



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

Klimaatakkoord: effecten van nieuwe energiebronnen op gezondheid en veiligheid in Nederland

RIVM-rapport 2021-0054
L. Gooijer | M.G. Mennen



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

Klimaatakkoord: effecten van nieuwe energiebronnen op gezondheid en veiligheid in Nederland

RIVM-rapport 2021-0054

Colofon

© RIVM 2021

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

DOI 10.21945/RIVM-2021-0054

L. Gooijer (auteur), RIVM
M.G. Mennen (auteur), RIVM

Contact:
Leendert Gooijer
Centrum Veiligheid
e-mail: leendert.gooijer@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht het ministerie van Economische Zaken en Klimaat, directie Warmte en Ondergrond in het kader van het project: M/460103/01/BB 'Veiligheids- en gezondheidseffecten van de energietransitie'.

Dit is een uitgave van:
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Klimaatakkoord: effecten van nieuwe energiebronnen op gezondheid en veiligheid in Nederland

De Nederlandse overheid wil fossiele energiebronnen vervangen door energie die het milieu minder belast. Maatregelen om deze duurzame bronnen in te zetten, zoals zonne- en windenergie, staan beschreven in het Klimaatakkoord (2019).

Maar ook de nieuwe energiebronnen kunnen negatieve effecten hebben op gezondheid en de veiligheid (arbeidsveiligheid en risico's voor de leefomgeving). In opdracht van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) heeft het RIVM uitgezocht wat deze effecten kunnen zijn. Daaruit blijkt dat de nadelen in verhouding vrij klein zijn. Wel kunnen enkele energiebronnen negatieve effecten op gezondheid en veiligheid veroorzaken.

Voor de gezondheid hebben vooral windenergie en biomassa negatieve effecten. Windturbines kunnen hinder veroorzaken bij omwonenden. Installaties om biomassa te verbranden en houtkachels veroorzaken luchtverontreiniging.

Wat veiligheid betreft moet er genoeg afstand zijn tussen windturbines en woonwijken. Verder moeten windturbines veilig worden geïnstalleerd en onderhouden. Dat geldt ook voor zonnepanelen, batterijen en warmtepompen. Bij het gebruik van waterstof en biogas zijn maatregelen nodig om de kans op brand en explosie zo klein mogelijk te houden.

Hoe groot de effecten op gezondheid en veiligheid precies zijn, hangt af van de keuzes die de Nederlandse overheid zal maken welke nieuwe energiebronnen waar worden gebruikt. De resultaten van dit onderzoek kunnen bij die keuzes worden meegenomen. Het RIVM reikt ook mogelijkheden aan om de negatieve effecten te verkleinen. Bijvoorbeeld om geluid van windturbines of de uitstoot van biomassa-installaties en houtkachels te beperken.

Het RIVM beveelt aan om de komende jaren goed te blijven volgen welke effecten de nieuwe energiebronnen hebben. Dit onderzoek is onderdeel van een drieluik over de gevolgen voor gezondheid en veiligheid van klimaatbeleid. De drie onderzoeken samen laten zien dat klimaatbeleid niet alleen gunstig is voor het klimaat, maar ook voor gezondheid en veiligheid.

Kernwoorden: klimaatakkoord, energiebronnen, veiligheid, gezondheid, arbeidsveiligheid, omgevingsveiligheid

Synopsis

Climate Agreement: effects of new energy sources on health and safety in the Netherlands

The Dutch government is committed to replacing fossil energy with energy that impacts the environment less. Measures for deploying renewable energy sources, such as solar and wind energy, are described in the Climate Agreement (2019). These new energy sources can, however, also have adverse effects on health and safety (occupational safety and risks for our living environment).

On the instructions of the Ministry of Economic Affairs and Climate Policy (EZK), RIVM has investigated what these adverse effects might be. Its study shows that the drawbacks are relatively minor. However, some energy sources can clearly cause adverse effects on health and safety.

With respect to health, the adverse effects of wind energy and biomass were primarily examined. Wind turbines cause noise pollution if they are constructed in the vicinity of residential areas and biomass-fired plants and wood-burning stoves cause air pollution.

When it comes to safety, there must be sufficient distance between wind turbines and residential areas. Furthermore, wind turbines must be constructed and maintained such that they are safe. This also applies to solar panels, batteries and heat pumps. If hydrogen and biogas are used, measures that minimise the risk of fire and explosion will be required.

The exact extent of the effects on health and safety will depend on the choices made by the Dutch government; i.e. which new energy sources will be used where. The results of this study can be taken into consideration when these choices are made. RIVM also suggests ways to minimise the adverse effects in question: to reduce the noise made by wind turbines or the emissions from biomass plants and wood-burning stoves, for example.

It recommends that a watchful eye be kept on the effects of new energy sources in the coming years. This report is one of three studies on the consequences for health of climate policy. Together they show that climate policy is not only beneficial in limiting climate change but is also beneficial to health.

Keywords: Climate Agreement, energy sources, health, safety, occupational safety, environmental safety

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1 Inleiding — 15

2 Afbakening, werkwijze en leeswijzer — 17

3 Beoordelingsmethodiek — 19

- 3.1 Effecten op gezondheid — 19
- 3.2 Veiligheidsrisico's — 24
- 3.3 Expert judgement — 29
- 3.4 Effecten op natuur en milieu — 29
- 3.5 Positieve effecten — 29

4 Nieuwe energiebronnen en maatregelen — 31

- 4.1 Inleiding — 31
- 4.2 Windenergie — 33
 - 4.2.1 Effecten op gezondheid — 34
 - 4.2.2 Veiligheidsrisico's — 36
 - 4.2.3 Effecten op natuur en milieu — 37
- 4.3 Zonne-energie — 37
 - 4.3.1 Effecten op gezondheid — 38
 - 4.3.2 Veiligheidsrisico's — 38
 - 4.3.3 Effecten op natuur en milieu — 39
- 4.4 Elektrificatie — 39
 - 4.4.1 Effecten op gezondheid — 41
 - 4.4.2 Veiligheidsrisico's — 41
 - 4.4.3 Effecten op natuur en milieu — 42
- 4.5 Isolatie en duurzame verwarming van gebouwen — 42
 - 4.5.1 Effecten op gezondheid — 43
 - 4.5.2 Veiligheidsrisico's — 44
 - 4.5.3 Effecten op natuur en milieu — 44
- 4.6 Waterstof — 45
 - 4.6.1 Effecten op gezondheid — 46
 - 4.6.2 Veiligheidsrisico's — 46
 - 4.6.3 Effecten op natuur en milieu — 48
- 4.7 Biomassa — 48
 - 4.7.1 Effecten op gezondheid — 50
 - 4.7.2 Veiligheidsrisico's — 55
 - 4.7.3 Effecten op natuur en milieu — 55
- 4.8 Biobrandstoffen — 55
 - 4.8.1 Effecten op gezondheid — 56
 - 4.8.2 Veiligheidsrisico's — 58
 - 4.8.3 Effecten op natuur en milieu — 58
- 4.9 Afvang, opslag en hergebruik van CO₂ — 58
 - 4.9.1 Effecten op gezondheid — 60
 - 4.9.2 Veiligheidsrisico's — 61
 - 4.9.3 Effecten op natuur en milieu — 61
- 4.10 Geothermie en Warmte Koude Opslag — 61
 - 4.10.1 Effecten op gezondheid — 62
 - 4.10.2 Veiligheidsrisico's — 63

- 4.10.3 Effecten op natuur en milieu — 63
- 4.11 Aquathermie — 64
- 4.11.1 Effecten op gezondheid, veiligheid, natuur en milieu — 65
- 4.12 Getijden-energie — 65
- 4.12.1 Effecten op gezondheid, veiligheid, natuur en milieu — 65
- 4.13 Blauwe energie — 66
- 4.13.1 Effecten op gezondheid, veiligheid, natuur en milieu — 67
- 4.14 Overige maatregelen uit het Klimaatakkoord — 67
- 4.14.1 Maatregelen in het vervoer — 67
- 4.14.2 Effecten op gezondheid, veiligheid, natuur en milieu — 68
- 4.14.3 Maatregelen in de land- en bosbouw — 68
- 4.14.4 Effecten op gezondheid, veiligheid, natuur en milieu — 69

5 Vier mogelijke toekomstbeelden van de energietransitie — 71

6 Overzicht effecten op gezondheid en veiligheid — 77

- 6.1 Inleiding — 77
- 6.2 Effecten op gezondheid — 77
- 6.3 Veiligheidsrisico's — 81
- 6.4 Effecten en risico's in relatie tot het afbouwen van energiewinning met fossiele brandstoffen — 83

7 Conclusie en beschouwing — 87

- 7.1 Inleiding — 87
- 7.2 Meest relevante effecten en risico's voor gezondheid en veiligheid — 87
- 7.3 Koppeling met toekomstbeelden — 87
- 7.4 Aanvullende mogelijkheden om effecten te beperken — 89
- 7.5 Slotbeschouwing en aanbevelingen — 91

Referenties — 93

Bijlage 1. Overzicht van experts — 99

Bijlage 2. Overzicht berekende concentraties in de leefomgeving en Nederland door verbranding van biomassa — 100

Samenvatting

Aanleiding

Nederland heeft het voornemen om de opwarming van de aarde te beperken door de emissies van CO₂ en andere broeikasgassen sterk te verminderen. In het Klimaatakkoord is op hoofdlijnen beschreven op welke wijze de beoogde reductie van de CO₂-uitstoot kan worden bereikt. Dit wordt voor een belangrijk deel gerealiseerd door fossiele brandstoffen te vervangen door duurzame energiebronnen. Dat zal een grote maatschappelijke inspanning vragen met positieve en negatieve effecten op diverse terreinen.

Opdracht

Het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) wil inzicht krijgen in de mogelijke effecten van de maatregelen in het Klimaatakkoord op de gezondheid en de veiligheid van de Nederlandse samenleving. In dit rapport is uitvoering gegeven aan de opdracht van EZK aan het RIVM om de mogelijke gezondheidseffecten en veiligheidsrisico's van nieuwe energiebronnen en de daarmee gepaard gaande maatregelen in kaart te brengen, zodat deze kunnen worden meegenomen in de afwegingen en keuzen binnen de energietransitie. Dit onderzoek is onderdeel van een drieluik over de gevolgen voor gezondheid en veiligheid van klimaatbeleid.

Werkwijze

Voor dit onderzoek is een inventarisatie gemaakt van de energiebronnen en maatregelen uit het Klimaatakkoord die mogelijk kunnen leiden tot relevante effecten voor de gezondheid en veiligheid. Voor een verdiepende analyse is een methode ontwikkeld om de gezondheidseffecten en veiligheidsrisico's te beoordelen en (onderling) te kunnen vergelijken.

Gezondheidseffecten zijn waar mogelijk geschat met behulp van de Disability Adjusted Life Years (DALY's) systematiek. Dit is een wetenschappelijk geaccepteerde aanpak om gezondheidseffecten door verschillende oorzaken of voor verschillende typen ziekten te vergelijken. Deze methode wordt veel toegepast in onderzoek ten behoeve van beleid. Omdat het berekenen van DALY's in het kader van deze studie omgeven is met vele onzekerheden, is een indeling gemaakt in klassen op basis van orde-grootte. Als er geen of onvoldoende informatie beschikbaar is, dan is het effect beoordeeld op basis van expert judgement. In de analyse zijn de volgende milieugerelateerde thema's beschouwd: luchtverontreiniging (buiten), binnenmilieu, (laagfrequent) geluid en overige effecten, zoals EMV en geurhinder.

Bij het in kaart brengen van de veiligheidsrisico's is onderscheid gemaakt naar de volgende thema's: omgevingsveiligheid, arbeidsveiligheid, consumentenveiligheid en overig.

Net als bij gezondheid zijn bij veiligheid ook klassen gehanteerd om de mogelijke risico's onderling te kunnen vergelijken. Hiervoor is gebruikgemaakt van verschillende indicatoren per onderdeel, zoals de risicoafstand (norm van het plaatsgebonden risico PR $1 \cdot 10^{-6}$) voor

omgevingsveiligheid, en van indicatoren als werken op hoogte, gevaarlijke stoffen en (elektrische) installaties bij arbeidsveiligheid. Consumentenveiligheid is als relevant aangemerkt als de betreffende maatregelen in de nabijheid van de gebruiker een mogelijk risico vormen. In dat geval kan het nodig zijn er extra aandacht aan te besteden bij de implementatie van de maatregelen.

Om de resultaten per energiebron of maatregel in een breder perspectief te plaatsen, is gebruikgemaakt van vier ontwikkelde toekomstbeelden voor een klimaatneutrale energievoorziening in 2050. Deze toekomstbeelden hangen samen met hoe de energietransitie zich kan ontwikkelen als gevolg van economische, maatschappelijke en politieke invloeden en van regionale, nationale en internationale sturingsmechanismen.

Resultaten en conclusies

Gezondheid

Uit de analyse blijkt dat de grootste ziektelast wordt veroorzaakt door luchtverontreiniging die ontstaat door emissies van schadelijke stoffen uit houtkachels, zowel in de buitenlucht als het binnenmilieu. Daarbij wordt de kanttekening gemaakt dat houtkachels worden gebruikt voor zowel sfeerverwarming als voor opwekking van warmte. Alleen het laatste doel kan worden beschouwd als 'nieuwe' energiebron in het kader van de transitie. Ook verbranding van biomassa in energiecentrales en kleinere installaties, en toepassing van biobrandstoffen dragen significant bij aan luchtverontreiniging en daarmee een verhoogde ziektelast. Overigens ontbreekt het aan voldoende gegevens om deze ziektelast nauwkeurig te bepalen en wordt dringend aanbevolen hier nader onderzoek naar te doen.

Een ander belangrijk gezondheidseffect is ernstige hinder door geluid die wordt veroorzaakt door windturbines op land, mede gezien de verwachte forse groei van deze vorm van energiewinning in de komende decennia.

Onvoldoende ventilatie leidt tot verhoogde blootstelling van bewoners aan schadelijke stoffen en micro-organismen in het binnenmilieu en tot een verhoogd risico op hittestress. Bij het isoleren van gebouwen is het daarom van groot belang de ventilatiemogelijkheden goed af te stemmen op de mate van isolatie en op het gebruik van het gebouw.

Er zijn aanwijzingen dat verspreiding van Legionella rond vergistingsinstallaties een potentieel gezondheidsrisico vormt bij productie van biogas. Gewenst is nader onderzoek te doen naar deze risico's en ook naar de mogelijkheden om de Legionella-risico's bij vergistingsinstallaties voor biogas te beheersen.

Bij alle andere gezondheidseffecten door nieuwe vormen van energiewinning gaat het om een kleine of marginale bijdrage aan de ziektelast. Enkele voorbeelden van deze effecten zijn:

- luchtverontreiniging door gebruik van fossiele brandstoffen voor Carbon Capture Storage en Carbon Capture Usage in de overgangsperiode tot volledige elektrificatie;

- geurhinder door emissies van houtkachels en rond biomassa- en mestverwerkingsinstallaties;
- hinder door de slagschaduw van windturbines;
- een mogelijk lichte groei van blootstelling aan EMV als gevolg van de elektrificatie.

Er zijn ook maatregelen die een positieve invloed op de gezondheid hebben. Zo zijn in de Klimaattafel Mobiliteit afspraken vastgelegd om de hoeveelheid zakelijke (auto)kilometers te verminderen, onder meer door het bevorderen van het gebruik van de (elektrische) fiets. Dit leidt tot meer bewegen. In de Klimaattafel Landbouw en landgebruik is een pakket maatregelen opgesteld, waaronder het verminderen van de uitstoot aan fijnstof, geur en bio-aerosolen door het gebruik van emissiearme stallen. Deze maatregel zorgt voor een betere luchtkwaliteit en voor minder hinder door geurhinder. Uitbreiding van bos en natuurgebieden en de aanleg van extra bomen en natuur in de openbare ruimte en stedelijke gebieden hebben een positieve uitwerking op de natuur, op de biodiversiteit en het ecosysteem, wat eveneens bijdraagt aan het welzijn en de gezondheid van mensen.

Veiligheid

Uit de analyse volgt dat er bij een aantal beschouwde energiebronnen en maatregelen niet of nauwelijks veiligheidsrisico's zijn. Dat geldt bijvoorbeeld voor aquathermie, getijden-energie en blauwe energie. Wel is het zo dat arbeidsveiligheid bij elke activiteit met gevaarlijke stoffen of elektrische apparatuur van belang is.

Als we inzoomen op de maatregelen waar veiligheidsrisico's wel een rol spelen, dan komt bij omgevingsveiligheid vooral windenergie naar voren. Op basis van de geldende norm (risicoafstanden tot het plaatsgebonden risico (PR) van $1 \cdot 10^{-6}$ per jaar) is het gebied waar beperkingen gelden qua ruimtelijke ontwikkeling rondom windturbines relatief groot. Die risicoafstanden zijn overigens alleen relevant voor de ruimtelijke inpassing bij windenergie op land. Voor windenergie op zee is omgevingsveiligheid niet van belang. Daarnaast zijn biogas en waterstof relevant bij omgevingsveiligheid. Hiervoor geldt dat de veiligheidsrisico's vergelijkbaar zijn met die van andere gevaarlijke stoffen, zoals aardgas of LPG.

Door het werken op hoogte spelen arbeidsrisico's ook een rol bij windenergie. Verder zijn arbeids- en consumentenveiligheid afhankelijk van de toekomstige ontwikkelingen. Het is vooral van belang of maatregelen, zoals warmtepompen en zonnepanelen, op grote schaal zullen worden geïmplementeerd. Beschikbaarheid van (technisch) personeel is hierbij een belangrijk aandachtspunt. Ten slotte noemen we de brandrisico's bij zonnepanelen, elektrische voertuigen en (buurt)batterijen als aandachtspunt, aangezien de bestrijding van dergelijke branden speciale werkwijzen van de brandweer vraagt.

Overall beeld

Uit de resultaten van deze studie volgt dat de gezondheidseffecten en veiligheidsrisico's van de meeste maatregelen uit het klimaatakkoord beperkt zullen zijn, terwijl er wel enkele maatregelen zijn, zoals

biomassa, houtkachels en windturbines, die tot significante negatieve effecten kunnen leiden.

Wanneer we de resultaten op hoofdlijnen leggen naast de positieve effecten die het uitfasen van het gebruik van fossiele brandstoffen op de gezondheid en veiligheid betekent, is het beeld dat het netto effect positief zal zijn voor de gezondheid en veiligheid.

Dit overall beeld volgt uit de vergelijking van de resultaten van luchtkwaliteit, geluid en veiligheid. Voor de luchtkwaliteit geldt dat de negatieve gezondheidseffecten met name veroorzaakt zullen worden door gebruik van biomassa en houtkachels. Daartegenover staat dat vooral de maatregelen van het Schone Lucht Akkoord (SLA) zullen leiden tot grote positieve effecten op de luchtkwaliteit. Daarnaast is het aantal mensen dat ernstige hinder ondervindt door geluid van windturbines veel lager dan de aantallen personen die ernstige hinder ondervinden van wegverkeer. Het positieve netto effect wordt vooral veroorzaakt door vervanging van auto's met brandstofmotoren door elektrische auto's, wat geluidreductie oplevert. Bij veiligheid vallen als gevolg van de vervanging van fossiele brandstoffen koolmonoxidevergiftigingen weg. Dat is de voornaamste oorzaak waardoor het netto effect op de veiligheid positief zal zijn.

Aanbevelingen

De resultaten van deze verkenning laten zien dat de impact van de meeste maatregelen uit het Klimaatakkoord op de gezondheid en veiligheid beperkt zal zijn. Enkele energiebronnen kunnen echter wel tot relevante gezondheidseffecten of veiligheidsrisico's leiden. Om deze verder te beperken zijn er aanvullende gezondheids- en veiligheidsmaatregelen mogelijk, waarvan er hieronder enkele op hoofdlijnen worden besproken. Juist de ontwikkelfase van de energietransitie biedt mogelijkheden om gezondheids- en veiligheidsaspecten integraal mee te nemen (bijvoorbeeld in de Regionale Energie Strategieën). Zo is het raadzaam om omwonenden te betrekken bij de besluitvorming over optimalisering van locaties (afstand tot woonbebouwing) en landschappelijke inpassing van windturbines en zonneparken, en hen daarbij van goede, betrouwbare informatie te voorzien. Gedurende de transitie kan worden gemonitord hoe gezondheids- en veiligheidseffecten zich ontwikkelen.

Zo zijn er handreikingen met maatregelen voor het verduurzamen van woningen waarbij rekening wordt gehouden met het beperken van negatieve gezondheidseffecten. Denk daarbij aan aspecten als ventilatie, isolatie et cetera. In het Bouwbesluit worden aanvullende geluidseisen opgenomen om bewoners en omwonenden beter te beschermen tegen geluid van de buitenunits van warmtepompen en airco's. Ook voor het reduceren van de veiligheidsrisico's zijn handleidingen en richtlijnen opgesteld, onder andere met betrekking tot accu's en batterijen. Een andere mogelijkheid is het gebruikmaken van gecertificeerde producten of installateurs en onderhoudsmonteurs om daarmee de arbeidsveiligheid en consumentenveiligheid te bevorderen.

Verder zal het beperken van emissies bij het verbranden van biomassa en het gebruik van houtkachels door strengere eisen leiden tot minder

luchtverontreiniging. Dit zal een relevante bijdrage kunnen leveren aan de gezondheidswinst.

Uit de verkenning blijkt ten slotte dat er voor sommige maatregelen onvoldoende informatie aanwezig is om een goede inschatting van de gezondheids- en veiligheidseffecten te doen. Bij die onderwerpen is er sprake van kennishiaten en is aanvullend onderzoek nodig om de effecten beter in kaart te brengen. Dit gaat vooral om de gezondheidseffecten door verbranding van biomassa en biobrandstoffen en de gevolgen van geluidhinder en andere effecten, zoals hinder van visuele aspecten door windturbines. Daarnaast wordt aanbevolen om de risico's van een verslechterd binnenmilieu als gevolg van onjuiste toepassing van isolatie en ventilatie en door emissies uit open haarden en houtkachels beter in kaart te brengen. Nader onderzoek is ook wenselijk met betrekking tot de risico's van Legionella bij vergistingsinstallaties voor biogas en de mogelijkheden om die te beheersen.

1 Inleiding

In 2015 ondertekende Nederland het Klimaatakkoord van Parijs. Dit betekent dat Nederland het voornemen heeft om de opwarming van de aarde te beperken door de emissies van CO₂ en andere broeikasgassen sterk te verminderen. Dit wordt voor een belangrijk deel bereikt door fossiele brandstoffen te vervangen door duurzame energiebronnen. In het Nederlandse Klimaatakkoord (d.d. 28 juni 2019) is op hoofdlijnen beschreven op welke wijze een reductie van de CO₂-uitstoot kan worden bereikt van 49% (in 2030) resp. 95% (in 2050) ten opzichte van 1990. Hoewel het primaire doel van het Klimaatakkoord is om de reductie van de CO₂-uitstoot te realiseren – tegen maatschappelijk acceptabele kosten – bieden de beoogde maatregelen ook kansen op andere terreinen, zoals het verbeteren van de leefomgeving, de verduurzaming van de landbouw, het vergroten van de biodiversiteit, minder ziekte, meer welzijn en lagere zorgkosten. Naast positieve effecten is er ook een kans op negatieve effecten als gevolg van de maatregelen die worden genoemd in het Klimaatakkoord. Zo kunnen verschillende maatregelen invloed hebben op gezondheid, veiligheid, natuur en milieu.

Het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) wil inzicht krijgen in de mogelijke effecten en risico's van de maatregelen die worden genomen in het kader van het Klimaatakkoord en de energietransitie op de gezondheid en de veiligheid van de Nederlandse samenleving. Daartoe zijn in 2019 twee verkennende onderzoeken uitgevoerd. Ten eerste heeft het RIVM de (positieve) gevolgen in beeld gebracht van het verdwijnen van de huidige fossiele CO₂-bronnen voor veiligheid, gezondheid en natuur (Van der Ree *et al.*, 2019). Daarnaast heeft het Analistennetwerk Nationale Veiligheid de risico's van nieuwe energietechnologieën geanalyseerd vanuit het perspectief van de nationale veiligheid (ANV, 2019).

In vervolg op deze analyses heeft het ministerie van EZK gevraagd om de (positieve en negatieve) effecten van vervangende energiebronnen en de daarmee gepaard gaande maatregelen op veiligheid en gezondheid in kaart te brengen, zodat deze kunnen worden meegenomen in de afwegingen en keuzen binnen de energietransitie. Dit rapport beschrijft de opzet en resultaten van deze studie. Dit rapport is onderdeel van een drietal studies. De eerste betreft de actualisatie van het RIVM-rapport 2019, waarin de effecten van het uitfasen van fossiele energie in kaart zijn gebracht (Kelfkens *et al.*, 2021). Dit onderhavige rapport gaat dus in op de mogelijke effecten en risico's van de energiebronnen en maatregelen uit het Klimaatakkoord voor gezondheid en veiligheid. De derde studie is ingegaan op de gezondheids- en veiligheidseffecten van klimaatverandering in Nederland en schetst een beeld van het effect van het klimaatmitigatiebeleid op de gezondheid en veiligheid (Hall *et al.*, 2021).

Om de effecten en risico's van de maatregelen uit het Klimaatakkoord voor gezondheid en veiligheid te kunnen beoordelen en in vergelijkend perspectief te kunnen plaatsen – het gaat immers om een divers palet aan bronnen en maatregelen, waarbij nog onduidelijk is in welke mate

deze in de verschillende regio's (RES¹) zullen worden toegepast – is een systematische aanpak nodig. Bij voorkeur worden effecten op gezondheid en veiligheid uitgedrukt in kwantitatieve maten, al is dat vanwege een aantal onzekerheden vaak niet mogelijk. Zo zijn er verschillende scenario's denkbaar waarlangs de energietransitie zich kan ontwikkelen. Ook zijn niet voor alle gezondheids- en veiligheidsaspecten voldoende gegevens beschikbaar om effecten te kunnen kwantificeren. Daarom is gekozen voor een combinatie van kwantificering waar mogelijk, aangevuld met expert judgement.

¹ RES staat voor Regionale Energie Strategie. Nederland is ingedeeld in 30 energieregio's. In elk van deze regio's werken overheden, bedrijven en maatschappelijke organisaties samen om op regionaal niveau te onderzoeken waar en hoe het best duurzame elektriciteit opgewekt kan worden, welke warmtebronnen te gebruiken zijn, welke energie-infrastructuur nodig is en welke maatregelen maatschappelijk gezien acceptabel en financieel haalbaar zijn. Het Nationaal Programma RES ondersteunt de regio's bij het maken van de RES. Medio 2021 moet elke regio een RES 1.0 gereed hebben.

2 Afbakening, werkwijze en leeswijzer

De focus van deze analyse is inzichtelijk maken van de mogelijke impact van de maatregelen in het klimaatakkoord, waarbij het accent ligt op gezondheidseffecten en veiligheidsrisico's. Het kwantificeren van effecten op de natuur en het milieu valt buiten de scope van deze analyse. Er is echter wel voor gekozen om eventuele effecten op dit vlak te benoemen, te meer vanwege de relatie met gezondheid. Daarnaast zal er waar relevant worden ingegaan op eventuele toe- of afname van de stikstofdepositie door de maatregelen uit het klimaatakkoord. Deze effecten worden niet gekwantificeerd.

De maatregelen en energiebronnen die worden genoemd in het Klimaatakkoord vormen de basis van deze studie. Dit houdt een beperking in van het aantal energiebronnen en maatregelen dat wordt beschouwd. Kernenergie wordt bijvoorbeeld niet expliciet genoemd in het Klimaatakkoord en is daarom niet meegenomen in dit onderzoek. Ook de vermindering van de CO₂-uitstoot door de internationale scheepvaart en luchtvaart is geen onderdeel van het Klimaatakkoord en valt buiten de scope van dit rapport. Wel zullen we er kort aandacht aan besteden bij de bespreking van gezondheids- en veiligheidsaspecten van biobrandstoffen.

Zoals gemeld richt deze studie zich op de impact van de maatregelen en energiebronnen genoemd in het Klimaatakkoord en gaat ze niet in detail in op het (netto) effect van deze maatregelen en op het afbouwen van de huidige maatregelen (lees: energiewinning met fossiele brandstoffen). Die gevolgen zijn immers al inzichtelijk gemaakt (Van der Ree *et al.*, 2019) en geactualiseerd (Kelfkens, 2021). Om het verschil duidelijk te maken, nemen we de vervanging van een kolencentrale als voorbeeld. Dit is een maatregel die wordt genoemd in het Schone Lucht Akkoord (SLA) met een positief effect op de luchtkwaliteit. De netto opbrengst voor de luchtkwaliteit hangt echter af van of een kolencentrale wordt vervangen door een biomassacentrale of door bijvoorbeeld windenergie. In deze studie beschouwen we uitsluitend de effecten van de maatregelen biomassa en windenergie, omdat die als maatregelen worden genoemd in het Klimaatakkoord binnen een van de Klimaattafels, en niet de effecten van het stoppen van energiewinning met de kolencentrale. In de beschouwing van de resultaten zullen we wel op hoofdlijnen ingaan op het netto effect van de vervangende energiebronnen en maatregelen samen ten opzichte van het afbouwen van energiewinning met fossiele brandstoffen.

Bij het in kaart brengen van de effecten voor gezondheid en de veiligheidsrisico's vormt het in gebruik hebben (de gebruiksfase) van de maatregelen genoemd in het klimaatakkoord het uitgangspunt. Dit betekent onder andere dat de mogelijke effecten tijdens het productieproces van bijvoorbeeld windturbines, zonnepanelen of een geothermieput, of effecten van het amoveren als de productie is gestopt, buiten beschouwing blijven.

In de zogenoemde Klimaattafels hebben betrokken partijen (overheden, bedrijfssectoren, brancheorganisaties, adviesraden en maatschappelijke organisaties) afspraken op hoofdlijnen gemaakt, op grond waarvan een samenhangend pakket aan voorstellen is opgesteld om het CO₂-reductiedoel in 2030 te kunnen realiseren. Voor dit onderzoek is eerst per Klimaattafel (Gebouwde omgeving, Mobiliteit, Landbouw en landgebruik, Industrie en Elektriciteit) een inventarisatie gemaakt van de energiebronnen en maatregelen. Daarbij is nagegaan welke hiervan mogelijk kunnen leiden tot effecten voor de gezondheid en veiligheid (met een schuin oog naar natuur en milieu). Vanuit de inventarisatie is vervolgens per maatregel ingezoomd op de mogelijke impact op gezondheid of veiligheid. Voor deze verdiepingsstap is gebruikgemaakt van literatuurstudie en interviews met experts vanuit het RIVM. Hierdoor ontstaat inzicht in de aspecten die het meest van belang zijn en is een eerste indicatie beschikbaar van de omvang van de effecten. Dit levert een globaal overzicht op maatregelniveau.

Voor een verdere vergelijking is een methode ontwikkeld om de gezondheidseffecten en veiligheidsrisico's te beoordelen en (onderling) te kunnen vergelijken. De gehanteerde methode en de criteria zijn in het volgende hoofdstuk beschreven.

Als laatste stap zijn de maatregelen met hun mogelijke effecten in een breder perspectief geplaatst. Dan gaat het niet meer om de mogelijke effecten van een losse maatregel, maar om mogelijke toekomstbeelden waarin de verschillende maatregelen als systeem worden geschetst. Daarbij wordt gebruikgemaakt van een scenariostudie van Den Ouden *et al.* (2020), een studie die vier mogelijke toekomstbeelden heeft uitgewerkt voor een klimaatneutrale energievoorziening in 2050. Elk van deze vier toekomstbeelden hangt samen met hoe de energietransitie zich kan ontwikkelen als gevolg van economische, maatschappelijke en politieke invloeden en van regionale, nationale en internationale sturingsmechanismen. De vier toekomstbeelden zijn samengevat in hoofdstuk 5.

Zoals gemeld bevat het volgende hoofdstuk de beschrijving van de methodiek en de gebruikte criteria om de effecten en risico's te beoordelen. De resultaten van de inventarisatie van de bronnen en maatregelen uit het Klimaatakkoord worden gepresenteerd in hoofdstuk 4. De relevante bronnen en maatregelen zijn in ditzelfde hoofdstuk vervolgens een voor een beschreven, waarbij nader wordt ingegaan op de mogelijke effecten. De stap naar het breder perspectief en de verschillende scenario's waarlangs de energietransitie zich kan voltrekken, wordt gemaakt in hoofdstuk 5. Daar wordt een viertal toekomstbeelden samengevat. Hoofdstuk 6 bevat vervolgens het overzicht van de resultaten van de mogelijke gezondheidseffecten en veiligheidsrisico's. In dat hoofdstuk wordt ook een beschouwing gegeven van het netto effect van de vervangende energiebronnen en maatregelen ten opzichte van het afbouwen van energiewinning met fossiele brandstoffen. Het rapport sluit af met een hoofdstuk conclusies en slotbeschouwing. Hierin worden de resultaten uit hoofdstuk 6 met behulp van de toekomstbeelden in een breder perspectief geplaatst. Daarbij wordt op hoofdlijnen ook ingegaan op mogelijke aanvullende maatregelen om de negatieve effecten die zijn geïnventariseerd te reduceren.

3 Beoordelingsmethodiek

In het Klimaatakkoord wordt een divers palet aan energiebronnen en maatregelen beschreven. Om de gevraagde effecten op gezondheid en veiligheid van deze – veelal uiteenlopende – bronnen en maatregelen te kunnen beoordelen en in vergelijkend perspectief te kunnen plaatsen, is er een systematische aanpak nodig. Het uitgangspunt daarbij is om de effecten en risico's zo goed mogelijk uit te drukken in kwantitatieve maten, al dan niet aangevuld met expert judgement.

In de volgende paragrafen wordt de methode beschreven voor achtereenvolgens gezondheid en veiligheid. We richten ons daarbij in eerste instantie op effecten en risico's die een negatieve impact hebben. Eventuele positieve effecten (zie paragraaf 3.4) en ook de impact op natuur en milieu, inclusief bijdragen aan de stikstofdepositie (zie paragraaf 3.3), zullen alleen kwalitatief worden beschouwd.

3.1 Effecten op gezondheid

In analogie met de werkwijze voor de analyse van de effecten als gevolg van het verdwijnen van fossiele brandstoffen (Van der Ree *et al.*, 2019) richten we ons op milieugerelateerde gezondheidseffecten en gaan we uit van de beoordelingsmethodiek van de Volksgezondheid Toekomst Verkenning 2018 (VTV 2018). In deze benadering wordt de ziektelast (Burden of Disease) voor een bepaalde populatie uitgedrukt in Disability Adjusted Life Years (DALY's). DALY's worden berekend uit ziektejaarequivalenten (het aantal jaren geleefd met een ziekte, gewogen voor de ernst hiervan (Years Lived with Disability; YLD's) en het aantal verloren levensjaren door vroegtijdige sterfte als gevolg van de ziekte (Years of Life Lost; YLL's). Op deze wijze kunnen gezondheidseffecten door verschillende oorzaken (bronnen) of voor verschillende typen ziekten vanuit eenzelfde perspectief worden vergeleken. Dit is een wetenschappelijk en door onder meer de WHO geaccepteerde aanpak, die veel wordt toegepast in onderzoek ten behoeve van beleid. Een belangrijke onzekerheid bij het berekenen van DALY's wordt bepaald door de keuze (aanname) van de weegfactor voor de ernst van de aandoening, die lineair doorwerkt. Voor veel aandoeningen is er consensus over deze weegfactoren. Niettemin kunnen aannames per soort aandoening verschillend zijn, waardoor DALY's niet zomaar kunnen worden opgeteld.

