarbij er geen ongevallen met het vervoer van gevaarlijke stoffen plaatsvinden, krijgen meer mensen dan voorheen te maken met spoorgoederenvervoer in de vorm van bijvoorbeeld ervaren geluid of trillingen. Ongeveer 20 procent van de bewoners die binnen 300 meter afstand van het spoor wonen, ondervindt ernstige hinder van de trillingen die treinen veroorzaken [105]. Deze hinder kan de perceptie van het vervoer (van gevaarlijke stoffen) over het spoor negatief beïnvloeden. Dit gaat mogelijk niet per se om de ervaren veiligheid, maar wel over de ervaren wenselijkheid van het gebruik van deze modaliteit. Hoewel het spoorgoederenvervoer van gevaarlijke stoffen slechts een klein deel uitmaakt van het totale vervoer van gevaarlijke stoffen, is spoorgoederenvervoer zichtbaar doordat het dwars door dorps- en stadskernen gaat. Wanneer er aandacht is voor het vervoer van gevaarlijke stoffen, komt voornamelijk het spoorgoederenvervoer aan bod. In de media wordt er regelmatig gesproken over 'giftreinen' (zie bijvoorbeeld [106, 107]). Dit zou van invloed kunnen zijn op de perceptie van het spoorgoederenvervoer. Ongeveer 5,8 procent van de Nederlandse bevolking ervoer in de periode 2019-2022 ernstige bezorgdheid over wonen langs een spoorlijn [97]. Een vertegenwoordiger van Prorail geeft aan dat een overschrijding van de risicoplafonds kan bijdragen aan onnodige onrust, omdat omwonenden het gevoel kunnen hebben dat een overschrijding automatisch onveiligheid betekent (interview #2). Spoorgoederenvervoer in relatie tot de woonopgave in de nabijheid van het spoor zorgt voor veel onzekerheid bij lokale overheden (interview #5).

Niet alleen de hoeveelheid mensen in de nabijheid van het spoor, maar ook de mate van zelfredzaamheid van deze personen is een punt van belang. Gezien het toenemende aandeel ouderen in de bevolking, zal dit ook in het kader van het vervoer van gevaarlijke stoffen over het spoor een steeds belangrijker aandachtspunt worden. Tot slot dient er rekening te worden gehouden met mogelijk afwijkende bouwvoorschriften voor het creëren van sommige vormen van nieuwe woningen. Zo gelden voor het toevoegen van etages aan bestaande bouw andere (minder strenge) veiligheidsvoorschriften dan wanneer een gebouw van een gelijk aantal etages in één keer nieuw zou worden geconstrueerd [110].

5.2 Binnenvaart

Voor het vervoer van gevaarlijke stoffen via de binnenvaart gelden tot op zekere hoogte dezelfde implicaties rond een toenemende bevolkingsdichtheid als voor het spoor. Relatief gezien is het onderwerp echter minder problematisch. Dit komt doordat er door de inherente eigenschappen van veel vaarwegen veelal een grotere afstand is tussen

(nieuwe) bebouwing en passerende binnenvaartschepen dan tussen dezelfde bebouwing en het spoor. Dit heeft onder meer te maken met de breedte van de vaarwegen zelf, maar ook met de aanwezigheid van elementen als dijken, wegen, uiterwaarden en groenstroken. In uiterwaarden die vallen onder de 'Beleidslijn grote rivieren' wordt geen nieuwe bebouwing meer toegestaan, waardoor de afstand tot de binnenvaart behouden blijft [111]. Verder lopen veel van de grotere Nederlandse vaarwegen niet dwars door grote bevolkingscentra (uitzonderingen daargelaten), iets wat voor spoorwegen wel vaker het geval is.

5.3 Weg

Vervoer over de weg kent op hoofdlijnen dezelfde soort implicatie als voor het vervoer van gevaarlijke stoffen over en via de binnenvaart. Net als bij binnenvaart geldt ook hier dat er vaak een grotere afstand is tussen belangrijke verkeersaders en woningen, omdat de snelwegen veelal om de dichtbebouwde delen van de stad heen liggen. Dit neemt overigens niet weg dat delen van de nieuw geplande woningbouw mogelijk wel dicht bij deze snelwegen komen te liggen. Ook hier is het van belang om externe veiligheidsaspecten in een vroeg stadium van de besluitvorming mee te wegen. Het is aan te bevelen om inzichtelijk te maken waar woningbouw in de buurt van infrastructuur voor het vervoer van gevaarlijke stoffen zal plaatsvinden, zodat locaties waar sprake kan zijn van toenemende risico's kunnen worden geïdentificeerd. Tegelijkertijd worden er over de weg per vervoerbeweging aanzienlijk minder gevaarlijke stoffen in één keer vervoerd dan bij de andere modaliteiten, wat maakt dat de afmetingen en implicaties van mogelijke incidenten veelal kleiner zullen zijn.

5.4 Buisleiding

Met een groeiende bevolking, een toenemend aantal huishoudens en een woningbouwopgave, zal het voor bepaalde delen van het land moeilijker worden om geschikte tracés te vinden voor nieuw aan te leggen buisleidingen. Afhankelijk van de te vervoeren stoffen, is er bij buisleidingen sprake van een effectgebied van potentieel vele kilometers. Vooral bij het vervoer van giftige stoffen als ammoniak (bijvoorbeeld als waterstofdrager zie hoofdstuk 3), kan er bij een uitstroom sprake zijn van een relatief groot effectgebied totdat de stof is vervlogen.

Als het gaat om beleving, blijken mensen niet altijd een beeld te hebben van het vervoer van gevaarlijke stoffen door buisleidingen. Het RIVM heeft onderzoek gedaan naar de beleving van het vervoer van waterstof door buisleidingen [112], wat voor veel deelnemers een nieuw onderwerp was. De deelnemers gaven aan dat ze zich even veilig of veiliger zouden voelen in de buurt van een waterstofbuisleiding dan in de buurt van een aardgasbuisleiding, maar dat ze het wel belangrijk vonden om concreet te worden geïnformeerd over de aanleg van waterstofbuisleidingen in hun woonomgeving. Een onderzoek naar de publieke opinie rondom de waterstofketen laat zien dat deelnemers het vervoer van ammoniak via buisleidingen veiliger achten dan vervoer via het spoor [113].

5.5 Samenvatting demografische en sociaal-culturele ontwikkelingen

Als gevolg van bevolkingsgroei, huishoudensverdunning en vergrijzing zijn steeds meer woningen nodig om de bevolking te huisvesten. Om de woningnood te verminderen, wordt er meer gebouwd in spoorzones, omdat deze vanwege de nabijheid van OV-voorzieningen aantrekkelijk zijn. Het gaat hier om de bouw van nieuwe woningen en de aanpassing (optoppen, uitbreiden, ombouwen) van bestaande gebouwen. Als gevolg hiervan zullen er steeds meer mensen dicht bij spoorlijnen wonen. Dit betekent dat er meer mensen in gebieden wonen tot waar de effecten van een ongeval met het spoorgoederenvervoer van gevaarlijke stoffen kunnen reiken. Dit speelt in mindere mate voor vervoer over de weg of het water. Dit is omdat de afstand tussen bijvoorbeeld binnenvaartschip en bebouwing meestal groter is en omdat transportroutes vaak niet door dichtbevolkte kernen lopen, zoals dit bij spoorlijnen wel het geval is. Daarnaast zal het met een toenemende bevolking moeilijker worden om geschikte tracés te vinden voor nieuw aan te leggen buisleidingen. Het is aan te bevelen om inzichtelijk te maken waar de externe veiligheidsrisico's mogelijk zullen toenemen als gevolg van verdichting in de buurt van infrastructuur voor het vervoer van gevaarlijke stoffen. Daarbij is het belangrijk om al in een vroeg stadium van de besluitvorming tot verdichting in een bepaald gebied aandacht te geven aan externe veiligheidsaspecten en deze mee te wegen. Verder speelt de perceptie van het vervoer van gevaarlijke stoffen en de bijbehorende risico's een rol, met name omtrent het spoorgoederenvervoer omdat dit door dichtbevolkte gebieden loopt.

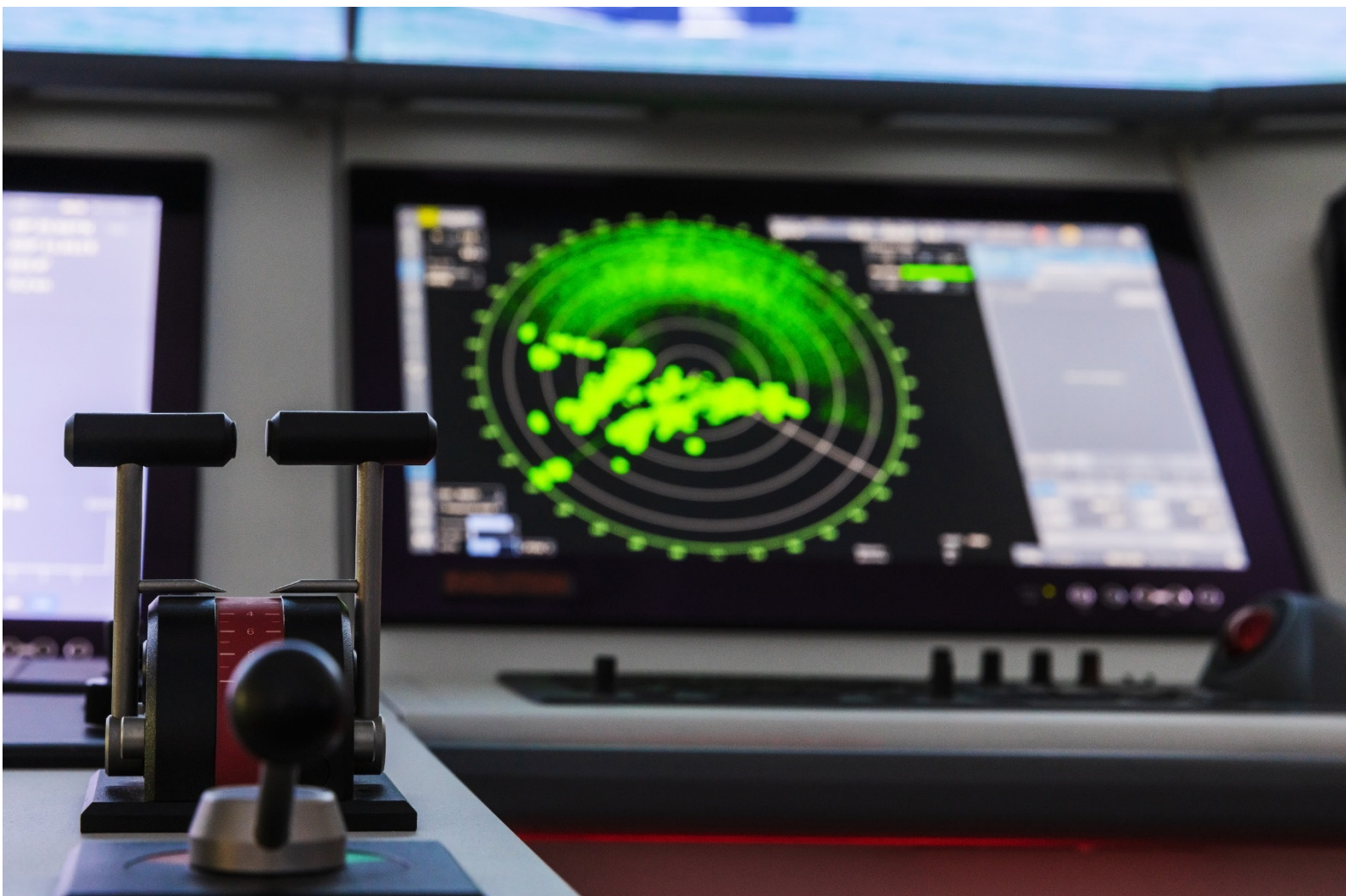
6 Technologische ontwikkelingen

Technologische ontwikkelingen hebben potentieel een grote invloed op het (veilige) verloop van het vervoer van gevaarlijke stoffen. Het onderwerp technologie hangt sterk samen met andere bewegingen in de maatschappij, zoals de noodzaak tot klimaatadaptatie en de energietransitie. Eerst zal worden stilgestaan bij digitalisering, omdat dat van invloed is op het vervoer van gevaarlijke stoffen in het algemeen. Volgend hierop zal per modaliteit kort worden stilgestaan bij de meest relevante ontwikkelingen.

De komende jaren vinden er naar verwachting veel technologische ontwikkelingen op het gebied van digitalisering plaats. Digitalisering biedt volop kansen, ook voor het vervoer van gevaarlijke stoffen. Zo wordt er momenteel veel onderzoek gedaan naar het automatiseren van transport, wat ook het vervoer van gevaarlijke stoffen efficiënter kan laten verlopen. Het effect van autonoom transport op de (externe) veiligheid is nog onbekend. De mogelijkheden van autonoom transport per modaliteit worden verderop nader toegelicht. Automatisering kan ook een mogelijke oplossing zijn voor de tekorten op de arbeidsmarkt (zie paragraaf 7.2). Hierbij is de veiligheid van het vervoer van gevaarlijke stoffen bij automatisering en autonoom transport een aandachtspunt. Daarnaast verdient de veranderende interactie tussen mens en technologie waarbij nieuwe gevaren ontstaan (human factor-risico's) zorgvuldige beschouwing [114].

Verder kan digitalisering de mobiliteitsbehoefte van mensen veranderen [103]. Door meer inzicht in mogelijke drukte op de route kunnen mensen besluiten hun reis op een ander moment of via een andere route af te leggen, zodat deze prettiger verloopt. Het aangenamer maken van reizen kan de drempel tot het ondernemen van een reis verlagen en zo de mobiliteitsbehoefte van mensen vergroten. Tegelijkertijd kunnen mensen door de mogelijkheid om hybride te werken verder van hun werk wonen, waardoor reizen mogelijk langer maar minder frequent worden. Dit kan zorgen voor veranderingen in het filepatroon op de weg, of juist voor meer drukte op het spoor op bepaalde momenten, wat ook gevolgen kan hebben voor het vrachtverkeer of het spoorgoederenvervoer.

In de goederenvervoersector wordt ook gewerkt aan het digitaliseren van documentatie middels de *electronic freight transport information* (eFTI) regulation [115]. Hierdoor moeten gegevens makkelijker gedeeld kunnen worden, zodat de logistiek efficiënter verloopt en inspectie makkelijker wordt. Bovendien is informatie over de gevaarlijke lading sneller beschikbaar in het geval van een incident (interview #7). Een belangrijk aandachtspunt hierbij is cyberveiligheid. Informatie over waar een gevaarlijke lading zich op welk moment bevindt, kan immers interessant zijn voor kwaadwillenden.



Een toenemende digitalisering biedt namelijk niet alleen kansen, maar kan ook leiden tot (aanvullende) kwetsbaarheden. Zo zorgde een wereldwijde CrowdStrike-update voor een storing bij 8,5 miljoen Windows-systemen [116]. Als gevolg hiervan moesten vluchten op Schiphol geannuleerd worden en werd ziekenhuiszorg afgeschaald [117]. Doordat er steeds meer sprake is van digitale monocultuur, waarbij enkele grote spelers de markt in handen hebben, neemt het risico op dergelijke grote storingen toe [116]. Veel infrastructuur, zoals snelwegen en bruggen, maken nu ook al gebruik van technische systemen om de bediening te vereenvoudigen en de veiligheid te bevorderen [116]. Als deze systemen niet werken, kunnen sluisen, bruggen en tunnels tijdelijk buiten gebruik raken, waardoor het verkeer verstoord wordt. In 2023 werd het treinverkeer rond Amsterdam bijvoorbeeld platgelegd door een grote IT-storing bij ProRail [118] en in 2024 was er een storing bij het ministerie van Defensie waardoor enkele organisaties, zoals de Kustwacht en de Koninklijke Marechaussee, lastiger met elkaar konden communiceren en het vliegverkeer op vliegbasis Eindhoven ontregeld was [119]. Met toenemende digitalisering in de transportsector neemt ook het risico op dergelijke verstoringen toe.

Daarnaast neemt met toenemende digitalisering het risico op moedwillige verstoring door middel van cyberaanvallen toe. Als gevolg hiervan is aandacht voor cybersecurity bij zowel de uitrol van nieuwe, als het gebruik van reeds gevestigde technologieën van groot belang. Het aantal gerapporteerde cybercrime-incidenten in Nederland, zoals Ransomware en DDos-aanvallen, is hoog maar momenteel nog stabiel [116]. Vitale infrastructuur, dus ook de digitale infrastructuur van transportroutes voor het vervoer van gevaarlijke stoffen, kunnen een mogelijk doelwit zijn. In het buitenland zijn hier al voorbeelden van bekend, onder meer in de energiesector [13, 116]. Dit kan een risico zijn voor de veiligheid en stabiliteit van het transport, en digitale risico's kunnen fysieke gevolgen hebben. Om de cyberveiligheid in essentiële sectoren te waarborgen, is recent de NIS-2¹⁸-richtlijn ingevoerd waaraan relevante bedrijven moeten voldoen om zich te beschermen tegen cyberaanvallen [120].

Naast de voordelen zorgt de ontwikkeling van de kwantumcomputer op langere termijn ook voor toenemende veiligheidsrisico's [13]. Kwantumcomputers beschikken over meer rekenkracht, waardoor veelgebruikte encryptiemethodes verzwakt kunnen worden. Dit kan problemen opleveren bij de aansturing van verkeerslichten en bruggen. Tegelijkertijd kunnen ook de ontwikkelingen op het gebied van kunstmatige intelligentie voor een toename aan cybercrime-incidenten zorgen. Cyberaanvallen kunnen lastiger te detecteren worden en *generative AI* kan gebruikt worden voor (steeds overtuigendere) phishing of om al bestaande malware te herschrijven [121]. Mogelijk wordt het uitvoeren van cyberaanvallen daardoor ook makkelijker voor mensen met weinig kennis. Een belangrijk aandachtspunt is het gebrek aan personeel met kennis van cyberveiligheid, waardoor bedrijven zich lastiger kunnen verweren tegen dergelijke aanvallen. Tot slot vormt ook het kwaadwillend handelen van statelijke actoren een risico voor cybersecurity, meer hierover in hoofdstuk 8 over geopolitieke ontwikkelingen.

6.1 Spoor

De komende jaren worden er in het (internationale) spoorvervoer technologische vernieuwingen doorgevoerd met als doel de veiligheid op het spoor te vergroten en de capaciteit van het spoor te verhogen. Zo wordt het *European Rail Traffic Management System* (ERTMS) uitgerold. Dit is een Europees systeem voor spoorbeïnvloeding, waarbij het spoorvervoer digitaal beveiligd wordt [122]. Het systeem faciliteert het internationale spoorgoederenvervoer, want spoorwegseinen en treinbeïnvloeding worden interoperabel, zodat treinen zonder problemen de grens kunnen passeren [123]. Dit zorgt voor een verhoging van de capaciteit en van de veiligheid op het spoor. Ook worden seinen vernieuwd en uitgerust met Automatische Trein Beïnvloeding Verbeterde versie (ATB-Vv), waarmee het aantal treinen dat door een rood sein rijdt wordt teruggedrongen en de veiligheid toeneemt [68]. Met technologische ontwikkelingen wordt de veiligheid van het spoorvervoer verbeterd, om de infrastructuur ook met hogere capaciteit te kunnen gebruiken. Het is dan de bedoeling dat het totale veiligheidsniveau van het spoorvervoer,

¹⁸ NIS staat voor Network and Information Security. Deze richtlijn richt zich op bedrijven die actief zijn in essentiële sectoren. De NIS-2 richtlijn omvat meer sectoren dan haar voorganger en moet leiden tot een hoger niveau van cyberveiligheid bij bedrijven en organisaties in de EU. De richtlijn omvat onder meer een zorgplicht, meldplicht en toezichtsverplichting.

en daarmee het vervoer van gevaarlijke stoffen, ten minste even hoog is als nu het geval is.

