



Verkenning risico's van de energietransitie voor de nationale veiligheid

Analistennetwerk Nationale Veiligheid

Verkenning risico's
van de
energietransitie
voor de nationale
veiligheid

Analistennetwerk Nationale Veiligheid

Colofon

Vanuit het Analistennetwerk Nationale Veiligheid (ANV) is deze verkenning uitgevoerd door een projectteam van TNO en RIVM: Hanneke Duijnhoven (TNO), Ingrid Kroon (TNO), Puck van den Brink (TNO), Theo Kerckhoffs (RIVM), Lisette Pompe (RIVM), Leendert Gooijer (RIVM).

Het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)
Wetenschappelijk Onderzoek- en Documentatiecentrum (WODC)
Algemene Inlichtingen- en Veiligheidsdienst (AIVD)
Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuur-wetenschappelijk onderzoek (TNO)
Stichting Nederlands Instituut voor Internationale Betrekkingen 'Clingendael'
Erasmus Universiteit Rotterdam, Institute of Social Studies (ISS)

© RIVM 2019

Contact: ir. L. Gooijer (leendert.gooijer@rivm.nl)

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: ANV (2019), Verkenning risico's van de energietransitie voor de nationale veiligheid, Analistennetwerk Nationale Veiligheid.

Inhoud

| | |
|---|-----------|
| 1. Inleiding | 7 |
| 1.1 Achtergrond | 7 |
| 1.2 Beschouwde thema's | 7 |
| 1.3 Leeswijzer | 8 |
| 2. Aanpak | 9 |
| 2.1 De methodiek | 9 |
| 2.2 Het proces | 10 |
| 3. Koolstofdioxide (CO₂) | 15 |
| 3.1 Algemene punten | 15 |
| 3.2 Breuk in transportleiding door graafschade | 15 |
| 3.3 Vrijkomen CO ₂ via lekkage opslagpunt of opslagput | 15 |
| 4. Waterstof (H₂) | 17 |
| 4.1 Algemene punten | 17 |
| 4.2 Explosie tijdens productie van waterstof | 17 |
| 4.3 Explosie tijdens transport van H ₂ | 17 |
| 4.4 Systeemfalen door gebrekkige integratie | 18 |
| 4.5 Diffuse lekkage oude gasleidingen | 19 |
| 4.6 Andere mogelijke gebeurtenissen | 19 |
| 5. Geothermie | 21 |
| 5.1 Algemene punten | 21 |
| 5.2 Seismiciteit als gevolg van geothermie | 21 |
| 5.3 Lekkage met grondwaterverontreiniging | 22 |
| 5.4 Andere mogelijke gebeurtenissen | 22 |
| 6. Zonne-energie, windenergie en elektrificatie | 25 |
| 6.1 Algemene punten | 25 |
| 6.2 Brand buurtbatterij | 25 |
| 6.3 Gebrekkige recycling batterijen en zonnepanelen | 26 |
| 6.4 Gezondheidseffecten van hoogspanningslijnen | 26 |
| 6.5 Cyberaanval hoogspanningsnet | 27 |
| 6.6 Andere mogelijke gebeurtenissen | 27 |
| 7. Biomassa | 29 |
| 7.1 Algemene punten | 29 |
| 7.2 Brand verzamelpunt biomassa | 29 |
| 7.3 Grootschalige emissie gassen | 30 |
| 7.4 Explosie bij productiebedrijf van groengas | 30 |

| | |
|--|-----------|
| 8. Overkoepelende bevindingen | 31 |
| 9. Analyse en vergelijking | 33 |
| 9.1 Focus op mogelijke impact op de vijf nationale veiligheidsbelangen | 33 |
| 9.2 Vergelijking met risico's uit het Nationaal Veiligheidsprofiel | 34 |
| 9.3 Vergelijking van de risico's op basis van bestaande rekenmethoden | 35 |
| 9.4 Conclusie | 36 |
| 10. Beschouwing | 37 |
| Referenties | 39 |
| Bijlage 1. Overzicht deelnemende organisaties | 41 |
| Bijlage 2: Kwantitatieve benadering van fysieke risico's | 42 |

1. Inleiding

Het Analistennetwerk Nationale Veiligheid (ANV) heeft van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) het verzoek gekregen om een verkennende analyse uit te voeren van de risico's van de energietransitie voor de nationale veiligheid. Hierbij gaat het specifiek om de risico's van het (op grote schaal) toepassen van alternatieve energiebronnen en technieken. Gevraagd is om te komen tot een inventarisatie van deze risico's en een inschatting van de 'impact' en 'waarschijnlijkheid'. Deze rapportage bevat de belangrijkste bevindingen van deze analyse. De vraagstelling door het Ministerie van EZK is afgestemd met het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) en in deze studie is gebruikgemaakt van toekomstbeelden van SodM.

1.1 Achtergrond

Binnen de energietransitie zullen enerzijds bestaande technieken voor het opwekken van energie worden vervangen door andere, relatief nieuwe technieken of methoden. Denk bijvoorbeeld aan de elektrificatie van het vervoer. Anderzijds kan het gebruik van nu al bestaande, hernieuwbare energiebronnen zoals windturbines of zonnecellen verder worden opgeschaald. Een andere mogelijkheid is om de CO₂ uitstoot van bestaande, relatief vervuilende methoden op te vangen. Voor veel activiteiten zijn de risico's van gebruik (op grote schaal) nog onzeker. Hierbij kan het gaan om risico's op het gebied van winning, opslag, transport, distributie of toepassing.

Deze verkennende analyse maakt op hoofdlijnen de belangrijkste risico's inzichtelijk. Hiervoor is als basis de risicobeoordelingsmethode van het ANV gebruikt die wordt gehanteerd om de risico's voor de nationale veiligheid in kaart te brengen. Concreet betekent dit dat aan de hand van plausibele gebeurtenissen of incidenten (scenario's) naar de waarschijnlijkheid van de gebeurtenis en mogelijke gevolgen op verschillende aspecten van nationale veiligheid is gekeken. Vanuit het oogpunt van de nationale veiligheid geldt dat niet alle gevolgen van een gebeurtenis relevant zijn. Als er bij een incident bijvoorbeeld één of enkele slachtoffers vallen, is dat

conform de methodiek niet of slechts beperkt relevant voor de nationale veiligheid. Dit terwijl diezelfde gebeurtenis vanuit een lokaal of regionaal perspectief wel van groot belang kan zijn. In hoofdstuk twee wordt de methodiek nader toegelicht.

De analyse richt zich uitsluitend op de risicobeoordeling van energiebronnen en technieken. De mogelijke gevolgen op de Nederlandse CO₂ uitstoot door het op grote schaal toepassen van bepaalde energietechnieken vallen buiten het kader van dit onderzoek. Dit geldt ook voor de economische effecten of de duurzaamheid van keuzes die in het kader van de energietransitie gemaakt zouden kunnen worden. Verder kijkt de analyse niet naar mogelijke oplossingen (technisch of beleidsmatig) die tussen nu en 2050 worden ontwikkeld voor het veiliger maken van de beschouwde technieken of systemen.

Deze analyse van de veiligheidsrisico's van de energietransitie staat niet op zichzelf. Momenteel lopen er meerdere initiatieven die de gevolgen van de transitie in kaart brengen. Zo heeft het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) de opdracht gekregen om specifiek de gezondheidsgevolgen die gekoppeld zijn aan de risico's van het gebruik van fossiele energiebronnen in kaart te brengen. Ook zijn er onderzoeken die dieper ingaan op de eigenschappen van specifieke technieken. Door TNO is bijvoorbeeld een studie uitgevoerd naar de seismische gevolgen van geothermie (TNO, 2019).

1.2 Beschouwde thema's

Binnen deze analyse van de risico's van de energietransitie is gekeken naar zes verschillende technieken dan wel thema's. De thema's vormen een afspiegeling van technologieën en activiteiten die centraal staan in de Nederlandse uitwerking van het 'Akkoord van Parijs' (UNFCC, 2015) en komen terug in het Ontwerp van het Klimaatakkoord (Klimaatberaad, 2018). Hierin staan afspraken tussen overheden, het bedrijfsleven en maatschappelijke partijen om de energietransitie te stimuleren. De zes thema's zijn:

- Kooldioxide (afvangen en opslaan van CO₂);
- Waterstof (gebruik als energiedrager);
- Geothermie (gebruik als warmtebron);
- Zon- en windenergie (opwekken van energie);
- Elektrificatie (distributie en opslag van energie);
- Biomassa (opwekken van energie).

1.3 Leeswijzer

Dit rapport bestaat uit verschillende onderdelen. Hoofdstuk twee geeft een overzicht van de aanpak van de analyse. Vervolgens geven hoofdstukken drie tot en met zeven de resultaten weer voor elk van de beschouwde thema's. Alle thema's worden afzonderlijk

behandeld, met uitzondering van de twee thema's elektrificatie en zon- en windenergie. Uit de analyse bleek hier een dusdanige overlap te zitten dat ze in dit rapport het beste samen kunnen worden beschouwd. In hoofdstuk acht is aandacht voor overkoepelende punten die gelden voor de energietransitie als geheel. Vervolgens worden de resultaten in hoofdstuk negen onderling vergeleken (tussen de thema's) en vindt er een vergelijking plaats met andere risico's vanuit het perspectief van de nationale veiligheid. Dit is aangevuld met een korte vergelijking van de fysieke risico's van enkele activiteiten vanuit een omgevingsveiligheidspectief. Ten slotte bevat hoofdstuk 10 een korte slotbeschouwing.

2. Aanpak

Om te bepalen welke risico's de energietransitie met zich meebrengt, zijn expertbijeenkomsten gehouden waarbij op basis van de methodiek van de nationale veiligheid de risico's in kaart zijn gebracht. Hieronder worden zowel de methodiek als het proces toegelicht.

2.1 De methodiek

Om de risico's van de energietransitie te kunnen duiden is de risicobeoordelingsmethodiek van het ANV gebruikt als basis. Deze methodiek wordt onder andere gehanteerd in het Nationaal Veiligheidsprofiel (NVP) (ANV, 2016). Het NVP richt zich op het in kaart brengen van de belangrijkste risico's die kunnen leiden tot ontwrichting van de samenleving op nationale schaal. Het betreft gebeurtenissen zoals overstromingen, cyberaanvallen, voedselcrises, infectieziekten of stralingsongevallen. Binnen de risicobeoordelingsmethodiek worden de gevolgen van deze gebeurtenissen in kaart gebracht aan de hand van vijf nationale veiligheidsbelangen en onderliggende impactcriteria.¹

¹ In de meest recente editie van de methodiek is er een zesde belang toegevoegd: internationale rechtsorde. Dit belang blijft binnen deze verkenning buiten beschouwing.

Ook voor de huidige verkenning van de risico's van de energietransitie voor de nationale veiligheid zijn deze veiligheidsbelangen als uitgangspunt gebruikt. De belangen zijn echter wel zo vertaald en uitgewerkt dat ze beter bij het onderwerp aansluiten. Zo wordt de betrokken deskundigen meer houvast geboden. Tabel 1 geeft de vijf belangen en de vertaling weer.

Bij het scoren van de verschillende impactcriteria wordt een vijf-puntschaal van 'beperkt' tot 'catastrofaal' gebruikt. Voor de beeldvorming is het goed om te melden dat de indeling in vijf categorieën van 'beperkt' tot 'catastrofaal' is ingevuld vanuit het perspectief van de nationale veiligheid, waarbij risico's worden beschouwd die de samenleving kunnen ontwrichten. Bij een zeer ernstige natuurramp bijvoorbeeld, kan de financiële schade oplopen tot meer dan 100 miljard Euro. Een dergelijke impact valt in de categorie 'catastrofaal'. Voor het aantal doden geldt dat dit 'catastrofaal' is in geval van meer dan 10.000 dodelijke slachtoffers. Als er enkele doden zouden vallen, wordt dat als 'beperkte' impact beschouwd. Hieruit volgt dat vanuit het oogpunt van de nationale veiligheid niet alle gevolgen van een gebeurtenis relevant zijn (er is immers geen sprake van maatschappelijke ontwrichting op nationale schaal). Dit terwijl diezelfde gebeurtenis vanuit een lokaal of regionaal perspectief wel van groot belang kan zijn.

Tabel 1. De vijf nationale veiligheidsbelangen en hun vertaling

| Oorspronkelijk belang | Vertaling | Uitwerking |
|-------------------------------|----------------------------|--|
| Territoriale veiligheid | Impact op territorium | Ruimtebeslag; functioneel gebruik gebied; ruimtelijke ordening. |
| Fysieke veiligheid | Impact fysiek | Aantal doden en gewonden; gebrek aan primaire levensbehoeften. |
| Economische veiligheid | Impact economie | Kosten; hoeveelheid import & export; vitaliteit van de economie; prijzen; belastingen; arbeidsmarkt. |
| Ecologische veiligheid | Impact ecologie | Besmetting/vervuiling grond/water/lucht; aantasting flora/fauna. |
| Sociaal-politieke stabiliteit | Impact sociale stabiliteit | Verhouding tussen burgers en overheden/bedrijven; verstoring dagelijks leven. |

Voor de analyse van de risico's van de energietransitie is dezelfde vijf-puntschaal van 'beperkt' tot 'catastrofaal' gehanteerd. Hierbij is het wel van belang om aan te geven dat de schaal op een kwalitatieve manier is toegepast. De experts is gevraagd een inschatting te doen van de mate van impact van een gebeurtenis in termen van de vijf-puntschaal (bijvoorbeeld 'aanzienlijk') en tevens een zo exact mogelijke argumentatie te geven (bijvoorbeeld 10-20 doden).

Ook bij de inschatting van de waarschijnlijkheid is een indeling van vijf categorieën gehanteerd, van 'zeer onwaarschijnlijk' tot 'zeer waarschijnlijk'. In de methode van de nationale veiligheid is een gebeurtenis waarschijnlijk als de kans van optreden tussen 5-50% ligt en zeer waarschijnlijk bij een kans van optreden boven de 50%. Hierbij wordt uitgegaan van een tijdschaal van 5 jaar (het gaat dus om een inschatting van de kans op optreden binnen vijf jaar). Zie onderstaande tabel.

2.2 Het proces

Op 14 november 2018 heeft de eerste brainstorm plaatsgevonden. Tijdens de bijeenkomst hebben ongeveer 40 deelnemers op hoofdlijnen gebeurtenissen geïdentificeerd die eventueel zouden kunnen leiden tot een impact op de nationale veiligheid. De zes thema's (zie 1.2) zijn gebruikt als leidraad. Aan de hand van de input uit deze eerste bijeenkomst heeft het ANV projectteam een aantal van deze gebeurtenissen uitgewerkt in korte scenario's ten behoeve van de expertsessies.

Hiervoor zijn alle thema's en bijbehorende gebeurtenissen gekoppeld aan een bepaald toekomstbeeld om zo de gebeurtenissen van een context te voorzien. Voor de analyse is gebruik gemaakt van vier verschillende toekomstbeelden² uit de SodM rapportage 'Toekomstbeelden van de energietransitie' (SodM, 2018).³

De toekomstbeelden geven allemaal de situatie rond de energietransitie weer in het jaar 2050. Ze verschillen op een aantal punten van elkaar. Zo is in elk beeld een bepaalde techniek meer of minder dominant. De energiemix wisselt dus per toekomstbeeld. Ook ligt bij de verschillende toekomstbeelden de sturing van de energietransitie op een ander niveau. Bij sommige beelden is er sprake van veelal nationale sturing terwijl bij anderen wordt geleund op lokale initiatieven.