Op de website Volksgezondheidszorg.info zijn gegevens te vinden over ziektelast uitgedrukt in DALY's, toegeschreven aan verschillende soorten ziekten dan wel aan verschillende soorten bronnen of oorzaken. De totale ziektelast van de Nederlandse bevolking is geschat op ongeveer 5.000.000 DALY's (VTV, 2018). Ongeveer 4% daarvan (200.000 DALY's) wordt toegeschreven aan bronnen en factoren in het milieu (175.000 DALY's aan buitenmilieu en 25.000 DALY's aan binnenmilieu). Ter vergelijking met leefstijlfactoren: de ziektelast door roken, ongezonde voeding, weinig bewegen en alcoholgebruik bedraagt gezamenlijk ruim 1.000.000 DALY's.

Omdat het berekenen van DALY's in het kader van deze studie is omgeven met vele onzekerheden, is een indeling gemaakt in vier klassen op basis van orde-grootte. Deze klassen staan in onderstaande Tabel 3.1. Per klasse is aangegeven hoe de berekende ziektelast zich verhoudt tot de totale ziektelast veroorzaakt door milieufactoren. Als er geen of onvoldoende informatie beschikbaar is, of dusdanig onzeker dat uitdrukken in DALY's niet is te verantwoorden, dan is het effect beoordeeld op basis van expert judgement.

Tabel 3.1 De bij de beoordeling gehanteerde indeling in vier klassen op basis van orde-grootte ziektelast, uitgedrukt in DALY's.

Klasse	Aantal DALY's	% t.o.v. totale ziektelast 'milieu' (200.000)
0 (geen effect)		
A	< 1.000	< 0,5%
B	1.000 – 10.000	0,5 – 5 %
C	> 10.000	> 5%

Als het gaat om effecten als gevolg van de energietransitie, kunnen de volgende milieugerelateerde thema's een rol spelen: luchtverontreiniging (buiten), binnenmilieu, (laagfrequent) geluid en trillingen en overige effecten. Voor elke energiebron c.q. maatregel is per milieuthema eerst vastgesteld of er een gezondheidseffect is te verwachten. Zo ja, dan is informatie verzameld om het effect te kwantificeren in DALY's of is een kwalitatieve beoordeling gegeven. De resultaten van deze beoordelingen en de onderbouwing daarvan zijn beschreven in hoofdstuk 4. Hieronder geven we eerst een algemene beschouwing van de gezondheidseffecten per milieuthema. In hoofdstuk 4 gaan we in op specifieke zaken.

Luchtverontreiniging

Van alle milieuthema's heeft luchtverontreiniging de grootste invloed op onze gezondheid. Die invloed wordt grotendeels bepaald door blootstelling aan fijnstof en aan stikstofdioxide, die kan leiden tot (het verergeren van) hart- en vaatziekten en aandoeningen van de ademhalingsorganen, en tot vroegtijdige sterfte. Ook blootstelling aan andere schadelijke stoffen, onder meer PAK's, roet, ozon en vluchtige organische componenten zoals aldehyden en aromaten, brengt schade toe aan de gezondheid, onder meer doordat ze carcinogeen zijn of andere toxische effecten veroorzaken. Die bijdrage is echter kleiner dan die van fijnstof en stikstofdioxide. De totale bijdrage van luchtverontreiniging aan de ziektelast wordt geschat op 150.000 DALY's (VTV 2018).

Om de ziektelast door luchtverontreiniging te verminderen, is sinds begin 2020 het Schone Lucht Akkoord (SLA) van kracht. Dit akkoord, dat is ondertekend door het ministerie van I&W en een groot aantal gemeenten en provincies, bevat een pakket aan maatregelen om de lucht in Nederland schoner en gezonder te maken. Het gaat vooral om het reduceren van emissies van fijnstof en stikstofdioxide door wegverkeer, landbouw, scheepvaart, industrie en huishoudens. Dit wordt voor een aanzienlijk deel bereikt door het (geleidelijk) terugdringen van het gebruik van fossiele brandstoffen voor vervoer,

industriële processen en energieproductie, en door vervanging door andere vormen van energiewinning.

In het kader van het SLA is berekend hoe groot de gezondheidswinst is bij volledige vervanging van fossiele brandstoffen – behalve voor de zeescheepvaart en luchtvaart (deze vallen beide buiten het Klimaatakkoord) – in Nederland en het buitenland. Deze komt overeen met een reductie van ongeveer 40% ofwel 60.000 DALY's (Van der Ree *et al.*, 2019). Met de aanvullende maatregelen uit het Klimaatakkoord (boven op die van het SLA) wordt de reductie 42% overeenkomend met 63.000 DALY's. Daar is eventuele gezondheidsschade als gevolg van luchtverontreiniging veroorzaakt door nieuwe energiebronnen en maatregelen niet in verdisconteerd. Dat wordt juist in dit rapport onderzocht.

Effecten van geluid

Blootstelling aan geluid kan tot verschillende gezondheidseffecten leiden, namelijk: (ernstige) hinder, (ernstige) slaapverstoring, coronaire hartziekten, hypertensie, concentratieproblemen c.q. leerachterstand bij kinderen (lezen), en aantasting van het algeheel welbevinden en kwaliteit van leven. Bij langere blootstelling aan zeer hoge geluidsniveaus (meer dan 80 dB) kunnen gehoorschade en tinnitus optreden. Hinder wordt als een gezondheidseffect beschouwd, conform het uitgangspunt van de WHO (en ook in het Nederlandse beleid) die gezondheid beschouwt als een staat van compleet fysiek, mentaal en sociaal welbevinden en niet uitsluitend als de afwezigheid van ziekte. Door de grote verschillen in typen effecten is een relatie tussen geluid en gezondheid niet eenvoudig te leggen. Voor (ernstige) hinder, slaapverstoring en leerachterstand bij kinderen is er voldoende wetenschappelijk bewijs voor de relatie met geluidsbelasting, voor coronaire hartziekten is er enig bewijs, en voor andere effecten is dat bewijs zeer beperkt (Van Kamp *et al.*, 2018).

In Nederland is wegverkeer veruit de belangrijkste geluidsbron die hinder veroorzaakt, gevolgd door rail- en vliegverkeer, burelen, windturbines, industrielawaai, constructiewerkzaamheden en recreatie. De geluidsbelasting van de Nederlandse bevolking neemt de laatste jaren geleidelijk toe (zie onder andere Van Poll, 2020). Door het overschakelen op elektrisch vervoer zullen hinder en slaapverstoring door wegverkeer komende jaren afnemen, resulterend in een mogelijke reductie van een derde in het aantal gehinderden in 2050 (Verheijen en Jabben, 2010). Daar staat tegenover dat een toename van het treinverkeer (groei van het openbaar vervoer) kan zorgen voor meer hinder door geluid en trillingen.

De laatste jaren is er toenemende aandacht voor gezondheidseffecten door laagfrequent geluid. Dat is geluid dat is opgebouwd uit lage frequenties, tussen 20 en 100/125 Hz, die voor veel mensen niet met het oor waarneembaar zijn. Vaak wordt gesproken over 'bromtonen', omdat niet in alle gevallen is gemeten of de bromtoon inderdaad onder de 100/125 Hz ligt. Het aantal meldingen over zulke bromtonen bij GGD'en is de laatste jaren gegroeid (Dusseldorp *et al.*, 2019).

Laagfrequent geluid kan ernstige hinder veroorzaken en mogelijk slaapverstoring. Voor andere soorten klachten, zoals hoofdpijn, duizeligheid, evenwichtsverlies, concentratieproblemen, problemen met hart en luchtwegen en de zogeheten vibro-akoestische ziekte², bestaat er geen bewijs dat laagfrequent geluid daar een mogelijke oorzaak van is. Soms nemen mensen een bromtoon waar die er niet is, maar die kan worden veroorzaakt door bijvoorbeeld tinnitus. In dat geval is het mogelijk om hulp te krijgen bij het leren omgaan met deze waarneming (White *et al.*, 2020). Bekende bronnen van laagfrequent geluid zijn wegverkeer, railverkeer, vliegverkeer, zware motoren, windturbines, industrie, transformatoren, warmtepompen, mechanische ventilatie, airco's, (zuiger)compressoren, generatoren, wasmachines en muziek bij festivals. Door de groei van windturbines, mechanische ventilatie, koelsystemen en warmtepompen neemt het aantal van zulke bronnen toe. Daar komt bij dat door maatregelen tegen geluid van wegverkeer, die vooral hogere tonen dempen, laagfrequent geluid relatief meer opvalt.

Binnenmilieu

Mensen verkeren een groot deel van de tijd in hun woning of in andere gebouwen en worden daar blootgesteld aan stoffen, radioactieve straling, micro-organismen, vocht en geluid. In de VTV 2018 is een overzicht gegeven van de ziektelast door verschillende factoren in het binnenmilieu. Dit overzicht is grotendeels gebaseerd op een studie van Schram *et al.* (2013), die de ziektelast als gevolg van blootstelling aan binnenlucht op 25.000 (7.000 tot 52.000) DALY's schatten. De belangrijkste oorzaken waren blootstelling aan tabaksrook, radon en thoron en vochtigheid. Andere oorzaken, zoals CO-vergiftiging, blootstelling aan formaldehyde en andere vluchtige organische componenten, dragen weinig bij aan de ziektelast. In de studie van Schram *et al.* is echter blootstelling aan houtrook, micro-organismen (schimmels, virussen en bacteriën) en verbrandingsproducten zoals fijnstof en NO₂ niet meegenomen.

In woningen waar warmte wordt opgewekt met hout- of pelletkachels kunnen bewoners worden blootgesteld aan houtrook. Gerapporteerde gezondheidseffecten door houtrook zijn voornamelijk allergieën, ademhalingsklachten en aandoeningen van de luchtwegen. Hier wordt dieper op ingegaan in de beschrijving van energiewinning met behulp van biomassa (zie paragraaf 4.7).

Bij koken op aardgas komen verbrandingsproducten vrij, zoals fijnstof en NO₂. Door de overgang van koken op gas naar elektrisch koken zal deze blootstelling afnemen (Jacobs *et al.*, 2016).

Micro-organismen, zoals schimmels, virussen en bacteriën, vormen in gebouwen een andere potentiële bron van ziekten. De meeste micro-organismen zijn niet schadelijk of veroorzaken hooguit milde klachten, zoals een verkoudheid. Sommige kunnen echter ernstige ziektes en zelfs overlijden veroorzaken, vooral bij mensen met een kwetsbare gezondheid. Voorbeelden zijn *Aspergillus fumigatus* (een schimmel), *Legionella* (een bacterie) en het SARS-CoV-2 virus. In hoeverre de ziektelast als gevolg van dit soort infectieziekten is toe te schrijven aan

² Dit is een verzamelnaam voor verschillende klachten variërend van somberheid tot bindweefsel dat kapot gaat, hart- en vaatziekten en epilepsie die sommige mensen toeschrijven aan laagfrequent geluid. De vibro-akoestische ziekte is wetenschappelijk niet bewezen en is ook geen erkende diagnose in de medische wereld.

het binnenmilieu, is niet goed bekend. Dat komt onder meer doordat voor vele micro-organismen niet exact bekend is hoe de verspreiding en transmissie verlopen en waar mensen zoal besmettingen oplopen (in huis of op andere plaatsen). Vanwege de COVID-19-crisis wordt veel onderzoek gedaan naar de rol van transmissie via druppels, aerosolen en oppervlakken, maar tot nu toe heeft dat niet geleid tot een eenduidig beeld (RIVM, *pers. commun.*). Uit bron- en contactonderzoek blijkt vaak dat bij uitbraken verschillende routes mogelijk zijn, en dat zal niet anders zijn voor andere veelvoorkomende virussen. Mede daardoor is de ziektelast door blootstelling aan micro-organismen in het binnenmilieu niet goed te schatten.

In algemene zin is wel duidelijk dat voldoende ventilatie van gebouwen helpt om de verspreiding van ziekteverwekkers en de blootstelling aan stoffen, vocht en micro-organismen in binnenmilieu te verkleinen. Aan de andere kant moet verlies van warmte uit gebouwen zo goed mogelijk worden beperkt. Er moet dus een goede balans zijn tussen verversen van lucht enerzijds en verlies van warmte of koude anderzijds. Dat betekent dat de ventilatiemogelijkheden goed afgestemd moeten zijn op de mate van isolatie en op het gebruik van het gebouw, niet alleen in technisch opzicht, maar ook wat betreft het gedrag van bewoners of gebruikers. In paragraaf 4.5 komen we hier op terug.

Overige gezondheidseffecten

Een potentiële bron van gezondheidseffecten wordt gevormd door elektromagnetische velden (EMV). Extreem laagfrequente elektromagnetische velden (ELF) kunnen acute effecten veroorzaken. Als de ELF-velden sterk genoeg zijn, kunnen ze leiden tot duizeligheid, het zien van lichtflitsen en het voelen van tintelingen of pijn door prikkeling van zenuwen. Deze veldsterkten komen in de leefomgeving niet voor. Ook radiofrequente (RF) velden kunnen door oververhitting tot acute effecten leiden. Voor beide typen EMV zijn limieten vastgesteld, waaronder deze kortetermijneffecten niet optreden. Onderzoek naar mogelijke gezondheidseffecten op de lange termijn door blootstelling aan EMV onder deze limieten is nog in volle gang. Er zijn aanwijzingen dat kinderen die in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen wonen en boven een bepaalde magneetveldsterkte worden blootgesteld, een hogere kans hebben om leukemie te krijgen. De effecten daarvan worden geschat op ongeveer 35 DALY's, uitgaande van een oorzakelijk verband.³

De Nederlandse overheid hanteert sinds 2005 een voorzorgbeleid bij bovengrondse hoogspanningslijnen. Dit beleid is gericht op het voorkómen van nieuwe situaties waarin kinderen langdurig worden blootgesteld aan magneetvelden boven de 0,4 microtesla, zoals bij de aanleg van nieuwe hoogspanningslijnen en het bouwen van nieuwe woningen bij bestaande hoogspanningslijnen. Naar aanleiding van een advies van de Gezondheidsraad overweegt de overheid het voorzorgbeleid uit te breiden tot andere delen van het elektriciteitsnet, zoals ondergrondse hoogspanningsverbindingen, transformatorstations en transformatorhuisjes. Welke vorm het nieuwe beleid precies krijgt en

³ Uitgaande van een oorzakelijk verband is 1 van de 270 leukemiegevallen van kinderleukemie die elke twee jaar in Nederland optreden toe te schrijven aan de magneetvelden van een bovengrondse hoogspanningslijn. Met een ruwe schatting komt dit overeen met circa 35 DALY's per jaar.

wat dat betekent voor eventuele gezondheidseffecten, kan op dit moment niet worden ingeschat.

Andere bronnen van EMV, zoals elektrische apparaten, zonnepanelen en mobiele telefoons, voldoen in principe aan eisen waardoor de veldsterkte onder de door de overheid gehanteerde blootstellingslimiet ligt. Voor deze apparaten geldt, in tegenstelling tot voor kinderen die in de buurt van een bovengrondse hoogspanningslijn wonen, dat men er gewoonlijk niet langdurig aan wordt blootgesteld.

Elektrificatie is een belangrijke pijler van de voorgenomen energietransitie. Daardoor zal de capaciteit van het elektriciteitsnet en het landelijk hoogspanningsnetwerk fors moeten worden uitgebreid. Daarnaast groeit ook het aantal andere bronnen van EMV, zoals warmtepompen, zonnepanelen, laadpalen en (buurt)batterijen.

Andere gezondheidseffecten, zoals verstoring van het lichtbeeld (door de slagschaduw van windturbines) en geurhinder, worden specifiek besproken bij de bronnen en maatregelen waar deze effecten mogelijk aan de orde zijn.

Consumptie van verontreinigd drinkwater, gewonnen uit grond- en oppervlaktewater dat is vervuild door bijvoorbeeld lekkage in een geothermieput (zie paragraaf 4.10) of uitspoeling van stoffen in een zonnepark, vormt een potentieel gezondheidsrisico. Echter, in de Nederlandse drinkwatervoorziening wordt zulke verontreiniging over het algemeen efficiënt verwijderd door zuivering –incidenten uitgezonderd. We beschouwen deze route daarom niet als een relevante oorzaak van gezondheidsschade als gevolg van nieuwe vormen van energiewinning.

3.2 Veiligheidsrisico's

In dit onderzoek beschouwen we veiligheidsrisico's als schade die kan ontstaan als gevolg van afwijkingen van een normale situatie, zoals incidenten, rampen of (arbeids)ongevallen. Het onderscheid van deze potentiële veiligheidseffecten met de effecten op gezondheid is dat bij het laatste wordt uitgegaan van de gevolgen die zullen optreden in geval van een normale (continue) situatie. Qua veiligheidsrisico's kan het gaan om (chronisch) letsel en overlijden, maar ook om psychische, economische en fysieke schade die het welbevinden van slachtoffers negatief beïnvloeden. In deze studie is de focus de mogelijke directe schade voor de mens (overlijden/letsel). Hierbij wordt onderscheid gemaakt in (i) omgevingsveiligheid, (ii) arbeidsveiligheid en (iii) veiligheid in en om het huis (consumentenveiligheid) en (iv) overige veiligheidsrisico's.

Bij omgevingsveiligheid gaat het om de risico's van het gebruik en transport van gevaarlijke stoffen, de veiligheid van industriële bedrijven en de veiligheid van nieuwe, zich snel ontwikkelende technologieën. Hierbij ligt de focus op de risico's met betrekking tot schade door explosies, branden en het vrijkomen van gevaarlijke stoffen (toxische wolken) voor mensen in de omgeving van een risicobron, zoals een chemische installatie, een tankwagen of een buisleiding. Binnen dit onderzoek gaat het bijvoorbeeld om risico's gekoppeld aan het

toepassen van waterstof of biogas, of om gevaarlijke stoffen die vrijkomen bij een brand van bijvoorbeeld een buurtbatterij.

Arbeidsveiligheid heeft betrekking op risico's die werknemers kunnen lopen bij handelingen die ze tijdens hun werk verrichten. Binnen het thema energiewinning kan worden gedacht aan ongevallen bij installatie, reparatie en onderhoud van windturbines, zonnepanelen, geothermieputten, warmtepompen, buurtbatterijen, buisleidingen, energiecentrales, et cetera. Ook consumenten kunnen risico's ondervinden, bijvoorbeeld bij een brand van een zonnepaneel op een woonhuis of als ze zelf reparaties of onderhoud uitvoeren aan een warmtepomp, batterij of zonnepaneel (consumentenveiligheid). De brandbestrijding vormt binnen de energietransitie een apart aandachtsgebied en valt buiten de scope van dit rapport. Op plekken waar het een aandachtspunt vormt, is het wel gemeld. Vanuit organisaties als Brandweer Nederland en het Instituut Fysieke Veiligheid (IFV) wordt hier aandacht voor gevraagd (onder andere IFV, 2020).

Onder 'overige veiligheidsrisico's' vallen zaken als de eventuele impact met betrekking tot verkeersveiligheid en voedselveiligheid, zoals schade aan gewassen door bijvoorbeeld depositie van deeltjes bij branden. Deze laatste categorie is methodisch niet verder uitgewerkt, omdat het slechts een beperkt aantal maatregelen uit het Klimaatakkoord betreft en veelal om indirecte gevolgen gaat. Mogelijk relevante aandachtspunten ten aanzien van deze vormen van veiligheid die in de analyses per bron of maatregel naar voren komen, worden aldaar benoemd.

Hieronder wordt ingegaan op de indicatoren voor omgevingsveiligheid, arbeidsveiligheid en consumentenveiligheid.

Omgevingsveiligheid

In Nederland gebeuren weinig rampen of incidenten met gevaarlijke stoffen waarbij *in de omgeving* van een bedrijf, transportroute of buisleiding (dodelijke) slachtoffers zijn gevallen (zoals de brand bij Chemiepack (zonder dodelijke slachtoffers) of de Vuurwerkkramp in Enschede (met dodelijke slachtoffers)). Daardoor zijn er geen DALY's beschikbaar voor de kwantificering van het effect. Om toch veiligheid in vergelijkend perspectief te kunnen plaatsen, kiezen we voor de volgende methodische benadering. In de vigerende regelgeving voor activiteiten met gevaarlijke stoffen is het plaatsgebonden risico (PR) een risicomaat waarvoor een norm geldt. De norm van het PR betreft de overlijdenskans van $PR \ 1 \cdot 10^{-6}$ per jaar, dat wil zeggen dat de kans om te overlijden als gevolg van een incident bij een risicobron een op de miljoen per jaar is.⁴

In het gebied vanaf de risicobron tot aan de plek waar de $PR \ 1 \cdot 10^{-6}$ contour ligt, gelden beperkingen qua ruimtelijke ontwikkeling. Dit houdt in dat de omvang van het $PR \ 1 \cdot 10^{-6}$ contour iets zegt over het ruimtebeslag dat een risicobron veroorzaakt. In andere woorden: hoe groter de omvang van de $PR \ 1 \cdot 10^{-6}$ contour des te groter het gebied waar ruimtelijke beperkingen gelden. Op deze manier kan de berekende afstand van de risicobron tot de $PR \ 1 \cdot 10^{-6}$ als indicator dienen (voor de

⁴ Het plaatsgebonden risico is de kans per jaar dat één persoon overlijdt door een ongeval met gevaarlijke stoffen. Deze persoon bevindt zich onafgebroken en onbeschermd op één bepaalde plaats.

risicobronnen waar een PR $1 \cdot 10^{-6}$ voor kan worden bepaald). Naast het plaatsgebonden risico is er het groepsrisico (GR), waarvoor geen norm geldt. Het groepsrisico drukt de kans uit op een incident met een groot aantal slachtoffers. Dit is onder meer afhankelijk van het aantal inwoners in de directe omgeving van een risicobron. Het groepsrisico is een instrument waarmee het bevoegde gezag een afweging kan maken in het gebied buiten de PR 10^{-6} afstand, maar waar nog wel impact van incidenten kan optreden.⁵ Doordat het groepsrisico afhangt van de specifieke situatie, is het niet geschikt als indicator binnen deze studie en wordt het dan ook verder niet gebruikt.

Dit betekent dat de afstanden van de risicobron tot de PR 10^{-6} als indicator voor de omgevingsveiligheid zullen dienen. Het zijn de risicoafstanden die gelden als aan de norm wordt voldaan. Hierbij geldt wel dat er geen referentiekader bestaat waar een onderverdeling in categorie A, B of C aan is te koppelen. Anders gezegd, die onderverdeling is enigszins arbitrair en maakt alleen een onderlinge vergelijking mogelijk.

- 0: als omgevingsveiligheid niet relevant is;
- A: < 30 m;
- B: 30-100 m;
- C: >100 m.

De geografische context speelt hierbij overigens een belangrijke rol. Als een nieuwe activiteit met een gevaarlijke stof op grote afstand van woonbebouwing plaatsvindt, maakt het voor de risico's van de omgeving niet uit of een PR $1 \cdot 10^{-6}$ op 30 of 300 meter vanaf de bron ligt. Dit betekent dat omgevingsveiligheid niet relevant is voor bijvoorbeeld windturbines op zee of voor CO₂-opslag onder de Noordzee. Bij dit laatste zijn de leidingen naar de opslag toe wel relevant.

Verder speelt het aantal risicovolle bronnen of activiteiten een rol. Bij grotere aantallen is de kans op een incident bij een van de tankstations groter dan bij kleine aantallen. Het maakt uit of het gaat om bijvoorbeeld tientallen of duizenden waterstoftankstations. Het aantal bronnen hangt af van de wijze waarop de energietransitie zal worden vormgegeven. Om hiermee rekening te houden wordt gebruikgemaakt van de verschillende toekomstbeelden (zie hoofdstuk 5).

Arbeidsveiligheid

Jaarlijks vallen er tientallen dodelijke slachtoffers bij arbeidsongevallen. Afgelopen jaren waren dat er 69 (2019), 71 (2018) en 54 (2017). De meeste dodelijke slachtoffers (in absolute zin) van arbeidsongevallen vallen in de sector bouw. In 2019 overleden in totaal 18 slachtoffers in deze sector. Daarnaast vielen in 2019 de meeste dodelijke slachtoffers van arbeidsongevallen – net als in voorgaande jaren – in de sectoren vervoer en opslag (10), industrie (9), landbouw/bosbouw en visserij (8) en de handel (7) (Inspectie SZW, 2020 en ministerie SZW, 2020). Ook relatief (aantal dodelijke slachtoffers afgezet naar het aantal banen binnen een sector) vallen in de bouwnijverheid de meeste slachtoffers, gevolgd door de sectoren afvalbeheer (inclusief waterleidingbedrijven),

⁵ Voor het groepsrisico is er een doorontwikkeling gaande, waarbij onder meer gebruik zal worden gemaakt van aandachtsgebieden. Zie: <https://omgevingsveiligheid.rivm.nl/handboek-omgevingsveiligheid>.

landbouw/ bosbouw/visserij, industrie en vervoer/opslag (Inspectie SZW, 2020).

Als wordt ingezoomd op de energiesector, dan is de constatering uit het RIVM-rapport van 2019 (Van der Ree *et al.*, 2019) dat er qua orde-grootte gemiddeld 1 dodelijk arbeidsslachtoffer per jaar valt bij de winning, verwerking en opslag van fossiele brandstoffen. In de meeste van de gevallen is er geen verband met gevaarlijke stoffen.

Omdat het in deze studie gaat om mogelijke toekomstige situaties wat betreft de beschouwde energiebronnen en maatregelen, is het niet mogelijk om de risico's direct te relateren aan de bestaande ongevalsdata. De huidige data kunnen wel helpen om een indicatie te geven waar extra arbeidsrisico's te verwachten zijn. Dit kan door uit te gaan van de sectoren waar de meeste ongevallen plaatsvinden en te kijken naar de voornaamste achterliggende oorzaken. Door die inzichten te relateren aan de activiteiten die nieuwe energiebronnen of maatregelen vragen, wordt een beeld gevormd van het extra arbeidsrisico van de bron of maatregel.

Uit deze analyse volgt dat machineongeval, ongeval met vallende objecten (niet kranen) en vallen van ladder/trapje het meeste voorkomen als oorzaak van een ernstig ongeval. Voor de bouwsector speelt het werken op hoogte (denk aan: vallen van daken, vloer of platform en het vallen van een steiger) een belangrijke rol.

Voor deze studie wordt dit vertaald naar indicatoren die zijn gekoppeld aan het installeren en onderhouden van (elektrische) installaties, waarbij het werken op hoogte een extra risico geeft. Het installeren en onderhouden van een windturbine op grote hoogte brengt bijvoorbeeld meer risico op vallen met zich mee dan het onderhoud van een buurtbatterij. Daarnaast is het werken met gevaarlijke stoffen gebruikt als indicator. Verder geldt dat als de aantallen nieuwe installaties groot zijn, ook het arbeidsrisico (de kans op ongevallen) simpelweg toeneemt. Als miljoenen woningen van een warmtepomp of zonnepanelen moeten worden voorzien, dan vraagt dat veel inzet van installateurs.

Op grond van bovenstaande worden de volgende vragen gehanteerd om een beeld te krijgen van de arbeidsveiligheid:

- Vraagt een maatregel om werken op hoogte?
- Wordt er met gevaarlijke, brandbare of explosieve stoffen gewerkt of is er anderszins kans op brand, explosie of vrijkomen van schadelijke stoffen?
- Gaat het om grote aantallen (elektrische) installaties waarbij veel inzet van installateurs/monteurs nodig is?

Voor de beoordeling wordt de volgende onderverdeling gehanteerd:

- 0/A: als geen van bovengenoemde punten relevant is;
- A: als 1 van bovengenoemde punten relevant is;
- B: als 2 van bovengenoemde punten relevant zijn;
- C: als alle 3 bovengenoemde punten relevant zijn.

Dit levert een indicatie per maatregel op. Hierbij wordt opgemerkt dat bij deze werkwijze niet wordt ingegaan op veiligheidsmaatregelen die

mogelijk zijn om de risico's te reduceren. De uitkomst kan juist worden gebruikt om er bij de energietransitie zo veel mogelijk voor te zorgen dat de risico's worden beperkt. Als bij een maatregel enkele van deze indicatoren relevant zijn, zal bij de eventuele implementatie van die maatregel aandacht kunnen worden gegeven aan veiligheidsmaatregelen om hiermee om te gaan. Hier wordt in hoofdstuk 7 verder op ingegaan.

Bij arbeidsveiligheid spelen ten slotte de ervaring en de veiligheidscultuur van een sector ook een rol. Dit is echter niet in alle gevallen eenvoudig te beoordelen. Daarom is ervoor gekozen om dit aspect bij de onderdelen waar het naar voren komt als relevant aandachtspunt te benoemen.

Consumentenveiligheid

Voor consumentenveiligheid ligt de focus in dit onderzoek op de risico's die zijn gekoppeld aan (nieuwe) installaties die door de consument worden gebruikt en die zich in de directe nabijheid bevinden. Denk daarbij aan warmtepompen in of aan de woning, zonnepanelen op daken en elektrische auto's. Qua veiligheid gaat het hier vooral om het optreden van (vermoedelijk) kortsluiting met het risico op brand.

Om het in perspectief te plaatsen, gaan we uit van woningbranden. Het aantal woningenbranden was de afgelopen jaren tussen de ruim 100.000 (2015) en ruim 80.000 (2018). In 2018 waren er 30 fatale woningbranden waarbij 33 dodelijke slachtoffers vielen (Federatie Veilig Nederland, 2020). In 2019 ging het om 21 fatale woningbranden met 22 doden (Brandweeracademie, 2020). Qua belangrijkste oorzaken worden roken, koken en defecte apparaten genoemd.

Als we kijken naar de elektriciteitsongevallen in woonhuizen, dan blijkt uit de analyse van de geregistreerde ongevallen met huishoudelijke elektrische apparaten dat de meeste worden veroorzaakt door de wasdroger, gevolgd door incidenten met de magnetron. In 2019 stonden ongevallen met zonnepanelen op nummer drie met 13 incidenten (8% van de elektriciteitsongevallen). Het jaar ervoor ging het om 7 incidenten (Holtrop, 2020). Uit een inventarisatie van het IFV volgt dat er de afgelopen drie jaar (2018, 2019 en 2020) 95 incidenten hebben plaatsgevonden waarbij zonnepanelen in brand hebben gestaan, waarvan iets meer dan de helft woningbrand betrof (IFV 2020b) (zie paragraaf 4.3). Als de schaalgrootte verder toeneemt, wordt de kans op incidenten met zonnepanelen ook groter. Eenzelfde redenering geldt voor elektrische voertuigen. Ook bij elektrische auto's zijn er voorbeelden van brandincidenten; en als de aantallen auto's toenemen, zal het aantal incidenten ook kunnen toenemen.

Wat betreft potentiële incidenten wordt overigens niet alleen gewezen op brandrisico's van elektrische apparatuur zoals zonnecellen en warmtepompen, of van elektrische voertuigen, maar kan het ook gaan om risico's gekoppeld aan het gebruik van waterstof in huis of aan een bepaald type isolatiemateriaal waarbij de brandveiligheid een issue vormt.

In de beoordeling van de maatregelen is voor consumentenveiligheid de volgende vraag geformuleerd:

- Betreft het (elektrische) installaties die in de directe nabijheid van de consument/woning plaats krijgen? Als dit het geval is, is dat aangegeven bij de betreffende maatregel (zie hoofdstuk 6).

Wanneer dit het geval is, is dat een indicatie dat consumentenveiligheid van belang kan zijn en zij wellicht extra aandacht behoeft bij de implementatie van de maatregelen. Dit zal met name het geval kunnen zijn bij maatregelen in de gebouwde omgeving.

3.3 Expert judgement

Op basis van de beschreven methode om de effecten van de gezondheid en veiligheid inzichtelijk te maken, is de analyse per maatregel uitgevoerd. Dit is gedaan door gebruik te maken van beschikbare informatie, aangevuld met expert judgement. Voor de inschatting van de experts zijn aparte bijeenkomsten gehouden voor gezondheid en veiligheid met experts van het RIVM en de GGD (zie Bijlage 1).

3.4 Effecten op natuur en milieu

Het kwantificeren van effecten op natuur en milieu als gevolg van de energietransitie maakt geen deel uit van dit onderzoek. Niettemin zullen we per energiebron c.q. maatregel relevante effecten wel benoemen, maar zonder deze diepgaand uit te werken. Een belangrijk argument hiervoor is dat het ecosysteem een vitale functie van onze samenleving is en dat diverse effecten op het ecosysteem in potentie of indirect ook de gezondheid kunnen bedreigen (bijvoorbeeld bodem- en grondwaterverontreiniging) of juist bevorderen. Daarnaast kunnen sommige maatregelen positieve effecten op natuur en milieu genereren, die indirect bijdragen aan het bevorderen van gezondheid. Een expliciete vraag van de opdrachtgever is om – indien relevant – hierbij ook substantiële effecten die in positieve of negatieve zin bijdragen aan de depositie van stikstof op te nemen.

3.5 Positieve effecten

Naast negatieve effecten hebben we ook geïnventariseerd welke positieve effecten op gezondheid, veiligheid, natuur en milieu mogelijk zijn te verwachten. Er is geen algemene methodiek om deze effecten te kunnen kwantificeren; daarom zullen we deze alleen kwalitatief in beschouwing nemen.

4 Nieuwe energiebronnen en maatregelen

4.1 Inleiding

De energietransitie wordt gekenmerkt door een divers palet aan (nieuwe) vormen van winning, transport en toepassing van energie, die worden ingezet om het CO₂-gehalte in de atmosfeer terug te dringen. Daarnaast worden ook andere maatregelen getroffen om dit te bereiken, zoals opslag van CO₂, herstel van het grondwaterpeil in veenweidegebieden en het stimuleren van duurzame landbouw. Voor dit onderzoek gaan we uit van de bronnen en maatregelen die worden genoemd in het Klimaatakkoord, waarbij we onderscheid maken naar de vijf Klimaattafels: Gebouwde omgeving, Mobiliteit, Landbouw en landgebruik, Industrie en Elektriciteit. Binnen elk van deze sectoren hebben betrokken partijen (overheden, bedrijfssectoren, brancheorganisaties, adviesraden en maatschappelijke organisaties) afspraken op hoofdlijnen gemaakt, op grond waarvan een samenhangend pakket aan voorstellen is opgesteld om het CO₂-reductiedoel in 2030 te kunnen realiseren.