In de uitrolfase van ERTMS wordt er nog wel hinder verwacht [124]. Oude locomotieven moeten worden geüpgraded of vervangen, wat om forse investeringen vraagt en tot een hogere kostprijs van spoorgoederenvervoer kan leiden. Omdat dit probleem in heel Europa speelt, kan er mogelijk een krapte aan locomotieven ontstaan. Dit kan leiden tot een verslechtering van de concurrentiepositie van het spoorgoederenvervoer en, indien de overheid niet bijspringt, tot een *modal shift* van circa 5,4 procent van spoor naar weg [124]. Recent kwam naar voren dat het doel om ERTMS voor 2031 in Nederland uit te rollen niet volgens planning verloopt en dat er een herijking nodig is [125]. Het is nog niet bekend wanneer er volledig van ERTMS gebruikgemaakt kan worden. Op enkele baanvakken, zoals Amsterdam-Utrecht, de Hanzelijn en de Betuweroute, is het systeem al beschikbaar.

Zowel in Nederland als in het buitenland wordt er veel onderzoek gedaan naar autonoom rijdende treinen, ook wel *automatic train operation* (ATO) genoemd. Nederland werkt bij het onderzoek samen met Duitsland, om ervoor te zorgen dat de grensovergang ook met ATO soepel verloopt [126]. Op de Betuweroute en op het traject Waalhaven-Zuid is al een aantal tests uitgevoerd met goederenvervoer met ATO niveau 2, waarbij de trein zelfstandig rijdt maar er nog wel een machinist aanwezig is, vergelijkbaar met de automatische piloot in een vliegtuig [127]. In Groningen zijn er ook al tests uitgevoerd met passagierstreinen [128]. Door ATO kunnen (goederen)treinen meer punctueel rijden en kunnen de treinen onderling beter op elkaar worden afgestemd, zodat de capaciteit op het spoor kan toenemen zonder uitbreiding van de infrastructuur. Vanaf oktober 2025 wordt er op de Betuweroute door DB Cargo geëxperimenteerd met een automatisch rijdende locomotief, waarbij verschillende scenario's met onder andere halfvolle ketelwagens worden getest [129]. Het doel is om ATO tussen 2026 en 2035 op de eerste baanvakken uit te rollen, waarna verdere implementatie zal volgen.

Naast het automatisch rijden van treinen op hele trajecten wordt er onderzoek gedaan naar het automatiseren van het rangeerproces [130, 131]. Hiervoor is nog veel onderzoek vereist en het is onduidelijk op welke termijn automatisch rangeren tot de dagelijkse praktijk zal behoren. Het automatiseren van het rangeren maakt het proces efficiënter. Bovendien zullen er minder arbeidskrachten nodig zijn, wat het spoorgoederenvervoer aantrekkelijker zou kunnen maken ten opzichte van andere modaliteiten. Technische innovaties hebben de potentie om het spoorvervoer behalve efficiënter ook veiliger te maken. De impact van deze innovaties op het veilig vervoeren van gevaarlijke stoffen verdient daarbij bijzondere aandacht, vanwege de potentieel grote impact wanneer het toch misgaat.

6.2 Binnenvaart

Door het vaker optreden van lage waterstanden (zie hoofdstuk 2), worden vaarwegen onbetrouwbaarder, wat de concurrentiepositie van de binnenvaart ten opzichte van andere modaliteiten kan verslechteren. Digitalisering kan helpen om een deel van dit probleem te ondervangen.

Door de ontwikkeling van betere sensoren en het combineren van data kunnen kaarten met actuele waterdieptes worden verbeterd [11]. Het voorspellen van waterstanden is echter complex, zodat verbeteringen pas op de langere termijn verwacht worden [132]. Dit kan de betrouwbaarheid van de binnenvaart ten goede komen en daardoor een mogelijke *modal shift* van binnenvaart naar andere modaliteiten voorkomen. Bovendien kan digitalisering helpen om de efficiëntie van de binnenvaart te vergroten en congestie in de haven tegen te gaan. Een voorbeeld hiervan is het havensysteem Nextlogic [133, 134], waarmee vrije terminals, binnenvaartschepen, kades en overige onderdelen in real time op elkaar kunnen worden afgestemd. Ook bestaat er al een digitaal systeem, IVS Next, waarmee gegevens worden uitgewisseld en schepen makkelijker te volgen zijn [135]. Sluizen, bruggen en verkeersposten worden met elkaar verbonden, waardoor schepen sneller kunnen doorstromen. Ladingsgegevens worden hierin ook verwerkt, zodat informatie over een gevaarlijke lading ten tijde van een incident makkelijker beschikbaar is.

Hoewel de benodigde aanpassingen in de binnenvaart groter zijn dan voor bijvoorbeeld autonoom rijdende vrachtauto's, wordt er, ook in de binnenvaart, veel onderzoek gedaan naar autonoom varende schepen, ook wel '*smart shipping*' genoemd. Sinds 1 januari 2025 is het onder strenge voorwaarden toegestaan om zonder bemanning aan boord te varen op de Nederlandse binnenwateren, hoewel dit nu nog niet tot de dagelijkse praktijk behoort [54]. Schepen die gevaarlijke stoffen vervoeren zijn momenteel echter nog uitgesloten van deze regeling [136]. In Noorwegen wordt al in de praktijk geëxperimenteerd met autonoom varende elektrische binnenvaartschepen [137]. Vanwege een tekort aan bemanning en dankzij het efficiëntere gebruik van vaarwegen door verminderde wachttijd bij bijvoorbeeld sluizen, kan *smart shipping* bijdragen aan het aantrekkelijk houden van de binnenvaart. Bovendien kan er door autonoom varen circa 5-20 procent brandstof bespaard worden [138]. Naar verwachting zal dit echter pas over enkele decennia een rol van betekenis spelen (interview #1). Bovendien is nog onzeker in welke mate binnenvaartschepen daadwerkelijk autonoom kunnen varen. In eerste instantie zullen schepen waarschijnlijk alleen op rechte stukken autonoom kunnen varen en is er bij het passeren van sluizen en bruggen nog wel hulp nodig. Volledig autonome schepen kunnen dit zonder menselijk ingrijpen. Om *smart shipping* mogelijk te maken, zijn er verder niet alleen investeringen in de schepen nodig, maar ook in de vaarwegen [139]. Bij het automatiseren van de binnenvaart verdient de mogelijke impact op het veilig vervoeren van gevaarlijke stoffen bijzondere overweging. Uitgangspunt blijft dat met het automatiseren van het vervoer een minstens even hoog veiligheidsniveau gewaarborgd blijft.

Er wordt ook gekeken naar het automatiseren van de walaansluiting van schepen bij het laden en lossen (interview #7). Het aansluiten gebeurt nu nog handmatig, waarbij er kleine hoeveelheden van de vervoerde stof kunnen vrijkomen, waaraan het personeel en het milieu dan worden blootgesteld. Het automatiseren van de walaansluiting zou dus de veiligheid van het personeel in de havens kunnen vergroten. Ook zou digitalisering kunnen worden ingezet voor de automatische detectie van grenswaardes van stoffen met behulp van intelligente ladingtanks en eNoses, waarna hulpdiensten automatisch worden ingeschakeld [54].

6.3 Weg

De afgelopen jaren zijn er steeds meer digitale rijhulpsystemen geïntroduceerd; denk aan cruise control, noodremsystemen en rijstrookassistentie. Met behulp van slimme mobiliteitstoepassingen kan het vrachtverkeer efficiënter verlopen [140]. Op die manier wordt informatie van wegsensoren gecommuniceerd naar de systemen van vrachtwagens. Denk hierbij aan informatie over wegwerkzaamheden, gevaarlijke situaties of beschikbare parkeerplekken. In de toekomst kan vrachtverkeer dankzij communicatie met verkeerslichten mogelijk prioriteit krijgen boven ander verkeer om tijd en brandstof te besparen. Indien vrachtverkeer geen prioriteit krijgt, kan de snelheid van het vrachtverkeer op een groene golf worden afgestemd, zodat er minder vaak geremd hoeft te worden.

Er wordt ook onderzoek gedaan naar het volledig autonoom maken van het vrachtverkeer [141]. Aangezien de menselijke factor in verreweg de meeste gevallen de oorzaak is van een ongeluk, zou dit de veiligheid kunnen vergroten. Daarnaast zou autonoom vrachtverkeer een oplossing kunnen zijn voor het tekort aan chauffeurs. Vanwege het onvoorspelbare karakter van de openbare weg zal het naar verwachting echter nog lang duren voordat het vrachtverkeer volledig autonoom is. Naast de technologische uitdagingen van het autonoom maken van (vracht)verkeer en het risico op cyberaanvallen, spelen hier ook wetgevings- en verantwoordelijkheidsvraagstukken een rol. Wie draagt verantwoordelijkheid in het geval van een ongeluk als er geen bestuurder aanwezig is? Een vertegenwoordiger van de Rijksdienst Wegverkeer (RDW) [142] geeft aan dat, hoewel de systemen zich snel ontwikkelen, de wetgeving in diverse landen nog niet zover is. Naar verwachting zal het nog wel enkele decennia duren voordat autonoom rijden op de openbare weg gebruikelijk wordt.

Als gevolg van digitalisering en rijhulpsystemen kan het vrachtverkeer in de toekomst mogelijk profiteren van *truck platooning* [138, 143]. Hierbij rijden vrachtauto's in een konvooi, waarbij de volgende vrachtauto's steeds automatisch de bewegingen van de voorste vrachtauto volgen. Daarbij is dus sprake van onderlinge communicatie tussen de vrachtauto's. Als gevolg hiervan kan de onderlinge afstand tussen vrachtauto's verkleind worden, zodat wegen efficiënter gebruikt kunnen worden. Een belangrijke kanttekening hierbij is dat het voor ander verkeer lastig kan worden om in te voegen of van rijbaan te wisselen indien het konvooi uit (te) veel vrachtauto's bestaat en daardoor erg lang wordt, hetgeen een risico zou kunnen zijn voor de verkeersveiligheid. Doordat de weginfrastructuur langer meegaat dan de meeste voertuigen, kan het lastig zijn om de weginfrastructuur aan te passen aan de vereisten voor digitalisering [144]. Een vertegenwoordiger van de RDW geeft aan dat er momenteel niet gewerkt wordt aan het mogelijk maken van *platooning*, omdat de interactie met ander wegverkeer en de nadelen bij op- en afritten het op dit moment minder aantrekkelijk maken [142]. Wellicht zal dit in de verdere toekomst nog wel een rol spelen.

6.4 Buisleiding

Door de energietransitie zullen er in de toekomst nieuwe stofstromen worden vervoerd. Een deel hiervan zal ook via buisleidingen worden

vervoerd. Als gevolg van nieuwe stoffen en het beperken van kosten zal gezocht worden naar andere technieken zoals andere typen leidingen, van andere materialen of met andere diktes of het gebruik van dubbelwandige buisleidingen. Om de externe veiligheid te verbeteren en de betrouwbaarheid van het systeem te vergroten, worden technieken als in-line inspecties doorontwikkeld voor nieuwe stofstromen (interview #4) en worden de controletechnieken voor vervuilingen in de stofstroom verbeterd. Het kan lastig zijn om de risico's of veiligheidsverbetering van het gebruik van deze nieuwe technieken te kwantificeren, omdat hier nog weinig ervaring mee is opgedaan.

6.5 Samenvatting technologische ontwikkelingen

De technologische ontwikkelingen binnen het vervoer van gevaarlijke stoffen worden vooral gekenmerkt door digitalisering, autonoom vervoer en diverse andere innovaties. Dit biedt kansen om het transport efficiënter te laten verlopen, de kosten te verlagen of de capaciteit en veiligheid te verhogen. Autonoom vervoer is in ontwikkeling op zowel het spoor, in de binnenvaart als op de weg. Dit zorgt ook voor aandachtspunten, zoals de doorwerking van deze technieken naar specifiek het vervoer van gevaarlijke stoffen. Daarnaast creëert digitalisering kwetsbaarheid voor zowel moedwillige als niet-moedwillige digitale verstoringen. De toename van cyberdreigingen vraagt om meer aandacht voor cybersecurity, zeker omdat digitale storingen directe gevolgen kunnen hebben voor de fysieke veiligheid van transport en infrastructuur. Ook is het belangrijk om stil te staan bij de veranderende interactie tussen mens en technologie en de nieuwe risico's die daarmee gepaard gaan.

7 Economische ontwikkelingen

Het toekomstige functioneren en de verwachte inrichting van zowel de Nederlandse economie als die van de landen om ons heen, is van invloed op het vervoer van gevaarlijke stoffen. Hierbij gaat het niet alleen om volumes en het aantal vervoersbewegingen, maar ook om het soort stof dat wordt vervoerd en om de mogelijkheden op het gebied van investeringen, in onder meer de hiervoor benodigde infrastructuur. Bovenstaande elementen zijn onderhevig aan een zekere mate van onzekerheid, bijvoorbeeld rond de vraag hoe internationale handelsstromen in de toekomst worden vormgegeven, welke beleidskeuzes er worden gemaakt rond de inzet van schaarse capaciteiten en hoe de prijs van productiemiddelen als gas en elektriciteit eventueel zal veranderen.

Oorspronkelijk was het de verwachting dat de Nederlandse economie in termen van BBP de komende jaren beperkt zou groeien, met een prognose van 1,5 procent in 2025 en 2026 [145]. Als gevolg van importheffingen vanuit de Verenigde Staten is deze raming echter met ongeveer 1 procentpunt naar beneden bijgesteld [146]. Ten tijde van schrijven van dit rapport is het onzeker hoe lang deze tarieven op het huidige niveau zullen blijven, dan wel hoe deze er op de langere termijn precies zullen uitzien. Zeker is wel dat de Nederlandse economie in het algemeen sterk verbonden is met die in het buitenland. Dit komt onder meer door de belangrijke doorvoerfunctie die Nederland heeft.¹⁹ Van de waarde van alle door Nederland geëxporteerde goederen betreft ongeveer de helft goederen die worden doorgevoerd en dus oorspronkelijk van buiten Nederland afkomstig zijn [147]. Voor de tien belangrijkste Europese handelspartners geldt dat er gedurende de termijn 2025 tot en met 2029 economische groei wordt verwacht, uitgedrukt in BBP [148].²⁰

Economische groei vertaalt zich echter niet per se naar een groeiende industriële sector. Een steeds groter deel van het inkomen in Nederland wordt namelijk gegenereerd in de dienstensector [58]. Als er bijvoorbeeld wordt gekeken naar de Nederlandse aardolie- en chemische industrie, was de geïndexeerde productie in 2024 ongeveer gelijk aan het referentiejaar 2021 [149]. Wanneer puur wordt gekeken naar volumes van industriële productie in den brede, is hier al sinds april 2023 sprake van een daling [150].²¹ Er zijn geen signalen dat deze trend zich op korte termijn zal keren.

¹⁹ Hierbij gaat overigens maar 5,9 procent van alle uitvoer richting de Verenigde Staten, een van de redenen waarom de Amerikaanse importheffingen een relatief beperkt effect hebben op de economische groei [146].

²⁰ Deze landen zijn in volgorde van aflopende belangrijkheid: Duitsland, België, Frankrijk, het Verenigd Koninkrijk, Italië, Spanje, Polen, Noorwegen, Zweden en Ierland. Noot: ook hier geldt dat deze cijfers mogelijk bij moeten worden gesteld op basis van (veranderingen in) het sanctiebeleid van de Amerikaanse regering.

²¹ Het betreft hier zeventien maanden op rij (april 2023 t/m december 2024) een daling van productievolumes ten opzichte van een jaar eerder.



In de chemiesector is naar verhouding een van de grotere dalingen in productievolume waargenomen ten opzichte van andere voor Nederland belangrijke industriële bedrijfsklassen [150]. Bovenstaande cijfers gaan niet expliciet over de productie van dan wel de vraag naar gevaarlijke stoffen vanuit de Nederlandse industrie, maar geven wel een indicatie van de stand van de Nederlandse industrie als belangrijke gebruiker dan wel producent van verschillende gevaarlijke stoffen. In het algemeen wordt gesignaleerd dat de Nederlandse industrie het zwaar heeft als gevolg van sterk gestegen energieprijzen, prijzen die behoren tot de hoogste van Europa, en als gevolg van de soms beperkte beschikbaarheid van energie (netcongestie). Daardoor staat de concurrentiepositie van de Nederlandse (chemische) industrie en het Nederlandse vestigingsklimaat voor deze sector onder druk [151, 152].

Noot hierbij is wel dat veel nieuwe energiedragers vergeleken met fossiele brandstoffen een lagere energiedichtheid hebben. Zelfs als de energiebehoefte vanuit de industrie bijvoorbeeld afneemt, kan het nog

wel zo zijn dat de behoefte aan energiedragers in termen van volume kan toenemen.

Een op het buitenland georiënteerde economie en de hieraan verbonden afhankelijkheden maakt dat gebeurtenissen op het vlak van geopolitiek en internationale handel naar verhouding grote gevolgen kunnen hebben, afhankelijk van de betrokken landen [145]. Handelsstromen kunnen bijvoorbeeld wijzigen door de heffing van (aanvullende) importtarieven en door andere protectionistische maatregelen. Ook kunnen statelijke actoren bewust misbruik maken van bestaande Nederlandse dan wel Europese afhankelijkheden op het gebied van energie of grondstoffen, om politieke of economische druk uit te oefenen. Deze druk of de dreiging hiervan kan ertoe leiden dat er wordt gezocht naar alternatieven, zoals het grootschaliger inzetten door Europese landen op het gebruik van LNG in plaats van Russisch gas als gevolg van de Russische invasie van Oekraïne [153, 154]. Het aanwenden van alternatieve grondstoffen dan wel energiebronnen vereist in sommige gevallen aanpassingen aan de infrastructuur en goederenstromen.

De huidige geopolitieke situatie (zie hoofdstuk 8), maakt dat de onzekerheid over het handelen van actoren op het geopolitieke speelveld toeneemt. Het is lastiger dan voorheen om te voorspellen hoe internationale economische samenwerkingen en (vrij)handel eruit zullen zien. Een van de gevolgen van (de verwachting van) importheffingen door Verenigde Staten is bijvoorbeeld dat particuliere bedrijfsinvesteringen afnemen of worden uitgesteld als gevolg van de ontstane onzekerheid [146]. Tevens is het mogelijk dat de waarschuwingstijd om in te spelen op veranderingen, als deze komen, korter wordt. Hoofdstuk 8 gaat verder in op geopolitieke ontwikkelingen.

7.1 Vraag naar en aanbod van (andere) stoffen

Een belangrijk aspect van economische ontwikkelingen in het kader van het vervoer van gevaarlijke stoffen is de mate van vraag naar en aanbod van de verschillende stoffen. Deze kan worden gedreven door de hierboven genoemde meer geopolitieke ontwikkelingen en onzekerheden, maar hangt ook nauw samen met zaken als de energietransitie en de bevolkingsgroei. Een groeiende bevolking en dus ook een groeiende vraag naar producten en energie maakt dat ook in de toekomst de vraag naar en daarmee ook het vervoer van gevaarlijke stoffen zal toenemen (interview #2).

In het kader van de energietransitie zal onder meer de vraag naar waterstof en waterstofdragers als ammoniak en methanol sterk toenemen ten opzichte van de huidige situatie. Een stof als ammoniak wordt nu bijvoorbeeld al gebruikt voor andere toepassingen, maar zal in zijn rol als waterstofdrager in de toekomst in steeds grotere volumes worden gebruikt [34]. Deze vraag naar ammoniak, waterstof en andere waterstofdragers en de bijbehorende productie (dan wel import) zal in de nabije toekomst hoogstwaarschijnlijk geografisch geconcentreerd zijn rond enkele van de grotere zeehavens, zoals Rotterdam, Amsterdam, North Sea Port en de Groningen Seaports, samen met de hieromheen gelegen industriegebieden [155]. Vervoer van dergelijke stoffen zal dus veelal ook naar en van deze zeehavens plaatsvinden. Zie hoofdstuk 3

voor meer informatie over de verschillende stoffen die een rol zullen spelen in de energietransitie.

Tegelijkertijd is er nog veel onzekerheid over hoe groot de vraag naar waterstof, en daarmee ook naar waterstofdragers alsmede het vervoer hiervan, precies zal zijn op de langere termijn (interview #3). Onderdeel hiervan is enerzijds onzekerheid over de hoogte van toekomstige energieprijzen, en daarmee dus ook de verwachte prijs van waterstof,²² en anderzijds zowel de toekomstige omvang van Nederlandse industrieën met een hoog energieverbruik (mede als gevolg van deze energieprijzen) als de mogelijkheid van deze bedrijven om over te stappen op het gebruik van waterstof [83]. Het gevolg is dat zowel de import (in de vorm van afgesloten leveringscontracten) als de binnenlandse productie van waterstof vertraging oploopt en dat veel bedrijven een geplande overstap op en de hiermee gemoeide investeringen in waterstof uitstellen. Ook de mogelijkheden betreffende de toekomstige doorvoer van waterstof door Nederland zijn nog onzeker, als gevolg van vertragingen rond de DRC [83].

