

# De doorwerking van de energietransitie op omgevingsveiligheid





Nederlands Instituut Publieke Veiligheid  
Postbus 7010  
6801 HA Arnhem  
Kemperbergerweg 783, Arnhem  
[www.nipv.nl](http://www.nipv.nl)  
[info@nipv.nl](mailto:info@nipv.nl)  
026 355 24 00

## **Colofon**

© Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV), 2022

Auteurs: M.G. Duyvis, M.L. Leene en M.B. Spoelstra

Contactpersoon: M.B. Spoelstra

Datum: 29 april 2022

Wij hechten veel belang aan kennisdeling. Delen uit deze publicatie mogen dan ook worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding.

Het Nederlands Instituut Publieke Veiligheid is bij wet vastgelegd onder de naam Instituut Fysieke Veiligheid.

# Voorwoord

Dat de energietransitie zich met ongekeerde snelheid doorzet, is niets nieuws. Dit is immers al jaren het geval vanwege de noodzaak om de opwarming van de aarde te beperken en ons klimaat te beschermen. Recent, en als extra versneller, is daar de oorlog in Oekraïne bijgekomen: Nederland wil daarom nog dit jaar af van Russisch gas. Het logische gevolg daarvan is, dat er extra overheidssubsidies zijn voor en investeringen worden gedaan in hernieuwbare energieprojecten. Extra windvelden worden aangelegd in zee, grote hoeveelheden LNG worden geïmporteerd en er wordt fors geïnvesteerd in waterstofinfrastructuur. Dergelijke initiatieven hebben per definitie gevolgen voor de veiligheid van de omgeving.

Gevaarlijke stoffen vormen een belangrijk aspect van de energietransitie vormen. Waterstof, LNG, ammoniak, methanol, CNG en ook de energieopslag in batterijen gaan gepaard met vraagstukken zoals we die traditioneel ook kennen in ons beleid op het gebied van gevaarlijke stoffen. Dat beleid is erop gericht om de veiligheid van derden (de omgevingsveiligheid) te garanderen door het risico op overlijden te beperken (individueel risico) en door voldoende bescherming te geven aan personen in de omgeving van activiteiten met gevaarlijke stoffen (aandachtsgebieden).

Hoewel gevaarlijke stoffen onlosmakelijk verbonden zijn met de energietransitie, ontbreken voor de nieuwe ontwikkelingen echter tegelijkertijd de veiligheidskaders zoals we die kennen voor het traditionele beleid omtrent gevaarlijke stoffen in Nederland. Denk bijvoorbeeld aan de stofcategorisering met betrekking tot het vervoer van gevaarlijke stoffen of de verpakkingseisen van energieopslag. Ondanks het ontbreken van dergelijke kaders, zal er wel degelijk aandacht besteed moeten worden aan de veiligheid van personen in de omgeving van energietransitieprojecten.

Dit document biedt hiertoe een mooi hulpmiddel, allereerst omdat het de grote energietrends in Nederland presenteert in de vier belangrijkste domeinen, te weten: gebouwde omgeving, industrie, mobiliteit en landbouw. Maar nog belangrijker is, dat dit document een goed handvat biedt voor de veiligheid, omdat de doorwerking van de trends op de omgevingsveiligheid erin is uitgewerkt, waarbij de trends zijn ingedeeld naar de onderwerpen elektriciteit, warmte en gassen. Het heeft behoorlijk wat denkwerk en gepuzzel gekost om te komen tot deze structuur. We willen de leden van de klankbordgroep dank zeggen voor hun constructieve bijdrage gedurende het onderzoeks-, schrijf- en structureringsproces.

Nils Rosmuller  
Lector Energie- en transportveiligheid

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
	<b>Afkortingen</b>	<b>9</b>
	<b>Inleiding</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	<b>Energie in 2020</b>	<b>14</b>
1.1	Inleiding	14
1.2	Energiesectoren	14
1.3	Energieketen	15
1.4	Energiecijfers 2020	16
1.5	Toepassing van energievormen per sector 2020	17
<b>2</b>	<b>Veranderingen tot en met 2030</b>	<b>21</b>
2.1	Inleiding	21
2.2	Veranderingen als gevolg van de energietransitie	21
2.3	Gebouwde omgeving	23
2.4	Industrie	25
2.5	Mobiliteit	28
2.6	Landbouw	29
2.7	Sectoroverstijgende ontwikkelingen	29
<b>3</b>	<b>Doorwerking van de energietransitie op omgevingsveiligheid</b>	<b>32</b>
3.1	Inleiding	32
3.2	Doorwerking elektriciteit	33
3.3	Doorwerking warmte	36
3.4	Doorwerking gassen	38
3.5	Sectoroverstijgende doorwerking	41
3.6	Doorwerking op bestuurlijk vlak	44
<b>4</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>46</b>
4.1	Conclusies	46
4.2	Beschouwing	47
4.3	Aanbevelingen	47
	<b>Bronnen</b>	<b>49</b>
	<b>Bijlage 1: Begeleidingscommissie</b>	<b>52</b>
	<b>Bijlage 2: Overzicht geïnterviewde experts</b>	<b>53</b>
	<b>Bijlage 3: Expert judgement</b>	<b>54</b>

# Samenvatting

De energietransitie is de overgang van het gebruik van fossiele energie naar hernieuwbare energie. Dit proces is nodig om de uitstoot van CO<sub>2</sub> te verminderen en te voorkomen, wat nodig is om aan de doelen van het Klimaatakkoord te kunnen voldoen. Dit rapport beschrijft de resultaten van een verkenning van de (te verwachten) ontwikkelingen op het gebied van de energietransitie tot het jaar 2030, en op welke manier deze ontwikkelingen doorwerken op omgevingsveiligheid in Nederland. De focus ligt op de productie, de opslag, het transport en het gebruik van elektriciteit, warmte en gasen in diverse sectoren in Nederland, en in de mogelijke gevolgen van die ontwikkelingen voor omgevingsveiligheid. De verwachte ontwikkelingen zijn in kaart gebracht met behulp van rapporten van kennisinstututen, adviesbureaus en bedrijven. De doorwerking van de ontwikkelingen op omgevingsveiligheid is bepaald aan de hand van interviews met experts, van expert judgement en van expertise van het NIPV. Op basis van de doelen van het onderzoek zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

- > Welke vormen van energie worden momenteel gebruikt in Nederland?
- > Welke ontwikkelingen in de energietransitie zijn tot en met 2030 in Nederland te verwachten?
- > Op welke manier werken deze ontwikkelingen door op de omgevingsveiligheid?

## **Welke vormen van energie worden momenteel toegepast in Nederland?**

Hoewel fossiele brandstoffen nog steeds overal in de energieketen worden toegepast, is de energietransitie breed en divers. Er worden volop alternatieve vormen van energie gebruikt en nieuwe technieken ontwikkeld. Sommige ontwikkelingen bevinden zich nog in een experimentele of pioniersfase, terwijl andere al een zekere mate van volwassenheid bereikt hebben.

## **Welke ontwikkelingen in de energietransitie zijn tot en met 2030 in Nederland te verwachten?**

De energietransitie zet tot 2030 (en daarna) stevig door en alternatieve vormen van energie en de bijbehorende technieken zullen een steeds groter aandeel krijgen in de energievoorziening. De snelheid en mate van de ontwikkelingen zijn echter niet altijd te voorspellen, bijvoorbeeld door geopolitieke factoren. Wel is duidelijk dat de komende jaren energieketens van fossiele brandstoffen naast energieketens van alternatieve energievormen zullen bestaan.

Dit rapport onderscheidt vier sectoren en de ontwikkelingen in deze sectoren zijn als volgt: In de sector Gebouwde omgeving neemt het gebruik van aardgas af en hebben ontwikkelingen betrekking op het beter benutten van warmte en op het lokaal opslaan van warmte uit alternatieve warmtebronnen. Hiervoor is op lokaal niveau opschaling van opslag en (mogelijk) van transport nodig. In de gebouwde omgeving nemen het transport en gebruik van elektriciteit toe en zijn productie en opslag van elektriciteit nieuwe ontwikkelingen. Het gebruik van waterstof voor het opslaan en leveren van elektriciteit en voor het verwarmen van woningen zit nog in de pioniersfase en zal tot 2030 nog geen rol van betekenis spelen in de gebouwde omgeving.

De sector Industrie is een grootgebruiker van warmte, elektriciteit en gassen. In vijf industriële clusters in Nederland zijn er grote en snelle ontwikkelingen op het gebied van de energietransitie. Er wordt meer elektriciteit geproduceerd en steeds vaker duurzaam. De hogere productie gaat gepaard met meer transport en gebruik van elektriciteit. De productie van elektriciteit in waterstofcentrales is hierin een nieuwe ontwikkeling. Waar nodig vindt opslag van elektriciteit plaats met behulp van waterstof of batterijen. Het warmtegebruik in de sector Industrie blijft gelijk en daarmee ook de warmteproductie. Wel wordt er efficiënter met warmte omgegaan en worden bestaande installaties aangepast om warmte duurzamer te produceren. Hiervoor kan bijvoorbeeld gebruikgemaakt worden van waterstof in plaats van aardgas. Waterstof gaat zodoende een steeds grotere rol spelen in de sector Industrie, wat zich vertaalt naar ontwikkelingen op het gebied van productie, opslag en transport van waterstof(dragers). Tegelijkertijd moet de sector Industrie CO<sub>2</sub> afvangen en opslaan.

Het beperken van de uitstoot van CO<sub>2</sub> in de sector Mobiliteit leidt vooral tot ontwikkelingen op het gebied van het gebruik van elektriciteit en gassen. De accu's van elektrische voertuigen gaan in de toekomst ook gebruikt worden als bufferopslag van elektriciteit. Warmte en de opslag van gassen spelen geen rol in deze sector.

Voor de sector Landbouw bestaan diverse veelbelovende ontwikkelingen en mogelijkheden, maar er worden weinig concrete verwachtingen gegeven. Initiatieven zijn vaak bedoeld voor eigen gebruik.

Naast de ontwikkelingen in de vier sectoren, zijn er ook ontwikkelingen die de sectoren overstijgen:

- > Energiesystemen op het gebied van warmte, elektriciteit en gassen worden fysiek en digitaal aan elkaar gekoppeld.
- > Ontwikkelingen op het gebied van de energietransitie zijn geclusterd bij de industrie en bij transportassen, maar zijn daarnaast ook verspreid in de gebouwde omgeving (decentralisatie).
- > Nieuwe toepassingen moeten worden opgezet, uitgewerkt en beproefd en bevinden zich daardoor de komende jaren in verschillende stadia van technische en praktische gereedheid.
- > De overgang van fossiele brandstoffen naar duurzamere alternatieven is een proces dat jaren in beslag neemt. Hierdoor bestaan 'oude' en nieuwe systemen naast elkaar en/of worden aan elkaar gekoppeld.
- > Voor het aanleggen en het verzwaren van warmte- en elektriciteitsnetten moet de grond opengebroken worden en is ruimte nodig om die werkzaamheden te kunnen uitvoeren.
- > Het is mogelijk dat vraag en aanbod van energie door diverse omstandigheden niet in evenwicht zijn. Waterstof en energieopslagsystemen kunnen de nodige flexibiliteit bieden.
- > Er is momenteel een groot gebrek aan technisch personeel, wat ook de energietransitie treft.

### **Op welke manier werken deze ontwikkelingen door op omgevingsveiligheid?**

De ontwikkelingen op het gebied van warmte zullen naar verwachting in de komende tien jaar niet noemenswaardig doorwerken op omgevingsveiligheid, met uitzondering van geothermie. Dat is wel het geval voor elektriciteit en gassen (met name waterstof en

aardgas). De doorwerkingen in termen van veranderingen van kansen, effecten en risico's van incidenten die plaats kunnen vinden als gevolg van de ontwikkelingen in het kader van de energietransitie, kunnen als volgt worden samengevat:

- > De aard van de effecten van incidenten met elektriciteit en waterstof zijn bekend.
- > De kansen op incidenten zijn niet altijd bekend.
- > Vergroting van de schaalgrootte en/of het vermogen van elektrische installaties en toepassingen leidt ter plaatse tot grotere effecten en grotere risico's, in alle sectoren.
- > Nieuwe en/of grootschaliger activiteiten op het gebied van waterstof leiden tot een toename van de risico's ter plaatse. Dit speelt met name in de industrie; in de gebouwde omgeving zullen tot 2030 slechts beperkt activiteiten met waterstof plaatsvinden.
- > In de industrie zijn de locaties waar ontwikkelingen plaatsvinden en zich risico's bevinden bekend en gecentreerd (op industriële locaties en langs transportroutes); dit is anders dan in de gebouwde omgeving waar de locaties onbekend zijn en verspreid zijn.

### Conclusies

- > *Elektriciteit*: De Nederlandse samenleving 'elektrificeert' de komende jaren steeds verder. Dit geldt voor alle sectoren: Industrie, Gebouwde omgeving, Mobiliteit en Landbouw. Die toename van het gebruik van elektriciteit brengt een opschaling van productie, opslag en transport van elektriciteit met zich mee. Afhankelijk van de toepassing werkt dit door op omgevingsveiligheid.
- > *Warmte*: Het gebruik van aardgas voor de productie van warmte wordt in komende jaren afgebouwd. Warmte zal steeds efficiënter worden gebruikt en zal lokaal worden opgeslagen. De ontwikkelingen op het gebied van warmte zullen naar verwachting in de komende jaren geen noemenswaardige doorwerking hebben op omgevingsveiligheid, met uitzondering van geothermie.
- > *Gassen*: Het gebruik en daarmee ook het transport van aardgas wordt afgebouwd. Waterstof zal de komende jaren een steeds grotere rol gaan spelen, met name in de industrie. In de gebouwde omgeving zullen opslag en gebruik van waterstof vooralsnog op experimentele schaal plaatsvinden. Deze ontwikkelingen werken door op omgevingsveiligheid; nieuwe en/of grootschaliger waterstofactiviteiten leiden ter plaatse tot een toename van de risico's.
- > *Bestuurlijke aandacht*: In het kader van de zorgplicht is het belangrijk dat het lokale bestuur naar de bevolking over de veiligheidsrisico's van de energietransitie communiceert.

### Aanbevelingen

- > De energietransitie werkt door op omgevingsveiligheid en veilig kunnen wonen en werken moet geborgd worden in omgevingsplannen en omgevingsvisies. Hierbij moet niet alleen gekeken worden naar incidenten van het type 'kleine kans – groot effect' maar ook naar incidenten van het type 'grote kans – klein effect', want deze incidenten kunnen een grote impact hebben op de direct omwonenden en op de gevraagde inzet van hulpdiensten.
- > Veiligheidsregio's en omgevingsdiensten moeten worden geïnformeerd over nieuwe ontwikkelingen en waar nodig om advies worden gevraagd. Om de consequenties van deze ontwikkelingen voor omgevingsveiligheid goed te kunnen duiden, moet voor hen duidelijk zijn wat de effectafstanden zijn van de diverse ontwikkelingen. Daarom wordt aanbevolen om het *Scenarioboek externe veiligheid* uit te breiden met scenario's die gerelateerd zijn aan de energietransitie.

- > Voor alle initiatieven en ontwikkelingen waarvoor nog geen wet- en regelgeving voorhanden is, moet deze zo spoedig mogelijk ontwikkeld worden. Tot die tijd is het zeer gewenst om interim wet- en regelgeving op te stellen om in ieder geval een basisniveau van veiligheid te kunnen garanderen. Dit is met name van belang voor de gebouwde omgeving.
- > De overheid moet burgers en bedrijven bewust maken van de veiligheidsaspecten van de energietransitie zodat zij hiermee rekening kunnen houden, bijvoorbeeld wanneer burgers en bedrijven zelf initiatieven nemen op het gebied van de energietransitie.
- > Bestuurders moeten bij de besluitvorming over ontwikkelingen op het gebied van de energietransitie aandacht besteden aan risicocommunicatie, omdat burgers en bedrijven op de hoogte moeten zijn van de veiligheidsrisico's van de energietransitie in hun omgeving.



# Afkortingen

Bevi	Besluit externe veiligheid inrichtingen
BOVEN	Bestuurlijk Omgaan met Veiligheidsrisico's van de Energietransitie (werkgroep)
CCS	Carbon capture and storage
CNG	Compressed natural gas
EOS	Energieopslagsysteem
LNG	Liquid natural gas
LOHC	Liquid organic hydrogen carriers
MFT	Multifuel tankstation
PVT	Photovoltaic thermal
RES	Regionale energiestrategie
SMR	Steam methane reforming
TRL	Technical Readiness Level
WKK	Warmtekrachtkoppeling
WKO	Warmte koude opslag

# Inleiding

Dagelijks verschijnen er artikelen, opiniestukken en webinars over allerlei onderwerpen zoals duurzaamheid, het terugdringen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot en manieren waarop Nederland voorzien kan worden van elektriciteit. Dit laat zien dat de energietransitie in volle gang is. Deze transitie heeft betrekking op de productie, de opslag, het transport en gebruik van diverse vormen van hernieuwbare energie en bestrijkt zodoende een breed gebied. De energietransitie werkt dan ook in veel sectoren door en heeft invloed op de hele maatschappij. Dat brengt (inter)nationaal, maar ook lokaal diverse vraagstukken met zich mee. De breedte, omvang en dynamiek van de energietransitie maken het lastig in te schatten welke ontwikkelingen nog op ons af komen en wat de doorwerking van deze ontwikkelingen (op veiligheid) zal zijn.

Bedrijven en overheden hebben kennis van de ontwikkelingen en gevolgen van de energietransitie nodig om strategische keuzes te kunnen maken, bijvoorbeeld waar nieuwe initiatieven mogelijk zijn en of er veiligheidsmaatregelen genomen moeten worden. Welke doorwerking de energietransitie heeft op een veilige leefomgeving c.q. omgevingsveiligheid, is nog grotendeels onbekend terrein. Met de komst van de Omgevingswet is deze kwestie echter (nog) belangrijker geworden. Het doel van deze wet is namelijk onder meer het “bereiken en in stand houden van een veilige en gezonde fysieke leefomgeving en een goede omgevingskwaliteit” (art. 3 lid a). Kennis van de mogelijke effecten en risico's van de energietransitie op omgevingsveiligheid is van belang voor bevoegde gezagen om beleid te kunnen maken en beslissingen te kunnen nemen op het gebied van ruimtelijke inpassingen en veiligheid. Bij bestuurders leven vragen over het toe- of afnemen van (on)veiligheid, over de (on)bekendheid van ontwikkelingen, technologieën en gevaren en over het afwegen van verschillende belangen van partijen en burgers in de besluitvorming (EZK, 2021; BOVEN, 2021).

Dit rapport beschrijft de resultaten van een verkenning van de (verwachte) ontwikkelingen op het gebied van de energietransitie tot het jaar 2030 en op welke manier deze ontwikkelingen doorwerken op omgevingsveiligheid in Nederland. Hierbij is gekeken naar de onderdelen van de energieketen (productie, opslag, transport en gebruik) in de sectoren die het Klimaatakkoord benoemt, te weten Gebouwde omgeving, Industrie, Mobiliteit en Landbouw en landgebruik (EZK, 2019). Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen ontwikkelingen op het gebied van elektriciteit, van warmte en van gassen (onder andere waterstof en methaan).