Tabel 4.1 geeft een overzicht van de bronnen en maatregelen, en daarbij is aangegeven in welke sectoren deze (met name) van toepassing zijn. Onder energiebronnen verstaan we zowel primaire bronnen van energie (zoals windenergie, zonne-energie en warmte uit water en de ondergrond) als energiedragers (zoals waterstof en batterijen). Bij maatregelen kan bijvoorbeeld worden gedacht aan isolatie van gebouwen en opslag van CO₂. Omwille van de overzichtelijkheid is er in de tabel geen onderscheid gemaakt tussen al deze verschillende vormen.

Tabel 4.1 Overzicht van bronnen en maatregelen uit het Klimaatakkoord.

Bron/maatregel	Omschrijving	Sectoren
Windenergie	Opwekking van energie m.b.v. windturbines	E; LL
Zonne-energie	Opwekking van energie m.b.v. zonnecollectoren	E; LL; GO
Vergroting capaciteit landelijk hoogspanningsnetwerk	Elektrificatie van de energievoorziening	E
Elektrificatie d.m.v. (buurt)batterijen	Opwekking van energie m.b.v. batterijen en accu's, i.h.b. het wagenpark	M; GO
Power-to-heat	Directe omzetting van elektriciteit in warmte	I; (GO)
Isolatie van gebouwen	Isoleren van gebouwen om warmteverlies te beperken	GO
Warmtepompen	Duurzaam verwarmen van gebouwen	GO
Waterstof (grijs, blauw, groen)	Productie en gebruik van waterstof als energiedrager of als energiebron	E; I; M; (GO)

Bron/maatregel	Omschrijving	Sectoren
Biomassa: verbranding, vergassing en vergisting	Omzetting van biomassa voor opwekking van energie (elektriciteit en warmte) en productie van biogas, biobrandstoffen, materialen, grondstoffen chemische industrie en meststoffen	E; GO; LL; M; I
Biobrandstoffen (waaronder biogas)	Productie en gebruik van vloeibare biobrandstoffen en biogas als vervanger van fossiele biobrandstoffen	M; GO; I; LL
Afvang, hergebruik en opslag van CO ₂	Verwijderen van CO ₂ uit industriële processen en energiewinning. Hergebruik van CO ₂ in de glastuinbouw en voor de productie van chemicaliën en biobrandstoffen (CCU). Opslag van CO ₂ in de diepe ondergrond (CCS)	LL; I
Geothermie en Warmte Koude Opslag	Winning van thermische energie uit bodem en grondwater	GO; LL
Aquathermie	Winning van thermische energie uit oppervlaktewater, rioolwater en het drinkwaternet	GO; LL
Getijden-energie	Opwekking van energie door gebruikmaking van getijdenverschillen (eb en vloed)	E
Blauwe energie	Opwekking van energie uit zoet en zout water m.b.v. membraansystemen	E
Overige maatregelen	Andere maatregelen om de CO ₂ -uitstoot terug te dringen (verminderen transport, duurzame land- en bosbouw)	M, LL

E = Elektriciteit; LL = Landbouw en landgebruik; M = Mobiliteit; GO = Gebouwde omgeving; I = Industrie

In dit hoofdstuk zal voor elk van de verschillende bronnen en maatregelen een korte beschrijving worden gegeven van de techniek en haar toepassingen, gevolg door een beschouwing en beoordeling van de effecten op gezondheid, veiligheid en natuur en milieu. Diverse maatregelen worden overigens al (geruime tijd) toegepast, zoals het gebruik van windturbines en zonnepanelen, Warmte Koude Opslag en isolatie van gebouwen. Dit zijn vanuit het perspectief van de energietransitie bewezen technieken, waarvan de voor- en nadelen grotendeels bekend zijn. Conform de afspraken in de Klimaattafels zal toepassing van deze maatregelen in de komende jaren flink groeien. Andere technieken (bijvoorbeeld blauwe energie en productie van waterstof) zijn nog in ontwikkeling, waarbij het onzeker is op welke termijn toepassing op voldoende grote schaal en tegen aanvaardbare prijs gerealiseerd kan worden.

In welke mate de verschillende bronnen en maatregelen op langere termijn zullen worden toegepast, hangt af van diverse factoren. Zo worden in de 30 Regionale Energie Strategieën op regionale schaal afspraken gemaakt tussen overheden, bedrijfssectoren en maatschappelijke organisaties over welke maatregelen regionaal zullen worden ingezet en in welk tempo. Dat leidt tot regionale verschillen. In de waterrijke provincie Zeeland wordt bijvoorbeeld relatief veel geïnvesteerd in de ontwikkeling van aquathermie, blauwe energie en productie van waterstof in een grootschalige elektrolysefabriek, terwijl de dichtbevolkte regio Rotterdam-Den Haag onder meer inzet op warmtenetten, gebruik van restwarmte uit de industrie en geothermie. Aan de andere kant zullen ook economische en politieke ontwikkelingen op nationale en internationale schaal van invloed zijn. Daarnaast kunnen resultaten uit de 13 Meerjaren Missiegedreven Innovatie Programma's (MMIPs⁶) uit het Topsectoren beleid (sector Energie) zorgen voor een verandering, bijvoorbeeld als een bepaalde techniek sneller op grote schaal toepasbaar is dan eerder was gedacht. Tot slot zijn sommige maatregelen vrijwel uitsluitend gerelateerd aan één van de Klimaattafels (isolatie van gebouwen in de sector Gebouwde Omgeving), terwijl elektrificatie (Klimaattafel Elektriciteit) met alle andere samenhangt. Al deze factoren maken de energietransitie complex, waardoor ontwikkelingen en daarmee ook effecten op gezondheid en veiligheid – zeker op de langere termijn – niet nauwkeurig zijn te voorspellen. Om toch inzicht te krijgen in de mogelijke ontwikkelingen waarlangs de energietransitie zich kan voltrekken, is door Den Ouden *et al.* (2020) in opdracht van EZK een scenariostudie uitgevoerd waarin vier mogelijke toekomstbeelden voor een klimaatneutrale energievoorziening in 2050 zijn geschetst. In hoofdstuk 5 en 6 zullen we deze toekomstbeelden toelichten en gebruiken om een indruk te krijgen van de onder- en bovengrenzen van effecten op gezondheid, veiligheid, milieu en natuur.

4.2 Windenergie

Met een windturbine kan bewegingsenergie van de lucht (wind, een natuurlijke hulpbron) worden omgezet in elektriciteit. Dit is een duurzame vorm van energiewinning, waarbij geen luchtvervuiling ontstaat en geen CO₂ wordt uitgestoten. Een moderne windturbine heeft een vermogen van 2 tot 3 MW en in de nabije toekomst komen er windturbines van 5 tot 8 MW beschikbaar. Overigens hangen het werkelijke vermogen en de opbrengst af van het type, de weersomstandigheden en de locatie. Bij een te hoge windsnelheid wordt een windturbine stilgezet en bij te lage windsnelheid draait ze niet.

In Nederland staan er meer dan 3000 windturbines op land, veelal in windmolenparken. Deze leveren gezamenlijk ongeveer 4 GW elektriciteit. Het streven is om in de nabije toekomst de productiecapaciteit van wind-op-land te verhogen tot 7,2 GW en in 2050 tot 10 á 20 MW, afhankelijk van welk scenario (zie hoofdstuk 5) zich zal voltrekken (Den Ouden *et al.*, 2020). De Noordzee is een gunstige plek om windmolenparken te plaatsen, dit vanwege de geringe diepte, de vaak voorkomende hoge windsnelheden en de nabije ligging van een aantal industrieterreinen in

⁶ De Meerjaren Missiegedreven Innovatie Programma's (MMIPs) zijn opgesteld naar aanleiding van het Klimaatakkoord en zijn bedoeld om gerichte innovatie te bewerkstelligen door middel van een meerjarige en programmatische aanpak. In elke MMIP wordt geschetst wat er nodig is aan onderzoek, kennisontwikkeling, demonstratie en implementatie om het behalen van bepaalde klimaatdoelen mogelijk te maken.

de kustgebieden. Op dit moment zijn er op de Noordzee zes windturbineparken operationeel, die samen 1 GW aan energie opwekken. Conform het Klimaatakkoord wordt deze capaciteit geleidelijk uitgebreid met meer windturbineparken tot ongeveer 11 GW in 2030 (dat is dan 8,5% van alle energieverbruik in Nederland).

Een nadeel van windenergie zijn de fluctuaties in de productie door wisselende windkracht. Er zijn verschillende mogelijkheden om dit te ondervangen, zoals toepassen van grotere windturbines met een hogere capaciteit, gebruik van back-up gascentrales of van technieken om de energie op te slaan. Energieopslag kan plaatsvinden met behulp van accu's of door omzetting in een energiedrager, zoals waterstof (door middel van elektrolyse van water) of methaan (door omzetting van waterstof). Deze vormen van energie en de daaraan verbonden effecten op gezondheid, veiligheid, natuur en milieu worden elders in dit hoofdstuk besproken.

Het toenemend gebruik van windenergie heeft ook consequenties voor het elektriciteitsnet. De capaciteit daarvan moet worden uitgebreid en in de kustgebieden zullen meer transformatoren nodig zijn om de elektriciteit uit de windturbineparken op zee over te brengen in het hoogspanningsnet. In paragraaf 4.4 wordt hier verder op ingegaan.

4.2.1 *Effecten op gezondheid*

Geluid van windturbines kan (ernstige) hinder veroorzaken. Er zijn aanwijzingen dat geluid van windturbines ook bijdraagt aan slaapverstoring, maar de wetenschappelijke studies naar dit effect zijn beperkt in aantal en de kwaliteit en bevindingen zijn niet consistent (Van Kamp *et al.*, 2018 en 2020). Het probleem speelt vooral bij wind-op-land. Windturbines op zee staan ver af van de bewoonde omgeving en veroorzaken daardoor nagenoeg geen hinder.

Volgens recente inschattingen ondervinden in Nederland ruim 7300 mensen ernstige hinder door geluid van windturbines (Welkers *et al.*, 2019). Ter vergelijking: voor weg-, rail- en vliegverkeer zijn de aantallen personen die ernstige hinder ondervinden circa 960.000, 98.600 en 259.000.

De ziektelast veroorzaakt door geluid van windturbines is niet eenvoudig uit te drukken in DALY's, omdat de hiervoor nodige parameters niet zijn vastgesteld. Ook is niet onomstotelijk aangetoond dat geluid van windturbines bijdraagt aan slaapverstoring. Om toch een indicatie te krijgen van deze ziektelast geven we eerst informatie over de geluidsbelasting door andere bronnen.

Volgens de VTV 2018 bedraagt de ziektelast door geluid 25.000 resp. 2400 DALY's op basis van slaapverstoring en coronaire hartziekten. Dit betreft alle geluidsbronnen in Nederland. Er is in de VTV 2018 vanwege genoemde onzekerheden geen schatting gegeven van de ziektelast toegeschreven aan (ernstige) hinder.

Knol *et al.* (2005) berekenden de ziektelast door de meeste relevante milieugerelateerde factoren, zoals luchtverontreiniging, geluid, radon en uv-straling. Voor geluid kwamen ze – na omrekening naar de Nederlandse bevolking en extrapolatie naar 2020 – op ongeveer 50.000 DALY's met

een bovengrens van 100.000. Deze schatting is gebaseerd op destijds gehanteerde aannames en factoren voor de ernst van aandoeningen.

Een recentere inventarisatie is verricht door WHO Europe in samenwerking met JRC. In dit rapport is voor vijf typen aandoeningen (coronaire hartaandoeningen, cognitieve achterstand, slaapverstoring, tinnitus en ernstige hinder) een schatting gemaakt van het gezondheidseffect door geluid voor inwoners van West-Europese landen. Daarvoor is gebruikgemaakt van uit wetenschappelijk onderzoek afgeleide blootstelling-responsrelaties per type effect, verdelingen van blootstelling over de populatie, et cetera. Door combineren van de berekende hoeveelheden DALY's per aandoening en extrapolatie, komen we voor de Nederlandse bevolking op een gezondheidseffect van 96.000 DALY's. Ook deze schatting is gebaseerd op diverse aannames en is gekenmerkt door onzekerheden in de gebruikte blootstelling-responsrelaties en verdeling van blootstelling (deze verschillen per type geluidsbron en gezondheidseffect).

In beide studies is de ziektelast door geluid van windturbines niet specifiek berekend. Aangezien het aandeel personen dat ernstige hinder ondervindt van geluid van windturbines minder dan 1% bedraagt van het totale aantal gehinderden (7300 van 1.322.000; zie Welkers *et al.*, 2019 ⁷), is te verwachten dat de ziektelast veroorzaakt door geluid van windturbines grofweg twee ordes van grootte lager zal zijn dan de totale ziektelast van de Nederlandse bevolking door geluid.

Er spelen nog enkele andere onzekerheden een rol. Ten eerste neemt het vermogen aan windenergie op land komende jaren toe ten opzichte van het aantal ten tijde van de hindermetingen. Niet alleen het aantal windturbines groeit, waardoor ze gemiddeld genomen dichterbij woongebieden kunnen komen te staan, maar er zullen ook grotere windturbines worden toegepast die mogelijk meer geluidhinder veroorzaken. Zoals in de vorige paragraaf is vermeld, zal de omvang van deze groei afhangen van hoe de energietransitie zich zal voltrekken. Daarnaast zijn niet-akoestische factoren, zoals geluidgevoeligheid, communicatie, vertrouwen in de autoriteiten en verandering van het landschap, van invloed op de gezondheid. Deze factoren zijn niet allemaal verdisconteerd in berekeningen van de ziektelast, maar dragen daar wel aan bij.

Samengevat concluderen we dat op basis van bovenstaande schattingen en rekening houdend met de genoemde onzekerheden de ziektelast veroorzaakt door geluid van windturbines binnen klasse A valt conform Tabel 3.1 en, afhankelijk van de ontwikkelingen en zonder mitigerende maatregelen (zie hoofdstuk 7), in de toekomst mogelijk klasse B.

De slagschaduw van windturbines kan hinder genereren door het stroboscopisch effect, de wisseling tussen wel en geen schaduw. In de milieuwetgeving zijn voorschriften opgenomen om hinder door slagschaduw te beperken. Via de vergunning zijn windturbines bijna altijd verplicht voorzien van een stilstand-voorziening, die de windturbine uitschakelt op momenten dat slagschaduw op woningen kan optreden. Er

⁷ Uit recente gegevens naar bronnen van ernstige hinder en slaapverstoring door geluid en trillingen in het kader van het Onderzoek Beleving Woonomgeving komt eenzelfde percentage gehinderden.

zijn geen kwantitatieve gegevens over het gezondheidseffect door visuele hinder.

4.2.2 *Veiligheidsrisico's*

Vanwege de hoogte en omvang van de turbines zijn er enkele specifieke arbeidsrisico's gekoppeld aan windenergie. Voor onderhoudswerkzaamheden geldt bijvoorbeeld dat werken op hoogte arbeidsrisico met zich meebrengt. Er zijn voorbeelden bekend van incidenten bij windturbines, ook met dodelijke afloop als gevolg. Zo zijn er in 2013 twee monteurs overleden toen zij in de nok van een turbine onderhoudswerkzaamheden verrichtten, terwijl er brand ontstond. Bij windenergie op zee komen er extra aspecten bij, zoals het transport van personeel via boten en helikopters en het werken op (of ook onder) water bij windturbines. Voor zover bekend worden incidenten met windturbines in Nederland niet centraal geregistreerd. Uit enkele bronnen uit het Verenigd Koninkrijk blijkt dat daar jaarlijks enkele honderden arbeidsgelateerde incidenten (dat is inclusief productie, transport en aanleg) plaatsvinden.

Windturbines op zee vormen verder een potentieel obstakel voor de zeescheepvaart en vormen daarmee een risico, vooral in de buurt van druk bevaren routes en in situaties met slecht zicht of zwaar weer.

Andere veiligheidsrisico's zijn gekoppeld aan het falen van een windturbine zelf. Bij het vaststellen van de omgevingsveiligheidsrisico's van windturbines worden vier ongevalsscenario's genoemd: (i) breuk van een windturbineblad; (ii) omvallen van een windturbine door mastbreuk, (iii) het naar beneden vallen van een gondel en/of rotor of (iv) het naar beneden vallen van kleine onderdelen (RIVM, 2020). Van deze scenario's geeft een afgebroken blad dat wordt weggeworpen het grootste effect. Dit is onder andere afhankelijk van het vermogen van de turbine. Een blad kan tot meer dan honderd meter ver worden weggeslingerd en kan zo schade aanrichten aan gebouwen of industriële installaties als die worden geraakt (domino-effecten). Er zijn generieke werpafstanden bepaald voor windturbines (met een vermogen tussen 1-5 MW) tot bijna 250 meter bij nominaal toerental. Voor de andere scenario's geldt dat de effectafstanden kleiner zijn. Bij een mastbreuk is de afstand bijvoorbeeld afhankelijk van de hoogte van de turbine (het risico beperkt zich tot een afstand die gelijk is aan de ashoogte plus de halve rotordiameter).

Voor het plaatsgebonden risico wordt aangesloten bij de beschikbare generieke risicoafstanden. Als uitgangspunt geldt dat afstand van de PR 10^{-6} contour tot de turbine gelijk is aan het maximum van de ashoogte plus halve rotordiameter en de maximale werpafstand bij normaal bedrijf. Dit leidt tot PR 10^{-6} afstanden die gelijk zijn aan die van bladbreuk bij normaal bedrijf tot bijna 250 meter. De faalfrequenties die in de risicoanalyse worden gehanteerd zijn gebaseerd op casuïstiek van incidenten van windturbines uit Denemarken, Duitsland en het Verenigd Koninkrijk uit 2001-2010. Jaarlijks vinden er incidenten plaats. Wanneer het aantal turbines significant zal toenemen, zal ook de kans op incidenten toenemen. Qua effecten maakt het uiteraard uit waar deze turbines worden geplaatst en zijn ze voor de omgevingsveiligheid alleen relevant bij windturbines op land.

4.2.3 *Effecten op natuur en milieu*

Een negatief effect van windturbines betreft vogelsterfte door botsingen met windturbines. Naast de aantallen vogels die hier het slachtoffer van zijn, is het percentage van een vogelsoort dat wordt getroffen van belang. Ook een relatief klein percentage kan negatief doorwerken op de omvang van een soort (Schippers *et al.*, 2020). Naar schatting sterven jaarlijks circa 50.000 vogels door botsingen met windturbines (website MilieuCentraal, 2021). Dit is overigens veel minder dan het aantal vogels dat sterft in het verkeer (ongeveer 2 miljoen) of door contact met hoogspanningslijnen (circa 1 miljoen) (Hartman, 2010). Ook vleermuizen kunnen het slachtoffer zijn van een botsing met een windturbine. Een ander nadelig effect is de verstoring van voedsel-, rust- en broedgebieden van sommige vogelsoorten.

Een positief effect is dat in en nabij windturbineparken op zee het ecosysteem van de zeebodem niet (meer) wordt verstoord door de visserij.

4.3 **Zonne-energie**

Zonne-energie is energie van de zon in de vorm van warmte en licht. Deze energie kan worden omgezet in elektriciteit met behulp van zonnepanelen voorzien van PV-cellen (zon-PV). Een andere manier om gebruik te maken van zonlicht is thermische zonne-energie, waarbij zonlicht wordt omgezet in warmte. Dit gebeurt door zonneboilers, ook zonnecollectoren genoemd. Overigens wordt vaak voor beide methodes de term *zonnepanelen* gebruikt.

Zonnepanelen worden geïnstalleerd op daken van gebouwen en in zogenoemde zonneparken of zonneweiden: velden met vele rijen met zonnepanelen die elk in verbinding staan met het elektriciteitsnetwerk. Er zijn zonneparken van verschillende groottes (tot enkele tientallen hectares). Met een park van een gemiddelde grootte kan een klein dorp van stroom worden voorzien.

De meeste zonneparken staan op agrarisch grondgebied, maar inmiddels worden ook zonneparken geïnstalleerd op bedrijventerreinen, voormalige vuilstortplaatsen en op oppervlaktewater, zoals de Slufter op de Maasvlakte (drijvende zonneparken). Het plan is om in 2023 ongeveer 2 GWp aan elektriciteit op te wekken met zon-op-water. Daarvoor is in totaal ongeveer 2000 hectare aan drijvend zonnepark nodig. Het totale vermogen aan stroom opgewekt met zonne-energie wordt momenteel geraamd op 6 tot 7 GW (20% zonneparken, 50% daken van huizen en 30% daken van bedrijven). Het streven is om dit te laten groeien tot in totaal 27 GW in 2030 en, afhankelijk van het scenario (Den Ouden *et al.*, 2020), ongeveer 40 tot 90 GW in 2050. Het grootste deel zal dan in zonneweiden worden gewonnen.

Een andere techniek is Concentrating Solar Power (CSP). Hierbij worden zonnestralen door middel van spiegels samengebracht op een klein oppervlak, waar een hoge temperatuur ontstaat. Met die hoge temperatuur wordt stroom gemaakt, waarmee net als in een gewone centrale elektriciteit wordt opgewekt. De zonnewarmte kan worden opgeslagen, waardoor ook na zonsondergang stroom aan het net kan worden geleverd. Deze techniek is voornamelijk rendabel in landen waar de zon vaak en krachtig schijnt en kan alleen worden toegepast in grote,

veelal dure installaties. In Nederland wordt de techniek (nog) niet toegepast, maar de Nederlandse energiesector zoekt wel samenwerking met landen met een zonniger klimaat (Marokko, Zuid-Europa).

Tot slot wordt sinds de jaren tachtig gewerkt aan het ontwikkelen van auto's die direct op zonne-energie rijden. Dit heeft een flinke impuls gegeven aan de ontwikkeling en verbetering van zonnecellen. Echter, om praktische redenen zal vervoer op directe zonne-energie naar verwachting niet grootschalig worden toegepast.

4.3.1 *Effecten op gezondheid*

Toepassing van zonne-energie heeft nagenoeg geen effecten op de gezondheid. Het veroorzaakt geen luchtverontreiniging of geluid. De omvormers die de door het zonnepaneel geleverde gelijkstroom omzetten in een wisselstroom genereren weliswaar elektromagnetische velden (EMV), maar de veldsterkte waaraan men kan worden blootgesteld ligt onder de door de overheid gehanteerde blootstellingslimiet. Omdat mensen gewoonlijk niet langdurig bij de omvormer verblijven, zal de feitelijke blootstelling zeer laag zijn.

Omvormers kunnen door trillingen een bromtoon veroorzaken (laagfrequent geluid). Een andere oorzaak van een brommend of zoemend geluid is de ventilator. Door de omvormer in een ruimte te plaatsen waar men niet vaak verblijft, zoals een zolder of garage, en de omvormer op de juiste manier te plaatsen, kan hinder door bromtonen worden vermeden of beperkt. Een andere oplossing is een micro-omvormer te gebruiken. Deze produceert geen laagfrequent geluid.

4.3.2 *Veiligheidsrisico's*

Een belangrijk veiligheidsaspect van zonnepanelen betreft het risico op brand. In 2018 zijn 27 van zulke incidenten geregistreerd, waarvan de meeste bij woningen hebben plaatsgevonden (TNO, 2019). De kans op brand is niet bekend, omdat er geen centrale registratie van incidenten en van het aantal zonnepanelen is. Een schatting op basis van brandincidenten en installaties leidt tot een ingeschat brandrisico van 0,0029 procent (IFV, 2020b).

Volgens het IFV neemt het aantal branden met zonnepanelen gestaag toe. Onvakkundige installatie blijkt een veelvoorkomende oorzaak te zijn. Deze branden leveren, naast directe schade voor de eigenaar, ook risico's op voor de gezondheid door blootstelling aan schadelijke stoffen die bij de branden vrijkomen en schade aan het milieu door depositie van deeltjes tot ver in de omgeving (zie effecten op natuur en milieu). In een experimentele setting met verschillende typen zonnepanelen (per type is elke keer één paneel in brand gestoken) heeft de TÜV (2015) emissies schadelijke stoffen gemeten. Hieruit bleek dat toxicologische grenswaarden van onder meer zware metalen alleen in de onmiddellijke nabijheid van de brand en onder zeer ongunstige omstandigheden worden overschreden. In de experimenten is er geen rekening gehouden dat bij branden met zonnepanelen ook delen van het gebouw kunnen verbranden en ook hier schadelijke stoffen bij vrijkomen. Echter, de totale blootstelling aan zulke stoffen bij dit soorten incidenten voorkomende branden op grotere afstand van de brand zelf, lijkt relatief klein te zijn.

Zoals gemeld kan onvakkundige installatie van zonnecellen en connectoren de oorzaak zijn van branden. Dat is gekoppeld aan de (on)deskundigheid van monteurs en installateurs. Voor henzelf geldt dat er bij de installatie van zonnecellen op daken extra risico's zijn vanwege het werken op hoogte. Gegevens daarover zijn niet bekend. Door de omvang en de (voorziene) groei van deze markt is de arbeidsveiligheid een aandachtspunt.

4.3.3 *Effecten op natuur en milieu*

Door slijtage, beschadiging en weerseffecten, in het bijzonder hagel en onweer, kunnen stoffen uit de panelen, draagconstructies en fundering vrijkomen en vervolgens in de bodem en het grondwater komen. Dat geldt ook voor stoffen afkomstig van reiniging, onkruidbestrijding en reparaties. Het gaat om metaalverbindingen (onder andere lood, zilver, koper en zink) en organische stoffen die schadelijk kunnen zijn voor het ecosysteem. Hoewel de levensduur van zonnepanelen 20 tot 30 jaar bedraagt, waardoor ophoping in de bodem kan ontstaan, gaat het om zeer lokale, vermoedelijk beperkte risico's. Belangrijk is om de effecten in bodem en grondwater door monitoring goed in de gaten te houden, onder meer met het oog op bescherming van waterwingebieden.

Een ander effect is de invloed op de flora en fauna in de bodem doordat zonnepanelen zonlicht wegnemen. In zonneparken op grasland worden vaak schapen ingezet om het gras onder de zonnepanelen te 'maaien', zodat dit niet te hoog kan worden en voor schaduw kan zorgen.

Bij drijvende zonneparken zijn er effecten op waterkwaliteit en natuur te verwachten door bedekking van een deel van het wateroppervlak, door onderhoudswerkzaamheden en door beschadiging vanwege bijvoorbeeld extreem weer. De omvang van deze effecten is met de huidige kennis en gegevens nog niet goed te bepalen. Daarom wordt als vuistregel aangehouden de omvang van het zonnepark te beperken tot maximaal 25% van het oppervlak van het water en om effecten op milieu en natuur langere tijd goed te monitoren.

Net als bij andere branden kunnen bij branden met zonnepanelen glasscherven, brokstukken en deeltjesvormige verbrandingsproducten vrijkomen en in de omgeving neerkomen (IFV, 2020b). Kleine deeltjes kunnen soms tot op enkele kilometers ver komen, in onder andere gewassen, weilanden en moestuinen. Hierdoor kan verontreiniging ontstaan aan voedselgewassen, bodem en grondwater. In een aantal gevallen zijn boeren geïnstrueerd hun vee op stal te zetten en zijn door burgers en saneringsbedrijven brokstukken en deeltjes zo goed mogelijk verzameld. Een algemene aanpak inclusief een werkwijze voor de ontruimers is er op dit moment niet.

4.4 **Elektrificatie**

Een belangrijke pijler binnen het klimaatakkoord is de elektrificatie. Bij elektrificatie gaat het om het vervangen van fossiele brandstoffen door elektriciteit. Dat wil zeggen dat er meer wordt vertrouwd op elektriciteit als bron voor het aandrijven van industriële processen en voertuigen en voor huishoudelijk gebruik. Het gebruik van elektriciteit is natuurlijk niet nieuw, maar een verdere elektrificatie brengt wel vraagstukken met zich

mee. Zo zal een groter verbruik van elektriciteit meer capaciteit van het elektriciteitsnet vergen (in verband met een verhoogde vraag en aanbod). Ook zal energie vaker (tijdelijk) moeten worden opgeslagen voor later gebruik, bijvoorbeeld door middel van accu's en batterijen.

In het kader van deze studie wordt ingegaan op enkele maatregelen die in het klimaatakkoord naar voren komen. Het gaat om aspecten gekoppeld aan de vergroting van het landelijk hoogspanningsnetwerk, de opwekking en opslag van energie met behulp van accu's en batterijen en de inzet van power-to-heat in met name industriële processen. Na bespreking van deze onderdelen wordt ingegaan op de mogelijke effecten op gezondheid, veiligheid en natuur en milieu.

Landelijk hoogspanningsnetwerk

Het elektriciteitsnetwerk is een essentiële schakel binnen de energietransitie. Naast het faciliteren van meer vraag en aanbod van elektriciteit zijn er uitdagingen met betrekking tot flexibiliteit. Dat gaat bijvoorbeeld over het omgaan met piekaanbod van wind- en zonne-energie, waarbij weersafhankelijkheid toeneemt, maar ook om het omgaan met piekvraag, bijvoorbeeld van huishoudens (opladen van elektrische auto's). Dit soort vraagstukken is gekoppeld aan aspecten als afhankelijkheid en leveringszekerheid en kunnen worden verbreed naar onderwerpen als risico's op keteneffecten en ook cyberrisico's. Deze onderwerpen vallen echter buiten de scope van deze studie.

Accu's, batterijen en EOS

Energie kan worden opgeslagen in batterijen en accu's. Momenteel worden vooral lithium-ion-batterijen gehanteerd, bijvoorbeeld voor bedrijfsmatige opslag en voor Energie Opslag Systemen (EOS) waarin grote hoeveelheden energie worden opgeslagen. Een voorbeeld van EOS zijn de 'buurtbatterijen'. Met deze batterijen wordt op lokaal niveau door wind en zon opgewekte energie bewaard. Er zijn verschillende mogelijkheden als het gaat om de toepassing van batterijen, die afhankelijk zijn van richtingen die gekozen zullen worden in de energietransitie. Bij een accent op een lokale of regionale invulling van de energietransitie zullen batterijen bij huishoudens het accent krijgen, terwijl bij meer nationale sturing volgens het scenario meer zal worden geïnvesteerd in wijkbatterijen. Daarnaast is ook grootschalige opslag een optie (Den Ouden *et al.*, 2020).

Het aantal elektrische voertuigen is de afgelopen jaren flink toegenomen en het percentage elektrisch vervoer zal verder groeien. De verschillende toekomstbeelden gaan uit van een percentage elektrisch personenvervoer in 2050 tussen de 50 en 100% en qua vrachtvervoer wordt 25-75 % elektrisch aangenomen (Den Ouden *et al.*, 2020). Een algemeen punt bij de toename van elektrisch vervoer is het gevaar van overbelasting van het elektriciteitsnet.

Power to heat

De power to heat (P2H) techniek is de conversie van elektrische energie naar warmte. De elektrische energie neemt hierbij de plaats van fossiele brandstof zoals aardgas in. In het Klimaatakkoord is het accent op toepassing in de industrie gelegd, terwijl P2H ook kan worden toegepast in huishoudens voor de verwarming met boilers (Den Ouden *et al.*, 2020).

Warmtepompen die worden gebruikt voor verwarming van gebouwen zijn ook een vorm van P2H. Dit wordt besproken in paragraaf 4.9.

4.4.1 *Effecten op gezondheid*

Qua gezondheidseffecten speelt de vraag of de magneetvelden rond het elektriciteitsnetwerk schadelijk zijn voor de volksgezondheid. Er zijn aanwijzingen dat kinderen die in de buurt van een bovengrondse hoogspanningslijn wonen een hogere kans hebben om leukemie te krijgen. Een oorzakelijk verband is echter niet aangetoond (of ontkracht) en er is daarom geen definitief antwoord op de vraag of er gezondheidseffecten kunnen optreden. De effecten worden als beperkt ingeschat, voor de bovengrondse hoogspanningslijnen ongeveer 35 DALY's, uitgaande van een oorzakelijk verband (zie paragraaf 3.2). Bij een oorzakelijk verband kunnen ook andere delen van het elektriciteitsnet (ondergrondse kabels, hoogspanningsstations, transformatorhuisjes) bijdragen aan de ziektelast. Deze bijdrage is niet kwantitatief in te schatten, maar leidt naar verwachting niet tot een substantiële toevoeging aan de ziektelast.

Rondom planvorming en realisatie van aanpassingen aan het netwerk kunnen hierdoor echter wel maatschappelijke zorgen naar voren komen (ANV, 2019). Verder speelt het aspect van horizonvervuiling bij bovengrondse hoogspanningslijnen een rol. Aangezien het gaat om een netwerk dat al op grote schaal aanwezig is in Nederland, zal dit naar verwachting geen belangrijk issue worden binnen het geheel van de energietransitie.

EMV speelt een rol bij de toenemende elektrificatie. Het aantal bronnen van EMV neemt toe, zoals elektrische voertuigen, warmtepompen, ventilatiesystemen, zonnepanelen en buurtbatterijen. Zulke apparaten moeten voldoen aan eisen, waardoor de EMV onder de door de overheid gehanteerde blootstellingslimiet liggen (zie paragraaf 3.1).

Een ander gezondheidseffect betreft hinder door (laagfrequent) geluid van batterijen in een wijk of bij woningen. Dit kan een additionele bron vormen, naast bestaande bronnen (verkeer, ventilatiesystemen) en eventuele nieuwe bronnen, zoals warmtepompen. De bijdrage van batterijopslagsystemen aan de hinder wordt als laag ingeschat.

4.4.2 *Veiligheidsrisico's*

Rondom hoogspanningslijnen worden geen nieuwe veiligheidsaspecten voorzien. Uiteraard zijn er arbeidsrisico's gekoppeld aan de aanleg en het onderhoud van het netwerk, maar die zijn niet anders dan de huidige arbeidsrisico's van het bestaande netwerk. Omgevingsveiligheid speelt bij hoogspanningslijnen geen rol; wel gelden er ruimtelijke beperkingen (zonering) rondom hoogspanningslijnen. Binnen de zakelijk recht-strook gelden er beperkingen voor het gebruik, gericht op de toegankelijkheid en veiligheid van de hoogspanningslijnen. Daarnaast gelden er op grond van het voorzorgsbeleid beperkingen gericht op eventuele gezondheidseffecten van de magneetvelden.

Naast de risico's gekoppeld aan het installeren, gebruik en onderhoud van batterijen en accu's, zijn er veiligheidsrisico's gekoppeld aan het ongewenst vrijkomen van gevaarlijke stoffen (lekkage) en vooral aan brandrisico van accu's en batterijen. Als bijvoorbeeld een EOS ontbrandt,

kunnen er giftige gassen (HF) en zware metalen vrijkomen die risico's voor de mensen in de omgeving betekenen. Bovendien geldt dat het bestrijden van een brand van een buurtbatterij of een elektrisch voertuig extra aandacht vraagt van de hulpdiensten (brandweer). Door de energie die in de batterijen aanwezig is, is zo'n brand niet gemakkelijk onder controle te krijgen en zijn er risico's voor de brandweer ter plekke, zoals elektrocutie, het ontstaan van toxische verbrandingsproducten en wegschietende onderdelen als gevolg van explosies. Dat roept vragen op over bijvoorbeeld de bestrijding van een brand als het gaat om een elektrisch voertuig dat in een ondergrondse parkeergarage staat, of bij een brand van zonnecellen op daken. Om met deze risico's om te kunnen gaan, zijn verschillende richtlijnen ontwikkeld (onder andere IFV 2020a, IFV 2021, Circulaire risicobeheersing lithium-ion-energiedragers) of zijn deze in ontwikkeling (zoals de PGS 37).