Vanuit de aanbodzijde gezien wordt er gesignaleerd dat er een schaarste is van de metalen (waaronder iridium) die nodig zijn voor de productie van waterstofelektrolyzers [83]. Een schaarste die past in een bredere trend betreffende de leveringsrisico's van voor de energietransitie belangrijke materialen voor bijvoorbeeld batterijen en windturbines [156]. Naast het aanbod van schaarse metalen speelt het aanbod van elektriciteit in Nederland een rol. Wat dit betreft, is er in hoofdstuk 3 al stilgestaan bij het probleem van netcongestie. Om de betrouwbaarheid van het Nederlandse energiesysteem te kunnen waarborgen, is het nodig om in de periode tot en met 2040 ongeveer 200 miljard euro te investeren. Deze investeringen zijn van belang voor het verder kunnen uitvoeren van de energietransitie [157]. Vanuit het perspectief van het vervoer van gevaarlijke stoffen, is de mate waarin de gestelde investeringsdoelen worden gehaald bijvoorbeeld van belang voor de hoeveelheid (groene) waterstof die in Nederland kan worden geproduceerd en daarmee ook hoeveel er uiteindelijk zal worden geïmporteerd. Bij import van is aannemelijk dat dit in de vorm van een waterstofdrager, zoals ammoniak of methanol, zal gebeuren (zie hoofdstuk 3). Indien er geen reconversie naar waterstof plaatsvindt, bepaalt dit dus ook in welke vorm energie wordt getransporteerd.

Naast de energietransitie speelt de mogelijke overgang naar een meer circulair ingerichte economie een rol. In de praktijk zullen er mogelijk (geografische) veranderingen ontstaan in de vraag naar en het aanbod van afvalstromen. Er zullen bijvoorbeeld meer vervoerbewegingen komen tussen recyclinginstallaties en productielocaties [104]. Als gevolg hiervan kan het vervoer van gevaarlijke stoffen ook veranderen. Beleid rond de daadwerkelijke overgang naar een circulaire economie is vooralsnog gebaseerd op vrijblijvendheid en vrijwilligheid [158]. De daadwerkelijke overgang naar een circulaire economie verloopt traag. Veel potentieel herbruikbare materialen worden nog vernietigd en het gebruik van nieuwe grondstoffen in Nederland is tussen de jaren 2020 en 2022 juist

²² Hierbij is het de verwachting dat de prijs van groene waterstof in tegenstelling tot eerdere schattingen relatief hoog zal blijven ten opzichte van grijze en blauwe waterstof als overheidsingrijpen op Rijks- of Europees niveau uitblijft. Dit wegens uitblijvende schaalvoordelen en hoge energieprijzen [83].

toegenomen. Hoewel er in deze cijfers mogelijk een verstoring zit als gevolg van de Covid-19 pandemie, lijkt het er niet op dat de ambities voor het terugdringen van het gebruik van nieuwe grondstoffen zullen worden gehaald [156]. Hoe, wanneer en in welke mate circulariteit en het bijbehorende gebruik van herwonnen grondstoffen er in de toekomst precies zal uitzien, blijft onzeker, waardoor de invloed op het vervoer van gevaarlijke stoffen nog onduidelijk is.

Het kan in het kader van het wegnemen van onzekerheid behulpzaam zijn om prognoses op te stellen in de vorm van toekomstscenario's. Monitoring van de vervoersstromen kan inzicht bieden in de mate waarin voorspelde ontwikkelingen daadwerkelijk plaatsvinden.

7.2 Arbeidsmarkt

Onder economische ontwikkelingen die mogelijk relevant zijn voor het veilig vervoeren van gevaarlijke stoffen vallen ook zaken die verbonden zijn aan verschillende productiefactoren op maatschappelijk niveau, zoals de beschikbaarheid van kapitaal en infrastructuur (zie hoofdstuk 4 voor infrastructurele ontwikkelingen). Dit onderdeel gaat specifiek in op de beschikbaarheid van personeel.

Om te beginnen is er in Nederland sprake van een krappe arbeidsmarkt. In het tweede kwartaal van 2025 waren er ongeveer evenveel werklozen als vacatures [159]. Sinds het hoogtepunt, medio 2022, met 142 vacatures voor elke 100 werkloze personen, neemt deze krapte langzaam af [151]. De beschikbaarheid van mensen op zich is echter iets anders dan de beschikbaarheid van voldoende (technisch) geschoold personeel voor onder meer de aanleg, de bediening en het onderhoud van de infrastructuur en de vervoerseenheden. Wanneer een verwachte groei van bestedingen in de infrastructuursector wordt meegenomen, is de prognose dat er in 2030 een tekort zal zijn van tussen de 100 en 150 duizend technisch geschoolde medewerkers in deze sector [160]. Dit tekort uit zich bijvoorbeeld in het feit dat binnenvaartschepen onderbemand zijn, dat de aanleg van nieuwe buisleidingen (waaronder de DRC) wordt vertraagd en dat onderhoud aan het spoor een langere doorlooptijd heeft of vaker overdag moet worden uitgevoerd [161] (interview #1; interview #4). Dit laatste heeft als gevolg dat het treinverkeer vaker en langer wordt ontregeld, waaronder dus ook het vervoer van gevaarlijke stoffen [161]. Een tekort aan personeel kan tot slot ook implicaties hebben voor de veiligheid van vervoer via de verschillende modaliteiten. Indien er bijvoorbeeld meer moet worden vertrouwd op tijdelijke uitzendkrachten, vaak afkomstig uit het buitenland, neemt het risico op arbeidsongevallen toe. Dit komt onder meer doordat instructies of waarschuwingen niet altijd goed worden begrepen door mensen die de Nederlandse taal niet (volledig) machtig zijn [162]. Uiteraard heeft niet elk arbeidsongeval gevolgen voor de externe veiligheid, maar dit risico bestaat wel als er gevaarlijke stoffen in het spel zijn.

Om deze schaarste te verzachten, is het van belang om niet alleen te kijken naar het vergroten van de instroom van mensen in de sector (bijvoorbeeld door mogelijkheden voor zijinstromen of het werven van nog ondervertegenwoordigde groepen mensen), maar ook naar het

verhogen van de productiviteit door middel van onder andere automatisering en het voorkomen van inefficiënties. Dit laatste is bijvoorbeeld mogelijk door verschillende werkzaamheden beter op elkaar af te stemmen [160]. Een bemoeilijkende factor is dat niet alleen de infrastructuursector op zoek is naar technisch geschoold personeel, maar dat dit ook voor andere sectoren geldt. Zo is bijvoorbeeld defensie voornemens om de krijgsmacht de komende jaren aanzienlijk uit te breiden, waarvoor deels naar mensen met dezelfde achtergrond wordt gezocht [163]. Naast het aantrekken van nieuw personeel, ligt er een opgave voor het bijscholen van bestaande medewerkers. In het kader van de energietransitie zullen er vaker alternatieve (brand)stoffen worden vervoerd, zoals waterstof, zowel als lading als in de vorm van te gebruiken brandstof voor bijvoorbeeld een binnenvaartschip. Deze stoffen brengen vaak andere risico's met zich mee (zie hoofdstuk 3), zowel tijdens het vervoer zelf als tijdens het bunkeren ervan. Het is van belang dat vervoerders en verladers worden bijgeschoold over deze risico's en over hoe ze veilig kunnen omgaan met de stoffen in kwestie [54]. Daarnaast zorgt digitalisering voor de noodzaak tot bijscholing van personeel.

7.3 **Samenvatting economische ontwikkelingen**

Economische ontwikkelingen, zoals economische groei, de circulaire economie en economische geopolitiek, kunnen net als de energietransitie en bevolkingsgroei tot veranderende vervoersstromen leiden. De mate van onzekerheid in deze ontwikkelingen en de onderlinge afhankelijkheden maken het lastig om te voorspellen hoeveel gevaarlijke stoffen er zullen worden vervoerd. Zo zijn commerciële partijen huiverig om te investeren zolang onzeker is of en hoe investeringen kunnen worden terugverdiend. Het opstellen van prognoses, in de vorm van toekomstscenario's die getoetst kunnen worden aan recente vervoersgegevens, kan helpen om in te schatten in hoeverre bepaalde ontwikkelingen op dit moment plaatsvinden.

Schaarste van gekwalificeerd personeel kan ervoor zorgen dat infrastructurele ontwikkelingen en de energietransitie afgeremd worden en dat er meer gebruik wordt gemaakt van buitenlandse arbeidskrachten bij het vervoer van gevaarlijke stoffen. Het is belangrijk dat er voldoende aandacht is voor de mogelijke doorwerking van deze ontwikkelingen op het veilig vervoer van gevaarlijke stoffen.

8 Geopolitieke ontwikkelingen

Ontwikkelingen op het vlak van geopolitiek hebben invloed op de Nederlandse maatschappij en daarmee ook op het (veilige) vervoer van gevaarlijke stoffen. Zo kan de Nederlandse economie worden geraakt als gevolg van handelsbeperkingen en is internationale samenwerking van groot belang voor inspanningen rond bijvoorbeeld klimaatmitigatie en -adaptatie. Dit hoofdstuk beschouwt geopolitieke ontwikkelingen op zichzelf en neemt daarbij als gevolg overwegend een meer security perspectief aan dan de voorgaande hoofdstukken van deze verkenning. Het hoofdstuk begint met een kleine beschouwing van veranderingen in het bredere geopolitieke systeem, gevolgd door ontwikkelingen op dan wel inzichten in het vlak van hybride dreigingen, ongewenste afhankelijkheden en, tot slot, weerbaarheid.

Sinds het einde van de Tweede Wereldoorlog wordt de wereldorde gekenmerkt door een nadruk op (economisch) liberale waarden en multilateralisme [164]. In dit systeem, opgetuigd onder leiding van de Verenigde Staten, is het uitgangspunt dat de interactie tussen staten is gebaseerd op regels, zoals onder meer is vastgelegd in het handvest van de Verenigde Naties en andere vergelijkbare of hieraan verbonden verdragen en instituties. Deze regels hebben onder meer betrekking op het respecteren van de staatssoevereiniteit en de arbitrage van (economische) conflicten. Vooral met het einde van de Koude Oorlog en het wegvallen van de Sovjet-Unie als een met de Verenigde Staten concurrerende wereldmacht, heeft bovenstaande inrichting dominantie verworven. Dat heeft zich geuit in de vorm van toenemende globalisering en toenemende afhankelijkheden tussen staten. In ieder geval vanuit een Europees standpunt heeft deze inrichting van de wereldorde tevens geleid tot een verbeterde veiligheidssituatie [165].

Al enige tijd is er een verschuiving waar te nemen waarbij de bovengenoemde liberale wereldorde, met daarin historisch gezien de Verenigde Staten als voorvechter en trekker, aan belang inboet. In plaats hiervan tekenen zich onderhand meerdere machtscentra af die met elkaar concurreren om (relatieve) positie en invloed [13]. Naast de Verenigde Staten kunnen ook China, India, Rusland en de Europese Unie als grootmacht worden getypeerd. Elk met eigen belangen, ambities en wereldbeelden wat betreft de inrichting van de veranderende wereldorde [165, 166]. De toenemende rivaliteit tussen deze grootmachten en tegelijkertijd die tussen meerdere opkomende 'middenmachten' leidt ertoe dat sommige staten meer en meer gebruikmaken van andere machtsmiddelen dan voorheen [165, 166]. Bijvoorbeeld de inzet van militaire middelen, hybride campagnes of financiële dan wel economische druk. Er is tussen steeds meer landen (of machtsblokken) sprake van een wedloop op onder meer economisch, technologisch en militair vlak [167]. Ook zijn deze staten meer op zoek naar andere platforms of arena's om hun macht uit te oefenen. Denk aan het politiseren van de toegang tot grondstoffen, van migratie en aan het ontzeggen van toegang tot bepaalde technologieën [165].



Vooralsnog is het niet mogelijk om te voorspellen wat de uitkomst zal zijn van de verschuivende wereldorde of hoe deze er precies zal uitzien als het stof is neergedaald [13, 165]. Wel kan al worden gekeken naar de effecten van een aantal uitingen hiervan, waar momenteel sprake van is. Specifiek vanuit het perspectief van het vervoer gevaarlijke stoffen zijn de volgende drie onderwerpen van belang: hybride dreigingen, ongewenste afhankelijkheden en, tot slot, weerbaarheid.

8.1 Hybride dreigingen

Ondanks het feit dat de mogelijkheid dat Nederland als combattant betrokken raakt bij (grootschalig) militair conflict steeds plausibeler wordt, is dit ten tijde van schrijven niet het geval [13]. Desalniettemin krijgt Nederland, gezien de huidige geopolitieke ontwikkelingen, in toenemende mate te maken met hybride dreigingen in de vorm van onder

meer spionage, sabotage en heimelijke beïnvloeding [168].²³ Alhoewel uitingen van hybride conflictvoering vaak lastig te attribueren zijn aan een bepaalde actor, worden Rusland en China gezien als twee landen van waaruit voor Nederland de grootste dan wel meest relevante dreiging uitgaat [168]. Nederland is een potentieel interessant doelwit voor bijvoorbeeld Russische hybride operaties, omdat ons land een belangrijk knooppunt vormt, zowel digitaal (Nederland is een knooppunt van zeekabels) als fysiek. Dit laatste heeft te maken met de positie van Nederland als belangrijk logistiek knooppunt en doorgang richting de rest van Europa, bijvoorbeeld voor inzetten in NAVO-verband [167, 169]. Deze logistieke verbindingen worden ook voor regulier goederenvervoer benut, waaronder dat van gevaarlijke stoffen.

Vanuit het perspectief van het vervoer van gevaarlijke stoffen, kan hybride conflictvoering zich onder meer richten op de Nederlandse defensie-industrie en de (vitale) infrastructuur [167, 169]. Hierbij kan zowel worden gedacht aan fysieke beschadigingen dan wel verstoringen als aan die van digitale aard.²⁴ Onder meer het Nederlandse spoornetwerk, van belang voor het functioneren van de Rotterdamse haven en de Nederlandse economie in zijn algemeen, loopt risico om doelwit te worden van versturende acties [169, 170]. Afhankelijk van de aard en intensiteit van deze acties zorgt dit voor logistieke verstoring, maar het kan ook de veiligheid van het spoorvervoer en daarmee ook van het vervoer van gevaarlijke stoffen in gevaar brengen.

In zijn algemeen stelt Rusland zich steeds agressiever op tegen Europese landen [167]. Sinds het begin van de oorlog in Oekraïne is er een sterke toename van fysieke hybride operaties in Europa die met enige mate van zekerheid aan Rusland kunnen worden toegeschreven: van 6 in 2022 naar 44 in 2024 [172]. Deze operaties zijn bovendien steeds ernstiger van aard en richten zich meer op West-Europa dan voorheen, met name op Duitsland en Frankrijk. Het grootste deel betreft sabotageacties, onder meer gericht op de burgerluchtvaart en op energie- en transportinfrastructuur [172].²⁵ Enkele spraakmakende voorbeelden zijn pogingen tot het versturen en laten afgaan van brandbommen in vliegtuigen van een koeriersbedrijf [164], de brandstichting bij een Duitse wapenfabrikant [173] en Russische activiteiten op onder meer de Noordzee rondom het in kaart brengen en het mogelijk voorbereiden van sabotage van onderzeese infrastructuur als buisleidingen [168].

Ook hybride activiteiten die hun oorsprong hebben in het digitale domein kunnen een effect hebben op (het veilige verloop van) het vervoer van gevaarlijke stoffen. In zijn algemeen is de digitale dreiging tegen Nederland groot en kan Nederland zowel direct als indirect (*collateral damage*) slachtoffer worden van cyberoperaties [169]. In het licht van de huidige geopolitieke situatie hebben onder meer Rusland en China hun activiteiten op het gebied van cyber geïntensiveerd [116]. Tevens

²³ Hybride dreigingen of hybride conflictvoering kan op verschillende manieren worden gedefinieerd. Binnen de veiligheidsstrategie voor het koninkrijk der Nederlanden wordt de volgende definitie gehanteerd: "[...] *dreigingen tegen de nationale veiligheid, die zich grotendeels manifesteren onder het niveau van een openlijk gewapend conflict. Daarbij is sprake van een meervoudig gebruik van middelen door statelijke en/of niet-statale actoren, met als doel bepaalde strategische doelstellingen te bereiken.*" [171].

²⁴ Zie voor meer informatie over digitale systemen ook hoofdstuk 6 over technologische ontwikkelingen.

²⁵ Voor alle drie de categorieën tezamen waren er 16 Russische operaties in 2024, van verschillende aard (sabotage, vandalisme, enzovoort) [172].

signaleert de AIVD in zijn algemeen een toename van het aantal landen dat een offensief cyberprogramma ontwikkelt, mede geholpen door de bredere (commerciële) beschikbaarheid van geavanceerde spyware [167]. Sommige van deze digitale activiteiten zijn gericht op (het verkrijgen van toegang tot) systemen verbonden aan vitale processen en infrastructuur. Deze processen kunnen daardoor verstoord raken, of de verkregen toegang kan alsnog op een later moment worden aangewend om processen te ontregelen [116, 169]. Denk hierbij niet alleen aan processen rond de afhandeling van scheepvaart, lucht- en treinverkeer, maar ook aan de digitale controlesystemen van bijvoorbeeld tunnels en bruggen en aan verstoringen van het stroomnet. In 2024 is voor het eerst een cyberoperatie waargenomen met als doel om toegang te krijgen tot een besturingssysteem behorende tot Nederlandse vitale infrastructuur [169]. Ook internationaal zijn er meerdere voorbeelden bekend, waaronder situaties waarbij voor het vervoer van gevaarlijke stoffen relevante modaliteiten zijn getroffen. Bijvoorbeeld het stilzetten van een Poolse trein door middel van een vervalst radiosignaal [174] en verstoring van het functioneren van Australische havens als gevolg van een cyberaanval (november 2023) [116].

Resumerend kan een toenemende hybride dreiging, door het digitaal dan wel fysiek verstoren van processen en controlesystemen, de veiligheid van verschillende modaliteiten en de veiligheid van het vervoer van gevaarlijke stoffen in het geding brengen, onder andere door verstoring van digitale controlesystemen of het niet meer onder controle hebben van vervoersmiddelen. Het is belangrijk om oog te hebben voor deze dreiging, bijvoorbeeld door te investeren in de digitale beveiliging van systemen en het bewustzijn hieromtrent.

Het compromitteren van deze veiligheid hoeft, tot slot, echter niet per se het primaire doel te zijn van de actor achter de hybride dreiging.

Modaliteiten als het Nederlandse spoornetwerk kunnen bijvoorbeeld ook gebruikt worden voor het transport van troepen en materieel in NAVO-verband en zijn mede daarom een interessant doelwit [175]. In dit geval is de verstoring van andere functies van het netwerk *collateral damage*.

8.2 Ongewenste afhankelijkheden

Een tweede onderwerp binnen de geopolitieke ontwikkelingen dat van belang is vanuit het perspectief van het vervoer van gevaarlijke stoffen is hoe een veranderende wereldorde gevolgen heeft voor economisch- en grondstoffenbeleid. In het bijzonder betreft het hier de vraag hoe zowel Nederland als Europa omgaat met ongewenste afhankelijkheden rond (kritieke) aanvoer- en productieketens. Dit is een onderwerp waar in het huidige geopolitieke klimaat steeds meer zorgen over zijn en dat steeds meer aandacht krijgt [166]. Zowel op het gebied van de import van kritieke grondstoffen voor de industrie als op het gebied van energie in de vorm van fossiele brandstoffen als gas, kolen en olie is de EU in grote mate afhankelijk van niet-lidstaten. Deze situatie zal naar verwachting, ondanks meerdere initiatieven, ook in de toekomst voort zal duren [164]. Wanneer in het kader van de energietransitie de overstap wordt gemaakt naar andere energiedragers en technologieën, zullen daarmee ook afhankelijkheden verschuiven naar andere stoffen en andere leveranciers. Het is bijvoorbeeld de verwachting dat de vraag naar metalen als lithium en platina exponentieel zal groeien. Veel van de ruim dertig grondstoffen

die de EU als kritiek heeft aangemerkt worden momenteel echter geleverd door een klein aantal landen buiten Europa [176].