Om een beeld van de vier toekomstbeelden te geven zijn in het tekstblok hierna de vier kenmerkende beschrijvingen overgenomen uit het rapport van SodM (SodM 2018).

² De analyse is dus niet verbonden aan het Klimaatakkoord, maar aan toekomstbeelden, waarin verschillende varianten zijn beschreven.

³ De scenario's die de basis vormen van de vier toekomstbeelden zijn afkomstig van CE Delft. De uitgangspunten en kenmerken van de verschillende toekomstbeelden zijn opgesteld door CE Delft. De nadere, technische uitwerking van de componenten in de vier toekomstbeelden is opgesteld door ECN part of TNO.

Tabel 2. Waarschijnlijkheidsklassen

| Klasse | Kwalitatieve benadering algemeen | Kwantitatieve benadering |
|--------|----------------------------------|--------------------------|
| A | Zeer onwaarschijnlijk | Minder dan 0,05% |
| B | Onwaarschijnlijk | 0,05 tot 0,5% |
| C | Enigszins waarschijnlijk | 0,5 tot 5% |
| D | Waarschijnlijk | 5 tot 50% |
| E | Zeer waarschijnlijk | Meer dan 50% |

Generieke sturing

In dit scenario [*red: toekomstbeeld*] komt de energievoorziening via een organisch proces tot stand, gestuurd door een stevig CO₂-prijssignaal, maar zonder verdere regie van de overheid. De energievoorziening is een mix van lokale en internationale opties. Collectieve opties en maatregelen zoals isolatie blijven uit of worden pas laat in het transitieproces uitgevoerd. Netbeheerders investeren extra in dit scenario om de verschillende ontwikkelingen wel te kunnen accommoderen.

In dit scenario worden veel energiedragers geïmporteerd, zoals waterstof, biomassa en groen gas. Er wordt tevens in windenergie en zonne-energie geïnvesteerd, maar veel minder dan in de andere scenario's. Als energiedrager voor mobiliteit wordt een mix gehanteerd van elektriciteit, waterstof en biofuels. De industrie maakt gebruik van fossiele energiebronnen, in combinatie met het afvangen van CO₂ (CCS) om die ondergronds op te slaan. Verder worden lokale warmtebronnen benut, vooral in de vorm van warmtepompen.

Regie internationaal

Nederland is in dit scenario [*red: toekomstbeeld*] een mondiaal georiënteerd land dat verschillende vormen van hernieuwbare energie importeert, zoals waterstof. Er is een internationale productie en handel in waterstof uit klimaatneutrale bronnen, import van groen gas en import van biomassa, dat ook een belangrijke bron voor de industrie is. CCS wordt toegepast op fossiele én op biogene emissies.

Ook in dit scenario is er een relatief beperkte ontwikkeling van windenergie en zonne-energie (in vergelijking met de scenario's 'Regie nationaal' en 'Regie regionaal'). De industrie schakelt deels over naar biobased grondstoffen. Voor mobiliteit worden elektriciteit, waterstof en biofuels ingezet. Voor de productie van lage temperatuurwarmte (ruimteverwarming) worden warmtepompen ingezet op basis van waterstof en groen gas.

Regie Nationaal

De rijksoverheid heeft in dit scenario [*red: toekomstbeeld*] de regie en stuurt op energie-autonomie op de schaal van Nederland via een mix van vooral centrale energiebronnen. Wind op zee levert hierbij de grootste bijdrage. Er is dus geen import van energie nodig. Wel is er behoefte aan (veel) opslag omdat vraag en aanbod niet gelijk plaatsvinden. Het medium hiervoor is waterstof. Omzetting van elektriciteit naar waterstof gebeurt aan de kust of zelfs op zee.

Windenergie wordt niet alleen gebruikt om te voorzien in het grootste deel van de behoefte aan elektriciteit, maar ook in het produceren van waterstof. In de energiebehoefte van mobiliteit wordt voorzien door waterstof, elektriciteit en biofuels. Industriële processen schakelen voor een deel over naar waterstof als feedstock.

Regie Regionaal

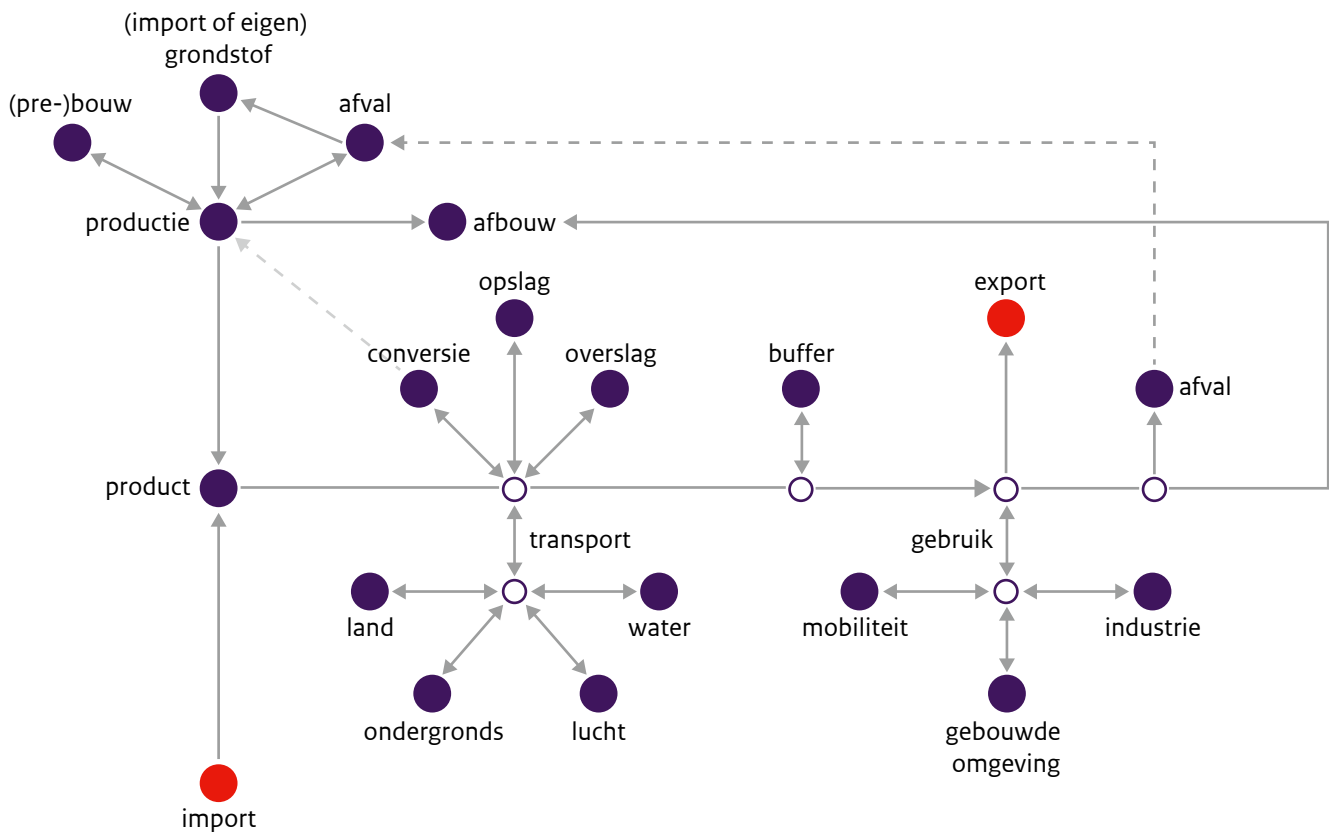
In dit scenario [*red: toekomstbeeld*] nemen provincies en gemeenten de regie. Zij sturen daarbij op zoveel mogelijk regionale oplossingen. Dat betekent dat veel energie voor de productie van elektriciteit en warmte uit lokale energiebronnen komt, zoals zon, wind, biomassa en geothermie. Grootschalige productie blijft overigens nodig, bijvoorbeeld in de vorm van windenergie op de Noordzee.

Door de aard van de regionale initiatieven zullen de energie-oplossingen in elke regio anders uitvallen. Waar mogelijk worden warmtenetten aangelegd om bronnen (geothermie, bodemwarmte) te verbinden met afnemers. Vanwege de focus op windenergie en zonne-energie is ook tijdelijke energieopslag nodig. Ook hiervoor worden lokaal opties gezocht. Voor een deel vindt deze opslag plaats in de vorm van waterstof. Ook in dit scenario wordt veel op zee geproduceerde elektriciteit in waterstof omgezet, die vervolgens in de industrie wordt ingezet.

Bron: Toekomstbeelden van de energietransitie (SodM, 2018).

De in de toekomstbeelden genoemde deelketens kunnen worden gevat in één generieke keten van productie tot (herbruikbaar) afval (Figuur 1).

Figuur 1. De generieke keten



Vervolgens zijn van 4 tot en met 7 februari 2019 vier workshops gehouden. De vier workshopdagen zijn onderverdeeld in de volgende thema's:

- Dag 1: CO₂ en biomassa;
- Dag 2: Waterstof;
- Dag 3: Elektrificatie en 'wind op zee';
- Dag 4: Geothermie & zon en wind.

De deelnemende experts (zie bijlage 1) hebben aan de hand van de vijf vertaalde veiligheidsbelangen voor elke gebeurtenis, conform de risicomethodiek, zowel de kans dat de gebeurtenis binnen 'nu' (dat wil zeggen uitgaande van het geschetste toekomstbeeld) en vijf jaar optreedt als de impact ervan ingeschat. De impact is daarnaast nog kwalitatief door de experts beschreven. Dit alles binnen de context van het toegepaste toekomstbeeld. De volgende tabel bevat de gebeurtenissen die zijn beoordeeld.

In de tweede fase van elke workshop hebben de experts aanvullende gebeurtenissen geïdentificeerd. Deze zijn alleen op hoofdlijnen uitgewerkt in de vorm van mogelijke gevolgen. Er is daarbij niet ingegaan op de waarschijnlijkheid. Ook zijn er thema-overstijgende onderwerpen naar voren gekomen en bediscussieerd.

De resultaten van de workshops zijn beschreven in de volgende hoofdstukken (hoofdstukken 3 t/m 7), waarbij de extra gebeurtenissen onder 'andere mogelijke gebeurtenissen' zijn beschreven (zie bijvoorbeeld 4.6). Hoofdstuk acht geeft de overkoepelende bevindingen weer.

Volgend op de workshops heeft het ANV projectteam de bevindingen van de experts verder geanalyseerd door de resultaten onderling te vergelijken. Vervolgens zijn de uitkomsten vergeleken met andere analyses (met name uit het Nationaal Veiligheidsprofiel (ANV, 2016)). Ook is vanuit een omgevingsveiligheidsperspectief nader ingezoomd op de fysieke risico's van enkele thema's. Dit laatste is gedaan op basis van beschikbare informatiebronnen rondom risico's en het kwantificeren ervan (zoals methoden voor het uitvoeren van risicoberekeningen in het kader van vergunningverlening). De resultaten van de analyse en vergelijking zijn opgenomen in hoofdstuk negen.

Tabel 3. Beoordeelde gebeurtenissen

| Thema | Gebeurtenissen |
|--------------------------------------|--|
| Kooldioxide (CO ₂) | Breuk in transportleiding door graafschade |
| | Vrijkomen CO ₂ via putlekkage |
| | Vrijkomen CO ₂ uit opslagpunt |
| Waterstof (H ₂) | Explosie tijdens de productie |
| | Explosie tijdens het transport |
| | Systeemfalen gebrekkige integratie |
| | Diffuse lekkage oude gasleidingen |
| Geothermie | Seismiciteit tijdens boren |
| | Seismiciteit tijdens productie |
| | Lekkage met grondwaterverontreiniging |
| Elektrificatie / Zon- en windenergie | Brand met buurtbatterij |
| | Gebrekkige recycling batterijen |
| | Effecten hoogspanningslijnen |
| | Cyberaanval op het hoogspanningsnet |
| | Gebrekkige aansluiting met het stroomnet |
| | Gebrekkige recycling zonnepanelen |
| | Het wegvallen van opslagcapaciteit |
| | Negatieve interactie ecosystemen |
| Biomassa | Brand in verzamelpunt biomassa |
| | Grootschalige emissie gassen |
| | Explosie bij productiebedrijf groen gas |

3. Koolstofdioxide (CO₂)

Binnen dit thema is gekeken naar het afvangen en vervolgens opslaan van CO₂ (Carbon Capture & Storage, CCS). Dit opslaan kan zowel boven als onder de grond plaatsvinden. Hierbij is het aannemelijker dat tijdelijke opslag (als onderdeel van het transport) van CO₂ boven de grond plaats vindt en de uiteindelijke opslag onder de grond. Ondergrondse opslag kan zowel onder land als onder zee plaatsvinden, veelal in lege gasvelden.

Afgevangen CO₂ wordt overigens niet altijd opgeslagen. Het is ook een belangrijke grondstof voor bijvoorbeeld de glastuinbouw. Binnen het thema CO₂ zijn drie mogelijke gebeurtenissen naar voren gekomen en vervolgens beschouwd tijdens de expertsessies:

- Breuk in transportleiding door graafschade;
- Vrijkomen CO₂ via putlekkage;
- Vrijkomen CO₂ uit opslagpunt.

De laatste twee gebeurtenissen worden wegens een grote mate van overlap in dit hoofdstuk gezamenlijk behandeld. Voor dit thema zijn er op basis van de workshopronde geen aanvullende gebeurtenissen opgenomen.

3.1 Algemene punten

Met betrekking tot het thema CO₂ is een aantal algemene punten naar voren gekomen tijdens de bijeenkomsten:

- In tegenstelling tot andere beschouwde thema's, hebben de gebeurtenissen rond CO₂ geen effect op de energievoorziening. Immers, CO₂ is geen energiedrager, maar zal worden opgeslagen om uitstoot van het broeikasgas te verminderen;
- Met name voor de opslag van CO₂ op of onder land zal er mogelijk maatschappelijke weerstand zijn, zoals is gebleken rondom de plannen voor CO₂-opslag bij Barendrecht. Protest- of belangengroepen kunnen initiatieven traineren of stoppen;
- De kans op het vrijkomen van CO₂ door de corrosie van leidingen kan toenemen naarmate het CO₂ minder zuiver is.

3.2 Breuk in transportleiding door graafschade

In leidingen waardoor afgevangen CO₂ naar (tijdelijke) opslag wordt gebracht kan een breuk ontstaan als gevolg van graafwerkzaamheden. Dit betekent dat er mogelijk een grote hoeveelheid CO₂ vrij komt en dat de betreffende leidingen enige tijd buiten gebruik zijn.

Mede doordat CO₂ geen toxische of brandbare stof is, zal de impact beperkt blijven. Bij het vrijkomen in hogere concentraties kan het lokaal mogelijk wel leiden tot verstikkingsgevaar. Dit is met name van toepassing bij windstille omstandigheden waardoor het CO₂ een deken kan vormen vlak boven de grond. Tabel 4 geeft de gevolgen weer per nationaal veiligheidsbelang.