Voor P2H zijn geen effecten voor gezondheid en veiligheid voorzien, anders dan gekoppeld aan arbeidsrisico's. Zeker als het gaat om inzet van P2H in de industrie geldt dat men ervaring heeft met dergelijke technieken, zodat de inschatting is dat de arbeidsrisico's niet wezenlijk veranderen als gevolg van de energietransitie.

4.4.3 *Effecten op natuur en milieu*

Op het gebied van natuur en milieu zijn er enkele aspecten te noemen. Zo is uit onderzoek gebleken dat er in de bovenlaag van de bodem bij hoogspanningsmasten en bij de daarbij groeiende planten verhoogde concentraties zink zijn gevonden (RIVM, 2010). Daarnaast sterven er naar schatting elk jaar circa 1 miljoen vogels door contact met hoogspanningslijnen (Hartman, 2010). Verder speelt bij de aanleg van nieuwe lijnen de bescherming van kwetsbare soorten (Vogel- en Habitatrichtlijn) een rol.

Een ander aandachtspunt op het gebied van natuur en milieu heeft betrekking op accu's en batterijen. Het gaat om aspecten met betrekking tot recycling en de vraag wat er met accu's en batterijen gebeurt wanneer ze worden vervangen.

4.5 **Isolatie en duurzame verwarming van gebouwen**

Ongeveer 30% van het totale energieverbruik in Nederland gaat op aan het verwarmen en koelen van gebouwen, zowel woningen als bedrijfsgebouwen en gebouwen voor openbare voorzieningen. Ruimteverwarming wordt voor 90% gedaan met aardgas. Isolatie en duurzaam verwarmen van gebouwen kunnen een flinke bijdrage leveren aan het reduceren van de CO₂-uitstoot. In de nabije toekomst wordt hier stevig op ingezet. Zo is in het Bouwbesluit vastgelegd dat nieuwe woningen en utiliteitsgebouwen vrijwel energie-neutrale gebouwen moeten zijn. Binnen de Klimaattafel Gebouwde Omgeving en de regionale plannen (RES) zijn afspraken gemaakt om binnen een aantal jaren bestaande gebouwen beter te isoleren en te voorzien van duurzame verwarming.

Isoleren betekent zowel het kierdicht maken van woningen als het beperken van warmteverlies via buitenmuren, het dak en de vloer van de begane grond. Dit voorkomt dat lucht, vocht of warmte ongewenst het gebouw binnenkomt of verlaat. Ook is isoleren goed voor het

wooncomfort en voor het weren van geluid van buiten. Om het woonklimaat gezond te houden, moet isolatie vergezeld gaan van goede ventilatie. Zo wordt voorkomen dat concentraties schadelijke stoffen, micro-organismen en vocht in het binnenmilieu te hoog worden en ook dat de temperatuur binnenshuis te hoog wordt, waardoor bewoners energieverbruikende koelinstallaties installeren. Daarbij is het van belang dat de ventilatiemogelijkheden goed afgestemd moeten zijn op de mate van isolatie en het gebruik van het gebouw. Door de aanscherping van energieprestatie-eisen worden ventilatiesystemen steeds complexer. Goede voorlichting aan bewoners over correct gebruik en onderhoud van deze systemen is daarom van belang.

Sommige ventilatiesystemen bevatten een ventilatiewarmtepomp waarmee aangevoerde koude buitenlucht via een warmtewisselaar wordt verwarmd met afgevoerde warme binnenlucht. Het toepassen van warmtepompen ter vervanging van huidige systemen om gebouwen te verwarmen is een belangrijke maatregel in de energietransitie. Met warmtepompen wordt niet alleen de ruimte verwarmd, maar ook water voor in de badkamer en keuken. Er zijn volledig elektrische (all-electric) warmtepompen, waarmee efficiënt warmte uit lucht, water, bodemlucht of grondwater wordt gewonnen, al dan niet in combinatie met een Warmte Koude Opslag (WKO) systeem, geothermie of aquathermie (zie paragraaf 4.10 en 4.11). Daarvoor moet het gebouw zeer goed zijn geïsoleerd. In minder goed geïsoleerde woningen kan een hybride warmtepomp worden gebruikt, die samenwerkt met de cv-ketel. Een hybride warmtepomp kan ook een tussenstap zijn, zodat woningen gefaseerd kunnen worden verduurzaamd richting 2050. In de toekomst kunnen mogelijk ook hybride warmtepompen die op waterstof draaien worden gebruikt.

Een andere vorm van duurzame verwarming is het gebruik van restwarmte uit de industrie, kassen en datacenters. De potentie is groot – in Zeeland zouden bijvoorbeeld 100.000 huishoudens met restwarmte verwarmd kunnen worden – maar die kan om verschillende redenen (nog) niet worden benut. Zo moet de warmte gedistribueerd worden via een warmtenet, dat niet altijd realiseerbaar is om technische redenen of omdat particulieren voor eigen oplossingen kiezen. Ook is altijd een back-up nodig vanuit een andere warmtebron. De kansen en knelpunten voor gebruik van restwarmte worden nu grondig onderzocht.

4.5.1 *Effecten op gezondheid*

Zoals vermeld in paragraaf 3.1 leidt blootstelling aan schadelijke stoffen, straling en vocht in het binnenmilieu tot een ziektelast van 7000-52.000 DALY's (Schram *et al.*, 2013). De werkelijke ziektelast is hoger, aangezien effecten van micro-organismen, houtrook en hitte hier niet in zijn verdisconteerd. Door goede ventilatie – waarbij tevens de ventilatiemogelijkheden goed worden afgestemd op de mate van isolatie en gebruik van het gebouw – en toepassen van zonwering kan de ziektelast door het binnenmilieu worden verminderd. In welke mate is niet kwantitatief vast te stellen. Hierbij speelt ook het gedrag van bewoners en gebruikers een belangrijke rol. Bij goed functioneren en gebruik van de systemen kan de ziektelast afnemen. Anderzijds zullen, als er te weinig wordt geventileerd, concentraties stoffen en micro-organismen en ook de temperatuur toenemen, waardoor de ziektelast

hoger wordt. Het ontbreekt aan voldoende gegevens om de omvang van deze effecten en de daarmee gepaard gaande potentiële ziektelast te bepalen.

Nu er in of bij steeds meer woningen warmtepompen worden geïnstalleerd, is er een toename te verwachten van het aantal klachten over geluidhinder.⁸ In het Bouwbesluit worden aanvullende geluidseisen opgenomen om bewoners en omwonenden beter te beschermen tegen geluid van de buitenunits van warmtepompen en airco's. Daardoor is de verwachting dat deze ziektelast beperkt blijft, mits men zich houdt aan voorwaarden als het laten installeren door een erkende gecertificeerde installateur. Een ander potentieel probleem is dat bewoners een ventilatiesysteem uitzetten om de geluidsbelasting te verminderen, waardoor de kwaliteit van het binnenmilieu weer verslechtert. Met gerichte maatregelen kan eventuele gezondheidsschade door deze effecten worden beperkt. Hier wordt in hoofdstuk 7 verder op ingegaan.

Een ander effect is de toenemende elektrificatie en daarmee het aantal bronnen van EMV, zoals warmtepompen, ventilatiesystemen, zonnepanelen en buurtbatterijen. Echter, zulke apparaten moeten voldoen aan eisen om de EMV onder de door de overheid gehanteerde blootstellingslimiet te houden. Ook zullen mensen gewoonlijk niet langdurig in de buurt van dergelijke bronnen verblijven. Hierdoor zal de blootstelling aan EMV zeer laag zijn.

Isolatiematerialen bevatten schadelijke stoffen, maar alleen bij het aanbrengen (of verwijderen) van het materiaal is er kans op blootstelling in de leefomgeving. Dit kan worden beperkt door de veiligheidsvoorschriften en beschermende maatregelen strikt in acht te nemen. Eenmaal goed aangebracht vormen isolatiematerialen geen gezondheidsrisico.

4.5.2 *Veiligheidsrisico's*

Behoudens gebruikelijke arbeidsveiligheidsrisico's bij het installeren, onderhoud en verwijderen van isolatie, apparatuur zoals warmtepompen en warmtenetten, zijn er geen nadelige effecten voor de veiligheid. Afhankelijk van het toekomstbeeld, kan het wel gaan om grote aantallen apparaten, zoals warmtepompen. Ten slotte kan bij isolatie brandgevaar van isolatiemateriaal als aandachtspunt bij de ontwikkeling van deze materialen worden genoemd.

4.5.3 *Effecten op natuur en milieu*

Isolatiematerialen bevatten milieuschadelijke stoffen. Elk materiaal heeft zijn eigen voor- en nadelen wat betreft milieubelastende aspecten, zoals de uitstoot van broeikasgassen (HFK's) en giftige stoffen, landgebruik, vermist en verzuring. Vanwege de hoge levensduur van isolatiematerialen bij correcte toepassing (75 tot 100 jaar) is deze belasting relatief gering.

Warmtepompen bevatten koudemiddelen. Daarvoor worden op dit moment fluorkoolwaterstoffen gebruikt, die als gevolg van lekkage in de lucht komen en zo bijdragen aan het broeikaseffect. Lekkage gebeurt

⁸ Volgens het Onderzoek Beleving Woonomgeving (Van Poll, 2020) is het aantal klachten over hinder van geluid van airco's tussen 2016 en 2019 toegenomen met 25%.

zeer langzaam, waardoor die bijdrage over de levensduur van een warmtepomp klein is.

4.6 Waterstof

Binnen de energietransitie zal waterstof (H_2) een relevante plaats gaan innemen. Zo zet het kabinet vol in op waterstof (ministerie EZK, 2019). Waterstof kan worden gebruikt als energiedrager om duurzame energie, zoals windenergie en zonne-energie, op te slaan en te transporteren. Ook wordt het toegepast als brandstof voor voertuigen (brandstofcel) en als brandstof in de industrie. Er zijn verschillende vormen van waterstof die van belang zijn in het kader van de energietransitie. 'Grijze waterstof' betreft waterstof geproduceerd vanuit aardgas. Hierbij komt CO_2 vrij. Wanneer het CO_2 dat bij grijze waterstof vrijkomt (grotendeels) wordt opgevangen, wordt gesproken over 'blauwe waterstof'. Dit is dus gekoppeld aan CO_2 -afvang en -opvang (zie paragraaf 4.9). Bij 'Groene waterstof' gaat het over waterstof geproduceerd via elektrolyse met behulp van (hernieuwbare) elektriciteit.

In de huidige situatie wordt op grote schaal gebruikgemaakt van grijze waterstof als grondstof in de chemische industrie. Ongeveer 10% van het Nederlandse aardgas wordt ingezet voor de productie van de grijze waterstof (ministerie EZK, 2020). Er is dus al een bestaande industriële markt met veel ervaring waarvan kan worden gebruikgemaakt richting de ontwikkeling naar blauwe en groene waterstof. Daarbij geldt dat gasvormige energiedragers (naast waterstof gaat het dan ook om groen gas (zie paragraaf 4.8)) een significant deel van het totale energiegebruik in 2050 voor hun rekening zullen nemen. Hoe groot de bijdrage van waterstof uiteindelijk zal worden, hangt sterk af van de ontwikkelingen. Uit de scenario's (Den Ouden *et al.*, 2020) volgt dat in de internationale scenario's (Europese sturing en internationale sturing) het eindverbruik van waterstof significant groter is dan bij de scenario's regionale en nationale sturing. Dit heeft onder andere te maken met het veronderstelde gebruik als brandstof in de industrie, en van het gebruik van waterstof in de gebouwde omgeving, zoals in woningen, op de lange termijn.

Voor de productie van waterstof wordt met name gedacht aan productielocaties aan de kust. De productie van groene waterstof kan plaatsvinden met behulp van grote elektrolyzers waarbij de elektriciteit van windenergie op zee gebruikt wordt. Een vraag die speelt is of de groei van windenergie op zee een toenemende vraag naar groene waterstof zal bijhouden. Bij de productie voor blauwe waterstof gaat het om productie-installaties met CCS. Hierbij kan de opslagcapaciteit van CO_2 een belemmerende factor vormen.

Qua toepassing van waterstof wordt in het Klimaatakkoord vooral gekeken naar het gebruik in de industrie en in het kader van de mobiliteit (vrachtwagens, binnenvaartschepen). Voor dat laatste zal er een toename van het aantal waterstoftankstations nodig zijn. Om verschillende brandstoffen (benzine, diesel, LPG, CNG, H_2 , laadstation) aan te kunnen bieden, zal het aantal multi-fuel tankstations toenemen.

Het grootschalig gebruik van waterstof in de gebouwde omgeving (bijvoorbeeld als brandstof in een cv-ketel) wordt niet verwacht in het komende decennium, hoewel er wel enkele projecten zijn gestart voor toepassing in de gebouwde omgeving.⁹ Uit de recente analyse van PBL (Hoogervorst, 2020) volgt dat het niet waarschijnlijk is 'dat waterstof vóór 2030 op enige schaal van betekenis kan worden toegepast voor verwarming van gebouwen'. Daarna (richting 2050) behoort het wel tot de mogelijkheden, maar is het afhankelijk van verschillende ontwikkelingen en (beleids)keuzen (onder andere productiecapaciteit en aanpassingen aan de infrastructuur). Uit studie van KIWA (KIWA, 2018) volgt dat het huidige aardgasnetwerk geschikt kan worden gemaakt voor het gebruik van waterstof. Voor het gebruik van waterstof in woningen wordt wel gemeld dat huidige toestellen (cv-ketels, gaskooktoestellen) niet geschikt zijn voor het gebruik van waterstof en dus vervangen zouden moeten worden. Daarbij geldt dat verbranding van waterstof geen zichtbare vlam produceert, zodat het koken op waterstof extra risico zou opleveren. Een ander relevant aspect voor het gebruik van waterstof in de gebouwde omgeving is dat waterstof nagenoeg reukloos is en dat er daarom (net als bij aardgas) een geurstof (of andere marker) aan toegevoegd zou moeten worden om bij lekkage opgemerkt te worden.

Ten slotte voorziet het kabinet een prominente rol voor waterstof binnen het internationale energiesysteem. In die context kan Nederland vanwege de logistieke infrastructuur met de havens, opslagcapaciteiten en het gasleidingennetwerk een hubfunctie voor waterstof vervullen. Intercontinentaal transport van waterstof zal waarschijnlijk per schip gaan, terwijl transport binnen Europa per pijpleiding het goedkoopste zal zijn.

Al met al betekent dit dat waterstof een belangrijke rol in het toekomstige energiesysteem kan vervullen, maar dat er tegelijkertijd veel onzekerheden met betrekking tot de implementatie zijn. Om PBL te citeren: 'Waterstof is een veelbelovende energiedrager, maar wanneer en waar is zeer onzeker.' (Hoogervorst, 2020)

4.6.1 *Effecten op gezondheid*

Waterstof wordt gezien als een geschikte energiedrager en brandstof, omdat er bij de toepassing geen CO₂ vrijkomt. Een aspect met betrekking tot gezondheid is dat bij de verbranding van waterstof met lucht emissie van NO_x kan optreden. Dit is gekoppeld aan de verbrandingstemperatuur van H₂ die erg hoog kan zijn. NO_x-vorming zou kunnen optreden wanneer waterstof als brandstof zal worden ingezet, zoals in elektriciteitscentrales, om aan een eventuele piekvraag te kunnen voldoen. Ook als H₂ zou worden ingezet als brandstof in bijvoorbeeld cv-ketels, zou met de vorming van stikstofoxiden (NO_x) rekening moeten worden gehouden. Ook bij de productie van grijze en blauwe waterstof geldt dat, naast CO₂, ook emissie van NO_x optreedt als gevolg van de verbranding van aardgas.

4.6.2 *Veiligheidsrisico's*

Waterstof is een ontvlambare stof die gemakkelijk ontsteekt. Ontbranding en explosie van waterstof gaan bijvoorbeeld gemakkelijker

⁹ Zie bijvoorbeeld: <https://opwegmetwaterstof.nl/rozenburg-loopt-warm-voor-waterstof> (geraadpleegd oktober 2020).

dan bij aardgas. Dit komt doordat waterstof een lage minimum ontstekingsenergie heeft en het concentratiegebied (dat wil zeggen hoe hoog de verhouding H_2 is in de atmosfeer) waarin een explosie kan plaatsvinden van waterstof breed is.¹⁰ Tegelijk is waterstof een erg licht molecuul, dat snel vervliegt en zich dus niet makkelijk ophoopt in de buitenlucht (leefomgeving). Het kan zich wel ophopen in besloten ruimten. Dit betekent dat er risico's zijn gekoppeld aan de productie, de opslag, het transport en het gebruik van waterstof. Het gaat hierbij om bekende risico's, omdat waterstof al wordt toegepast in de industrie. Verder geldt dat waterstof voor een deel het huidige gebruik van aardgas zal vervangen, zodat er ook substitutie van risico is.

Bij grootschalig gebruik van waterstof in de gebouwde omgeving is aandacht vereist voor veiligheidsrisico's. Het gaat bijvoorbeeld om het risico van eventuele graafschade aan leidingen waarbij lekkages kunnen optreden en om het feit dat waterstof bij brand geen zichtbare vlammen geeft. Wanneer waterstof gebruikt zal worden als brandstof voor cv-ketels in gebouwen, woningen en hybride warmtepompen, vraagt dat aandacht in het kader van zowel arbeidsveiligheid (installatie en onderhoud) als van consumentenveiligheid (zie ook IFV, 2020c). Bij het gebruik van waterstof in de industrie en op productielocaties zijn, naast de genoemde risico's, geen specifieke arbeidsrisico's voorzien. Voor mobiliteit gaat om het gebruik van brandstofcellen. Naast zwaar vervoer (vrachtwagens, binnenvaart) betreft dit ook personenvervoer. Een aandachtspunt hierbij is de brandbestrijding.

Voor omgevingsveiligheid zijn met name de risico's relevant gekoppeld aan waterstof-tankstations en het transport van waterstof door leidingen en middels tankauto's. Er bestaan rekenmethodieken om de risico's voor de omgeving te kunnen bepalen. De risicoafstanden van waterstoftankstations (gerelateerd aan de norm $PR 10^{-6}$) liggen op enkele tientallen meters (tot 35 meter). Dat komt overeen met de afstanden van de $PR 10^{-6}$ voor de LPG-tankstations (ANV, 2019). Als wordt gekeken naar mogelijke effectafstanden, gaat het om enkele tientallen meters (fakkelbranden). Het grootste effect kan optreden als een tankauto met waterstof faalt en er een explosie optreedt. Hierbij zijn effectafstanden van enkele honderden meters mogelijk. De kans op dit worstcasescenario is echter zo klein, dat dit scenario niet bijdraagt aan de risicoafstanden van de $PR 10^{-6}$. Voor de risico's van waterstofleidingen geldt dat deze onder voorwaarden gelijkwaardig zijn aan die van aardgasleidingen.

Een laatste aandachtspunt betreft de opslag van waterstof. Dit kan gebeuren in opslagtanks in industriegebieden, maar daarnaast zijn er ideeën om waterstof op te slaan in lege gasvelden of zoutcavernes. Er loopt inmiddels onderzoek naar de opslag in zoutcavernes.¹¹ Om waterstof als vloeistof op te kunnen slaan zijn hoge drukken nodig om het gas te comprimeren. Een alternatief hiervoor is de opslag in de vorm van ammoniak, wat ook risico's met zich meebrengt.

¹⁰ De explosiegrenzen voor H_2 liggen tussen 4,1 en 74,8%; de grenzen voor methaan (de belangrijkste component van aardgas) liggen tussen 4,4 en 16%.

¹¹ <https://www.waterstofmagazine.nl/nieuws/11-nieuws/966-nederland-onderzoek-naar-ondergrondse-opslag-van-waterstof-van-start> (geraadpleegd 8-10-2020).

4.6.3 Effecten op natuur en milieu

Bij de productie van blauwe waterstof is CO₂-opslag een van de onderdelen. In paragraaf 4.9.3 is ingegaan op enkele effecten hiervan op natuur en milieu. Bij de productie van groene waterstof door middel van elektrolyse komt water van 60-70 °C vrij, wat tot thermische vervuiling kan leiden. Dit kan via koeltorens worden opgelost. Een andere optie is om de warmte te gebruiken in warmtenetten, wat wel vragen rondom productielocatie en logistiek met zich meebrengt. Zoals gemeld zal bij verbranding van waterstof NO_x vrijkomen. Dit draagt bij aan stikstofdepositie, al is dat waarschijnlijk zeer gering.

4.7 Biomassa

Biomassa is de verzamelnaam voor alle materie die leeft of heeft geleefd (zoals planten, bomen, hout, gft-afval, maar ook plantaardige olie, mest en kadavers). Organische stoffen echter die door langzame geologische processen zijn afgebroken tot steenkool, bruinkool, olie en aardgas, worden niet gerekend tot de biomassa, maar tot de fossiele brandstoffen. We onderscheiden vaste biomassa en vloeibare biomassa. Vaste biomassa omvat bijvoorbeeld snoeihout en afvalproducten uit de papierindustrie, maar ook bomen en speciaal verbouwde gewassen zoals *Miscanthus*, een grassoort die zeer geschikt is voor duurzame energiewinning en ook als grondstof kan dienen voor bouwmaterialen. Vloeibare biomassa omvat bijvoorbeeld palmolie en afvalproducten als frituurvet, mits ze 'schoon' zijn.

Een ander relevant onderscheid in type biomassa heeft te maken met de herkomst en 'waarde':

- direct geproduceerde biomassa (bossen, gewassen als *Miscanthus*, vingergras, maar ook mais en soja);
- primaire reststroom: biomassa die vrijkomt bij de productie op de akker of in het bos, zoals takken, kromme bomen, bermgras en snoeiresten;
- secundaire reststroom: biomassa die vrijkomt bij de verwerking, zoals zaaghout;
- tertiaire reststroom: biomassa die vrijkomt als restafval, zoals GFT.

Deze indeling is van belang in verband met de toepassing van biomassa, waarbij het uitgangspunt is dat hoogwaardige biomassa zo veel mogelijk wordt gebruikt voor materialen (meubels, bouw, vervanging staal), gevolgd door toepassing als grondstof voor de chemie en productie van biobrandstoffen, terwijl laagwaardige biomassa wordt verbrand voor opwekking van warmte of elektriciteit (cascaderingsprincipe). De omzetting van biomassa in nieuwe grondstoffen en materialen (zoals door bioraffinage) valt buiten de scope van dit rapport.

Biomassa kan op drie verschillende manieren worden omgezet in bruikbare energie: verbranding, vergisting en vergassing. Bij **verbranding** wordt biomassa in een grote verbrandingsoven opgestookt. De vrijkomende warmte wordt gebruikt om elektriciteit op te wekken, maar kan ook direct aan een warmtenet worden geleverd. Vaste biomassa kan zowel alleen worden verbrand als in combinatie met

fossiele brandstoffen. De laatste jaren zijn bijvoorbeeld kolencentrales steeds meer biomassa gaan verbranden.

Bij verbranding van biomassa komen schadelijke stoffen vrij, zoals fijnstof en stikstofoxiden, die effect hebben op de gezondheid. Om de uitstoot van deze stoffen naar de lucht te beperken, zijn emissienormen vastgesteld. Grote biomassacentrales, met een vermogen groter dan 15 MW, moeten aan strengere emissienormen voldoen dan kleinere centrales (vermogen tussen 1 en 15 MW) en warmteketels (vermogen kleiner dan 1 MW). Zo bedragen de emissienormen voor fijnstof voor grote, middelgrote en kleine centrales resp. 5, 20 en 40 mg Nm³.¹² In Nederland zijn naar schatting enkele duizenden kleine, tweehonderd tot driehonderd middelgrote, en een tiental grotere biomassa-installaties in gebruik voor opwekking van elektriciteit en warmte. Daarnaast is er een aantal nieuwe installaties bijna in gebruik of nog in aanbouw.¹³ Het gezamenlijke vermogen aan energie van deze installaties wordt geschat op 3 tot 5 GW.

In feite zijn hout- en pelletkachels die worden gebruikt voor verwarming van woningen en andere gebouwen ook – zeer kleine – biomassa-installaties. Voor deze kachels zijn de emissienormen uit de kaderrichtlijn ECODESIGN Directive (2005/32/EC) van toepassing: 40 mg Nm³ fijnstof (voor pelletkachels 20 mg Nm³) en 20 mg Nm³ NOx.

Bij **vergisting** worden (na scheiding van stoffen die niet kunnen worden omgezet, zoals taaie grassen) micro-organismen aan de biomassa toegevoegd, die de organische stoffen in een anaeroob proces omzetten in biogas, een mengsel van koolstofdioxide (CO₂) en methaan (CH₄). Dit mengsel wordt opgevangen en gebruikt als brandstof om een generator te laten draaien die warmte en elektriciteit produceert. Naast de gassen ontstaat er nog een ander product: het zogenaamde digestaat. Dit kan na ontwatering weer worden gebruikt als meststof. Dierlijke mest wordt, in een vergelijkbaar proces, ook gebruikt voor vergisting, al dan niet in combinatie met andere biomassa (co-vergisting).

Met biogas kunnen elektriciteit en warmte worden opgewekt door het gas te verbranden in een gasmotor. Biogas kan ook in het aardgasnet worden gebracht. Hiervoor moet het biogas wel extra worden schoongemaakt. Het product wordt groen gas genoemd. Biogas en biobrandstoffen worden besproken in paragraaf 4.8.

Bij **vergassing** wordt organisch materiaal uit biomassa onder zeer hoge temperatuur verwarmd, waardoor de biomassa direct overgaat in een gasvormige fase. Daarbij wordt zuurstof toegevoegd. Het gas dat bij dit proces ontstaat, wordt vervolgens 'chemisch gekraakt' en omgezet in waterstof, methaan, stikstof, koolstofmonoxide, koolstofdioxide en water. Deze gassen kunnen worden gebruikt voor energieopwekking, maar ook als grondstof in de chemische industrie of – na zuivering en opwerking – als relatief schone brandstof voor verbrandingsmotoren van machines of voertuigen.

¹² Een emissienorm geeft aan hoe hoog de maximale concentratie mag zijn in het zogenaamde rookgas, dat uit de centrale via de schoorsteen de atmosfeer in stroomt.

¹³ Er zijn geen exacte cijfers bekend over het totaal aantal installaties dat (bijna) in gebruik is of in aanbouw, en hun gezamenlijke vermogen. Dat komt onder andere doordat – mede vanwege discussies over twijfel aan de duurzaamheid van biomassa voor energiewinning en groeiende (lokale) weerstand tegen biomassacentrales – vergunningen zijn vertraagd of besluiten over toepassing van biomassa worden herzien. Daarnaast zijn er installaties waar biomassa niet de enige brandstof is en zijn er ook biomassa-installaties die (gedeeltelijk) worden gebruikt voor de productie van biogas en biobrandstoffen.

Samengevat wordt biomassa toegepast voor zowel directe opwekking van elektriciteit en warmte en als voor de productie van biogas (verwarming van gebouwen, glastuinbouw, mobiliteit), biobrandstoffen (mobiliteit, in het bijzonder luchtvaart, zeescheepvaart en zwaar wegtransport), meststof (landbouw), en materialen en grondstof voor de chemische industrie. In de afgelopen jaren is voor al deze doelen het gebruik van biomassa toegenomen.

De behoefte aan en toepassing van biomassa in de toekomst is afhankelijk van veel factoren en ontwikkelingen op nationaal en internationaal niveau. Zo hebben de Europese lidstaten afspraken gemaakt over verduurzaming van de energiewinning, waaronder gebruik van biomassa. Aan de andere kant is er steeds meer discussie in hoeverre het gebruik van biomassa op lange termijn klimaatneutraal is. In sommige landen worden bijvoorbeeld regenwouden en veengronden, die fungeren als sponzen die CO₂ uit de lucht halen, vervangen door palmolieplantages voor de productie van biodiesel. Daarnaast is er sprake van vervuiling door het *transport* van biomassa van de bron naar de verwerkingslocatie, vooral als dat over grote afstanden gebeurt. In Nederland is er als de groei van het gebruik doorzet, minder biomassa beschikbaar dan dat er behoefte aan is, waardoor ons land steeds meer biomassa zal moeten importeren. Een andere kritische kanttekening betreft een mogelijk negatief effect op de biodiversiteit, al is dat vanwege verschillen in definities van biodiversiteit lastig te beoordelen. Tot slot komen er bij de verwerking van biomassa stoffen vrij die schadelijk zijn voor onze gezondheid. Dit aspect wordt in de volgende paragraaf besproken.

Vooralsnog wordt in het Klimaatakkoord biomassa genoemd als een 'transitiebrandstof' die 'noodzakelijk is voor de verduurzaming van onze economie en het realiseren van de Klimaatopgave'.

De discussie over de voor- en nadelen van biomassa valt buiten de scope van dit rapport, maar is wel van belang om te vermelden omdat het invloed kan hebben op de ontwikkelingen en daarmee ook de mogelijke effecten op gezondheid en veiligheid.

Er wordt overigens ook gewerkt aan nieuwe, milieuvriendelijkere technologieën voor biomassa, zowel wat betreft nieuwe en verbeterde toepassingen als het verlagen van emissies schadelijke stoffen. Een van de nieuwe ontwikkelingen, waar veel van wordt verwacht, is het gebruik van zeewier als biomassabron.

4.7.1 *Effecten op gezondheid*

Bij verbranding van biomassa komen stoffen vrij als fijnstof, roet, stikstofoxiden, koolmonoxide, PAK's en vluchtige organische componenten, die schadelijk kunnen zijn voor de gezondheid. Deze stoffen worden via de lucht verspreid in de leefomgeving. De concentraties van deze stoffen waaraan mensen kunnen worden blootgesteld hangen af van de hoeveelheden die worden uitgestoten (de emissies), de hoogte van de bron (lees: schoorsteen), de warmte-inhoud van de rookgassen, de afstand tot de bron en de weersomstandigheden. Over de effecten van het (toenemend) gebruik van biomassaverbranding op de luchtkwaliteit in Nederland is relatief weinig bekend. Dit komt

mede doordat in de landelijke emissieregistratie alleen de emissies van biomassacentrales met een vermogen groter dan 50 MW worden geregistreerd. Dit komt neer op een paar grote centrales. De emissies van het groeiend aantal installaties waarin biomassa wordt gebruikt voor opwekking van elektriciteit en warmte, blijven op deze manier buiten beeld, omdat hun vermogen lager dan 50 MW is. Voor een aantal situaties zijn berekeningen gedaan met verspreidingsmodellen, maar die geven geen landelijk representatief beeld. Over emissies en luchtverontreiniging door houtkachels is wel meer bekend.

Om inzicht te krijgen in de ziektelast als gevolg van luchtverontreiniging door verbranding van biomassa, maken we onderscheid in a) grote biomassacentrales en energiecentrales die biomassa bijstoken, met een vermogen van meer dan 15 MW, b) kleine en middelgrote biomassa-installaties en zogenaamde ketels, met een vermogen van 0,1 tot 15 MW en c) houtkachels. Wat de laatste categorie betreft, is het belangrijk onderscheid te maken in enerzijds houtkachels en openhaarden die gebruikt worden voor sfeerverwarming en anderzijds hout- en pelletkachels voor opwekking van warmte in gebouwen. In principe valt alleen de laatste groep onder de 'nieuwe' bronnen en maatregelen voor winning van energie ter vervanging van fossiele brandstoffen. In het CBS WoON-onderzoek 2018 (Van Middelkoop en Segers, 2019) gaf eenderde van de respondenten aan een hout- of pelletkachel te gebruiken om de woning te verwarmen. Twee derde zag de houtstookinstallatie dus niet als warmtebron, maar dat is een enigszins arbitrair onderscheid. Er is sprake van een groeiend gebruik van hout- en pelletkachels als vervangende warmtebron, bijvoorbeeld in wijken die aardgasvrij worden gemaakt.

In Tabel 4.2 staan schattingen van de jaarlijkse emissies aan fijnstof en stikstofoxiden voor elk van de drie categorieën bronnen. We gebruiken deze twee componenten als indicator, omdat ze in aanzienlijke mate bepalend zijn voor de ziektelast door blootstelling via de lucht. De hogere waarde van de fijnstofemissie uit de studie van het PBL is toe te schrijven aan het feit dat daarin rekening is gehouden met condenseerbaar fijnstof: koolwaterstoffen die in het hete gas in de schoorsteen nog gasvormig zijn, maar die in de buitenlucht snel tot deeltjes condenseren. Voor het schatten van de blootstelling op leefniveau – en daarmee de ziektelast – is dit een betere benadering. Volgens het WoON-onderzoek 2018 (Van Middelkoop en Segers, 2019) bedroeg het aantal houtkachels 1.355.000, waarvan 993.000 actief in gebruik. Dit aantal komt binnen de onzekerheidsmarge van de bepaling overeen met dat van Koppejan en de Bree (2018). In het WoON-onderzoeksrapport staan ook vergelijkbare gegevens uit andere inventarisaties (840.000 tot 1.070.000 houtgestookte installaties).

Een aantal van de studies waaruit de emissiegegevens in Tabel 4.2 zijn afgeleid bevat ook met verspreidingsmodellen berekende concentraties fijnstof, stikstofdioxide en andere componenten op leefniveau. In Bijlage 2 is een samenvatting gegeven van deze berekeningen.

Tabel 4.2 Overzicht van geschatte jaarlijkse emissies aan fijnstof en stikstofdioxide uit houtkachels, biomassa-installaties en biomassacentrales.

Type bron	Aantal	Emissie fijnstof (ton/jaar)	Emissie NO _x (ton/jaar)
Houtkachels, pellet- kachels, openhaarden	1.060.000 *	1794 * 4650 +	2388 * 2320 +
Biomassa-installaties < 15 MW	3700	109 * < 160 # 14	570 * < 1500 #
Biomassacentrales > 15 MW ¹⁵	30	< 30 \$	< 600 \$
Alle bronnen in Nederland		27.970	334.900

+ PBL (2019); \$ Emissieregistratie ; * Koppejan en de Bree (2018); # Tauw Waddinxveen (2019)

In het kader van het Schone Lucht Akkoord (SLA) voor het basisjaar 2016 is de ziektelast veroorzaakt door emissies van houtkachels geschat op 4500 DALY's (Paul Ruysenaars, RIVM, *pers. commun.*). In deze berekening is condenseerbaar fijnstof niet meegenomen, waardoor de ziektelast tot mogelijk een factor 2 á 3 wordt onderschat. Aan de andere kant betreft dit zowel hout- en pelletkachels¹⁶ die gebruikt worden voor opwekking van warmte in gebouwen als houtkachels en openhaarden die worden gebruikt voor sfeerverwarming. Deze laatste groep valt buiten de scope van de energietransitie. Zoals eerder vermeld gaf eenderde van de respondenten in het WoON-onderzoek 2018 aan dat een hout- of pelletkachel wordt gebruikt om de woning te verwarmen, maar dat is een enigszins arbitraire benadering. Rekening houdend met alle genoemde onzekerheden schatten we de ziektelast van houtstook voor opwekking van energie en warmte daarmee op klasse B conform Tabel 3.1.