De Omgevingswet introduceert de term 'omgevingsveiligheid', maar een definitie van wat omgevingsveiligheid inhoudt, wordt niet gegeven. In de praktijk wordt omgevingsveiligheid verschillend geïnterpreteerd (Oostkracht10, 2020). Zo wordt door de één alleen gedacht aan de risico's die het vrijkomen van grote hoeveelheden gevaarlijke stoffen met zich meebrengt, oftewel de klassieke benadering van de externe veiligheid. Anderen daarentegen zijn van mening dat ook (grote) branden onder omgevingsveiligheid vallen. In dit rapport heeft omgevingsveiligheid betrekking op de scenario's die een effect hebben op de fysieke leefomgeving en waarvoor de inzet van hulpdiensten nodig is. De nadruk ligt hierbij op het vrijkomen van gevaarlijke stoffen met risico's voor derden, maar in dit rapport vallen ook branden onder omgevingsveiligheid.

## Doel

De doelen van deze verkenning zijn inzicht geven in:

- > de ontwikkelingen die de energietransitie naar verwachting tot 2030 met zich meebrengt voor de productie, de opslag, het transport en het gebruik van elektriciteit, warmte en gassen in diverse sectoren in Nederland
- > de mogelijke gevolgen van bovengenoemde ontwikkelingen voor omgevingsveiligheid.

## Onderzoeksvragen

Op basis van de doelen van het onderzoek zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

- > Welke vormen van energie worden momenteel gebruikt in Nederland?
- > Welke ontwikkelingen in de energietransitie zijn tot en met 2030 in Nederland te verwachten?
- > Op welke manier werken deze ontwikkelingen door op de omgevingsveiligheid?

## Onderzoeksmethode

De verkenning is in twee fasen uitgevoerd:

1. bepalen van de ontwikkelingen in de energietransitie
2. bepalen van de doorwerking van de energietransitie op omgevingsveiligheid.

Voor dit onderzoek werd een begeleidingscommissie ingesteld, die vier keer tijdens het onderzoek bijeenkwam voor inhoudelijke reflectie op het onderzoek. Zie bijlage 1.

### Ad 1

In de eerste fase is onderzocht wat de ontwikkelingen tot en met 2030 zijn op het gebied van de energietransitie. Uit rapporten van kennisinstituten, adviesbureaus en bedrijven in Nederland en daarbuiten zijn gegevens verzameld over de energiebehoefte van Nederland in het jaar 2030 en over de veranderingen die voor energiedragers en -bronnen tot 2030 worden voorzien. In deze rapporten worden toekomstvoorspellingen gedaan over energieketens op het gebied van warmte, elektriciteit en gassen. Over onderwerpen waar in genoemde rapporten geen of onvoldoende informatie te vinden was, is gericht op internet gezocht.

### Ad 2

In de tweede fase is een koppeling gemaakt tussen enerzijds de verwachte ontwikkelingen op het gebied van de energietransitie en anderzijds de mogelijke doorwerking van deze ontwikkelingen op omgevingsveiligheid. Hiertoe is gebruikgemaakt van eigen kennis van het NIPV en van de kennis van experts, enerzijds door middel van interviews en anderzijds door middel van expert judgement.

*Interviews:* de resultaten van fase 1 zijn in interviews besproken met zeven experts op het gebied van de energietransitie en omgevingsveiligheid (zie bijlage 2). Deze experts bestrijken tezamen een breed veld op het gebied van de energietransitie. Zij zijn werkzaam bij onder andere het bedrijfsleven en overheden.

*Expert judgement:* de resultaten van fase 1 zijn ook voorgelegd aan drie andere experts op het gebied van de energietransitie en omgevingsveiligheid. Deze experts zijn werkzaam bij veiligheidsregio's, omgevingsdiensten en onderzoeksinstituten (zie bijlage 3). Zij hebben een inschatting gegeven van de doorwerking van de ontwikkelingen van de energietransitie op omgevingsveiligheid, te weten de kans op een incident, het effect van een incident en het risico van een incident.

## Afbakening

- > Dit rapport heeft alleen betrekking op de energietransitie in Nederland.
- > In dit rapport wordt bekeken hoe ontwikkelingen op het gebied van de energietransitie doorwerken op omgevingsveiligheid en of deze ontwikkelingen (op grote of kleine schaal) directe risico's voor de fysieke leefomgeving met zich mee kunnen brengen.
- > Risico's als gevolg van klimaatveranderingen (bijvoorbeeld overstromingen) en langetermijnrisico's voor de gezondheid (bijvoorbeeld roetdeeltjes en fijnstof) worden in dit rapport niet meegenomen.<sup>1</sup>
- > Overige aspecten van de energietransitie, zoals efficiëntie van technologieën, kosten, financiering, wet- en regelgeving, leveringszekerheid en maatschappelijke acceptatie vallen buiten de scope van dit rapport.
- > De veranderingen die de energietransitie met zich meebrengt, worden in dit rapport kwalitatief beschreven. Kwantitatief weergegeven van de veranderingen is voor het doel van dit verkennende onderzoek niet nodig. Daar komt bij dat er onzekerheden zijn in de data over vraag naar en aanbod van de diverse vormen van energie en dat uit de geraadpleegde bronnen niet altijd duidelijk wordt welke definities gehanteerd zijn voor de productie en het gebruik van energie.
- > In dit rapport wordt gekeken naar de ontwikkelingen die door kennisinstituten, adviesbureaus en bedrijven verwacht worden, niet naar ambities van organisaties en/of overheden voor de energietransitie, omdat ambities meer onzekerheden kennen dan verwachtingen.
- > In deze verkenning wordt gekeken naar diverse onderdelen van de energieketen: productie, transport, opslag en gebruik van energie (zie paragraaf 1.3). Het hergebruiken van energie maakt geen deel uit van de verkenning, zodat ontwikkelingen op het gebied van afvalstromen niet meegenomen worden.
- > In dit rapport worden de vier energiesectoren uit het Klimaatakkoord bekeken (zie paragraaf 1.2), waaronder Mobiliteit. Zeevaart en luchtvaart zouden tot deze sector gerekend kunnen worden, maar deze modaliteiten worden in dit rapport niet beschouwd, omdat ze niet worden meegenomen in de doelstellingen van het Klimaatakkoord (EZK, 2019), en omdat gemeenten en hun adviseurs hier geen zeggenschap over hebben. De productie, de opslag en het transport van brandstoffen die in de zeevaart en luchtvaart gebruikt worden, vallen (voor zover deze in Nederland plaatsvinden) echter wél onder de reikwijdte van dit rapport.

---

<sup>1</sup> De doorwerking van de energietransitie op de gezondheid van mensen wordt beschreven in rapporten van de Gezondheidsraad (Gezondheidsraad, 2020) en het RIVM (RIVM, 2020).

## Leeswijzer

Hoofdstuk 1 gaat in op de vraag op welke manieren de diverse vormen van energie momenteel worden toegepast in Nederland. Hoofdstuk 2 geeft een blik op de toekomst door de ontwikkelingen op het gebied van de energietransitie te beschrijven die tot 2030 in Nederland worden verwacht. De doorwerking van de energietransitie en de ontwikkelingen die daarmee gepaard gaan, worden uitgewerkt in hoofdstuk 3. In deze hoofdstukken worden de onderzoeksvragen beantwoord. In hoofdstuk 4 worden conclusies gegeven en aanbevelingen gedaan.

# 1 Energie in 2020

## 1.1 Inleiding

Om de eerste onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden (*‘Welke vormen van energie worden momenteel toegepast in Nederland?’*) is het goed om te weten wat energie precies is. Energie bestaat in vele vormen, zoals kinetische energie, thermische energie (warmte), elektrische energie en chemische energie. Energie ontstaat niet en gaat niet verloren, maar verandert alleen van vorm.<sup>2</sup> Zo kan elektrische energie die zich in een batterij bevindt, omgezet worden in kinetische energie zodat een auto kan rijden. Energie bevindt zich ‘direct’ in een energiebron of ‘indirect’ in een energiedrager. Een energiebron is aanwezig in de natuur (aardolie, aardgas, zonlicht, wind), terwijl een energiedrager een medium is dat door mensen gemaakt is. Voorbeelden van energiedragers zijn elektriciteit en waterstof.

Het gebruik van fossiele energiebronnen als aardolie en aardgas heeft ertoe geleid dat er wereldwijd en ook in Nederland klimaateffecten ontstaan die als onaanvaardbaar worden beschouwd, bijvoorbeeld droogte en overstromingen (IPCC, 2021). De klimaateffecten worden veroorzaakt door broeikasgassen zoals CO<sub>2</sub>, die onder andere vrijkomen bij de verbranding van aardolie en aardgas. Om de uitstoot van CO<sub>2</sub> te verminderen, zijn veranderingen in het energiesysteem nodig. Het overstappen van fossiele energiebronnen naar duurzame en CO<sub>2</sub>-neutrale energiebronnen wordt ‘energietransitie’ genoemd. Het Klimaatakkoord geeft aan op welke manieren de uitstoot van CO<sub>2</sub> verminderd moet worden in diverse sectoren. Het doel is om in 2030 49% minder broeikasgassen uit te stoten (waarvan CO<sub>2</sub> het belangrijkste is) ten opzichte van 1990 (EZK, 2019). In het regeerakkoord voor de periode 2021-2024 is dit doel aangescherpt tot minimaal 55% (VVD, CDA, D66 en Christenunie, 2021).

## 1.2 Energiesectoren

Energie heeft invloed op hoe we wonen, werken en leven en dat maakt dat ook de energietransitie daar invloed op heeft. Naast het beperken van de uitstoot van CO<sub>2</sub>, moet bij de energietransitie ook gekeken worden naar alternatieve vormen van energie die als het ware onuitputtelijk zijn en die geen of heel weinig CO<sub>2</sub>-uitstoot geven. Deze vormen van energie worden samengevat onder de noemer duurzame of hernieuwbare energie. Voorbeelden hiervan zijn zonne-energie, windenergie, aardwarmte en biomassa.

In het Klimaatakkoord worden verschillende sectoren onderscheiden waarin energie wordt geproduceerd, opgeslagen, getransporteerd en gebruikt (EZK, 2019). De energietransitie heeft gevolgen voor elk van deze sectoren:

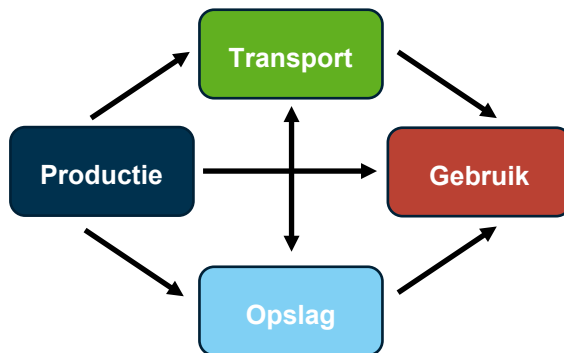
- > Gebouwde omgeving
- > Industrie
- > Mobiliteit
- > Landbouw en landgebruik.<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Dit wordt de ‘Wet van behoud van energie’ genoemd.

<sup>3</sup> Hierna te noemen ‘Landbouw’.

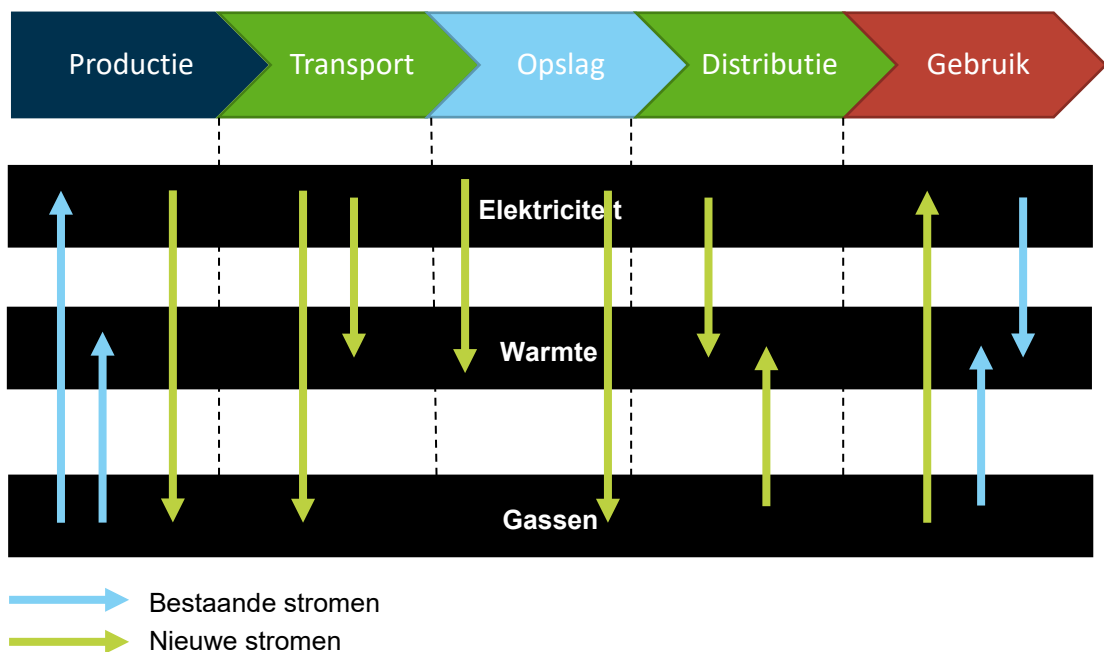
## 1.3 Energieketen

Zoals eerder aangegeven, bestaat energie in diverse vormen. Voor dit rapport zijn de belangrijkste vormen van energie elektriciteit (elektrische energie), warmte (thermische energie) en gasen (chemische energie). Deze vormen van energie worden in Nederland geproduceerd of uit het buitenland geïmporteerd. Vervolgens worden ze getransporteerd, waarna ze elders worden gebruikt. Wanneer elektriciteit, warmte en gasen niet meteen getransporteerd en/of gebruikt worden, worden ze tijdelijk opgeslagen, zie Figuur 1.1.



**Figuur 1.1** De vier onderdelen van de energieketen

De verschillende energievormen zijn aan elkaar verknoopt, omdat er sprake is van omzetting van de ene vorm van energie in een andere vorm van energie (conversie). De samenhang tussen de energievormen in de vier onderdelen van de energieketen is te zien in Figuur 1.2.<sup>4</sup>



**Figuur 1.2** Samenhang energieketens en -bronnen (Bron: FME, 2019, bewerkt)

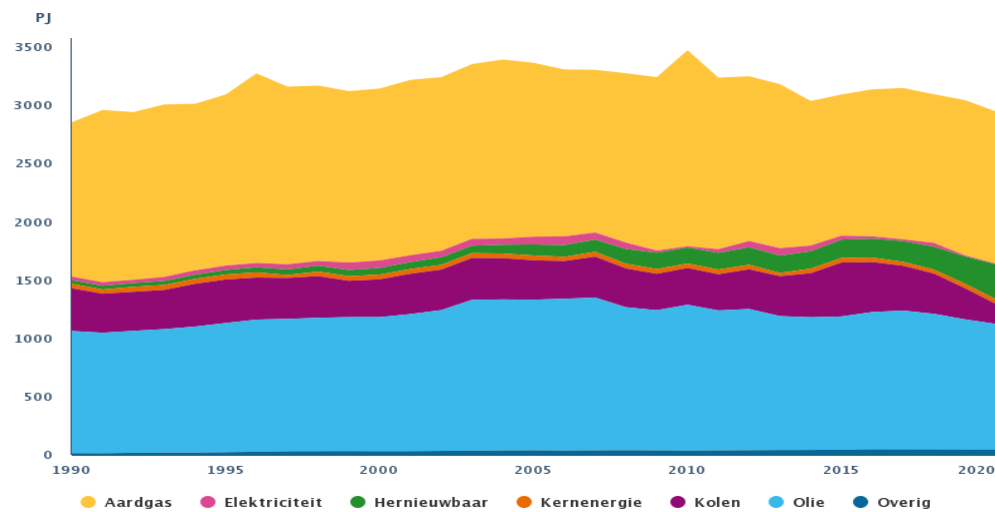
De pijlen in de figuur geven de omzettingen in de keten aan. Zo worden gasen binnen het ketenonderdeel Productie gebruikt voor de productie van warmte en elektriciteit (blauwe

<sup>4</sup> De energieketen in Figuur 1.2 bevat vijf onderdelen, terwijl in dit onderzoek uitgegaan wordt van vier onderdelen, omdat de onderdelen Transport en Distributie samengevoegd zijn en aangeduid worden met 'Transport'.

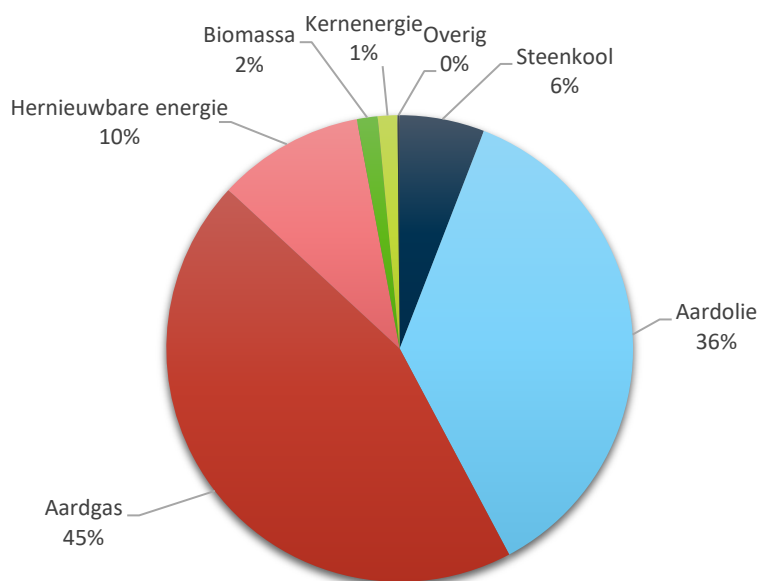
pijlen), en zal in de toekomst gas (waterstof) geproduceerd worden met behulp van elektriciteit (groene pijl).

## 1.4 Energiecijfers 2020

Figuur 1.3 en Figuur 1.4 laten zien welk aandeel de verschillende energiebronnen hadden in het energieverbruik in Nederland in respectievelijk de periode 1990 tot en met 2020 en in 2019. In 2019 is het overgrote deel nog afkomstig van fossiele energiebronnen. In Figuur 1.5 op de volgende pagina is weergegeven welke verschillende hernieuwbare energiebronnen in 2019 in Nederland werden toegepast.

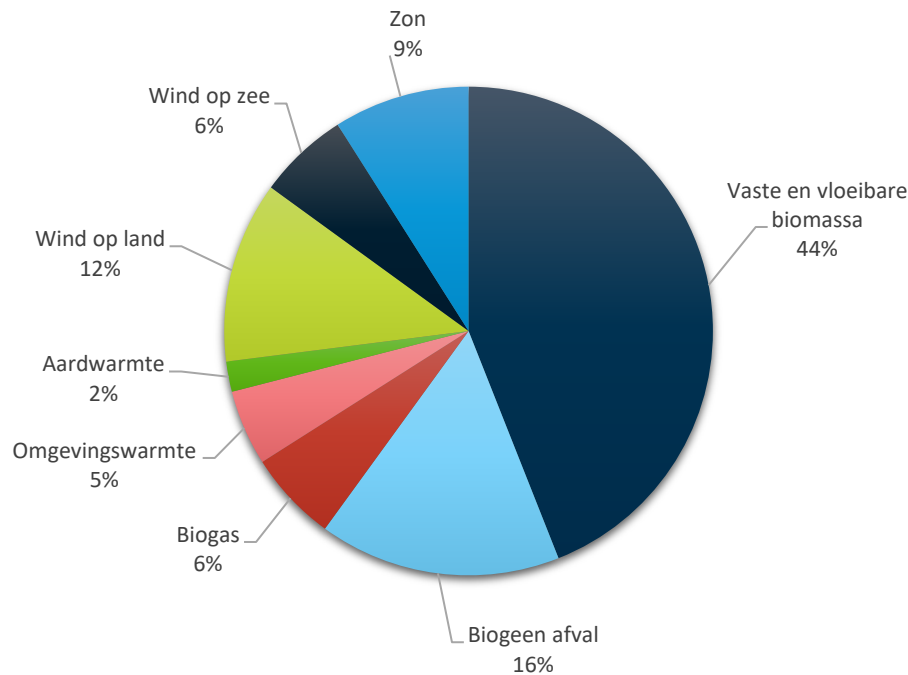


**Figuur 1.3 Energiegebruik in Nederland tot en met 2020 (Bron: Energie in Nederland, 2022)**



**Figuur 1.4 Aandeel van verschillende energiebronnen in het energieverbruik in Nederland in 2019 (Bron: CBS, 2021a)**





**Figuur 1.5 Aandeel hernieuwbare energiebronnen in 2019<sup>5</sup> (Bron: CBS, 2021b)**

## 1.5 Toepassing van energievormen per sector 2020

In tabel 1.1 op de volgende pagina wordt voor iedere energiesector per deel van de energieketen weergegeven welke vormen van energie (elektriciteit, warmte, gassen) in 2020 zijn toegepast en op welke manier. Hiermee wordt antwoord gegeven op de eerste onderzoeksvraag: *Welke vormen van energie worden momenteel toegepast in Nederland?* De tabel is niet uitputtend. In alle onderdelen van de energieketen en in alle sectoren wordt momenteel op kleine en grote schaal geëxperimenteerd en gepioneerd met nieuwe technologieën en toepassingen. Nieuwe ontwikkelingen en innovaties volgen elkaar snel op.

Toelichting bij tabel 1.1:

- > Transport omvat vervoer via de weg, het spoor, kabels en buisleidingen en over het water. Transport via deze modaliteiten is ingedeeld bij de sector Industrie.
- > Bij de gassen wordt ook CO<sub>2</sub> meegenomen, ook al is dit geen energiedrager: het afvangen, het transporteren en het opslaan van CO<sub>2</sub> is namelijk één van de belangrijkste manieren om de klimaatdoelstellingen te halen (EZK, 2019). Bij 'productie' is de uitstoot van CO<sub>2</sub> echter niet opgenomen, omdat CO<sub>2</sub> een bijproduct en niet het doel is van energieproductie.
- > Tankstations (onder andere waterstoftankstations) zijn ingedeeld bij de sector Gebouwde omgeving.
- > In de tabel is voor iedere energiesector per deel van de energieketen weergegeven welke vormen van energie worden toegepast. Bij 'Productie' is de methode of de technologie weergegeven waarmee de desbetreffende energievorm wordt geproduceerd, bij 'Opslag' het medium waarin de energievorm wordt opgeslagen, bij 'Transport'

<sup>5</sup> Biogeen afval is afval van biologische herkomst, bijvoorbeeld hout, tuinafval, papier, groente, fruit en etensresten.

het middel waarmee de energievorm wordt getransporteerd en bij 'Gebruik' de toepassing waarvoor de energievorm wordt gebruikt.

- > Brandstoffen en gassen voor de voortstuwing worden meegenomen in de sector Mobiliteit in het ketendeel Gebruik. Brandstoffen en gassen die als lading worden getransporteerd, worden meegenomen in de sector Industrie in het ketendeel Transport.
- > Hogedrukleidingen worden meegenomen in de sector Industrie in het ketendeel Transport. Distributieleidingen worden meegenomen in de sector Gebouwde Omgeving in het ketendeel Transport.
- > Met 'niet van toepassing (n.v.t.)' wordt bedoeld dat de energievorm in kwestie (momenteel) niet aan de orde is in de betreffende combinatie van energieketendeel en energie-sector.

**Tabel 1.1 De manieren waarop in 2020 energie wordt toegepast in de energieketen en in de energiesectoren**

Ketendeel	Energievorm	Gebruik			
		Gebouwde omgeving	Industrie	Mobiliteit	Landbouw
Productie	<i>Elektriciteit</i>	Zonnepanelen (Mini)windturbines Geothermie <sup>6</sup> Brandstofcellen	Gascentrales Kolencentrales Windturbines Zonneparken <sup>7</sup> Kerncentrale Waterkrachtcentrale	Brandstofcellen	Warmtekrachtkoppeling (WKK, glastuinbouw) Windturbines Zonnepanelen Geothermie
	<i>Warmte</i>	Geothermie Aquathermie Zonneboiler Warmtepomp Biomassa <sup>8</sup> Biogas <sup>8</sup> warmtecentrale	Restwarmte Warmtekrachtcentrale <sup>9</sup> Warmtekrachtkoppeling (WKK) Biomassa	N.v.t.	Warmtekrachtkoppeling (WKK) Geothermie biomassaketels
	<i>Gassen</i>	Elektrolyse van water tot waterstof	Opwerken biogas tot groen gas <sup>10</sup> (CH <sub>4</sub> ) Productie waterstof (elektrolyse en SMR)	N.v.t.	Vergisting van biomassa
	<i>Elektriciteit</i>	Batterijen EOS <sup>11</sup>	Batterijen EOS	Batterijen	Batterijen

<sup>6</sup> Geothermie is warmte die uit de ondergrond wordt gehaald door warm water te onttrekken uit watervoerende lagen die dieper liggen dan 500 m.

<sup>7</sup> Zonneparken (zonneweiden) zijn stukken land waar een groot aantal zonnepanelen op staan.

<sup>8</sup> Biomassa is een verzamelnaam voor dierlijke en plantaardige afvalproducten. Biogas ontstaat door biomassa te vergassen of te vergisten.

<sup>9</sup> Gecombineerd met kernenergie, omdat bij de productie van kernenergie warmte vrijkomt.

<sup>10</sup> Groen gas is biogas dat opgewerkt wordt tot aardgas.

<sup>11</sup> Een energieopslagsysteem (EOS) is een systeem waarbij grote hoeveelheden energie worden opgeslagen, bijvoorbeeld in een buurtbatterij.

Ketendeel	Energievorm	Gebouwde omgeving	Industrie	Mobiliteit	Landbouw
Opslag	Warmte	Warmte-koude-opslag (WKO) <sup>12</sup> Warmteopslag-medium (o.a. steen, zout en water)	N.v.t.	N.v.t.	WKO
	Gassen	Waterstof: in druktanks bij woningen, in wijken en bij tankstations	CH <sub>4</sub> (aardgas): ondergrondse opslagen <sup>13</sup> Opslag biogas in gaszakken Opslag groen gas in druktanks Opslag gasvormig waterstof in druktanks en vloeibaar waterstof in cryogene tanks Opslag ammoniak gekoeld of in druktanks <sup>14</sup>	N.v.t.	Opslag CO <sub>2</sub> in druktanks
Transport	Elektriciteit	Kabels	Masten en kabels	N.v.t.	Kabels
	Warmte	Leidingen	Leidingen	N.v.t.	Kleine distributienetten naar nabijgelegen bedrijven
	Gassen	Over weg, water, spoor en via leidingen	Over weg, water, spoor en via leidingen	Over weg, water, spoor en via leidingen	Biogasleidingen CO <sub>2</sub> -leidingen
Gebruik	Elektriciteit	Apparatuur Verwarmen woningen en gebouwen	Apparatuur Werking installatie en verwarmen gebouwen	Werking en opladen voertuigen, vaartuigen, treinen en vliegtuigen	Apparatuur, installaties, werktuigen, voertuigen Verwarming gebouwen (stallen, kassen etc.) Verlichting

<sup>12</sup> Bij een warmtekoudeopslag (WKO) wordt water op een diepte van 20 – 120 m gepompt om een gebouw te verwarmen of te koelen.

<sup>13</sup> Hogedrukgasleidingen zijn bedoeld voor transport, maar de inhoud van de leidingen is dermate groot, dat de leidingen ook gezien kunnen worden als een vorm van opslag.

<sup>14</sup> Met opslag van ammoniak worden niet de bedrijven bedoeld die een ammoniakkoelinstallatie hebben.

Ketendeel	Energievorm	Gebouwde omgeving	Industrie	Mobiliteit	Landbouw
	<i>Warmte</i>	Verwarmen woningen en gebouwen	Verwarmen gebouwen Industriële processen	N.v.t.	Verwarmen gebouwen (o.a. stallen, kassen)
	<i>Gassen</i>	Aardgas voor verwarmen en koken	Aardgas en waterstof voor verwarmen, productie elektriciteit en voor chemische processen CO <sub>2</sub> is bijproduct	Beperkte rol LNG en waterstof als brandstof	CO <sub>2</sub> voor groei planten

# 2 Veranderingen tot en met 2030

## 2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden per sector de veranderingen besproken die in de periode tot 2030 als gevolg van de energietransitie verwacht worden voor productie, opslag, transport en gebruik van energie. Hiermee wordt antwoord gegeven op de tweede onderzoeksvraag: *Welke ontwikkelingen in de energietransitie zijn tot en met 2030 in Nederland te verwachten?* In paragraaf 2.2 worden de veranderingen beschreven die als gevolg van de energietransitie al zijn ingezet c.q. vrijwel zeker zijn en wordt een aantal sector- en ketenoverstijgende ontwikkelingen benoemd. Paragrafen 2.3 tot en met 2.5 gaan in op de ontwikkelingen die tot en met 2030 plaatsvinden in de diverse sectoren. Hierbij komen ook veranderingen aan bod die minder zeker zijn of veranderingen die nu (in 2022) nog niet zijn ingezet, maar wel worden voorzien voor 2030.

## 2.2 Veranderingen als gevolg van de energietransitie

Twintig organisaties, bedrijven en brancheverenigingen hebben de bundel *Zó werkt energie in Nederland* opgesteld, die gaat over de veranderingen die deze organisaties zien of met zekerheid verwachten als gevolg van de energietransitie. Het betreft specifiek veranderingen die al gaande zijn of zo goed als zeker in Nederland in de toekomst zullen plaatsvinden. Deze veranderingen worden hieronder op hoofdlijnen weergegeven, ingedeeld volgens de onderdelen van de energieketen (Energie in Nederland, 2021).

### 2.2.1 Productie

- > Nederland maakt steeds meer gebruik van diverse en hernieuwbare energiebronnen, onder meer op zee.
- > Fossiele energiebronnen worden steeds schoner en efficiënter gebruikt.
- > Energieopwekking verschuift van centraal naar decentraal.
- > Gebruik van hernieuwbare bronnen zoals zon en wind, leidt tot meer fluctuatie in het aanbod van energie.
- > Hernieuwbare energiebronnen hebben een groot ruimtebeslag en zijn daarom steeds zichtbaarder in de fysieke leefomgeving.
- > Er ontstaat een nieuw aanbod van energie uit de restwarmte van ander energiegebruik.

### 2.2.2 Transport

- > Nederland verhoogt de capaciteit van zijn elektriciteitsnet en breidt dit uit.
- > Nederland bouwt nieuwe netten<sup>15</sup> en past bestaande gasnetten aan voor nieuwe dragers.

---

<sup>15</sup> Het gaat hierbij om warmtenetten, elektriciteitsnetten en gasnetten.

- > Voor 'zware' mobiliteit (onder andere vrachtwagens) zal het gebruik van synthetische en biobrandstoffen toenemen.

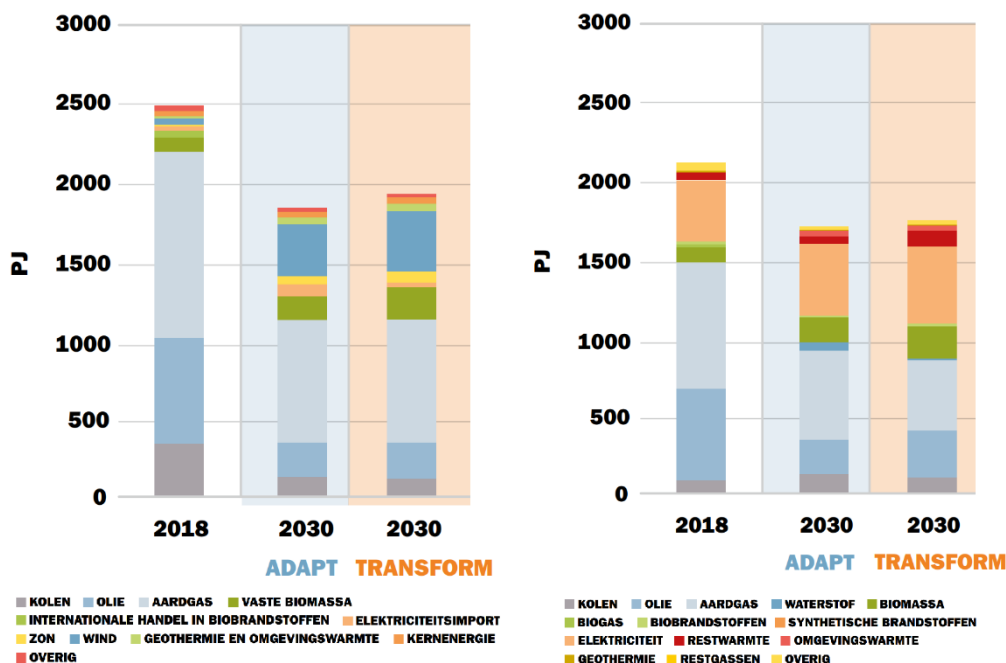
### 2.2.3 Opslag

- > Fluctuatie in de opwekking van elektriciteit vergroot de vraag naar omzetting en naar opslag van energie.
- > Nederland ontwikkelt meer mogelijkheden voor opslag van energiedragers.
- > Nederland ontwikkelt mogelijkheden voor opslag van CO<sub>2</sub>.

### 2.2.4 Gebruik

- > Gebruikers vergroten de efficiëntie van hun energiegebruik.
- > Gebruikers stappen over op technologieën en apparaten die werken op elektriciteit of op duurzame brandstoffen en energiedragers.
- > Gebruikers passen (het tijdstip van) hun vraag aan op het fluctuerende aanbod van energie.
- > De vraag naar elektriciteit stijgt (door toenemende elektrificatie van apparaten en processen).
- > De vraag naar fossiele energiedragers als grondstof voor producten neemt af.

Ter illustratie worden in figuur 2.1 de resultaten van een studie van TNO gegeven, waarin de energieproductie en het energiegebruik in 2030 zijn berekend. Hierbij is zichtbaar gemaakt hoe de verdeling van de energieproductie en het energiegebruik over de verschillende energiebronnen verschilt, als wordt ingezet op sterke beperking van de CO<sub>2</sub>-uitstoot (ADAPT) of juist op gedragsverandering, structuurverandering en verduurzaming (TRANSFORM).



Figuur 2.1 Energieproductie (links) en -gebruik (rechts) (Bron: TNO, 2020a)

De toename van het gebruik van hernieuwbare energie brengt een grote fluctuatie van het energieaanbod met zich mee. Zonnepanelen kunnen alleen overdag stroom leveren en windturbines alleen als het waait. Ook de beschikbaarheid van aardolie en aardgas fluctueert, door geopolitieke factoren

(Van den Beukel & Van Geuns, 2021). Niet alleen het aanbod zal fluctueren, ook de vraag naar energie fluctueert. Een voorbeeld is een koude winterdag met weinig wind en weinig zonuren, maar veel vraag naar energie voor bijvoorbeeld verwarming en verlichting. Om de vraag en het aanbod van energie in balans te houden, moet het energiesysteem in Nederland flexibel worden ingericht. In deze flexibiliteit zal worden voorzien door piekcentrales (aardgas) in te zetten, wind- en zonne-energievermogen tijdelijk af te schakelen, vraagsturing (met name bij het opladen van elektrische auto's en bij waterstofproductie), overtollige elektriciteit om te zetten in energiedragers (warmte, waterstof) of producten (brandstoffen, chemicaliën), uitwisseling met het buitenland en door energieopslag (batterijen en ondergrondse energieopslag) (TNO, 2020a; TNO 2020b; PBL 2019).

## 2.3 Gebouwde omgeving

In tabel 2.1 wordt voor de gebouwde omgeving weergegeven welke veranderingen als gevolg van de energietransitie in de periode tot 2030 worden verwacht per deel van de energieketen en per energievorm (elektriciteit, warmte, gassen).<sup>16</sup>

**Tabel 2.1 Veranderingen tot 2030 voor de gebouwde omgeving als gevolg van de energietransitie**

Ketendeel	Gebouwde omgeving	Bron
Productie	<i>Elektriciteit</i>	Forse toename elektriciteitsproductie door zonnepanelen en windturbines (PBL, 2021) (TNO, 2020a) (Ember, 2020)
	<i>Warmte</i>	Mix van warmtetechnieken en -bronnen Opschaling van productiebronnen voor restwarmte, geothermie, aquathermie <sup>17</sup> , zonnewarmte, power-to-heat <sup>18</sup> en biomassa Biomassa op grootschalig niveau (energiecentrales, vergistingsinstallaties) PVT-systemen zijn in opkomst <sup>19</sup> (Sectortafel Gebouwde omgeving, 2019) (R.van Leeuwen)
	<i>Gassen</i>	Productie waterstof in demonstratieprojecten (PBL, 2020)
Opslag	<i>Elektriciteit</i>	Energieopslag door accu's neemt toe Accu's hebben een grotere capaciteit Er zijn meer (thuis)batterijen/accu's aanwezig in gebouwen en woningen (FME, 2019) (Bax, 2019) (Gasunie, 2018)
	<i>Warmte</i>	Zowel groot- als kleinschalige warmteopslag gaan een rol spelen (TKI Urban Energy, 2020)
	<i>Gassen</i>	Opslag van waterstof in demonstratieprojecten Meer waterstoftankstations met opslag van waterstof (Gasunie, 2021) (Waterstofnet, 2021)

<sup>16</sup> Bij enkele bronvermeldingen staat de naam van een expert die geïnterviewd is. Zie bijlage 2.

<sup>17</sup> Bij aquathermie worden gebouwen verwarmd of gekoeld door gebruik te maken van oppervlaktewater of afvalwater.

<sup>18</sup> Bij power-to-heat (P2H) wordt warmte geproduceerd door bij overschot aan groene stroom gebouwen elektrisch te verwarmen.

<sup>19</sup> Een PVT-systeem (PhotoVoltaic Thermic) bestaat uit zonnepanelen die niet alleen stroom opwekken, maar ook warmte produceren.

Ketendeel		Gebouwde omgeving	Bron
Transport	<i>Elektriciteit</i>	Uitbreiding elektriciteitsnetten Verzwaring elektriciteitsnetten	(TNO, 2020a) (Energie in Nederland, 2021)
	<i>Warmte</i>	Uitbreiding warmtenetten	(WarmtelinQ, 2021, M. Vroonhof)
	<i>Gassen</i>	Op beperkte schaal transport van waterstof door distributienet <sup>20</sup> Er wordt minder aardgas getransporteerd	(Stedin, 2020) (Gasunie, 2018)
Gebruik	<i>Elektriciteit</i>	Er zijn meer producten met batterijen in gebruik, waaronder thuisbatterijen Toename van elektrische warmtepompen Toename van stroomverbruik	(Gasunie, 2018) (TNO, 2020a)
	<i>Warmte</i>	Meer woningen hebben een hybride of elektrische warmtepomp, een aansluiting op een warmtenet of een <i>all-electric</i> warmtevoorziening Restwarmte van industrie en afvalverbranding wordt benut Gebruik van warmte neemt af	(Gasunie, 2018) (TNO, 2020a) (TNO, 2020b) (DNE Research, 2021)
	<i>Gassen</i>	Afname van aardgasgebruik Waterstof speelt tot 2030 een beperkte rol	(Gasunie, 2018) (Stedin, 2020)

### 2.3.1 Samenvattend

**Elektriciteit** - In de gehele elektriciteitsketen is sprake van opschaling: er is meer productie, meer opslag, meer transport en meer gebruik van elektriciteit. Voor de gebouwde omgeving is de komst van de functie opslag in de vorm van energieopslagsystemen (EOS) en thuisopslagen<sup>21</sup> een nieuwe ontwikkeling.

**Warmte** - Hoewel het gebruik van warmte in de gebouwde omgeving afneemt, vindt ook in de warmteketen opschaling plaats. De opschaling houdt vooral verband met ontwikkelingen waarbij warmte beter wordt benut en met ontwikkelingen waarbij gebruik wordt gemaakt van alternatieve warmtebronnen. Hiervoor is op lokaal niveau opschaling van opslag en (mogelijk) van transport nodig. De opschaling in de warmteketen lijkt echter minder hard te gaan dan de opschaling in de elektriciteitsketen, omdat aardgas nog een prominente rol speelt.

**Gassen** - In de gebouwde omgeving speelt aardgas nog een prominente rol in de gasketen. Waterstof is wel in opkomst, maar heeft tot 2030 nog geen rol van betekenis. Ontwikkelingen hebben vooral een lokaal karakter, zijn kleinschalig en zijn bedoeld om ervaring op te doen.

<sup>20</sup> Distributienetten zijn gasnetten die in beheer zijn van netbeheerders. De druk in deze netten is meestal 8 bar of lager. Hogedruknetten zijn gasnetten die voor het merendeel in beheer zijn van de Gasunie. De druk in de leidingen is hoger dan 16 bar (meestal 40 – 80 bar).

<sup>21</sup> Een thuisopslag is een grote accu waarin stroom wordt opgeslagen die vaak afkomstig is van zonnepanelen. Een Powerwall is een voorbeeld van een thuisopslag en wordt meestal opgehangen aan een muur.



## 2.4 Industrie

De belangrijkste routes om in de sector Industrie CO<sub>2</sub>-uitstoot te verminderen, zijn (Uitvoeringsoverleg Industrie, 2021):

- > afvang, transport en opslag van CO<sub>2</sub> (carbon capture and storage, CCS)
- > blauw en groen waterstof<sup>22</sup>
- > elektrificatie
- > optimaliseren industriële restwarmte
- > circulariteit (verduurzaming van grondstoffen).

Om CO<sub>2</sub>-reductie in de industrie te realiseren, moeten veranderingen worden doorgevoerd. In tabel 2.2 wordt voor de industrie weergegeven welke veranderingen als gevolg van de energietransitie in de periode tot 2030 worden verwacht, per deel van de energieketen en per energievorm (elektriciteit, warmte, gasen).

**Tabel 2.2 Veranderingen tot 2030 voor de industrie als gevolg van de energietransitie**

Ketendeel	Industrie	Bron
<i>Elektriciteit</i>	Kolencentrales sluiten in 2030	(TNO, 2020a)
	Kolencentrales worden vervangen door gascentrales	(Gasunie, 2018)
	Mogelijk zijn gascentrales omgebouwd tot waterstofcentrales	(Gasunie, 2019) (Ember, 2020)
	Komst van waterstofcentrales	
	Stijging elektriciteitsproductie	(PBL, 2021)
	Lichte daling van kernenergie	
<b>Productie</b> <i>Warmte</i>	De productie van aardgas neemt af	(Gasunie, 2018) (TNO, 2020a)
	Kolencentrales zijn uitgefaseerd in 2030	
	Optimaliseren van bedrijfsprocessen om efficiënter gebruik te maken van restwarmte	(TKI Energie en Industrie, 2019)
<i>Gassen</i>	Productie van grijs en blauw waterstof neemt toe <sup>23</sup>	(TNO, 2020a)
	Productie van waterstof door SMR als CO <sub>2</sub> -opslag mogelijk is, anders door elektrolyse	(AirLiquide, 2021) (VEMW, 2021)
	Grotere elektrolyzers	(EZK, 2020)
	Productie van groen gas neemt toe	(Arcadis en Berenschot, 2021)
	Productie van waterstof uit ammoniak en LOHC's <sup>24</sup>	(Arcadis en Berenschot, 2021)
	Minder uitstoot van CO <sub>2</sub> en NO <sub>x</sub>	(PBL, 2021)
<b>Opslag</b> <i>Elektriciteit</i>	Grootschalig batterijopslag (MW-schaal) neemt sterk toe	(IRENA, 2019)
	<i>Warmte</i>	Niet van toepassing

<sup>22</sup> Bij de productie van blauw waterstof wordt CO<sub>2</sub> vrij dat wordt afgevangen en opgeslagen. Bij de productie van groen waterstof wordt duurzame stroom gebruikt en komt geen CO<sub>2</sub> vrij.

<sup>23</sup> Naar verwachting zal grootschalige productie van groen waterstof pas na 2030 een rol zal gaan spelen, omdat te weinig groene stroom beschikbaar is (Havenbedrijf Rotterdam, 2020; ABNAMRO, 2021).

<sup>24</sup> Strikt genomen gaat het hier niet om productie van waterstof, maar om omzetting (conversie) naar waterstof.

Ketendeel	Industrie	Bron
	<i>Gassen</i> Waterstof: ondergrondse opslag (bufferwerking waterstofbackbone <sup>25</sup> , zoutcavernes) CO <sub>2</sub> : ondergrondse opslag in de Noordzee vanuit Rotterdam en Den Helder. Ammoniak: mogelijk opslag in Rotterdam LNG: opslag in terminals neemt toe	(Uitvoeringsoverleg Industrie, 2021) (Arcadis en Berenschot, 2021) (Gasunie, 2022)
	<i>Elektriciteit</i> Uitbreiding elektriciteitsnetten Verzwaring van elektriciteitsnetten	(TNO, 2020a) (Energie in Nederland, 2021)
	<i>Warmte</i> Meer restwarmte naar warmtenetten	(ECW, 2020)
<b>Transport</b>	<i>Gassen</i> <sup>26</sup> Aanvoer per zeeschip van vloeibaar waterstof of gasvormig ammoniak Mogelijk transport van ammoniak per spoor Waterstof wordt op de Noordzee gemaakt en via leidingen aangevoerd Waterstof wordt door aardgasleidingen getransporteerd Mogelijk nieuwe waterstofleidingen CO <sub>2</sub> -transport naar Noordzee vanuit Rotterdam en Den Helder	(Arcadis en Berenschot, 2021) (Gasunie, 2018) (IenW, 2021) (TNO, 2020b) (Uitvoeringsoverleg Industrie, 2021)
	<i>Elektriciteit</i> Elektrificatie van processen (waardoor het gebruik van elektriciteit stijgt) Sterke toename van elektriciteitsvraag door datacenters	(Gasunie, 2018) (TNO, 2020a) (CE Delft, 2020)
<b>Gebruik</b>	<i>Warmte</i> Gebruik van warmte blijft gelijk Toename van (elektrische) warmtepompen	(PBL, 2021) (TNO, 2020a)
	<i>Gassen</i> Het gebruik van aardgas neemt af Het gebruik van blauwe en groene waterstof neemt toe, vooral waar waterstof eenvoudig voorhanden is Het gebruik van biomassa neemt toe	(Gasunie, 2018) (TNO, 2020a) (Uitvoeringsoverleg Industrie, 2021)

### 2.4.1 Samenvattend

**Elektriciteit** - In de sector Industrie is sprake van een toename in het produceren, opslaan, transporteren en gebruiken van elektriciteit. Elektriciteit wordt in de sector Industrie steeds vaker duurzaam geproduceerd; de productie van elektriciteit door middel van waterstofcentrales is hierin een nieuwe ontwikkeling.

<sup>25</sup> De waterstofbackbone is het landelijk hoofdnetwerk voor waterstof. De inhoud van de leidingen is dermate groot, dat de leidingen ook gezien kunnen worden als een vorm van opslag. Zie ook voetnoot 13.

<sup>26</sup> Een dalende vraag naar aardgas houdt niet automatisch in dat minder aardgas wordt getransporteerd door hogedruk-aardgasleidingen. Het Nederlandse hogedrukaardgasnet fungeert namelijk als gasrotonde, waarbij aardgas wordt geïmporteerd en geëxporteerd.

**Warmte** - Het warmtegebruik in de sector Industrie blijft volgens de prognoses gelijk. Aangezien de sector geen warmte opslaat, zal ook de warmteproductie gelijk blijven. Wel wordt er efficiënter met warmte omgegaan en worden ontwikkelingen met name gedomineerd door het aanpassen van bestaande installaties om op een duurzame manier warmte te produceren.

**Gassen** - Waterstof gaat een steeds grotere rol spelen in de sector Industrie. Dit uit zich vooral in andere manieren van waterstofproductie, in het over grote afstand transporteren van waterstof(dragers) en in onderzoek naar grootschalige opslag van waterstof(dragers).<sup>27</sup> Daarnaast moet de sector Industrie CO<sub>2</sub> afvangen en opslaan. Het gebruik van aardgas als grondstof voor productie van waterstof en voor verwarmen neemt af.

### Nieuwe technologieën en pilotprojecten

De energietransitie bevindt zich in een fase van pionieren en experimenteren. Er worden tal van nieuwe technologieën en toepassingen ontwikkeld door kennisinstituten en bedrijven. Dit gebeurt voor alle onderdelen van de energieketen. In proefprojecten worden die nieuwe concepten uitgeprobeerd om onder andere na te gaan hoe goed ze in de praktijk werken, welke verbeteringen nodig zijn en wat de levensvatbaarheid bij grootschalige implementatie is. In dit kader worden enkele voorbeelden gegeven:

- > *Pilot waterstof voor verwarming van woningen.* In Lochem wordt een aantal woningen aangepast om deze te verwarmen met waterstof in plaats van met aardgas. Verschillende andere gemeenten hebben vergevorderde plannen voor vergelijkbare pilots, bijvoorbeeld Stad aan 't Haringvliet, Hoogeveen en Wagenborgen.<sup>28</sup>
- > *Waterstofopslag thuis.* In Stad aan 't Haringvliet is in 2019 een nieuwbouwwoning met diverse innovatieve voorzieningen gebouwd, waaronder de productie en opslag van waterstof met behulp van stroom, afkomstig van zonnepanelen.<sup>29</sup>
- > *De Battolyser* kan elektriciteit opslaan en vervolgens waterstof produceren (elektrolyse van water). Het systeem kan schakelen tussen het leveren van waterstof en elektriciteit, al naar gelang de vraag. Bij de Magnumcentrale in de Eemshaven loopt een pilot met een battolyser.<sup>30</sup>
- > *Ecovat* is een voorbeeld van een collectief warmteopslagsysteem dat pieken en dalen in de warmtevoorziening van bijvoorbeeld een woonwijk kan opvangen. Het is een groot ondergronds buffervat met water, waarin warmte of koude wordt opgeslagen.<sup>31</sup>
- > *Vehicle to grid (V2G)* houdt in dat stroom uit de accu van een elektrische auto ook terug kan worden geleverd aan het elektriciteitsnet ('bi-directioneel laden') en zo gebruikt kan worden als buffer voor de stroomvoorziening van bijvoorbeeld een woning. In 2020 is in Lelystad het eerste V2G-laadpaalplein geopend.<sup>32</sup>
- > Met *Reverse ElectroDialysis (RED)* kan energie worden opgewekt door gecontroleerd mengen van zout en zoet water, waarbij door het verschil in zoutconcentratie een spanningsverschil ontstaat. Het brakke water gaat terug naar zee en de elektrische energie wordt geleverd aan het elektriciteitsnet.<sup>33</sup>
- > *Bij het verbranden van ijzerpoeder wordt ijzeroxide gevormd (roest) en komt warmte vrij.* Deze warmte kan gebruikt worden om bijvoorbeeld woningen te verwarmen of om stoom te maken.<sup>34</sup> Het ijzeroxide kan met behulp van duurzame energie omgezet worden in ijzerpoeder waarna het proces opnieuw

<sup>27</sup> De opslag en transport van gasvormig waterstof is duur. Om die reden wordt gebruik gemaakt van vloeibaar waterstof of van zogenaamde waterstofdragers. Waterstofdragers kunnen waterstof chemisch opnemen en weer afstaan.

<sup>28</sup> Nieuwsberichten over projecten in [Lochem](#), [Hoogeveen](#), [Stad aan 't Haringvliet](#) en [Wagenborgen](#).

<sup>29</sup> Website van het [Innovathuis](#) in Stad aan 't Haringvliet.

<sup>30</sup> Nieuwsbericht over de [battolyser](#).

<sup>31</sup> [Website](#) en [berichtgeving](#) over Ecovat.

<sup>32</sup> Berichtgeving over [Vehicle to grid \(V2G\)](#).

<sup>33</sup> [Voorbeeld](#) van het gebruik van RED bij de Afsluitdijk.

<sup>34</sup> Nieuwsberichten over toepassing van ijzerbrandstof voor pilots in [Lieshout](#) en [Helmond](#).



Figuur 2.2 Ter illustratie: industrieel warmtesysteem met isolatie (Bron: Shutterstock)

## 2.5 Mobiliteit

In tabel 2.3 wordt voor de mobiliteitssector weergegeven welke veranderingen als gevolg van de energietransitie in de periode tot 2030 worden verwacht, per deel van de energieketen en per energievorm (elektriciteit, warmte, gassen).

Tabel 2.3 Veranderingen tot 2030 voor de mobiliteit als gevolg van de energietransitie

Ketendeel	Mobiliteit	Bron
Productie	<i>Elektriciteit</i>	Niet van toepassing
	<i>Warmte</i>	Niet van toepassing
	<i>Gassen</i>	Minder uitstoot van CO <sub>2</sub> en NO <sub>x</sub> (PBL, 2021)
Opslag	<i>Elektriciteit</i>	Meer elektrische auto's fungeren als thuisbatterij Gebruik van verwisselbare batterijcontainers <sup>35</sup> (ElaadNL (z.d.)) (ZES, 2021)
	<i>Warmte</i>	Niet van toepassing
	<i>Gassen</i>	Niet van toepassing
Transport	<i>Elektriciteit</i>	Niet van toepassing
	<i>Warmte</i>	Niet van toepassing
	<i>Gassen</i>	Meer vervoersbewegingen voor levering van waterstof aan waterstoftankstations en/of MFT (Gasunie, 2018)

<sup>35</sup> Een batterijcontainer is een standaard container (20 ft.) die gevuld is met batterijen die worden opgeladen met groene stroom. Een batterijcontainer kan op een schip worden geladen en deze voorzien van stroom voor de aandrijving.

Ketendeel	Mobiliteit	Bron
<i>Elektriciteit</i>	Toename van elektrische voer- en vaartuigen	(TNO, 2020a)
	Proeven met batterijtreinen	(SpoorPro, 2021)
	Toename van elektrische toepassingen in de binnenvaart	(Ingenieur, 2021)
<i>Warmte</i>	Niet van toepassing	
<b>Gebruik</b>	Mix van elektrisch, benzine, diesel en gas:	
	> Vrachtwagens gaan voor korte afstanden meer over op (bio-)LNG en CNG, biodiesel of elektrisch	(H2Platform, 2020).
	> Voor lange afstanden en bij bestelbusjes en zwaar transport wordt meer overgegaan op waterstof	(TNO, 2020a) (RIVM, 2019)
<i>Gassen</i>	Waterstof speelt tot 2030 een beperkte rol in de binnenvaart	(RHDHV, 2020)

### 2.5.1 Samenvattend

Het beperken van de uitstoot van CO<sub>2</sub> in de sector Mobiliteit leidt vooral tot ontwikkelingen op het gebied van het gebruik van elektriciteit en van gassen. De accu's van elektrische voertuigen gaan in de toekomst gebruikt worden als bufferopslag van elektriciteit. Warmte en de opslag van gassen spelen geen rol in deze sector.

## 2.6 Landbouw

Voor de sector Landbouw worden diverse veelbelovende ontwikkelingen en mogelijkheden beschreven, maar er worden weinig concrete verwachtingen gegeven. Initiatieven zijn vaak bedoeld voor eigen gebruik en hebben dus vooralsnog een sterk lokaal karakter. De vraag kan gesteld worden in hoeverre deze ontwikkelingen relevant zijn voor de omgevingsveiligheid, gezien de vaak grote afstand van landbouwbedrijven tot de gebouwde omgeving. In plaats van een tabel zoals in voorgaande paragrafen, is er voor gekozen enkele mogelijke ontwikkelingen te beschrijven in het onderstaande kader.

Energieproductie in de landbouw wordt vooral gezien in de vorm van zonnepanelen op daken en in zonneparken op landbouwgrond. Ook windturbines voor lokaal gebruik zijn in opkomst. Daarnaast zijn er steeds meer bedrijven die op kleine schaal experimenteren met vergisting van biomassa uit mest om biogas te maken, bijvoorbeeld voor eigen gebruik of in landbouwcollectieven (RVO, 2020 & Visser, 2020). Verder wordt in de glastuinbouw warmte gebruikt afkomstig van de industrie (restwarmte) en van geothermie en wordt gewerkt aan technieken om meer CO<sub>2</sub> vast te houden (LNV, 2019).

## 2.7 Sectoroverstijgende ontwikkelingen

Met zeven experts uit het bedrijfsleven of werkzaam bij overheden zijn interviews gehouden om na te gaan welke ontwikkelingen zij zien op het gebied van de energietransitie. Deze experts hebben zowel kennis van de energietransitie als van omgevingsveiligheid (zie bijlage

2 voor meer informatie). Zij benoemden een aantal ontwikkelingen die niet specifiek zijn maar in alle sectoren optreden. Die ontwikkelingen worden in deze paragraaf beschreven.

### **2.7.1 Koppeling van energiesystemen**

In de toekomst zullen meer energiesystemen zowel fysiek als digitaal aan elkaar gekoppeld worden om de energievoorziening flexibel te houden en om fluctuaties in vraag en aanbod van energie aan te kunnen. Deze koppeling vindt bijvoorbeeld plaats op plekken waar de ene vorm van energie wordt omgezet in een andere vorm, zoals wanneer elektrische energie wordt omgezet in chemische energie bij de elektrolyse van water waarbij waterstof wordt geproduceerd.

### **2.7.2 Clustering en decentralisatie**

De energietransitie brengt clustering en decentralisatie van (delen van) de energieketen met zich mee. Clustering speelt een rol in de sector Industrie waar energiehub's in opkomst en waarbij aanbieders van stroom, warmte en/of waterstof aan afnemers worden gekoppeld. Decentralisatie speelt een rol in de gebouwde omgeving, omdat de energieketen dichterbij de eindgebruiker komt, bijvoorbeeld in de vorm van opslag van elektriciteit (EOS) of waterstof bij een tankstation.

### **2.7.3 Pionieren en experimenteren**

Om de energietransitie te laten slagen, moet bij veel nieuwe technieken en ontwikkelingen ervaring worden opgedaan om voortijdig problemen en kennishiaten te signaleren. In deze fase is het soms nodig om deze ervaring op te doen op aangewezen locaties, bijvoorbeeld in woonwijken. Burgers kunnen echter ook op eigen houtje thuis experimenteren, bijvoorbeeld om kosten te drukken.

### **2.7.4 Oude en nieuwe systemen**

De overgang van fossiele brandstoffen naar duurzamere alternatieven is een proces dat jaren in beslag neemt. Nieuwe systemen op basis van duurzame brandstoffen als waterstof worden daardoor gebruikt naast of gekoppeld met bestaande systemen op basis van fossiele brandstoffen als aardgas en aardolie. Ook zullen bestaande systemen aangepast en gebruikt worden voor nieuwe toepassingen, zoals aardgasleidingen voor het transport van waterstof.

### **2.7.5 Graaf- en onderhoudswerkzaamheden**

Warmte- en elektriciteitsnetten liggen in de vorm van leidingen en kabels in de bodem begraven. Het aanleggen en het verzwaren van deze netten leidt er toe dat de grond over zekere afstand opengebrouwen moet worden en dat ruimte rondom de netten nodig is om de werkzaamheden te kunnen uitvoeren.

### **2.7.6 Tekort aan energie**

De vraag naar (duurzame) energie neemt de komende jaren toe, maar vraag en aanbod van energie kunnen lokaal door diverse omstandigheden niet in evenwicht zijn, bijvoorbeeld door gebrek of overschot aan zon en wind, door uitval van installaties, door te weinig capaciteit in netten of door geopolitieke gebeurtenissen. Waterstof en energieopslagsystemen kunnen de benodigde flexibiliteit bieden.

### **2.7.7 Tekort aan vakpersoneel**

Er is al enige tijd een groot gebrek aan goed opgeleid technisch personeel. Dit geldt zowel voor de installatiebranche, de industrie als voor de bouw. Het ziet er voorlopig niet naar uit dat het personeelstekort weggewerkt kan worden; dit raakt ook de energietransitie.

### **2.7.8 Geografische verschillen in snelheid en mate van ontwikkelingen**

Er zijn landelijk gezien grote verschillen in de omvang en snelheid van de ontwikkelingen op het gebied van de energietransitie, zeker waar het waterstof(dragers) en CO<sub>2</sub> betreft. Grote ontwikkelingen doen zich voor in de havengebieden van Rotterdam en Amsterdam, in Noord-Nederland, bij Chemelot in Limburg en in Zeeland.

# 3 Doorwerking van de energietransitie op omgevingsveiligheid

## 3.1 Inleiding

Hoofdstukken 1 en 2 hebben laten zien hoe breed en divers de energietransitie is en welke ontwikkelingen ermee gepaard gaan. De invloed van de energietransitie op de maatschappij is groot, maar welke doorwerking de energietransitie heeft op omgevingsveiligheid, is nog grotendeels onbekend terrein.

De term 'doorwerking' is een breed begrip. Met betrekking tot omgevingsveiligheid kan de energietransitie zowel in kwalitatieve zin als in kwantitatieve zin invloed hebben.

- > Kwalitatief: het gaat hierbij veelal om ontwikkelingen die sectoroverstijgend zijn en die gepaard gaan met of het resultaat zijn van de energietransitie.
- > Kwantitatief: het gaat hierbij om het veranderen van de kansen op een incident en om het veranderen van het effect van een incident (tezamen het risico van een incident). Het incident is direct of indirect het gevolg van de energietransitie.

Het RIVM heeft diverse rapporten geschreven over de doorwerking van de energietransitie op (omgevings)veiligheid (RIVM, 2019, 2020a en 2021 en ANV, 2020), maar die richten zich vooral op gezondheid, arbeidsveiligheid en nationale veiligheid. Omgevingsveiligheid wordt in de onderzoeken van het RIVM volledig als externe veiligheid beschouwd. In dit rapport heeft omgevingsveiligheid betrekking op de scenario's die een effect hebben op de fysieke leefomgeving en waarvoor de inzet van hulpdiensten nodig is. De nadruk ligt hierbij op het vrijkomen van (kleine en grote hoeveelheden) gevaarlijke stoffen met risico's voor derden, maar ook branden vallen onder omgevingsveiligheid.

Om de doorwerking van de energietransitie op omgevingsveiligheid te bepalen, zijn twee methoden gehanteerd: te weten interviews met zeven experts uit het bedrijfsleven of werkzaam bij overheden, en expert judgement door drie andere experts (zie bijlage 3); dit is aangevuld met eigen inzicht van het NIPV. De resultaten worden besproken in dit hoofdstuk. Daarmee wordt antwoord gegeven op de derde onderzoeksvraag: *Op welke manier werken deze ontwikkelingen door op de omgevingsveiligheid?*

### Expert judgement

De doorwerking van de energietransitie in kwantitatieve zin is niet eenvoudig te bepalen. Hier is een aantal redenen voor:

- > Ontwikkelingen op het gebied van de energietransitie worden vaak globaal beschreven en zijn weinig specifiek.
- > Er is te weinig informatie beschikbaar over een ontwikkeling of een deelonderwerp om de doorwerking te kunnen kwantificeren.



Het is bijvoorbeeld eenvoudiger om de doorwerking van een waterstofaggregaat met 5 kilo waterstof in de gebouwde omgeving te bepalen dan van de ontwikkeling dat 'waterstof geproduceerd wordt in demonstratieprojecten' (zie Tabel 2.1). Om toch een gevoel te krijgen voor de mate van doorwerking, is gebruikgemaakt van expert judgement. Hierbij zijn drie experts geraadpleegd die kennis hebben van zowel omgevingsveiligheid als van de energietransitie. Zij hebben de veranderingen als gevolg van de energietransitie (Hoofdstuk 2) onafhankelijk van elkaar gescoord op drie aspecten van omgevingsveiligheid, te weten: de kans op een incident, het effect van een incident en het risico op een incident. Het is van belang hier op te merken dat de resultaten een beeld geven van de verandering van kansen, effecten en risico's van incidenten, niet van de absolute grootte. Het is bovendien niet zonder meer mogelijk om de verschillende ontwikkelingen met elkaar te vergelijken.

De resultaten van de expert judgement zijn in de volgende paragrafen verwerkt. Daarbij is er rekening mee gehouden dat de resultaten gezien moeten worden als een indicatie vanwege het beperkte aantal respondenten. In bijlage 3 wordt een nadere toelichting gegeven op de werkwijze van expert judgement. In Tabel B3.1 is een volledig overzicht van de scores opgenomen.

## 3.2 Doorwerking elektriciteit

Deze paragraaf beschrijft de doorwerking van de ontwikkelingen voor de energieketen Elektriciteit in de diverse sectoren. Hierbij is specifiek gekeken naar kansen, effecten en risico's van mogelijke incidenten die plaats kunnen vinden als gevolg van de ontwikkelingen op het gebied van de energietransitie. De doorwerkingen zijn een samenvatting van de resultaten van expert judgement, aangevuld met de mening van het NIPV.

De doorwerkingen van de diverse ontwikkelingen op omgevingsveiligheid zijn ruw geschat. Enerzijds wordt dit veroorzaakt door gebrek aan goede gegevens en anderzijds zijn de gevolgen voor de fysieke leefomgeving afhankelijk van veel factoren, waaronder de ontwikkeling zelf, de grootte van een mogelijk incident en de omgeving waarin het incident plaatsvindt.

De beschrijving in de kolom 'Doorwerking' van Tabel 3.1 - Tabel 3.3 wordt hieronder toegelicht:

- > *Kansen zijn bekend*: de kans op een incident is redelijk in te schatten, bijvoorbeeld aan de hand van beschikbare gegevens of met behulp van gegevens van soortgelijke systemen ('analogon'). Kansen kunnen tot op 1 à 2 ordegrottes geschat worden.
- > *Kansen zijn onbekend*: de kans op een incident is niet in te schatten, bijvoorbeeld omdat het om nieuwe technieken gaat waar geen ervaring mee is opgedaan, waardoor er geen of onvoldoende data beschikbaar zijn.
- > *Effecten zijn bekend*: van veel mogelijke incidenten is op voorhand bekend wat de gevolgen kunnen zijn. Dit betreft de aard van de effecten: de omvang van de effecten is afhankelijk van de grootte van het incident.
- > *Effecten zijn onbekend*: bij nieuwe ontwikkelingen of bij het combineren van diverse technieken en processen kunnen zich effecten voordoen die nog onbekend zijn of niet verwacht werden.
- > *Risico's zijn bekend*: als kansen op en effecten van mogelijke incidenten op grote lijnen bekend zijn, dan geldt dat ook voor de risico's. Als één van de twee echter niet bekend is maar wel als klein of laag wordt ingeschat, dan kan het resulterend risico ook als laag worden ingeschat ('*drie keer niks is nog steeds niks*'). Dit maakt dat het risico als bekend wordt ingeschat.
- > *Risico's zijn onbekend*: het gaat hierbij om risico's van ontwikkelingen waarvan de effecten van mogelijke incidenten niet bekend zijn of niet verwacht worden.

De resultaten staan beschreven in Tabel 3.1 en zijn ingedeeld naar sector en naar ketendeel. Ter verduidelijking van de doorwerkingen worden in Tabel 3.1 voorbeelden genoemd

die illustratief zijn voor een gegeven combinatie van sector en ketendeel. De voorbeelden zijn afkomstig uit Tabel 2.1 tot Tabel 2.3.

**Tabel 3.1 Doorwerking van de ontwikkelingen op het gebied van elektriciteit op de omgevingsveiligheid**

Ketendeel	Illustratief voorbeeld	Doorwerking
<b>Gebouwde omgeving</b>		
Productie	Windturbines	Effecten zijn bekend en nemen ter plaatse toe Kansen zijn bekend en nemen ter plaatse toe Risico's zijn bekend en nemen ter plaatse toe Risico's zijn verspreid (decentraal)
	Zonnepanelen	Effecten zijn bekend en blijven gelijk Kansen zijn bekend en blijven gelijk Risico's zijn bekend en blijven gelijk Risico's zijn verspreid (decentraal)
Opslag	EOS, thuisopslag	Effecten zijn bekend en nemen ter plaatse toe Kansen zijn onbekend en nemen ter plaatse toe Risico's zijn onbekend en nemen ter plaatse toe Er zijn nog kennishiaten en mogelijk blinde vlekken Risico's zijn verspreid (decentraal)
Transport	Uitbreiding elektriciteitsnet	Effecten zijn bekend en blijven gelijk Kansen zijn bekend, maar onduidelijk is of deze toenemen bij aanleg en gebruik Risico's zijn bekend, maar onduidelijk is of deze toenemen bij aanleg en gebruik Risico's liggen op transportroutes
Gebruik	Meer en zwaardere elektrische apparatuur	Effecten zijn bekend en worden groter Kansen zijn onbekend en worden groter Risico's zijn bekend en nemen ter plaatse toe Risico's zijn verspreid (decentraal)
	Nieuwe toepassingen	Nieuwe risico's Effecten kunnen bekend zijn of niet en nemen lokaal toe Kansen zijn onbekend en nemen ter plaatse toe Er zijn nog kennishiaten en mogelijk blinde vlekken Risico's zijn verspreid (decentraal)
<b>Industrie</b>		
Productie	Stijging productie	Effecten zijn bekend en blijven gelijk Kansen zijn bekend en blijven gelijk Risico's zijn bekend en blijven gelijk Risico's zijn gecentreerd Ligging is bekend
	Energiehub	Effecten zijn bekend en nemen ter plaatse toe Kansen zijn onbekend en nemen ter plaatse toe Risico's zijn gecentreerd

Ketendeel	Illustratief voorbeeld	Doorwerking
		Ligging is bekend of nieuw
	Nieuwe productietechnieken (waterstofcentrale)	Effecten zijn bekend en blijven gelijk Kansen zijn onbekend en nemen ter plaatse toe Risico's nemen ter plaatse wat toe Er zijn nog kennishiaten en mogelijk blinde vlekken Risico's zijn gecentreerd Ligging is bekend of nieuw
Opslag	Batterijopslag	Effecten zijn bekend en nemen ter plaatse toe Kansen zijn onbekend en nemen ter plaatse toe Risico's nemen ter plaatse toe. Er zijn nog kennishiaten en mogelijk blinde vlekken Risico's zijn gecentreerd. Ligging is bekend
Transport	Uitbreiding elektriciteitsnet	Effecten zijn bekend en blijven gelijk Kansen zijn bekend en nemen ter plaatse wat toe tijdens aanleg en onderhoud Risico's zijn bekend en nemen nauwelijks toe Risico's liggen op transportroutes
Gebruik	Elektrificatie bestaande processen	Effecten zijn deels bekend (bestaand proces), deels nieuw (aandrijving) en blijven gelijk Kansen zijn onbekend en nemen ter plaatse wat toe Risico's nemen ter plaatse wat toe Risico's zijn gecentreerd Ligging is bekend
<b>Mobiliteit</b>		
Opslag	Elektrische auto als thuisbatterij	Effecten zijn deels bekend (brandweer), deels onbekend (netbeheerder) en blijven gelijk Kansen zijn onbekend en nemen ter plaatse wat toe Risico's zijn verspreid (decentraal)
Gebruik	Toename batterij-elektrische voortstuwing in alle modaliteiten	Effecten zijn bekend en blijven gelijk Kansen zijn onbekend en nemen ter plaatse wat toe Risico's nemen ter plaatse wat toe Risico's zijn deels verspreid (elektrische auto's) en liggen deels op transportroutes

De doorwerkingen op omgevingsveiligheid kunnen als volgt samengevat worden:

- > De effecten van mogelijke incidenten in de energieketen Elektriciteit zijn bekend (dat wil zeggen: de aard van de effecten), maar de kansen op mogelijke incidenten niet altijd.
- > De schaalgrootte en/of het vermogen van installaties en toepassingen in de energieketen Elektriciteit nemen in alle sectoren toe. Daardoor kunnen effecten van mogelijke incidenten toenemen en daarmee ook de impact op de omgeving.

- > De locaties waar risico's zich voor kunnen doen, zijn bekend en geconcentreerd in industriële omgevingen en langs transportroutes, maar zijn onbekend en verspreid in de gebouwde omgeving.

### 3.3 Doorwerking warmte

De doorwerking van de ontwikkelingen voor de energieketen Warmte op omgevingsveiligheid wordt per sector in Tabel 3.2 beschreven. Hierin zijn ook de sectoroverstijgende ontwikkelingen (zie paragraaf 3.5) verwerkt. De voorbeelden in Tabel 3.2 zijn afkomstig uit Tabel 2.1 en Tabel 2.2. De sector Mobiliteit is buiten beschouwing gelaten, omdat warmte in deze sector geen rol speelt (zie paragraaf 2.5).

Wat betreft doorwerking is specifiek gekeken naar kansen, effecten en risico's van mogelijke incidenten; deze zijn bepaald op basis van expert judgement (zie het kader in paragraaf 3.1 en bijlage 3) en eigen expertise van het NIPV. Voor de doorwerking van ontwikkelingen voor de energieketen Warmte wordt alleen gekeken naar warmte afkomstig van warm water. Warmte verkregen uit elektriciteit en warmte uit verbranding van gassen worden in deze paragraaf buiten beschouwing gelaten. Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 3.2 en Tabel 3.1, respectievelijk paragraaf 3.4 en Tabel 3.3.