De kans op het voordoen van de gebeurtenis wordt over het algemeen ingeschat als onwaarschijnlijk. Transportleidingen zijn vaak afgeschermd in tracés, de locaties zijn goed bekend en er zijn veiligheidssystemen die een deel van het tracé af kunnen sluiten bij plotse linge drukverschillen. Wel is het zo dat het steeds drukker wordt onder de grond. De kans op graafwerkzaamheden in de nabijheid van leidingen neemt dus toe.

3.3 Vrijkomen CO₂ via lekkage opslagpunt of opslagput

Bij deze gebeurtenis komt er een hoeveelheid CO₂ vrij uit een daarvoor bestemde opslagput (ondergronds) of opslagpunt (bovengronds). Het vrijkomen van CO₂ uit een opslagput kan plaatsvinden bij zowel een onshore als een offshore put.

Net als bij de lekkage door graafschade zal de impact hier om dezelfde redenen beperkt blijven (lokale gevolgen, niet toxische stof). Voor de lekkage van offshore putten kan zelfs worden gesteld dat er geen impact is voor de nationale veiligheid. Tabel 5 geeft voor onshore lekkages uit een put of punt de gevolgen weer per nationaal veiligheidsbelang.

Tijdens de sessie is de kans op lekkage van de put ingeschat van onwaarschijnlijk tot zeer onwaarschijnlijk.

Tabel 4. Breuk in transportleiding door graafschade - gevolgen

| Belang | Impact |
|----------------------------------|--|
| Territoriale veiligheid | De effecten zullen erg lokaal zijn en zeer beperkt. |
| Fysieke veiligheid | Het aantal slachtoffers is sterk afhankelijk van de weersomstandigheden. Onder zeer specifieke omstandigheden kan zich een deken van CO ₂ vormen, met mogelijk verstikkingsgevaar voor omwonenden. In andere gevallen zijn slachtoffers onwaarschijnlijk. |
| Economische veiligheid | Wanneer de breuk de aanvoer voor van CO ₂ afhankelijke industrieën (bijv. de tuinbouw) raakt, is er mogelijk economische schade. Dit beperkt zich met name tot de geraakte industrie. |
| Ecologische veiligheid | Impact is erg lokaal. Geen blijvende schade. |
| Sociale en politieke stabiliteit | Vooraf bij een langdurende of zeer grootschalige uitstroom van CO ₂ , kan de maatschappelijke acceptatie van de techniek onder druk komen te staan. |

Tabel 5. Vrijkomen CO₂ via lekkage onshore opslagpunt of opslagput - gevolgen

| Belang | Impact |
|----------------------------------|---|
| Territoriale veiligheid | De effecten zullen erg lokaal zijn en zeer beperkt. |
| Fysieke veiligheid | Het aantal slachtoffers is sterk afhankelijk van de weersomstandigheden. Onder specifieke omstandigheden kan zich een deken van CO ₂ vormen, met mogelijk verstikkingsgevaar voor omwonenden. Anders zijn slachtoffers buiten de installatie onwaarschijnlijk. Er is echter wel een risico voor medewerkers. Naast verstikkingsgevaar, kan de hoge snelheid van de ontsnappende gasstroom (bij hoge druk) ook risico's meebrengen. |
| Economische veiligheid | De bron wordt mogelijk buiten gebruik gesteld. Dit betekent een onderbreking van CO ₂ opslag met mogelijke gevolgen voor sectoren die het als grondstof gebruiken (zoals de glastuinbouw). Ook zijn er herstelkosten. De gevolgen blijven echter beperkt en liggen veelal bij de industrie zelf. |
| Ecologische veiligheid | Lokale en kortdurende effecten (bijvoorbeeld verzuring grondwater). Geen blijvende schade. |
| Sociale en politieke stabiliteit | Afhankelijk van de locatie kan een lekkage beperkt invloed hebben op de publieke opinie of het draagvlak met betrekking tot CO ₂ -opslag. Bij een situatie dichtbij bebouwde omgeving zal er meer commotie zijn. Hetzelfde geldt als een dergelijke gebeurtenis zich vaker voor doet. |

4. Waterstof (H₂)

Waterstof (H₂) is geschikt als energiedrager. Zo kan het door middel van een brandstofcel worden ingezet om voertuigen (vrachtwagens, schepen) aan te drijven. Ook kan het verbrand worden in bijvoorbeeld een (aangepaste) CV ketel. H₂ kan worden getransporteerd in tankwagens of door nieuwe dan wel bestaande buisleidingen. Het is ook mogelijk om H₂ ondergronds op te slaan om vervolgens als buffer te dienen voor energie opgewekt door middel van windturbines of zonnepanelen. Hiervoor moet de opgewekte energie eerst worden geconverteerd naar H₂. De opslag kan plaatsvinden in bijvoorbeeld zoutcavernes of lege gasvelden. Momenteel wordt onderzoek gedaan naar de opslag in lege gasvelden. In het buitenland wordt al H₂ opgeslagen in zoutcavernes.

Voor het thema waterstof zijn drie mogelijke gebeurtenissen beschouwd:

- Explosie tijdens productie van H₂;
- Explosie tijdens transport van H₂;
- Systeemfalen door gebrekkige integratie.

Verder zijn tijdens de bijeenkomst door de deelnemers nog enkele mogelijke gebeurtenissen naar voren gebracht. Deze staan apart vermeld in sectie 4.6.

4.1 Algemene punten

Algemene punten die naar voren kwamen rond het thema waterstof zijn:

- H₂ is een erg licht molecuul, waardoor het snel vervliegt, zeker in de open lucht. Dit betekent, dat de stof zich niet gemakkelijk ophoopt in de leefomgeving. H₂ kan zich wel ophopen in besloten ruimten, zoals de kelders van huizen;
- H₂ ontsteekt gemakkelijk. Het concentratiegebied (d.w.z. hoe hoog de verhouding H₂ is in de atmosfeer) waarin een explosie kan plaatsvinden is breed.⁴ Zo gaat ontbranding en explosie van H₂ gemakkelijker dan bij aardgas;

- De verbrandingstemperatuur van H₂ kan erg hoog zijn. Bij verbranding van H₂ in bijvoorbeeld CV ketels moet daarom rekening worden gehouden met de vorming van stikstofoxiden (NO_x).

4.2 Explosie tijdens productie van waterstof

Er vindt een explosie van H₂ plaats bij een bedrijf dat grote hoeveelheden van de stof produceert. Mede doordat H₂ niet toxisch is, blijven de gevolgen beperkt tot de directe omgeving van de explosie. Een explosie kan wel het draagvlak onder burgers voor het gebruik van H₂ schaden. Hierdoor kan onrust ontstaan bij het gebruik van H₂ dichtbij de burger (gebouwde omgeving en transport). Tabel 6 geeft de gevolgen weer per nationaal veiligheidsbelang.

De kans dat een dergelijke explosie zich voordoet wordt door de betrokken experts aangemerkt van onwaarschijnlijk tot zeer onwaarschijnlijk. In Nederland worden op dit moment in de industrie al grote hoeveelheden H₂ geproduceerd en er is dus al veel ervaring mee. Bij grootschalige productie of gebruik van H₂ moet het bedrijf voldoen aan de strenge wet- en regelgeving die geldt voor BRZO (Besluit Risico's Zware Ongevallen) bedrijven. Een kanttekening daarbij is dat de productie van H₂ decentraler en kleinschaliger kan worden. Dat zal het lastiger maken om voldoende toezicht te houden op het naleven van regels en voorschriften.

4.3 Explosie tijdens transport van H₂

Binnen deze gebeurtenis is gekeken naar een ongeval tijdens het wegtransport van H₂. Dit betekent dat een tankwagen gevuld met H₂ schade oploopt, met als gevolg een mogelijke explosie. De gevolgen betreffen vooral de fysieke veiligheid (directe slachtoffers als gevolg van de explosie) en de kosten van herstelwerkzaamheden. Wegens de relatief kleine hoeveelheid H₂ die verloren gaat, komt de leveringszekerheid ervan niet onder druk te staan. Tabel 7 geeft de gevolgen weer.

⁴ De explosiegrenzen voor H₂ liggen tussen 4,1 en 74,8%, de grenzen voor methaan (de belangrijkste component van aardgas) liggen tussen 4,4 en 16%.

Tabel 6. Explosie tijdens productie van waterstof - gevolgen

| Belang | Impact |
|----------------------------------|--|
| Territoriale veiligheid | Niet van toepassing. |
| Fysieke veiligheid | Bij een explosie van H ₂ kunnen er slachtoffers vallen, afhankelijk van het aantal werknemers dat op dat moment in de buurt van de productielocatie is. |
| Economische veiligheid | De economische impact is afhankelijk van de hoeveelheid H ₂ die de betreffende installatie of het bedrijf produceert. Bij grote hoeveelheden kan er bij het langdurig uitvallen van de productie-installatie eventueel een tekort ontstaan in de productiecapaciteit. Tekorten kunnen de prijs van H ₂ beïnvloeden. Er zijn ook herstelkosten. |
| Ecologische veiligheid | Niet van toepassing. H ₂ is niet toxisch. Er zijn geen effecten op flora en fauna. |
| Sociale en politieke stabiliteit | Een incident kan het draagvlak onder de bevolking van waterstof schaden. |

Tabel 7. Explosie tijdens transport van H₂ - gevolgen

| Belang | Impact |
|----------------------------------|---|
| Territoriale veiligheid | Niet van toepassing. |
| Fysieke veiligheid | Afhankelijk van de locatie van het incident en de mensen die zich daar op dat moment bevinden kunnen er doden vallen. De inschatting is dat het gaat om enkele tot maximaal tientallen slachtoffers. |
| Economische veiligheid | Een tankwagen bevat slechts een relatief kleine hoeveelheid H ₂ . De levering van het gas komt dus niet onder druk. Eventueel kan de voorraad van een tankstation wel beperkt zijn door een gemiste levering. De economische impact zal daarom voornamelijk bepaald worden door de schade die ontstaat als gevolg van de explosie. |
| Ecologische veiligheid | Niet van toepassing. H ₂ is niet toxisch. Er zijn geen effecten op flora en fauna. |
| Sociale en politieke stabiliteit | De impact hangt primair af van het aantal doden dat bij het incident valt. Een explosie met een tankwagen kan het vertrouwen in het transport en gebruik schaden en kan op nationaal niveau tot onrust leiden. Wat betreft de sociale en politieke stabiliteit wordt er wel de kanttekening gemaakt dat ongevallen met gas- of benzinetransporten momenteel tot weinig commotie of daling in maatschappelijk vertrouwen leiden. |

De kans dat er een ongeval met een wegtransport van H₂ plaatsvindt is waarschijnlijk. Er vinden op Nederlandse wegen immers bijna dagelijks ongelukken plaats met vrachtwagens. De vraag is alleen of een ongeval ook direct leidt tot een uitstroom en explosie van H₂. Tankwagens zijn beveiligd met bijvoorbeeld overdrukbeveiliging en zijn ontworpen om niet te bezwijken bij impact. Dit reduceert de kans op een scenario met ontploffing. Verder geldt dat de hoeveelheid transporten van H₂ in de toekomst onzeker is. Dit hangt af van veel verschillende factoren en ontwikkelingen binnen de gehele transportsector.

4.4 Systemfalen door gebrekkige integratie

Bij deze gebeurtenis wordt energie opgeslagen in de vorm van H₂. Dit kan worden omgezet in elektriciteit en

vice versa. De integratie van de systemen van productie en opslag is daarbij cruciaal. In dit scenario is gebrekkige integratie de oorzaak voor onderbrekingen in de H₂ productie. De effecten kunnen in de gehele keten tot uiting komen. Tabel 8 geeft de gevolgen weer per nationaal veiligheidsbelang.

De kans dat dit plaats gaat vinden hangt nauw samen met de kwaliteit van de connecties tussen de netten en de beschikbaarheid van gekwalificeerd personeel hiervoor. Over het algemeen is de kans enigszins waarschijnlijk. Als H₂ een grote rol heeft in het energiesysteem en er onderbrekingen in de productie zich voordoen, hebben dergelijke gebeurtenissen mogelijk grote effecten op de leveringszekerheid. Indien het netwerk aangepast moet worden kunnen de gevolgen van lange duur zijn, zowel voor huishoudens als de industrie.

Tabel 8. Systeemfalen door gebrekkige integratie - gevolgen

| Belang | Impact |
|----------------------------------|---|
| Territoriale veiligheid | Niet van toepassing. |
| Fysieke veiligheid | De fysieke impact is beperkt, tenzij primaire levensbehoeften in het geding komen. Indien op grote schaal huizen verwarmd worden met waterstof kan de impact groot zijn. |
| Economische veiligheid | De impact van onderbrekingen met effecten in de energieketen op de economie wordt over het algemeen hoog geschat. Indien er veelvuldig stroomuitval plaatsvindt, zal dit grote economische gevolgen hebben. Wanneer het netwerk zal moeten worden aangepast om het goed te laten functioneren zal dit veel geld kosten. |
| Ecologische veiligheid | Niet van toepassing. |
| Sociale en politieke stabiliteit | Wanneer er veel fluctuaties zijn in de beschikbaarheid van energie zal dit tot sociale instabiliteit kunnen leiden. Het vertrouwen in de techniek kan dalen. |

4.5 Diffuse lekkage oude gasleidingen

In dit scenario wordt H₂ getransporteerd door het bestaande aardgasnetwerk naar huishoudens. Door kleine scheuren in de leidingen of lekkende afdichtingen vinden er lekkages van H₂ plaats. Als gevolg hiervan kunnen er plaatselijk ophopingen van waterstof ontstaan.

Het gas kan in dit scenario in principe vrijkomen op alle locaties waar de leidingen liggen. De impact van een lekkage is vooral afhankelijk van de locatie waar het gas vrijkomt (is er sprake van ophoping?). H₂ vervliegt snel in de atmosfeer (ook als de lekkage ondergronds is), dus ophopingen zullen zich met name voordoen in bijvoorbeeld kelders van huizen. Doordat het over kleine hoeveelheden waterstof gaat, zijn de effecten op leveringszekerheid beperkt. Tabel 9 geeft de gevolgen weer per nationaal veiligheidsbelang.

De kans, dat zich H₂ lekkages voordoen, is op hoofdlijnen vergelijkbaar met de huidige kans op lekkages van

aardgas. Die huidige kans op lekkage bij de hogedruk aardgasleidingen is zeer onwaarschijnlijk (zie ook 9.3). Daarbij wordt opgemerkt dat er wel relevante verschillen zijn tussen H₂ en aardgas. H₂ is bijvoorbeeld een kleiner molecuul in vergelijking tot methaan, waardoor kleinere scheuren in de leidingen vaker tot lekkages kunnen leiden dan bij aardgas.

4.6 Andere mogelijke gebeurtenissen

Opslag in zoutcavernes of gasvelden

Ondergrondse opslag van H₂ in zoutcavernes of lege gasvelden kan als buffer dienen en de leveringszekerheid verhogen. In lege gasvelden met zwavelhoudend gesteente kan een reactie tussen het gesteente en H₂ plaatsvinden waarbij waterstofsulfide (H₂S) wordt gevormd. H₂S is giftig en kan tot op een straal van 10 km voor problemen zorgen. Daarnaast is H₂S in de aanwezigheid van water corrosief voor de leidingen.

Tabel 9. Diffuse lekkage oude gasleidingen - gevolgen

| Belang | Impact |
|----------------------------------|---|
| Territoriale veiligheid | Niet van toepassing. |
| Fysieke veiligheid | De lekkages zullen niet snel leiden tot doden en gewonden. Indien het gas zich ophoopt in kleine ruimtes kan dit leiden tot explosies als het gas ontsteekt. In dat geval zal de fysieke impact groter zijn. |
| Economische veiligheid | De impact is beperkt, tenzij de leveringszekerheid in het geding komt. |
| Ecologische veiligheid | Niet van toepassing. H ₂ is niet toxisch. Er zijn geen effecten op flora en fauna. |
| Sociale en politieke stabiliteit | De impact zal nihil zijn zolang de lekkages niet leiden tot incidenten. Sociale onrust rondom lekkages en/of incidenten kan er toe leiden dat mensen het H ₂ niet meer (in huis) willen gebruiken. |

Vrijkomen H₂ bij ondergrondse opslag

Bij ondergrondse opslag van H₂ kan de stof onbedoeld vrijkomen. Als het waterstof zich vervolgens kan ophopen, ontstaat het risico op een brand of explosie. Indien dit gebeurt bij een offshore ondergrondse opslag is het aannemelijk dat er gewonden op het platform vallen. De brand kan eventueel ook slecht te bereiken zijn. Voor een offshore platform is ook een aanvaring met een schip een risico.

Particulieren die zelf installaties bouwen

De kans bestaat dat mensen zelf bij hun woning H₂ gaan produceren en opslaan. Bijvoorbeeld omdat ze zonnepanelen hebben en de teveel opgewekte stroom willen opslaan voor later gebruik. Bewoners kunnen waterstofinstallaties zelf installeren zonder te beschikken over de nodige kennis en kunde, wat de veiligheid waarschijnlijk niet ten goede komt. Een brand of explosie is in dit geval erg waarschijnlijk. Dit kan incidenten met zelfs doden tot gevolg hebben.

Brand met H₂-voertuig in besloten ruimtes (tunnels/parkeergarage)

De kans op een autobrand van een waterstofauto in een tunnel is klein. Echter, de effecten van een H₂-brand op een tunnelconstructie zijn anders dan de effecten van een normale autobrand. In een tank opgeslagen H₂ kan bij vrijkomen zorgen voor een zogenaamde fakkelbrand of 'jet fire'. Beton kan relatief slecht tegen de puntbelasting die door dit type brand wordt veroorzaakt. In het ergste geval kan dit leiden tot het bezwijken van de tunnelconstructie (TNO, 2013). Indien het H₂ niet direct ontsteekt en opgesloten blijft in de tunnel, kan er een explosie plaatsvinden. Zowel een *jet fire* als explosie zijn door het ontwerp van de H₂ brandstoftanks voor auto's en de eigenschappen van H₂ echter onwaarschijnlijk.

5. Geothermie

Het is mogelijk om met behulp van aardwarmte woningen en andere gebouwen te verwarmen. Geothermie houdt op hoofdlijnen in dat warm water vanuit een ondergronds waterreservoir naar de oppervlakte wordt gepompt. Dit reservoir bevindt zich op (grote) diepte en de temperatuur is daar van nature hoger. Dit water kan dus worden gebruikt als warmtebron. Het afgekoelde water wordt vervolgens weer naar beneden gepompt. Voor het toepassen van geothermie dienen er meerdere putten te worden geslagen waarlangs het water omlaag en weer omhoog kan. Voor het thema geothermie zijn twee mogelijke gebeurtenissen beschouwd:

- Seismiciteit als gevolg van geothermie (zowel tijdens productie als aanleg);
- Lekkage met grondwaterverontreiniging.

Verder zijn tijdens de bijeenkomst in februari door de deelnemers nog enkele mogelijke gebeurtenissen naar voren gebracht. Deze staan apart vermeld in sectie 5.4.

5.1 Algemene punten

Enkele algemene punten die naar voren kwamen rond het thema geothermie zijn:

- De risico's van geothermie hangen sterk samen met de locatie (het gebied waar de put wordt geslagen) en wijze van winning. Zo zitten er wat betreft mogelijke seismiciteit substantiële verschillen tussen ondiepe, diepe en ultradiepe geothermie en ook tussen locaties waar wel en geen seismische activiteit aanwezig is
- De brede toepassing van geothermie loopt tegen een aantal uitdagingen aan met betrekking tot ruimtelijke ordening. Putten kunnen bij toekomstige bredere toepassing mogelijk in de buurt van bestaande bouw worden geslagen (bijvoorbeeld nabij woonwijken). Dit betekent dat incidenten zich relatief dicht bij de woonomgeving af kunnen gaan spelen;
- Zolang men in een bepaald gebied afhankelijk is van meerdere putten voor de levering van warmte of van meerdere warmtebronnen, zal de uitval hiervan weinig effect hebben op de leveringszekerheid.

5.2 Seismiciteit als gevolg van geothermie

Gedurende verschillende stappen van geothermieproductie kan seismiciteit ontstaan: tijdens boren, testen en productie. Volgens de betrokken experts is er wat betreft seismiciteit in de meest voorkomende reservoirs geen duidelijk verschil tussen de boor- of aanlegfase en de productiefase.

De impact van eventuele seismiciteit hangt samen met de magnitude van de seismische activiteit en het type ondergrond. Hierbij wordt ten eerste opgemerkt dat de kans op een beving zeer gering is. Als gekeken wordt naar eventuele seismiciteit zal de magnitude van aan geothermie-gerelateerde seismiciteit over het algemeen relatief laag zijn. Het plaatsvinden van aardbevingen met relatief hoge magnitudes ($M > 3,5$) is mogelijk, maar niet waarschijnlijk. Bij grote magnitudes zullen de effecten groter zijn, ook op het draagvlak voor geothermie.

Indien door optreden van seismische activiteit een geothermielocatie moet worden gesloten, heeft dit geen grootschalige effecten op de energievoorziening. De reden is dat bij deze gebeurtenis ervan wordt uitgegaan dat geothermie niet de enige of dominante energiebron zal zijn. Volgens experts ligt het ook niet in de lijn der verwachting dat geothermie voor bepaalde gebieden in de toekomst de enige of dominante energiebron zal zijn. Er zijn dan alternatieven aanwezig die het verlies in de regio kunnen opvangen. Tabel 10 geeft de gevolgen weer per nationaal veiligheidsbelang.

De kans op seismiciteit als gevolg van geothermie hangt af van de specifieke ondergrond (locatie, type ondergrond, aanwezigheid van breuklijnen of bestaande seismische activiteit) en van de wijze van winning. De kans op seismiciteit bij ondiepe geothermie wordt als 'verwaarloosbaar' ingeschat. Voor diepe en ultradiepe geothermie lopen de inschattingen hiervan door de experts uiteen. In gebieden waar al seismische activiteit is (zoals in Limburg of Groningen) is de kans op seismiciteit groter dan in gebieden waar geen seismische

Tabel 10. Seismiciteit als gevolg van geothermie - gevolgen

| Belang | Impact |
|----------------------------------|---|
| Territoriale veiligheid | Effect is altijd zeer lokaal. Afhankelijk van het gebied zullen andere functies vermoedelijk door kunnen gaan, mits er niet teveel schade is. De aantasting van de integriteit van het grondgebied wordt daarmee als zeer beperkt ingeschat. |
| Fysieke veiligheid | Zeer beperkt. Tot op heden is er wereldwijd nergens een dodelijk slachtoffer gevallen als gevolg van geothermische activiteiten, terwijl dit al lange tijd op vrij grote schaal wordt toegepast. |
| Economische veiligheid | Vooralschade die optreedt als gevolg van de seismische activiteit en de impact op het bedrijf dat de betreffende installatie beheert. Afhankelijk van de specifieke omstandigheden kan de installatie stilgelegd worden voor onderzoek of herstel van schade, waardoor er tijdelijk geen productie mogelijk is. |
| Ecologische veiligheid | Geen impact verwacht. Als er wel gevolgen zijn, dan lokaal en kortdurend. |
| Sociale en politieke stabiliteit | Onrust door optreden van bevingen, versterkt door media-aandacht en politieke discussies, waardoor het draagvlak voor deze technologie onder druk komt te staan. Ook kan dit de relatie tussen burgers en bedrijven/overheid aantasten. |

activiteit is. Bij die laatste gebieden wordt de kans op aardbevingen klein (zeer gering) geacht (SodM 2017; TNO 2019). Het is over het algemeen lastig om de causaliteit tussen geothermie-activiteiten en seismiciteit vast te stellen.

5.3 Lekkage met grondwaterverontreiniging

Bij deze gebeurtenis gaat het om het ontstaan van lekkage in een ondergrondse buisleiding die wordt gebruikt voor geothermie. Dit betekent dat er mogelijk chemicaliën (mijnbouwhulpstoffen), zware metalen of licht radioactieve deeltjes afkomstig uit de diepe ondergrond vrijkomen en vervolgens het (ondiepe) grondwater verontreinigen.

De impact van een dergelijke gebeurtenis wordt over het algemeen ingeschat als laag. Effecten zullen vooral heel lokaal zijn. Tabel 11 geeft een overzicht.

De kans op lekkage is aanwezig, maar is o.a. afhankelijk van de type uitvoering van de behuizing, zoals dubbele of enkele behuizing voor putten. Bij lekkages op geringe diepte kunnen er problemen met grondwatervervuiling optreden. Echter, in voorgaande gevallen van lekkage is er geen sprake geweest van deze vervuiling. Hier komt bij dat in drinkwatergebieden geen putten zullen worden geboord.

5.4 Andere mogelijke gebeurtenissen

Lekkage met chemicaliën aan oppervlakte

Er vindt binnen de bovengrondse locatie van een geothermische put een lekkage plaats. Dit betekent dat verontreinigd water vrijkomt aan de oppervlakte. De fysieke gevolgen zijn minimaal, maar de economische en mogelijke ecologische schade is lokaal relatief groot.

Calamiteit bij schoonmaken geothermische put

Voor de reiniging van geothermische putten wordt gebruik gemaakt van verschillende chemicaliën. Deze stoffen moeten naar de put worden getransporteerd, welke zich soms in een bebouwde omgeving (bijvoorbeeld een woonwijk) bevindt. Een ongeval met het transport van deze stoffen kan leiden tot bijvoorbeeld een brand waarbij giftige stoffen vrijkomen of tot een lekkage binnen deze bebouwde omgeving.

Lekkage warmtenet

Nadat warmte is opgewekt door middel van geothermie, kan deze worden gedistribueerd via warmtenetten. Door deze leidingen stroomt dan warm water naar individuele huishoudens. Bij deze gebeurtenis barst één van de hoofdleidingen van een warmtenet. Als gevolg lekt hier een grote hoeveelheid (zeer) warm water uit. Blootstelling aan dit water en de stoom die er van af komt kan leiden tot verwondingen. Ook zullen huizen in de omgeving tijdelijk geen verwarming hebben als gevolg van de lekkage. Herstelkosten kunnen door de waterschade relatief hoog zijn.

Tabel 11. Lekkage met grondwaterverontreiniging - gevolgen

| Belang | Impact |
|----------------------------------|---|
| Territoriale veiligheid | Vervuiling moet worden opgeruimd. Zelfs voor een klein gebied kan dit enige tijd duren (maanden tot jaren). |
| Fysieke veiligheid | Geen fysieke impact verwacht. Dit is echter ook niet ondenkbaar. |
| Economische veiligheid | Reparatiekosten en mogelijk stilleggen van het project. Gevolgen zijn met name merkbaar voor de exploitant. |
| Ecologische veiligheid | Vervuiling van het grond- of drinkwater. Weinig tot geen verwachte impact op flora en fauna. Vervuiling kan wel langere tijd aanwezig zijn voordat er gesaneerd is. |
| Sociale en politieke stabiliteit | Met name impact op het maatschappelijk draagvlak van de technologie. Zeker wanneer er in media en politiek aandacht aan wordt besteed. |

6. Zonne-energie, windenergie en elektrificatie

In het kader van de energietransitie is het waarschijnlijk dat wind- en zonne-energie in een groot deel van de energiebehoefte zullen gaan voorzien. Een ontwikkeling die hier op inhaakt is een steeds verdere elektrificatie. Dat wil zeggen dat er meer wordt vertrouwd op elektriciteit als bron voor het aandrijven van industrie, voertuigen en huishoudens. Een groter verbruik van elektriciteit betekent echter ook een elektriciteitsnet dat een verhoogde vraag en aanbod aan moet kunnen. Ook zal energie vaker (tijdelijk) moeten worden opgeslagen voor later gebruik, bijvoorbeeld door middel van buurtbatterijen. Met deze batterijen wordt op lokaal niveau door wind en zon opgewekte energie bewaard.

Binnen het thema zonne-energie, windenergie en elektrificatie zijn de volgende gebeurtenissen uitgewerkt:

- Brand buurtbatterij;
- Gebrekkige recycling batterijen & zonnepanelen;
- Gezondheidseffecten van hoogspanningslijnen;
- Cyberaanval hoogspanningsnet.

Verder zijn tijdens de bijeenkomst in februari door de deelnemers nog enkele mogelijke gebeurtenissen naar voren gebracht. Deze staan apart vermeld in sectie 6.6.

6.1 Algemene punten

Enkele algemene punten die naar voren kwamen rond het thema zonne-energie, windenergie en elektrificatie zijn:

- Een belangrijk vraagstuk is hoe om te gaan met perioden van piekvraag. Als steeds meer zaken zoals het opladen van auto's en het verwarmen van huizen afhankelijk worden van elektriciteit, zullen er sterke piekmomenten op gaan treden in de vraag naar stroom. Mensen laden immers massaal hun auto op als ze terug komen van hun werk, veelal rond dezelfde tijd. Deze piekvraag vergt of een zeer zwaar uitgevoerd netwerk (wat er nu niet ligt) inclusief bijbehorend productiecapaciteit of een spreiding van gebruik;

- Een gerelateerde vraag is hoe om te gaan met piekaanbod. Op bepaalde momenten (als het hard waait of als de zon goed staat) zal er veel stroom worden opgewekt via zonnepanelen en windturbines. Dit zal echter niet altijd gelijk vallen met perioden van piekvraag. De uitdaging is om ervoor te zorgen dat de opgewekte stroom niet verloren gaat, bijvoorbeeld door het op dat moment niet op het net te brengen, maar het op een andere manier te gebruiken;
- Vergaande elektrificatie vraagt veel van (thuis) netwerken. Het is de vraag of met name oudere huizen en gebouwen hierop zijn berekend. Een overschakeling op elektrische verwarming én elektrisch vervoer (met opladen thuis) vraagt voldoende capaciteit van het distributienet en huisaansluitingen;
- Op het gebied van het opslaan van elektriciteit is het waarschijnlijk dat veel mensen thuis gaan experimenteren. Bijvoorbeeld het zelf installeren van accupakketten of zelfs het omzetten van elektriciteit naar H₂. Ook het ontstaan van een tweedehands markt van accu's/ batterijen is goed voorstelbaar. Gebrek aan expertise en toezicht kunnen gevaarlijke situaties opleveren.