Er zijn tot op heden geen berekeningen gedaan van de ziektelast als gevolg van de uitstoot door biomassa-installaties. Voor wat betreft grote centrales, met een vermogen groter dan 15 MW, blijkt uit een studie van DNV GL (2019) dat van het meestoken van biomassa en ombouw van kolencentrales naar 100% biomassa geen verhoging van de emissies is te verwachten. Echter, bij *nieuwe* biomassacentrales voor de productie van elektriciteit en warmte, is er wel sprake van verhoogde emissies fijnstof, stikstofoxiden en andere schadelijke componenten leidend tot een verslechtering van de luchtkwaliteit. Omdat het aantal van deze centrales in Nederland relatief klein is, de emissies aan fijnstof en stikstofoxiden veel lager zijn dan die van houtkachels (zie Tabel 4.2) en de concentraties vrijkomende stoffen op leefniveau vanwege de bronhoogte van deze centrales relatief laag zijn, schatten we de ziektelast van deze categorie op klasse A.

¹⁴ Indicatieve schatting op basis van emissiegegevens uit een onderzoek van Tauw (2019) naar te verwachten gevolgen voor de luchtkwaliteit door de invloed van drie nog te vestigen middelgrote biomassa-installaties plus een aantal bestaande en nieuwe kleine stookinstallaties op biomassa in de gemeente Waddinxveen, geëxtrapoleerd op basis van de in paragraaf 4.7 vermelde aantallen biomassa-installaties in Nederland.

¹⁵ Dit betreft zowel energiecentrales die biomassa als hoofdbrandstof gebruiken (ongeveer 20) als centrales die biomassa bijstoken. Het aantal installaties is geschat op basis van gegevens van een overzicht op: https://nl.wikipedia.org/wiki/Lijst_van_elektriciteitscentrales_in_Nederland. De emissies van fijnstof en NO₂ zijn een schatting afgeleid uit gegevens van de Emissieregistratie en het percentage bijstook aan biomassa in 'hybride' energiecentrales.

¹⁶ Het aantal pelletkachels is nu nog beperkt (volgens Van Middelkoop en Segers (2019) circa 3%), maar verwacht wordt dat dit aantal zal groeien.

Er zijn niet voldoende gegevens van emissies en verspreiding van schadelijke stoffen uit kleinere biomassa-installaties (vermogen van 0,1 - 15 MW) om de ziektelast van hun uitstoot te bepalen. Volgens de gegevens in Tabel 4.2 zijn de totale emissies aan fijnstof en stikstofoxiden uit deze bronnen aanzienlijk lager dan die van houtkachels. In deze gegevens is echter geen rekening gehouden met de huidige groei van het aantal biomassa-installaties. Bovendien zijn installaties met een vermogen < 15 MW waarin schone biomassa (dat wil zeggen geen afval) wordt verbrand niet vergunningplichtig, en is er nagenoeg geen controle op hun uitstoot. Indicatieve verspreidingsberekeningen laten zien dat de bijdrage van biomassa-installaties aan de blootstelling op leefniveau gemiddeld over Nederland lager lijkt dan die van houtkachels (zie Bijlage 2). Gegeven al deze onzekerheden schatten we de ziektelast door de uitstoot van biomassa-installaties met een vermogen < 50 MW op klasse A/B. Voor een goed onderbouwde bepaling van de ziektelast zou hier een aparte studie aan moeten worden gewijd.

Over de toepassing van biomassa voor opwekking van elektriciteit en warmte in de toekomst bestaat onzekerheid, mede vanwege de eerder genoemde discussies over voor- en nadelen. Volgens de vier toekomstbeelden in hoofdstuk 5 zal het gebruik van biomassa voor winning van energie op de langere termijn beperkt blijven ten opzichte van andere bronnen zoals wind en zon. Door sommigen wordt het gebruik van biomassa voor duurzame energiewinning vooral gezien als tijdelijke oplossing in de komende jaren, terwijl tegelijkertijd andere duurzame technologieën worden ontwikkeld en steeds meer worden toegepast.

Daarnaast hebben Rijk, provincies en gemeenten in het kader van het Schone Lucht Akkoord (SLA) afspraken gemaakt om 'in 2030 minimaal 50% gezondheidswinst uit binnenlandse bronnen te realiseren ten opzichte van 2016'. Voor wat betreft biomassa-installaties gaat het om scherpere emissie-eisen, verlaging van de vermogensgrens van 15 MW voor vergunningplicht, verhogen van de schoorsteen, aanvullende rookgasreiniging en – voor nieuwe installaties – zorgen voor voldoende afstand tot kwetsbare bestemmingen. Het kabinet laat TNO momenteel onderzoeken of de uitstooteisen voor kleinere en middelgrote biomassa-installaties (0,5 – 50 MW) verder kunnen worden aanscherpt vanaf 2022.

PBL berekende dat door het invoeren van een aantal maatregelen (naar het voorbeeld van Duitse regelgeving) de bijdrage van de uitstoot uit houtkachels en openhaarden aanzienlijk kan worden gereduceerd. Die maatregelen zijn het verplicht saneren van verouderde kachels door invoering van een nationale emissienorm en het beperken van gebruik van openhaarden. Hiermee kan de fijnstofconcentratie aanzienlijk worden verlaagd (ruim 7% van de jaargemiddelde concentratie veroorzaakt door Nederlandse bronnen).

Naast blootstelling aan schadelijke stoffen draagt geurhinder als gevolg van emissies uit met name openhaarden en allesbranders bij aan de ziektelast. In het recente Onderzoek Beleving Woonomgeving (representatieve steekproef van de Nederlandse bevolking) geeft 5,4% van de ondervraagden aan hier ernstige hinder van te ondervinden en meldt 2,8% van de respondenten slaapverstoring (Van Poll, 2020). Van alle gemelde bronnen van geurhinder zorgen openhaarden en

allesbranders voor de grootste overlast. Er bestaat geen onderbouwde relatie waarmee de ziektelast door ernstige geurhinder kan worden uitgedrukt in DALY's. Aan de ene kant wordt deze geurhinder gekenmerkt door af en toe optredende piekbelastingen, afhankelijk van seizoen, stookgedrag en weersomstandigheden. Aan de andere kant betreft het een aanzienlijke groep mensen. De ziektelast is dus zeker niet verwaarloosbaar en wordt daarom geschat op een score A conform Tabel 3.1.

Ook rond biomassa-installaties voor vergisting en voor verbranding kan sprake zijn van geurhinder, al zal dit effect op landelijke schaal minder groot zijn dan voor openhaarden en allesbranders. Naast geurhinder kan, zeker bij grotere biomassacentrales en vergistingsinstallaties, geluidhinder een rol spelen door toename van vrachtverkeer en lokale transportmiddelen, zoals bulldozers voor de aanvoer van brandstoffen en dergelijke.

De stoffen die vrijkomen uit openhaarden en houtkachels kunnen ook in het binnenmilieu tot verhoogde blootstelling leiden. Uit een uitgebreide literatuurstudie van Mathijssen *et al.* (2018) is gebleken dat er door het stoken van hout binnenshuis weliswaar verhoogde concentraties schadelijke stoffen voorkomen, maar dat gezondheidkundige advieswaarden niet of gedurende korte tijd werden overschreden. In een aantal studies werd geen significant verschil gevonden in de concentraties fijnstof, PAK's en vluchtige organische componenten tussen huizen met en zonder houtkachels. In een onderzoek in Denemarken (Danish Ecological Council, 2016) werden verhoogde tot sterk verhoogde concentraties fijne deeltjes gemeten in huizen met een op hout gestookte kachel. Piekwaarden kwamen overeen met concentraties die worden gevonden langs drukke wegen, en filters uit de ventilatiesystemen van woningen met een houtkachel zaten vol met roetdeeltjes, terwijl die uit woningen zonder houtkachel aanmerkelijk schoner waren. In huizen met moderne kachels waren de concentraties fijne deeltjes overigens substantieel lager dan die met conventionele kachels. In een recent onderzoek in Engeland (Chakraborty *et al.*, 2020) werden in woningen met gecertificeerde houtkachels ruim tweemaal hogere uurgemiddelde concentraties fijnstof gemeten dan zonder gebruik van deze kachels. De metingen werden uitgevoerd in 20 woningen gedurende 4 weken in de winter.

De beschikbare informatie is onvoldoende om een ziektelast door houtrook binnenshuis in DALY's te kunnen berekenen. Op grond van de beschikbare gegevens wordt de ziektelast vooralsnog geschat op klasse A conform Tabel 3.1. Aanbevolen wordt om nader onderzoek te doen om deze ziektelast beter te kunnen bepalen.

Gezondheidseffecten als gevolg van productie en gebruik van biobrandstoffen worden besproken in paragraaf 4.8.

4.7.2 *Veiligheidsrisico's*

De veiligheidsaspecten van biomassacentrales, waarin biomassa wordt verbrand voor opwekking van elektriciteit of warmte, verschillen niet wezenlijk van die van energiecentrales. Dit betekent dat er geen specifieke veiligheidsrisico's zijn voorzien qua omgevingsveiligheid of arbeidsveiligheid. Aan het thuisgebruik van hout- en pelletskachels zitten brandrisico's voor de consument, zoals het risico op schoorsteenbranden. Deze risico's zijn bekende risico's. Veiligheidsrisico's die gepaard gaan met productie en gebruik van biobrandstoffen door vergisting en vergassing worden besproken in paragraaf 4.8.

4.7.3 *Effecten op natuur en milieu*

De stikstofoxiden die vrijkomen bij verbranding van biomassa dragen bij aan de stikstofdepositie in de omgeving van een installatie. Gezien de beperkte bijdrage door biomassaverbranding aan de totale stikstofoxidenemissies in Nederland (~1%, zie Tabel 4.2) en het feit dat de meeste biomassa-installaties op ruime afstand van voor stikstof gevoelige gebieden liggen, zal de bijdrage aan de stikstofdepositie in deze gebieden gering zijn.

4.8 **Biobrandstoffen**

Naast het ontwikkelen en toepassen van nieuwe energiebronnen wordt ook ingezet op vervanging van fossiele brandstoffen door biobrandstoffen. Deze zijn in verschillende aggregatietoestanden beschikbaar: vast, vloeibaar en gasvormig. Het gebruik van vaste biobrandstoffen, zoals hout en bepaalde energiegewassen, wordt besproken in paragraaf 4.7. Vloeibare biobrandstoffen worden vooral geproduceerd als vervanger van benzine, diesel en kerosine. Gasvormige biobrandstoffen zijn bekend onder de naam biogas.

Vloeibare biobrandstoffen

Vloeibare biobrandstoffen zijn onder meer bio-ethanol, bio-methanol, synthetische benzine, biodiesel, biodimethylether en biokerosine. Ze worden geproduceerd uit gebruikt frituurvet, dierlijk vet, gewassen (zowel energiegewassen als oneetbare gedeelten van voedselgewassen), plantaardige oliën, houtsnippers en restafval. Daartoe worden verschillende processen gebruikt: vergisting, pyrolyse en het zogenaamde hydrothermal upgrading. Een andere productieroute is Carbon Capture and Usage. Daarbij worden CO₂ en koolmonoxide, die vrijkomen bij de productie van staal of bij verbranding van afval en fossiele brandstoffen, omgezet in koolstof. Dat wordt vervolgens als bouwsteen gebruikt voor het maken van biobrandstoffen en andere producten (zie paragraaf 4.9). De laatste jaren wordt onderzoek gedaan naar productie van biobrandstoffen uit algen. Dit wordt gezien als een veelbelovende ontwikkeling, maar ze bevindt zich nog in het stadium van experimenteren. Er worden ook veel mengbrandstoffen toegepast, bestaande uit fossiele brandstof en biobrandstof gemengd in een bepaalde verhouding.

Wereldwijd groeit het gebruik van vloeibare biobrandstoffen, voornamelijk voor transport. In Nederland is het aandeel biobrandstoffen in de transportsector nu ongeveer 10%. Het grootste deel daarvan is bestemd voor wegvoertuigen en mobiele machines.

Gebruik van biobrandstof in de binnen- een zeevaart vindt nog beperkt plaats (3%), maar ook dit percentage groeit, evenals in de luchtvaart. Zo vliegen steeds meer vliegtuigmaatschappijen op een mengsel van kerosine en biobrandstof.

Overigens wordt minder dan 10% van de biobrandstoffen voor het Nederlandse vervoer gemaakt van grondstoffen die uit Nederland komen. Het overgrote deel komt uit het buitenland, vooral China, Duitsland en de VS. Verwacht wordt dat in de zeescheepvaart en luchtvaart (deze sectoren vallen overigens niet onder het Klimaatakkoord) het gebruik van biobrandstoffen als vervanger van fossiele brandstoffen geleidelijk zal groeien. Het gebruik voor wegverkeer hangt sterk af van internationaal-economische en politieke ontwikkelingen (Den Ouden *et al.*, 2020). Hier wordt in hoofdstuk 5 verder op ingegaan.

Biogas

Biogas is een mengsel van ongeveer 60% methaan, 35% CO₂, waterdamp en een restfractie andere gassen, zoals ammoniak en waterstofsulfide. Biogas wordt geproduceerd in vergistingsinstallaties (mest, rioolslib, biomassa), via anaerobe waterzuivering, door vergassing van biomassa en via industriële vergisting (gft, afval van supermarkten en horeca en industriële reststromen). Ook in stortplaatsen ontstaat biogas (stortgas genaamd), dat kan worden afgevangen voor gebruik. Als dit stortgas niet wordt afgevangen, draagt het als broeikasgas bij aan de klimaatverandering. Omdat in Nederland nagenoeg geen afval meer wordt gestort, is winning van stortgas een aflopende zaak.

Biogas wordt toegepast als brandstof in warmte-krachtcentrales. Daarnaast wordt het door reiniging (verwijdering van CO₂ en andere gassen, zodat voornamelijk methaan overblijft) opgewaardeerd tot groen gas, dat kan worden bijgemengd in het aardgasnet en worden opgewerkt tot brandstof voor auto's. In de toekomst kan groen gas worden geproduceerd uit waterstof en afgevangen CO₂. Deze techniek is nog in ontwikkeling.

In Nederland vindt productie van biogas en groen gas nog niet op grote schaal plaats. Dat heeft te maken met zowel technische als economische belemmeringen. In 2018 bedroeg de productie van groen gas minder dan 1% van het gasverbruik. De ambitie is om productie van biogas en groen gas te laten groeien, zodat in 2050 ongeveer drie- tot tienmaal zoveel wordt gebruikt als nu, afhankelijk van welk scenario zich zal voltrekken (Den Ouden *et al.*, 2020). Dit tekort aan biomassa-reststromen kan ertoe leiden dat boeren energiegewassen gaan verbouwen waarvoor meer (kunst)mest nodig is. Als gevolg daarvan stijgt de ammoniakemissie, resulterend in de vorming van meer secundair fijnstof en een hogere stikstofdepositie.

4.8.1 Effecten op gezondheid

Net als bij fossiele brandstoffen worden bij verbranding van biobrandstoffen schadelijke stoffen gevormd, zoals fijnstof, stikstofdioxide, PAK's en (vluchtige) organische componenten. Uit onderzoek blijkt dat sommige van deze stoffen toxischer zijn dan de

verbrandingsproducten van fossiele brandstoffen en dat bijmengen van biobrandstoffen tot hogere uitstoot van stikstofoxiden leidt. Daardoor kan, omgerekend naar hoeveelheid brandstof, luchtverontreiniging door verbrandingsproducten van biobrandstoffen een hogere ziektelast geven dan die van fossiele brandstoffen. In het gunstigste scenario (zie hoofdstuk 5) wordt het gebruik van zowel fossiele als biobrandstoffen grotendeels afgebouwd, behalve voor de zeescheepvaart en luchtvaart, maar die emissies dragen weinig bij aan de blootstelling op leefniveau. In dat geval zal gebruik van biobrandstoffen nauwelijks bijdragen aan de ziektelast. Anders gezegd, de gezondheidswinst door het uitbannen van fossiele brandstoffen zoals berekend door Van der Ree *et al.* (2019) blijft in dat scenario nagenoeg ongewijzigd. In het ongunstigste scenario worden biobrandstoffen naast andere energiebronnen ingezet voor personenvervoer (10%), vrachtverkeer (50%), verwarming van gebouwen (groen gas, enkele %) en opwekking van elektriciteit (idem), waardoor een deel van die gezondheidswinst teniet wordt gedaan. In dat geval kan de ziektelast door gebruik van biobrandstoffen oplopen tot enkele duizenden DALY's.¹⁷

Een potentieel gezondheidsrisico bij productie van biogas is de verspreiding van *Legionella* rond vergistingsinstallaties. In de afgelopen jaren zijn er in Nederland drie uitbraken van de veteranenziekte – die wordt veroorzaakt door de bacterie *Legionella* – beschreven, waarbij industriële afvalwaterzuiveringsinstallaties met biogasproductie de bron van besmetting waren (Bartels *et al.*, 2019; Reukers *et al.*, 2020). Bij twee bedrijven waren de installaties een jaar voor de uitbraak aangepast voor biogasproductie. Onderzoek van het RIVM in 2020 liet zien dat patiënten met de veteranenziekte een hogere blootstelling hadden aan aerosolen van afvalwaterzuiveringen (Vermeulen *et al.*, 2019). Mestvergisters, biomassavergisters en sommige rioolwaterzuiveringen hebben vergistingsinstallaties voor biogasproductie met een vergelijkbaar proces, en ook in deze installaties kan soms *Legionella* worden aangetoond.

Het is op dit moment nog onvoldoende bekend of anaerobe installaties die worden gebruikt voor biogasproductie een hoger *Legionella*-risico hebben dan aerobe installaties zonder biogasproductie en hoe groot het gezondheidseffect daarvan is. Sinds 2017 worden jaarlijks ruim 500 patiënten met de veteranenziekte opgenomen in het ziekenhuis, waarvan een kwart wordt opgenomen op de intensive care, en circa 5% overlijdt. Het werkelijke aantal patiënten wordt hoger geschat. Tussen 2012 en 2017 is het aantal binnenlandse patiënten met de veteranenziekte verdubbeld (Reukers *et al.*, 2020). Deze stijging hangt samen met de weersomstandigheden en klimaatverandering, maar het is nog onduidelijk welke omgevingsbronnen bijdragen aan de stijging van het aantal patiënten. Het is mogelijk dat afvalwaterzuiveringen en biogasinstallaties hierin een rol spelen. Voor 2018 werden deze installaties niet meegenomen in het brononderzoek van patiënten, omdat het *Legionella*-risico nog niet bekend was. Het is gewenst om nader onderzoek te doen naar deze risico's en ook naar de

¹⁷ In paragraaf 3.2 is vermeld dat volledige vervanging van fossiele brandstoffen – uitgezonderd de zeescheepvaart en luchtvaart – in Nederland en het buitenland een gezondheidswinst geeft van 60.000 DALY's. Bij gebruik van ongeveer 10% biobrandstoffen in plaats van fossiele brandstoffen in 2050 neemt de ziektelast dan weer toe met enkele duizenden DALY's (rekening houdend met verschillen in aard, hoeveelheden en toxiciteit van de stoffen die uit beide typen brandstoffen worden gevormd).

mogelijkheden om de Legionella-risico's bij vergistingsinstallaties voor biogas te beheersen.

4.8.2 *Veiligheidsrisico's*

Wat betreft de mogelijke veiligheidsrisico's geldt dat die van biobrandstoffen grotendeels gelijk zijn aan die van de fossiele brandstoffen. Voor de risico's bij biogasinstallaties zijn er wel enkele specifieke aandachtspunten te melden.

Biogas is een mengsel van gasen met zowel brandbare (CH_4) als giftige (H_2S , NH_3) componenten. De risico's betreffen vooral explosie-, vergiftigings- en verstikkingsgevaar door gasvorming. Dat levert vooral arbeidsrisico's voor medewerkers bij de installaties. Er zijn arbeidsongevallen bekend, en relatief veel incidenten vinden plaats bij onderhouds- en reparatiewerkzaamheden. Bij de ongevallen zijn er ook doden gevallen, onder andere als gevolg van de vorming van H_2S in de opslag en/of bij de menging (AVIV, 2014). Op basis van gegevens uit Duitsland en Nederland is het algemene beeld dat het aantal gewonden per 100.000 werkenden per jaar niet afwijkt van de industrie in het algemeen. Hierbij wordt opgemerkt dat het een kleine sector is, waar veiligheidsbewustzijn en procesveiligheid aandacht behoeven. Hier wordt via het opstellen van richtlijnen en handreikingen aan gewerkt.

Risico's in het kader van omgevingsveiligheid zijn beperkt tot relatief kleine afstanden van de installaties. In een verkennend onderzoek van de risico's van de externe veiligheid betreft het een risicoafstand van maximaal 50 meter (RIVM, 2010a). Voor omwonenden speelt geurhinder (stankoverlast) soms een rol. Dat is gekoppeld aan het transport en de opslag van de meststoffen, of het gevolg van het onbedoeld vrijkomen van een (kleine) hoeveelheid biogas met H_2S (rotte eieren lucht).

4.8.3 *Effecten op natuur en milieu*

Het voornaamste effect op de natuur is gelegen in de bijdrage aan de stikstofdepositie als gevolg van stikstofoxiden die vrijkomen bij verbranding van biobrandstoffen. Een deel van de verlaging van de stikstofdepositie door het uitbannen van fossiele brandstoffen wordt tenietgedaan door toepassing van biobrandstoffen.

4.9 **Afvang, opslag en hergebruik van CO_2**

CCS (Carbon Capture and Storage) is een verzamelnaam van veel verschillende opties voor het afvangen, transporteren en ondergronds opslaan van CO_2 . Dit is geen techniek om energie te winnen of om op te slaan, maar om de hoeveelheid CO_2 die wordt uitgestoten naar de atmosfeer te verlagen. Er zijn ook nog andere manieren om CO_2 -reductie te bereiken. Deze worden besproken in paragraaf 4.14.

Afgevangen CO_2 wordt ook hergebruikt (in plaats van opgeslagen) als grondstof voor de teelt van groenten, bloemen en planten in de glastuinbouw, bij algenkweek voor de productie van visvoer en hoogwaardige vetzuren, en – na omzetting – als bouwsteen bij de productie van koolwaterstoffen, chemicaliën en polymeren. In dit geval

spreken we van CCU (Carbon Capture and Usage). Zie voor een visualisatie Figuur 4.1.

Hergebruik van CO₂ in de glastuinbouw wordt al geruime tijd toegepast. Zo wordt door OCAP¹⁸ CO₂ afkomstig uit de industrie in het Rotterdamse havengebied via een bestaande oliepijpleiding naar tuinders en kassen in het Westland getransporteerd, waar het in overmaat in kassen wordt gebracht, en een gedeelte van het CO₂ wordt opgenomen door het gewas. In de Klimaattafel Landbouw en Landgebruik zijn afspraken gemaakt om komende jaren dit soort hergebruik van CO₂ in de glastuinbouw te intensiveren.

Er wordt veel geïnvesteerd in onderzoek en proefprojecten gericht op het toepassen van afgevangen CO₂ als grondstof in industrie (Carbon Capture and Usage ofwel CCU), onder andere in het MMIP¹⁹ nr. 6: 'Sluiting industriële ketens'. Staalproducenten, energie- en afvalverwerkingsbedrijven en de chemische industrie werken samen in een aantal projecten, waarin CO₂ en koolmonoxide die vrijkomen bij de productie van staal of bij verbranding van afval en fossiele brandstoffen na scheiding worden hergebruikt in nieuwe processen. Daarin wordt de koolstof in het CO₂ als bouwsteen gebruikt voor het maken van biobrandstoffen (zoals bio-ethanol en kerosine), allerlei chemicaliën (oplosmiddelen, geurstoffen) en kunststoffen. Ook wordt onderzoek gedaan naar biotechnologische processen, waarmee CO₂ kan worden omgezet in diverse soorten chemicaliën, zoals surfactanten en conserveringsmiddelen. Deze veelbelovende techniek bevindt zich nog op laboratoriumschaal.

Door CO₂ op te slaan in de bodem, kan de hoeveelheid van dit gas in de atmosfeer worden verminderd en daarmee kan het broeikaseffect worden tegengegaan. Opslag kan in lege olie- en aardgasvelden, maar bijvoorbeeld ook in aquifers (waterlagen op grote diepte). Injectie van CO₂ in olie- en aardgasvelden vindt al lange tijd plaats om de opbrengst aan olie en gas te vergroten en om CO₂ uit het gewonnen gas terug te brengen. Grootschalige opslag van CO₂ met als doel reductie van de uitstoot naar de atmosfeer wordt onderzocht in verschillende demonstratie- en proefprojecten en zal naar verwachting komende jaren worden uitgerold.

De opslagplaatsen voor CO₂ zijn doorgaans poreuze aardlagen op een diepte van 0,8 tot 3 km, die van nature afgesloten zijn met een gasdichte laag. De gesteenten die hiervoor geschikt zijn, zijn veelal zandsteen, kalk en dolomiet. Voor gebruik worden aardlagen die als opslagreservoir moeten dienen uitvoerig onderzocht op veiligheidsaspecten, zoals kans op lekkage via breuken of scheuren. Ontsnapping van CO₂ uit een watervoerende diepe laag of voormalig gasreservoir naar het erboven gelegen watercirculatiesysteem van de ondiepe ondergrond kan alleen plaatsvinden via zeer trage diffusie.

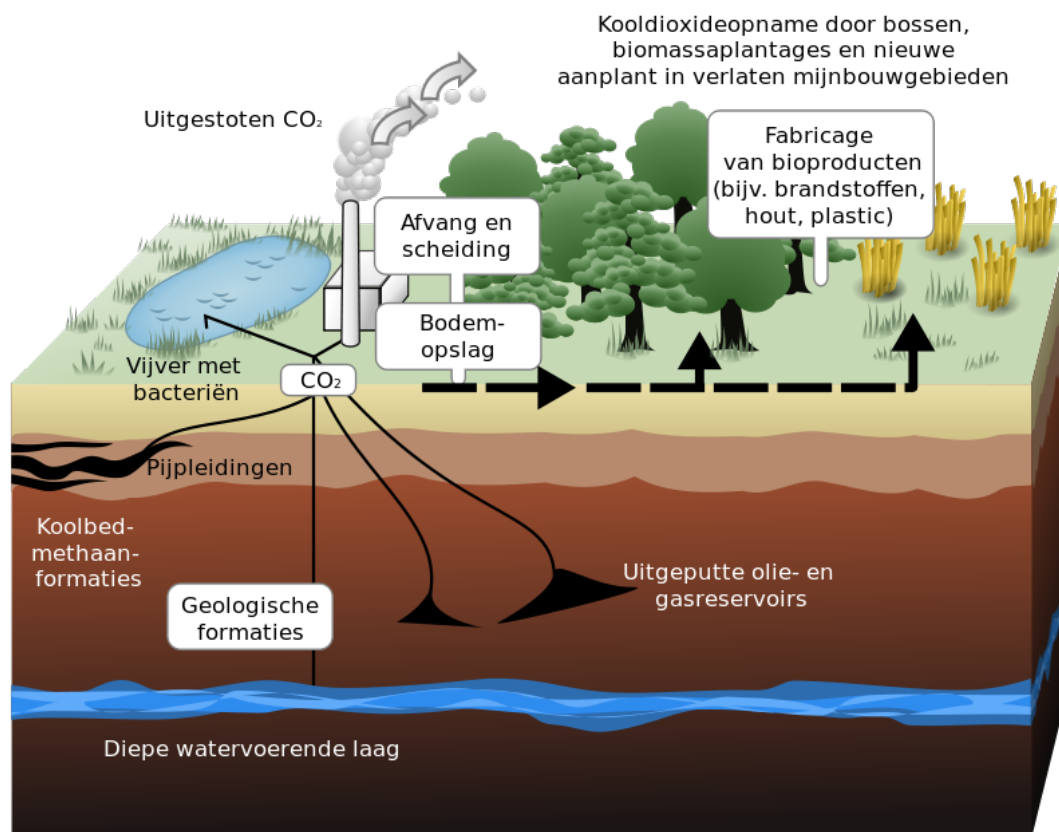
Om afgevangen CO₂ te transporteren naar de opslaglocatie, kan gebruik worden gemaakt van pijpleidingen en schepen. Zo wordt er een ringleiding aangelegd van het havengebied Rotterdam via Maasvlakte 2

¹⁸ Organic CO₂ for Assimilation by Plants.

¹⁹ MMIP = Meerjaren Missiegedreven Innovatie Programma (zie paragraaf 4.1).

naar een platform op zee, waar de CO₂ onder druk in de ondergrondse velden wordt gepompt. Daarnaast zijn er plannen voor het ontwikkelen van schepen om afgevangen CO₂ te vervoeren naar een opslaglocatie. Het voordeel van schepen is dat ze niet gebonden zijn aan vaste plaatsen om te laden en op te slaan.

CO₂-opslag heeft een duidelijke plek in het klimaatakkoord. Discussie over het nut, de noodzaak en de risico's van CO₂-opslag heeft geleid tot het besluit van de Nederlandse overheid om uitsluitend CO₂ onder de zeebodem op te slaan, en niet onder land.



Figuur 4.1 Visualisatie afvangst en opslag CO₂.

4.9.1 Effecten op gezondheid

CO₂ is niet giftig, maar kan in hoge concentraties zuurstof verdringen en verstikkend werken. Er zijn incidenten bekend waarbij mensen zijn overleden of gezondheidsschade ondervonden door blootstelling aan hoge concentraties CO₂. Echter, dit betrof een natuurramp (Kameroen, 1986) en een ongeval met een defecte brandblusinstallatie waarbij een grote hoeveelheid CO₂ een woonwijk in stroomde (Duitsland, 2008). De kans op grootschalige lekkage van CO₂ bij transport en opslag in de diepe ondergrond is zeer klein (zie onder veiligheidsrisico's). De risico's van hergebruik van CO₂ zijn niet wezenlijk anders dan die van industriële processen waarbij brandstoffen, chemicaliën en kunststoffen worden geproduceerd. Dit betreft vooral risico's voor de arbeidsveiligheid en vrijwel niet voor de gezondheid van de bevolking.

Voor zowel CCS als CCU is energie nodig. Indien die wordt opgewekt met fossiele brandstoffen – wat is te verwachten tijdens de overgangperiode naar volledige elektrificatie – zal dat gepaard gaan met enige mate van luchtverontreiniging. Op langere termijn kunnen andere energiebronnen worden gebruikt voor CCS en CCU. Voor het overige dragen afvang, hergebruik en opslag van CO₂ (nagenoeg) niet bij aan de ziektelast.

4.9.2 *Veiligheidsrisico's*

Voor het bepalen van de risico's in het kader van de omgevingsveiligheid zijn de eigenschappen van CO₂ een belangrijk aspect (ANV, 2019). De stof is niet geclassificeerd als brandbaar of giftig, maar is wel dodelijk bij bepaalde concentraties. Voor de omgevingsveiligheid is opslag van CO₂ ondergronds onder zee niet relevant en gaat het vooral om het transport via pijpleidingen. De wijze waarop de stof CO₂ in de rekenmethodiek moeten worden gemodelleerd is nog in ontwikkeling, maar op basis van beschikbare risicoanalyses volgt dat de risicoafstand van PR 10⁻⁶ van een transportleiding met CO₂ beperkt is tot enkele meters.

Aan de opslag van CO₂ in aardlagen en gasvelden zijn strikte veiligheidsprocedures verbonden. Zo wordt een reservoir vooraf onderzocht op de kans op lekkage via breuken of scheuren en worden, als er eenmaal CO₂ is opgeslagen, frequent metingen verricht aan afdichting en leidingen. Uit een leeg gasveld kan CO₂ sowieso moeilijk ontsnappen, aangezien de druk daar lager is dan (of gelijk aan) de druk in de directe omgeving van het veld. Ook voor het afvangen en het transport CO₂, of dit nu per pijpleiding geschiedt of per schip, gelden er veiligheidsmaatregelen. De arbeidsrisico's zijn daardoor vergelijkbaar aan de risico's van industriële activiteiten met gevaarlijke stoffen in het algemeen.

4.9.3 *Effecten op natuur en milieu*

Als CO₂ uit een leiding onder de zeebodem of uit een ondergrondse opslag vrijkomt, kan het (zee)water lokaal verzuren en daarmee het aquatisch milieu negatief beïnvloeden. Echter, in de diepe ondergrond zal een groot deel van het CO₂ reageren met in de in het gesteente en formatiewater aanwezige mineralen en zouten, waardoor nieuwe vaste mineralen worden gevormd. Op deze wijze wordt het CO₂ geïmmobiliseerd. De kans op ontsnapping van opgeslagen CO₂ uit deze reservoirs, en ook uit transportleidingen, is klein. Verder zijn er van afvang, hergebruik en opslag van CO₂ geen noemenswaardige effecten op natuur en milieu te verwachten.

4.10 **Geothermie en Warmte Koude Opslag**

Geothermie is de wetenschappelijke naam voor aardwarmte. Er wordt onderscheid gemaakt tussen ondiepe (diepte tot 1500 meter), diepe (diepte tussen 1500 en 4000 meter) en ultradiepe diepe geothermie (dieper dan 4 km). Ultradiepe geothermie wordt niet toegepast in Nederland.

Ondiepe geothermie bestaat uit systemen waarmee warmte en koude wordt opgeslagen, zoals bodemwarmtewisselaarsystemen en WKO²⁰–

²⁰ Warmte Koude Opslag systemen.

systemen. Deze worden toegepast in de industrie (bedrijventerreinen), de glastuinbouw, woonwijken en grote gebouwen. Het principe berust op het circuleren van water, waarbij in de winter warm water wordt opgepompt, de warmte met behulp van een warmtepomp wordt gebruikt om bijvoorbeeld een gebouw te verwarmen en het afgekoelde water vervolgens in de zogenaamde koude bron in de bodem wordt opgeslagen. In de zomer werkt het andersom, dat wil zeggen water uit de koude bron wordt gebruikt om te koelen.

Een bodemwarmtewisselaar is een gesloten systeem. Hier vindt uitwisseling van thermische energie plaats over de wand van een buis in de grond. Gesloten systemen worden ondiep (maximaal enkele tientallen meters) toegepast en ze worden om ruimtebeslag te beperken meestal verticaal in de ondergrond gelegd. Ze bevatten koelvloeistoffen met chemische hulpstoffen, zoals corrosieremmers. Bij een open WKO-systeem wordt warm en koud water direct in en uit de zandlagen in de bodem verpompt en opgeslagen. Het onttrekken en infiltreren van water gebeurt op enkele tientallen tot ruim 200 meter diepte, afhankelijk van waar zich een geschikt watervoerend pakket bevindt.