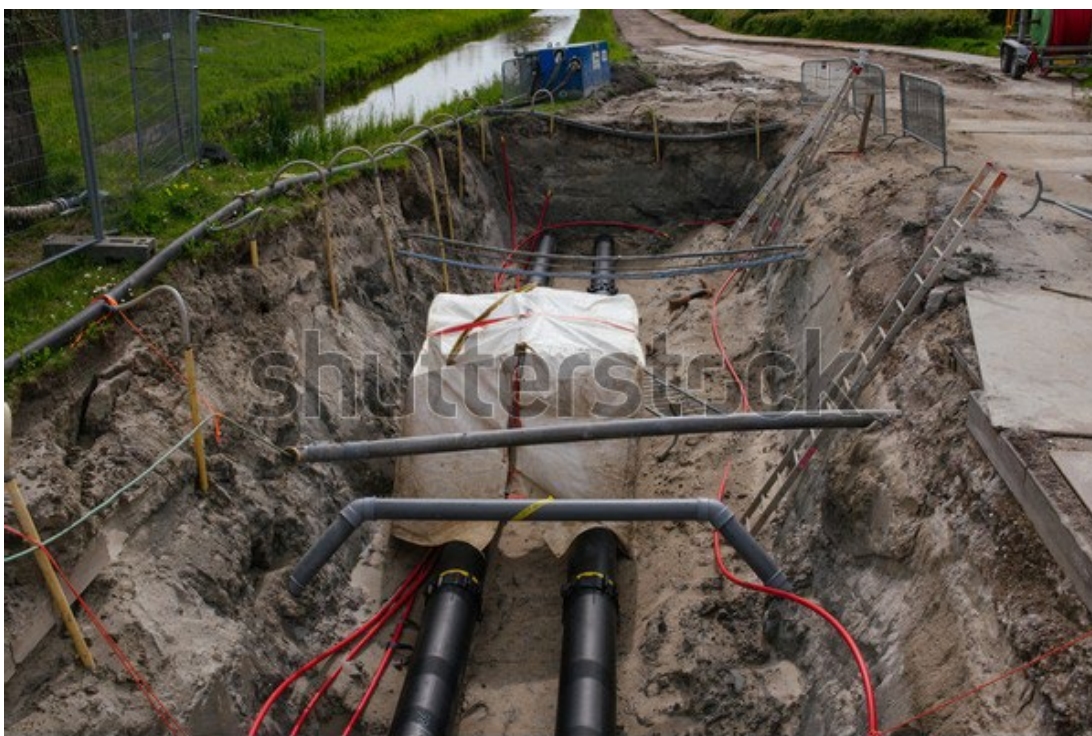
**Tabel 3.2 Doorwerking van de ontwikkelingen op het gebied van warmte op omgevingsveiligheid**

Ketendeel	Voorbeeld	Doorwerking
<b>Gebouwde omgeving</b>		
Productie	Meer geothermie	Effecten zijn bekend Kansen zijn onbekend en nemen ter plaatse toe Kennishiaten en mogelijk blinde vlekken Risico's zijn deels bekend en nemen ter plaatse toe Ligging is bekend of nieuw
	Mix van warmtetechnieken en -bronnen; pionieren	Kansen zijn onbekend en nemen wat toe Effecten zijn nihil Risico's zijn nihil
Opslag	Klein- en grootschalige opslag	Kansen zijn onbekend en nemen wat toe Effecten zijn nihil Risico's zijn nihil
Transport	Uitbreiding warmtenet	Kansen zijn bekend, grotere kans bij aanleg en onderhoud Effecten zijn nihil Risico's zijn nihil
Gebruik	Meer woningen met nieuwe en/of meerdere warmtetechnieken en -bronnen	Kansen zijn onbekend en nemen toe Effecten zijn nihil Risico's zijn nihil

Ketendeel	Voorbeeld	Doorwerking
<b>Industrie</b>		
Productie	Uitfaseren kolencentrales	Effecten zijn bekend en nemen ter plaatse af Kansen zijn bekend en nemen ter plaatse af Risico's zijn bekend en nemen ter plaatse af Risico's zijn gecentreerd en ligging is bekend
	Optimaliseren bedrijfsprocessen	Effecten zijn bekend en blijven gelijk Kansen zijn bekend en blijven gelijk Risico's zijn bekend, blijven gelijk en zijn nihil
Transport	Meer restwarmte naar warmtenetten	Effecten zijn bekend en blijven gelijk Kansen zijn bekend en blijven gelijk Risico's zijn bekend, blijven gelijk en zijn nihil
Gebruik	Toename warmtesystemen (bij gelijk warmtegebruik)	Effecten zijn bekend en blijven gelijk Kansen zijn bekend en blijven gelijk Risico's zijn bekend, blijven gelijk en zijn nihil

De doorwerkingen op omgevingsveiligheid kunnen als volgt samengevat worden:

- > De ontwikkelingen voor de energieketen Warmte spelen geen rol van betekenis voor omgevingsveiligheid, met uitzondering van geothermie.



www.shutterstock.com · 1980329723

**Figuur 3.1** Aanleg van warmtenet voor eco-woningen (Foto: Shutterstock)

## 3.4 Doorwerking gassen

Deze paragraaf beschrijft de doorwerking van de ontwikkelingen voor de energieketen Gassen in de diverse sectoren. De resultaten staan beschreven in Tabel 3.3 en zijn ingedeeld naar sector en naar ketendeel. In Tabel 3.3 worden voorbeelden genoemd die illustratief zijn voor een gegeven combinatie van sector en ketendeel. De voorbeelden zijn afkomstig uit Tabel 2.1, Tabel 2.2 en Tabel 2.3.

De doorwerkingen in Tabel 3.3 zijn een samenvatting van de resultaten van expert judgement (zie het kader in paragraaf 3.1 en bijlage 3) en eigen expertise van het NIPV.

In Tabel 3.3 zijn enkele ontwikkelingen niet meegenomen:

- > De verlaagde uitstoot van CO<sub>2</sub> en NO<sub>x</sub> is niet meegenomen, omdat deze ontwikkeling niet op lokaal niveau doorwerkt, maar op landelijk en mondiaal niveau.
- > Transport van ammoniak per trein is niet meegenomen, omdat dit transport (nog) verboden is.
- > Het opslaan van CO<sub>2</sub> onder de Noordzee is niet meegenomen, omdat deze ontwikkeling geen doorwerking heeft op het vaste land.

**Tabel 3.3 Doorwerking van de ontwikkelingen op het gebied van gassen op omgevingsveiligheid**

Ketendeel	Voorbeeld	Doorwerking
<b>Gebouwde omgeving</b>		
Productie	Elektrolyse water	Effecten zijn bekend en nemen ter plaatse toe Kansen zijn onbekend en nemen ter plaatse toe Risico's nemen ter plaatse toe, maar ontwikkeling tot 2030 beperkt Er zijn nog kennishiaten en mogelijk blinde vlekken Risico's zijn verspreid (decentraal) Ligging onbekend
Opslag	Opslag van gasvormig waterstof in cilinders	Effecten zijn bekend en nemen ter plaatse toe Kansen zijn bekend en nemen ter plaatse toe Risico's nemen ter plaatse toe, maar ontwikkeling tot 2030 beperkt Risico's zijn verspreid (decentraal) Ligging bekend (waterstoftankstation) of onbekend (woningen)
Transport	Beperkt transport van waterstof i.p.v. aardgas door distributieleidingen	Effecten zijn bekend, nemen af voor fakkels en nemen toe voor explosies Kansen zijn bekend en blijven gelijk Risico's zijn bekend, nemen af voor fakkels zijn en nemen toe voor explosies. De ontwikkeling is tot 2030 beperkt Risico's liggen op transportroutes Ligging bekend

Ketendeel	Voorbeeld	Doorwerking
	Minder transport van aardgas door distributieleidingen	Effecten zijn bekend en nemen af (lagere druk) Kansen zijn bekend en blijven gelijk Risico's nemen af Risico's liggen op transportroutes Ligging bekend
Gebruik	Beperkt gebruik waterstof ter vervanging van aardgas	Effecten zijn bekend en blijven gelijk Kansen zijn bekend en blijven gelijk Risico's zijn bekend en blijven gelijk, ontwikkeling tot 2030 beperkt Risico's zijn verspreid (decentraal) Ligging bekend (waterstoftankstation) of onbekend (woningen)
	Afname van aardgasgebruik	Effecten zijn bekend en blijven gelijk, maar verdwijnen waar aardgas niet meer wordt gebruikt Kansen zijn bekend en blijven gelijk Risico's blijven gelijk, maar verdwijnen waar aardgas niet meer wordt gebruikt Risico's zijn verspreid (decentraal) Ligging bekend
<b>Industrie</b>		
Productie	Productie van waterstof en groen gas neemt toe	Effecten zijn bekend en nemen ter plaatse toe Kansen zijn bekend en nemen ter plaatse toe (electrolyzers) of blijven gelijk (SMR) Risico's nemen toe, maar kunnen binnen de terreingrens blijven Risico's zijn gecentreerd Ligging bekend
Opslag	Ondergrondse opslag waterstof in zoutcavernes	Effecten zijn bekend en worden ter plaatse groter Kansen zijn onbekend en worden ter plaatse groter Risico's zijn onbekend en worden ter plaatse groter Risico's zijn gecentreerd Ligging bekend
	Opslag ammoniak in havens	Effecten zijn bekend en worden ter plaatse groter Kansen zijn bekend en worden ter plaatse groter Risico's zijn bekend en worden ter plaatse groter Risico's zijn gecentreerd Ligging bekend

Ketendeel	Voorbeeld	Doorwerking
Transport	Transport waterstof door aardgasleidingen <sup>36</sup>	Effecten zijn bekend en worden kleiner Kansen zijn bekend en blijven gelijk Risico's zijn bekend en worden kleiner Risico's liggen op transportroutes Ligging bekend
	Transport van CO <sub>2</sub> en van waterstof door nieuwe leidingen	Effecten zijn bekend en worden ter plaatse groter Kansen zijn bekend en worden ter plaatse groter Risico's zijn bekend en worden ter plaatse groter Risico's liggen op transportroutes Ligging bekend
	Aanvoer van vloeibaar waterstof of ammoniak per zeeschip	Effecten zijn bekend en worden ter plaatse groter Kansen zijn bekend en blijven gelijk Risico's zijn bekend en worden groter Risico's liggen op transportroutes Ligging bekend
Gebruik	Toename van gebruik van waterstof ter vervanging van aardgas	Effecten zijn bekend en blijven gelijk Kansen zijn bekend en blijven gelijk Risico's zijn bekend en blijven gelijk Risico's zijn gecentreerd Ligging bekend
	Afname van aardgasgebruik	Effecten zijn bekend en blijven gelijk, maar verdwijnen waar aardgas niet meer wordt gebruikt Kansen zijn bekend en blijven gelijk Risico's zijn bekend en blijven gelijk, maar verdwijnen waar aardgas niet meer wordt gebruikt Risico's zijn gecentreerd Ligging bekend
<b>Mobiliteit</b>		
Transport	Meer leveringen van waterstof aan tankstations	Effecten zijn bekend en blijven gelijk Kansen zijn bekend en nemen ter plaatse toe Risico's zijn bekend en nemen ter plaatse toe Risico's liggen op transportroutes Ligging bekend
Gebruik	Toename van gebruik van waterstof en aardgas voor de voortstuwing in wegtransport	Effecten zijn bekend en worden ter plaatse groter Kansen zijn bekend en blijven gelijk Ligging deels bekend (transportroutes) deels onbekend (buiten transportroutes)

<sup>36</sup> Voor hogedruk transportleidingen wordt alleen gerekend met een fakkel en niet met een explosie, omdat de huidige rekenmethodiek alleen uitgaat van directe ontsteking. De modellering van waterstofleidingen wordt momenteel herzien door het RIVM en daarmee ook de kans op ontsteking en de verhouding directe en vertraagde ontsteking. Mogelijk dat daarom in de toekomst wel rekening gehouden moet worden met een explosie.



De doorwerkingen op omgevingsveiligheid kunnen als volgt samengevat worden:

- > De locaties waar risico's zich kunnen voordoen, zijn bekend en gecentreerd in industriële omgevingen en langs transportroutes, maar zijn onbekend en verspreid in de gebouwde omgeving.
- > Nieuwe en grotere activiteiten in de industrie op het gebied van productie, opslag en gebruik van waterstof leiden ter plaatse tot een toename van risico's. Wanneer de effecten van mogelijke incidenten met waterstof niet voorbij de terreingrens komen, is de doorwerking van deze incidenten op de omgeving echter beperkt.
- > Nieuwe activiteiten in de gebouwde omgeving op het gebied van productie, opslag en gebruik van waterstof leiden ter plaatse tot een toename van risico's. De effecten van mogelijke incidenten met waterstof kunnen doorwerken op de omgeving. De verwachting is echter dat waterstof tot 2030 beperkt aanwezig zal zijn in de gebouwde omgeving.
- > Als voor het transport van waterstof aardgasleidingen worden gebruikt, blijven de risico's ongeveer gelijk en daarmee ook de doorwerking op de omgeving.

De toename van het gebruik van elektrische auto's leidt in Nederland niet tot een afname van het gebruik van fossiele brandstoffen door het wegverkeer en daarmee niet tot lagere risico's. Gegevens van het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS, 2022) laten zien dat het gebruik van aardoliegrondstoffen door het wegverkeer tot en met 2019 steeg omdat het aantal afgelegde kilometers door benzineauto's steeg (CBS, z.d.). Door de coronacrisis is er vanaf 2020 wel een daling te zien, maar het is de vraag of die daling zich voortzet richting 2030. Over het gebruik van aardoliegrondstoffen door de transportsector in de komende jaren zijn geen gegevens gevonden.

## 3.5 Sectoroverstijgende doorwerking

De zeven geïnterviewde experts hebben niet alleen sectoroverstijgende ontwikkelingen van de energietransitie aangegeven (paragraaf 2.7), maar ook de doorwerking van die ontwikkelingen op omgevingsveiligheid. De opvattingen van de geïnterviewde experts – aangevuld met die van het NIPV – worden in deze paragraaf beschreven.

### 3.5.1 Koppeling van energiesystemen

Het fysiek en digitaal aan elkaar koppelen van verschillende (complexe) energiesystemen introduceert een onderlinge afhankelijkheid: als een (deel van een) energiesysteem niet goed functioneert of uitvalt, werkt dat door in het functioneren van andere energiesystemen, met mogelijk ernstige gevolgen voor de vitale infrastructuur (Perrow, 1984).

### 3.5.2 Clustering en decentralisatie

- > Door decentralisatie van productie, opslag en gebruik van energie, ontstaan andere risicoprofielen: vooral in de gebouwde omgeving en in de landbouwsector ontstaan lokaal veiligheidsvraagstukken doordat er nieuwe, kleinere risico's bijkomen.<sup>37</sup> Te denken valt aan risico's die gepaard gaan met bijvoorbeeld waterstofaggregaten op bouwplaatsen of aan EOS-systemen in woonwijken.
- > Bij energiehubbs komen verschillende energiesystemen voor productie, opslag, en/of transport van energie bij elkaar.<sup>38</sup> Deze clustering zorgt ervoor dat het risico van een energiehub gelijk is aan de som van de risico's van de afzonderlijke energiesystemen.

<sup>37</sup> Kleiner dan soortgelijke risico's in de sector Industrie.

<sup>38</sup> In een energiehub kunnen de diverse vormen van energie omgezet worden (conversie).

Maar daarnaast kan door de korte afstanden tussen de diverse energiesystemen een incident bij het ene systeem leiden tot een incident bij het andere. En door het fysiek en digitaal koppelen van energiesystemen ontstaan risico's zoals die zijn toegelicht in paragraaf 3.5.1.

- > Bij het decentraliseren – en mogelijk ook bij het clusteren – van energiesystemen waar gevaarlijke stoffen bij betrokken zijn, worden risico's niet meer centraal geregeld. De aanwezige hoeveelheden gevaarlijke stoffen kunnen daar te klein voor zijn, waardoor wetgeving zoals het Besluit externe veiligheid inrichtingen (Bevi) voor de opslag en productie van gevaarlijke stoffen niet van toepassing is. Het ontbreken van wetgeving kan tot potentieel gevaarlijke situaties leiden.

### 3.5.3 Pionieren en experimenteren

- > Het pionieren en experimenteren met nieuwe technologieën en toepassingen kan op locatie meer en/of nieuwe veiligheidsrisico's met zich meebrengen, bijvoorbeeld omdat bedrijven zich niet bewust zijn van risico's en van hun verantwoordelijkheid hierin. Juist in de fase waarin ervaring opgedaan moet worden, is de kans op een incident groter dan bij een techniek of toepassing die zich in de praktijk al bewezen heeft.
- > Omdat techniek meestal voorloopt op wetgeving, bestaat voor nieuwe technologieën en toepassingen nog geen wet- en regelgeving die toeziet op veiligheid. Hierdoor is het voor de betrokkenen niet duidelijk onder welke voorwaarden pionieren en experimenteren zo veilig mogelijk kunnen gebeuren.
- > Er kunnen ontwikkelingen plaatsvinden waaraan veiligheidsrisico's verbonden zijn, maar waarover de veiligheidsregio's bij de vergunningverlening niet om advies gevraagd worden en/of waar zij geen melding over krijgen. Dit kan tot gevaarlijke situaties leiden, bijvoorbeeld als de ontwikkeling op een onveilige locatie geplaatst wordt, als de veiligheidsregio's zich niet kunnen voorbereiden op een mogelijk incident omdat zij niet op de hoogte zijn, of als waterstof- en batterijsystemen niet als zodanig herkenbaar zijn.
- > Menig burger zal ook zelf in en om de woning (nieuwe) toepassingen c.q. oplossingen gaan bedenken om energie op te wekken en/of op te slaan. Dat kan allerlei redenen hebben: gedrevenheid om bij te dragen aan de energietransitie of om te besparen op energiekosten, of uit noodzaak geboren zijn, bijvoorbeeld omdat een warmtenet in de woonwijk nog niet functioneert. Bij dit soort initiatieven en oplossingen is het goed mogelijk dat er geen of onvoldoende rekening wordt gehouden met veiligheid. Een hobbyist hoeft bijvoorbeeld niet op de hoogte te zijn van veiligheidsnormen of iemand vindt de kosten van het inhuren van een installateur te hoog. Hierdoor neemt de kans op incidenten toe en ontstaan veiligheidsrisico's voor de bewoner, maar ook voor hulpverleners.

Een ontwikkeling doorloopt meerdere fasen, te beginnen met het uitwerken van innovatieve ideeën tot het 'in de markt zetten' van producten of technieken. Met behulp van zogenaamde Technical Readiness Levels (TRLs) wordt aangegeven in welke fase een ontwikkeling zich bevindt (Denagel, 2022). De snelheid waarmee ontwikkelingen gepaard gaan, verschilt per toepassing. Een pilot om een nieuwe techniek in de praktijk te demonstreren zal bijvoorbeeld een hogere kans op een incident geven dan een project waarbij een techniek opgeschaald wordt.

Dat de energietransitie zal doorwerken op omgevingsveiligheid is volgens de geïnterviewde experts evident, maar *hoe* is vaak nog de vraag. Bij sommige ontwikkelingen hebben zij een beeld van de mogelijke veiligheidsrisico's die die ontwikkelingen met zich meebrengen, maar bij andere ontwikkelingen hebben zij daar nog geen (duidelijk) zicht op. Bovendien is het beeld daarmee uiteraard niet

volledig. Er zullen in de komende jaren nieuwe technologieën en toepassingen ontwikkeld worden die we nu nog niet voorzien, met mogelijk nieuwe veiligheidsrisico's. Ook (nieuwe) combinaties van technologieën en toepassingen kunnen voor onvoorziene risico's zorgen die anders zijn dan een optelsom van de reeds bekende risico's van die technologieën en toepassingen. Maar ook kunnen de in dit rapport geschetste verwachte ontwikkelingen meer, grotere of andere veiligheidsrisico's blijken op te leveren dan momenteel wordt voorzien. Aan de hand van het Johari-venster kan dit geheel van voorziene en onvoorziene, bekende en onbekende veiligheidsrisico's in beeld gebracht worden:<sup>39</sup>

<p style="text-align: center;"><b>Known knowns</b> <i>Risico's waarvan we weten dat we ze kennen</i></p> <p>De meeste risico's die in dit rapport beschreven worden, vallen in deze categorie, omdat ze gebaseerd zijn op bestaande kennis.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Known unknowns</b> <i>Risico's waarvan we weten dat we ze niet kennen</i></p> <p>Het gaat hier om <b>kennishiaten</b>. Er bestaat wel deels kennis over risico's, maar deels ook niet. Om deze hiaten op te vullen, is verder onderzoek nodig.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Unknown knowns</b> <i>Risico's waarvan we niet weten dat we ze kennen</i></p> <p>Dit is niet van toepassing.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Unknown unknowns</b> <i>Risico's waarvan we niet weten dat we ze niet kennen</i></p> <p>Het gaat hier om <b>blinde vlekken</b>. Dit is de gevaarlijkste categorie, want op deze risico's kunnen we ons niet voorbereiden.</p>

- > Een voorbeeld van *known knowns* is het effect dat optreedt als waterstof vrijkomt en direct ontsteekt (fakkel).
- > Voorbeelden van *known unknowns* zijn de nog onbekende risico's van CO<sub>2</sub> (opslag en transport) of de nog onbekende risico's die voort kunnen komen uit het koppelen van technieken en systemen: er zijn risico's te verwachten, maar het is onbekend wat en hoe groot die zijn.
- > Een voorbeeld van *unknown unknowns* zijn de risico's van pilotprojecten. Als deze pilots niet bekend zijn bij veiligheidsdiensten en omgevingsdiensten, zijn zij zich er niet van bewust dat er op een bepaalde locatie risico's zijn.

### 3.5.4 Oude en nieuwe systemen

De overgang van oude naar nieuwe installaties introduceert nieuwe risico's, naast de al bestaande risico's:

- > Bestaande installaties en materialen zullen voor nieuwe toepassingen gebruikt worden. Dit kan bekende en onbekende risico's met zich meebrengen. Het is niet vanzelfsprekend dat een systeem dat is ontworpen en getest voor een bepaalde toepassing, ook goed functioneert en blijft functioneren als het gebruikt wordt voor een andere toepassing of als het gebruikt wordt op een andere manier dan waarvoor het bedoeld is.
- > De energietransitie kan er ook toe leiden dat langer dan wenselijk gewacht wordt met het vervangen van installaties, bijvoorbeeld omdat men verwacht dat deze binnen afzienbare tijd niet meer gebruikt zullen worden, of omdat (onderdelen voor de) installaties niet of nauwelijks meer leverbaar zijn. Hierdoor worden installaties langer gebruikt dan de bedoeling is en neemt de kans op incidenten toe.

<sup>39</sup> Het Johari-venster is ontwikkeld in de psychologie als model om mensen te helpen hun relatie met anderen en zichzelf beter te begrijpen. J. Luft & H. Ingham (1955). The Johari window, a graphic model of interpersonal awareness. *Proceedings of the western training laboratory in group development*. UCLA. De naam *Johari* is een samentrekking van de namen van de onderzoekers, Joseph Luft en Harrington Ingham.

### 3.5.5 Graaf- en onderhoudswerkzaamheden

Doordat de grond steeds voller raakt door het aanleggen van nieuwe en verzwaren van bestaande warmte- en elektriciteitsnetten, wordt de kans op schade bij graafwerkzaamheden (en daardoor op ontwrichting van verkeer en nutsvoorzieningen) groter.

### 3.5.6 Tekort aan energie

- > Als het aanbod van alternatieve energiebronnen de afname van het aanbod van fossiele brandstoffen niet kan compenseren, kan dit leiden tot een (tijdelijk) energietekort. Hoewel de leveringszekerheid van energie wettelijk geregeld is, kunnen bijvoorbeeld geopolitieke ontwikkelingen tot schaarste of hoge prijzen leiden, met maatschappelijke onrust tot gevolg.
- > De toenemende vraag naar elektriciteit legt een grote druk op het materiaalgebruik van elektriciteitsinstallaties en -netten. De toenemende vraag kan ertoe leiden dat er een tekort aan onderdelen is, dat langer wordt gewerkt met (afgeschreven) materialen, dat onderdelen worden gereviseerd of dat noodgedwongen met andere materialen of onderdelen gewerkt moet worden. Dit vergroot de kans op incidenten.

### 3.5.7 Tekort aan technisch personeel

Er is al jaren een groot gebrek aan goed opgeleid technisch personeel (in de installatiebranche, in de industrie en in de bouw) en dit zal de komende jaren nog wel zo blijven.<sup>40</sup> Dit vertraagt de werkzaamheden die nodig zijn voor de energietransitie en vergroot de kans op fouten bij installaties en daardoor de kans op incidenten.

## 3.6 Doorwerking op bestuurlijk vlak

Landelijk gezien zijn er grote verschillen in de omvang en de snelheid van de energietransitie. Dit betekent ook, dat er grote verschillen zijn in de voorbereiding op de doorwerking van de energietransitie op omgevingsveiligheid. Zo wordt in grote steden als Rotterdam en Amsterdam al volop nagedacht over de mogelijke consequenties van de energietransitie voor omgevingsveiligheid, terwijl die noodzaak elders in het land (nog) niet in die mate gevoeld wordt. Dit kan tot gevolg hebben dat de veiligheid van de energietransitie bij bestuurders in sommige delen van Nederland meer op het netvlies staat dan in andere delen.

De rol van lokale bestuurders bij vraagstukken rond de energietransitie, ruimtelijke inpassingen en veiligheid is cruciaal: zij besluiten welke initiatieven in hun gemeente zullen plaatsvinden. Bestuurders laten zich op allerlei wijzen adviseren en informeren: door omgevingsdiensten en veiligheidsregio's, maar ook door het bedrijfsleven, via burgerinitiatieven, et cetera. Zij moeten hierbij de diverse belangen afwegen en uiteindelijk keuzes maken. Om een eerste indruk te krijgen van wat de doorwerking van de energietransitie voor het lokale bestuur betekent, zijn oud-burgemeester Jan van Belzen (Barendrecht, tevens voorzitter bestuurlijke werkgroep BOVEN<sup>41</sup>) en wethouder Rik van der Linden (Dordrecht, portefeuille Energie en Milieu) gevraagd om voor dit rapport hun kijk op de energietransitie in relatie tot omgevingsveiligheid te geven.

<sup>40</sup> Zie bijvoorbeeld het [nieuwsbericht](#) van NOS Nieuwsuur over het tekort aan technisch personeel.

<sup>41</sup> BOVEN: Bestuurlijk Omgaan met Veiligheidsrisico's van de Energietransitie

De kernboodschap van beide bestuurders betreft risicocommunicatie. Momenteel wordt er niet gecommuniceerd over de veiligheidsrisico's van de energietransitie. In het kader van de zorgplicht is het echter van groot belang dat niet pas bij incidenten naar de bevolking gecommuniceerd wordt. In de risicocommunicatie moet er rekening mee gehouden worden dat niet alleen feiten maar ook emoties een rol spelen in de risicoperceptie van de bevolking. Daarnaast moeten veiligheidsrisico's ook uitlegbaar zijn. Belangrijke aspecten daarbij zijn de maatschappelijke relevantie van nieuwe initiatieven, het afwegen van verschillende belangen en het accepteren dat er risico's zijn.

Risicocommunicatie moet gebaseerd zijn op feitenkennis. Bestuurders moeten dus weten welke ontwikkelingen op het gebied van de energietransitie er in de eigen gemeente zijn of komen. Als de deskundigen hun kennis eenvoudig en begrijpelijk kunnen verwoorden, helpt dat de bestuurders om helder over de risico's te communiceren. Daarnaast zou een meldplicht helpen, waarbij initiatiefnemers aantonen dat veiligheid onderdeel uitmaakt van het ondernemingsplan; veiligheid is immers niet alleen de taak van de overheid, maar juist ook van het bedrijfsleven. Verder is het nodig inzicht te hebben in mogelijke incidenten en de bestrijding daarvan: er zijn dus scenario's nodig en draaiboeken hoe in die situaties te handelen. Van een aantal ontwikkelingen die deel uitmaken van de energietransitie, lijken de veiligheidsrisico's goed in beeld te zijn (zoals batterijen, zonnepanelen en windturbines), maar van andere onderwerpen lijkt nog betrekkelijk weinig bekend te zijn (zoals waterstof). Hoe (on)zeker is het dat ontwikkelingen op termijn een probleem of een dilemma gaan opleveren? In hoeverre zijn de risico's van de energietransitie al te voorzien? Wat zijn de grote onbekende factoren, de *known unknowns* en de *unknown unknowns*?

# 4 Conclusies en aanbevelingen

## 4.1 Conclusies

In de voorgaande hoofdstukken is antwoord gegeven op de deelvragen die in de Inleiding beschreven staan: in hoofdstuk 1 zijn de vormen van energie beschreven die momenteel in Nederland worden toegepast. In hoofdstuk 2 zijn de ontwikkelingen per maatschappelijke sector beschreven die tot 2030 op het gebied van de energietransitie worden voorzien. De doorwerking van die ontwikkelingen op omgevingsveiligheid is in hoofdstuk 3 uitgewerkt per energievorm: elektriciteit, warmte en gassen.

Dit hoofdstuk rangschikt de resultaten van hoofdstukken 1 tot en met 3 op een andere manier: niet per sector maar per energievorm. Door deze andere kijk op de resultaten zijn ook de conclusies anders van aard. Daarnaast wordt ingegaan op de betekenis van de energietransitie voor het bestuurlijke perspectief.

### **Elektriciteit**

De Nederlandse samenleving 'elektrificeert' de komende jaren steeds verder. Dit geldt voor alle sectoren: Industrie, Gebouwde omgeving, Mobiliteit en Landbouw. Die toename van het gebruik van elektriciteit brengt een opschaling van productie, opslag en transport van elektriciteit met zich mee. Afhankelijk van de toepassing werkt dit door op omgevingsveiligheid.

### **Warmte**

Het gebruik van aardgas voor de productie van warmte wordt in komende jaren afgebouwd. Warmte zal steeds efficiënter worden gebruikt en zal lokaal worden opgeslagen. De ontwikkelingen op het gebied van warmte zullen naar verwachting in de komende jaren geen noemenswaardige doorwerking hebben op omgevingsveiligheid, met uitzondering van geothermie.

### **Gassen**

Het gebruik en daarmee ook het transport van aardgas wordt afgebouwd. Waterstof zal de komende jaren een steeds grotere rol gaan spelen, met name in de industrie. In de gebouwde omgeving zullen opslag en gebruik van waterstof vooral nog op experimentele schaal plaatsvinden. Deze ontwikkelingen werken door op omgevingsveiligheid: nieuwe en/of grootschaliger waterstofactiviteiten leiden ter plaatse tot een toename van de risico's.

### **Bestuurlijke aandacht**

Lokale bestuurders hebben een cruciale rol bij vraagstukken rond de energietransitie, ruimtelijke inpassingen en veiligheid. Het lokaal bestuur moet daarom op de hoogte zijn van de mogelijke consequenties van de energietransitie voor omgevingsveiligheid. In het kader van de zorgplicht is het belangrijk dat het lokale bestuur naar de bevolking over de veiligheidsrisico's van de energietransitie communiceert.

## 4.2 Beschouwing

Zoals in dit rapport beschreven, hebben de ontwikkelingen in de energietransitie gevolgen voor omgevingsveiligheid. Dit vereist een nieuwe kijk op veiligheidsrisicobeleid en de manier waarop met veiligheidsrisico's moet worden omgegaan. Gemeenten en provincies maken beleid op zowel het gebied van de energietransitie, als op het gebied van omgevingsveiligheid. In het ideale geval zijn beide beleidsvelden goed op elkaar afgestemd. Gemeenten en provincies kunnen als bevoegd gezag in omgevingsvisies en in omgevingsplannen aangeven waar zij risico's wel of niet toestaan en geven voor veel activiteiten op het gebied van de energietransitie omgevingsvergunningen en milieuvergunningen af.

Voor locaties waarvan op voorhand bekend is waar (grote) risico's kunnen optreden (industrie en transportassen), is het makkelijker om risicobeleid te voeren dan voor locaties waar dat niet het geval is, zoals in de gebouwde omgeving. Maar juist ook in de gebouwde omgeving zullen de komende jaren nieuwe veiligheidsrisico's hun intrede doen als gevolg van de decentralisatie van productie, opslag en gebruik van energie. Denk aan batterijsystemen (onder andere EOS en powerwalls), waterstofsysteem (onder andere elektrolyzers en waterstofleidingen). De wet- en regelgeving loopt echter achter op de technologische ontwikkelingen en is zeker voor lokale, kleinschalige initiatieven vooralsnog niet toereikend. Daarnaast hebben initiatiefnemers de veiligheidsaspecten van de energietransitie en de wet- en regelgeving die van toepassing is, mogelijk (nog) niet scherp op het netvlies. De risico's die verbonden zijn aan kleinschalige initiatieven in de gebouwde omgeving vallen buiten het externe veiligheidsbeleid, omdat de effecten van de mogelijke incidenten relatief klein zijn. Kleinschalige incidenten die vaak voorkomen, kunnen echter wel degelijk een grote belasting vormen voor omwonenden en voor de hulpdiensten. Het is dus van belang dat het omgevingsveiligheidsbeleid niet beperkt is tot de klassieke benadering vanuit externe veiligheid, maar ook rekening houdt met kleinere incidenten die vaker voor kunnen komen.

## 4.3 Aanbevelingen

- > Bij het opstellen van beleid en bij besluitvorming op het gebied van de energietransitie, moeten gemeenten en provincies rekening houden met de doorwerking van de energietransitie op omgevingsveiligheid. Dit moet geborgd worden in omgevingsplannen en omgevingsvisies, waarbij veiligheidsregio's en omgevingsdiensten worden geïnformeerd over nieuwe ontwikkelingen en waar nodig om advies worden gevraagd.
- > Bij besluitvorming over ontwikkelingen op het gebied van de energietransitie moet niet alleen gekeken worden naar incidenten van het type 'kleine kans – groot effect' maar ook naar incidenten van het type 'grote kans – klein effect', want deze incidenten kunnen een grote impact hebben op omwonenden en hulpdiensten.
- > Omgevingsdiensten en veiligheidsregio's adviseren bevoegd gezagen in de besluitvorming over de doorwerking van de energietransitie op omgevingsveiligheid. Om deze doorwerking goed te kunnen duiden, moet duidelijk zijn wat de effectafstanden zijn van de diverse ontwikkelingen. Deze noodzaak speelt vooral in de gebouwde omgeving, waar veel ontwikkelingen nieuw zijn. In het *Scenarioboek externe veiligheid* (Scenarioboek, 2021) worden scenario's beschreven waarbij aandacht wordt gegeven aan effectafstanden en aan preventieve en repressieve maatregelen. Aanbevolen wordt om het *Scenarioboek* uit te breiden met scenario's die gerelateerd zijn aan de energietransitie.

- > Voor alle initiatieven en ontwikkelingen waarvoor nog geen wet- en regelgeving voorhanden is, moet deze zo spoedig mogelijk ontwikkeld worden. Tot die tijd is het zeer gewenst om interim wet- en regelgeving op te stellen om in ieder geval een basisniveau van veiligheid te kunnen garanderen. Dit is met name van belang voor de gebouwde omgeving, omdat daar de meeste uitdagingen liggen. Naar verwachting is de wet- en regelgeving voor de industrie voldoende om de gevolgen van de energietransitie voor omgevingsveiligheid te kunnen opvangen.
- > De overheid moet burgers en bedrijven bewust maken van de veiligheidsaspecten van de energietransitie, zodat zij hiermee rekening kunnen houden, bijvoorbeeld wanneer burgers en bedrijven zelf initiatieven nemen op het gebied van de energietransitie.
- > Bestuurders moeten bij de besluitvorming over ontwikkelingen op het gebied van de energietransitie aandacht besteden aan risicocommunicatie, omdat burgers en bedrijven op de hoogte moeten zijn van de veiligheidsrisico's van de energietransitie in hun omgeving.



# Bronnen

- > ABNAMRO (2021). [Energietransitie betekent keuzes maken](#).
- > AirLiquide (2021). [Hernieuwbare waterstof voor industrie en mobiliteit](#).
- > Analistennetwerk Nationale Veiligheid (2019). [Verkenning risico's van de energietransitie voor de nationale veiligheid](#).
- > Arcadis en Berenschot (2021). [Ketenstudie omgevingsveiligheid van duurzame waterstofrijke energiedragers](#).
- > AVIV (2019). [Risicomodellering buisleidingtransport van waterstof](#)
- > Bax & Company (2019). [Het batterijenlandschap - Onderwerpen, bedreigingen en kansen voor beleidsdoelen](#).
- > Van den Beukel, J. en Van Geuns, L. (2021). [De afnemende leveringszekerheid van aardgas in Nederland](#). The Hague Centre for Strategic Studies.
- > BOVEN (2021) [Vragen en antwoorden over de bestuurlijke omgang met veiligheidsrisico's van de energietransitie](#).
- > CE Delft (2020). [Elektrificatie en Vraagprofiel 2030 - Rapport experttraject TenneT E-Top](#).
- > Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS, z.d.). [Hoeveel brandstof verbruikt het Nederlandse wegvervoer?](#)
- > Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS, 2021a). [Energiebalans; aanbod, omzetting en verbruik](#).
- > Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS, 2021b). [Hernieuwbare energie; verbruik naar energiebron, techniek en toepassing](#).
- > Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS, 2022). [Aardoliegrondstoffen- en aardolie-productenbalans; aanbod en verbruik](#)
- > DNE Research (2021). [Nationaal Warmtenet Trendrapport 2021](#).
- > Denagel, Y. en Kort, G. (2022). [Wat betekent 'TRL-niveau' bij de aanvraag voor financiële ondersteuning uit een Europees fonds?](#)
- > ElaadNL (z.d.). [V2G: the Power Recycling Car](#).
- > Ember (2020) [Vision or division? What do National Energy and Climate Plans tell us about the EU power sector in 2030?](#) Ember.
- > Energie in Nederland (2021). [Zó werkt energie in Nederland](#).
- > Energie in Nederland (2022). [Energie in Nederland in 1990-2020](#)
- > Expertisecentrum Warmte (ECW, 2020). [Restwarmte](#).
- > Federatie Metaal- en Electrotechnische Industrie (FME, 2019). [Werkpaarden voor de energietransitie. Nationaal Actieplan Energieopslag en Conversie 2019](#).
- > Gasunie (2018). [Verkenning 2050](#).
- > Gasunie (2019). [Waterstof - vraag en aanbod nu - 2030](#).
- > Gasunie (2022). [Gasunie zet extra stappen om leveringszekerheid van gas in Nederland en Europa veilig te stellen](#).
- > Gezondheidsraad (2020). [Gezonde energietransitie in de gebouwde omgeving](#).
- > H2Platform (2020). HyTrucks: [1000 waterstof vrachtwagens voor Rotterdam, Antwerpen en Duisburg](#).
- > H21 (2021). [H21 Phase 1 Technical Summary Report](#)
- > De Ingenieur (2020). [Scheepvaart omarmt elektrische aandrijving](#).

- > International Renewable Energy Agency (IRENA, 2019). [Utility-scale batteries](#).
- > Ministerie van Economische Zaken (EZK, 2019). [Klimaatakkoord](#).
- > Ministerie van Economische Zaken (EZK, 2020). Kamerbrief [Routekaart Groen Gas](#).
- > Ministerie van Economische Zaken (EZK, 2021). [Kabinetsaanpak Klimaatbeleid](#), kamerbrief 32 813 - Nr. 813.
- > Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV, 2019). [Infographic Landbouw en landgebruik](#).
- > Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2021). [Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report](#). IPCC.
- > Oostkracht 10 (2020). [Omgevingsveiligheid](#).
- > Perrow, C. (1984). *Normal accidents - Living with High Risk Technologies*. Princeton University Press.
- > Planbureau voor de Leefomgeving (PBL, 2020). [Waterstof voor de gebouwde omgeving: operationalisering in de startanalyse 2020](#).
- > Planbureau voor de Leefomgeving (PBL, 2021). [Klimaat- en Energieverkenning 2021](#).
- > Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RvO, 2020). [SDE+ voorjaar 2020 - Zo vraagt u subsidie aan voor de productie van duurzame energie](#).
- > Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO, 2020). [Vergisting en vergassing](#).
- > Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM, 2012). [Protocol aanpassing rekenmethodieken Externe Veiligheid](#).
- > Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM, 2019). [Klimaatakkoord: effecten op veiligheid, gezondheid en natuur](#).
- > Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM, 2020a). [Toekomstverkenning veiligheid chemiesector - Inventarisatie van ontwikkelingen tussen nu en 2050 die van invloed zijn op de \(arbeids\)veiligheid](#).
- > Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM, 2020b). [Klimaatakkoord: Gevolgen van het uitfaseren van fossiele energie voor veiligheid, gezondheid en stikstofdepositie: een update](#).
- > Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM, 2021). [Klimaatakkoord: effecten van nieuwe energiebronnen op gezondheid en veiligheid in Nederland](#).
- > RoyalhaskoningDHV (2020). [Gevolgen coronacrisis voor de binnenvaart](#).
- > Sectortafel Gebouwde Omgeving (2019). [Vraag en aanbod duurzame warmte en duurzame gassen](#).
- > SpoorPro (2021). [RegioExpres en batterijtrein maken Gelderland aantrekkelijker om te wonen](#).
- > Stedin (2020). [Waterstof in de gebouwde omgeving](#).
- > TKI Urban Energy (2020). [Grootschalige en compacte warmteopslag](#).
- > TKI Industrie en Energie (2021). [Naar een duurzame en inclusieve industrie](#).
- > TNO (2020a) [Scenario's voor klimaatneutraal energiesysteem slimme combinaties van energie-opties leiden tot duurzame en betaalbare energiehuishouding](#).
- > TNO (2020b) [Energie-infrastructuren 2030 - Behoeft alternatieve energiedragers](#).
- > Uitvoeringsoverleg Industrie (2021). [Aanbod aan Nederland](#).
- > Vereniging voor energie, milieu en water (VEMW, 2021). [Uniper en Havenbedrijf Rotterdam ontwikkelen 100 MW elektrolysefabriek](#).
- > WarmtelinQ (2021). [Aanleg warmteleiding voor duurzame warmte 120.000 woningen van start](#).
- > Waterstofnet (2021). [Overzicht waterstoftankstations Benelux](#).
- > Windenergie (z.d.). [Begrippen Windenergie](#).

- > Visser, A.J. (2020). [Factsheet: Potentie duurzame energieproductie van de landbouw](#).
- > VVD, CDA en Christenunie (2021). [Omzien naar elkaar, vooruitkijken naar de toekomst](#).
- > Zero Emission Services (ZES, 2021). [Emissieloos varen voor de binnenvaart](#).

Overige geraadpleegde bronnen:

- > Agora Energiewende & Sandbag (2020) [The European power sector in 2019: up-to-date analysis on the electricity transition](#).
- > Berenschot (2018) [Richting 2050: Systeemkeuzes en afhankelijkheden in de energietransitie](#).
- > BloombergNEF (2020) [New energy outlook 2020. Executive summary](#).
- > DNV GL (2020a) [Energy transition outlook 2020. A global and regional forecast to 2050](#).
- > DNV GL (2020b) [Regional forecast Europe. Energy transition outlook 2020](#).
- > DNV GL (2020c) [Energy transition outlook 2020. Power supply and use. A global and re-gional forecast to 2050](#).
- > Federatie Metaal- en Electrotechnische Industrie (FME, 2017). [Visiedocument groot-schalig energieopslag](#).
- > Federatie Metaal- en Electrotechnische Industrie (FME, 2020). [Informatiesessie PGS-37: energieopslag in praktijk](#).
- > Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK, 2020). [Ruimtelijke uitwerking Energiescenario's](#).
- > Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW, 2021). [Haalbaarheidsstudie buisleidingen PoR-Chemolot NRW](#).
- > RvO (2019). [Warmtepompen](#).
- > Scenarioboek externe veiligheid (2021). <https://www.scenarioboek.nl/>.
- > TKI Urban Energy (2020). [Technieken voor kleinschalige warmteopslag](#).

# Bijlage 1: Begeleidingscommissie

Naam	Organisatie
1 Peter Andringa	Omgevingsdienst Regio Nijmegen
2 Leo Doornbos	Veiligheidsregio Noord-Holland Noord
3 Jan-Pieter Duhén	Veiligheidsregio Gelderland-Midden
4 Machteld Lamers	Veiligheidsregio Amsterdam-Amstelland

# Bijlage 2: Overzicht geïnterviewde experts

Naam	Organisatie	Functie
1 Johan Middelaar en Jos Benner	TNO en Safety Delta Nederland	Programma-manager Innovatiecentrum (SDN)
	Ministerie Infrastructuur en Waterstaat	Senior beleidsmedewerker veilige energietransitie
2 Cees Smit	Arcadis	Senior adviseur veiligheid
3 Merijn Vroonhof	Gemeente Amsterdam	Team Nieuwe Opgaven van afdeling Ruimte en Duurzaamheid
4 Richard van Leeuwen	Saxion Hogeschool	Lector Energietransitie
5 Alan Dirks	Havenbedrijf Rotterdam	Programma Manager Policy & Planning
6 Ferry El-Aaidi	Havenbedrijf Amsterdam	Adviseur Beleid en Advies
7 Arthur Meijnders	Alliander	Beleidsadviseur Gas en -Elektra

# Bijlage 3: Expert judgement

Als er weinig gegevens voorhanden zijn om verder te komen in een onderzoek, is de toepassing van expert judgement een mogelijkheid (RIVM, 2012). Expert judgement houdt in dat één of meerdere deskundige(n) op grond van kennis en ervaring inschattingen maken over een bepaald onderwerp. De basisaanpak hierbij is de volgende:

1. In een toelichting wordt aangegeven welke deskundigen op welke gronden zijn geraadpleegd.
2. Alle informatie die relevant is voor het onderzoek, wordt ter beschikking gesteld aan de experts.
3. De argumentatie voor de gemaakte keuzes wordt goed gedocumenteerd. Het gaat hierbij om de uiteindelijke en gezamenlijke keuzes van de experts.

## Expert judgement in dit onderzoek

Voor de expert judgement in dit onderzoek zijn drie experts geraadpleegd van binnen en buiten het NIPV: personen die kennis hebben van zowel omgevingsveiligheid als van de energietransitie. Deze experts zijn afzonderlijk van elkaar geraadpleegd, zonder elkaars namen bekend te maken, om beïnvloeding te voorkomen. Het betreft:

- > Johan Kloppenburg (Veiligheidsregio IJsselland) - Specialist risico en veiligheid
- > Marcel Scherrenburg (Omgevingsdienst regio Arnhem) - Adviseur Externe Veiligheid
- > Nils Rosmuller (NIPV) - Lector Energie- en Transportveiligheid.

Als basis voor de expert judgement kregen de experts de beschikking over Tabel 2.1 tot en met Tabel 2.3 en de (concept) hoofdstukken 1 en 2.

De experts hebben een inschatting gegeven van de doorwerking van de ontwikkelingen van de energietransitie op omgevingsveiligheid, te weten: de mate waarin de kans op een incident, het effect van een incident en het risico van een incident veranderen. Hierbij is gebruikgemaakt van een scoringstabel, gebaseerd op Tabel 2.1 tot en met Tabel 2.3, waarin de volgende scores konden worden gegeven:

- → Kans/Effect/Risico wordt aanzienlijk kleiner
- → Kans/Effect/Risico wordt beetje kleiner
- 0 → Kans/Effect/Risico blijft gelijk
- + → Kans/Effect/Risico wordt beetje groter
- ++ → Kans/Effect/Risico wordt aanzienlijk groter.

Waar nodig konden de experts in de tabel een toelichting op hun scores geven.

In de scoringstabellen op de volgende bladzijden zijn de scores van de drie geraadpleegde experts anoniem verzameld (inschatting expert 1, 2 en 3). De betekenis van de scores is als volgt:

- → kans/effect/risico wordt aanzienlijk kleiner
- → kans/effect/risico wordt beetje kleiner
- 0 → kans/effect/risico blijft gelijk
- + → kans/effect/risico wordt beetje groter
- ++ → kans/effect/risico wordt aanzienlijk groter.

### **Toelichting**

De scores zijn zowel voor de kansen, de effecten als de risico's gegeven. Het kan hierbij zo zijn dat een erg kleine kans op een incident door een ontwikkeling met (bijvoorbeeld) een factor 10 toeneemt. De kans zou naar de mening van expert dan aanzienlijk groter kunnen worden (score ++). Maar omdat de kans ook bij een tienvoudige toename nog steeds laag is, kan het risico naar de mening van de expert gelijk blijven (score 0) of slechts een beetje toenemen (score +).

De energietransitie vindt ook in de sector landbouw plaats, maar over de ontwikkelingen tot en met 2030 is weinig geschreven (zie paragraaf 2.6). De experts kregen de mogelijkheid hier hun mening over te geven, maar hebben daar geen gebruik van gemaakt.

De experts konden bij de door hen gegeven scores een toelichting geven, maar hebben hier weinig gebruik van gemaakt. De argumentatie voor de gemaakte keuzes is daardoor niet bekend. Vanwege het beperkte aantal experts en de wijze van scores, moeten de resultaten gezien worden als een indicatie.

**Tabel B3.1 Gebouwde omgeving**

Keten-deel	Energie-vorm	Ontwikkeling	Kans op incident			Effect van incident			Risico op incident		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
			<i>Inschatting expert</i>								
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
Productie	Elektriciteit	Forse toename elektriciteitsproductie door zonnepanelen	++	++	+	0	+	0	+	+	-
		Forse toename elektriciteitsproductie door windturbines	+	++	-	0	+	0	0	+	0
	Warmte	Mix van warmtetechnieken en -bronnen	+	+	+	++	+	+	+	+	+
		Opschaling van productiebronnen voor restwarmte, geothermie, aquathermie, zonnewarmte, power to heat en biomassa.	++	+	+	++	+	+	++	+	+
		Biomassa op grootschalig niveau (energiecentrales, vergistingsinstallaties)	+	+	+	+	++	++	+	+	+
		Afvalverbranding neemt af	-	--		0	0		-	-	
		PVT-systemen zijn in opkomst	0	+	0	0	0	0	0	+	0
Gassen	Productie waterstof in demonstratieprojecten	+	0	+	0	+	++	+	+	0	
Opslag	Elektriciteit	Energieopslag door batterijen neemt toe	++	++	+	+	+	+	++	0	
		Batterijen hebben een grotere capaciteit	+	+	0	++	++	0	+	++	0
		Er zijn meer (thuis)batterijen aanwezig in gebouwen en woningen	+	++	+	0	+	+	+	++	+
	Warmte	Zowel groot- als kleinschalige warmteopslag gaat een belangrijke rol spelen <sup>42</sup>	0	+	0	0	+	0	0	+	0
		Gassen	Opslag van waterstof in demonstratieprojecten	+	0	0	+	+	++	+	+
	Bij meer waterstoftankstations of MFT-opslag van waterstof		+	0	0	+	++	++	+	+	+
Transport	Elektriciteit	Uitbreiding en verzwaring elektriciteitsnetten	0	+	0	0	+	0	0	+	0
	Warmte	Uitbreiding warmtenetten.	+	+	0	0	0	0	0	+	0
	Gassen	Op beperkte schaal transport van waterstof door distributienet.	+	0	+	+	++	+	++	+	+

<sup>42</sup> Grootschalig warmte-opslag vindt bijvoorbeeld plaats in stenen en in water.



Keten-deel	Energie-vorm	Ontwikkeling	Kans op incident			Effect van incident			Risico op incident		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
			<i>Inschatting expert</i>								
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
		Er wordt minder aardgas getransporteerd	-	--	-	0	--	-	-	--	-
<b>Gebruik</b>	<i>Elektriciteit</i>	Er zijn meer producten met batterijen in gebruik, waaronder thuisbatterijen	+	++	+	0	+	0	+	++	+
		Toename elektriciteitsgebruik	+	0		0	0		0	0	
	<i>Warmte</i>	Meer woningen hebben een hybride of elektrische warmtepomp, een aansluiting op een warmtenet of een all-electric warmtevoorziening	+	+	0	0	0	0	0	+	0
		Restwarmte van industrie en afvalverbranding wordt benut	+	0	0	+	0	0	+	0	0
	<i>Gassen</i>	Afname gebruik aardgas	-	--	-	0	-	-	0	--	-
		Nieuwbouwwoningen hebben geen gasaansluiting.	--	--	--	--	-	--	--	--	--
		Waterstof speelt tot 2030 een beperkte rol	0	n.i	0	++	n.i	0	+	n.i	0

**Tabel B3.2 Industrie**

Keten-deel	Energie-vorm	Ontwikkeling	Kans op incident			Effect van incident			Risico op incident			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	
			<i>Inschatting expert</i>									
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Productie	Elektriciteit	Kolencentrales sluiten in 2030	+	++	-	0	+	-	0	++	-	
		Kolencentrales worden vervangen door gascentrales	0	0	0	-	+	+	0	+	0	
		Mogelijk zijn gascentrales omgebouwd tot waterstofcentrales	+	0	+	++	++	++	+	+	+	
		Komst van waterstofcentrales	+	+	+	++	++	++	++	+	0	
		Lichte stijging van kernenergie <sup>43</sup>	0	0	0	++	0	++	+	0	+	
	Warmte	De productie van aardgas neemt af	0	--	-	+	--	-	0	--	-	
		Kolencentrales zijn uitgefaseerd in 2030	+	++	-	0	+	-	0	++	-	
		Optimaliseren van bedrijfsprocessen om efficiënter gebruik te maken van restwarmte	0	+	0	0	0	0	0	+	0	
	Gassen	Productie van grijs en blauw waterstof neemt toe <sup>44</sup>	+	-	+	++	0	++	++	-	+	
		Productie van waterstof door SMR als CO <sub>2</sub> -opslag mogelijk is, anders door elektrolyse	+		+	++		++	++		+	
		Grotere elektrolyzers (> 100 MW)	+	+	+	++	++	++	++	++	+=	
		Productie groen gas neemt toe	+	+	+	++	+	+	++	+	+	
		Productie waterstof uit ammoniak en LOHC's	+	+	++	++	++	++	++	+	++	
	Opslag	Elektriciteit	Grootschalig batterijopslag (MW-schaal) neemt sterk toe	+	++	+	++	++	+	+	++	0
			Niet van toepassing									
Gassen		Waterstof: ondergrondse opslag (o.a. zoutcavernes, lege gasvelden)	+	+	+	++	+	+	+	+	+	
		CO <sub>2</sub> : Ondergrondse opslag in de Noordzee vanuit Rotterdam en Den Helder	+	+	0	++	0	-	+	+	-	

<sup>43</sup> Na het uitvoeren van de expert judgement is nieuwe informatie naar voren gekomen: tot 2030 zal sprake zijn van een lichte daling van de productie van elektriciteit uit kernenergie (PBL, 2021).

<sup>44</sup> Naar verwachting zal grootschalige productie van groen waterstof pas na 2030 een rol gaan spelen, omdat te weinig groene stroom beschikbaar is (Havenbedrijf Rotterdam, 2020; ABNAMRO, 2021).

Keten-deel	Energie-vorm	Ontwikkeling	Kans op incident			Effect van incident			Risico op incident		
			<i>Inschatting expert</i>								
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
		Ammoniak: mogelijk opslag in Rotterdam	+	+	++	++	++	++	++	++	++
Transport	Elektriciteit	Uitbreiding en verzwaring elektriciteitsnetten	0	+	0	0	++	0	0	+	0
	Warmte	Meer restwarmte naar warmtenetten	+	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gassen	Aanvoer per zeeschip van vloeibaar waterstof	+	++	+	++	++	+	++	++	+
		Waterstof wordt op de Noordzee gemaakt en via leidingen aangevoerd	+	+	0	+	+	0	+	+	0
		Waterstof wordt door aardgasleidingen getransporteerd	+	+	+	++	++	+	++	+	+
		Mogelijk nieuwe waterstofleidingen	+	+	0	+	++	+	+	+	+
		Mogelijk transport ammoniak per spoor	+	+	++	++	++	++	++	++	++
CO <sub>2</sub> -transport naar Noordzee vanuit Rotterdam en Den Helder	+	+	0	++	+	0	+	+	0		
Gebruik	Elektriciteit	Elektrificatie van processen (waardoor het gebruik van elektriciteit stijgt)	+	+	+	+	0	0	+	+	0
		Sterke toename elektriciteitsvraag datacenters	+	+	n.i	0	+	n.i	0	+	n.i
	Warmte	Toename (elektrische) warmtepompen	+	+	0	0	0	0	0	0	0
	Gassen	Het gebruik van aardgas neemt af	-	--	-	0	--	-	0	--	-
		Het gebruik van blauwe en groene waterstof neemt toe, vooral waar waterstof eenvoudig voorhanden is	+	+	n.i	++	+	n.i	+	+	n.i
		Het gebruik van biomassa neemt toe	+	+	+	+	0	+	+	+	

**Tabel B3.3 Mobiliteit**

Keten-deel	Energie-vorm	Ontwikkeling	Kans op incident			Effect van incident			Risico op incident		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
			<i>Inschatting expert</i>								
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
<b>Prod.</b>		Niet van toepassing									
<b>Opslag</b>	<i>Elektriciteit</i>	Elektrische auto als thuisbatterij	+	++	+	0	+	0	+	++	0
	<i>Warmte</i>	Niet van toepassing									
	<i>Gassen</i>	Niet van toepassing									
<b>Transp.</b>	<i>Elektriciteit</i>	Niet van toepassing									
	<i>Warmte</i>	Niet van toepassing									
	<i>Gassen</i>	Meer vervoersbewegingen voor levering waterstof aan waterstoftankstations en/of MFT	+	++	++	0	++	++	+	++	++
<b>Gebruik</b>	<i>Elektriciteit</i>	Toename elektrische voertuigen	+	++	0	+	+	0	+	++	0
		Proeven met batterijtreinen	+	+	+	+	0	+	+	+	+
		Toename elektrische toepassingen in binnenvaart (dit is inclusief aanwezigheid reservebatterij/EOS t.b.v. voortstuwing)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	<i>Warmte</i>	Niet van toepassing									
	<i>Gassen</i>	Mix van elektrisch, benzine, diesel en gas: Vrachtwagens gaan voor korte afstanden meer over op (bio-)LNG, biodiesel of elektrisch.	+	++	+	+	+	+	+	++	+
		Mix van elektrisch, benzine, diesel en gas: Voor lange afstanden wordt meer overgegaan op waterstof (bestelbusjes en zwaar transport)	+	++	+	+	++	+	+	++	+