6.2 Brand buurtbatterij

In het kader van de energietransitie kunnen er lokale initiatieven ontstaan om energie opgewekt door middel van bijvoorbeeld zonnepanelen op te slaan voor later gebruik. Dit kan worden bereikt door middel van een buurtbatterij. Als deze echter niet vakkundig wordt aangelegd of onderhouden, kan er oververhitting ontstaan en uiteindelijk zelfs brand. Bij een brand van een Li-ion batterij komen er schadelijke en toxische stoffen vrij in de omgeving waaronder waterstoffluoride.

De gevolgen zijn erg lokaal en lijken op die van een reguliere brand. Ook zal de stroomvoorziening in de wijk enige tijd worden verstoord. Tabel 12 geeft een overzicht.

Tabel 12. Brand buurtbatterij - gevolgen

| Belang | Impact |
|----------------------------------|---|
| Territoriale veiligheid | Niet van toepassing. |
| Fysieke veiligheid | Door zowel de brand zelf als door giftige rook kunnen mensen gewond raken of komen te overlijden. |
| Economische veiligheid | Geen impact. Door de brand zullen hoogstens enkele woonhuizen worden beschadigd. |
| Ecologische veiligheid | Lokale vervuiling lucht door giftige rook en bodem door verontreinigd bluswater. |
| Sociale en politieke stabiliteit | Kan lokaal en regionaal impact hebben op het draagvlak van elektrificatie dan wel de lokale opslag van energie. |

Aangezien dergelijke gebeurtenissen zich al hebben voorgedaan in Nederland, wordt de kans van voorkomen zeer waarschijnlijk geacht. Naarmate er in de toekomst meer batterijen komen, zal ook de kans op brand toenemen. Alhoewel de gevolgen van individuele branden beperkt zijn, kunnen de cumulatieve gevolgen van zich steeds herhalende incidenten uiteindelijk groot worden.

6.3 Gebrekkige recycling batterijen en zonnepanelen

In deze gebeurtenis wordt uitgegaan van een groot-schalige toepassing van zonnepanelen om energie op te wekken en batterijen (bijvoorbeeld op wijkniveau) om de opgewekte energie op te slaan. Wanneer deze panelen of batterijen worden vervangen, is de aanname dat er nog geen goede recycle mogelijkheden zijn. Dit betekent dat afgedankt materiaal in de reguliere afvalstroom terecht komt of dat er zelfs malafide praktijken ontstaan zoals het dumpen van chemisch afval. Tijdens de bijeenkomst werd nog toegevoegd dat er mogelijk ook afvalstromen richting het buitenland ontstaan.

Wat betreft de gevolgen voor Nederland zullen deze relatief beperkt en veelal lokaal zijn. Zo kan het illegaal dumpen van panelen of batterijen lokaal vervuiling veroorzaken. De leveringszekerheid van energie zal niet worden beïnvloed. Tabel 13 geeft de gevolgen weer per nationaal veiligheidsbelang.

Uit de inschattingen van de betrokken experts komt geen éénduidig beeld naar voren wat betreft de kans van deze gebeurtenis.

6.4 Gezondheidseffecten van hoogspanningslijnen

Door vergaande elektrificatie zal er steeds meer gebruik worden gemaakt van (bovengrondse) hoogspanningslijnen. Er zijn aanwijzingen dat kinderen die in de buurt van een bovengrondse hoogspanningslijn wonen een hogere kans hebben om leukemie te krijgen. Een oorzakelijk verband is niet aangetoond en er is daarom geen definitief antwoord op de vraag of de magneetvelden rond deze lijnen schadelijk zijn voor de volksgezondheid. Wel heeft de Nederlandse overheid in 2005 voorzorgbeleid bij bovengrondse hoogspanningslijnen

Tabel 13. Gebrekkige recycling batterijen en zonnepanelen - gevolgen

| Belang | Impact |
|----------------------------------|--|
| Territoriale veiligheid | Kleine lokale impact als een gebied wordt vervuild. |
| Fysieke veiligheid | Bij het ontstaan van brand in afvalhopen of het dumpen in de leefomgeving kunnen gevaarlijke (toxische) stoffen vrij komen. |
| Economische veiligheid | Door gebrekkig hergebruik is het mogelijk dat de prijzen van de grondstoffen voor panelen of batterijen toenemen. |
| Ecologische veiligheid | Beperkte impact. Vervuiling door opslag omdat er zware metalen in het milieu terecht komen. Op termijn mogelijk gevolgen voor bodemwaterkwaliteit. |
| Sociale en politieke stabiliteit | Zeer beperkt. |

gelanceerd. Met een groeiend aantal en lengte van deze hoogspanningslijnen kunnen maatschappelijke zorgen, en mogelijk de gezondheidseffecten, toenemen.

Wat betreft de impact is het belangrijk om te melden dat de link tussen hoogspanningslijnen en het ontstaan van leukemie bij kinderen niet éénduidig bewezen (of ontkracht) is. Dit betekent echter niet dat er geen zorgen bij omwonenden zullen ontstaan. Dit is dan ook het gebied waar de impact het hoogst is. Bezorgdheid kan er ook voor zorgen, dat het aanleggen van de lijnen langer duurt of meer kost. Iets wat de energietransitie mogelijk vertraagt. Tabel 14 geeft een overzicht van de gevolgen.

De kans dat deze situatie zich voordoet, waarbij meer hoogspanningslijnen kunnen leiden tot een bepaalde maatschappelijke bezorgdheid wordt als (enigszins) waarschijnlijk gezien, terwijl de onzekerheid over eventuele gezondheidseffecten groot is.

6.5 Cyberaanval hoogspanningsnet

Binnen dit scenario worden delen van het hoogspanningsnet platgelegd door een cyberaanval.⁵ Dit betekent dat delen van het land enige tijd zonder stroom komen te zitten. Dit terwijl met de energietransitie de afhankelijkheid van elektriciteit juist structureel is toegenomen. Gezien de hoge onderlinge afhankelijkheden en verbondenheid tussen systemen kan vanuit een storing in een deel van het netwerk (in dit geval vanuit een cyberaanval) de gehele energieketen worden geraakt. Dit geldt ook voor Europese systemen. De uiteindelijke impact hangt mede af van het type cyberaanval. Dit geldt ook

⁵ Het type aanval is binnen deze analyse niet gespecificeerd. Er waren tijdens de sessies geen cyberexperts aanwezig om een plausibele aanval te schetsen en de waarschijnlijkheid en effecten van deze aanval te duiden. Aanwezigen hebben puur gekeken naar de effecten van de uitval van het stroomnet. De aanval zelf is dus buiten beschouwing gelaten.

voor de duur en de omvang van het geografische gebied dat wordt geraakt. In geval van een grootschalige uitval van elektriciteit kan de leveringszekerheid van energie niet worden gegarandeerd waardoor ook andere vitale infrastructuur (zoals de drinkwatervoorziening) en kwetsbare objecten (bijvoorbeeld ziekenhuizen) zonder stroom kunnen komen te zitten. Potentieel heeft deze gebeurtenis een hoge impact op de nationale veiligheid. Tabel 15 geeft de gevolgen weer per nationaal veiligheidsbelang.

Cyberaanvallen vinden dagelijks plaats, maar het is de vraag of een aanval ook tot uitval zal leiden. Ook binnen de elektriciteitssector wordt steeds meer gebruik gemaakt van digitale systemen en valt een aanval op deze systemen niet uit te sluiten (zie verder voetnoot 5).

6.6 Andere mogelijke gebeurtenissen

Lokale overbelasting van het elektriciteitsnetwerk

Door de elektrificatie van huishoudens (gebruik warmtepomp, zonnepanelen op het dak, laden elektrische auto) raakt het net overbelast. Dit kan leiden tot brand in huis bijvoorbeeld in de meterkast of in een trafostation in de wijk. Deze gebeurtenis is zeer waarschijnlijk. Het trafostation zal uitvallen in geval van brand en de wijk komt zonder stroom te zitten. De brand zal rookontwikkeling veroorzaken maar er zullen waarschijnlijk geen doden vallen. Als deze gebeurtenis vaak voorkomt kan dit een rem op de energietransitie zijn.

Weergebeurtenis die leidt tot grote impact op elektriciteitssysteem

Een grote afhankelijkheid van windparken op zee brengt ook kwetsbaarheden met zich mee. Een mogelijke gebeurtenis is een (ijzel)storm op zee waardoor een groot deel van de windturbines op zee beschadigd raakt en buiten gebruik is. Veel van de elektriciteitsproductie

Tabel 14. Gezondheidseffecten van hoogspanningslijnen - gevolgen

| Belang | Impact |
|----------------------------------|---|
| Territoriale veiligheid | Groei hoogspanningsnet neemt ruimte in beslag, maar heeft op zich weinig impact. |
| Fysieke veiligheid | Mogelijk enkele extra leukemie gevallen in vijf jaar. Alhoewel het verband tussen hoogspanningslijnen en het ontstaan van leukemie bij kinderen nog niet eenduidig is bewezen of ontkracht. |
| Economische veiligheid | Hogere kosten voor de aanleg van het netwerk (bijvoorbeeld wijzigen of ondergronds brengen tracé). |
| Ecologische veiligheid | Beperkt. Bovengrondse lijnen leiden tot 'horizonvervuiling' en hebben effect op vogels. |
| Sociale en politieke stabiliteit | Als er een verband kan worden aangetoond tussen hoogspanningslijnen en leukemie bij kinderen, kan er maatschappelijke onrust ontstaan. |

Tabel 15. Cyberaanval hoogspanningsnet - gevolgen

| Belang | Impact |
|----------------------------------|---|
| Territoriale veiligheid | Beperkte impact. |
| Fysieke veiligheid | Mogelijk keteneffecten in het verkeer of de zorg wat tot meerdere slachtoffers kan leiden. Zonder keteneffecten redelijk beperkte impact. |
| Economische veiligheid | Mogelijk hoge economische kosten door de uitval. De precieze hoogte hiervan is afhankelijk van de duur en de omvang van het getroffen gebied. |
| Ecologische veiligheid | Niet van toepassing. |
| Sociale en politieke stabiliteit | Aanzienlijke verstoring dagelijks leven. Impact hangt af van de duur en de omvang van het getroffen gebied. |

valt weg. Er komt een 'rolling black-out' waardoor gebieden beurtelings stroom krijgen. Het langdurig uitvallen van de stroom kan leiden tot sociale onrust doordat onder andere de communicatie uitvalt. Ditzelfde kan overigens gebeuren op het hoogspanningsnetwerk.

Aanvaring tanker met offshore platform

Bij een aanvaring van een tanker met een platform op zee waar de opgewekte windenergie bijeenkomt, raakt

het platform zwaar beschadigd. Op het platform zelf vallen mogelijke enkele doden. Mogelijkerwijs resulteert dit incident tot stroomuitval, maar het hoeft niet. Indien er stroomuitval optreedt, kan dit in heel Nederland tot uiting komen en kan zelfs internationaal gevolgen hebben. De stroomuitval kan in enkele dagen opgelost zijn. Het herbouwen van het platform kost veel tijd en geld. In deze tijd zal stroom moeten worden geïmporteerd. De ecologische impact zal voornamelijk worden bepaald door de inhoud van en de schade aan de tanker.

7. Biomassa

Uit biomassa (bijvoorbeeld organisch afval of houtpallets) kan door middel van vergisting groen gas worden gewonnen. Ook kan het worden verbrand voor de opwekking van warmte of elektriciteit. Het gebruik van biomassa kan op kleine (lokale initiatieven) of op grote (industriële) schaal plaatsvinden. Met het groene gas kunnen onder andere voertuigen worden aangedreven. Verschillende materialen kunnen worden gebruikt als basis voor biomassa en dus groen gas. Zo kan de Nederlandse GFT afvalstroom dienen als grondstof, maar kan er ook voor worden gekozen om biomassa te importeren uit het buitenland. Voor het thema biomassa zijn drie gebeurtenissen onder de loep genomen:

- Brand verzamelpunt biomassa;
- Grootschalige emissie gassen;
- Explosie bij bedrijf dat groen gas produceert.

Voor dit thema zijn er op basis van de workshopronde geen aanvullende gebeurtenissen opgenomen.

7.1 Algemene punten

Enkele algemene punten die naar voren kwamen rond het thema biomassa zijn:

- Er bestaat het risico dat er tekorten ontstaan bij de aanlevering van biomassa aangezien Nederland zelf onvoldoende kan produceren. Vooral als er internationaal een grote vraag ontstaat. Bij toenemende

schaarste kunnen er ook geopolitieke spanningen ontstaan tussen landen die afhankelijk zijn van de import van biomassa;

- Het is mogelijk dat om aan de vraag naar biomassa te voldoen, de productie van natuurlijke materialen ten behoeve van vergisting wordt opgeschroefd. Dit kan ten koste gaan van de biodiversiteit of de hoeveelheid land beschikbaar voor de reguliere landbouw.

7.2 Brand verzamelpunt biomassa

Bij deze gebeurtenis is er sprake van een grootschalige brand bij een opslagpunt van biomassa. Concreet houdt dit in dat hopen (in de open lucht) opgeslagen biomassa zijn gaan broeien en uiteindelijk vlam hebben gevat. Dit leidt tot een lastig te bestrijden brand met veel rookontwikkeling.

De gevolgen zullen over het algemeen beperkt blijven en vergelijkbaar zijn met die van een brand waarbij mogelijk gevaarlijke stoffen vrijkomen. Tabel 16 geeft een overzicht van de gevolgen.

De kans dat deze gebeurtenis zich voor doet wordt door deskundigen ingeschat als enigszins waarschijnlijk. Zo hebben zich in Nederland bijvoorbeeld vaker vergelijkbare branden voorgedaan op vuilnisbelten.

Tabel 16. Brand verzamelpunt biomassa - gevolgen

| Belang | Impact |
|----------------------------------|--|
| Territoriale veiligheid | Niet van toepassing. |
| Fysieke veiligheid | Geen impact verwacht (eventueel gevolgen van de rookontwikkeling). |
| Economische veiligheid | Met name (herstel)kosten voor het betrokken bedrijf. |
| Ecologische veiligheid | De gevolgen zijn zeer lokaal en waarschijnlijk niet permanent. Het gaat hier met name om verontreinigd bluswater dat in het milieu komt. |
| Sociale en politieke stabiliteit | Bij een grote brand kan er commotie ontstaan in de media en onder het algemeen publiek. Dit kan onder andere een gevolg zijn van overlast door (en zichtbaarheid van) de rook. |

7.3 Grootschalige emissie gassen

Hierbij gaat het om het plotseling vrijkomen van (vergiftings)gassen uit een installatie waar groen gas wordt geproduceerd. Deze gassen zullen zich (in hoge concentraties) niet ver verspreiden. De gevolgen blijven dus met name lokaal. De kans op deze gebeurtenis wordt gezien als (enigszins) waarschijnlijk. Tabel 17 geeft de gevolgen weer per nationaal veiligheidsbelang.

7.4 Explosie bij productiebedrijf van groengas

Bij deze gebeurtenis vindt er een explosie plaats bij een bedrijf dat groen gas produceert. De impact zal in grote mate afhangen van de vraag of het om een vergassings- dan wel vergistingsinstallatie gaat en of het om een groot bedrijf gaat met wel of geen BRZO status. Tabel 18 geeft een overzicht van de gevolgen.

De kans dat deze gebeurtenis werkelijkheid wordt is vergelijkbaar met de huidige kans op calamiteiten bij een chemische installatie.

Tabel 17. Grootschalige emissie gassen - gevolgen

| Belang | Impact |
|----------------------------------|--|
| Territoriale veiligheid | Beperkte lokale gevolgen. Alleen het bedrijvencomplex en de directe omgeving worden tijdelijk geraakt. |
| Fysieke veiligheid | Geen impact verwacht. Hoogstens zouden mensen onwel kunnen worden van de vrijgekomen gassen. Afhankelijk van het soort gas kunnen verhoogde concentraties leiden tot gezondheidseffecten. Dit zal met name gelden voor mensen aanwezig op het terrein. |
| Economische veiligheid | Vooraf kosten voor het bedrijf zelf (stilleggen productie, herstel, schoonmaak). |
| Ecologische veiligheid | Geen impact. |
| Sociale en politieke stabiliteit | Bij meerdere incidenten tast dit het maatschappelijke draagvlak voor biomassa aan. |

Tabel 18. Explosie bij productiebedrijf van groengas - gevolgen

| Belang | Impact |
|----------------------------------|---|
| Territoriale veiligheid | Beperkte lokale gevolgen. Alleen het bedrijvencomplex wordt geraakt. |
| Fysieke veiligheid | Beperkte impact. Aanwezig personeel kan gewond raken of komen te overlijden. |
| Economische veiligheid | Lokale gevolgen voor het getroffen bedrijf (stilleggen productie, herstelkosten). |
| Ecologische veiligheid | De gevolgen zijn zeer lokaal en waarschijnlijk niet permanent. |
| Sociale en politieke stabiliteit | Minimale impact. Tenzij het door een grote explosie of brand de grenzen van het complex overschrijdt. |

8. Overkoepelende bevindingen

Uit de bijeenkomsten zijn enkele overkoepelende punten naar voren gekomen die relevant zijn voor meerdere thema's. Deze bevindingen kunnen ook worden gezien als factoren die van belang zijn voor het doorlopen van de energietransitie in het algemeen.

Transitiefase

De energietransitie zal decennia in beslag nemen en verschillende fasen beslaan. De Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur (RLI) meldt dat transities doorgaans in vijf fasen verlopen: na een fase van experimenteren volgt een versnelling, dan een fase van sterke groei, vervolgens institutionalisering en uiteindelijk stabilisatie (RLI, 2019). Het is aannemelijk dat gedurende een langere periode meerdere technieken naast elkaar zullen bestaan. Zo zullen bestaande technieken langzaam worden afgebouwd terwijl nieuwe technieken geleidelijk hun plaats innemen. Daarbij zullen ook faseverschillen tussen de verschillende ontwikkelingen ontstaan, die ook tot conflicten kunnen leiden (RLI, 2019). Zo zal gedurende de transitiefase wet- en regelgeving nog niet volledig uitgekristalliseerd zijn, waardoor mogelijk onverwachte situaties kunnen ontstaan die risico's met zich mee brengen (bijvoorbeeld wanneer gebruikers zelf bepaalde systemen gaan toepassen).

Combinatierisico

Ook is het erg waarschijnlijk dat meerdere nieuwe (en oude) technieken uiteindelijk naast elkaar zullen blijven bestaan (meer dan op dit moment). Zo kan er voor worden gekozen om in te zetten op windenergie, maar tegelijkertijd ook om CO₂ af te vangen bij industrie die blijft draaien op fossiele brandstoffen. Er is een combinatie-risico, door het bestaan van meerdere technieken naast elkaar kan het totale risico toenemen.

Geschoold personeel

Veel van de in deze rapportage genoemde technieken zijn voor het veilig installeren en opereren afhankelijk van goed opgeleide vakmensen. Het is echter de vraag of er de komende jaren voldoende gekwalificeerde technici beschikbaar zijn. Vooral voor nu nog relatief nieuwe technieken zullen veel mensen moeten worden (om)geschoold.

mende jaren voldoende gekwalificeerde technici beschikbaar zijn. Vooral voor nu nog relatief nieuwe technieken zullen veel mensen moeten worden (om)geschoold.

Verdringing

Naarmate er tijdens de transitie steeds meer wordt ingezet op meerdere nieuwe en oude technieken tegelijkertijd, ontstaat het gevaar van verdringing. Hiermee wordt bedoeld dat meerdere technieken concurreren om soms schaarse ruimte. Dit is bijvoorbeeld het geval voor het gebruik van de ondergrond als er én leidingen moeten worden aangelegd voor geothermie en warmtenetten, maar ook nieuwe of extra elektriciteitskabels. Ook op de Noordzee zal de beschikbare ruimte moeten worden verdeeld tussen onder andere windparken, installaties voor CO₂-opslag en uiteraard de scheepvaart. Als verschillende technieken te dicht op elkaar komen, kan dit het risico op ongevallen of de domino-effecten van deze ongevallen vergroten.

Uitdaging voor de hulpdiensten

In een situatie waar steeds meer verschillende technieken worden toegepast heeft dit naar verwachting belangrijke gevolgen voor de hulpdiensten. In geval van een calamiteit (bijvoorbeeld een brand) zal het voor de hulpdiensten steeds moeilijker in te schatten zijn welke installaties er in een gebouw of aangrenzende gebouwen zitten. Het gaat hier dan om bijvoorbeeld de aanwezigheid van accu's, geothermische bronnen of zelfs kleine waterstofinstallaties. Elk van deze installaties heeft andere eigenschappen waar rekening mee moet worden gehouden in het bestrijden van een incident. Wanneer niet helder is welke installaties zich ergens bevinden, kan dit een gevaar betekenen voor de betrokken hulpdiensten, maar kan het ook complicaties met zich meebrengen op het gebied van bestrijding.⁶

⁶ Dat is ook de reden dat het Instituut Fysieke Veiligheid (IFV) de laatste tijd verschillende handreikingen heeft opgesteld waarin wordt ingegaan op aandachtspunten voor incidentenbestrijding. Zie bijvoorbeeld (IFV, 2018) en verder: <https://www.ifv.nl/kennisplein/veilige-energietransitie>.

Stapeling van gebeurtenissen

Voor een aantal van de in deze verkenning beschouwde gebeurtenissen geldt dat ze op zichzelf gezien geen (substantiële) impact hebben op de nationale veiligheid. Denk bijvoorbeeld aan een brandende buurtbatterij. Echter, wanneer dit soort incidenten veelvuldig voorkomen, kan het gecombineerde effect wel degelijk groot zijn, bijvoorbeeld op het draagvlak van de energietransitie.

Van centraal naar decentraal

Het is goed mogelijk dat de opwekking of de opslag van energie dicht bij de eindconsument zal plaatsvinden. Denk aan geothermie putten op wijkniveau of de buurtbatterij. Dit waar veel van deze activiteiten eerst waren gecentreerd ver verwijderd van woonwijken. Anders gezegd, er is een verschuiving van centraal naar decentraal. Dit betekent gelijk ook dat de activiteiten zich verplaatsen van locaties en partijen waar relatief gemakkelijk toezicht op is te houden (gespecialiseerde bedrijven op industrieterreinen) naar locaties en partijen die vaak meer buiten het zicht zijn van inspectiediensten

en vergunningverleners. De kans op calamiteiten of uitval kan toenemen door deze verschuiving van centraal naar decentraal.

Lange termijn

In de analyse is gekeken naar de gevolgen voor de korte termijn (0-5 jaar), terwijl de eventuele gevolgen voor de langere termijn ook van belang zijn. Veel van de in deze analyse genoemde technieken zullen namelijk worden ingevoerd voor een periode van tientallen jaren, zo niet langer. Dit brengt onder andere vraagstukken met zich mee op het gebied van recycling en de vervanging van installaties aan het eind van de economische levensduur. Denk aan het afsluiten of buiten gebruik stellen van geothermieputten na een aantal decennia of het vervangen en recyclen van oude windturbines. Andere vraagstukken zijn de eventuele ecologische gevolgen van wind op zee op de lange termijn en lekkages die op de korte termijn alleen leiden tot lokale effecten, terwijl op de lange termijn bijvoorbeeld (drink)water- of bodemverontreiniging zou kunnen optreden.

9. Analyse en vergelijking

De analyse van de resultaten van de zes technologieën (hoofdstukken 3 t/m 7) zijn op verschillende manieren gedaan. In de eerste plaats is nagegaan welke veiligheidsbelangen het meest zouden kunnen worden aangetast. Paragraaf 9.1. gaat hierop in. Daarna zijn vergelijkingen gemaakt met enkele scenario's die in het kader van Nationale Veiligheid zijn uitgevoerd (paragraaf 9.2) en is een korte vergelijking gemaakt op basis van bestaande rekenmethodieken (paragraaf 9.3).

9.1 Focus op mogelijke impact op de vijf nationale veiligheidsbelangen

Om de mogelijke impact op de nationale veiligheid inzichtelijk te maken zijn de zes thema's geanalyseerd aan de hand van enkele (fictieve) gebeurtenissen of incidenten. Hierbij is nagegaan welke nationale veiligheidsbelangen kunnen worden aangetast. De veiligheidsbelangen die potentieel het meest worden geraakt zijn de fysieke veiligheid, de economische veiligheid en de sociaal-politieke stabiliteit. De mogelijke impact op territoriale veiligheid en ecologie is in alle situaties als beperkt ingeschat. Dit komt vooral doordat de effecten lokaal (of erg tijdelijk) zullen zijn.

Impact op de fysieke veiligheid

Bij het veiligheidsbelang **fysieke veiligheid** gaat het ten eerste om **potentiële slachtoffers** die kunnen optreden bij incidenten waarbij gevaarlijke, brandbare of zuurstofverdrivende stoffen vrijkomen. Vanuit de zes technologieën gaat het om incidenten met **waterstof, biomassa (groen gas) of CO₂**. Bij waterstof en biomassa (vergisting) is er brand/explosiegevaar. CO₂ betreft verstikkingsgevaar bij specifieke omstandigheden. Dit houdt in dat het risico op slachtoffers bij CO₂-opslag kleiner is dan bij waterstof en biomassa. In de uitwerking geldt dat het aantal slachtoffers bij bijvoorbeeld een brand of explosie beperkt zal blijven tot enkele personen die tijdens een incident in de directe nabijheid aanwezig zijn. Als waterstof ook in de directe woonomgeving (in huis, auto) toegepast zal

worden, zal de kans op incidenten met slachtoffers groter zijn dan bij vergistingsinstallaties.⁷

Naast slachtoffers vallen ook **primaire levensbehoeften** onder het belang fysieke veiligheid. Bij een grootschalige verstoring van de energievoorziening wordt dit aangetast. Dit kan optreden bij het thema **elektrificatie**. Als de uitval zowel grootschalig als langdurig is, wordt de impact groter. Naast verstoring van de energievoorziening zullen na verloop van tijd ook keteneffecten op bijvoorbeeld het terrein van onder andere ICT en drinkwater optreden. Een dergelijke gebeurtenis zal ook leiden tot verstoring van het dagelijks leven (zie impact op de sociaal-politieke stabiliteit).

Impact op de economische veiligheid

Wanneer incidenten plaatsvinden, is er altijd sprake van impact op de **economische veiligheid**. In de meeste gevallen die zijn geanalyseerd blijft de impact beperkt; denk aan de financiële impact van tijdelijke uitval en herstelactiviteiten. Het hangt van de situatie en omvang af of de energielevering in het geding is. Als **waterstof** grootschalig wordt toegepast (bijvoorbeeld in het aardgasnetwerk) of **elektrificatie** een vlucht neemt, kan een gebeurtenis de energievoorziening significant aantasten. Bij gebeurtenissen met betrekking tot CO₂-opslag, biomassa of geothermie zullen de eventuele gevolgen beperkt blijven tot lokaal-regionaal niveau.

Impact op de sociaal-politieke stabiliteit

Onder impact op de sociaal-politieke stabiliteit is onder meer de **maatschappelijke acceptatie** van een bepaalde technologie in beschouwing genomen. In het algemeen geldt dat incidenten die plaatsvinden bij een bepaalde technologie de acceptatie van die technologie kunnen verminderen. De grootte van de impact is moeilijk te classificeren, omdat dit van allerlei factoren afhankelijk is, omgeven door onzekerheden en omdat de perceptie in de samenleving een belangrijke rol speelt.

⁷ Bovenstaande gaat uit van de impact bij een specifieke gebeurtenis. Wanneer naar gemiddelde aantallen slachtoffers per jaar wordt gekeken kan het laag zijn in vergelijking met bestaande risico's. Zo vallen er in de huidige situatie jaarlijks enkele tientallen doden door CO-vergiftiging (RIVM, 2019).

Incidenten kunnen ook het **dagelijks leven** verstoren. Het gaat dan bijvoorbeeld om winkels die niet open gaan omdat de energievoorziening is verstoord of dat scholen of bedrijven gesloten blijven. Vanuit de analyse volgt dat het dagelijks leven verstoord kan worden bij incidenten met betrekking tot **elektrificatie**. Als er in een worst case scenario een black out zou optreden zal het dagelijks leven zeer ernstig aangetast worden.

9.2 Vergelijking met risico's uit het Nationaal Veiligheidsprofiel

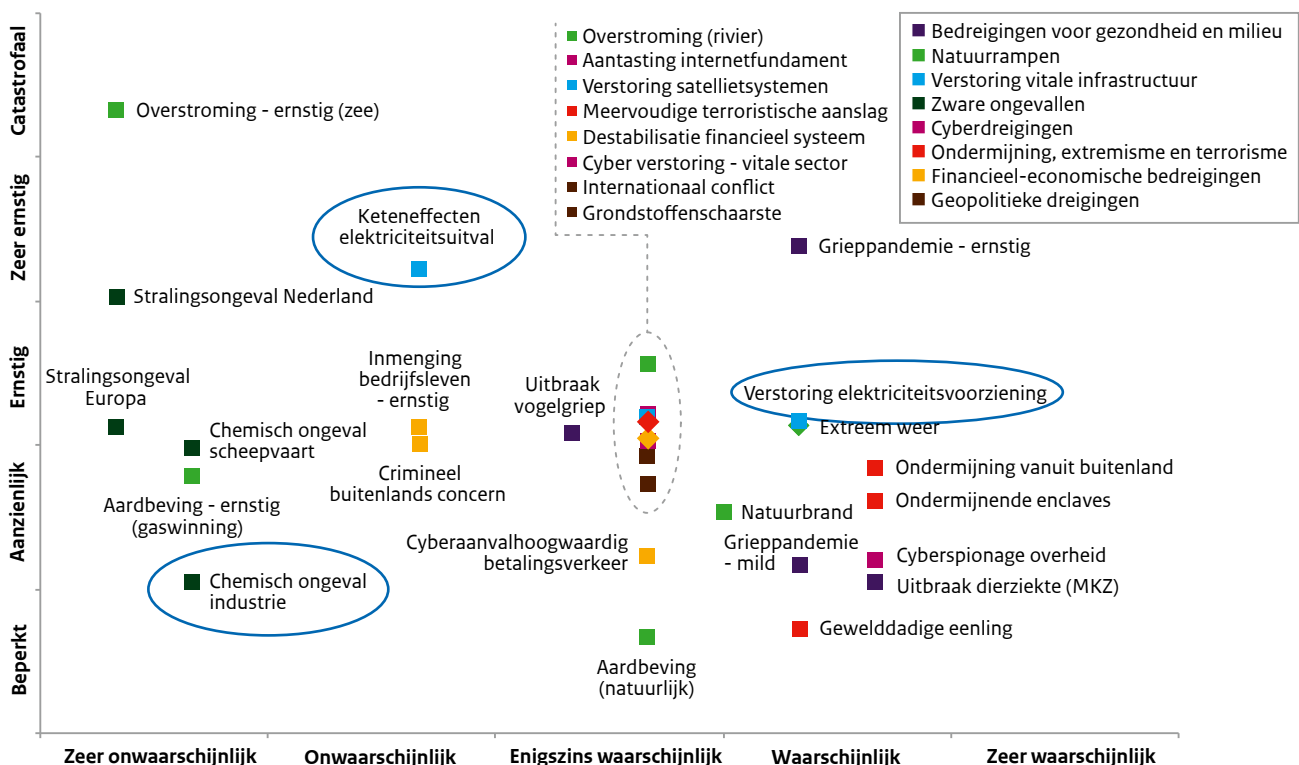
In het Nationaal Veiligheidsprofiel (ANV, 2016) is een groot aantal risico's dat de nationale veiligheid kan raken beschreven. De scenario's die hiervoor zijn gehanteerd, zijn opgenomen in een risicodiagram (zie figuur 2). In het diagram zijn drie scenario's uitgelicht die raken aan de analyses met betrekking tot de energietransitie.

De drie scenario's zijn (i) een chemisch ongeval, (ii) verstoring van de elektriciteitsvoorziening en (iii) keteneffecten bij elektriciteitsuitval. Deze scenario's

worden eerst kort toegelicht, waarna de vergelijking met de risico's van de zes thema's wordt gemaakt.

- Bij het **scenario chemisch ongeval** komt bij een chemiebedrijf een ammoniakwolk vrij, die zich verspreidt over het industriegebied en een woonwijk. Er vallen enkele tientallen dodelijke slachtoffers en er zijn enkele honderden ernstig gewonden (ernstige oog- en luchtwegirritatie). Daarnaast is er financiële schade en is er sociaal-maatschappelijke impact (verontwaardiging, onrust, negatieve beeldvorming).
- De **verstoring van de elektriciteitsvoorziening** duurt in het scenario 24 uur. Dat is een belangrijke factor voor de impact van het scenario. De gevolgen betreffen vooral zeer ernstige verstoring van het dagelijks leven en een gebrek aan primaire levensbehoeften. In het scenario is uitgegaan dat in grote delen van Europa (waaronder heel Nederland) de stroom is uitgevallen. Dit houdt in dat niemand stroom heeft gedurende 24 uur en dat de hele samenleving plat ligt (werk, onderwijs, winkels, ICT). Dit levert verder grote financiële schade op en er zullen ook enkele tientallen dodelijke slachtoffers en enkele honderden gewonden kunnen vallen.

Figuur 2. Risicodiagram uit het Nationaal Veiligheidsprofiel 2016



- Bij het scenario **keteneffecten elektriciteitsuitval** wordt de uitval veroorzaakt door een terroristische aanslag op het elektriciteitsnetwerk. Hierdoor valt in een deel van Nederland de stroom uit. Omdat het herstel meerdere weken duurt, vinden er keteneffecten plaats: andere vitale processen raken op den duur verstoord, zoals telecommunicatie, het beheer van oppervlaktewater, afvalwater en drinkwater en transport. Vanwege de lange duur is de impact op het dagelijks leven maximaal. Datzelfde geldt voor het gebrek aan primaire levensbehoeften (circa 1,5 miljoen mensen hebben een maand lang geen elektriciteit). Daarnaast is vooral de financiële schade hoog. Net als bij het vorige scenario vallen ook in dit scenario slachtoffers en gewonden en is er ernstige sociaal maatschappelijk impact (angst, woede, protest, hamsteren, etc).

Bij vergelijking met de risico's van de zes technologieën/thema's die in deze analyse zijn beschouwd, vallen enkele zaken op. Ten eerste komt de geschetste impact qua type veiligheidsbelangen overeen. Het gaat vooral over het mogelijk optreden van doden en gewonden (fysieke veiligheid), financiële schade (economische veiligheid) en om factoren als angst en woede (sociaal-maatschappelijke impact). In geval van verstoring of uitval van de energievoorziening worden bovendien gebrek aan de primaire levensbehoeften (fysieke veiligheid) aangetast en is er een verstoring van het dagelijks leven (sociaal-politieke stabiliteit). Ten tweede geldt dat de mate van impact van de drie scenario's uit het NVP groter is dan uit de analyses van de zes thema's naar voren is gekomen. Dat geldt voor alle soorten impact en vooral voor het aantal slachtoffers.

Op basis van de inzichten uit de drie scenario's van het NVP en de resultaten van de analyses van de zes technologieën komen de volgende constatering naar voren:

- Het aantal slachtoffers (zowel doden als gewonden/zieken) in de scenario's uit het NVP zijn significant groter dan de genoemde aantallen rondom de mogelijke gebeurtenissen met **waterstof, biomassa en CO₂**. Bij deze gebeurtenissen gaat het om mogelijk enkele slachtoffers. De risico's met betrekking tot waterstof, biomassa en CO₂ zijn qua concept vergelijkbaar zijn, maar qua impact wel lager dan die van het scenario 'chemisch ongeval'. In het risicodiagram zouden deze gebeurtenissen daarom lager liggen dan het scenario 'chemisch ongeval', namelijk in het vak 'beperkt'.
- In de analyses rondom **windenergie** (windparken op zee) en (grootschalige) **elektrificatie** komen de risico's van verstoring van de elektriciteitsvoorziening naar voren, met als uiterste variant een Black out. In de twee

scenario's uit het NVP is de mogelijke impact hiervan geschetst. De mate van impact hangt vooral af van de duur van de verstoring. De geschetste impact kan ook optreden bij grootschalig gebruik van windenergie en elektrificatie. Dit kan de nationale veiligheid dus ernstig tot zeer ernstig raken. Daarbij is het lastig om de waarschijnlijkheid van optreden te duiden. Door verdere elektrificatie en daarbij toenemende afhankelijkheid is de verwachting dat de waarschijnlijkheid van optreden eerder iets zal toenemen dan afnemen. Uitgaande van de inschatting 'onwaarschijnlijk' tot 'waarschijnlijk' voor de twee NVP-scenario's, lijkt een inschatting voor de risico's van de energietransitie van 'enigszins waarschijnlijk' tot 'waarschijnlijk' te verdedigen. In dit geval zou het risico in hetzelfde gebied van de twee beschouwde scenario's in het risicodiagram liggen.

- Bij **geothermie** zijn de gevolgen van gebeurtenissen vooral gekoppeld aan mogelijke economische schade en sociaal-maatschappelijke onrust. Daarnaast moet er wel een boorinstallatie worden geplaatst, wat in de nabijheid gevolgen geeft. De eventuele seismische gevolgen van geothermie zijn erg afhankelijk van de gehanteerde methode en locatie. Dit betekent dat het inschatten van de bijbehorende risico's veelal maatwerk is. Daarom is binnen dit onderzoek de keus gemaakt om geen vergelijking te maken met de risico's van aardbevingen in Groningen en Limburg (zie ook 9.3).
- In het NVP ligt de focus op de risico's die de Nederlandse samenleving als geheel kunnen treffen (op nationaal niveau). Binnen de energietransitie zijn er ook ontwikkelingen die juist het accent hebben op lokale en regionale toepassing. Zonne-energie (daken, zonneparken), een waterstoftankstation of het gebruik voor buurtbatterijen zijn hier voorbeelden van. De mogelijke impact bij een gebeurtenis is hierbij voornamelijk lokaal of regionaal van aard. Dergelijke gebeurtenissen zijn meer geschikt om te worden bekeken en vergeleken aan de hand van de risicobenadering van de veiligheidsregio's (regionale risicoprofielen).

9.3 Vergelijking van de risico's op basis van bestaande rekenmethoden

Voor een verdere vergelijking van de veiligheidsrisico's van de beschouwde thema's is voor enkele hiervan een vergelijking gemaakt op basis van bestaande rekenmethodieken die worden gebruikt om risico's te kwantificeren (via een kwantitatieve risicoanalyse). Dit gebeurt bij bedrijven met gevaarlijke stoffen in het kader van vergunningverlening. In de bijlage is dit nader uitgewerkt. Hieronder worden de resultaten kort genoemd.

- **Waterstof**

Voor de vergelijking van waterstof als energiedrager is zowel gekeken naar de risico's van een LPG-tankstation als naar de risico's van aardgasleidingen. Waterstof wordt namelijk toegepast in het transport, waartoe waterstoftankstations worden ontwikkeld, maar er wordt ook gekeken naar de mogelijkheden om waterstof toe te passen gebruikmakend van het bestaande aardgasnetwerk. Op basis van de korte vergelijking is de constatering dat de risico's van waterstof op hoofdlijnen gelijkwaardig zijn met die van LPG of aardgas. In de uitwerking zijn er wel relevante verschillen en ook in de rekenmethodieken komen er aandachtspunten zoals het verschil in gehanteerde faalkans naar voren.

- **Koolstofdioxide (CO₂)**

Voor koolstofdioxide zijn enkele risicoanalyses beschouwd die zijn opgesteld voor specifieke situaties. Daardoor is het lastig om de resultaten te vergelijken met andere risicoanalyses met andere stoffen. Wat naar voren komt is dat de berekeningen conform de vigerende rekenmethodieken rondom buisleidingen en inrichtingen zijn uitgevoerd en de uitkomsten niet tot afwijkende beelden leiden van die van risicoanalyses met andere stoffen.

- **Biomassa**

Qua risicoanalyse is ingegaan op de risico's van biogasinstallaties. Hiervoor zijn rekenmethoden ontwikkeld, waarbij de resultaten vergelijkbaar zijn met risico's van andere gassen. Net als voor andere installaties van een bepaalde omvang, geldt voor grootschalige productie-installaties voor biogas, dat de risico's in het kader van vergunningverlening berekend dienen te worden.

- **Geothermie**

In een recente studie heeft TNO gekeken naar de mogelijke seismische risico's van geothermie (TNO, 2019). De kans van optreden van seismiteit wordt als zeer gering ingeschat. Dit is overigens wel afhankelijk van de locatie. Qua effecten wordt in de genoemde studie een vergelijking gemaakt met de mogelijke effecten die eventueel kunnen optreden bij een beving in Groningen. Hierbij is de constatering dat de effecten van geothermie significant minder zijn.

Uit deze beperkte vergelijking volgt dat de risico's van de beschouwde thema's gelijkwaardig of lager zijn dan van bestaande risico's. Dit is in lijn met de eerdere constatering in dit rapport.

9.4 Conclusie

In dit hoofdstuk zijn de risico's van de zes technologieën onderling vergeleken, is een vergelijking met drie scenario's uit het NVP gemaakt en is een korte vergelijking op basis van bestaande rekenmethodieken gedaan. In deze paragraaf beschrijven we enkele algemene conclusies.

In het algemeen kan worden geconcludeerd dat de risico's van de zes technologieën vergelijkbaar zijn met huidige (industriële) activiteiten. Dit geldt met name voor de risico's waarbij stoffen kunnen vrijkomen (waterstof, biomassa, CO₂). Als voorbeeld noemen we de risico's van een waterstoftankstation die (qua hoofdlijnen) kunnen worden vergeleken met die van een LPG-tankstation. In de uitwerking van nieuwe technologieën binnen de energietransitie is het wel nodig om goed invulling te geven aan bestaande veiligheidseisen.

Een deel van de risico's is lokaal/regionaal van aard, waardoor de vergelijking met andere risico's op regionaal niveau zinvol kan zijn. Hiervoor zouden de regionale risicoprofielen van de veiligheidsregio's een goede basis kunnen vormen.

Wanneer grootschalige energieverstoring plaatsvindt, kan wel de nationale veiligheid worden geraakt. Een belangrijke vraag is of een verstoring snel hersteld kan worden of langere tijd zal duren. Voor de energietransitie is een bijkomende vraag hoe de effecten van een elektriciteitsuitval kan worden beperkt in een situatie waar we steeds afhankelijker zijn van deze elektriciteit.

Tot slot is in de analyse bij de verschillende technologieën de maatschappelijke acceptatie ervan als belangrijke factor genoemd. Wanneer incidenten of verstoringen plaatsvinden, kan dat het draagvlak voor de betrokken technologie aantasten. Dat pleit voor een hoog niveau van veiligheid in het ontwerp en de exploitatie van de technologieën. Dit is echter geen garantie dat er acceptatie onder de bevolking zal zijn voor het introduceren van een bepaalde technologie. Dan gaat het ook over onderwerpen als inspraak, betrokkenheid en rechtvaardigheid. De maatschappelijke acceptatie van nieuwe technieken is belangrijk voor een geslaagde energietransitie.⁸ Kanttekening hierbij is dat er risico's zullen blijven bestaan bij het toepassen van nieuwe technologieën. Dat geldt echter ook in de huidige situatie: er zijn risico's verbonden aan de gebruikte technologieën (RIVM, 2019).

⁸ Op dit terrein is al veel onderzoek beschikbaar (zie o.a. Michel van Eeten et al., 2012) wat gebruikt kan worden.

10. Beschouwing

De Nederlandse samenleving staat voor een grote opgave: een substantiële reductie van de CO₂ uitstoot. Om deze opgave te verwezenlijken, zal er een energietransitie plaats moeten vinden. Dit behelst (onder andere) het introduceren van relatief nieuwe technieken of het opschalen van al bestaande methoden waarmee energie wordt opgewekt en opgeslagen. Deze verkenning heeft voor zes thema's – dan wel activiteiten verbonden aan de energietransitie – bekeken wat de risico's zijn voor de nationale veiligheid. Voor elk van de thema's is ingezoomd op zowel de waarschijnlijkheid van voorkomen als de effecten van enkele specifieke gebeurtenissen: onder andere het vrijkomen van CO₂ uit een opslagput, een brand bij de opslag van biomassa en een explosie bij de productie van waterstof.

Wanneer we de geanalyseerde thema's en gebeurtenissen individueel beschouwen, zijn deze qua effecten en waarschijnlijkheid vergelijkbaar met die van huidige (industriële) activiteiten. Het is daarentegen ook mogelijk om uit te zoomen en de energietransitie meer als geheel te beschouwen. Vanuit een dergelijk perspectief gezien, gaan we over van ons huidige systeem van energievoorziening (en alles wat daarbij komt kijken) naar een nieuwe wijze van inrichting. Een nieuw systeem zal net als de huidige inrichting zowel sterke als zwakke punten kennen, zowel kansen als uitdagingen.

Enkele van deze uitdagingen zijn in hoofdstuk acht al aan bod gekomen: Hoe zit het met de benodigde kennis en toezicht om de transitie veilig te laten verlopen op lokaal niveau? Hoe gaan we om met de periode waarin

zowel de huidige risico's als die van nieuw geïntroduceerde of opgeschaalde technieken naast elkaar zullen bestaan? Andere uitdagingen zijn tot nu toe slechts terzijde genoemd, maar zijn evenwel belangrijk voor een succesvolle energietransitie. Een voorbeeld hiervan is het feit dat alle onderdelen van het nieuw op te zetten systeem goed met elkaar moeten worden geïntegreerd. Als de raderen van de machine niet goed op elkaar inhaken, kan de Nederlandse energievoorziening in het geding komen. Een dergelijke gebeurtenis is opgenomen in het scenario gebrekkige integratie binnen het thema waterstof (zie paragraaf 4.4.), maar is breder van toepassing op de transitie als geheel. In het kader van de energietransitie zal systeemintegratie alleen maar belangrijker worden, zoals ook beschreven is in het Ontwerp van het Klimaatakkoord (Klimaatberaad, 2019).

Er zijn hiernaast ook overkoepelende uitdagingen die in principe buiten de afbakening van deze verkenning vallen, maar wel relevant zijn. Zo laten de vier toekomstbeelden van het SodM al zien dat er ook in het geval van de energietransitie meerdere wegen naar Rome leiden. Een grote opgave is dan ook het op één lijn krijgen van de vele nationale, regionale en lokale partijen die betrokken zijn bij de transitie. Het gaat dan niet alleen over de vraag op welke technieken moet worden ingezet, maar ook over waar de aansturing van de transitie komt te liggen en waar de verantwoordelijkheid. Dit zijn vraagstukken die zich afspelen in een context waar het maatschappelijk draagvlak voor de implementatie van nieuwe technieken niet altijd even hoog is.

Referenties

- Analistennetwerk Nationale Veiligheid (ANV). (2016). Nationaal Veiligheidsprofiel 2016. Verkregen via: https://www.nctv.nl/binaries/Nationaal%20Veiligheidsprofiel%202016_tcm31-232083.pdf.
- Arup (2016), Earthquake Scenario Based Risk Assessment, Arup Project Title: Groningen Earthquakes – Structural Upgrading, 229746_032.o_REP10052, December 2016.
- DNV GL (2017). *Verkenning waterstofinfrastructuur*, OGNL.151886, Rev. 2, November 2017.
- Klimaatberaad. (2018). Ontwerp van het Klimaatakkoord (website), 21 december 2018. Verkregen via: <https://www.klimaatakkoord.nl/>.
- Infomil. (2019). *Handreiking covergisten van mest*. Verkregen via: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/mest/handreiking/>
- Instituut Fysieke Veiligheid (2018). *Waterstof als brandstof voor voertuigen: aandachtspunten voor incidentbestrijding*, IFV, 2018.
- Michel van Eeten, Liesbeth Noordeggraaf-Eelens, Jony Ferket, Marjolijn Februari, *Waarom burgers risico's accepteren en waarom bestuurders dat niet zien*, Ministerie BZK, V1.1, 29 juni 2012
- RLI (2019). De som der delen. Verkenning samenvallende opgaven in de regio. Raad voor de leefomgeving en infrastructuur, maart 2019.
- RIVM. (2008). Effect- en risicoafstanden bij de opslag van biogas Centrum Externe Veiligheid 3 maart 2008.
- RIVM (2010), Veiligheid grootschalige productie van biogas, Rapport 620201001, 2010.
- RIVM. (2016). Memo Risico- en effectafstanden waterstoftankstations, 20160149 VLH HAS/Sta/sij, 3 oktober 2016.
- RIVM (2019). *Klimaatakkoord: effecten op veiligheid, gezondheid en natuur*, RIVM rapport 2019-0076, juni 2019.
- Staatstoezicht op de Mijnen (SodM). (2018.) *Toekomstbeelden van de energietransitie*. Verkregen via: <https://www.sodm.nl/documenten/rapporten/2019/01/7/toekomstbeelden-energietransitie>.
- Staatstoezicht op de Mijnen (SodM). (2017.). Staat van de sector Geothermie. 12 juli 2017.
- Tebodin. (2008). Veiligheidsanalyse Ondergrondse Opslag van CO₂ in Barendrecht, 3800784, oktober 2008.
- Tebodin (2011), QRA CO₂ transport ROAD, 3413184, 29 november 2011.
- TNO (2013), Consequenties voor QRA-tunnels van het vervoer van nieuwe stoffen, TNO 2013 R10511 25 april 2013.
- TNO (2019) Risico's van eventuele seismiteit bij geothermie, concept 5 april 2019.
- United Nations Forum on climate Change (UNFCCC). (2015). Paris Agreement. Verkregen via: <https://unfccc.int/process/conferences/pastconferences/paris-climate-change-conference-november-2015/paris-agreement>.

Bijlage 1. Overzicht deelnemende organisaties

Deze bijlage bevat een overzicht van de organisaties die hebben meegewerkt aan de sessies die zijn gehouden in november 2018 en februari 2019. De sessies zijn allen begeleid door Hans Stavleu (Curiozy).

Deelnemende organisaties sessie november 2018

| | | |
|--------------------------------|---|-------------------------------------|
| Brandweer Amsterdam-Amstelland | NEN | Veiligheidsregio Groningen |
| Deltares | RIVM | Veiligheidsregio Haaglanden |
| DNVGL | Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur | Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond |
| Instituut Fysieke Veiligheid | Staatstoezicht op de Mijnen | Veiligheidsregio Utrecht |
| Ministerie van EZK | Tennet | |
| Ministerie van IenW | TNO | |

| 4 februari 2019 | 5 februari 2019 | 6 februari 2019 | 7 februari 2019 |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| D-Cision | ACM | Agentschap Telecom | ACM |
| Energiebeheer Nederland | ECN part of TNO | D-Cision | Agentschap Telecom |
| Ministerie van EZK | Inspectie Leefomgeving en Transport | ECN part of TNO | DAGO |
| Ministerie van IenW | Ministerie van EZK | Enexis | D-Cision |
| NAM B.V. | Ministerie van IenW | Ministerie van EZK | EBN |
| NEN | NEN | NAM B.V. | ECN part of TNO |
| Nogepa | N.V. Nederlandse Gasunie | RIVM | HVC |
| N.V. Nederlandse Gasunie | NAM | Staatstoezicht op de Mijnen | IFV |
| Staatstoezicht op de Mijnen | Netbeheer Nederland | TNO | Ministerie van EZK |
| TNO | TNO | Veiligheidsregio Rotterdam Rijnmond | NAM |
| Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond | Veiligheidsregio Groningen | | NEN |
| | Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond | | NOGEPA |

Bijlage 2: Kwantitatieve benadering van fysieke risico's

In de hoofdstukken vier tot en met zeven zijn hoofzakelijk de resultaten opgenomen van de verschillende door het ANV georganiseerde workshops. Dit is een op experts gebaseerde inschatting van de mogelijke risico's. Als aanvulling heeft het ANV voor enkele thema's gekeken naar een kwantitatieve inschatting van deze risico's. We baseren ons hierbij op de rekenmethodieken en kwantitatieve risicoanalyses (QRA's) die worden gebruikt in de omgevingsveiligheid. Dit veelal in het kader van vergunningverlening. Deze methodieken richten zich alleen op de mogelijke fysieke risico's van een bepaalde activiteit, dat wil zeggen het aantal berekende dodelijke slachtoffers.

In Nederland wordt hierbij uitgegaan van een probabilistische benadering, waarbij het risico wordt berekend via een combinatie van frequentie en effecten (kans x effect). Hierbij is vooral het plaatsgebonden risico⁹ van belang.

In deze bijlage worden enkele van de beschouwde technologieën vergeleken met bestaande technologieën. Bijvoorbeeld een tankstation waar waterstof beschikbaar is met een tankstation waar LPG wordt verkocht. Dit aan de hand van de omgevingsveiligheid methodiek waar de focus ligt op de fysieke risico's. De vergelijking is beperkt tot enkele beschikbare bronnen en daarmee vooral indicatief.

A. Waterstof

Voor de vergelijking van waterstof als energiedrager is zowel gekeken naar de risico's van een LPG-tankstation als naar de risico's van aardgasleidingen. Waterstof wordt namelijk toegepast in het transport, waartoe waterstoftankstations worden ontwikkeld, maar er wordt ook gekeken naar de mogelijkheden om waterstof toe te passen gebruikmakend van het bestaande aardgasnetwerk.

LPG-tankstation en Waterstoftankstation

In de wet- en regelgeving (Regeling externe veiligheid inrichtingen)¹⁰ zijn er voor LPG-tankstations vaste afstanden vastgelegd waarbinnen geen kwetsbare objecten zoals woningen aanwezig mogen zijn. Dit is bepaald op de grenswaarde van 10^{-6} per jaar (het plaatsgebonden risico). Deze risicoafstanden zijn afhankelijk van het type LPG-tankstation en variëren tussen 15 en 40 meter. Daarnaast geldt er een afstand van 150 meter als grens van het invloedsgebied waarmee rekening moet worden gehouden qua bevolkingsdichtheid. Dit is relevant voor het groepsrisico. Op basis van de beschikbare rekenmethodiek Waterstoftankstations (RIVM, 2016) is de constatering dat de afstanden dezelfde ordegrootte hebben als die van LPG-tankstations. De risicoafstanden (gerelateerd aan de norm PR 10^{-6}) liggen op enkele tientallen meters (tot 35 meter). Dat komt dus overeen met de afstanden van de PR 10^{-6} voor de LPG-tankstations. In de Omgevingswet zijn vaste afstanden opgenomen voor waterstoftankstations van enkele tientallen meters.

Als naar de effecten wordt gekeken van mogelijke ongevalsscenario's bij waterstoftankstations, dan komen die bij gasvormig waterstof op een afstand van enkele tientallen meters. De grootste effectafstanden kunnen plaatsvinden bij ongevallen met vloeibaar waterstof in een tankauto. Hier worden effectafstanden van enkele honderden meters voorzien, waarbij de kans van optreden zeer gering is. Vanwege de zeer geringe kans op deze worstcase scenario's (namelijk het instantaan falen van een tankwagen) beïnvloeden deze scenario's nauwelijks de risicoafstanden van de PR 10^{-6} .

Waterstof in het aardgasnetwerk

Voor de vergelijking van de risico's van waterstof in het aardgasnetwerk met de bestaande risico's van aardgas is gebruik gemaakt van de resultaten van een verkenning van DNV GL (DNV GL, 2017).

⁹ De kans dat iemand komt te overlijden door een ongeluk (met een chemische stof) als diegene zich in theorie één jaar onafgebroken en onbeschermd op de locatie bevindt.

¹⁰ Verkrijgbaar op wetten.overheid.nl.

Op hoofdlijnen lijken aardgas en waterstof op elkaar, terwijl er wel verschillen zijn. Eén daarvan is dat waterstof sneller kan ontsteken dan aardgas. Vanuit de resultaten van de risicoberekeningen valt af te leiden dat de risico's gelijkwaardig zijn. Wel zijn er aandachtspunten qua invulling van de verschillende variabelen in de rekenmethodieken. In de huidige systematiek¹¹ geldt namelijk dat de faalkansen voor aardgasleidingen lager zijn dan de faalkansen van leidingen waar andere stoffen zoals waterstof door vervoerd worden. Hierdoor kunnen de rekenresultaten (de berekende risico's) wel significant van elkaar afwijken.

Beschouwing

Op basis van de korte vergelijking van waterstof met LPG-tankstations en aardgasleidingen is de constatering dat de risico's gelijkwaardig zijn. In de uitwerking zijn er wel relevante verschillen en ook in de rekenmethodieken komen er aandachtspunten zoals het verschil in gehanteerde faalkans naar voren.

B. Koolstofdioxide (CO₂)

Afgelopen jaren zijn er enkele kwantitatieve risicoanalyse (QRA) uitgevoerd om de mogelijke risico's van CO₂-opslag en CO₂-transport voor specifieke situaties te berekenen (Tebodin, 2008; Tebodin, 2011). Een belangrijk aspect hiervan is dat voor het berekenen van de mogelijke effecten van een stof de kenmerken voor letaliteit bekend moeten zijn. Dit gebeurt via de zogenaamde Probit-relatie. Voor CO₂ is er geen Probit-relatie vastgelegd. In de berekening wordt daarom van conservatieve aannames uitgegaan, zodat de resultaten niet leiden tot onderschatting van de risico's.

Uit de risicoanalyses blijkt dat het berekende risico (plaatsgebonden risico) niet leidt tot knelpunten. Op één plek wordt de oriëntatiewaarde van het groepsrisico overschreden; dat is afhankelijk van de populatie op een specifieke locatie. De maximale effectafstanden (worstcase) komen tot ruim een kilometer.

Omdat de beschouwde risicoanalyses zijn uitgevoerd voor specifieke situaties is het lastig om de resultaten te vergelijken met andere risicoanalyses met andere stoffen. Wat geldt is dat de berekeningen conform de vigerende rekenmethodieken rondom leidingen en inrichtingen zijn uitgevoerd. Dit houdt in dat dezelfde soort scenario's, faalkansen en rekenprogramma (SAFETI-NL) worden gehanteerd. Daarnaast geldt dat de eigenschappen van CO₂ conservatief zijn benaderd.

C. Biogas

De mogelijke fysieke risico's gerelateerd aan biomassa zijn voornamelijk gekoppeld aan risico's van biogas. De risico's van biogasinstallaties zijn afhankelijk van de grootte van de installaties/opslagen en van de samenstelling van het gas (RIVM, 2008; RIVM, 2010).

Vanwege hun omvang geldt dat sommige installaties onder de regelgeving van het Besluit risico zware ongevallen (Brzo) vallen en daarmee ook vallen onder het Besluit externe veiligheid inrichtingen (Bevi). In dat kader dienen er risico's bepaald te worden. Op basis van generieke aannames is een risicoafstand van maximaal 50 meter (PR 10⁻⁶) bepaald (RIVM, 2010). Bij installaties met grote opslagen (>5000 m³) zijn er grotere risicoafstanden (70 tot 120 meter) te verwachten (RIVM, 2008). Effecten (0,1 bar overdruk) van een mogelijke explosie reiken van tientallen meters tot meer dan 200 meter (RIVM, 2008).

Net als voor andere installaties die onder het regime van Brzo en Bevi vallen, geldt voor grootschalige productie-installaties voor biogas, dat de risico's dusdanig zijn, dat er rekening mee moet worden gehouden. Dat is ook de reden dat er vanuit de overheid een handreiking is opgesteld (Infomil).

D. Geothermie

In een recente studie heeft TNO gekeken naar de mogelijke seismische risico's van geothermie (TNO, 2019). Uit deze analyse volgt dat de kans van optreden van seismiteit (met een magnitude > 3,5) als 'waarschijnlijk zeer gering' wordt ingeschat. Dit is wel afhankelijk van de locatie; in een van nature seismisch actief gebied (met name de Roerdalslenk in het zuidoosten van Nederland) is de kans op het optreden van seismiteit door geothermische operaties groter dan in de rest van Nederland. Qua effecten wordt in de genoemde studie een vergelijking gemaakt met de mogelijke effecten die eventueel kunnen optreden bij een beving in Groningen. Hierbij is de constatering dat de effecten van geothermie significant minder zijn.

¹¹ Zie verder: <https://www.rivm.nl/omgevingsveiligheid/buisleidingen/hogedruk-aardgasleidingen>

Analistennetwerk Nationale Veiligheid

Dit is een uitgave van:

Het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM)
Wetenschappelijk Onderzoek- en Documentatiecentrum (WODC)
Algemene Inlichtingen- en Veiligheidsdienst (AIVD)
Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuur-wetenschappelijk onderzoek (TNO)
Stichting Nederlands Instituut voor Internationale Betrekkingen 'Clingendael'
Erasmus Universiteit Rotterdam, Institute of Social Studies (ISS)

Juni 2019