Bij **diepe geothermie** wordt zout water, opgeslagen in poreuze zand- en gesteentelagen, met een temperatuur van 80 tot 90 graden uit de diepe ondergrond gepompt. Dat kan het hele jaar door, omdat de seizoenen geen invloed hebben op de temperatuur in de diepe ondergrond. De fysieke toestand van de Nederlandse ondergrond is op veel plaatsen technisch geschikt voor toepassing van diepe geothermie, maar vanwege andere gebruiksdoelen zijn er beperkingen. Zo zijn er risico's op aantasting van drinkwatergebieden en gebieden met strategische grondwaterreserves, die er toe hebben geleid dat provincies toepassing van WKO en geothermie hebben uitgesloten in beschermingsgebieden. Deze uitsluiting is overgenomen in de Structuurvisie Ondergrond en is geïmplementeerd in het daarop gebaseerde uitvoeringsprogramma. Daarnaast werken provincies, drinkwaterbedrijven en producenten van geothermie intensief samen om in gebieden waar geothermie wel wordt toegepast de risico's te beperken.

Ontwikkeling in de toepassing van geothermie

Ondiepe geothermie wordt al meer dan 20 jaar toegepast. Momenteel zijn er in Nederland 3000 systemen operationeel en voor 2023 moeten dat er 8000 zijn. Ook de toepassing van diepe geothermie groeit. De glastuinbouw is hier een jaar of tien geleden mee begonnen. Inmiddels lopen er projecten om met deze techniek warmte te leveren aan gebouwen, woonwijken en de industrie. Een 'gemiddeld' geothermiesysteem gaat ongeveer 50 jaar mee en er kunnen 5000-10.000 woningen mee worden verwarmd. In 2019 werd met diepe geothermie 5,6 PJ warmte geproduceerd, wat overeenkomt met een besparing van 168 miljoen m³ aardgas en een CO₂-reductie van 300.000 ton. Een nadeel van deze techniek wordt gevormd door de hoge aanlegkosten.

4.10.1 Effecten op gezondheid

Er zijn geen directe gezondheidsrisico's verbonden aan het gebruik van geothermie. Een indirecte bedreiging vormt de verontreiniging van drinkwater, maar dat is met adequate risicobeheersing – zowel de

zuivering van drinkwater als de eerder gemelde beperkingen ten aanzien van toepassing van geothermie (niet in en nabij beschermingsgebieden en gebieden met strategische grondwaterreserves) – te voorkomen.

4.10.2 *Veiligheidsrisico's*

Het toepassen van diepe geothermie verhoogt het risico op aardbevingen, bij ondiepe geothermie is dit risico als verwaarloosbaar ingeschat (ANV, 2019). Het risico op aardbevingen hangt onder andere af van de locatie. In gebieden waar al seismische activiteit is (zoals in Limburg of Groningen) is de kans op seismiciteit bij geothermie groter dan in andere gebieden. Er zijn voorbeelden dat aardwarmteprojecten in deze gebieden zijn stopgezet, zoals in Venlo (na een beving met een kracht van 1,7 op de schaal van Richter). Ook in Groningen is een initiatief om geothermie te gebruiken voor stadsverwarming gestopt vanwege het mogelijke risico op aardbevingen. In andere delen van Nederland, waar de bodem minder kwetsbaar is, wordt dit risico zeer klein geacht (ANV, 2019 en KWR, 2016).

Een ander aspect is het risico op brand en explosie bij een ongecontroleerde uitstroom van olie en gas ('blow-out') bij het boren in de diepe ondergrond, met alle schadelijke gevolgen van dien voor mens en milieu. Dit zijn risico's die zijn gekoppeld aan de ontwikkelfase van een project.

Tot slot zijn er risico's op het gebied van arbeidsveiligheid. Naast de gebruikelijke risico's bij bouw- en constructiewerkzaamheden kunnen medewerkers in aanraking komen met heet, zout water en met radioactiviteit die van nature in de ondergrond kan voorkomen. Om die reden gelden er eisen, zoals voor de filters in de boorputten.

Elk van deze veiligheidsrisico's worden door experts geschat op (zeer) beperkt (ANV, 2019). In de Mijnbouwwet is het risicobeleid voor geothermie beschreven en voor het omgaan met de risico's heeft Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) op 1 juli 2020 het Toezichtarrangement Geothermie gepubliceerd, dat inzicht en adviezen geeft voor de veilige toepassing van geothermie in Nederland (SODM, 2020).

4.10.3 *Effecten op natuur en milieu*

Geothermiesystemen verstoren – dat is min of meer inherent aan deze techniek – het ecosysteem van bodem en grondwater. Dat kan tot verschillende effecten leiden. In gesloten warmtewisselaarsystemen worden chemische stoffen gebruikt, zoals koelvloeistoffen, smeermiddelen, surfactanten en corrosieremmers. Bij lekkage kunnen deze stoffen bodem- en grondwaterverontreiniging veroorzaken. Veel van deze stoffen zijn schadelijk voor mens en milieu, en sommige worden slecht of zeer langzaam afgebroken (persistent). De laatste jaren worden er steeds meer alternatieven gebruikt, die minder schadelijk zijn en biologisch afbreekbaar.

In open systemen worden grote volumina grondwater getransporteerd, waardoor eventueel aanwezige verontreinigingen met stoffen in het grondwater worden verspreid en verdund. Overigens kan deze menging

ook voor een verbetering van de biologische afbraak van verontreinigingen zorgen.

Bij diepe geothermie kan lekkage van zout water uit de diepe ondergrond leiden tot verzilting van de bovenlaag. Ook de nabijheid van oude olie- en gasputten bij de injectieput van geothermiesystemen leidt tot een risico voor grondwater. Oude putten zijn mogelijk aangetast of onvoldoende afgesloten, waardoor er water uit het geothermisch reservoir via een oude put omhoog kan komen en in het grondwater kan belanden. Lekkage kan eveneens ontstaan als er onvoldoende corrosiebestendige staalsoorten voor de putconstructie worden gebruikt. Bij voorkeur worden er meerwandige putconstructies toegepast.

Ook bij het boren, reinigen en verwijderen van geothermie en WKO putten kan verontreiniging van bodem en grondwater ontstaan. Zoals eerder genoemd, vormen bodem- en grondwaterverontreiniging een potentiële bedreiging voor de drinkwaterwinning (zie effect op gezondheid).

4.11 Aquathermie

Met aquathermie wordt thermische energie (warmte) gewonnen uit water. Er zijn drie mogelijke toepassingen: thermische energie uit oppervlaktewater (TEO), uit afvalwater (TEA) en uit de productie van drinkwater (TED). De techniek is vooral geschikt voor het verwarmen en koelen van gebouwen, al dan niet aangesloten op een warmtenet.

Bij TEO wordt water uit bijvoorbeeld een meer of een zeearm gebruikt als warmtebron. In de zomer wordt het water met een pomp onttrokken en ondergronds opgeslagen in een Warmte Koude Opslag (WKO), in de winter wordt het uit de WKO opgepompt en ingezet als verwarming. Andersom kan het water ook worden gebruikt om in de zomer gebouwen te koelen. Het winnen van warmte uit rioolwater (TEA) gebeurt met behulp van warmtewisselaars rond een rioolbuis, die de warmte overbrengen naar een gebouw. Deze techniek wordt momenteel vooral toegepast bij zwembaden. Ook warmte die vrijkomt bij de productie van drinkwater kan worden ingezet voor verwarming van gebouwen (TED). Deze techniek wordt nog niet veel gebruikt.

Het toepassen van aquathermie is maatwerk. Zo mag de gebruikte bron zich niet al te ver van de gebruikers bevinden (variërend van enkele honderden meters voor een kantoor tot enkele kilometers voor een wijk met 10.000 woningen) en is het rendement afhankelijk van het type en de mate van isolatie van de gebouwen, de warmte- en koudevraag en de inrichting van het warmtenet. Ook moet de bodem geschikt zijn als er een WKO wordt gebruikt.

Momenteel zijn er in Nederland meer dan 40 aquathermieprojecten gerealiseerd, het merendeel TEO (60%) en TEA (30%) voor verwarming van gebouwen, woonwijken, zwembaden en kassen. Volgens een analyse van CE Delft in opdracht van Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (Stowa) bedraagt het potentieel van TEO in Nederland 150 PJ, dat van TEA 56 PJ en dat van TED 4 tot 6 PJ per jaar. Daarmee zou in een aanzienlijk deel van de landelijke warmtevraag kunnen worden voorzien.

4.11.1 *Effecten op gezondheid, veiligheid, natuur en milieu*

Aan het toepassen van aquathermie zijn geen nadelige effecten verbonden voor de gezondheid en veiligheid, behoudens gebruikelijke arbeidsveiligheidsrisico's, bijvoorbeeld bij constructie- en onderhoudswerkzaamheden.

Het koelen van oppervlaktewater kan invloed hebben op het aquatisch milieu. Een mogelijk positief effect is het tegengaan van algengroei en botulisme. Andere ecologische gevolgen van deze techniek worden nog nader onderzocht. Zo nodig kunnen ongunstige effecten met gerichte maatregelen worden beperkt, zoals eisen aan de omvang en aan de temperatuur van geloosd water op het oppervlaktewater.

4.12 **Getijden-energie**

Getijden-energie is energie die wordt gewonnen door gebruik te maken van hoogteverschillen in de waterstand bij eb en vloed. Tijdens vloed wordt het opkomende zeewater tegengehouden met een dam of wordt het verzameld in een reservoir. Bij eb wordt het water via turbines terug naar zee geleid, waarbij de turbines generatoren aandrijven om energie in de vorm van een elektriciteit op te wekken. Getijden-energie is betrouwbaar, duurzaam en niet afhankelijk van weersomstandigheden, en het heeft de potentie om een belangrijke bijdrage te leveren aan de wereldwijde duurzame energiedoelstelling. Een nadeel is dat er tussen eb en vloed een tijdsverschil zit, waardoor er geen constante stroomvoorziening is. Dit probleem is te ondervangen door specifiek ontworpen (maar dure) turbines te gebruiken. Ook zijn flinke stukken kustlijn nodig om een getijdencentrale rendabel te laten zijn.

De oudste getijdencentrale bestaat sinds 1966 en staat in Bretagne (Frankrijk), waar grote hoogteverschillen tussen eb en vloed voorkomen. Ook in enkele andere landen (Canada, Zuid-Korea en Wales) wordt met deze techniek energie opgewekt.

In Nederland bevindt de toepassing van getijden-energie zich nog in het proefstadium. Sinds 2016 draait een eerste getijdencentrale in de Oosterschelde. Deze levert stroom aan ruim 1000 huishoudens. De provincie Zeeland, met haar lange kuststrook en grote delta, wil in samenwerking met een aantal gemeenten, energiemaatschappijen, bedrijven en Rijkswaterstaat meer getijdencentrales bouwen. Daartoe wordt onderzoek gedaan naar optimalisering van technieken en installaties, en wordt uitgebreide monitoring verricht naar omgevingseffecten op de bodem, naar het aquatisch milieu en naar fysieke aspecten, zoals stroming-reductie. De ambitie is om in Zeeland in 2025 bij elkaar 100 MW aan getijden-energie op te wekken, voldoende om 100.000 huishoudens van stroom te voorzien. Behalve in Zeeland is er sinds 2015 in het Marsdiep bij Texel een kleine getijdencentrale operationeel. Deze kan op piekmomenten 200 kWh aan stroom opwekken, overeenkomend met de stroombehoefte van ongeveer 50 huishoudens.

4.12.1 *Effecten op gezondheid, veiligheid, natuur en milieu*

Er zijn nagenoeg geen gezondheidseffecten te verwachten van het gebruik van getijden-energie. Alleen (laagfrequent) geluid veroorzaakt

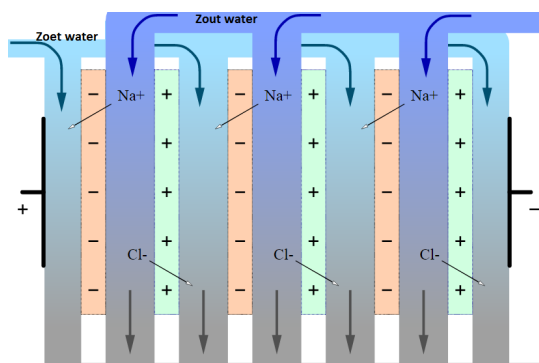
door de motoren van de turbines zou enige hinder kunnen geven, maar in de regel zal een getijdencentrale niet dicht bij bewoond gebied liggen. Ook zijn er behoudens gebruikelijke arbeidsveiligheidsrisico's bij bijvoorbeeld constructie- en onderhoudswerkzaamheden nauwelijks problemen met de veiligheid. Op sommige locaties kan met een getijdencentrale de waterveiligheid zelfs worden versterkt. Een getijdencentrale heeft wel invloed op het ecosysteem en het mariene leven. Een belangrijk probleem is de verstoring van de levenscyclus bij zeedieren, die afhankelijk is van de normale wisseling tussen eb en vloed. Ook kunnen rondom de turbine ontgraving en erosie de bodem aantasten. Deze problemen zijn echter met gerichte maatregelen te ondervangen. Hier wordt in de proefinstallaties het nodige onderzoek naar gedaan. Daarnaast is er in het buitenland al ervaring met getijdencentrales.

4.13 **Blauwe energie**

Blauwe energie refereert aan energiewinning door gebruik van de combinatie zoet en zout water. Blauwe energie wordt opgewekt door tussen twee membranen om en om zout en zoet water te laten stromen, waarbij het ene type membraan alleen de positieve natriumionen uit het zoute water doorlaat en het andere alleen de negatieve chloride-ionen. Hierdoor ontstaat er een potentiaalverschil over elk membraan, dat met behulp van elektroden via een redoxreactie wordt omgezet in een gelijkstroom, ofwel elektrische energie. Zie voor een visualisatie van deze techniek Figuur 4.2.

Locaties waar een rivier de zee in stroomt, zijn uitermate geschikt voor het opwekken van stroom met behulp van deze techniek. In ons waterrijke land met een groot aantal rivieren en een lange kust biedt dit vele mogelijkheden. Blauwe energie is zeer duurzaam. Bij het opwekken van blauwe energie vindt geen uitstoot plaats van CO₂ of giftige stoffen; en het weer heeft geen invloed op in welke mate energie wordt geproduceerd.

In 2014 is gestart met een proefinstallatie bij de Afsluitdijk. Deze wordt gebruikt om de techniek verder te ontwikkelen en om problemen op te lossen, zoals het tegengaan van dichtslibbing van de membranen door vervuiling in het water, het desinfecteren en lekdicht maken van de membranen en het betrouwbaar en goedkoper produceren van de zogenoemde *stacks* (cellen waarin zich de membranen en elektroden bevinden). Het streven is de proefinstallatie op te schalen naar een demonstratiemodel dat 0,5 tot 1 MW energie opwekt. Door verdere ontwikkeling en opschaling kunnen de kosten lager worden en kan op termijn een commerciële installatie van meer dan 100 MW worden gebouwd. Energie-experts verwachten dat op de langere termijn 10% van de Nederlandse gezinnen gebruikmaakt van stroom afkomstig van blauwe energiecentrales; wereldwijd zou met deze techniek aan 10-15% van de huidige elektriciteitsvraag kunnen worden voldaan. Echter, de techniek is nog in ontwikkeling en de commerciële haalbaarheid is nog niet bewezen.



Figuur 4.2 Visualisatie van de techniek van energiewinning met behulp van zoet en zout water.

4.13.1 Effecten op gezondheid, veiligheid, natuur en milieu

Er zijn geen gezondheidseffecten te verwachten van het gebruik van blauwe energie. Ook zijn er nauwelijks problemen met de veiligheid. Mogelijke nadelen met een veiligheidsaspect zijn belemmeringen voor de scheepvaart en demping van eb en vloed, maar daar zijn oplossingen voor te bedenken.

Aantasting van het ecosysteem kan ontstaan door lokale verzilting van bodem en grondwater als gevolg van instroming van zout water. Om dit te voorkomen kunnen maatregelen worden getroffen, bijvoorbeeld door het zeewater met behulp van pijpen van ver stroomopwaarts te onttrekken.

4.14 Overige maatregelen uit het Klimaatakkoord

Behalve het vervangen van fossiele brandstoffen door nieuwe energiebronnen en het afvangen en opslaan van CO₂ (besproken in paragraaf 4.9) staan in het Klimaatakkoord nog andere maatregelen genoemd waarmee de hoeveelheid CO₂ in de atmosfeer kan worden gereduceerd. Een aantal van deze maatregelen heeft bovendien als 'bijvangst', dat ze een positieve invloed kunnen hebben op gezondheid, veiligheid, natuur en milieu. In deze paragraaf zullen we die maatregelen en hun effecten kort toelichten.

4.14.1 Maatregelen in het vervoer

In de Klimaat Tafel Mobiliteit zijn afspraken gemaakt om in de komende jaren geleidelijk het totaal aantal vervoerskilometers terug te dringen. Zo heeft in de coalitie Anders Reizen een aantal grote ondernemingen zich gecommitteerd aan afspraken om het aantal zakelijke (auto)kilometers in 2030 met 8 miljard te verminderen, wat een besparing geeft van 1 Mton CO₂ op jaarbasis. Daartoe is een pakket maatregelen opgesteld, waaronder het stimuleren van het gebruik van het openbaar vervoer en de (elektrische) fiets, gedeeld autogebruik, meer thuiswerken en video-vergaderen, en beperken van de reisafstand woon-werkverkeer. Overheden en bedrijven werken samen om de hiervoor benodigde aanpassingen van de infrastructuur te realiseren. Ook het bevorderen van zakelijke reizen per trein in plaats van het vliegtuig voor afstanden kleiner dan 700 km zal bijdragen aan de reductie van de CO₂-uitstoot. Naast werkgevers dragen vervoersorganisaties als de ANWB, de BOVAG en de Fietzersbond bij aan het realiseren van deze maatregelen.

Door verbeteringen in de stadslogistiek en investeringen in nieuwe vrachtwagens en bestelauto's wordt ernaar gestreefd om in 2025 in 30 tot 40 grote gemeenten zero-emissiezones voor goederenvervoer en logistiek transport in te stellen. Daarna wordt dit uitgebreid naar andere gemeenten. Dit draagt niet alleen bij aan het verlagen van de CO₂-uitstoot, maar ook aan het verminderen van luchtverontreiniging in stedelijke gebieden.

4.14.2 *Effecten op gezondheid, veiligheid, natuur en milieu*

Het verminderen van het aantal kilometers vervoer over de weg heeft een aantal bijkomende voordelen. Het draagt bij aan een verbeterde luchtkwaliteit en daarmee aan een verlaging van de ziektelast, althans zolang voor (een deel van) het vervoer over de weg fossiele en biobrandstoffen worden gebruikt. Ook de geluidsbelasting door wegverkeer neemt enigszins af. Wegverkeer draagt van alle geluidsbronnen het meest bij aan de ziektelast door ernstige hinder, slaapverstoring en coronaire hartziekten (zie paragraaf 3.1). Overigens komt een vermindering van 8 miljard minder kilometers overeen met ongeveer 5% van het totaal aantal gereden kilometers, waardoor kan worden gesteld dat de omvang van de gezondheidswinst beperkt is.

Door het overschakelen op elektrisch vervoer en vermindering van het aantal kilometers vervoer over de weg zullen hinder en slaapverstoring door wegverkeer komende jaren afnemen, resulterend in een reductie van een derde in het aantal gehinderden in 2050 (Verheijen en Jabben, 2010). Daar staat tegenover dat een toename van het treinverkeer (meer openbaar vervoer) kan zorgen voor meer hinder door geluid en trillingen. Het toenemend gebruik van de (elektrische) fiets leidt tot meer bewegen, wat eveneens een positief effect heeft op de gezondheid.

Wat betreft veiligheid kan worden gesteld dat minder autoverkeer tot een afname zal leiden van het aantal (zware) verkeersongevallen. Daar staat tegenover dat het aantal ongelukken met fietsen, vooral met e-bikes, kan toenemen, al zullen die over het algemeen minder vaak gepaard gaan met zwaar letsel of overlijden.

Het voorgenomen terugdringen van het aantal kilometers vervoer over de weg leidt ook tot vermindering van de stikstofdepositie. Net als voor de hierboven genoemde gezondheidswinst, gaat het om een beperkte bijdrage.

4.14.3 *Maatregelen in de land- en bosbouw*

Ook de verduurzaming van de landbouw kan op verschillende manieren bijdragen aan de doelstellingen van het Klimaatakkoord. Binnen de Klimaattafel Landbouw en landgebruik is daarvoor een pakket maatregelen opgesteld.

De veehouderijsectoren zetten naast toepassing van duurzame energiebronnen in op onder meer emissiearme stallen voor melkvee en varkens, een geïntegreerde aanpak om de uitstoot van methaan, ammoniak, fijnstof en geur te verlagen, vervanging van kunstmest, verwerking van mest tot 'groene meststof' en grondstof voor de industrie, verkleinen en sluiten van nutriëntenkringlopen in het veevoer, vermindering van transport en sanering van de varkenshouderij. Verder

worden boeren met regelingen gestimuleerd om het installeren van zonnepanelen op stallen en andere bedrijfsgebouwen te combineren met het verwijderen van asbest.

Het verbeteren van landgebruik is een relatief nieuw onderdeel van de klimaatstrategie. Een belangrijk aandachtsgebied vormen de veenweidegebieden, waarvan een groot deel in gebruik is voor de melkveehouderij. Veengrond heeft een hoog koolstofgehalte en een poreuze structuur. Door jarenlange kunstmatige verlaging van het grondwaterpeil komt er veel CO₂ vrij uit de bovenlaag van de veenbodem. Daarnaast klinkt deze bovenlaag in, waardoor de bodem verzakt, met onder meer tot gevolg verzakkingen van en scheuren in gebouwen en mogelijke schade aan dijken. Om dit proces tegen te gaan wordt gewerkt aan omzetting van een deel van deze gebieden naar agrarische natuur, transitie naar zogenaamde natte teelten, verhogen van het zomerwaterpeil ten gunste van weidevogels en technieken voor onderwaterdrainage.

Ook maatregelen voor het vastleggen van koolstof in de bodem (onder andere door gebruik van organische mest in plaats van kunstmest), het bevorderen van een gesloten koolstofkringloop en het onttrekken van koolstof (lees: CO₂) uit de atmosfeer door de uitbreiding van bos en natuurgebieden, het voorkómen van ontbossing en de aanleg van extra bomen en natuur in de openbare ruimte, in stedelijke gebieden en bij infrastructuur maken deel uit van de aanpak van deze Klimaattafel. Een bijkomend voordeel van deze maatregelen is dat de biodiversiteit wordt bevorderd en dat er, op termijn, meer biomassa beschikbaar komt. Voor de argumenten over voor- en nadelen van biomassa en verschillende typen reststromen wordt verwezen naar paragraaf 4.7.

4.14.4 *Effecten op gezondheid, veiligheid, natuur en milieu*

Het verminderen van de uitstoot aan fijnstof, geur en bio-aerosolen door het gebruik van emissiearme stallen zorgt voor een betere luchtkwaliteit en minder hinder (door geur), wat beide een positief effect heeft op de gezondheid. Dat geldt ook voor het verwijderen van asbest van de daken van stallen en andere bedrijfsgebouwen voordat daar zonnepanelen op worden geïnstalleerd.

Het tegengaan van de bodemverzakking in veenweidegebieden draagt bij aan de veiligheid, vooral doordat dit het risico op schade aan gebouwen en dijken vermindert.

Het is evident dat de uitbreiding van bos- en natuurgebieden en de aanleg van extra bomen en natuur in de openbare ruimte en stedelijke gebieden een positieve uitwerking hebben op de natuur, de biodiversiteit en het ecosysteem. Dit zorgt tevens voor een 'groenere' omgeving, wat een positief effect heeft op de gezondheid. Ook de verduurzaming van de landbouw en veeteelt zal daaraan bijdragen. Vermindering van de uitstoot aan ammoniak en het terugdringen van het gebruik van kunstmest zorgen voor een verlaging van de stikstofdepositie.

5 Vier mogelijke toekomstbeelden van de energietransitie

In het Klimaatakkoord en de daaraan gerelateerde afspraken binnen de vijf Klimaattafels is op hoofdlijnen beschreven hoe een reductie van de CO₂-uitstoot kan worden bereikt van 49% (in 2030) resp. 95% (in 2050) ten opzichte van 1990. De nadere invulling van de voor deze transitie benodigde veranderingen en maatregelen is nog niet vastgesteld. Die hangt onder meer af van economische, technologische, maatschappelijke en (geo)politieke ontwikkelingen. Hoe snel wordt blauwe energie commercieel toepasbaar? En wordt de verwachting waargemaakt dat met deze techniek aan 10-15% van de elektriciteitsvraag kan worden voldaan? Hoe zit het met het draagvlak voor nieuwe windturbine- en zonneparken? Wat zijn de kosten voor de diverse maatregelen en wie draait daar voor op?

Om meer inzicht te krijgen in de gevolgen van verschillende ontwikkelingen op de mate waarin nieuwe energiebronnen en maatregelen zullen worden toegepast, hebben Den Ouden *et al.* (2020) in een scenariostudie vier mogelijke toekomstbeelden uitgewerkt voor een klimaatneutrale energievoorziening in 2050. Deze toekomstbeelden zijn niet bedoeld om uit te kiezen, maar dienen als handvat voor netbeheerders en andere betrokken partijen om met alle opties rekening te kunnen houden.

In dit hoofdstuk vatten we de vier toekomstbeelden samen, waarbij vooral wordt ingegaan op de verschillen in omvang van de energievraag en het aanbod, en met welke energiebronnen en maatregelen dat aanbod wordt gerealiseerd. In het volgende hoofdstuk worden de bevindingen van deze scenario-analyse gebruikt bij het duiden van de onzekerheden (onder- en bovengrenzen) in de gezondheidseffecten en veiligheidsrisico's. In hoofdstuk 7 vormen ze de basis om de resultaten in een breder perspectief te plaatsen.

Als basis voor het onderscheid tussen de vier toekomstbeelden is gekozen voor de governance structuur. Wordt de energietransitie vooral bepaald door sturing op regionaal, nationaal of Europees niveau? Of regeert de internationale markt? Langs deze lijn zijn vier scenario's uitgewerkt die 'de hoekpunten van het speelveld' weergeven. Ze hebben een uiteenlopend karakter, niet alleen wat betreft het uitgangspunt met betrekking tot de sturing, maar ook wat betreft de uitwerking qua vraag en aanbod. In die zin vormen de scenario's vier uitersten, die echter goed combineerbaar zijn. Naar verwachting zal de daadwerkelijke transitie tussen deze beelden in liggen.

Het scenario '**regionale sturing**' wordt gekenmerkt door een sterke invloed vanuit lokale gemeenschappen en burgers en een hoge mate van autonomie en circulariteit. In dit scenario zijn warmtenetten gevoed door geothermie, een forse elektrificatie – gekenmerkt door bijvoorbeeld het gebruik van buurtbatterijen voor lokale opslag, inductiekoken en (gedeeltelijk) all-electric warmtepompen – en een stevige groei van zonne- en windenergie dominant. Samen met een daling van de industriële activiteit leidt dit tot een Nederland dat vrijwel geheel

zelfvoorzienend is in energie. Om piekbelastingen in de energievraag aan te kunnen, worden groen gas uit lokale biomassa en groene waterstof uit wind en zon met elektrolyse gebruikt. Dit scenario gaat ook uit van duurzamer omgaan met warmte en elektriciteit, resulterend in een lagere energievraag dan de huidige.

In het scenario '**nationale sturing**' ligt de regie bij de nationale overheid. In dit scenario wordt zeer sterk ingezet op elektrificatie (in alle verbruikssectoren), op zon- en windvermogen, en minder op groei in warmtenetten. Ten opzichte van het regionale scenario wordt in de vorm van nationaal aangestuurde projecten meer ingezet op de bouw van windparken op zee, gekoppeld aan de productie van waterstof, en op grote zonneweides. Er is import van energie nodig voor de stabiele industriële sector en net als in het scenario 'regionale sturing' worden pieken opgevangen door inzet van groen gas en groene waterstof. De flinke omvang van de productie van waterstof in dit scenario (zie Figuur 5.2) is congruent met de huidige kabinetsvisie, waarin het economisch belang en de unieke uitgangspositie van Nederland voor de ontwikkeling van duurzame waterstof worden onderstreept.

In het scenario '**Europese CO₂-sturing**' is de Europese CO₂-heffing voor alle sectoren het leidend beginsel. Daardoor is er veel nadruk op gebruik van groen gas (inclusief biogas) in verschillende sectoren, naast een stevige groei van zonne- en windenergie. De industrie groeit en wordt CO₂-neutraal door een combinatie van hybride elektrificatie, CCS en CCU waarmee blauwe waterstof wordt geproduceerd. Er wordt meer energie geïmporteerd dan in de vorige twee scenario's. Er is een blijvende rol voor groen gas voor verwarming van gebouwen en in andere sectoren en voor biobrandstoffen ten behoeve van mobiliteit. Groen gas en biobrandstoffen worden geproduceerd uit zowel biomassa als door middel van CCU.

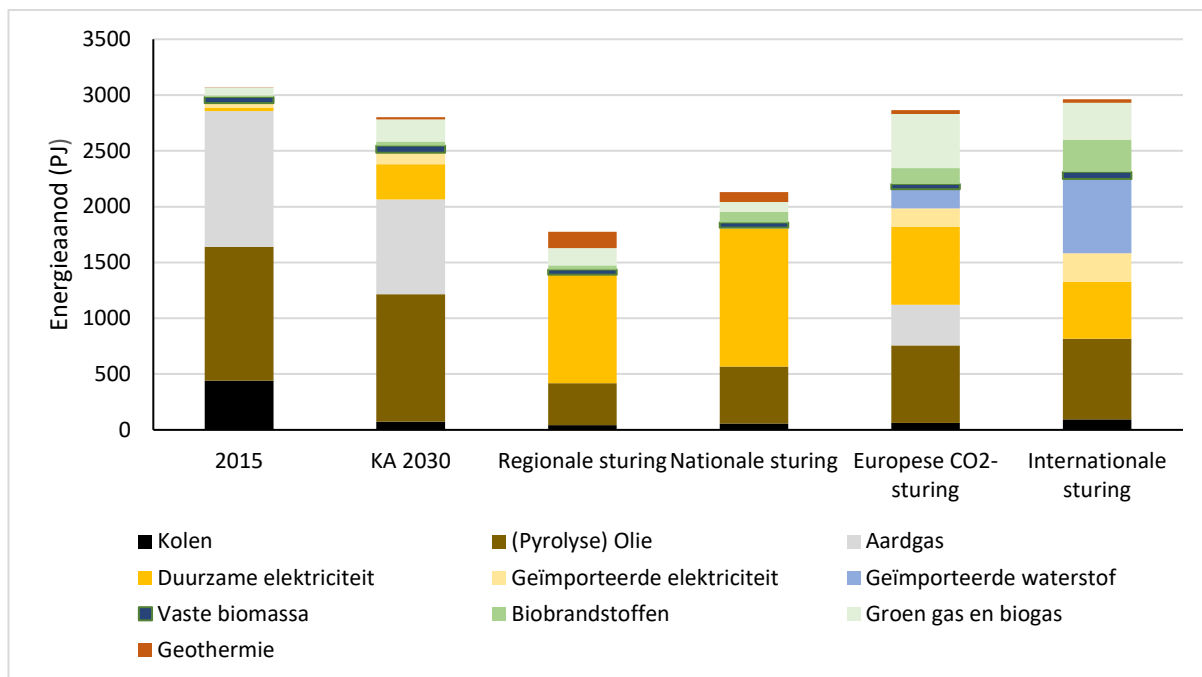
Het scenario '**internationale sturing**' wordt gedomineerd door de internationale markt, waarin op wereldwijd niveau wordt gezocht naar de opties met de laagste kosten. Nederland importeert veel waterstof uit landen waar dit gemakkelijker en goedkoper is te produceren, waardoor er minder eigen windvermogen nodig is. In dit scenario is er minder inzet van groen gas door een sterke hybridisering met waterstof als back-up, ook ter ondersteuning van de groei van de industrie. Voor de productie van elektriciteit neemt geïmporteerde waterstof de plek in die aardgas nu heeft. Net als in het Europese scenario wordt, zij het in andere hoeveelheden, gebruikgemaakt van CCS en van groen gas en biobrandstoffen geproduceerd uit zowel biomassa als door CCU.

In alle vier scenario's wordt rekening gehouden met een emissievrije productie van industriële grondstoffen en met het afvangen van CO₂ voor CCU. Ook worden er in elk scenario biobrandstoffen geproduceerd voor de luchtvaart en internationale scheepvaart, deels door Nederland zelf en deels door andere landen.

Op basis van de hierboven samengevatte uitgangspunten hebben Den Ouden *et al.* (2020) voor elk scenario de energievraag en het aanbod doorgerekend met het Energietransitiemodel (ETM) van Quintel Intelligence, aangevuld met schattingen voor zaken die niet met het

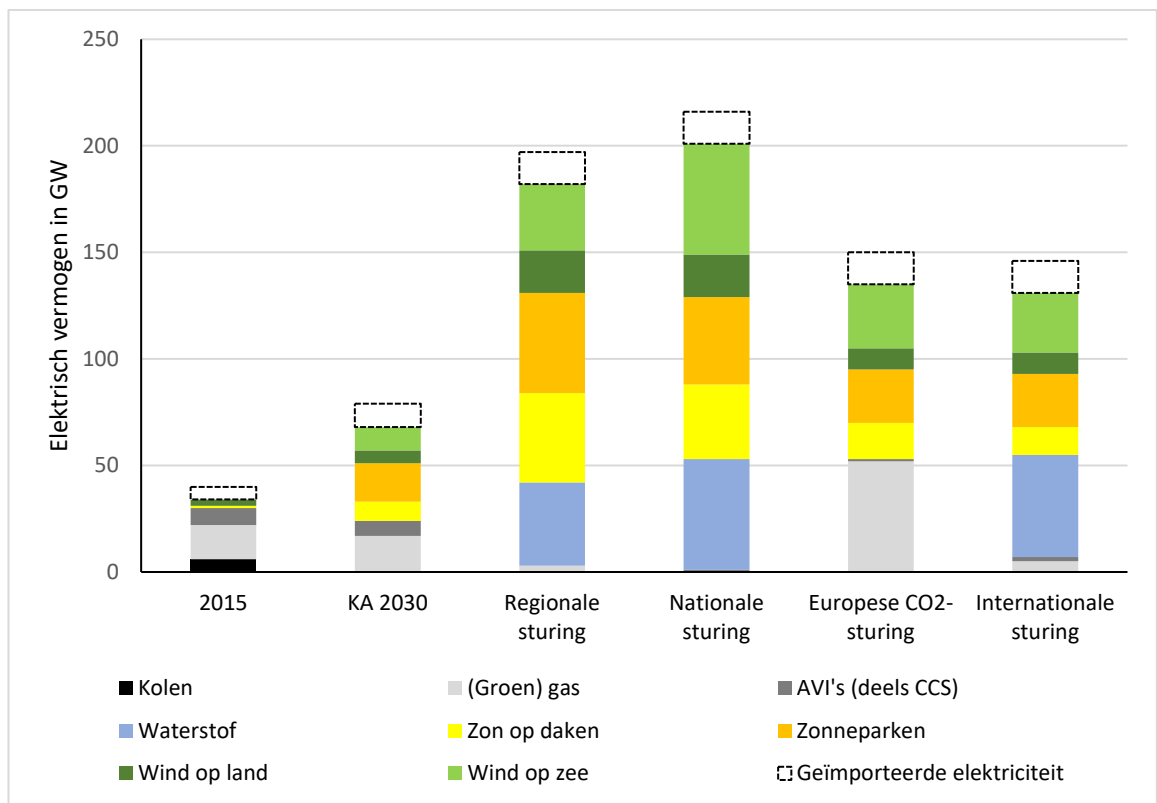
ETM zijn te berekenen. Hun rapport bevat een groot aantal gedetailleerde analyses op de vier toekomstbeelden. Echter, voor het doel van onze studie naar de gezondheidseffecten en veiligheidsrisico's van de energietransitie, geven de volgende twee overzichten voldoende inzicht om een indicatie te krijgen van de mogelijke onder- en bovengrenzen van deze effecten: het totale primaire energieaanbod en het totale benodigde elektrisch vermogen, uitgesplitst naar energiebron. Deze zijn berekend voor het jaar 2015, het jaar 2030 op basis van het Klimaatakkoord en het jaar 2050 conform de vier toekomstbeelden.