Afhankelijkheid op zichzelf is niet per se ongewenst of 'erg'. Soms is het zelfs de enige mogelijkheid. Wel kan een afhankelijkheidssituatie in het huidige geopolitiek tijdsgewricht een risico met zich meedragen. Economische integratie en afhankelijkheden die in het verleden in het kader van steeds verdergaande globalisering als gewenst werden gezien, kunnen nu als (druk)middel worden ingezet door (*proxies* van) statelijke actoren met als doel het verwezenlijken van de eigen geopolitieke ambities [165, 177].

Risico's die een dergelijke situatie met zich meebrengt omvatten onder meer problemen rond de beschikbaarheid dan wel betaalbaarheid van (strategische) goederen en grondstoffen, de eigen toegang tot geavanceerde technologie en, tot slot, het inzetten van afhankelijkheden als drukmiddel om beleid te beïnvloeden [177]. Met de Russische invasie van Oekraïne in 2022 kwam een van deze afhankelijkheden nadrukkelijk naar voren, namelijk de afhankelijkheid van veel Europese landen van Russisch aardgas. Sinds de invasie is er veel werk gestoken in het afbouwen van de import van Russische gas, onder meer door op zoek te gaan naar alternatieve leveranciers, waaronder inzetten op de import van LNG uit andere landen [178]. Als gevolg is de import van Russisch gas sinds de start van de oorlog sterk gedaald. Tegelijkertijd is het aandeel LNG in de totale importhoeveelheid toegenomen [179, 180]. De afname van de import van Russisch gas hangt deels samen met het feit dat de totale import van gas is afgenomen, onder meer als gevolg van relatief zachte winters en beleid gericht op het gebruik van een groter aandeel van hernieuwbare energiebronnen [178]. Deels is er echter ook wel degelijk sprake van een absolute toename van de import van LNG over de periode 2018-2025.

De cijfers hebben betrekking op alle EU-landen gezamenlijk. Van al deze landen staan Frankrijk, Spanje en Nederland in de top drie van importeurs van LNG, waarbij Nederland een belangrijke doorvoerfunctie heeft [178]. De overstap naar het importeren van meer LNG en, meer in het algemeen, naar het (zover als mogelijk) diversifiëren van aanvoerroutes, vraagt echter tijd en (financiële) capaciteit voor het inrichten van de benodigde infrastructuur [178]. Vooral wanneer als gevolg van de geopolitieke situatie op korte termijn moet worden gezocht naar diversificatie, kan dit tot knelpunten leiden op het gebied van bijvoorbeeld beschikbaarheid. Tevens kan het zo zijn dat diversificatie leidt tot het gebruik van geografisch gezien anders gelegen infrastructuur, andere modaliteiten of zelfs andere stoffen. Zo wordt LNG primair geïmporteerd per schip en niet per buisleiding en zijn er faciliteiten nodig om dit vloeibare gas weer gasvormig te maken voor verder transport per buisleiding. (Deels) nieuwe routes, modaliteiten (zie hoofdstuk 4) en stoffen betekenen ook een veranderend veiligheidsbeeld in het kader van onder meer het vervoer van gevaarlijke stoffen: welke volumes van welke stof met welke eigenschappen worden hoe en waar getransporteerd? De route en de modaliteit bepalen welke gebieden te maken krijgen met de bijbehorende externe veiligheidsrisico's. Tegelijkertijd blijven ook gediversifieerde aanvoerroutes kwetsbaar voor onder paragraaf 8.1 genoemde hybride activiteiten. Terwijl de EU steeds meer aardgas

importeert uit Noorwegen, wordt bijvoorbeeld ook de sabotage van de Noorse gasinfrastructuur als steeds waarschijnlijker gezien in het huidige geopolitieke klimaat [164].

Naast diversificatie is het inzetten op hergebruik van stoffen en circulariteit ook een manier om ongewenste afhankelijkheden te verminderen. Voor sommige stoffen, zoals aardgas, is dit logischerwijs geen vatbare strategie, maar voor verschillende metalen is dit wel mogelijk [176]. Zoals vermeld in hoofdstuk 7, is de mate waarin de komende jaren stappen worden gezet naar een meer circulaire economie in Nederland echter nog onzeker.

Een laatste punt rond afhankelijkheden betreft zeggenschap over bedrijven en (digitale) infrastructuur. Een land als China heeft de afgelopen jaren (via tussenpartijen) geïnvesteerd in Europese infrastructuur (bedrijven), zoals rond grote zeehavens in Griekenland, België en Nederland. Hierdoor verkrijgt een buitenlandse statelijke actor (indirect) zeggenschap over deze faciliteiten. Buitenlandse investeringen en de zeggenschap die hierbij komt kijken, hoeven wederom op zich geen probleem te zijn, maar komen wel met de kwetsbaarheid dat deze invloed kan worden gebruikt om het functioneren van de faciliteiten in kwestie te belemmeren ten tijde van spanningen tussen de betreffende landen [170, 181]. Hierbij geldt dat afhankelijkheden op zichzelf ook niet groot hoeven te zijn. Zo kan het, naast overnames of het verkrijgen van een belang in bedrijven, ook gaan om individuele aanbestedingen voor bijvoorbeeld Chinese apparatuur op haventerreinen. Wanneer alle 'kleine' afhankelijkheden gezamenlijk worden gezien, kan toch een situatie ontstaan waarbij kwetsbaarheid ontstaat voor bijvoorbeeld economische druk [169].

De kwestie zeggenschap betreft niet alleen de fysieke wereld, maar ook de software en digitale platforms die door veel bedrijven en overheden worden gebruikt. Denk aan clouddiensten voor de opslag van allerlei gegevens. In dit geval wordt de markt voor deze clouddiensten gedomineerd door enkele grote Amerikaanse technologiebedrijven en zijn er momenteel weinig Europese alternatieven. Als gevolg hiervan is er een kwetsbaarheid voor veranderingen in Amerikaans beleid op het gebied van het exporteren van technologieën en digitale dienstverlening alsmede op het gebied van databescherming en -verwerking [182].

8.3 Weerbaarheid

Gezien al het bovenstaande komt steeds meer de vraag naar boven hoe Nederland weerbaar te maken tegen (de gevolgen van) geopolitieke ontwikkelingen. Ontwikkelingen die in toenemende mate onvoorspelbaar zijn, maar die tegelijkertijd wel betrekking hebben op een langere periode. Een voorbeeld van dit laatste is de constatering van de inlichtingendiensten dat zelfs als de oorlog tussen Rusland en Oekraïne tot een einde komt, dit niet het einde zal betekenen van conflict dan wel spanningen tussen Rusland en het Westen [167, 169]. Een belangrijk onderdeel van maatschappelijke weerbaarheid is de boodschap dat de (Rijks)overheid dit niet alleen kan doen en dat het nodig is om een *whole of society*-perspectief aan te nemen waarbij zowel publieke als private organisaties hun verantwoordelijkheid nemen [14, 175]. Dit betreft onder

meer het vergroten van het bewustzijn rond (nationale) veiligheid in de samenleving als geheel en het aanbieden van handvatten en middelen om te bouwen aan weerbaarheid [165, 170]. Dit geldt dus ook voor bijvoorbeeld de transportsector en de (chemische) industrie.

In het kader van hybride dreigingen komt op het gebied van weerbaarheid onder meer het fysiek beveiligen van vitale infrastructuur als aandachtspunt naar voren, waaronder de transportsector [170]. Ook kan het vervoer van gevaarlijke stoffen te maken krijgen met de gevolgen van activiteiten gericht op het bevorderen van weerbaarheid in andere sectoren. Zo heeft de Nederlandse krijgsmacht behoefte aan meer ruimte voor het opslaan en verladen van munitie om de eigen paraatheid te kunnen waarborgen. Hierbij kan er concurrentie plaatsvinden om beperkte capaciteit rond op- en overslaglocaties, zoals havens, en kunnen er problemen ontstaan rond de vereiste afstanden tussen het opslaan dan wel verladen van munitie enerzijds en die van gevaarlijke stoffen anderzijds [54]. Tegelijkertijd dient ook oog te worden gehouden voor het feit dat het verplaatsen van deze munitie zelf, al dan niet in NAVO verband, ook valt onder de paraplu vervoer gevaarlijke stoffen, aangezien munitie een explosief karakter heeft (ADR²⁶ klasse 1). Verplaatsingen waar Nederland mogelijk vaker mee te maken zal krijgen en op een potentieel groter aantal locaties, gezien de behoefte van de krijgsmacht aan meer ruimte voor oefenen, infrastructuur en opslag [183].

Het is moeilijk om te voorspellen welke dreiging(en) zich als gevolg van de veranderende wereldorde precies zullen manifesteren en in welke vorm. Wat dat betreft is er sprake van een periode van onzekerheid. Een van deze onzekerheden is in welke mate de Verenigde Staten als historische voorvechter van de liberale wereldorde elementen hiervan zelf ook ondergraaft onder de tweede termijn van president Trump [14]. Iets wat de overgang naar een nieuw systeem verder kan vormen. Dit staat nog los van het feit dat bijvoorbeeld de weerbaarheid tegen klimaat- en natuurrampen of tegen niet-moedwillige digitale verstoringen een belangrijk maatschappelijke punt van aandacht is. Daarom is het belangrijk om (voor een deel) ook te kijken naar de generieke weerbaarheid van de maatschappij en de verschillende sectoren daarbinnen [14]. Voor het vervoer van gevaarlijke stoffen betekent dit bijvoorbeeld dat verbonden sectoren en bedrijven investeren in redundante systemen, capaciteit voor het verhelpen van (digitale) verstoringen en bewustwording met betrekking tot bestaande en opkomende (geopolitieke) dreigingen en de hieraan verbonden implicaties en handelingsperspectieven. Doel hiervan is om als sector of organisatie de initiële gevolgen van eventuele verstoringen te beperken en zo spoedig mogelijk te kunnen terugkeren naar normaal functioneren.

²⁶ Het ADR is het pan-Europese verdrag voor het vervoer van gevaarlijke goederen over de weg.

8.4 Samenvatting geopolitieke ontwikkelingen

Geopolitiek gezien is er sprake van een toenemende concurrentie tussen landen. Instrumenten als hybride conflictvoering en het uitbuiten van economische afhankelijkheden worden in dit kader steeds vaker ingezet. Ook krijgt Nederland in toenemende mate te maken met hybride dreigingen in de vorm van onder meer spionage, (digitale) sabotage en heimelijke beïnvloeding. Deze is eveneens gericht op het functioneren van de (vitale) infrastructuur. Door het bewust verstoren van processen en controlesystemen kan de veiligheid het vervoer van gevaarlijke stoffen in het geding komen.

Om ongewenste afhankelijkheden van buitenlandse (statelijke) actoren te mitigeren is het van belang om in te zetten op diversificatie van aanvoerlijnen. Ook het inzetten op hergebruik van grondstoffen en het creëren van bewustzijn rond de zeggenschap over (digitale) infrastructuur zijn in dit verband van belang.

Ten tijde van geopolitieke onzekerheid is het van belang om aandacht te hebben voor weerbaarheid, ook met betrekking tot het vervoer van gevaarlijke stoffen.

9 Duiding en verdieping door experts

Om meer inzicht te krijgen in de op basis van literatuuronderzoek geïdentificeerde ontwikkelingen op externe veiligheid, is een expertsessie georganiseerd met verschillende deelnemers uit het werkveld (zie bijlage 1).

Tijdens de sessie met deskundigen zijn de volgende onderwerpen besproken:

- Nieuwe energiedragers;
- Klimaatverandering en;
- Digitalisering/cybersecurity.

Andere onderwerpen uit deze verkenning zijn aan bod gekomen in een-op-een interviews, omdat de benodigde expertise diffuser is en zich minder leent voor een expertsessie. Dit hoofdstuk richt zich specifiek op de inzichten van de deelnemers aan de expertsessie met betrekking tot de drie bovenstaande onderwerpen. Een aantal van deze inzichten is ook aan bod gekomen in de voorgaande hoofdstukken, maar worden hier alsnog weergegeven om een compleet beeld te geven van de bevindingen uit de expertsessie.

In zijn algemeen benadrukken de deelnemende experts het belang van heldere en consistente regelgeving. De regelgeving is nu nog niet altijd ingericht op het gebruik van nieuwe energiedragers, batterijen en de toegenomen digitalisering. Dit wordt hieronder per ontwikkeling verder toegelicht indien relevant.

9.1 Alternatieve energiedragers

Tijdens de bijeenkomst kwam naar voren dat er veel onzekerheid heerst omtrent alternatieve energiedragers. Het is lastig te voorspellen welke energiedragers in welke hoeveelheden waar een rol zullen spelen, wat uiteindelijk ook beïnvloed zal worden door (internationale) regelgeving, beschikbare infrastructuur, snelheid van (technologische) ontwikkelingen en beschikbaarheid van de desbetreffende energiedragers zelf. Aangezien alternatieve energiedragers een lagere energiedichtheid hebben dan traditionele fossiele brandstoffen, zou het vervoer van gevaarlijke stoffen in de toekomst kunnen toenemen, omdat er meer brandstof nodig is om dezelfde hoeveelheid energie te verkrijgen. Het verdwijnen van industrie uit Europa kan volgens de experts voor meer transport van gevaarlijke stoffen zorgen. Er moeten dan immers meer producten worden geïmporteerd, waardoor transport over langere afstanden plaatsvindt. Nederland is hierbij een mogelijk doorvoerland.

Een ander aandachtspunt is dat met het gebruik en transport van alternatieve energiedragers de bestrijding van incidenten met deze stoffen niet alleen in het industriële domein zal moeten plaatsvinden, maar ook in het publieke domein, omdat waterstof bijvoorbeeld ook voor aggregaten op bouwplaatsen gebruikt zal worden. Waterstof zal dan ook daarnaartoe getransporteerd moeten worden. Transport vindt dus niet alleen tussen industriële locaties plaats. Incidentbestrijders in het

publieke domein hebben mogelijk relatief weinig ervaring met deze stoffen, wat aandacht voor kennisdeling en opleiding cruciaal maakt. Het verspreiden van deze kennis vraagt wel veel tijd en capaciteit, terwijl incidentbestrijders momenteel al een uitgebreid takenpakket hebben. Ook zullen er met het gebruik van alternatieve energiedragers nieuwe combinaties van brandstof en lading ontstaan waar rekening mee moet worden gehouden. Zo zijn batterijbranden lastiger te blussen, zodat het extra belangrijk is om zeker te stellen dat de brand niet kan overslaan naar de lading. Bovendien wordt waterstof (ook als brandstof) vaak onder hoge drukken vervoerd. Het veilig vervoer van gevaarlijke stoffen moet voldoen aan strenge internationale regels, zodat voertuigen aangedreven door alternatieve brandstoffen pas gevaarlijke stoffen mogen vervoeren als dit veilig wordt geacht.

Grootschalig gebruik van LOHC's en natriumboorhydride (NaBH_4), een vaste stof die ook als waterstofdrager kan worden gebruikt, werd door de experts niet op korte termijn verwacht. Momenteel is de capaciteit om LOHC's te produceren te klein en is de techniek voor NaBH_4 niet vergoederd genoeg. Daarnaast is grootschalig transport van NaBH_4 nog niet toegestaan. Deze waterstofdragers zijn daarom verder niet besproken in de expertsessie.²⁷ Netcongestie en stroomuitval werden in het kader van de energietransitie ook meerdere malen genoemd als belangrijk onderwerp, maar dit is tijdens de expertsessie verder niet besproken. Hieronder wordt kort ingegaan op de inzichten van de betrokken deskundigen op het gebied van het gebruik van ammoniak, methanol en waterstof.

Het belang van heldere en consistente regelgeving voor de langere termijn werd door de stakeholders onderstreept. Een gebrek hieraan kan investeringen bemoeilijken. Zo gaven meerdere stakeholders aan dat de RED-III-richtlijn, die het gebruik van hernieuwbare energie verplicht stelt, lastig na te leven is, omdat de beschikbaarheid van waterstof(dragers) en infrastructuur nu nog onvoldoende zijn. Daarbij heerst er onduidelijkheid over welk percentage hernieuwbare energie op korte termijn zal moeten worden gebruikt als onderdeel van bestaande energiebronnen.

9.1.1

Ammoniak

Over het algemeen voorspellen de experts een toename van het transport en het gebruik van ammoniak. Deze toename wordt voornamelijk op het spoor en in de binnenvaart verwacht. De snelheid van deze ontwikkeling en de vraag, het aanbod en de prijs van ammoniak blijven echter onzekere factoren. Een van de experts noemde het transport van ammoniak per buisleiding volstrekt irrealistisch, omdat het bij een beginnende industrie waarin zoveel onzekerheid heerst lastig is om een investeerder te vinden voor de aanleg van de benodigde buisleidingen. Een andere expert ziet juist wel mogelijkheden, en geeft aan dat er partijen zijn die wel willen investeren.

Gezien de eigenschappen van ammoniak, moet er aandacht zijn voor de externe veiligheidsaspecten en wordt er vanuit de ILT een toegenomen

²⁷ Vertegenwoordigers van Nederland in de UN-TDG-commissies, die gaan over de internationale regelgeving voor het vervoer van gevaarlijke stoffen, geven aan dat er wel voorstellen worden ingediend voor regelgeving die het vervoer van LOHC's en NaBH_4 faciliteren. Dit geeft aan dat het bij sommige industriële partijen mogelijk wel op de agenda staat (interview #7).

druk op toezicht verwacht, onder andere doordat het spoorgoederenvervoer van ammoniak door Brabant onder een vergrootglas ligt. Daarom verwacht de maatschappij dat er extra goed toezicht wordt gehouden. Om de omgang met ammoniak veilig te laten verlopen, is investering in kennisontwikkeling, opleiding en menselijk kapitaal noodzakelijk. Zo is er bij de brandweer en bij veiligheidsregio's nog maar beperkte ervaring met de bestrijding van ammoniak-incidenten en moet er bij de incidentbestrijding anders mee worden omgegaan dan met traditionele fossiele brandstoffen. Bij het vrijkomen van ammoniak wordt een toxische wolk gevormd. Daarnaast kan een plas met ammoniak nog lang uitdampen, waardoor de omgeving nog lang ontoegankelijk blijft. Ook moet er geïnvesteerd worden in veiligheidsbewustzijn bij nieuwe toetreders op de markt die met ammoniak zullen werken en moeten personeel en toezichthouders goed worden opgeleid. Dit kan een punt van zorg zijn als het gebruik van ammoniak gangbaarder wordt, want de kennis over het omgaan met ammoniak is op dit moment sterk geclusterd bij enkele bedrijven. De verwachting is echter dat, ondanks de toename van het transport, het gebruik en de opslag van ammoniak in Nederland zich zullen concentreren bij bepaalde typen bedrijven of sectoren en zich niet sterk zullen verspreiden over de industrie in den brede, omdat de grootschalige opslag van ammoniak Seveso-plichtig is. Seveso-inrichtingen zijn bedrijven met grote hoeveelheden gevaarlijke stoffen waarvoor strenge veiligheidseisen gelden.

Naast kennisborging bij individuele partijen is het belangrijk dat de kennis in de gehele keten, van bron tot eindgebruiker en bij de overdracht tussen partijen, goed op orde is. Zo heeft de binnenvaartsector ervaring met het transport van ammoniak, maar vroegen de experts zich af in hoeverre deze kennis ook geborgd is bij het aan en van boord brengen van ammoniak. En in hoeverre is het systeem robuust voor schaalvergroting? Daarnaast onderstreepte een vertegenwoordiger van de haven van Rotterdam het belang van regelgeving voor het veilig bunkeren van ammoniak en van internationale regelgeving voor met ammoniak aangedreven schepen. Havens werken internationaal samen aan voorschriften voor het veilig bunkeren van schepen voor alle alternatieve brandstoffen.

Om het transport van ammoniak in de binnenvaart veiliger te laten verlopen, gaven de experts de voorkeur aan gekoeld transport. Doordat de verdamping van ammoniak energie kost, is de gifwolk van ammoniak bij koud vervoer ten tijde van een mogelijk incident namelijk kleiner. In de zeevaart is koud vervoer van ammoniak al gebruikelijk, maar de binnenvaartsector is hier nog niet op ingericht, zodat huidige ammoniaktransporten voor traditionele toepassingen nog bij omgevingstemperatuur verlopen. Een vertegenwoordiger van de Koninklijke Binnenvaart Nederland (KBN) geeft aan dat de binnenvaartsector hierbij de vraag volgt zodra de vraag naar gekoelde ammoniak zich aandient. In het verleden werd er al gekoelde ammoniak vervoerd in de binnenvaart. Het bouwen van een nieuw schip duurt circa 1,5 à 2 jaar, zodat koude ammoniak relatief snel vervoerd kan worden in vergelijking met bijvoorbeeld de aanleg van een buisleiding. Ook worden de mogelijkheden voor het gekoelde transport van ammoniak over de weg en het spoor verkend. Daarnaast benoemden de experts dat het wegtransport veiliger zou kunnen verlopen door ammoniak te

transporteren in cilinders in plaats van in tankwagens. Dit is echter niet geschikt voor het transport van grote(re) hoeveelheden. Het transport van ammoniak in tankwagens wordt in internationale context toegestaan en veilig genoeg geacht. Een eventuele overgang van tankwagens naar cilinders moet dus in internationale context worden bekeken.

9.1.2 *Methanol*

Methanol werd door de deelnemers als weinig relevant voor externe veiligheid gezien ten opzichte van de huidige situatie. Niet omdat de experts verwachten dat methanol weinig gebruikt zal worden, aangezien het bijvoorbeeld een rol zal krijgen in de productie van duurzame vliegtuigbrandstof (SAF) en als brandstof voor de zeevaart, maar omdat het wat eigenschappen betreft redelijk dicht bij de huidige aardolieproducten zit. Daardoor baart een mogelijk grootschalig gebruik van methanol minder zorgen, en wordt dit als meer van hetzelfde gezien. Een vertegenwoordiger van de haven van Rotterdam verwacht dat methanol voor de haven van Rotterdam wat hoeveelheden betreft een minder grote rol zal spelen dan ammoniak.

9.1.3 *Waterstof*

De experts verwachten dat waterstof in de toekomst niet alleen binnen de grote industrieclusters gebruikt zal worden, maar ook binnen de haarvaten van de maatschappij. Bijvoorbeeld als brandstof voor aggregaten op bouwplaatsen en voor energyhubs. Hiervoor is het van belang dat de kennis over waterstof bij incidentbestrijders goed op peil is. Zo lichtte een vertegenwoordiger van de veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond toe dat brandweerlieden gewend zijn af te gaan op dat wat ze kunnen zien bij een brand. Bij het bestrijden van een onzichtbare waterstofbrand kan dat een probleem veroorzaken. In principe zijn er al veel kennisproducten en handvatten ontwikkeld, maar het opleiden van alle brandweerlieden is bij veiligheidsregio's een uitdaging wegens tijd- en capaciteitsgebrek.

Het gebruik van waterstof als brandstof voor het vrachtverkeer over de weg zou een optie kunnen zijn voor de langere afstanden en het ADR staat dit gebruik toe. Beperkende factoren zijn echter de beschikbaarheid van waterstof, waterstoftankstations en vrachtauto's die op waterstof kunnen rijden. Momenteel ligt de focus dan ook voornamelijk op het gebruik van batterijen.

Net als voor het gebruik van andere energiedragers is heldere en consistente regelgeving belangrijk voor het gebruik van waterstof. Zo benoemde een vertegenwoordiger van de haven van Rotterdam dat het ontbreken van passende regelgeving voor het bunkeren van waterstof vanaf de wal het gebruik van waterstof belemmert. Dit komt doordat schepen in de beginfase van het gebruik van een energiedrager vaak vanaf de wal worden gebunkerd. In theorie is er in die situatie voor iedere bunkeractiviteit namelijk een afzonderlijke vergunning nodig. Bij het bunkeren vanaf de wal van waterstof komen het schip en de tankwagen al snel samen boven de Seveso-drempel uit, waardoor het bunkeren van het schip een Seveso-plichtige activiteit wordt. Het probleem van niet-passende regelgeving is overigens niet uniek voor waterstof, maar speelt bijvoorbeeld ook bij het bunkeren vanaf de wal van andere alternatieve brandstoffen, zoals ammoniak.

Daarnaast denken de experts na over het gebruik en transport van cryogene (vloeibare) waterstof. Door het vloeibaar maken van waterstof neemt de energiedichtheid toe, zodat er meer energie per volume vervoerd kan worden (zie hoofdstuk 3). Met name de haven van Amsterdam is bezig met het beschikbaar maken van infrastructuur voor vloeibare waterstof. Hierbij is de regelgeving nog wel een struikelblok, omdat het grootschalige vervoer van vloeibare waterstof in de binnenvaart nog niet is toegestaan. Dit laatste wordt geregeld via het ADN²⁸ en moet daarom in internationale context worden bekeken.

9.2 Gebruik en transport van batterijen

Hoewel het gebruik van batterijen tijdens de expertsessie niet expliciet werd uitgevraagd, gaven meerdere experts aan dat dit een grote rol zal spelen in hun sector. Zo wordt er een 'wildgroei aan batterijtoepassingen' verwacht en zullen batterijen op meer plekken worden gebruikt. Een vertegenwoordiger van de Inspectie voor Leefomgeving & Transport (ILT) gaf aan dat het belangrijk is om de integrale keten te bekijken en dus aandacht te hebben voor de verschillende fasen van de levenscyclus van batterijen, dus ook voor de afvalfase en mogelijke hergebruiktoepassingen. Ook bij het gebruik van batterijen is kennisborging bij de hulpdiensten en toezichthouders van belang, net als onderzoek en kennisdeling. Handhaafbare en uitvoerbare regelgeving is noodzakelijk. De huidige regelgeving sluit nu niet altijd goed aan op situaties uit de praktijk. Batterijbranden zijn lastig te blussen en kunnen volgens een vertegenwoordiger van de veiligheidsregio als 'aanmaakblokjes' fungeren voor een grotere brand. Combinaties van batterijen en gevaarlijke stoffen verdienen dus extra aandacht, bijvoorbeeld wanneer batterijen worden gebruikt om een modaliteit aan te drijven voor het vervoer van gevaarlijke stoffen.

In de binnenvaart wordt op bepaalde routes al elektrisch gevaren, waarbij een complete batterijcontainer kan worden uitgewisseld. Hierbij treedt volgens de deelnemers de opvallende discrepantie op dat als een container met batterijen wordt vervoerd, deze container als gevaarlijke lading wordt aangemerkt, maar zodra de container gebruikt wordt voor het voortdrijven van het schip, de batterijcontainer wordt gezien als brandstof en niet in de documentatie met gevaarlijke stoffen hoeft te worden opgenomen. Bij de plaatsing van andere gevaarlijke stoffen op het schip zou dan de situatie kunnen optreden dat er geen rekening hoeft te worden gehouden met de batterijcontainer.²⁹

9.3 Invloed van klimaatverandering

Ook de mogelijke invloed van klimaatverandering op infrastructuur en de externe veiligheidsrisico's van het transport van gevaarlijke stoffen zijn besproken met de experts. Hieruit kwam naar voren dat de deelnemers

²⁸Het ADN is een internationale overeenkomst over het vervoer van gevaarlijke stoffen in de binnenvaart die via de EU en nationale wetgeving wordt geïmplementeerd.

²⁹ De Nederlandse vertegenwoordiger van het ADN Safety Committee, die gaat over de internationale afspraken voor het vervoer van gevaarlijke stoffen in de binnenvaart, geeft aan dat voor alle brandstoffen, dus ook voor traditionele brandstoffen, een lichter regime geldt voor het gebruik dan voor het vervoer. Echter is het nog niet in het ADN geregeld dat deze batterijcontainers in het algemeen gebruikt mogen worden voor de voortstuwing van schepen die gevaarlijke stoffen vervoeren. Hij verwacht dat als de commissie zich buigt over de vraag of batterijcontainers ook ingezet mogen worden voor de voortstuwing van schepen die gevaarlijke stoffen vervoeren, er wel degelijk gekeken zal worden naar stuwage-voorschriften (plaatsing van containers met gevaarlijke stoffen ten opzichte van de batterijcontainers) (interview #7).

een verhoogd risico op natuurbranden in de buurt van transportroutes niet zien als een risico voor de externe veiligheid van het transport waarop zou moeten worden geanticipeerd. Wel leidt dit mogelijk tot een verschuiving van routes in het geval van een brand, zodat de capaciteit van de hulpverlening verplaatst moet worden.

Extremere waterstanden op binnenvaartroutes werden door de experts vaak genoemd als risico. Door lage (en, in mindere mate, hoge) waterstanden kunnen binnenvaartschepen minder lading meenemen of worden in uitzonderlijke gevallen bepaalde bestemmingen in de toekomst mogelijk onbereikbaar. Daardoor neemt de betrouwbaarheid van de binnenvaart af en neemt de kans op een *modal shift* toe. Lage waterstanden hebben in het verleden al geleid tot een *modal shift* van de binnenvaart naar spoor en weg. Ook nadat de waterstanden weer een normaal niveau hadden bereikt werd deze ladingverschuiving, met name in het geval van droge bulkloading, niet geheel teruggedraaid. In het geval van onzekerheid over de bevaarbaarheid van vaarwegen kunnen bedrijven op voorhand al de voorkeur geven aan een andere modaliteit. Hierdoor vindt er een verschuiving van de externe veiligheidsrisico's plaats en in het geval van een *modal shift* naar het spoor zal het transport door dichtbevolkte gebieden plaatsvinden. Bovendien zijn er meer schepen nodig voor het vervoeren van dezelfde hoeveelheid gevaarlijke stoffen als schepen minder lading kunnen meenemen. Ervan uitgaande dat elke vervoersbeweging een kans op een ongeval heeft, neemt de totale ongevalskans dan toe. Wel kan het effect van een ongeval kleiner zijn als schepen minder lading meenemen. Het klimaatbestendig maken van vaarwegen is dus ook vanuit externe veiligheidsperspectief een aandachtspunt (zie ook paragraaf 2.3).

Daarnaast worden er grote hoeveelheden gevaarlijke stoffen vervoerd via de binnenvaart en zou een *modal shift* van binnenvaart naar weg en spoor kunnen leiden tot capaciteitsproblemen voor deze laatste twee modaliteiten. Bovendien is onbekend in hoeverre de hoeveelheid materieel toereikend is bij een dergelijke *modal shift*. Zo is bijvoorbeeld de beschikbaarheid van voldoende spoorketelwagens die aan de nieuwste veiligheidseisen voldoen onzeker. Hierdoor zou leveringszekerheid in het geding kunnen komen, wat met name in het geval van energiedragers een probleem zou kunnen zijn.

De havens investeren in het zo goed mogelijk beschikbaar houden van de infrastructuur ten tijde van weersextremen. Sommige vervoerders in de binnenvaartsector investeren in laagwaterschepen, waarmee ook bij lage waterstanden door droogte kan worden gevaren. Om de waterstanden te beïnvloeden, is internationale samenwerking vereist. Als de vaarwegen in Nederland bevaarbaar zijn, maar schepen wegens lage waterstanden niet de grens over kunnen, zal er alsnog een *modal shift* plaatsvinden. Andersom speelt dit ook. Als de rivieren in het buitenland stroomopwaarts meer water vasthouden, heeft dat gevolgen voor de waterstanden in Nederland. Onzekerheden in prognoses van de waterstanden en de lange doorlooptijden van aanpassingen maken dit extra uitdagend.

Daarnaast werd een verhoogd risico op overstromingen genoemd als belangrijk risico, met name voor de leveringszekerheid. Dit kan er ook voor zorgen dat de aanvoer van gevaarlijke stoffen wordt gehinderd en de

levering van energie in gevaar komt. Ook de vertegenwoordiger van de haven van Amsterdam gaf aan dat een ondiepe laag water als gevolg van een overstroming of hoog water al voor grote problemen kan zorgen. Dit risico was nog niet bij alle experts een bekend zorgpunt. Daarnaast is het klimaatbestendig maken van systemen, zoals de pompmechanismen voor buisleidingen, niet altijd makkelijk. Verder kunnen overstromingen de toegang voor hulpdiensten blokkeren en zouden bijvoorbeeld kastjes voor bluswater kunnen uitvallen als deze onder water komen te staan. Dit kan wel gevolgen hebben voor de incidentbestrijding als er toch een ongeval met gevaarlijke stoffen plaatsvindt.

9.4 Digitalisering en cyberveiligheid

De experts onderschreven de toenemende digitalisering (zie ook hoofdstuk 6). Hierbij is aandacht voor cyberveiligheid belangrijk, omdat cyberincidenten van invloed kunnen zijn op externe veiligheid. Door schaalvergroting van digitalisering kunnen er tegelijkertijd veel systemen worden geraakt. De experts uitten hierbij zorgen over de snelle innovatie en de voortdurend veranderende aard van de bedreigingen.

De deelnemers benoemden dat nieuwe technieken als autonoom varen en rijden in de toekomst een belangrijke rol kunnen spelen, mits de regelgeving dit toelaat. Zo heeft in de haven van Rotterdam al een kleine autonoom varende schip rondgevaren. In de binnenvaart is *remote* varen in opkomst, waarbij er nog wel bemanning aan boord is die kan ingrijpen indien nodig. Aandacht voor cyberveiligheid wordt hiermee ook van belang voor het waarborgen van externe veiligheid. Autonoom varen of rijden maakt een modaliteit gevoeliger voor hackers in termen van verstoringspotentieel, en bij een incident is er geen bemanning aanwezig om informatie te verstrekken over de aard van het ongeval. Niet alleen autonoom varende schepen zijn kwetsbaar voor hackers, ook navigatiemiddelen bij meer regulier aangestuurde schepen kunnen worden overgenomen. Hierbij werd het niet meer onder controle hebben van een voertuig als een belangrijk gevaar gezien. Als de controle over een voertuig met gevaarlijke stoffen in de handen komt van kwaadwillenden, kan dit in het uiterste geval leiden tot een ongeval met gevaarlijke stoffen.

In de binnenvaartsector wordt vaak gebruikgemaakt van Starlink,³⁰ omdat internetverbindingen via zendmasten langs binnenvaartroutes niet overal even goed zijn. Dit brengt ook mogelijke risico's en kwetsbaarheden met zich mee, zeker in het veranderende geopolitieke landschap, en de vraag is of ook deze technologie wel altijd vrijelijk beschikbaar zal zijn. Vertegenwoordigers van de KBN en Transport en Logistiek Nederland (TLN) onderstreepten het belang van beveiliging van digitale systemen van voertuigen die losstaat van het personeel, omdat het opleidingsniveau van het personeel aan boord niet altijd aansluit op de aard van cyberdreigingen. Extra beveiligingen vergen vaak extra handelingen bij het personeel, waardoor de kans op fouten toeneemt. Ook werden de kwetsbaarheid van infrastructuur en de bediening van

³⁰ Starlink is een satellietnetwerk voor het aanbieden van internet. Het netwerk richt zich vooral op gebieden waar traditionele internettoegang minder gedekt is, zoals op het platteland. Starlink valt onder SpaceX, een bedrijf van Elon Musk.

objecten als tunnels, bruggen, sluizen, pompen en gemalen genoemd als een belangrijk aandachtspunt.

Cyberveiligheid werd door de experts gezien als een complex onderwerp. Vertegenwoordigers van TLN & KBN gaven aan dat investeren in bewustwording en urgentiegevoel belangrijk is. Bedrijven hebben behoefte aan extern advies van experts. De Europese NIS-2-richtlijnen (zie hoofdstuk 6) geven hierbij houvast, omdat het voor bedrijven zelf lastig is in te schatten wat er nodig is. Bedrijven proberen elkaar te helpen en te informeren. Een vertegenwoordiger van de ILT gaf aan dat de druk op het toezicht op cyberveiligheid bij bedrijven enorm is toegenomen. Waar vroeger toezicht moest worden gehouden op enkele bedrijven, zijn dat er nu meer dan duizend.

Het is hierbij belangrijk om op te merken dat digitalisering niet alleen nadelen heeft. Veel voordelen van digitalisering zijn al in andere hoofdstukken (zoals hoofdstuk 6) aan bod gekomen. Een vertegenwoordiger van de ILT benadrukte in het bijzonder de voordelen van digitale transportpapieren (eFTI), omdat die ervoor zorgen dat informatie makkelijker beschikbaar is. Dit geeft ook de mogelijkheid tot eenvoudiger informatie gestuurd en risico gestuurd toezicht.

10 Beschouwing

De voorgaande hoofdstukken zijn steeds vanuit een ander perspectief ingegaan op relevante ontwikkelingen die een effect kunnen hebben op het veilige vervoer van gevaarlijke stoffen. Deze ontwikkelingen zijn soms specifiek van aard en nauw verbonden aan het onderwerp vervoer, zoals het gebruik van alternatieve brandstoffen in de binnenvaart. Andere staan op het eerste gezicht verder af van het onderwerp van deze verkenning, maar zijn desalniettemin relevant. Een voorbeeld hiervan is de toename van hybride dreigingen in Europa, zoals besproken in hoofdstuk 8. Sommige van de ontwikkelingen en de eventuele gevolgen hiervan zijn van meer nationale of regionale aard, zoals het wel of niet uitvoeren van geplande infrastructurele projecten. Andere ontwikkelingen, zoals klimaatverandering en de toename in weersextremen die hiermee gepaard gaan, vertegenwoordigen daarentegen een wereldwijde trend.

Doel van deze verkenning is niet om op basis van alle besproken ontwikkelingen te komen tot een eindconclusie over de stand van veiligheid rond het vervoer van gevaarlijke stoffen. De veiligheid van het vervoer van gevaarlijke stoffen is een complex onderwerp dat wordt beïnvloed door veel verschillende factoren. Zo maakt het uit welke stoffen er vervoerd worden en spelen (de staat van) de infrastructuur en de gebruikte vervoersmiddelen een belangrijke rol. De inrichting van de omgeving en de zelfredzaamheid van omwonenden zijn bepalend voor het aantal mensen dat betrokken raakt bij een potentieel incident. Als laatste zijn de kennis en kunde van degenen die zijn betrokken bij het vervoer en bij de incidentbestrijding belangrijke parameters. De ontwikkelingen die zijn besproken in deze verkenning hangen op de een of andere manier samen met deze factoren. De overkoepelende bevindingen die in veel hoofdstukken terugkomen, zullen in de volgende paragrafen worden besproken aan de hand van drie pijlers van externe veiligheid, te weten risicobeheersing (paragraaf 10.1), de omgeving (paragraaf 10.2) en de incidentbestrijding en weerbaarheid (paragraaf 10.3). Omdat de behoefte aan kennis bij veel verschillende onderwerpen terugkwam, zal hier vervolgens in paragraaf 10.4 in detail op worden ingegaan. Tot slot volgt een korte beschouwing met betrekking tot deze verkenning zelf.

10.1 Risicobeheersing

Het is belangrijk dat het vervoer van gevaarlijk stoffen op een zodanige wijze wordt uitgevoerd dat ongevallen voorkomen worden en dat de effecten van een ongeval beperkt blijven. Wat de infrastructuur betreft is het onder meer van belang dat zowel de gerelateerde fysieke als digitale infrastructuur niet alleen 'nu' op orde is, maar ook weerbaar dan wel bestendig wordt gemaakt voor toekomstige veranderingen. Uit deze verkenning komt naar voren dat er vanuit veel hoeken gelijktijdig druk wordt uitgeoefend op het functioneren van de fysieke infrastructuur in Nederland. Infrastructuur waaronder het spoorwegennet, (toekomstige) buisleidingen, het hoofdvaarwegennet en de hieraan verbonden faciliteiten voor de afhandeling van het scheepvaartverkeer en, tot slot, het hoofdwegennet. Deze druk komt niet alleen voort uit de toenemende frequentie en ernst van weersextremen als gevolg van

klimaatverandering, maar ook uit een toenemende moedwillige dreiging in de vorm van (pogingen tot) sabotage en verstoring in zijn algemeen door kwaadwillende (statelijke) actoren. Dit is zowel fysiek als digitaal van aard.

Los van specifieke gebeurtenissen waar de Nederlandse infrastructuur idealiter weerbaar tegen dient te zijn, komt er ook druk voort uit reeds ingezette maar nog niet voltooide transitieën. Een belangrijk voorbeeld is de energietransitie. Hierbij is er sprake van andere risico's, omdat er andere stoffen met andere eigenschappen, zoals een toxisch of explosief karakter, veilig via de verschillende modaliteiten moeten worden vervoerd. Tegelijkertijd moeten deze modaliteiten en de bijbehorende infrastructuur zelf ook worden verduurzaamd. Dit alles tegen de achtergrond van een doorgaand proces van voortschrijdende digitalisering en de uitdagingen die hierbij komen kijken. Tijdens deze transitieën worden bestaande werkwijzen dan wel technologieën (deels) vervangen door nieuwe. Onderdeel hiervan is dat zowel oud als nieuw in ieder geval voor een zekere periode gelijktijdig zullen bestaan, waarbij ook een gelijktijdigheid van de bijbehorende risico's komt kijken.

In het kort komt er veel af op de Nederlandse infrastructuur, waarbij het belangrijk is om ook de gelijktijdigheid van deze uitdagingen nogmaals te benadrukken. Het voltrekken van de energietransitie en het bestendig maken van bijvoorbeeld de binnenvaart of het spoorvervoer tegen toenemende periodes van zowel droogte als extreme regenval zijn niet twee elkaar opvolgende processen, maar gelijktijdige vraagstukken die allebei potentieel van invloed zijn op de veiligheid van het vervoer van gevaarlijke stoffen. Vraagstukken die ook nog eens gelijktijdig (bestuurlijke) aandacht, financiën en capaciteit in de vorm van beschikbare vakmensen vragen. Drie middelen met een eindige beschikbaarheid. Momenteel is er sprake van een grote onderhouds- dan wel bouwopgave voor veel bestaande infrastructuur, onder meer voor het spoor en het buisleidingennet. Dit vormt enerzijds een uitdaging op het vlak van financiën en capaciteit, maar kan anderzijds ook als een kans worden gezien om de veiligheid te verbeteren en om klimaatbestendigheid mee te nemen in projecten.

Het tweede punt met betrekking tot risicobeheersing betreft naast de infrastructuur de stoffen die hiermee worden vervoerd, in het bijzonder de onzekerheid op dit vlak. Het is momenteel bijvoorbeeld nog onduidelijk hoeveel en welke waterstof(dragers) er de komende jaren vervoerd zal, respectievelijk zullen, worden, langs welke routes en via welke modaliteit. Dit hangt onder meer samen met het feit dat potentiële afnemers, aanbieders en infrastructuurbeheerders terughoudend zijn met investeringen voordat duidelijk is wat de andere partijen van plan zijn, hoe groot de vraag dan wel het aanbod is, en hoe de regelgeving vorm krijgt. Hierbij ontstaat de facto een situatie waarbij de verschillende partijen naar elkaar kijken alvorens de eerste substantiële stap te nemen, met als gevolg dat projecten moeilijk van de grond komen. Een voorbeeld hiervan is de huidige situatie waarbij er in Nederland te weinig elektrolyzers worden gebouwd voor de productie van (groene) waterstof, onder meer omdat er niet genoeg windturbines zijn om deze van stroom te voorzien. Er worden echter te weinig turbines bijgebouwd, omdat er niet genoeg vraag naar stroom is in de vorm van draaiende elektrolyzers.

Dit wordt versterkt door de bestaande netcongestie en het gebrek aan een buisleidingennetwerk om waterstof te vervoeren. Deze situatie maakt het tevens complex om uitspraken te doen over bijvoorbeeld toekomstige knelpunten rond het veilige vervoer van deze stoffen, omdat de verwachte routes, volumes en de vraag wanneer deze zullen worden gehaald nog erg onzeker zijn. Het is daardoor niet altijd duidelijk met welke (veranderende) risico's er precies rekening moet worden gehouden.

10.2 Omgeving

De omgeving waardoorheen het vervoer van gevaarlijk stoffen plaatsvindt is aan het veranderen. Zowel vanuit het perspectief van klimaat als vanuit dat van ruimtelijke ordening. Dit laatste hangt samen met een steeds grotere bevolking, een veranderende gezinssamenstelling en de noodzaak tot het bouwen van meer woningen. Het gevolg is dat er meer mensen steeds dicht bij de verschillende modaliteiten zullen wonen, een ontwikkeling die in het bijzonder geldt voor het spoor. Dit betekent dat meer mensen te maken krijgen met de risico's van vervoer per spoor en andere modaliteiten, doordat er meer mensen in het effectgebied van een potentieel ongeval wonen. Vraagstukken rond het veilig bouwen of uitbreiden van woningen ('optoppen') in of nabij bijvoorbeeld spoorzones zullen de komende tijd steeds relevanter worden, ook gezien de populariteit van het wonen dicht bij openbaarvervoersknooppunten. Een opkomende vraag is hierbij hoe om te gaan met het bouwen van woningen over (bestaande) infrastructuur heen vanuit een externe veiligheidsperspectief. Hierbij is het belangrijk om externe veiligheidsaspecten al in een vroeg stadium mee te nemen in de overweging om wel of niet te verdichten in de buurt van infrastructuur voor het transport van gevaarlijke stoffen. Ook krijgen meer mensen te maken met vervoer van gevaarlijke stoffen vanuit een belevingsperspectief, bijvoorbeeld door het ervaren van trillingen of geluid. Dit speelt des te meer omdat er naar verwachting meer mensen langs het spoor zullen wonen terwijl de ambitie bestaat om een *modal shift* te creëren naar, onder andere, vervoer per spoor.

In zijn algemeen is er in Nederland steeds meer sprake van competitie om schaarse ruimte. Dit vertaalt zich niet alleen naar de hierboven omschreven woningbouw op andere locaties dan voorheen, maar ook naar concurrentie op het gebied van infrastructuur. Zo kunnen sommige aangewezen buisleidingenstroken, zoals gereserveerde ruimte voor de Delta Rhine Corridor, niet worden gebruikt voor nieuwe ondergrondse gelijkstroomkabels die noodzakelijk zijn voor het verloop van de energietransitie. Ook de bouw van de eerdergenoemde elektrolyzers vergt potentieel veel ruimte in havengebieden. Ruimte die nu nog wordt ingenomen voor bijvoorbeeld de op- en overslag van fossiele energiebronnen. In de transitiefase zal infrastructuur voor zowel fossiele als hernieuwbare energie gelijktijdig een beslag doen op de schaarse beschikbare ruimte. Voor de toekomst van het vervoer van gevaarlijke stoffen is het van belang om mee te nemen dat het vooralsnog onduidelijk is hoe deze schaarste aan ruimte zich zal ontfouwen, welke infrastructuur of activiteiten worden geprioriteerd en welke niet. Wat dit betreft komt ook hier de in de vorige paragraaf genoemde term onzekerheid aan bod. De externe veiligheidsrisico's bij het uitbreiden of aanleggen van infrastructuur, te meer als deze in dichtbevolkte gebieden

ligt, zijn hierbij een belangrijk punt van aandacht om mee te nemen in de besluitvorming.

10.3 Incidentbestrijding en weerbaarheid

Om de effecten van een eventueel ongeval met gevaarlijke stoffen te minimaliseren en het aantal slachtoffers te beperken, is de incidentbestrijding een belangrijke schakel. In de toekomst worden er, mede dankzij de energietransitie, mogelijk andere stoffen in andere hoeveelheden en op andere plekken vervoerd. Gevaarlijke stoffen vinden hun weg van het industriële naar het publieke domein, zoals het gebruik van waterstof als brandstof op bouwplaatsen. Bovendien kan een genoodzaakte *modal shift*, bijvoorbeeld als gevolg van extreme waterstanden waardoor vervoer verschuift van binnenvaart naar weg en spoor, voor andere vervoersroutes zorgen.

Alternatieve energiedragers hebben andere risico's dan traditionele fossiele brandstoffen, en incidenten moeten mogelijk op een andere manier bestreden worden. Zo vraagt het blussen van een batterijbrand een andere benadering dan die van een dieselbrand en zijn vlammen bij waterstofbranden onzichtbaar. Bij grootschalige incidenten met giftige stoffen, zoals ammoniak, moeten mogelijk veel mensen tegelijk worden geëvacueerd, wat een groot beroep kan doen op de capaciteit van de hulpverlening. Om kwalitatief goede incidentbestrijding te waarborgen, is het op peil brengen en houden van de kennis van hulpverleners cruciaal. Dit vraagt echter veel tijd, capaciteit en financiële middelen, waarbij klimaatverandering de capaciteit extra onder druk kan zetten. Daarnaast moet informatie over wat er vervoerd wordt en hoe het vervoersmiddel wordt aangedreven makkelijk beschikbaar blijven voor de hulpverleners. Zo kan het voor de incidentbestrijding uitmaken of een voertuig elektrisch of met een fossiele brandstof wordt aangedreven. Tegelijkertijd kunnen zelfredzaamheid en weerbaarheid van de samenleving bijdragen aan het beperken van de gevolgen van een incident en daarmee ook de druk op de hulpverlening verminderen.

Tot slot beperkt incidentbestrijding zich niet alleen tot fysieke ongevallen. Het is in toenemende mate van belang om ook goed voorbereid te zijn op het bestrijden van digitale incidenten. Niet alleen gezien de steeds belangrijkere rol van digitale systemen, maar ook gezien de huidige geopolitieke ontwikkelingen en de rol van hybride conflictvoering hierin. Wat dit laatste component betreft is het tevens van belang om aandacht te hebben voor fysieke incidentbestrijding vanuit een *security*-perspectief. Dat wil zeggen de fysieke bewaking van objecten en infrastructuur die belangrijk zijn voor het vervoer van gevaarlijke stoffen tegen bewuste vernieling en belemmering, en een eventuele respons op dit vlak.

10.4 Kennisbehoefte

In een veranderende wereld, waarin er veel onzekerheid is over wat er zal gebeuren, is er een grote behoefte aan kennis op veel verschillende gebieden. De toenemende digitalisering vereist een ander type kennis dan voorheen en het beveiligen van systemen tegen dreigingen van buitenaf vraagt een gespecialiseerde benadering. Tegelijkertijd is informatie makkelijker te delen. Zo kan informatie over wat er vervoerd wordt makkelijker gedeeld worden met behulp van digitale transportpapieren,

dankzij de eFTI-verordening, en via bestaande informatiesystemen voor de binnenscheepvaart.

De toenemende druk op de infrastructuur door benodigd onderhoud en klimaatverandering vraagt om kennis over de status van de infrastructuur, geschikt onderhoud en mogelijkheden tot klimaatadaptatie. Informatie over de beschikbaarheid van infrastructuur kan vervoerders en verladers helpen bij het plannen van hun routes. Een voorbeeld hiervan is het beschikbaar maken van verwachtingen van waterdieptes over langere periodes. Daarnaast vragen alternatieve energiedragers om andere veiligheidsmaatregelen waar men op voorbereid moet zijn. Mogelijk moeten hiervoor nieuwe technieken worden toegepast, waarvan de effecten op de veiligheid (nog) niet altijd duidelijk zijn.

De regelgeving sluit nu niet altijd aan op de veranderende omstandigheden. Zo is er behoefte aan consistente regelgeving voor het gebruik en transport van batterijen in alle fasen van de levenscyclus en voor het bunkeren van alternatieve brandstoffen als ammoniak. Een duidelijke visie van het Rijk op het transport en gebruik van nieuwe energiedragers kan de bestaande verlamming omtrent investeringen verbreken. Zo lijkt de RED III-richtlijn, die het bijmengen van waterstof verplicht stelt, niet haalbaar omdat de beschikbaarheid van waterstof en infrastructuur niet kan worden gegarandeerd. Onduidelijkheid kan de investeringsbereidheid van de industrie verminderen.

Ook op het gebied van ruimtelijke ordening is het borgen en verspreiden van kennis van belang. Stedelijke verdichting rond het spoor vraagt om aandacht voor veilig bouwen en kennis van bouwkundige maatregelen. Risicocommunicatie kan kennis bij omwonenden over de risico's van het vervoer van gevaarlijke stoffen vergroten. Het niet communiceren van risico's daarentegen kan leiden tot een gevoel van wantrouwen, omdat dit de indruk kan wekken dat er bewust informatie is achtergehouden.

10.5 Concluderende opmerkingen

Overkoepelend is het een feit dat veel ontwikkelingen met elkaar samenhangen dan wel (sequentieel) afhankelijk zijn van elkaar, maar ook dat voor bijna alle onderwerpen die in dit document zijn behandeld geldt dat er sprake is van een hoge mate van onzekerheid. Waar gaan mensen in de toekomst precies wonen? Hoe gaan internationale vraag en aanbod van gevaarlijke stoffen er precies uitzien? Hoeveel waterstof is er nodig? Hoeveel ammoniak zal er vervoerd worden en via welke modaliteit? Zelfs binnen de hier gehanteerde, relatief korte tijdshorizon komt het onderwerp onzekerheid al veelvuldig aan bod. Het wegnemen van onzekerheden is niet mogelijk binnen de kaders van deze verkenning, los van de vraag of dit soms überhaupt kan.

Onzekerheid is ook een belangrijke factor wanneer het gaat om eventuele handelingsperspectieven. Voor sommige van de in deze verkenning omschreven omwikkelingen, kunnen vrij specifieke handelingsperspectieven worden aangedragen. Denk aan het klimaatbestendig(er) inrichten van spoor- en waterwegen. Andere ontwikkelingen of bredere onderwerpen, zoals de vormgeving van de

energietransitie en wat deze betekent voor het vervoer van gevaarlijke stoffen, zijn echter van zoveel variabelen afhankelijk, zo onzeker, dat eenduidige, specifieke handelingsperspectieven lastig te identificeren zijn. Het omgaan met onzekerheden, door deze enerzijds te erkennen en anderzijds zo veel mogelijk te verminderen, kan hierbij over het algemeen behulpzaam zijn. Een wezenlijke uitdaging hierbij betreft het feit dat dit doorgaans vraagt om een langetermijnperspectief en een integrale benadering van de uiteenlopende ontwikkelingen die in dit rapport uiteengezet zijn.

Deze verkenning biedt een breed, multidisciplinair overzicht van verschillende ontwikkelingen die van invloed kunnen zijn op het vervoer van gevaarlijke stoffen en, waar mogelijk, handelingsperspectieven. Het bieden van concrete handelingsperspectieven is niet altijd eenvoudig; het zal in veel gevallen afhangen van een specifieke situatie en is daarnaast omgeven door onzekerheden. Voor een effectieve beheersing van de risico's van het vervoer van gevaarlijke stoffen is het belangrijk om de doorwerking van deze trends op (de veiligheid van) het vervoer van gevaarlijke stoffen inzichtelijk te maken. De ontwikkelingen in deze verkenning kunnen aanleiding zijn voor vervolgonderzoek op specifieke onderwerpen. Het is raadzaam om aan de hand van deze verkenning met belanghebbenden en experts uit verschillende disciplines het gesprek aan te gaan over welke vervolgonderzoeken dat zouden moeten zijn. Dit kan gebruikers de mogelijkheid bieden om de veiligheid van het vervoer van gevaarlijke stoffen zowel bij de beleidsontwikkeling op nationaal niveau, als bij afwegingen en discussie op decentraal niveau mee te nemen. Tot slot, deze verkenning, en vooral de eerdergenoemde brede blik, is ook voor het RIVM de eerste keer dat het onderwerp vervoer van gevaarlijke stoffen op deze wijze is aangevlogen. De verkenning laat zien dat het veilig vervoer van gevaarlijke stoffen samenwerking vraagt van experts uit verschillende disciplines. Gevaarlijke stoffen zullen ook in de toekomst een belangrijke rol blijven spelen in onder meer de energievoorziening en de productie van goederen. Daarom is het belangrijk om regelmatig stil te staan bij relevante ontwikkelingen, met als doel om de veiligheid van dit vervoer ook in de toekomst zo goed mogelijk te blijven waarborgen.

Literatuur

- [1] Centraal Planbureau. (2024). *Kiezen voor later: Vier visies voor 2050*. Via: <https://www.cpb.nl/kiezen-voor-later-vier-visies-voor-2050>.
- [2] Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI). (9 oktober 2023). *KNMI'23-klimaatscenario's voor Nederland*. Beschikbaar via: <https://www.knmi.nl/research/publications/knmi-23-klimaatscenario-s-voor-nederland>.
- [3] ProRail. (2022). *Klimaat-effectatlas*. Via: <https://maps.prorail.nl/portal/apps/sites/#/klimaat>.
- [4] Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV). (23 januari 2023). *Natuurbrandsignaal '23*. Geraadpleegd op 09-10-2023, beschikbaar via: <https://nipv.nl/natuurbrandsignaal-23-meer-onbeheersbare-natuurbranden-met-grotere-impact-op-samenleving/>
- [5] Planbureau voor de Leefomgeving. (2024). *Klimatrisico's in Nederland; De huidige stand van zaken*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving. Beschikbaar via: <https://www.pbl.nl/system/files/document/2024-05/pbl-2024-klimatrisicos-in-nederland-5359.pdf>
- [6] Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu & TNO. (2023). *De Toekomst van Gezond en Veilig Werken: Een brede horizonscan*. Via: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2022-0197.pdf>.
- [7] Popma, J. (2024). *Hittestress en sociale dialoog in Nederland: Nederlandse landenstudie voor het ADAPTHEAT-project*. Via: <https://research.vu.nl/en/publications/hittestress-en-sociale-dialoog-in-nederland-nederlandse-landenstu>.
- [8] ProRail. (2025). *Gravende Dassen*. Via: <https://www.prorail.nl/over-ons/wat-doet-prorail/natuurbeheer/dieren/dassen/gravende-dassen-en-nu>.
- [9] Breman, B. et al. (2022). *Natuurverkenning 2050 - Scenario Natuurinclusief*. WOT-rapport 136. Via: <https://research.wur.nl/en/publications/natuurverkenning-2050-scenario-natuurinclusief>.
- [10] Koninklijke binnenvaart Nederland (KBN). (2023). *Laagwatervisie voor de Binnenvaart*. Via: <https://www.binnenvaart.nl/actueel/nieuwsbericht/koninklijke-binnenvaart-nederland-publiceert-toekomstvisie-voor-laagwater>.
- [11] Buck consultants International (BCI). (2023). *Multimodal Resilience on the Rhine Corridor*. Via: <https://topsectorlogistiek.nl/wp-content/uploads/2024/05/TSL51.00.086-Rapportage-Multimodal-Resilience-on-the-Rhine-Corridor.pdf>.
- [12] Rijkswaterstaat. (2022). *Rijkswaterstaat Klimaat-effectatlas*. Via: [https://experience.arcgis.com/experience/e47f692c02024200a03148ce770ff51b/page/Hoofdwegennet-\(HWN\)?views=-Introductie%2C3-Aquaplaning](https://experience.arcgis.com/experience/e47f692c02024200a03148ce770ff51b/page/Hoofdwegennet-(HWN)?views=-Introductie%2C3-Aquaplaning).

- [13] Analistennetwerk Nationale Veiligheid (ANV). (2024). Trendanalyse Nationale veiligheid – Hoofdrapport. Via: <https://www.rivm.nl/nieuws/trendanalyse-nationale-veiligheid-2024-stapeling-van-dreigingen-in-onzekere-tijden>.
- [14] Analistennetwerk Nationale Veiligheid (ANV). (2024). Trendanalyse Nationale veiligheid – Verdieping. Via: <https://www.rivm.nl/nieuws/trendanalyse-nationale-veiligheid-2024-stapeling-van-dreigingen-in-onzekere-tijden>.
- [15] Klimaatadaptatie Nederland. (2025). *Kennisportaal Klimaatadaptatie – Wegen*. Via: <https://klimaatadaptatienederland.nl/kennisdossiers/infrastructuur/wegen/>.
- [16] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2021). Uitvoeringsagenda Klimaatbestendige Netwerken Via: <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-48e37e0ca37e74af0bb6e7af0f785bde8b9369b5/pdf>.
- [17] Berenschot, Arcadis & Significance. (2023). *Modal Shift Buisleidingen – Eindrapport*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/cabebe9f-87be-4cd9-9f2d-50f2d138b1bf/file>.
- [18] Gasunie (2025). *Mailwisseling RIVM-Gasunie 02-07-2025*. Intern Document.
- [19] Rijksoverheid. (2019). *Klimaatakkoord (2019)*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-7f383713-bf88-451d-a652-fbd0b1254c06/pdf>.
- [20] Planbureau voor de Leefomgeving. (2024). *Klimaat- en Energieverkenning*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/ba6c456d-1b26-4cf5-8a66-7fce1655271d/file>.
- [21] Consilium. (2024). *Energieprijzen en voorzieningszekerheid*. geraadpleegd op 22-11-2024. Via: <https://www.consilium.europa.eu/nl/policies/energy-prices-and-security-of-supply/>.
- [22] Arcadis & Berenschot. (2024). *MKBV Waterstofdragers*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/dpc-92d80856153f38cc0b55860b21fb3968fd8e8291/pdf>.
- [23] Rijksoverheid. (2024). *Regeerprogramma Kabinet Schoof*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-f525d4046079b0beabc6f897f79045ccf2246e08/pdf>.
- [24] Covra. (2024). *Masterplan 2050*. Via: <https://www.covra.nl/app/uploads/2024/12/20241219-Masterplan2050.pdf>.
- [25] Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming. (2025). *Mailwisseling RIVM-ANVS 10-03-2025*. Intern document.
- [26] Nuclear Research Group. (2020). *Veiligheidsanalyse transport van EPZ brandstofelementen*. Opvraagbaar bij auteur.
- [27] Rijksinstituut voor volksgezondheid en Milieu. (2025). *Rekenmethode omgevingsveiligheid lithiumhoudende energiedragers*. Via: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2024-0194.pdf>.
- [28] Rijksinstituut voor volksgezondheid en Milieu. (2024). *Signaleringsbrief Batterijen Juni 2024*. Intern document.

- [29] Gas for Climate. (2025). *Hydrogen*. Via: <https://gasforclimate2050.eu/hydrogen/>. Geraadpleegd op 10-1-2025.
- [30] Rijksoverheid. (2023). *Nationaal Plan Energiesysteem*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/2f5cbb52-0631-4aad-b3dd-5088fab859c5/file>.
- [31] Planbureau voor de leefomgeving. (2024). *Productie, import, transport en opslag van waterstof in Nederland*. Via: <https://www.pbl.nl/publicaties/productie-import-transport-en-opslag-van-waterstof-in-nederland>.
- [32] NLHydrogen. (2023). *Vervoer gasvormig en vloeibaar waterstof in ADR*. Via: <https://nlhydrogen.nl/wp-content/uploads/2023/12/WP4-Vervoer-gasvormig-en-vloeibaar-waterstof-in-ADR.pdf>.
- [33] Nederlands Instituut Publieke Veiligheid. (2024). *Kennisbundel transport van waterstof(dragers)*. Via: <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2024/12/20241211-NIPV-Kennisbundel-transport-van-waterstofdragers.pdf>.
- [34] Arcadis & Berenschot (2021). *Ketenstudie omgevingsveiligheid van duurzame waterstofrijke energiedragers*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-f0ff37150906d4c007ba3575d659c800d2679b8b/pdf>.
- [35] Ministerie van Klimaat & Groene Groei. (2024). *Kamerbrief kabinetsvisie waterstofdragers* Via: <https://open.overheid.nl/documenten/6fd5d27a-b334-4aa2-b8fc-f0edaad4d832/file>.
- [36] Aziz, M. (2021). *Liquid hydrogen: a review on liquefaction, storage, transportation and safety*. *Energies*, 14 (18). <https://doi.org/10.3390/en14185917>.
- [37] Marin & Moss. (2023). *White Paper: Ammonia as an Essential Energy Carrier for the Energy Transition*. Via: <https://go.amogy.co/ammonia-as-an-essential-energy-carrier-white-paper>.
- [38] Stratelligence. (2024). *Vergelijking Waterstofdragers: Multicriteria-analyse van leveringsketens in Nederland*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/600a920d-b0b9-4252-ad36-1555e37efca9/file>.
- [39] AVIV. (2021). *Veiligheidsaspecten nieuwe energiedragers binnenvaart*. Via: <https://open.rijkswaterstaat.nl/open-overheid/onderzoeksrapporten/@189584/veiligheidsaspecten-nieuwe/>.
- [40] Rijksinstituut voor volksgezondheid en Milieu. (2024). *Kennisnotitie signalen waterstoftransitie*. Via: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/KN-2024-0029.pdf>.
- [41] Ministerie van Klimaat & Groene Groei. (2024). *Kamerbrief Scope en vervolg Delta Rhine Corridor*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/6321fef5-16b2-494a-8f08-ba2dd11e23f6/file>.
- [42] RMI & Global Maritime Forum. (2024). *Oceans of Opportunity: Supplying Green Methanol and Ammonia at Ports*. Via: <https://globalmaritimeforum.org/report/oceans-of-opportunity-supplying-green-methanol-and-ammonia-at-ports/>.

- [43] Rijksinstituut voor volksgezondheid en Milieu. (2023). *Liquid hydrogen carriers: an overview of technical aspects and SVHC properties*. Via: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2023-0369.pdf>.
- [44] Witteveen+Bos & AVIV. (2024). *Veiligheid Transport van ammoniak door buisleidingen*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/c68ba6c5-4d61-4b29-bf7f-735f64b713ba/file>.
- [45] Nederlands Instituut Publieke Veiligheid. (2024). *Bestuurlijke aspecten van de energietransitie*. Via: <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2025/04/20241007-NIPV-Bestuurlijke-aspecten-van-veiligheid-in-de-energietransitie.pdf>.
- [46] Rijksinstituut voor volksgezondheid en Milieu. (2024). *Factsheet: vermijd zeer zorgwekkende stoffen zoveel mogelijk in vloeibare waterstofdragers. Naar een veilige & duurzame energietransitie*. Via: <https://www.rivm.nl/documenten/vermijd-zeer-zorgwekkende-stoffen-zoveel-mogelijk-in-vloeibare-waterstofdragers-naar>.
- [47] Topsector Logistiek. (2020.) *Outlook Hinterland and Continental Freight 2020*. Via: https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/03/CE_Delft_190112_Outlook-Hinterland-Continental-Freight-2020.pdf.
- [48] Europese Commissie. (2020). *Fact Sheet Sustainable & Smart Mobility Strategy*. Via: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_20_2350.
- [49] Det Norske Veritas. (2022.) *Veiligheid elektrisch rijden en laden in logistiek en bouw*. Via: <https://www.dnv.nl/Publications/veiligheid-elektrisch-rijden-en-laden-in-logistiek-en-bouw-219308/>.
- [50] Instituut voor Fysieke Veiligheid. (2016). *Brandveiligheid van Elektrische Bussen*. Via: <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2022/02/20160930-IFV-Brandveiligheid-elektrische-bussen.pdf>.
- [51] Europese Unie. (2024). *Regulation (EU) 2024/1679*. Via: https://publications.europa.eu/resource/cellar/cc3395a5-3516-11ef-b441-01aa75ed71a1.0006.03/DOC_1.
- [52] TNO. (2020). *E-fuels: towards a more sustainable future for truck transport, shipping and aviation*. Via: <https://publications.tno.nl/publication/34636875/KDhcac/vankrane nburg-2020-efuels.pdf>.
- [53] Planbureau voor de leefomgeving. (2024). *Klimaatneutrale Binnenvaart in 2050*. Via: <https://www.pbl.nl/system/files/document/2024-03/pbl-2024-klimaatneutrale-binnenvaart-in-2050-5220.pdf>.
- [54] Antea. (2024). *Inventarisatie ontwikkelingen vervoer gevaarlijke stoffen*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/67ea20ec-1722-4837-b038-3866ff84879c/file>.
- [55] Det Norske Veritas. (2021). *Onderzoek externe veiligheid bunkeren van alternatieve brandstoffen voor de zeescheepvaart*. Via: https://www.portofamsterdam.com/sites/default/files/2021-11/DNV%20POA%20Finaal%20Rapport_Onderzoek%20externe%20veiligheid%20bunkeren%20van%20alternatieve%20brandstoffen%20voor%20de%20zeescheepvaart_Rev1_19-04-2021.pdf.

- [56] Centraal Bureau voor de Statistiek (2025), *Vervoer gevaarlijke stoffen; vervoersstroom, vervoerswijze*. Via: <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/85575NED> (geraadpleegd op 10-6-2025).
- [57] Panteia (2020). *Cost figures for freight transport*. Via: <https://www.kimnet.nl/publicaties/notities/2023/03/30/kostenken-getallen-voor-het-goederenvervoer>.
- [58] Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (2023). *Kennisbasis Goederenvervoer*. Via: <https://www.kimnet.nl/documenten/2023/02/27/kennisbasis-goederenvervoer>.
- [59] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2024). *Beleidsscenario's toekomstbeeld spoorgoederenvervoer*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/dpc-585a4f9c14243aa441e9d463cdadafdacfc2f192/pdf>.
- [60] Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (2024). *Maatschappelijk belang van spoorgoederenvervoer*. Via: <https://www.kimnet.nl/publicaties/publicaties/2024/07/11/maatschappelijk-belang-van-spoorgoederenvervoer>.
- [61] Ecorys (2023). *Hands-on oplossingsrichtingen modal shift*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/7fca6436-eb1b-4bcb-abb8-142671e67fcb/file>.
- [62] Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (2023). *Verkenning hoofdlijnenakkoord van het kabinet-Schoof en verkiezingsprogramma's 2023: energie- en transportveiligheid*. Via: <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2024/07/20240704-NIPV-Rapport-Verkiezingsprogrammas.pdf>.
- [63] Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (2025). *Rekenvoorschrift omgevingsveiligheid module III – Versie juli 2025*. Via: <https://www.rivm.nl/documenten/rekenvoorschrift-omgevingsveiligheid-module-iii-versie-juli-2025>.
- [64] Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat. (2023). *Naar een toekomstbeeld spoorgoederenvervoer*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/dpc-a5c17f649272e84a7e6ed673c83f9a42b5aa40e9/pdf>.
- [65] Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (2024). *Keuzen voor het spoor*. Via: <https://www.kimnet.nl/documenten/2024/07/08/keuzen-voor-het-spoor>.
- [66] Ecorys (2023). *Evaluatie basisnet*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/dpc-815291c381db4fe72867d19c3136f0a372026e2a/pdf>.
- [67] Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat. (2023). *Jaarverslag Basisnet 2022 en Voortgang Robuust Basisnet*. Via: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2023/10/17/jaarverslag-basisnet-2022-en-voortgang-robust-basisnet>.
- [68] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat & Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening (2025). *MIRT overzicht 2025*. Via: open.overheid.nl/documenten/1906196f-999b-4fc9-97d5-447b62621f0e/file.
- [69] Rijkswaterstaat. (2025). <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/projectenoverzicht/maas-verruiming-julianakanaal>. Geraadpleegd op 24-4-2025.

- [70] Prorail. (2024). *Veelgestelde vragen derde spoor Duitsland*. Via: <https://www.prorail.nl/siteassets/homepage/projecten/zevenaar-oberhausen/derde-spoor-duitsland---qa-omleidingsroutes---v16.01.pdf>.
- [71] Kennistafel Transport (2024). *Verslag kennistafel transport 10 oktober 2024*.
- [72] Prorail. (2024). *Programma Hoogfrequent Spoorvervoer Meteren-Boxtel*. Via: <https://www.prorail.nl/programmas/programma-hoogfrequent-spoorvervoer/phs-meteren-boxtel> (geraadpleegd op 24-2-2025).
- [73] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2024). *Kamerbrief Voortgang MIRT-onderzoek Lelylijn en Nedersaksenlijn*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/dpc-3122599d8dcbf9a1bd56f7bdb5ad8b973749f1d4/pdf>.
- [74] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2024c). *Kamerbrief Voortgang vervolgstappen Lelylijn en Nedersaksenlijn*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/dpc-9db1b9f16144416dc911ade96ea54e63e06f68f2/pdf>.
- [75] Ministerie van Financiën. (2025). *Voorjaarsnota 2025*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/910f6f86-c426-4f7a-8edf-b5771f9179c4/file>.
- [76] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening, Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. (2024). *MIRT onderzoek Nedersaksenlijn Deelrapportage: Participatie*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/dpc-534b575f6ea209da60d4eb4889682f967d8b1b54/pdf>
- [77] Infra op Orde (2024). *Infraoporde.thefutureisours.nl* (geraadpleegd op 24-2-2025).
- [78] Prorail. (2024c). *Masterplan 2026 – 2030*. Via: <https://www.prorail.nl/contentassets/5d0adcd95cc749d58fa1c89b366ab9fa/masterplan-2026--2030.pdf>
- [79] Hynetwork. (2025), <https://www.hynetwork.nl/over-hynetwork/waterstofnetwerk-nederland>, geraadpleegd op 13-2-2025.
- [80] Bilfinger Tebodin Netherlands B.V. (2021). *Onderzoek Technische Aspecten van Waterstof in Bestaande Buisleidingen t.b.v. de Energietransitie*. Via: <https://www.gasunie.nl/uploads/fckconnector/e5b2a5e8-2ada-55d8-b2c4-f3843a6db68f>
- [81] Buck Consultants International. (2024), *Verkenning behoefte buisleidingen vervoer gevaarlijke stoffen in Nederland*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/dpc-34254acdd27ad5c79e68d0963cdcf91f79b1ae9/pdf>.
- [82] Gasunie. (2024). *Interview: Planning landelijk waterstofnetwerk geactualiseerd*. Via: <https://www.gasunie.nl/nieuwsbrief/gasunie-update-3-2024/interview-planning-landelijk-waterstofnetwerk-geactualiseerd>, geraadpleegd op 13-2-2025.
- [83] Planbureau voor de Leefomgeving (2025). *Groene waterstof: de praktische uitdagingen tussen droom en werkelijkheid*. Via: <https://www.pbl.nl/system/files/document/2025-02/pbl-2025-groene-waterstof-de-praktische-uitdagingen-tussen-droom-en-werkelijkheid-5608.pdf>.

- [84] Rijksoverheid. (2024), *Programma Energiehoofdstructuur*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/f7d12cc1-4f28-4596-b498-ee56077b3622/file>.
- [85] Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2025). *Delta Rhine Corridor*, Via: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/bureau-energieprojecten/lopende-projecten/drc>.
- [86] Buck Consultants International. (2024), *Niet alleen door Brabant maar ook voor Brabant*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/37c97a00-74d6-481d-a665-b9550882a8fe/file>.
- [87] Porthos (2025). *Porthos: CO2-transport en -opslag onder de Noordzee*. Via: <https://www.porthosco2.nl/>. Geraadpleegd op 13-2-2025.
- [88] Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2025). *Porthos Transport en opslag van CO₂*. Via: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/bureau-energieprojecten/lopende-projecten/porthos>. Geraadpleegd op 13-2-2025.
- [89] Aramis. (2025). *About the Aramis Project*. Via: <https://www.aramis-ccs.com/project/>. Geraadpleegd op 13-2-2025.
- [90] Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2025c). *Aramis*. Via: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/bureau-energieprojecten/lopende-projecten/aramis>. Geraadpleegd op 13-2-2025.
- [91] Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat. (2012), *Structuurvisie Buisleidingen 2012-2035*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-archief-6c800794-3400-46b7-acb0-6484f001e69c/pdf>.
- [92] Centraal Bureau voor de Statistiek. (2023). *Bevolkingsprognose 2023-2070: minder geboorten, meer migratie*. Via: <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/statistische-trends/2023/bevolkingsprognose-2023-2070-minder-geboorten-meer-migratie>.
- [93] Centraal Bureau voor de Statistiek. (2021). *Huishoudensprognose 2021-2070: Groei aantal huishoudens houdt aan*. Via: <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/statistische-trends/2021/huishoudensprognose-2021-2070-groei-aantal-huishoudens-houdt-aan>.
- [94] Nederlands Interdisciplinair Demografisch Instituut NIDI. (2021). *Bevolking 2050 in beeld: opleiding, arbeid, zorg en wonen*. Via: <https://publ.nidi.nl/output/2021/nidi-cbs-2021-bevolking-2050-in-beeld.pdf>.
- [95] Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening. (2024). *Programma woningbouw*. Via: <https://www.volkshuisvestingnederland.nl/onderwerpen/programma-woningbouw>.
- [96] Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. (2022). *Programma Novex*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-4f4cc9e4ca36babcb05a661dc5859b723d24a3d2/pdf>.

- [97] Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (2025). *Onderzoek Beleving Woonomgeving (OBW). vierjarige rapportage (2019-2022)*. Via: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2024-0128.pdf>.
- [98] Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (2022). *Verkenning thema veiligheidsbeleving van vervoer gevaarlijke stoffen*. Via: <https://www.rivm.nl/documenten/memo-verkenning-thema-beleving-vervoer-van-gevaarlijke-stoffen>.
- [99] Nederlands Interdisciplinair Demografisch Instituut NIDI. (2020). *Bevolking 2050 in beeld: Drukker, diverser en dubbelgrijs*. Via: <https://publ.nidi.nl/output/2020/nidi-cbs-2020-bevolking-2050-in-beeld.pdf>.
- [100] Suddle, S. (2025). Veiligheid blijft een aandachtspunt bij stedelijke verdichting. *Romagazine*, 43, pp.36-39.
- [101] Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening. (2024). *Wat is de landelijke aanpak optoppen?* Via: <https://www.volkshuisvestingnederland.nl/onderwerpen/optoppen/wat-is-de-landelijke-aanpak-optoppen>.
- [102] Antea Group. (2024). *Bouwen over en onder transportassen met gevaarlijke stoffen – Scenarioanalyse*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/20cdf41e-166e-4008-a172-85d8d92c6391/file>.
- [103] Planbureau voor de Leefomgeving. (2019). *Scenario's voor stedelijke ontwikkeling, infrastructuur en mobiliteit*. Via: <https://www.pbl.nl/uploads/default/downloads/pbl-2019-scenarios-voor-stedelijke-ontwikkeling-infra-en-mobiliteit-3381.pdf>.
- [104] Planbureau voor de Leefomgeving. (2023). *Vier scenario's voor de inrichting van Nederland in 2050*. Via: <https://www.pbl.nl/publicaties/vier-scenarios-voor-de-inrichting-van-nederland-in-2050>.
- [105] APPM Management Consultants. (2023). *Platform Spoorgoederenvervoer – Advies*. Via: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/04/07/adviesrapport-appm-platform-spoorgoederenvervoer>.
- [106] Nederlandse Omroep Stichting. (2023). *Giftreinen door Brabantse steden zijn hoofdpijndossier bij verkiezingen*. Via: <https://nos.nl/collectie/13923/artikel/2466920-giftreinen-door-brabantse-steden-zijn-hoofdpijndossier-bij-verkiezingen>.
- [107] De Volkskrant (2025). *Gaat giftransport ondergronds? Steden willen af van giftreinen door hun woonwijken, maar het kabinet ligt dwars*. Via: <https://www.volkskrant.nl/binnenland/steden-willen-af-van-giftreinen-door-hun-woonwijken-maar-het-kabinet-ligt-dwars~b5931082/>.
- [108] Metropoolregio Amsterdam & Rijksoverheid. (2021). *Metropoolregio Amsterdam: verstedelijkingsconcept 2050*. Via: <https://openresearch.amsterdam.nl/page/79535/verstedelijkingsconcept-2050-mra>.
- [109] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2025). *Startdocument: Integrale MIRT-verkenning A2/N2- Brainportlijn en Noordwestelijke ontsluiting Brainportregio Eindhoven*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/c6f50258-aae8-4dba-a435-fa895572a807/file>.

- [110] Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V. (2024). *Optoppen van bestaande bouwwerken: Analyse van de bouwregelgeving*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/e7e60926-72fa-4f48-b0d2-a435dacef31d/file>.
- [111] Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (2024). *Voorontwerp Nota Ruimte*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/15f91cbd-8b38-47e7-a036-5f8f4310e886/file>.
- [112] Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (2023). *Onzichtbaar en onbekend. Een verkenning naar de beleving van het ondergrondse transport van waterstof door buisleidingen*. Via: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2022-0118.pdf>.
- [113] Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (2025). *Publieke beelden bij een veilige en gezonde energietransitie. Deelrapport waterstof en ammoniak*. Via: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2024-0011.pdf>.
- [114] Papadimitriou, E.; Schneider, C.; Aguinaga Tello, J.; Damen, W.; Vrouwenraets, M. L.; ten Broeke, A. (2020). *Accident Analysis and Prevention, Transport safety and human factors in the era of automation, what can transport modes learn from each other?*. Via: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2020.105656>.
- [115] Europese Commissie. (2025). *eFTI Regulation - Digitalising freight transport across the European Union*. Via: https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/logistics-and-multimodal-transport/efti-regulation_en. Geraadpleegd op 15-4-2025.
- [116] Nationaal Coördinator Terrorisme Bestrijding en Veiligheid (2024). *Cybersecuritybeeld Nederland 2024*. Via: <https://www.nctv.nl/documenten/publicaties/2024/10/28/cybersecuritybeeld-nederland-2024>.
- [117] NOS. (2024). *Hoe een softwarefoutje luchthavens, media en ziekenhuizen kon platleggen*. Via: <https://nos.nl/artikel/2529551-hoe-een-softwarefoutje-luchthavens-media-en-ziekenhuizen-kon-platleggen>. Geraadpleegd op 15-04-2025.
- [118] Prorail. (2023). *Treinverkeer rond Amsterdam weer opgestart*. Via: <https://www.prorail.nl/nieuws/storing-treinverkeer-van-en-naar-amsterdam#:~:text=Door%20een%20storing%20op%20de%20verkeersleidingspost%20in%20Amsterdam%2C,treinverkeer%20in%20en%20rond%20Amsterdam%20vanuit%20Utrecht%20geregeld>. Geraadpleegd op 14-4-2025).
- [119] NOS. (2024). *Systemen bij overheidsdiensten plat door storing bij ministerie van Defensie*. Via: [Systemen bij overheidsdiensten plat door storing bij ministerie van Defensie](https://nos.nl/artikel/2529551-hoe-een-softwarefoutje-luchthavens-media-en-ziekenhuizen-kon-platleggen). Geraadpleegd op 15-4-2025.
- [120] Europese Unie (2022). *EU Regulation 2022/2555*. Via: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2022/2555/oj/eng>.
- [121] Center for Internet Security (2025). *The Evolving role of Generative Artificial Intelligence in the Cyber Threat Landscape*. Via: <https://www.cisecurity.org/insights/white-papers/evolving-role-generative-artificial-intelligence-cyber-threat-landscape>.
- [122] ERTMS. (2024). *Wat is ERTMS*. Via: <https://ertms.nl/over-het-programma/ertms-in-nederland>. Geraadpleegd op 14-10-2024.

- [123] Prorail. (2024). *ASAP ERTMS*. Via: <https://www.prorail.nl/programmas/ertms/asap-ertms>. Geraadpleegd op 15-10-2024.
- [124] Programmadirectie ERTMS. (2023). *Toekomst Spoorgoederen*. Via: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2023/12/20/bijlage-5-notitie-over-toekomst-spoorgoederen-en-ertms>.
- [125] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2024). *20e voortgangsrapportage ERTMS*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/dpc-ec0bd050651728483795f87a98ef8514b69c5c50/pdf>.
- [126] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2019). *Joint declaration of Intent*. Via: <https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/detail?id=2019D31341&did=2019D31341>.
- [127] Prorail. (2020). *ATO verkenning Betuweroute Eindrapportage*. Via: https://www.prorail.nl/contentassets/39331d97c0a24281a342bc408e7b05a9/eindrapport_ato_verkenning_betuweroute.pdf.
- [128] Prorail & TNO. (2020). *Eindrapportage ATO verkenning Groningen*. Via: https://www.prorail.nl/siteassets/homepage/nieuws/documenten/eindrapportage_ato_groningen_200915.pdf.
- [129] Treinenweb.nl. (2025). *DB Cargo gaat op Betuweroute proeven doen met automatisch rijdende locomotief*. Via: <https://www.treinenweb.nl/nieuws/11257/db-cargo-gaat-op-betuweroute-proeven-doen-met-automatisch-rijdende-locomotief.html>. Geraadpleegd op 5-8-2025
- [130] Prorail. (2022). *De impact van ATO op het rangeerproces*. Via: <https://www.prorail.nl/siteassets/homepage/nieuws/2023/movares---de-impact-van-ato-op-het-ncbg-rangeerproces-x23--hs-rap-22007775-v2.0.pdf>.
- [131] Prorail. (2023). *Automatic Shunting*. Via: <https://www.prorail.nl/siteassets/homepage/nieuws/2023/automatic-shunting-oosterhout---research-report-v2.0-dd-20231020.pdf>.
- [132] TNO (2023). *Binnenvaart bij laag water op de Rijn*. TNO 2023 R12661. Via: <https://publications.tno.nl/publication/34642445/iCogLC/TNO-2023-R12661.pdf>.
- [133] Koninklijke Binnenvaart Nederland. (2024). *Ketenoptimalisatie*. Via: <https://www.binnenvaart.nl/dossiers/dossier/ketenoptimalisatie>. Geraadpleegd op 2-9-2025.
- [134] Nextlogic: <https://www.nextlogic.nl/zowerkthet/>, geraadpleegd op 27-5-2025.
- [135] Rijkswaterstaat (2025). *IVS Next*. Via: <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/scheepvaart/scheepvaartverkeersbegeleiding/ivs-next>. Geraadpleegd op 27-08-2025.
- [136] Staatscourant van het Koninkrijk der Nederlanden. (2025). 11214. Via: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2025-11214.html>.
- [137] Yara. (2024.) *Yara Birkeland, two years on*. Via: <https://www.yara.com/knowledge-grows/yara-birkeland-two-years-on/>. Geraadpleegd op 2-9-2025.

- [138] Europese Commissie. (2017.) *Connected and Automated Transport*. Via: <https://ec.europa.eu/newsroom/horizon2020/items/127479/en>
- [139] Panteia. (2021.), *Economische effecten smart shipping*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-fdbcee6372d1d1bcbdb722fb09278d988a703c6e/pdf>.
- [140] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2020). *Connected Transport Corridors*. Via: <https://topsectorlogistiek.nl/wp-content/uploads/2020/09/folder-connected-transport-corridors-mei-20201.pdf>.
- [141] Modi project (2024). <https://modiproject.eu/about/>. geraadpleegd op 4-11-2024
- [142] Rijksdienst voor Wegverkeer. Mailwisseling 24-04-2025.
- [143] TNO. (2015). *Truck Platooning*. Via: <https://publications.tno.nl/publication/34616035/dLIjFM/janssen>.
- [144] TNO. (2020). *Succesvolle mobiliteitstransitie met adaptieve reisbegeleiding*. Via: <https://publications.tno.nl/publication/34637554/rEHoe2/tno-2020-succesvolle.pdf>.
- [145] De Nederlandsche Bank (DNB). (2024). *DNB Najaarsraming - December 2024*. Via: <https://www.dnb.nl/publicaties/publicaties-dnb/eov/najaarsraming-2024/>.
- [146] Centraal Planbureau. (2025). *Economische effecten van importheffingen*. Via: https://www.cpb.nl/sites/default/files/omnidownload/CPB_Publicatie-economische-effecten-van-importheffingen.pdf.
- [147] Centraal bureau voor de Statistiek. (2023). *Wederuitvoer in 2022 groter dan export van Nederlandse makelij*. Via: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2023/36/wederuitvoer-in-2022-groter-dan-export-van-nederlandse-makelij>.
- [148] International Monetary fund (IMF). (2024). *World Economic Outlook Database – October 2024*. Via: <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/weo-database/2024/October>.
- [149] Centraal Bureau voor de Statistiek. (2025). *Nijverheid; productie en omzet, ontwikkeling en index, 2021=100*. Via: <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/85806NED?q=industrie>.
- [150] Centraal Bureau voor de Statistiek. (2025). *Productie industrie krimpt ruim 4 procent in december*. Via: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2025/07/productie-industrie-krimpt-ruim-4-procent-in-december>
- [151] Centraal Bureau voor de Statistiek. (2025). *De Nederlandse industrie vanaf 2022*. Via: <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/de-nederlandse-economie/2025/de-nederlandse-industrie-vanaf-2022>.
- [152] NOS. *Chemiereuzen: energie-intensieve fabrieken staan op omvallen*. Via: <https://nos.nl/nieuwsuur/artikel/2557337-chemiereuzen-energie-intensieve-fabrieken-staan-op-omvallen>. Geraadpleegd op 17-06-2025.

- [153] Bekkers, F., Aartsma, K. & Sweijs, T. (2024). *Strategische Monitor 2023: Barsten en Blokken – Confrontatie en Samenwerking in een Wereld van Wisselende Coalities*. Via: <https://www.clingendael.org/publication/strategische-monitor-2023-barsten-en-blokken>.
- [154] Lokenberg, S., Cretti, G. & Van Schaik, L. A Tale of Two Dependencies: European Strategic Autonomy in the Field of Energy European. *Foreign Affairs Review* 28, no. 4 (2023): 417–438.
- [155] Arcadis, TNO & Berenschot. (2023). *Omgevingsveiligheid van toekomstige stromen waterstofrijke energiedragers*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-f0ff37150906d4c007ba3575d659c800d2679b8b/pdf>.
- [156] Planbureau voor de Leefomgeving. (2025). *Integrale Circulaire economie rapportage 2025*. Via: <https://www.pbl.nl/system/files/document/2025-02/pbl-2025-integrale-circulaire-economie-rapportage-2025-5365.pdf>.
- [157] PWC. (2025). *Rapport Financiële Impact Energietransitie voor Netbeheerders ("FIEN+")*. Via: <https://open.overheid.nl/documenten/b707f96f-93eb-420c-93c7-b31817f7a467/file>.
- [158] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2023). *Nationaal Programma Circulaire Economie 2023-2030*. Via: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/circulaire-economie/documenten/beleidsnotas/2023/02/03/nationaal-programma-circulaire-economie-2023-2030>.
- [159] Centraal Bureau voor de Statistiek. (2025). *Arbeidsmarkt minder krap in het eerste kwartaal van 2025*. Via: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2025/18/arbeidsmarkt-minder-krap-in-het-eerste-kwartaal-van-2025>.
- [160] NGinfra. (2024). *Rapport Arbeidsschaarste 2030*. Via: <https://www.nginfra.nl/nieuws/rapport-arbeidsschaarste-2030/>.
- [161] ProRail. (2025). *Nog veel werk aan het spoor, prestaties onder druk*. Via: <https://www.prorail.nl/nieuws/nog-veel-werk-aan-het-spoor-prestaties-onder-druk>.
- [162] Nederlandse Arbeidsinspectie. *Jaarverslag 2024*. Via: <https://www.nlarbeidsinspectie.nl/publicaties/jaarverslagen/2025/03/20/jaarverslag-2024>.
- [163] Rijksoverheid. (2025). *Meer defensiepersoneel in 2030*. Via: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/defensiepersoneel/meer-defensiepersoneel>.
- [164] The Hague Centre for Strategic Studies. (2025). *HCSS Strategische Monitor 2025: Chaos, Orde en Machtspolitiek*. Via: <https://hcss.nl/report/strategische-monitor-2025/>.
- [165] Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid. (2024). *Nederland in een fragmenterende wereldorde, wrr-Rapport 109*. Via: <https://www.wrr.nl/publicaties/rapporten/2024/07/01/nederland-in-een-fragmenterende-wereldorde>.
- [166] Clingendael. (2025). *Clingendael Strategische Monitor 2025-2030: Geopolitiek changement op het wereldtoneel*. Via: <https://www.clingendael.org/publication/strategische-monitor-2025-2030-geopolitiek-changement-op-het-wereldtoneel>.

- [167] Algemene Inlichtingen en Veiligheidsdienst & Militaire Inlichtingen en Veiligheidsdienst. (2025). *AIVD Jaarverslag 2024*. Via: <https://www.aivd.nl/onderwerpen/jaarverslagen/documenten/jaarverslagen/2025/04/24/jaarverslag-2024>.
- [168] Algemene Inlichtingen en Veiligheidsdienst & Militaire Inlichtingen en Veiligheidsdienst. (2024). *Dreigingsbeeld militaire en hybride dreigingen*. Via: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2024/12/06/tk-bijlage-1-dreigingsbeeld-hybride-en-militaire-dreigingen-na-cdinev>.
- [169] Militaire Inlichtingen en Veiligheidsdienst. (2025). *Openbaar jaarverslag 2024, Militaire Inlichtingen- en Veiligheidsdienst*. Via: <https://www.defensie.nl/downloads/jaarverslagen/2025/04/22/openbaar-jaarverslag-2024-militaire-inlichtingen--en-veiligheidsdienst>.
- [170] Adviesraad Internationale Vraagstukken. (2024). *Hybride dreigingen en maatschappelijke weerbaarheid*. Via: <https://www.adviesraadinternationalevraagstukken.nl/documenten/publicaties/2024/06/04/hybride-dreigingen-en-maatschappelijke-weerbaarheid>
- [171] Nationaal Coördinator Terrorismebestrijding en veiligheid. (2023). *Veiligheidsstrategie voor het koninkrijk der Nederlanden*. Via: <https://www.nctv.nl/documenten/2023/04/03/veiligheidsstrategie-voor-het-koninkrijk-der-nederlanden>.
- [172] Schuurman, B. (2025). *Russian operations against Europe since the 2022 invasion of Ukraine*. Via: <https://www.universiteitleiden.nl/binaries/content/assets/governance-and-global-affairs/isga/infographic-russian-operations-against-europe.pdf>.
- [173] Nöstlinger, N. & Klöckner, J. (24 juni 2024). Russia started Berlin factory fire as part of hybrid war on Europe, report says. *Politico*. Via: <https://www.politico.eu/article/russia-berlin-fire-diehl-behind-arson-attack-on-factory/>.
- [174] BBC. (2023). Poland investigates cyber-attack on rail network. Via: <https://www.bbc.com/news/world-europe-66630260>.
- [175] Rijksoverheid. (2024). *Kamerstuk 30821 – nr. 23*. Via: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-30821-23.html>.
- [176] Europese Raad. (2025). *Een verordening kritieke grondstoffen voor de toekomst van de Europese toeleveringsketens*. Via: <https://www.consilium.europa.eu/nl/infographics/critical-raw-materials/>.
- [177] Europese Commissie. (2023). *Joint Communication to the European Parliament, the European Council and the Council on "European Economic Security Strategy"*. Via: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/strategy/strategy-research-and-innovation/europe-world/international-cooperation/strategic-autonomy-and-european-economic-and-research-security_en.
- [178] European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators (ACER). (2024). *Analysis of the European LNG market developments: 2024 Market Monitoring Report*. Via: https://www.acer.europa.eu/sites/default/files/documents/Publications/ACER_2024_MMR_European_LNG_market_developments.pdf.
- [179] Bruegel. (2025). *European natural gas imports – Dataset*. Via: <https://www.bruegel.org/dataset/european-natural-gas-imports>.

- [180] European Network of Transmission System Operators for Gas (ENTSOG). (2025). *System Capacity Map*. Via: <https://www.entsog.eu/maps>.
- [181] Clingendael. (2023). *China's strategische relevantie voor de Rotterdamse haven*. Via: https://www.clingendael.org/sites/default/files/2023-12/Chinese_invloed_in_Europese_havens.pdf.
- [182] Centraal Planbureau. (2024). *Kansen en kwetsbaarheden: economische verwevenheid met de VS*. Via: <https://www.cpb.nl/sites/default/files/omnidownload/CPB-publicatie-kansen-en-kwetsbaarheden-economische-verwevenheid-met-de-vs.pdf>.
- [183] Ministerie van Defensie. (2025). *Ruimte voor Defensie*. Via: <https://www.defensie.nl/onderwerpen/ruimte-voor-defensie>.

Afkortingenlijst

ATB-Vv	Automatische Treinbeïnvloeding Verbeterde Versie
ATO	<i>Automatic Train Operation</i>
CCS	Carbon Capture & Storage
CO	koolstofmonoxide
CO ₂	koolstofdioxide
DBT	Dibenzyltolueen
DRC	<i>Delta Rhine Corridor</i>
eFTI	Electronic Freight Transport Information
EOS	Energieopslagsysteem
ERTMS	<i>European Rail Traffic Management System</i>
H ₂	Waterstof
LNG	<i>Liquified Natural gas</i>
LOHC	<i>Liquid Organic Hydrogen Carrier</i>
LSM	<i>Liquid Synthetic Methane</i>
MCH	Methylcyclohexaan
NaBH ₄	Natrium boorhydride
NWN	Nationaal Waterstofnetwerk
PDBT	Perhydrodibenzyltolueen
TEN-T	<i>Trans-European Network of Transportation</i>
ZZS	Zeer Zorgwekkende Stof

Bijlage 1 Geraadpleegde experts

Overzicht van de interviews:

[#]	Naam, functie en organisatie	Focus interview
1	Timco van Brummelen, Cluster coördinator Nautische Veiligheid (Rijkswaterstaat)	Ontwikkelingen met betrekking tot binnenvaart die invloed kunnen hebben op veilig vervoer van gevaarlijke stoffen.
2	Peter Robbe, Beleidsadviseur Externe Veiligheid(ProRail)	Ontwikkelingen met betrekking tot spoorgoederenvervoer die invloed kunnen hebben op veilig vervoer van gevaarlijke stoffen.
3	Martin Kraan, Adviseur transport (Ecorys)	Verkenning vervoer gevaarlijke stoffen 2033 en evaluatie basisnet.
3	Jeroen Bozuwa, Senior consultant (Ecorys)	Verkenning vervoer gevaarlijke stoffen 2033 en evaluatie basisnet.
4	Victor van de Pas, Senior beleidsmedewerker (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat)	Vervoer van gevaarlijke stoffen door Buisleidingen en beleids- & visievorming op het gebied van buisleidingen
4	Maarten van Kesteren, Senior beleidsmedewerker (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat)	Vervoer van gevaarlijke stoffen door Buisleidingen en beleids- & visievorming op het gebied van buisleidingen
5	Jannes Vermeer, Beleidsmedewerker verstedelijking en energie (Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening)	Verstedelijking bij het spoor en consequenties van vervoer gevaarlijke stoffen.
5	Marieke de Vries, Beleidsmedewerker verstedelijking (Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening)	Verstedelijking bij het spoor en consequenties van vervoer gevaarlijke stoffen
6	Thed van Harn, Onderzoeker Transportveiligheid en energietransitie (NIPV)	Veiligheid van batterijen, beheersbaarheid van incidenten en elektrisch vrachtvervoer (en binnenvaart)
6	Tom Hessels, Adviseur transportveiligheid en energietransitie (NIPV)	Veiligheid van batterijen, beheersbaarheid van incidenten en elektrisch vrachtvervoer (en binnenvaart)

[#]	Naam, functie en organisatie	Focus interview
6	Johan Reinders, Onderzoeker transportveiligheid en energietransitie (NIPV)	Veiligheid van batterijen, beheersbaarheid van incidenten en elektrisch vrachtvervoer (en binnenvaart)
7	Soedesh Mahesh, Expert ADR (RIVM)	Ontwikkelingen in de internationale transportregelgeving voor het vervoer van gevaarlijke stoffen over weg/water/spoor
7	Niels Remers, Expert ADN (RIVM)	Ontwikkelingen in de internationale transportregelgeving voor het vervoer van gevaarlijke stoffen over weg/water/spoor
7	Nanja Smets, Expert RID (RIVM)	Ontwikkelingen in de internationale transportregelgeving voor het vervoer van gevaarlijke stoffen over weg/water/spoor
7	Yasmijn van der Knaap, Adviseur UN SCE TDG (RIVM)	Ontwikkelingen in de internationale transportregelgeving voor het vervoer van gevaarlijke stoffen over weg/water/spoor
7	Brian Corbet, Adviseur ADR en IMO (RIVM)	Ontwikkelingen in de internationale transportregelgeving voor het vervoer van gevaarlijke stoffen over weg/water/spoor

Overzicht deelnemers expertsessies:

Naam en organisatie	Functie
Margreet Spoelstra (NIPV)	Senior adviseur-onderzoeker energietransitie, transportveiligheid en omgevingsveiligheid
Maurits van den Adel (Inspectie Leefomgeving en Transport)	Senior adviseur, Afdeling bestuursadvies en internationale samenwerking - transport
Maurits van der Linde (Koninklijke Binnenvaart Nederland)	Beleidsadviseur veiligheid en gevaarlijke stoffen
Sander Gleijm (Transport en Logistiek Nederland)	Specialist/veiligheidsadviseur gevaarlijke stoffen, milieukundige, veiligheidskundige
Gert Jan de Geus (OCI Nitrogen)	Chief executive officer
Alan Dirks (Havenbedrijf Rotterdam)	Programmamanager milieubeleid
Ruben Polman (Rijkswaterstaat)	Senior adviseur externe veiligheid
Robert Barelds (Haven Amsterdam)	Projectmanager ruimte en milieu
Marco van den Berg (Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond)	Adviseur gevaarlijke stoffen

T.J. Kerckhoffs | L.H. Polak | G.H. Heideman

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

september 2025

De zorg voor morgen
begint vandaag