Figuur 5.1 toont per type energiebron het totale primaire energieaanbod voor de Nederlandse behoefte (exclusief brandstoffen voor luchtvaart en internationale scheepvaart). Hierin is duidelijk het effect van de industriële productie (krimpt in het regionale scenario en groeit in het Europese en internationale scenario) te zien. In alle scenario's wordt het gebruik van kolen en aardgas sterk beperkt. Alleen in het Europese scenario blijft aardgas een relevante energiebron, aangevuld met groen gas en biogas. De elektrificatie is duidelijk zichtbaar, maar het meest in het regionale en nationale scenario. De daarvoor benodigde bronnen worden weergegeven in Figuur 5.2. Het gebruik van biomassa voor productie van energie en warmte is in alle scenario's beperkt. Wel wordt in het Europese en internationale scenario meer gebruikgemaakt van biobrandstoffen, die worden geproduceerd uit biomassa en door CCU (deels in Nederland en deels in andere landen). Ook olie blijft in deze scenario's een belangrijke bron van energie en grondstoffen, en vooral in het internationale scenario springt import van elektriciteit en waterstof in het oog. In het regionale scenario wordt geothermie in combinatie met warmtenetten toegepast voor verwarming van gebouwen. Energie uit water, zoals aquathermie, getijden-energie en blauwe energie, is niet meegenomen in de analyses van Den Ouden *et al.* (2020). De verwachting is echter dat ook deze vormen van energiewinning meer toegepast gaan worden.



Figuur 5.1 Overzicht van het primaire energieaanbod voor de Nederlandse behoefte (exclusief brandstoffen voor luchtvaart en internationale scheepvaart).

Om in de groeiende behoefte aan elektriciteit te voorzien, wordt ingezet op zonne- en windenergie en waterstof. Figuur 5.2 geeft een overzicht van het totale elektrisch vermogen (dat is de 'duurzame elektriciteit' uit Figuur 5.1.), uitgesplitst naar energiebron. Vooral in het regionale en nationale scenario is er een stevige groei van zonne- en windenergie (bijna tweemaal zoveel als in de twee andere scenario's), in combinatie met door elektrolyse geproduceerde groene waterstof om piekvragen op te vangen. Verder is opvallend dat in het Europese scenario gebruik wordt gemaakt van (deels groen) gas in combinatie met CCS om daarmee blauwe waterstofproductie volledig CO₂-neutraal te maken.



Figuur 5.2 Overzicht van het elektrisch vermogen voor de Nederlandse energiebehoefte.

De verschillen in de omvang van vormen van energiewinning tussen deze toekomstbeelden kunnen van belang zijn voor de effecten op gezondheid, veiligheid, natuur en milieu. Zo is duidelijk dat in het regionale en nationale scenario tweemaal zoveel windenergie op land wordt gegenereerd als in de beide andere scenario's. Dat kan gevolgen hebben voor de mate van hinder door geluid veroorzaakt door windturbines. In het internationale scenario is de toepassing van biobrandstoffen het grootst, ongeveer achtmaal groter dan in het regionale scenario. Toepassing van biobrandstoffen leidt tot meer luchtverontreiniging. Zo zijn er ook duidelijk verschillen zichtbaar tussen de toekomstbeelden bij andere bronnen, zoals geothermie, zon op daken en zonneparken, en bij waterstof.

6 Overzicht effecten op gezondheid en veiligheid

6.1 Inleiding

In hoofdstuk 4 is aan de hand van de beoordelingsmethodiek (zie hoofdstuk 3) voor elk type energiebron of maatregel uit het Klimaatakkoord ingegaan op de mogelijke gezondheidseffecten en veiligheidsrisico's. Vanuit het vorige hoofdstuk is duidelijk gemaakt dat er relevante verschillen zijn tussen de vier toekomstbeelden. In dit hoofdstuk vatten we de resultaten van de beoordelingen samen, zodat de omvang van de effecten en risico's voor de verschillende bronnen en maatregelen onderling kunnen worden vergeleken. Via het gebruik van bovengrenzen van de beoordeling worden de verschillen tussen de toekomstbeelden meegenomen. Op deze manier geeft dit hoofdstuk een overzicht van de mogelijke effecten op de gezondheid en veiligheid waarbij accenten worden gelegd op basis van de geschetste toekomstbeelden.

Hierbij wordt opgemerkt dat bij de inschatting van de gezondheidseffecten en veiligheidsrisico's, en dus ook bij de scores in Tabel 6.1 (gezondheid) en Tabel 6.2 (veiligheid), is uitgegaan van een situatie waarbij de maatregelen in gebruik zijn en ze voldoen aan relevante eisen en normen op gebied van veiligheid en gezondheid. In hoofdstuk 7 worden aanvullende gezondheids- en veiligheidsmaatregelen besproken. Door zulke mitigerende maatregelen direct in de realisatie van de energietransitie mee te nemen, kunnen de effecten op gezondheid en veiligheid worden verminderd ten opzichte van de scores in Tabel 6.1 en Tabel 6.2.

6.2 Effecten op gezondheid

Negatieve effecten op de gezondheid zijn zo goed als mogelijk gekwantificeerd door de ziektelast die gepaard gaat met een bepaald type energiebron of maatregel uit te drukken in DALY's. Vanwege de onzekerheden in de berekeningen is gekozen voor een indeling in klassen op basis van orde-grootte (zie Tabel 3.1 in paragraaf 3.1). Als er geen of onvoldoende informatie beschikbaar is om ziektelast uit te drukken in DALY's, dan is het effect beoordeeld op basis van schattingen en expert judgement. In de beoordeling is onderscheid gemaakt naar ziektelast als gevolg van luchtverontreiniging, geluid, blootstelling aan stoffen in het binnenmilieu en overige effecten.

In Tabel 6.1 zijn de resultaten van de beoordeling samengevat. In sommige gevallen is vanwege de onzekerheid in de beoordeling een onder- en bovengrens vermeld, bijvoorbeeld 0/A. Een score 0/A kan betekenen dat ofwel de ziektelast ligt tussen verwaarloosbaar (0) en 1000 DALY's ofwel een kwalitatief vergelijkbaar niveau (A). Dit betekent dat er sprake is van een relatief klein gezondheidseffect.

Tabel 6.1 Overzicht van de geschatte ziektelast door luchtverontreiniging, hinder door geluid, blootstelling aan stoffen in het binnenmilieu en andere effecten per type bron en maatregel.

Bron/maatregel	Ziektelast			
	Lucht-veront-reiniging	Geluid incl. LFG (laag frequent geluid)	Binnen-milieu	Overige
Windenergie	0	A/B	0	0/A (slagschaduw)
Zonne-energie	0	0/A	0	0 ¹
Vergroting capaciteit landelijk hoog-spanningsnetwerk	0	0	0	0/A ¹ (EMV)
Elektrificatie d.m.v. (buurt)batterijen, e-voertuigen	0	0/A	0	0 ¹
Power-to-heat	0	0	0	0
Isolatie van gebouwen	0	0	0/A	0
Warmtepompen	0	0/A	0	0 ¹
Waterstof (grijs, blauw)	0/A	0	0	0
Waterstof (groen)	0	0	0	0
Biomassa: houtstook	B	0	A	A (geurhinder)
Biomassa: verbrandings-installaties < 15 MW	A/B	0/A	0	0/A (geurhinder)
Biomassa: centrales > 15 MW inclusief bijmengen	A	0	0	0
Biobrandstoffen en biogas	A/B	0	0	0/A (Legionella)
Hergebruik van CO ₂	0	0	0	0
Opslag van CO ₂	0	0	0	0
Geothermie en Warmte Koude Opslag	0	0	0	0
Aquathermie	0	0	0	0
Getijden-energie	0	0	0	0
Blauwe energie	0	0	0	0

¹ De ziektelast die is toe te schrijven aan de magneetvelden van bovengrondse hoogspanningslijnen wordt, uitgaande van een oorzakelijk verband, geschat op 35 DALY's (klasse 0/A). Bij een oorzakelijk verband kunnen ook andere delen van het elektriciteitsnet (ondergrondse kabels, hoogspanningsstations, transformatorhuisjes) bijdragen aan de ziektelast. Deze bijdrage is niet kwantitatief in te schatten, maar leidt naar verwachting niet tot een ziektelast buiten de categorie 0/A. De jaargemiddelde blootstelling aan EMV door andere bronnen, zoals omvormers van zonnepanelen, warmtepompen en buurtbatterijen, is veel lager; de daarmee gepaard gaande ziektelast wordt daarom op 0 gesteld.

Het overzicht maakt duidelijk dat de grootste ziektelast wordt veroorzaakt door luchtverontreiniging die ontstaat door houtkachels (klasse B), al wordt daarbij de kanttekening gemaakt dat niet goed bekend is wat het aandeel houtkachels is dat wordt gebruikt voor opwekking van warmte en dat daarmee kan worden beschouwd als 'nieuwe' energiebron in het kader van de transitie. Ook luchtverontreiniging door verbranding van biomassa in energiecentrales en kleinere installaties en toepassing van biobrandstoffen draagt significant bij aan de ziektelast. Op basis van de

huidige kennis wordt deze vooralsnog geschat op klasse A/B. Het ontbreekt momenteel aan voldoende gegevens om een berekening van deze ziektelast te maken in DALY's. Omdat het om een significant gezondheidseffect gaat, wordt dringend aanbevolen nader onderzoek te doen. De eerste stap daarin is het verkrijgen van een goed landelijk beeld van de emissies uit hout- en pelletkachels voor verwarming, biomassacentrales en kleinere biomassa-installaties. Op grond van deze inventarisatie en verspreidingsberekeningen met een aantal scenario's kan de ziektelast door luchtverontreiniging als gevolg van deze emissies worden bepaald. Het ligt voor de hand daar de methodiek voor te gebruiken die is ontwikkeld voor het Schone Lucht Akkoord (SLA). In deze analyse kunnen ook toekomstige ontwikkelingen en effecten van mitigerende maatregelen zoals beschreven in paragraaf 4.7.1 worden meegenomen, onder andere aanscherpen van emissie-eisen voor kleinere en middelgrote biomassa-installaties, saneren van verouderde kachels door invoering van een nationale emissienorm en het beperken van gebruik van openhaarden.

Emissies uit houtkachels dragen ook bij aan een verslechterd binnenmilieu. Hiervoor geldt eveneens dat het met de beschikbare gegevens niet goed mogelijk is de ziektelast te berekenen (deze wordt indicatief geschat op klasse A) en dat het wenselijk is daar nader onderzoek naar te doen. Daarnaast is aandacht nodig voor mogelijke effecten als gevolg van onjuiste toepassing van isolatie en ventilatie op het binnenmilieu. Onvoldoende ventilatie leidt tot verhoogde blootstelling van bewoners aan verhoogde concentraties schadelijke stoffen en micro-organismen en tot een verhoogd risico op hittestress.

Een ander gezondheidseffect dat uit Tabel 6.1 naar voren komt is hinder door geluid dat wordt veroorzaakt door windturbines. Deze ziektelast wordt geschat op klasse A/B, waarbij in de bovengrens rekening is gehouden met een forse groei van windenergie op land in de komende decennia. Bij windturbines op land spelen ook niet-akoestische factoren een rol, zoals geluidgevoeligheid, communicatie, vertrouwen in de autoriteiten en verandering van het landschap, waarvan bekend is dat deze van invloed zijn op de ervaren hinder.

Er zijn aanwijzingen dat verspreiding van Legionella rond vergistingsinstallaties een potentieel gezondheidsrisico vormt bij productie van biogas. In de afgelopen jaren zijn er in Nederland drie uitbraken van de veteranenziekte – die wordt veroorzaakt door de bacterie Legionella – beschreven, waarbij een industriële afvalwaterzuiveringsinstallatie met biogasproductie de bron van besmetting was. Ook in vergistingsinstallaties voor biogasproductie kan soms Legionella worden aangetoond. Het is op dit moment nog onvoldoende bekend of deze installaties een hoger Legionella-risico hebben dan aerobe installaties zonder biogasproductie en hoe groot het gezondheidseffect daarvan is. Het is gewenst nader onderzoek te doen naar deze risico's en ook naar de mogelijkheden om de Legionella-risico's bij vergistingsinstallaties voor biogas te beheersen.

Bij alle andere gezondheidseffecten in het overzicht gaat om een kleine of marginale bijdrage aan de ziektelast, overeenkomend met minder dan

0,5 % van de totale huidige ziektelast veroorzaakt door milieufactoren. Deze effecten zijn:

- luchtverontreiniging door gebruik van waterstof (voor zover dat wordt gebruikt als brandstof voor hybride warmtepompen of in elektriciteitscentrales om aan een eventuele piekvraag te kunnen voldoen);
- luchtverontreiniging door gebruik van fossiele brandstoffen voor CCS en CCU in de overgangsperiode tot volledige elektrificatie;
- geurhinder door emissies van houtkachels;
- geur- en geluidhinder en luchtverontreiniging op lokaal niveau rond biomassa- en mestverwerkingsinstallaties, onder andere door zwaar vrachtverkeer;
- (laagfrequent) geluid veroorzaakt door warmtepompen, omvormers van zonnepanelen en buurtbatterijen;
- hinder door de slagschaduw van windturbines;
- een mogelijk lichte groei van blootstelling aan EMV als gevolg van de elektrificatie, die gepaard gaat met onder meer de uitbreiding van het hoogspanningsnetwerk, de inrichting van buurtbatterijen en een toename van gebruik van elektrische apparaten als warmtepompen, airco's en omvormers van zonnepanelen; deze ziektelast is echter beperkt (minder dan 50 DALY's, zie paragraaf 4.4.1) en dat zal ondanks de groei zo blijven.

Een aantal maatregelen ten behoeve van de energietransitie en het Klimaatakkoord kan een positieve invloed op de gezondheid hebben. We konden deze effecten niet kwantificeren, wel kwalitatief in beschouwing nemen. Zo zijn in de Klimaattafel Mobiliteit afspraken vastgelegd om de hoeveelheid zakelijke (auto)kilometers in 2030 met 8 miljard te verminderen, onder meer door het bevorderen van het gebruik van de (elektrische) fiets. Dit leidt tot meer bewegen, wat een positief effect heeft op de gezondheid.

Ook de verduurzaming van de landbouw draagt bij aan de doelstellingen van het Klimaatakkoord. De Klimaattafel Landbouw en landgebruik heeft daarvoor een pakket maatregelen opgesteld, waaronder het verminderen van de uitstoot aan fijnstof, geur en bio-aerosolen door het gebruik van emissiearme stallen. Deze maatregel zorgt voor een betere luchtkwaliteit en minder hinder door geurhinder, wat beide een positief effect heeft op de gezondheid. Dat geldt ook voor het verwijderen van asbest van de daken van stallen en andere bedrijfsgebouwen voordat daar zonnepanelen op worden geïnstalleerd. Uitbreiding van bos en natuurgebieden en de aanleg van extra bomen en natuur in de openbare ruimte en stedelijke gebieden hebben een positieve uitwerking op de natuur, op de biodiversiteit en het ecosysteem, wat eveneens bijdraagt aan het welzijn en de gezondheid van mensen. Tot slot zorgt betere isolatie van woningen en gebouwen, mits op juiste wijze toegepast en in goede combinatie met adequate ventilatie en zonwering, voor een betere luchtkwaliteit en voor meer comfort en welzijn.

6.3 Veiligheidsrisico's

Veiligheidsrisico's hebben te maken met ongewenste afwijkingen van een normale situatie. Het gaat daarbij om incidenten met mogelijke gevolgen voor de mensen die worden blootgesteld aan de gevolgen van dergelijke incidenten. Voor het onderdeel omgevingsveiligheid is als indicator de afstand vanaf de risicobron tot aan de norm van het plaatsgebonden risico (PR 10^{-6}) gehanteerd. Die is gebaseerd op de kans en gevolgen van het vrijkomen van gevaarlijke stoffen van of het falen van een windturbine, zoals beschreven in paragraaf 3.2. Binnen het gebied van dit plaatsgebonden risico gelden ruimtelijke beperkingen (zonering). Bij de risico's met betrekking tot arbeidsveiligheid is aan de hand van een aantal indicatoren een indicatie van de relevantie gegeven. Dat is een kwalitatieve benadering, zoals beschreven in paragraaf 3.2. Daar waar maatregelen in de (directe) nabijheid van consumenten zullen worden geplaatst, is consumentenveiligheid als mogelijk aandachtspunt aangemerkt.

Tabel 6.2 bevat de resultaten van de beoordeling van de veiligheidsrisico's. Net als bij de beoordeling van de gezondheidseffecten is in sommige gevallen een bovengrens vermeld vanwege de onzekerheid in de beoordeling. Een score 0/A kan bijvoorbeeld betekenen dat een veiligheidsrisico ligt tussen verwaarloosbaar (0) of beperkt relevant (A). Een bovengrens kan ook afhankelijk zijn van een bepaald toekomstbeeld. Dat is bij de opmerkingen aangegeven. Omdat aan elke maatregelen arbeidsrisico's gebonden zijn is ervoor gekozen om daar minimaal een 0/A beoordeling aan toe te kennen. Onder consumentenveiligheid is met arcering en een 'X' aangegeven als het een aandachtspunt vormt.

Tabel 6.2 Overzicht van de geschatte veiligheidsrisico's per type bron en maatregel.

Bron/maatregel	Veiligheid			Opmerkingen, overige aspecten
	Omgevings- veiligheid (zonering)	Arbeids- veiligheid	Consumenten- veiligheid	
Windenergie	C	B		Bij windenergie op zee is omgevingsveiligheid niet relevant
Zonne-energie	0	B/C	X	Bovengrens C bij grote aantallen zonnecellen op daken. Brandbestrijding is een aandachtspunt.
Vergroting capaciteit landelijk hoogspannings-netwerk	0	A		Dit gaat om bekende arbeidsrisico's.
Elektrificatie d.m.v. (buurt)batterijen	0/A*	B	X	Brandbestrijding is een aandachtspunt (batterijen, e-voertuigen).

Bron/maatregel	Veiligheid			Opmerkingen, overige aspecten
	Omgevings- veiligheid (zonering)	Arbeids- veiligheid	Consumenten- veiligheid	
en e-voertuigen				
Power-to-heat	0	A		
Isolatie van gebouwen, warmtepompen	0	A/B	X	De bovengrens (B) geldt als warmtepompen op grote schaal in de gebouwde omgeving zullen worden toegepast.
Waterstof (grijs, blauw, groen)	B (tankstations)	A/B	X	De bovengrens (B) geldt als waterstof op grote schaal in de gebouwde omgeving zal worden toegepast.
Biomassa	0	A	X	Consumentenveiligheid is relevant voor de kleinschalige installaties en houtkachels.
Biobrandstoffen en biogas	B (biogas)	A/B		Veiligheidsbewustzijn is een aandachtspunt. Dat is de reden voor bovengrens (B).
Hergebruik van CO ₂	A	A		
Opslag van CO ₂	A	A		
Geothermie en Warmte Koude Opslag	0	0/A		
Aquathermie	0	0/A		
Getijden-energie	0	0/A		
Blauwe energie	0	0/A		

*Er zijn geen risicoafstanden (PR) voor buurtbatterijen beschikbaar, maar vanwege de mogelijke risico's voor de omgeving is gekozen om A als bovengrens voor omgevingsveiligheid te hanteren.

Uit het overzicht volgt dat veiligheid bij een aantal energiebronnen en maatregelen niet of beperkt relevant is, waarbij natuurlijk wel geldt dat arbeidsveiligheidsaspecten aandacht behoeven bij elke activiteit met gevaarlijke stoffen of elektrische apparatuur.

Op grond van de beoordeling is vooral windenergie relevant bij omgevingsveiligheid. Vanwege de relatief grote afstanden tot de norm (>100 meters), is het gebied waar beperkingen gelden qua ruimtelijke ontwikkeling ook relatief groot. Door het werken op hoogte spelen ook arbeidsrisico's een rol bij windenergie. Die risicoafstanden zijn overigens

alleen relevant voor de ruimtelijke inpassing bij windenergie op land. Voor windenergie op zee is omgevingsveiligheid niet van belang. Bij de toekomstbeelden met regionale en nationale sturing speelt windenergie op land een veel grotere rol dan bij de scenario's Europese en internationale sturing (zie hoofdstuk 5).

Daarnaast spelen biogas en waterstof een rol in de omgevingsveiligheid. Hiervoor geldt dat de risico's en de risicoafstanden vergelijkbaar zijn met bekende risico's van andere gevaarlijke stoffen, zoals die van aardgas of LPG. Voor biogas geldt de kanttekening dat de arbeidsrisico's niet als groot zijn beoordeeld, terwijl er wel incidenten met dodelijk gevolg bekend zijn. Dit vraagt vooral risicobewustzijn van de betrokkenen dat het hier gaat om het werken met een gevaarlijke stof.

Verder hangt bij enkele maatregelen de arbeids- en consumentenveiligheid af van de toekomstige ontwikkelingen, waarbij het vooral van belang is of de maatregelen in de directe omgeving van de consumenten op grote schaal zullen worden uitgerold. Dat gaat onder andere om de ontwikkelingen met betrekking tot warmtepompen en zonnepanelen. Bij de scenario's regionale en nationale sturing zullen zonnepanelen op daken bijvoorbeeld een veel grotere rol vervullen dan in het Europese of internationale scenario. Beschikbaarheid en opleiding van (technisch) personeel zijn hierbij belangrijke aandachtspunten.

Wat betreft de veiligheidsrisico's noemen we ten slotte de brandrisico's bij zonnepanelen, elektrische voertuigen en (buurt)batterijen. Hierbij kunnen toxische verbrandingsproducten vrijkomen en bovendien vergt de bestrijding van dergelijke branden speciale werkwijzen van de brandweer.

6.4 Effecten en risico's in relatie tot het afbouwen van energiewinning met fossiele brandstoffen

In het onderzoek van Van der Ree *et al.* (2019) en de actualisatie daarvan door Kelfkens (2021) is een overzicht gegeven van de gezondheids- en veiligheidswinst door het uitfasen van het gebruik van fossiele brandstoffen. De vraag rijst of het toepassen van vervangende energiebronnen en daarmee gepaard gaande maatregelen deze 'winst' – al dan niet gedeeltelijk – compenseert. Dit netto effect is vanwege de verschillende onzekerheden – bijvoorbeeld over hoe de energietransitie zich zal voltrekken en aannames die ten grondslag liggen aan de beoordeling van de gezondheidseffecten en veiligheidsrisico's – niet exact te bepalen. Wel kan een beschouwing op hoofdlijnen worden gegeven. Daartoe maken we voor gezondheid onderscheid in de effecten op de thema's luchtverontreiniging, (laagfrequent) geluid en overige effecten en gaan we afzonderlijk in op de veiligheidsrisico's.

Luchtverontreiniging

Het stoppen met het gebruik van fossiele brandstoffen levert een aanzienlijke gezondheidswinst op, namelijk 60.000 DALY's (Van der Ree *et al.*, 2019). Deze gezondheidswinst is toe te schrijven aan staand beleid ter verbetering van de luchtkwaliteit, waaronder maatregelen uit het Schone Lucht Akkoord (SLA). Met de aanvullende maatregelen uit het Klimaatakkoord wordt een extra gezondheidswinst van 3000 tot 4500 DALY's behaald, mogelijk oplopend tot 6000-9000 DALY's in 2050. Deze laatste

waarde kent een grote onzekerheid, omdat er voor de periode 2030 tot 2050 nog geen concreet pakket aan maatregelen is vastgesteld.

Opwekking van warmte en energie met houtkachels en door verbranding van biomassa, en ook toepassing van biobrandstoffen zorgen voor een toename van luchtverontreiniging. Ook dragen emissies uit houtkachels bij aan een verslechterd binnenmilieu. De ziektelast die dit alles met zich meebrengt is vanwege een gebrek aan voldoende gegevens niet goed te berekenen. Omdat het om een relevant gezondheidseffect gaat, wordt dringend aanbevolen nader onderzoek te doen, waarbij het voor de hand ligt daar de methodiek voor te gebruiken die is ontwikkeld voor het Schone Lucht Akkoord. Een grove inschatting (zie Tabel 6.1 en de toelichting daarbij) maakt duidelijk dat deze ziektelast in elk geval lager is dan de 63.000 tot 64.500 DALY's gezondheidswinst door het stoppen met fossiele brandstoffen, waarbij wordt opgemerkt dat dit wordt bereikt met meerdere maatregelen, waarvan die in het Klimaatakkoord een deel vormen. De luchtverontreiniging veroorzaakt door andere nieuwe energiebronnen is verwaarloosbaar klein ten opzichte van die door biomassa en biobrandstoffen.

Geluid

De meeste slaapverstoring door omgevingsgeluid vindt plaats door geluid van wegverkeer binnen de bebouwde kom. Vervanging van auto's met brandstofmotoren door elektrische auto's levert een gezondheidswinst door geluidreductie op, die door Van der Ree (2019) werd geschat op 5000-7000 DALY's in 2050, uitgaande van een volledig geëlektrificeerd wagenpark. Hierbij is inbegrepen dat het aantal zakelijke autokilometers dan met 8 miljard is gereduceerd. De geschatte gezondheidswinst moet echter als indicatief worden beschouwd, omdat er recent nieuwe gegevens beschikbaar zijn gekomen over de relatie tussen verkeersgeluid, slaapverstoring en de daaraan gekoppelde ziektelast (Kelfkens, 2021). Momenteel werkt het RIVM aan een nieuwe analyse om deze ziektelast te bepalen, maar die is nog niet beschikbaar. Daarnaast geeft het PBL aan dat er vanwege onduidelijkheid over het stimuleringsbeleid na 2025 de vervanging door elektrische auto's mogelijk vertraging oploopt. Dat zorgt voor een extra onzekerheid in de schatting van de gezondheidswinst door geluidreductie.

Tabel 6.1 laat zien dat de meeste nieuwe vormen van energiewinning geen tot weinig gezondheidsschade door (laagfrequent) geluid veroorzaken. De enige uitzondering hierop zijn windturbines. De ziektelast veroorzaakt door geluid van windturbines is niet uit te drukken in DALY's en is kwalitatief beoordeeld op klasse A/B, waarbij in de bovengrens rekening is gehouden met een forse groei van windenergie op land in de komende decennia. Echter, het aantal mensen dat ernstige hinder ondervindt door geluid van windturbines is veel lager dan de aantallen personen die ernstige hinder ondervinden van wegverkeer. Ook is, anders dan voor geluid van wegverkeer, niet wetenschappelijk aangetoond dat geluid van windturbines bijdraagt aan slaapverstoring. Op basis van deze kwalitatieve argumenten lijkt het netto effect op de gezondheid als gevolg van de vervanging van fossiele brandstoffen door nieuwe energiebronnen positief.

Overige effecten

Dit betreft onder andere geurhinder door emissies van houtkachels, een mogelijk lichte groei van blootstelling aan EMV als gevolg van de elektrificatie en hinder door de slagschaduw van windturbines. De bijdrage van deze gezondheidseffecten door nieuwe energiebronnen en maatregelen aan de totale ziektelast is marginaal. Daar staat bovendien tegenover dat geurhinder die wordt veroorzaakt door het gebruik van fossiele brandstoffen – deze manifesteert zich vooral door emissies van wegverkeer en uit de industrie – zal afnemen als deze worden vervangen. In Van der Ree *et al.* (2019) wordt deze geurhinder wel genoemd onder de gezondheidseffecten, maar ze is niet gekwantificeerd.

Veiligheid

De grootse veiligheidswinst door het afbouwen van het gebruik van fossiele brandstoffen zit in het wegvallen van dodelijke slachtoffers door koolmonoxidevergiftigingen door gebruik van aardgasinstallaties in huis. Als alle woningen gasloos zijn, worden 10-50 dodelijke slachtoffers per jaar voorkomen (Van der Ree *et al.*, 2019). De aardgasinstallaties kunnen door verschillende energiebronnen worden vervangen, zoals waterstof of het gebruik van warmtepompen, waarbij het risico op koolmonoxidevergiftiging niet zal optreden.

Daarnaast verdwijnen door het afbouwen van het gebruik van fossiele brandstoffen risicobronnen, zoals de distributie van aardgas en het transport van LPG, waardoor de kans op een ramp met meerdere doden door deze bronnen verdwijnt (Van der Ree *et al.*, 2019). Hierbij wordt opgemerkt dat de kans op een dergelijke ramp ook in de huidige situatie al zeer klein is. Daarbij geldt dat het netto effect afhangt van de alternatieven die zullen worden gebruikt. Wanneer waterstof als brandstof zal worden ingezet, blijft de kans op een dergelijke type ramp van eenzelfde orde-grootte. Bij elektrificatie kunnen er wel incidenten optreden, maar zullen er naar verwachting geen grote aantallen slachtoffers vallen.

Als we ten slotte de resultaten uit Tabel 6.2 bekijken, dan blijkt dat arbeidsveiligheid van belang is. Het aantal arbeidsincidenten zou wellicht kunnen toenemen, bijvoorbeeld door de grote aantallen installaties die in sommige toekomstbeelden zijn voorzien en het onderhoud dat zij vergen. Op voorhand kan echter geen goede inschatting worden gemaakt van wat dit zou kunnen betekenen voor het aantal incidenten, laat staan voor het aantal mogelijke slachtoffers.

Op basis van bovenstaande argumenten zou het netto effect voor de veiligheid als gevolg van de vervanging van fossiele brandstoffen (vooral door het wegvallen van de koolmonoxidevergiftigingen) door nieuwe energiebronnen positief zijn.

7 Conclusie en beschouwing

7.1 Inleiding

In dit laatste hoofdstuk worden de conclusies van deze verkenning beschreven, aangevuld met een beschouwing van de resultaten. Ten eerste worden de resultaten uit het vorige hoofdstuk samengevat en wordt aangegeven welke energiebronnen en maatregelen uit het Klimaatakkoord het meest relevant zijn voor de geschatte effecten op de gezondheid en veiligheid. Om deze resultaten in een breder perspectief te plaatsen, maken we daarna een koppeling met de toekomstbeelden uit hoofdstuk 5. Vervolgens wordt op hoofdlijnen ingegaan op mogelijkheden om de genoemde effecten te reduceren. In een slotbeschouwing worden enkele observaties gedeeld die naar voren zijn gekomen bij deze verkenning en worden aanbevelingen gedaan voor nader onderzoek om een aantal belangrijke effecten beter in beeld te krijgen.

7.2 Meest relevante effecten en risico's voor gezondheid en veiligheid

In het vorige hoofdstuk is een overzicht gegeven van de mogelijke effecten op de gezondheid en veiligheid per maatregel. Vanuit het gezondheidsperspectief zijn daarbij luchtverontreiniging door houtkachels, biomassa-installaties en biobrandstoffen, en geluidhinder door windturbines het meest relevant. Bij de veiligheidsrisico's komen de risico's van windenergie, zonne-energie, elektrificatie ((buurt)batterijen) en warmtepompen naar voren. Voor windenergie is zowel omgevingsveiligheid als arbeidsveiligheid van belang, terwijl het bij de andere drie bronnen met name gaat om arbeidsveiligheid. Daarnaast zijn (vooral vanuit het oogpunt van omgevingsveiligheid) de risico's bij het gebruik van de gevaarlijke stoffen waterstof en biogas van belang.

Uit de geschatte gezondheidseffecten (zie Tabel 6.1) en veiligheidsrisico's (zie Tabel 6.2) volgt dat de impact van de meeste maatregelen uit het klimaatakkoord beperkt zal zijn. Wanneer we dit op hoofdlijnen naast de 'winst' leggen die het afbouwen van het gebruik van fossiele brandstoffen op de gezondheid en veiligheid betekenen (zie paragraaf 6.4), dan is het beeld dat het netto effect positief zal zijn voor de gezondheid en veiligheid.

De resultaten in de genoemde tabellen zijn gebaseerd op de inventarisatie per maatregel, terwijl het bijvoorbeeld relevant is of een maatregel in grote aantallen zal worden toegepast. Om de resultaten meer in context te beschouwen, wordt in de volgende paragraaf een koppeling van de meest relevante bronnen en maatregelen met de toekomstbeelden gelegd.

7.3 Koppeling met toekomstbeelden

Uit de geschetste toekomstbeelden in hoofdstuk 5 komt duidelijk naar voren dat bij de scenario's regionale en nationale sturing ingezet wordt op wind- en zonne-energie. De bijdragen van deze bronnen aan het totaal zijn significant groter dan bij de scenario's Europese en

internationale sturing. Qua effecten op de bevolking geldt dat alleen windenergie op land relevant is. Uit Figuur 5.2 volgt dat windenergie op land bij het regionale en nationale scenario in dezelfde orde-grootte wordt toegepast. Voor zonne-energie geldt eenzelfde soort redenering. De risico's qua consumentenveiligheid (brandrisico) en arbeidsveiligheid zijn bij zonnepanelen op daken relevanter dan bij zonneparken. In dit geval is er wel onderscheid tussen de twee scenario's; bij het scenario regionale sturing is het aandeel zon op daken groter dan bij het scenario nationale sturing. De veiligheidsrisico's van (buurt)batterijen en warmtepompen zijn gekoppeld aan mogelijke blootstelling van mensen (installateurs, bewoners) in de directe leefomgeving.

Deze maatregelen (windenergie op land, zon op daken, (buurt)batterijen en warmtepompen) worden met name ingezet bij het scenario nationale sturing en vooral bij het scenario regionale sturing. Hierbij geldt dat de maatregelen zon op daken, (buurt)batterijen en warmtepompen in de directe leefomgeving van de bevolking zullen worden geïmplementeerd waardoor potentiële blootstelling van de bevolking hoog is. In het algemeen geldt: des te kleiner de afstand tussen bron en ontvanger, des te groter het potentieel aantal blootgestelden en mogelijk effect.

Waterstof is bij alle scenario's relevant, waarbij er wel verschil is qua invulling. Bij het scenario internationale sturing gaat het vooral om het importeren van waterstof en zijn de risico's gekoppeld aan het transport en het leidingennetwerk. Hierbij wordt gekeken naar de mogelijkheden om het bestaande aardgasleidingennetwerk te gebruiken voor waterstof. Bij het scenario nationale sturing wordt er een sterke koppeling gelegd van windenergie op zee met de productie van groene waterstof en het vervolgens transporteren via een leidingennetwerk. Net als bij het scenario internationale sturing gaat het dan vooral om industriële veiligheidsaspecten. Voor de mogelijke effecten op de bevolking zijn de risico's van het gebruik van waterstof in de directe leefomgeving het meest relevant. Als voorbeeld noemen we waterstof als brandstof voor de cv-ketels van woningen.

Toepassing van biobrandstoffen, biogas en biomassa is vooral voorzien bij de scenario's Europese en internationale sturing. Voor biogas wordt aandacht gevraagd voor de arbeidsrisico's en het veiligheidsbewustzijn van de sector en voor het potentiële risico op vorming en verspreiding van *Legionella*. De effecten van biobrandstoffen en biomassa betreffen de luchtverontreiniging bij verbranding. Voor biomassa gaat het dan met name om houtrook (houtkachels) in woningen en om lokale biomassa-installaties met een vermogen minder dan 15 MW.

Uit deze verkenning blijkt dat de effecten van de nieuwe energiebronnen en maatregelen op de gezondheid en veiligheid zich vooral manifesteren in de directe leefomgeving van de bevolking. Want juist daar worden mensen het meest blootgesteld. Dat is de reden dat in de volgende paragraaf het accent ligt op aanvullende mogelijkheden om de effecten te reduceren juist in de directe leefomgeving of de gebouwde omgeving, dus aan de kant van de mogelijke ontvanger. Daarnaast worden ook enkele mogelijkheden besproken om de effecten van de relevante maatregelen te beperken.

7.4 Aanvullende mogelijkheden om effecten te beperken

Uit de resultaten opgenomen in Tabel 6.1 en Tabel 6.2 volgt dat de impact van de meeste maatregelen uit het klimaatakkoord beperkt zal zijn voor de gezondheid en veiligheid. Tegelijkertijd zijn er enkele energiebronnen en maatregelen die tot gezondheidseffecten of veiligheidsrisico's kunnen leiden. Om deze effecten te beperken zijn er aanvullende gezondheids- en veiligheidsmaatregelen mogelijk, bovenop de bestaande normen en eisen, waarvan er enkele op hoofdlijnen worden besproken. Juist de ontwikkelfase van de energietransitie biedt mogelijkheden om gezondheids- en veiligheidsaspecten integraal mee te nemen.

De GGD Gelderland-Midden heeft in samenwerking met andere GGD'en een handreiking opgesteld, voorzien van een stappenschema en een uitgebreid Excelbestand met mogelijke maatregelen voor het verduurzamen van woningen, waarbij rekening wordt gehouden met het beperken van negatieve gezondheidseffecten. Aspecten als ventilatie, isolatie, thermisch comfort, beperken geluidhinder, vermijden van trillingen en houtrook, verkoelen van woningen en het vinden van een goede afstemming tussen het isoleren en ventileren komen aan bod. In het Bouwbesluit worden aanvullende geluidseisen opgenomen om bewoners en omwonenden beter te beschermen tegen geluid van de buitenunits van warmtepompen en airco's. Zo'n eis is bijvoorbeeld dat men een warmtepomp laat installeren door een erkende gecertificeerde installateur.

De handreiking van de GGD Gelderland-Midden sluit aan bij een recent rapport van de Gezondheidsraad (GGD Gelderland-Midden, 2019) met adviezen en opties om gezondheid te bevorderen in de planvorming rond de energietransitie, in het bijzonder gericht op de Klimaattafel Gebouwde Omgeving. In dat rapport wijst de Gezondheidsraad er ook op om het aspect gezondheid in algemene zin direct bij de planvorming rond de energietransitie (bijvoorbeeld in de Regionale Energie Strategieën) mee te nemen. Dat lijkt vanzelfsprekend, maar in de praktijk wordt er niet altijd of te laat aan gedacht.

Een voorbeeld van het rekening houden met gezondheidsaspecten bij planvorming is de optimalisering van locaties (afstand tot woonbebouwing) waar windturbines – en overigens ook zonneparken – worden geplaatst. Door het betrekken van omwonenden bij de besluitvorming over locaties en landschappelijke inpassing en hen daarbij van goede, betrouwbare informatie te voorzien, kan eventuele hinder zo goed mogelijk preventief worden aangepakt. Ook het inrichten van een klachtensysteem, het beschikbaar stellen van een knop om windturbines stil te zetten en economische incentives (door omwonenden mee laten delen in de opbrengst van windturbines) kunnen daaraan bijdragen.

Andere maatregelen om de geluidsbelasting door windturbines te beperken zijn technische innovaties, zoals vermindering van het toerental, het toepassen van een andere bladvorm en het aanbrengen van structuren op de rotorbladen die het geluid verminderen.

Daarnaast zal het beperken van emissies bij het verbranden van biomassa door strengere eisen leiden tot minder luchtverontreiniging. Dit zal een relevante bijdrage kunnen leveren aan de gezondheidswinst. Het PBL heeft berekend dat de concentraties fijnstof, roet en stikstofoxiden in de leefomgeving aanzienlijk kunnen worden verlaagd door het verplicht saneren van verouderde kachels en het beperken van gebruik van openhaarden. Verder kan vervanging van conventionele houtkachels door de aanmerkelijk schonere pelletkachels worden gepropageerd en kan ook voorlichting over goed stookgedrag bijdragen aan vermindering van luchtverontreiniging.

Wat betreft biomassa-installaties kan gedacht worden aan scherpere emissie-eisen, verlaging van de vermogensgrens van 15 MW voor vergunningplicht, verhogen van de schoorsteen, aanvullende rookgasreiniging en – voor nieuwe installaties – zorgen voor voldoende afstand tot kwetsbare bestemmingen. Zulke maatregelen passen bij de afspraken, die Rijk, provincies en gemeenten in het kader van het Schone Lucht Akkoord hebben gemaakt om 'in 2030 minimaal 50% gezondheidswinst uit binnenlandse bronnen te realiseren ten opzichte van 2016'.

Net als bij de effecten op de gezondheid geldt op grond van Tabel 6.2 dat de effecten op de veiligheid als beperkt zijn te kwalificeren, terwijl er bij sommige maatregelen veiligheidsrisico's zijn voorzien. Bij nieuwe maatregelen of technieken zijn veiligheidseisen en richtlijnen met betrekking tot ontwerp, installatie en onderhoud nog in ontwikkeling. Bij de vergunningaanvragen van de eerste waterstoftankstations was de rekenmethodiek om de risico's te bepalen bijvoorbeeld nog niet definitief. De ontwikkeling van de verschillende nieuwe rekenmethodieken (naast waterstof ook bijvoorbeeld die voor windturbines) is door het RIVM als beheerder van de rekenmethodieken opgepakt.

Daarnaast zijn er handleidingen en richtlijnen met betrekking tot accu's en batterijen opgesteld en zijn andere in ontwikkeling. Daarin komen onder andere de brandrisico's van elektrisch vervoer en EOS systemen (buurtbatterijen) aan de orde. Een concreet voorbeeld is de Handreiking Elektriciteit Opslag Systemen (EOS) en de Circulaire Risicobeheersing Lithium-ion-energiedragers. Eerder is de PGS 37 genoemd als richtlijn die in ontwikkeling is en die zal ingaan op lithium-ion-batterijen. Onderzoek naar alternatieven voor de lithium-ion-batterij zou op termijn mogelijk kunnen leiden tot batterijen met minder (brand)risico.

Een andere mogelijkheid betreft certificering en het inzetten op bijvoorbeeld een CE-keurmerk voor energie opslagsystemen. Het gebruikmaken van gecertificeerde producten of installateurs en onderhoudsmonteurs kan ook de arbeidsveiligheid en consumentenveiligheid bevorderen. Zeker als maatregelen zoals zonnepanelen en warmtepompen op grote schaal zullen worden uitgerold, kunnen arbeidsrisico's en eventueel brandrisico's toenemen door het groot aantal installateurs en monteurs dat hiervoor nodig zal zijn.

Om de risico's van maatregelen zoals batterijen, zonnepanelen of warmtepompen in de toekomst te kunnen kwantificeren, is centrale

registratie van incidenten en van de aantallen installaties behulpzaam. Een systeem waar dit plaatsvindt bestaat momenteel niet.

7.5 Slotbeschouwing en aanbevelingen

In de vorige paragraaf zijn enkele mogelijkheden benoemd om de voorziene effecten op de gezondheid en veiligheid te beperken. In deze paragraaf worden ten slotte enkele opmerkingen gemaakt geredeneerd vanuit een overall beeld op de energietransitie, op de beschouwde maatregelen en de verschillende toekomstbeelden. Daarnaast worden ook aanbevelingen gedaan gericht op verdere kennisontwikkeling, die nodig is om effecten beter te kunnen kwantificeren.

Alternatieven

Een vraag die vanuit dit perspectief aan de orde komt, is of er wellicht alternatieven van een bepaalde maatregel voorhanden zijn die minder gezondheidseffecten en veiligheidsrisico's kunnen betekenen. Ook kan worden gekeken naar de locaties waar maatregelen kunnen worden toegepast.

Deze vragen zijn gerelateerd aan de (beleids)keuzen die worden gemaakt wat betreft de scenario's die zijn geschetst. Zoals gemeld zal het niet gaan om een keuze uit een van de vier scenario's, maar eerder om een mix van de vier scenario's. Daarbinnen kunnen wel verschillende accenten op maatregelen worden gelegd. Door bij die keuzen rekening te houden met gezondheid en veiligheid, kan worden voorkomen dat de gezondheids- en veiligheidswinst door het afbouwen van het gebruik van fossiele brandstoffen deels wordt tenietgedaan door de invoering van nieuwe bronnen en maatregelen.

Kennishiaten

Uit de verkenning blijkt verder dat er voor sommige maatregelen onvoldoende informatie is om een goede inschatting van de gezondheidseffecten en veiligheidsrisico's te kunnen doen. Bij die onderwerpen is sprake van kennishiaten en is aanvullend onderzoek nodig om de effecten beter in kaart te brengen, niet alleen voor de huidige situatie maar ook door toepassen van mitigerende maatregelen. Dit gaat vooral om de gezondheidseffecten door verbranding van biomassa en biobrandstoffen en de gevolgen van geluidhinder door windturbines. Daarnaast wordt aanbevolen om de risico's van een verslechterd binnenmilieu als gevolg van onjuiste toepassing van isolatie en ventilatie en door emissies uit openhaarden en houtkachels beter in kaart te brengen. Nader onderzoek is ook wenselijk met betrekking tot de risico's van Legionella bij vergistingsinstallaties voor biogas en de mogelijkheden om die te beheersen.

Verder ontwikkelen van technieken met minste impact

Uit de resultaten in het vorige hoofdstuk komt verder naar voren dat bij sommige nieuwe energiebronnen de effecten op de gezondheid en veiligheid zeer beperkt zijn. Dat geldt onder andere voor aquathermie, getijden-energie en blauwe energie. Deze technieken worden in Nederland nog niet veel toegepast en zijn nog in ontwikkeling. Vanuit het perspectief van gezondheid en veiligheid is het interessant om verdere (kennis)ontwikkelingen van deze technieken te volgen.

Vinger aan de pols

De energietransitie bevindt zich in de ontwikkelfase en juist dan kan rekening worden gehouden met gezondheids- en veiligheidsaspecten. Dit rapport biedt hiervoor enkele handvaten. Het is echter ook zinnig om gedurende het gehele proces van de energietransitie momenten in te bouwen om na te gaan hoe gezondheidseffecten en veiligheidsrisico's zich ontwikkelen en welke mogelijkheden er op dat moment zijn om eventuele effecten en risico's te voorkomen of te reduceren.

Referenties

- ANV (2019). Verkenning risico's van de energietransitie voor de nationale veiligheid, Analistennetwerk Nationale Veiligheid. 2019.
- AVIV (2014). Interne veiligheidsanalyse biogasinstallaties. 1 mei 2014.
- Bartels, A.A., Leerdam, R.C. van, Lodder, W.J., Vermeulen, L.C. en Berg, H.H.J.L. van den (2019). Inventarisatie van legionellarisico's bij afvalwaterzuiveringsinstallaties. RIVM-briefrapport 2019-0061. RIVM, Bilthoven.
- Brandweeracademie (2020). Jaaroverzicht fatale woningbranden 2019. Arnhem: Instituut Fysieke Veiligheid.
- Beelen, P. van, Schijven, J., Roda Husman, A.M. de, Aa, N.G.F.M. van der en Otte, P.F. (2011). De mogelijke risico's van warmte- en koudeopslag voor de grondwaterkwaliteit. RIVM rapport 607050009.
- Campmans, Th.B.J. (2017). Laagfrequent geluid, oriënterende studie naar de ontwikkeling van in Nederland. LBP Sight rapport R056087aa.00001.tc, in opdracht van RIVM.
- CE Delft (2018). Nationaal potentieel van aquathermie. Analyse en review van de mogelijkheden. Rapport nr. 18.5S74.116, CE Delft i.s.m. Deltares in opdracht van Stowa.
- Chakraborty, R., Heydon, J., Mayfield, M. and Mihaylova, L. (2020). Indoor air pollution from residential stoves: Examining the flooding of particulate matter into homes during real-world use. *Atmosphere*, 11, 1325; doi:10.3390/atmos11121326.
- Circulaire risicobeheersing lithium-ion energiedragers. Website: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0043769/2020-07-01>.
- Commissie Deskundigen Meststoffenwet (2015). Nut en risico's van covergisting, syntheserapport, WUR, WOt-technical report 32, februari 2015.
- Danish Ecological Council (2016). Pollution from residential burning. Danish experience in an international perspective. ISBN: 978-87-92044-92-1. Danish Ecological Council, Copenhagen, Denemarken.
- Dassen, A.G.M., Jabben, J. en Janssen, P.M.H. (2001). Uitbouw en optimalisatie van het Landelijk Beeld van Verstoring. Partiele validatie en gevoeligheidsanalyse. RIVM rapport 725401001/2001. RIVM, Bilthoven.
- DNV GL (2019). Gevolgen van de inzet van biomassa voor elektriciteit en warmte productie op emissies naar de lucht. Rapportnummer 19-1033. DNV GL Netherlands BV, Arnhem.
- Dusseldorp, A., Schaap, M., Gram, J., Schoevaars-Lops, S. en Jonker, R. (2019). Meldingen van milieugerelateerde gezondheidsklachten bij GGD'en, periode 2017-2018, RIVM Briefrapport 2019-0132.
- European Agency for Safety and Health at Work (2013). Occupational safety and health in the wind energy sector. European Risk Observatory Report. ISBN: 978-92-9240-277-8. 2013.
- Geleijns, H. en Dijkstra, M. (2013). Literatuuronderzoek laagfrequent geluid windturbines. LBPSIGHT in opdracht van AgentschapNL.
- Gezondheidsraad rapport (2020). Gezonde energietransitie in de gebouwde omgeving. Gezondheidsraad, Den Haag.
- Ginkel, J. van. (2020). GGD handreiking Verbranding van biomassa en gezondheid. Academische werkplaats Milieu & Gezondheid (concept).

- Hall, L. *et al.* (2021). Mondiaal klimaatbeleid: gezondheidswinst in Nederland bij minder klimaatverandering. RIVM Rapport 2020-0200.
- GGD Gelderland-Midden (2019). Handreiking opgesteld i.s.m. de Veiligheidsregio Gelderland-Midden en andere GGD'en t.b.v. de GGD werkgroep binnenmilieu en de Academische werkplaats Milieu en gezondheid. Versie december 2019.
- Hartman, J.C., Gyimesi, A. en Prinsen, H.A.M. (2010). Zijn vogelflappen effectief als draadmarkering in een hoogspanningslijn? Bureau Waardenburg bv.
- Holtrop, ing. R.J. (2020). Registratie van huishoudelijke elektriciteitsongevallen achter de meter. Kiwa N.V. VGI/1288/Htr. 23 maart 2020.
- Hoogerbrugge, R., Geilenkirchen, G.P., Hollander, H.A. den, Schuch, W., Swaluw, E. van der, Vries, W.J. de en Wichink Kruit, R.J. (2020). Grootschalige concentratie- en depositiekaarten Nederland. RIVM Rapport 2020-0091. RIVM, Bilthoven.
- Hoogervorst, N. (2020). Waterstof voor de gebouwde omgeving; operationalisering in de Startanalyse 2020, Den Haag: PBL.
- Inspectie SZW (2020). Jaarverslag 2019, mei 2020.
- IFV (2020). Brandveiligheid van parkeergarages met elektrisch aangedreven voertuigen. Arnhem: Instituut Fysieke Veiligheid.
- IFV (2020a). Instituut Fysieke Veiligheid. Energieopslag en/of -opwekking op daken van collectieve woongebouwen. Handreiking voor een veilige plaatsing van zonnepanelen in combinatie met Elektriciteit Opslag Systemen. 8 oktober 2020.
- IFV (2020b). Vooronderzoek depositie bij branden met zonnepanelen. Een verkennende studie naar de depositie van verbrandingsproducten als gevolg van brand met substantiële hoeveelheden zonnepanelen. Instituut Fysieke Veiligheid, 8 december 2020.
- IFV (2020c). Veiligheidsmaatregelen voor het gebruik van waterstof binnenshuis. Instituut Fysieke Veiligheid, 4 december 2020.
- IFV (2021). Veiligheidsprincipes kleinschalige EOS'en (<20 kWh). Martin Meijer (LIOGS), Sander Lepelaar (VRH), Tom Hessels. Instituut Fysieke Veiligheid
- Jacobs, P., Borsboom, W. and Kemp, R. (2016). PM2.5 in Dutch dwellings due to cooking. Paper presented at the AIVC/ASHRAE conference, 12-14 september 2016, Alexandria, USA.
- Janssen, S.A., Vos, H. en Eisses, A.R. (2008). Hinder door geluid van windturbines. Dosis-effectrelaties op basis van Nederlandse en Zweedse gegevens. TNO Bouw en Ondergrond, Delft.
- Joosten, K. (2019). Het batterijenlandschap. Onderwerpen, bedreigingen en kansen voor beleidsdoelen. Bax and Company, 4 oktober 2019.
- Kamp, I. van, Berg, F. van den. (2018). Health Effects Related to Wind Turbine Sound, Including Low-Frequency Sound and Infrasound. Acoustics Australia volume 46, pages 31–57(2018).
- Kamp, I. van, Breugelmans, O.R.P., Poll, H.F.P.M. van, Baliatsas, C. en Kempen, E.E.M.M. van (2018). Meldingen over en hinder van Laagfrequent Geluid of het horen van een bromtoon in Nederland: Inventarisatie. RIVM Rapport 2018-0119. RIVM, Bilthoven.

- Kamp, I. van, Schreckenber, D., Kempen, E.E.M.M. van, Basner, M., Brown, A.L., Clark, C., Houthuijs, D.J.M., Breugelmans, O.R.P., Beek, A.J. van and Janssen-Stelder, B.M. (2018). Study on methodology to perform environmental noise and health assessment. RIVM Report 2018-0121. RIVM, Bilthoven.
- Kamp, I. van, *et al.* (2019). Review of evidence relating to environmental noise exposure and annoyance, sleep disturbance, cardio-vascular and metabolic health outcomes in the context of ICGB(N). RIVM rapport 2019-0088.
- Kamp, I. van, Berg, G.P. (2020). Health effects related to wind turbine sound: an update RIVM report 2020-0150.
- Kelfkens, G., *et al.* (2021). Klimaatakkoord: Gevolgen van het uitfasen van fossiele energie voor veiligheid, gezondheid en stikstofdepositie; een update. RIVM rapport 2020-0143.
- KIWA (2018). Toekomstbestendige gasdistributienetten. GT-170272. 5 juli 2018.
- Knol, A.B. en Staatsen, B.A.M. (2005). Trends in the environmental burden of disease in the Netherlands 1980 – 2020. RIVM rapport 500029001/2005.
- Koppejan, J. en Bree, F. de (2018). Kennisdocument houtstook in Nederland. Project PB201704. Procede Biomass BV (i.s.m. Bureau Blauw BV), Enschede.
- KWR (2016). Risico's van Geothermie voor Grondwater. BTO rapport 2016.077. November 2016.
- Middelkoop, M. van en Segers, R. (2019). Houtverbruik huishoudens WoON-onderzoek 2018. CBS rapport oktober 2019. CBS, Den Haag.
- Ministerie EZK (2020). Kabinetsvisie waterstof. DGKE / 20087869. 30 maart 2020.
- Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (2020). Monitor arbeidsongevallen en klachten arbeidsomstandigheden, mei 2020.
- Omgevingsdienst regio Arnhem (2019). Vaststellen van stofemissie van de biomassa stookinstallatie bij Veolia Kleefsewaard bij Arnhem.
- Ouden, B. den, *et al.* (2020). Klimaatneutrale energiescenario's 2050. Scenariostudie ten behoeve van de integrale infrastructuurverkenning 2030-2050. Rapport nr. 61689, maart 2020. Berenschot, Kalavasta Climate Neutral Strategies.
- Planbureau voor de Leefomgeving (2019). Kosten en effecten van opties voor nationaal luchtbeleid. Effecten van maatregelen voor verkeer, houtstook in woningen en landbouw op de blootstelling aan fijnstof, roet en stikstofdioxide en hun kosten. PBL-publicatienummer: 1949. PBL, Den Haag.
- Pilot kennisplatform Windenergie (2015). Kennisbericht Geluid van windturbines, versie 1.0. 2015.
- Poll, H.F.P.M. van (2020). Ernstige hinder en slaapverstoring. Monitoringsgegevens Onderzoek Beleving Woonomgeving (OBW) 2019. RIVM rapport 2020-02116.
- Poll, H.F.P.M. van, Breugelmans, O.R.P., Houthuijs, D. en Kamp, I. van (2018). Beleving Woonomgeving in Nederland: Inventarisatie Verstoringen 2016. RIVM Rapport 2018-0084. RIVM, Bilthoven.
- Ree, J. van der, Honig, E., Uijt De Haag, P.A.M., Kelfkens, G. en Ven, M. van de (2019). Klimaatakkoord: effecten op veiligheid, Gezondheid en natuur. RIVM rapport 2019-0076. RIVM, Bilthoven.

- Reukers, D.F.M., Asten, L. van, Brandsema, P.S., Dijkstra, F., Hendriksen, J.M.T., Hoek, W. van der, Hooiveld, A.B., Lange, M. de, Teirlinck, M.M.A., Meijer, A.C. en Gageldonk-Lafeber, G.A. van (2020). Annual report Surveillance of influenza and other respiratory infections: Winter 2019/2020 RIVM rapport. RIVM, Bilthoven.
- RIVM (2010). Emissies en verspreiding van zware metalen. RIVM Rapport 609100004/2010. 2010.
- RIVM (2010a). Veiligheid grootschalige productie van biogas. Verkennend onderzoek risico's externe veiligheid. RIVM Rapport 620201001/2010.
- RIVM (2014). Feitenrelaas rond de aspecten 'Gezondheid en Veiligheid' van biovergisting. P.A.M. Heezen *et al.* Dit feitenrelaas dient als input voor het rapport van de Commissie Deskundigen Meststoffenwet. RIVM Briefrapport 2014-0162.
- RIVM (2018). Mathijssen, E.A.M., Bogers, R.P. en Rijs, K.J., Gevolgen van houtstook voor het binnenmilieu: een verkenning van de literatuur. RIVM rapport 2018-0170.
- RIVM (2019). Vijftien jaar incidentanalyse. Oorzaken, gevolgen en andere kenmerken van incidenten met gevaarlijke stoffen bij majeure risicobedrijven in de periode 2004-2018. RIVM Rapport 2019-0042.
- RIVM (2020). Rekenvoorschrift omgevingsveiligheid. Toelichting. Oktober 2020
- RIVM (2020a). Toekomstverkenning veiligheid chemiesector. Inventarisatie van ontwikkelingen tussen nu en 2050 die van invloed zijn op de (arbeids)veiligheid. RIVM-rapport 2019-0196. 2020.
- Royal Haskoning DHV (2018). Luchtkwaliteitsonderzoek Nuon biomassacentrale Diemen.
- Rutgers, M., Schouten, T., Wortelboer, R. en Beekman, J. (2019). Verkenning naar mogelijke effecten van zonneparken op grond- en oppervlaktewater in waterwingebieden in de provincie Limburg. Notitie DOC-0001 5649, RIVM/Deltares.
- Schippers Peter, Ralph Buij, Alex Schotman, Jana Verboom, Henk Jeugd, Eelke Jongejans, (2020). Mortality limits used in wind energy impact assessment underestimate impacts of wind farms on bird populations, Ecology and Evolution, 10.1002/ece3.6360, 2020.
- SODM (2020). Toezichtsarrangement Geothermie. Staatstoezicht op de Mijnen. Juni 2020.
- TNO (2019). Brandincidenten met fotonvoltaïsche (PV) systemen in Nederland. TNO 2019 P10287. 13 maart 2019.
- TÜV (2015). Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung. TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH *et al.*, 2015.
- Tauw (2019). Inzicht in lokale luchtkwaliteit van Waddinxveen. Huidige situatie en doorkijk naar 2030. Rapport nr. R002-1267924VLU-V01-ssc-NL. Tauw BV, Deventer.
- Verheijen, E.N.G. en Jabben, J. (2010). Effect of electric cars on traffic noise and safety. RIVM report 680300009/2010. RIVM, Bilthoven.

- Vermeulen, L.C., Brandsema, P.S., Kasstele, J. van de, Bom, B.C.J., Berg H.H.J.K. van den en Roda Husman A.M. de (2019). Mogelijke luchtverspreiding van Legionella door afvalwaterzuiveringsinstallaties: een patiënt-controle onderzoek. RIVM Briefrapport 2019-0195. RIVM, Bilthoven.
- Welkers, D., Kempen, E.E.M.M. van, Helder, R., Verheijen, E. en Poll, H.F.P.M. van (2019). Motie Schonis en de WHO-richtlijnen voor omgevingsgeluid (2018). Het doel heiligt de middelen. RIVM rapport 2019-0227. Bijlage bij brief motie Schonis.
- White, K., Kamp, I. van en Welkers, D. (2020). RIVM factsheet laagfrequent geluid, opgesteld i.o.v. ministerie I&W, project M/240112/19/LF. RIVM, Bilthoven.
- WHO (2011). Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe. WHO regional office for Europe and JRC.

Naast genoemde referenties zijn diverse websites geraadpleegd. Deze zijn hieronder genoemd.

- <https://www.aquathermie.nl/default.aspx>
- <http://www.caithnesswindfarms.co.uk/AccidentStatistics.htm>
- <https://www.deltares.nl/nl/issues/duurzame-energie-uit-water-en-ondergrond/getijdenenergie/>
- <https://www.duurzaambedrijfsleven.nl/energie/31975/aquathermie>
- <https://energienext.nl/wat-is-blauwe-energie-en-wat-zijn-de-voordelen/>
- <https://www.expertisecentrumwarmte.nl/themas/technische+oplossingen/techniekfactsheets+energiebronnen/aquathermie+nieuw/default.aspx>
- <https://federatieveilignederland.nl/nl/handige-informatie/feiten-en-cijfers/feiten-en-cijfers-branden>
- <https://www.fluxenergie.nl/100-000-zeeuwse-huishoudens-krijgen-stroom-uit-getijdenenergie/>
- <https://www.gezen.nl/wp-content/uploads/2018/12/factsheet-CSP-Nederlands-6.pdf>
- <https://www.groenkennisnet.nl/nl/groenkennisnet/dossier/dossier-blauwe-energie.htm>
- <https://www.ifv.nl/nieuws/Paginas/Zijn-zonnepanelen-het-nieuwe-asbest.aspx#>
- <https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/energiebronnen/>
- <https://www.minder.nl/energiebegrippen/blauwe-energie>
- Website NWEA <https://nwea.nl/2>
- <https://www.rivm.nl/windenergie/expertisenetwerk-windenergie>
- <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-energie/windenergie-op-land>
- <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-energie/windenergie-op-zee>
- <https://www.rivm.nl/veilig-werken/infographic-veilig-werken>

- <https://www.technischweekblad.nl/artikelen/tech-achtergrond/goede-vraag-waarom-zitten-we-nog-niet-massaal-aan-de-blaauwe-energie>
- https://nl.wikipedia.org/wiki/Lijst_van_elektriciteitscentrales_in_Nederland
- <https://www.zeeland.nl/digitaalarchief/zee1300661>
- <https://zonopwater.nl/over-zon-op-water>

Bijlage 1. Overzicht van experts

Voor het beoordelen van de gezondheidseffecten en de veiligheidsrisico's (zie Tabel 6.1 en Tabel 6.2) zijn twee aparte sessies met een kleine groep experts georganiseerd. Daarnaast hebben enkele experts vanuit hun vakgebied commentaar op onderdelen van eerdere concepten van het rapport geleverd. De organisaties en de experts staan in onderstaande tabel genoemd.

Organisatie	Expert
GGD	Moniek Zuurbier (GGD Gelderland-Midden) Rob van Strien (GGD Amsterdam)
IFV	Nils Rosmuller
RIVM	<i>Sessie gezondheid</i> Gert Kelfkens Joost van der Ree Kim White Lisbeth Hall Rob Maas <i>Sessie veiligheid</i> Jakko van Kampen Lisette Pompe Piet Timmers Patrick Heezen Paul Uijt de Haag

Bijlage 2. Overzicht berekende concentraties in de leefomgeving en Nederland door verbranding van biomassa

In deze Bijlage wordt een samenvatting gegeven van berekende concentraties fijnstof en NO₂ in de leefomgeving van installaties voor verbranding van biomassa en gemiddeld over Nederland. De berekeningen, afkomstig uit een aantal studies, zijn gebaseerd op gegevens over emissies, de hoogte van de bron, de warmte-inhoud van de rookgassen, de afstand tot de bron en de weersomstandigheden en uitgevoerd met een gangbaar verspreidingsmodel. Analooq aan de indeling in paragraaf 4.7.1 onderscheiden we a) grote biomassacentrales en energiecentrales die biomassa bijstoken, met een vermogen van meer dan 15 MW, b) kleine en middelgrote biomassa installaties en zogenaamde ketels, met een vermogen van 0,1 tot 15 MW en c) houtkachels.

Houtkachels

In een studie van PBL naar kosten en effecten van opties voor nationaal luchtbeleid (PBL, 2019) is een overzicht gegeven van de bijdragen van verschillende bronnen aan de fijnstofconcentratie op leefniveau. De bijdrage van houtkachels en openhaarden bedraagt 15 tot 20% van alle Nederlandse bronnen, overeenkomend met een jaargemiddelde concentratie van ongeveer 0,7 µg m⁻³, inclusief condenseerbaar fijnstof. Dit is hoger dan de waarde uit de meest recente GCN-rapportage (Hoogerbrugge *et al.*, 2020): 0,22 µg m⁻³. Koppejan en de Bree (2018) hebben concentraties fijnstof – exclusief condensables – berekend op verschillende afstanden van een aantal typen kachels. Daarbij zijn ook scenario's doorgerekend die situaties in een woonwijk simuleren, bijvoorbeeld met meerdere schoorstenen van houtkachels op één lijn en een onderlinge afstand van 10 meter. Voor zulke situaties wordt de jaargemiddelde fijnstofconcentratie geschat op 0,05 tot 1 µg m⁻³, afhankelijk van het type kachel en de afstand tot de bronnen. Bij zeer ongunstige omstandigheden kunnen er op korte afstand piekconcentraties voorkomen van meer dan 30 µg m⁻³. Als rekening wordt gehouden met het effect van condensables, kunnen deze piekwaarden 50 tot 100 µg m⁻³ bedragen.

Samengevat wordt de bijdrage van houtstook op de jaargemiddelde concentratie fijnstof over Nederland geschat op 0,2-0,7 µg m⁻³. De totale jaargemiddelde concentratie fijnstof is 16,3 µg m⁻³. De bijdrage van houtstook op de jaargemiddelde concentratie NO₂ over Nederland wordt geschat op 0,5-0,8 µg m⁻³ (PBL, 2019; Hoogerbrugge *et al.*, 2020) op een totale concentratie van 13,7 µg m⁻³. Koppejan en de Bree (2018) hebben geen berekeningen van NO₂-concentraties uitgevoerd.

Biomassa-installaties < 15 MW

In opdracht van de gemeente Waddinxveen heeft Tauw (2019) berekeningen uitgevoerd van de luchtkwaliteit door de invloed van drie nog te vestigen middelgrote biomassa-installaties plus van een aantal bestaande en nieuwe kleine stookinstallaties waarin biomassa wordt toegepast. Voor wat betreft de invloed van deze installaties komen ze tot

vergelijkbare waarden als Koppejan en van Bree (2018): een bijdrage aan de jaargemiddelde fijnstofconcentratie van 0,1 tot 0,2 $\mu\text{g m}^{-3}$ bij de meest nabijgelegen woningen. Tauw heeft ook de concentraties NO_2 in de leefomgeving berekend en komt voor de dichtstbij gelegen woningen op een bijdrage van 1 tot 2 $\mu\text{g m}^{-3}$.

Die bijdrage neemt snel af met grotere afstand.

Koppejan en de Bree (2018) berekenden ook concentraties fijnstof in de omgeving van biomassa-installaties tot 5 MW (zonder rekening te houden met condensables). Deze installaties moeten in principe minimaal 100 meter van de dichtstbijzijnde woonbebouwing liggen. Op die afstand bedraagt de jaargemiddelde fijnstofconcentratie 0,08 tot 0,15 $\mu\text{g m}^{-3}$ voor een installatie met een vermogen van < 1 MW resp. 1 tot 5 MW, en op grotere afstanden neemt deze concentratie verder af. Tauw kwam voor de situatie in Waddinxveen tot vergelijkbare waarden. Er zijn geen gegevens bekend over de bijdrage van emissies uit biomassa-installaties aan de gemiddelde concentraties fijnstof en NO_2 over Nederland.

Biomassacentrales > 15 MW

Met verspreidingsberekeningen in verband met de MER-verplichting van twee grotere biomassacentrales, die van Nuon in Diemen (120 MW) en van Veolia in Arnhem (14,9 MW), zijn jaargemiddelde concentraties in de omgeving geschat van 0,01 tot 0,07 $\mu\text{g m}^{-3}$ fijnstof en 0,5 tot 1 $\mu\text{g m}^{-3}$ NO_2 (Royal Haskoning DHV, 2018); Omgevingsdienst regio Arnhem, 2019).

De bijdrage van emissies uit grote biomassacentrales aan de gemiddelde concentraties fijnstof en NO_2 over Nederland is verdisconteerd in de bijdrage van de energiesector. Deze bedraagt 0,1 $\mu\text{g m}^{-3}$ voor zowel fijnstof als NO_2 .

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag