



**PBL-Notitie**

**Ruimte en energie in  
Nederland**

Een korte verkenning

Ir. P.A. van Hoorn, Dr. J. Matthijsen

Jan.matthijsen@pbl.nl

27 februari 2013

Publicatienummer 500307001

## Samenvatting

Deze notitie schetst de ruimtelijke impact van het huidige energiesysteem en de mogelijke ruimtelijke impact van een koolstofarm energiesysteem waarin de uitstoot van broeikasgassen zo'n 80% lager zijn dan nu. We beperken ons tot de impacts in Nederland. We geven aan wat de mogelijke potentiëlen zijn van verschillende bouwstenen om aan de energiebehoefte in 2050 te kunnen voldoen, uitgaande van een koolstofarm systeem. Bestaande gegevens en verkenningen vormen hiervoor de basis.

De elektriciteitsproductie vindt niet meer uitsluitend in (enkele tientallen) centrales plaats, maar verspreid over meer ruimte en over veel meer (duizenden) kleinere installaties voor wind, zon en bio-energie. Daarnaast veranderen stromen van biomassa, biogas, biobrandstof, warmte en CO<sub>2</sub>. Dat alles heeft veel en soms erg ingrijpende consequenties voor het aanzien en functioneren van stad en land.

Een aantal van deze wijzigingen vallen binnen het bestaande energiesysteem of lijken daar erg op. Niet alles zal daarom opvallen. Mits goed ingepast, liggen in deze kleinschalige oplossingen tal van mogelijkheden om de stedelijke en landelijke omgeving te verfraaien.

## Aanleiding

Naast de kosten van de verwachte energiesysteemveranderingen spelen ruimtelijke aspecten een rol bij de snelheid waarmee en mate waarin nieuwe technieken kunnen worden toegepast. Van uit het ministerie van Infrastructuur en Milieu was er daarom behoefte om meer zicht te krijgen op wat precies de ruimtelijke mogelijkheden in Nederland zijn voor de verschillende energietechnieken in het licht van een energietransitie richting 2050.

## Tot slot

Deze notitie is gemaakt op basis van bestaande gegevens en literatuur rond energie en/of ruimte in Nederland. De belangrijkste hiervan wordt gevormd door een publicatie uit 2011 van het PBL en ECN: "Naar een schone economie in 2050: routes verkend, Hoe Nederland klimaatneutraal kan worden, rapportnummer 500083014, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving".

**Informatie uit deze notitie mag worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: "PBL-notitie Ruimte en energie in Nederland, rapportnummer 500307001, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving."**

## Ruimte en energie in Nederland

Het recente regeerakkoord spreekt van een volledig duurzame energievoorziening in 2050 en de Europese routekaart voor 2050 doelt op een 80-95% vermindering van broeikasgassen zoals CO<sub>2</sub> ten opzichte van 2005. Deze nationale en Europese ambities vergen grote aanpassingen van het huidige energiesysteem.

Grote aanpassingen in het energiesysteem zullen ingrijpende consequenties hebben voor de huidige ruimtelijke structuur van de energiesector en op de ruimtelijke inrichting ervan in Nederland [zie *Figuur 1*]. Hoewel een deel van de broeikasgas uitstootreductie van broeikasgassen achter de fabriekspoorten plaatsvindt en geen noemenswaardige ruimtelijke impact heeft, kent de transitie naar een CO<sub>2</sub> neutraal, duurzaam energiesysteem nu al ruimtelijke vraagstukken.

In theorie is er voldoende ruimtelijk potentieel om met bekende en veelal beproefde technieken een energietransitie te bewerkstelligen. De energievoorziening kan in 2050 voor een belangrijk deel bereikt worden met energie uit zon, wind, biomassa en geothermie. Ook kernenergie kan een rol spelen en er is in 2050 vrijwel zeker nog energie nodig uit olie, aardgas en mogelijk steenkool. Als fossiele bronnen nog een rol van betekenis spelen, is opvang en opslag van CO<sub>2</sub> nodig om een vergaande emissiereductie te halen. Op termijn van veertig jaar zijn nagenoeg alle bestaande installaties afgeschreven en (deels) vervangen. Dat betekent, dat er ook rond de fossiele centrales nog wel iets te kiezen valt.

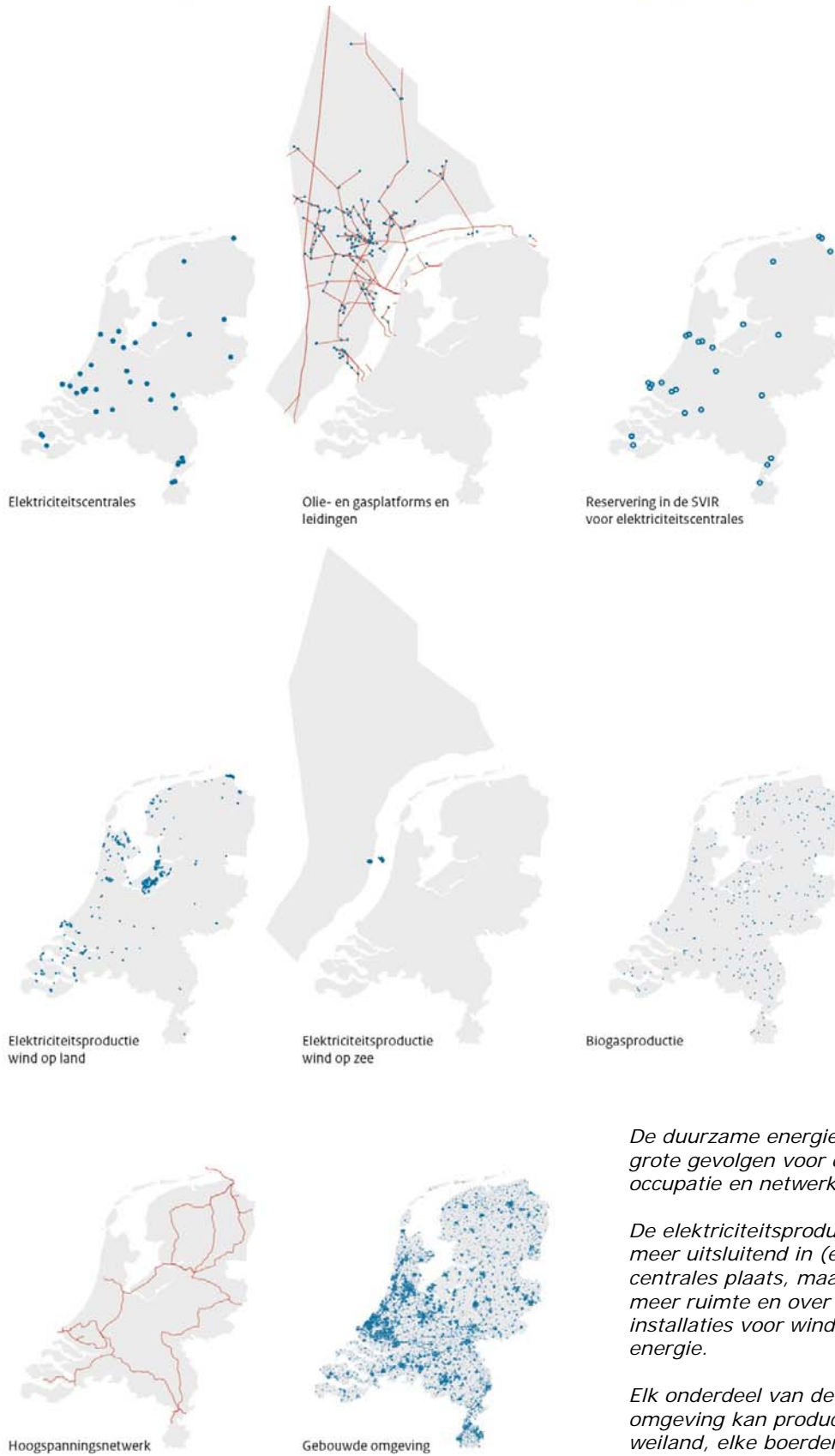
Voor al deze technieken samen inclusief de benodigde infrastructuur is dan wel ruimte nodig. De huidige praktijk laat echter zien, dat de ruimtelijke inpassing van al die nieuwe en bestaande technieken niet vanzelfsprekend is. De acceptatie van de ruimtelijke consequenties speelt een rol bij snelheid waarmee en mate waarin 'een techniek kan worden toegepast; protest in de Eemshaven tegen kolencentrales, protest tegen opvang en opslag van CO<sub>2</sub> onder Barendrecht, protest tegen windmolens in de Veenkoloniën. Als gevolg kunnen projecten worden vertraagd, stoppen of uitwijken uit naar minder optimale locaties.

Een bijdrage aan de oplossing is om te werken aan een meer maatschappelijk gedragen beeld van de energietransitie. Om hoeveel energie gaat het eigenlijk? Waar liggen nog ruimtelijke keuzemogelijkheden? Wat zijn de gevolgen van keuzen van energietransitie voor burgers, regio's en landschappen? Een mogelijk akkoord onder auspiciën van de Sociaal Economische Raad in de eerste helft van 2013 kan hierbij helpen.

In deze notitie schetsen we de ruimtelijke impacts van het huidige energiesysteem en de mogelijke ruimtelijke impact van een koolstofarm energiesysteem waarin de emissies van broeikasgassen zo'n 80% lager zijn dan nu. We geven aan wat de mogelijke potentiëlen zijn van verschillende bouwstenen om aan de energiebehoefte in 2050 te kunnen voldoen. Bestaande gegevens en verkenningen vormen hiervoor de basis.

Figuur 1

Verschillen in ruimtelijke structuur tussen conventionele en hernieuwbare energieopwekking



*De duurzame energievoorziening heeft grote gevolgen voor ondergrond, occupatie en netwerken.*

*De elektriciteitsproductie vindt niet meer uitsluitend in (enkele tientallen) centrales plaats, maar verspreid over meer ruimte en over veel meer installaties voor wind, zon en bio-energie.*

*Elk onderdeel van de gebouwde omgeving kan producent worden, elk weiland, elke boerderij.*

## Ruimtegebruik van de energievoorziening nu en in 2050

### Wat is de relatie tussen ruimte en energie?

Steden en regio's zien zich geconfronteerd met een nieuw soort plannen; voor een grootschalig windpark, voor een warmtenet, een gasrotonde. Er komen steeds meer plannen met een ruimtelijke dimensie waarin energie en de energievoorziening een centrale rol spelen. De gewenste veranderingen in de energievoorziening zijn vaak technisch ingestoken. Langs technocratische weg is het allemaal goed te overzien: meer windturbines, grotere biovergisters, overal zonnepanelen en CO<sub>2</sub> onder de grond. Maar levert dat nog wel een ruimte op waarin we willen leven?

Energie heeft een directe en indirecte ruimteclaim in Nederland, en nieuwe energievoorzieningen brengen nieuwe structureffecten met zich mee. De directe ruimteclaim van een energievoorziening bestaat uit: de plek, het aanzien en het benodigde netwerk. Daarnaast is er een indirecte ruimteclaim die het gevolg is van de bijeffecten van een energievoorziening zoals geluidsoverlast. De regulering hiervan heeft veelal ruimtelijke gevolgen. Structureffecten ontstaan doordat verschillende vormen van duurzame energie rendabeler kunnen zijn als ze ruimtelijk zijn gekoppeld.

### Ruimtegebruik

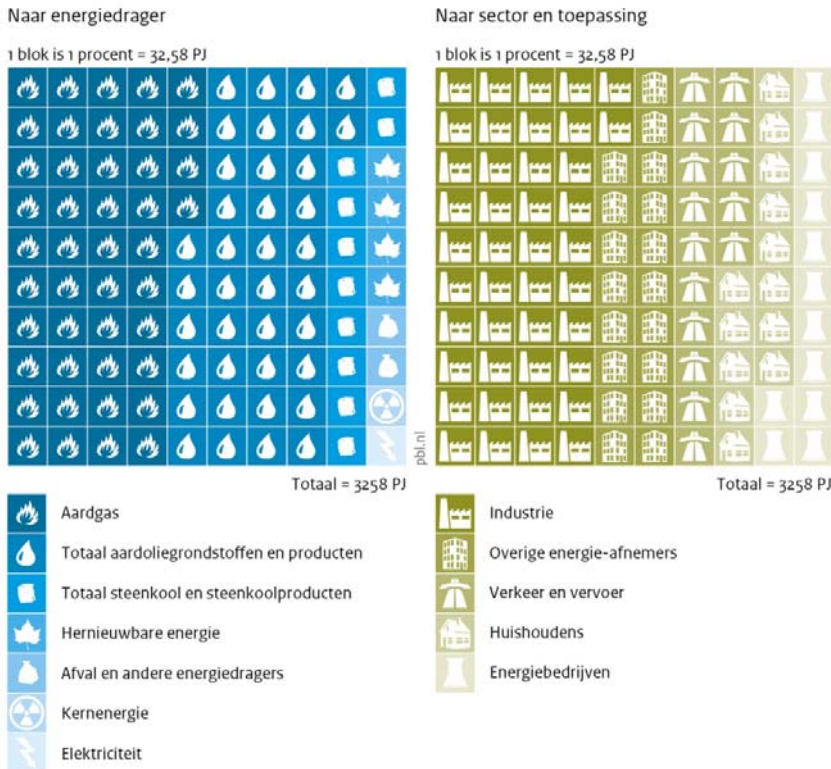
We kennen het ruimtegebruik van de huidige energievoorziening. Het bestaat onder andere uit het ruimtegebruik voor de winning van olie en gas de verwerking van olie- en biobrandstoffen, de kolen- gascentrales, installaties voor de verwerking van biomassa, windturbines, de vele kilometers netwerk voor gas, olie, elektriciteit en warmte. De centrales en infrastructuur hebben een bepaalde levensduur en afschrijvingstijd, die weer een belangrijke rol spelen bij de introductie van nieuwe, duurzame technieken en bijbehorende infrastructuur.

Gekoppeld aan het ruimtegebruik speelt ook de prijs die we voor onze energie kunnen of willen betalen een rol. Onder de grond kost een hoogspanningsnetwerk een veelvoud van een netwerk bovengronds dat als lelijk of zelfs gevaarlijk wordt ervaren. 'Wind op zee' is ook veel duurder dan op land. Hoeveel kunnen we en willen we betalen om nadelige effecten 'weg' te kopen?

### Energieverbruik in 2011 en 2050

Om mogelijke veranderingen van het ruimtegebruik te kunnen bezien is een schatting nodig van het nationale energieverbruik in 2050. Schattingen voor het primair energieverbruik in 2050 lopen sterk uiteen. Voor de energievraag in 2050 geven PBL & ECN (2011) als indicatie een range van 0,8x tot 1,15x de huidige energievraag, circa 3300 petajoules, PJ, per jaar [Figuur 2]. Deze vraag komt bij een koolstofarm energieproductie scenario in 2050 overeen met een primair energieverbruik van ongeveer 2000 tot 3500 PJ [Figuur 3], respectievelijk, bij een maximale inzet van besparingsopties en bij een inzet van huidige technologieën met autonome ontwikkeling maar zonder verdere besparing.

Figuur 2  
Totaal primair energieverbruik, 2011



### Een CO<sub>2</sub> arme en duurzame energievoorziening in 2050

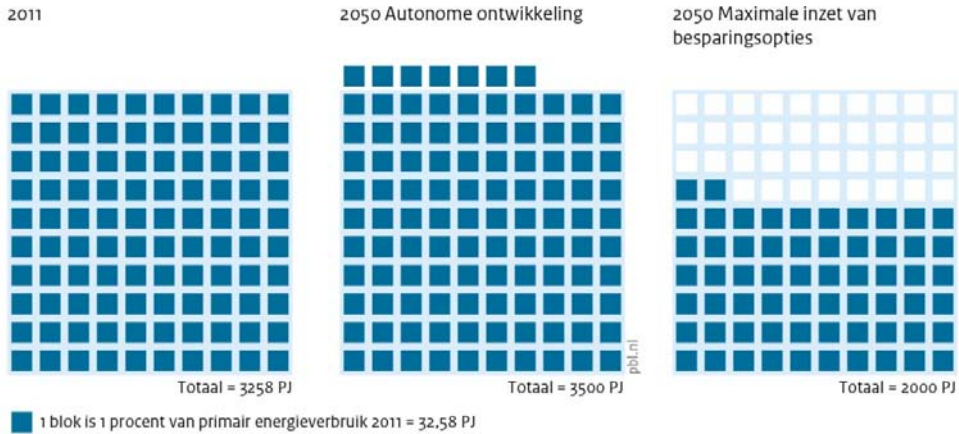
In PBL & ECN (2011) is een aantal verschillende routes verkend naar een CO<sub>2</sub> arme en duurzame energievoorziening in 2050. Hieruit kwamen de volgende cruciale bouwstenen naar voren:

1. vermindering van de energievraag,
2. CO<sub>2</sub> arme elektriciteitsproductie, zoals kernenergie of energie uit wind en zon, in combinatie met elektrificatie bij de energiegebruikers.
3. inzet van biomassa (bio-energie) ter vervanging - deels - van fossiele brandstoffen,
4. afvang en opslag van CO<sub>2</sub> (carbon capture and storage, CCS).

Om het doel in 2050 te bereiken is inzet van alle vier de bouwstenen nodig, naast beperkte inzet van fossiele energie. Het niet inzetten van één van deze bouwstenen zou het uiterste vergen van de andere drie. Een internationale oriëntatie is essentieel bij de uitwerking van de ambities bijvoorbeeld in verband met het uitwisselen van elektriciteit.

Ruimte en energie voor nu en 2050 zijn als bijlagen voor de belangrijkste bestaande technieken uitgewerkt met cijfers van het huidige verbruik en potentieel voor 2050. Het ruimtebeslag is maar in beperkte mate in cijfers uit te drukken. Vooral omdat de keuzes nog ontbreken. Potentiëlen zijn waar mogelijk aangegeven. De ruimtelijke impact per techniek is daarom vaak meer een verhaal rond mogelijkheden.

Figuur 3  
Indicatief energieverbruik, 2050



## Directe ruimtelijke effecten

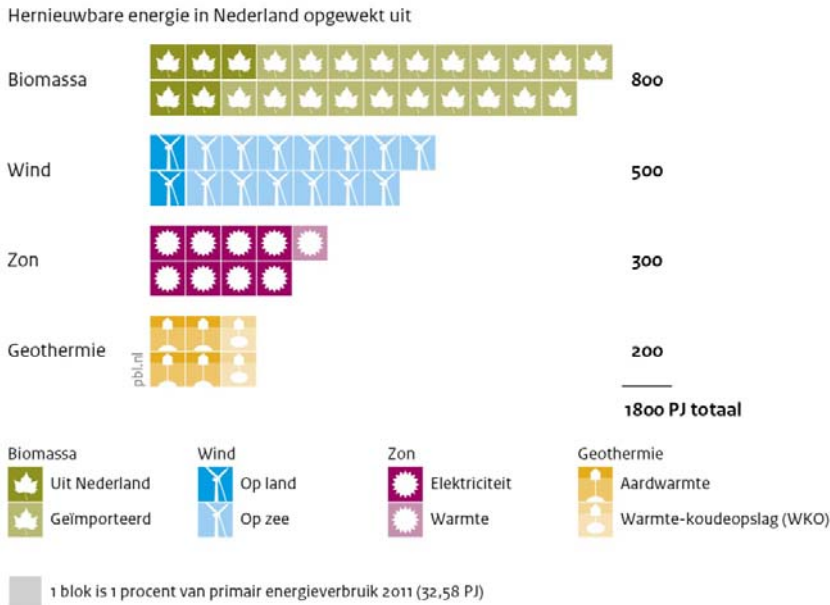
We hebben in de verschillende vakgebieden die met de energietransitie in aanraking komen de neiging om het onderwerp op te splitsen in hanteerbare brokken. De financiering knippen we los van de ruimtelijke inpassing en we kijken naar elke techniek afzonderlijk. Dat komt omdat het totale plaatje moeilijk te behappen is. Maar alles hangt met alles samen en is bovendien ingebed in een internationale setting die weer bepalend is voor drijvende krachten als brandstofprijzen. De Nederlandse elektriciteitsmarkt is gekoppeld aan die in Duitsland, België en Frankrijk. Dus we moeten ook de ruimtelijke aspecten geïntegreerd proberen te behandelen. In deze notitie gebeurt dat nog niet.

Echter juist de optelsom van verschillende belangen maakt het nadenken over eindbeelden zinvol. Welke zeehavens kunnen de windparken het beste bedienen? Hoe kan de inrichting van het Europese elektriciteitsnetwerk de energievoorziening structureren? Wat kunnen windparken op land betekenen voor ecologische natuurwaarden? Dus niet zozeer de optimale allocatie van enkelvoudige functies, maar meer de onderlinge rangschikking van functies en het waarborgen van algemene belangen.

De voorbereidende stap die hier wordt gemaakt is het behandelen op hoofdlijnen van de ruimtelijke aspecten per hernieuwbare techniek. We kijken daarbij naar het potentieel in 2050.



**Figuur 4**  
**Potentieel van bekende hernieuwbare energiesoorten, 2050**



Op basis van de potentiëlen voor de beschikbare hernieuwbare technieken lijkt het mogelijk om in 2050 tussen de 450 en 1800 PJ op te wekken uit hernieuwbare bronnen [Figuur 4: bovenschatting potentieel hernieuwbare energie]. Afhankelijk van inzet en de nog te realiseren energiebesparing is dit tussen 10% en 90% van de indicatieve range voor het totale 2050 energieverbruik. Overigens zal met bijdrage van 10% hernieuwbare energie een CO<sub>2</sub> reductie van 80% of meer niet in zicht komen.

**Bio-energie** staat bovenaan. Bio-energie heeft een enorm potentieel (150-800 PJ), maar bij deze grootschalige inzet zal de meeste biomassa (≥80%) geïmporteerd moeten worden. Grootschalige inzet op bio-energie brengt daarom een ruimteclaim in het buitenland met zich mee en de bijbehorende milieu- natuureffecten en verdringing van voedselproductie. Om biomassa om te zetten in energie die in apparaten of fabrieken gebruikt kan worden (elektriciteit, biogas, biobenzine of -diesel, warmte, etc) zijn verwerkingsinstallaties nodig. Deze conversietechnieken zijn zeer divers. Het directe ruimtebeslag in Nederland wordt vooral bepaald door de benodigde infrastructuur voor de biomassastromen en door de indirecte effecten van installaties. Los van de bijstook in kolencentrales wordt er nu in bijna 500 installaties bio-energie verwerkt of opgewekt.

**Windenergie** heeft na bio-energie het grootste potentieel met circa 500 PJ, vooral door de beschikbaarheid van vrije ruimte op de Noordzee (110-430 PJ). Het aandeel 'wind op land' blijft onder andere door de maatschappelijke acceptatiegraad en de bevolkingsdichtheid naar verwachting beperkt (22-58 PJ). Het maximale potentieel is uiteraard groter naarmate het beschikbaar veronderstelde landoppervlak groter is. De kosten voor de bouw van windmolens op zee met bijbehorende infrastructuur zijn hoger dan op land.



**Zonne-energie** kan een belangrijke bijdrage vormen tot meer dan 300 PJ waarvan 90% elektrisch en 10% thermisch. Ruimtelijk hoeft het nauwelijks tot problemen te leiden, zolang zonne-systemen op daken gevels van de gebouwde omgeving worden gemonteerd. Het beslaat dan wel een groot deel daarvan met een gezamenlijk oppervlak van ongeveer 340 km<sup>2</sup>. Hoewel de techniek nog vrij duur is lijkt het een 'winner' voor de maatschappelijke acceptatie van hernieuwbare energie.

**Geothermie** De bijdrage aan hernieuwbare energie uit *aardwarmte* en *warmte-koudeopslag* zijn nu beperkt, maar kunnen samen in 2050 meer dan 200 PJ opleveren. Het aandeel aardwarmte is hierin nog het meest onzeker. Het zou namelijk aanzienlijk groter kunnen zijn.

De ruimtelijke beperkingen liggen vooral in de ondergrond: interferentie en overlap met andere ondergrondbestemmingen zoals drinkwatervoorziening. Aangezien beide energie leveren voor de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving, zijn de potentiële communicerende vaten. Hoe groter de inzet van aardwarmte zal zijn, des te minder WKO er nodig zal zijn. Daarnaast wordt het potentieel van beide lager in scenario's met veel besparing van de warmtevraag in de gebouwde omgeving, bijvoorbeeld door isolatie. Bij een lagere warmtevraag is investering in warmte immers economisch minder rendabel.

### Ruimte en energie buiten Nederland

Een groot deel van de biomassa, fossiele- en biobrandstoffen komt uit het buitenland. Het ruimtegebruik van de bijbehorende energievoorziening ligt voor dat deel buiten Nederland.

Nederland is relatief dicht bevolkt, waardoor de ruimtelijke inpassing van hernieuwbare energie problemen ondervindt. Het bereiken van een aandeel van 16% hernieuwbaar in 2020 is onder andere daardoor niet eenvoudig.

De mogelijkheid bestaat ook om dit via projecten in het buitenland te doen. Door investeringen elders in Europa hernieuwbare energie op te wekken. Tot 2020 kan Nederlandse deelname aan projecten elders in Europa direct worden meegeteld bij het bereiken van de Nederlandse doelstelling, als het andere land zijn eigen doelstelling heeft bereikt, ten minste. Voor projecten buiten Europa geldt hetzelfde mits de energie naar Europa wordt getransporteerd.

Het is dus mogelijk interessant deze optie verder te verkennen. De kamer is eerder de suggestie gedaan om een aantal concrete pilotprojecten uit te werken (Kamerbrief 31239 nr. 137). Hernieuwbare energieprojecten die door Nederland, ten dele, worden gefinancierd in het buitenland zijn mogelijk gemakkelijker te realiseren of vinden misschien toch al plaats. Of dat netto goedkoper zal zijn is echter onzeker, omdat we bijvoorbeeld ook de werkgelegenheidsbaten zullen missen.

De in Nederland opgestelde energievoorziening heeft invloed op de ons omringende landen en vice versa. De Europese elektriciteitsnetwerken en energiemarkt raken steeds meer verweven. Ook zijn er fysieke ruimtelijke effecten. In 2050 staan de Nederlandse windparken direct naast de Duitse, Engelse en Vlaamse. Daarmee kunnen ze elkaars windopbrengst beïnvloeden. Ook is de opslag in waterbekkens van energie ruimtelijk beperkt voor het groeiende fluctuerende aanbod van wind- en zonne-energie in Europa.

## Netwerken

### Verregaande elektrificatie?

Bij een CO<sub>2</sub> arme energievoorziening in 2050 past een verregaande elektrificatie. Nu wordt niet meer dan een vijfde van het huidige finaal energieverbruik geleverd in de vorm van elektriciteit. In een koolstofarm energiesysteem in 2050 zal dit naar verwachting meer zijn. De productie van elektriciteit vindt dan plaats op veel verschillende schaalniveaus met verschillende technieken en met veel verschillende actoren. Daarvoor zijn grote aanpassingen nodig van het netwerk. Als bovendien een belangrijk deel van de elektriciteitsproductie in 2050 zal bestaan uit wind- en zonne-energie zal er voldoende reservecapaciteit (gascentrales en/of opslagcapaciteit) moeten zijn voor perioden met weinig zonneschijn of windstille dagen. Dit kan zowel in Nederland zelf als daarbuiten zijn. In het laatste geval moet er wel voldoende uitwisselingscapaciteit zijn.

### Elektriciteitsnetwerk

Het elektriciteitsnetwerk in 2050 moet dus niet alleen grotere hoeveelheden elektriciteit aankunnen maar het moet ook geschikt zijn voor een flexibeler management van de beschikbare elektriciteit. Als alternatief kan elektriciteit, deels, worden omgezet in andere energievormen zoals waterstof of methaan (na reactie met CO<sub>2</sub>). Methaan (gas) kan worden ingevoerd in het bestaande gasnetwerk. Een recente proef op Ameland heeft laten zien dat ook waterstof tot 20% kan worden bijgemengd in het bestaande gasnet.

Een belangrijke ruimtelijke uitdaging ligt in de ontwikkeling van het juiste elektriciteitsnetwerk, zodat het zowel geschikt is om grootschalig veel en flexibel elektriciteit te kunnen transporteren en uit te wisselen met andere landen als om heel lokaal kleine elektriciteitsproducenten en -consumenten te bedienen.

### Tot slot

Het is de komende jaren van belang om met alle betrokken partijen in gesprek te blijven over de ruimtelijke impacts van een koolstofarm energiesysteem in 2050. Het kan helpen om met al die verschillende actoren samen de dialoog aan te gaan over de ontwikkelingsrichting, over het afruilen en over de randvoorwaarden die we aan de energievoorziening stellen.

Er zullen belangrijke stappen worden gezet in de richting van een helderder beeld van de periode na 2020. Doelen voor 2030 zullen worden bepaald en bijbehorende beleidsinstrumenten ontwikkeld. Een mogelijk akkoord van de Sociaal Economische Raad in de eerste helft van 2013 kan daarin een belangrijke rol vervullen.

## BIJLAGE Ruimte en energie per bron

### Fossiele energie

Het streven naar een volledig duurzame energievoorziening in 2050 vormt de beperkende factor voor de inzet van fossiele brandstof, niet zozeer het aanbod ervan. Energie uit fossiele brandstoffen domineert nu het ruimtegebruik van energie in Nederland.

In 2050 staan er mogelijk nog steeds kolencentrales en zal er in de industrie mogelijk ook nog steeds van kolen/cokes gebruik worden gemaakt. Er is een aantal voordelen verbonden aan kolen. Stoken op kolen is op dit moment nog steeds een van de goedkoopste energieproductiemethoden, de prijs is relatief stabiel en het komt uit veel landen, en door het bijstoken van biomassa kunnen ze bijdragen aan een duurzame energieproductie. Deze vorm van duurzame energieproductie bestaat nu alleen bij de gratie van de niet duurzame fossiele energiecentrales. Door kolencentrales te combineren met afvang en opslag van CO<sub>2</sub> (CCS; carbon capture and storage) wordt de uitstoot van CO<sub>2</sub> sterk verminderd (90% uitstootreductie). In het geval van biomassa bijstook kan zelfs een CO<sub>2</sub>-sink gerealiseerd worden (negatieve uitstoot). Opslag van CO<sub>2</sub> onder land stuit op maatschappelijke bezwaren en CCS is nog niet of nauwelijks operationeel.

Gascentrales vormen een aantrekkelijke aanvulling op wind- en zonne-energie. Per opgewekte energie-eenheid is de uitstoot van CO<sub>2</sub> ongeveer de helft van die van een kolencentrale. Ze zijn snel regelbaar en kunnen daardoor de pieken en dalen in het fluctuerende duurzame aanbod opvangen. Echter de kosten om een gascentrale te draaien zijn hoger dan die van een kolencentrale door de huidige brandstofprijzen en de CO<sub>2</sub>-prijs.

Voor zowel kolen- als gascentrales geldt, dat Nederland in de belangstelling staat van een internationale markt Europa. Internationale energieproducenten zoeken (min of meer zonder oog voor de landsgrenzen) naar de bedrijfseconomisch beste locatie voor de productie. Zo komt er door de gunstige ruimtelijke omstandigheden (havencapaciteit, koelwater) tot 2020 fossiele energieproductievermogen bij, en worden investeringen in hernieuwbare energie mede bepaald door het verschil in subsidies in verschillende landen.

De invoer, bewerking en uitvoer van olie en olieproducten is een belangrijk element in de Nederlandse economie met ruimtelijke aspecten. Ook met een mogelijke omschakeling van de mobiliteitssector naar biobrandstof (vooral voor zwaar transport) is nog steeds een omvangrijke chemische industrie nodig. Andere verschuivingen in de energie van mobiliteit, te weten besparing en de inzet van (gedeeltelijk) elektrisch rijden en/of waterstof, hebben ook gevolgen op de productie en distributieketen van brandstof uit olie. Het is echter nog moeilijk in te schatten wat de ruimtelijke gevolgen zullen zijn, omdat ze nog sterk afhangen van technologische keuzes.

Hoewel huishoudens relatief steeds minder gas aan het gebruiken zijn, zal gas nog lang een belangrijk onderdeel van de Nederlandse energievoorziening zijn. Dit geldt ook voor de industrie. Mogelijk zal het uitgebreide, hoogwaardige gasnetwerk gebruikt worden voor andere sectoren, zoals mobiliteit.

Ruimtebeslag in het buitenland: milieueffecten, geopolitieke risico's door afhankelijkheid van levering door onbetrouwbare landen.

Kolen	Huidig	Potentieel 2050
<b>Direct ruimtegebruik</b>	centrales op 4 locaties + bulk + opslag + infrastructuur; industrie (hoogovens)	
<b>Indirect ruimtegebruik</b>	Milieuzone, beleving	Idem
<b>Totaal verbruik (PJ)</b>	313	100-460*

Gas <sup>1</sup>	Huidig	Potentieel 2050
<b>Direct ruimtegebruik</b>	centrales op 25 locaties + opslag; industrie	
<b>Indirect ruimtegebruik</b>	Milieuzone, beleving	Idem
<b>Totaal verbruik (PJ)</b>	1434	200-1400*

Olie	Huidig	Potentieel 2050
<b>Direct ruimtegebruik</b>	Petrochemie, transport brandstof, distributie (bv benzinstations)	
<b>Indirect ruimtegebruik</b>	Milieuzone, beleving	Idem
<b>Totaal verbruik (PJ)</b>	1252	700-1500*

\* *obv. PBL & ECN (2011) Het totaal verbruik is inclusief conversieverliezen en omzetting naar grondstoffen, benzine, diesel etc.*

## Kernenergie

Kernenergie is omstreden maar de benodigde grondstoffen kunnen nog lang geleverd worden. Veiligheidseisen worden echter hoger, en daarmee ook de bouwkosten. Plannen voor een nieuwe kerncentrale bij Borssele zijn op dit moment om vooral economische redenen van tafel. In Duitsland stopt men volledig met kernenergie. Frankrijk faseert veel rustiger en alleen ten dele uit. Het land 'draait' ook voor een veel groter deel op kernenergie. In andere Europese landen worden nieuwe kerncentrales gebouwd of ontwikkeld. Zo is in Finland een centrale van 1600 MW in aanbouw.

In Nederland wordt in de structuurvisie infrastructuur en ruimte (SVIR) rekening gehouden met nieuwe locaties om kernenergie op te wekken. Een duurzame energievoorziening in 2050 kan in principe zonder kerncentrales, zoals ze ook zonder zonne-energie of windenergie zou kunnen. Daar staat tegenover, dat ongeveer tien kerncentrales de hele Nederlandse elektriciteitsbehoefte zouden kunnen verzorgen, zonder CO<sub>2</sub> uitstoot.

Ruimtebeslag in het buitenland: winning van uranium.

<sup>1</sup> Uit de ondergrond van Nederland kan ook schaliegas gewonnen worden. Dat blijkt onder andere uit proefboringen. Deze optie wordt hier verder niet uitgewerkt.

Uranium	Huidig	Potentieel 2050
<b>Direct ruimtegebruik</b>	centrale op 1 locatie en opslag van afval	Geen tot een aantal centrales op een beperkt aantal locaties met bijbehorende opslag van afval
<b>Indirect ruimtegebruik</b>	P.M.	
<b>Opgesteld vermogen (GW)</b>	0,5	0-10*
<b>Totaal verbruik (PJ)</b>	14	0-400*

*\* obv PBL & ECN (2011). Er is verondersteld dat er tot 2050 maximaal vier nieuwe kerncentrales van elk 2,5 GW kunnen worden gebouwd, waarmee 80 TWh elektriciteit kan worden geproduceerd.*

### Bio-energie

Op dit moment is biomassa met een bijdrage van driekwart de belangrijkste bron van hernieuwbare energie. Het wordt op vele manieren gebruikt. De drie belangrijkste grootschalige toepassingen zijn wat betreft eindverbruik: afvalverbrandingsinstallaties (20%), het verbruik van biobrandstoffen in het wegverkeer (19%) en het meestoken van biomassa in elektriciteitscentrales (18%).

Er zijn veel verschillende vormen van opwekking van energie uit biomassa en elke vorm heeft min of meer zijn eigen ruimtelijke keten. Met keten bedoelen we de route die de biomassa aflegt om nuttige energie te worden: productie van biomassa, transport naar verwerkingslocatie, de verwerking zelf, de omzetting naar bruikbare energie en de distributie van nuttige energie voor eindgebruikers.

Hoe kunnen we die verschillende ketens overzien vanuit een ruimtelijk oogpunt? Een belangrijk onderscheid is het land van herkomst. Er zijn buitenlandse en binnenlandse bronnen voor biomassa.

#### Buitenlandse biomassa

De ruimtelijke impact van de geïmporteerde biomassa heeft voor het overgrote deel veel weg van kolen of olie: bulkmateriaal komt via havens bij (min of meer "reguliere") centrales of raffinaderijen. Daar wordt het vaste en vloeibare materiaal omgezet in elektriciteit en warmte of biobrandstof.

De distributie van grootschalige biomassa verloopt haast ongemerkt. Elektriciteit en warmte gaan de bestaande (of daarmee vergelijkbare) netwerken in. Biobrandstof, zoals biodiesel, wordt nu al in de reguliere brandstofketen opgenomen. De bijmenging is nu al 4%, oplopend naar 10% in 2020. Het kabinet Rutte-1 heeft aangegeven het aandeel van 10% al te willen realiseren in 2016.

Er zijn waarschijnlijk structureffecten bij het ruimtebeslag van energieopwekking uit grootschalige, geïmporteerde biomassa.

- Ten eerste zullen biomassa-centrales eisen stellen aan hun bereikbaarheid over water (voor de bulk), aan hun omgeving (milieuoverlast) en aan het netwerk (warmte en elektriciteit moet afgezet kunnen worden). De ruimtelijke spreiding van de keten binnen Nederland zal daarom vermoedelijk lijken op die van kolen en olie. Opwekking van energie uit biomassa, met name elektriciteit, is in de regel minder efficiënt dan uit fossiele brandstoffen. Er zal daarom meer bulk vervoerd moeten worden voor hetzelfde energieresultaat – en meer bulk kost meer ruimte.

- Een tweede mogelijk structureffect is de combinatie met CCS. Die lijkt nog niet aan de orde onder andere vanwege de hoge kosten van CCS. Echter, omdat CCS met biomassa op papier netto CO<sub>2</sub> onttrekt uit de atmosfeer is ze op termijn mogelijk zeer belangrijk voor het klimaatbeleid. Het structureffect bestaat uit de nabijheid van gasvelden of CO<sub>2</sub> leidingennetwerk.

#### Binnenlandse biomassa

De andere ruimtelijke keten wordt afgelegd door de binnenlands geproduceerde biomassa.

De binnenlandse stroom voor bio-energie is veel kleiner. Nederland zal de energiegewassen voorlopig eerder op de wereldmarkt kopen dan zelf verbouwen. De belangrijkste reden om dat te vermoeden zijn de kosten. In Nederland geteelde energiegewassen brengen per hectare minder op dan voedselproducten.

Er is bovendien veel teeltoppervlakte nodig per eenheid energie. Zo is om het energieverbruik van één persoon in Nederland uit biomassa te halen 600 tot 800 m<sup>2</sup> bos nodig. Om aan totale nationale energiebehoefte te kunnen voldoen zou een bos in de orde van drie keer Nederland nodig zijn – en dat is nog een van de meest energierijke vormen.

Binnen Nederland komen daarom vooral afval en bijproducten in aanmerking als bron voor bio-energie. Dat kunnen restproducten zijn uit de industrie en landbouw (gewasresten en mest), natuur/groen/recreatiegebieden (snoeiafval), of bouwafval, huisvuil en rioolwater.

Veel van deze materialen kunnen door vergisting, vergassing of verbranding worden omgezet tot energiedragers (gas en warmte). Bij kleine systemen wordt het gas of de warmte direct benut. Dat is bijvoorbeeld het geval bij kleine vergisters op boerderijen, waar het eigen afval wordt verwerkt. Grotere systemen draaien op het aanbod van afval uit de hele omgeving. Die systemen leveren meer op en kunnen na nabewerking toeleveren aan gascentrales of zelfs aan het reguliere gasnetwerk.

De binnenlandse ketens leiden tot structureffecten. Per hoeveelheid biomassa is er vergeleken bij fossiele brandstof maar weinig energieopbrengst. Het heeft daarom niet veel zin om ver te rijden met de biomassa. Door de korte afstanden zullen er structureffecten op zullen treden, bijvoorbeeld meer vergisters in het agrarische gebied. Daarnaast zijn er indirecte effectendoor stankhinder en volksgezondheidsrisico's.

Het benutten van biomassa voor energie wordt niet door iedereen gezien als een duurzaam proces. Bij het telen raakt de bodem uitgeput, zijn meststoffen nodig. En bij het oogsten en verbranden komen schadelijke stoffen vrij.

Daarom wordt er wel gepleit voor zogenaamde cascadering. Cascadering is het benutten van biomassa in opeenvolgend multifunctioneel gebruik van biomassa, waarbij de meest hoogwaardige toepassing het eerst plaatsvindt. In deze cascade is de omzetting tot nuttige energiedrager de laatste stap. Extreem gesteld begint een boom zijn carrière in een duurzaam bos, wordt daarna een viool, daarna een stoel daarna een vezelplaat en wordt daarna pas verbrand in een elektriciteitscentrale. Overigens, bij dit efficiënte gebruik van biomassa blijft er minder over voor directe opwekking van energie. Het beperkt het potentiële aandeel hernieuwbaar van bio-energie.

<b>Biomassa</b>	<b>Huidig</b>	<b>Potentieel 2050</b>
<b>Direct ruimtegebruik</b>	467 installatie + infrastructuur	> 1000 installaties op verschillende schaal niveaus + infrastructuur
<b>Indirect ruimtegebruik</b>	Sterk wisselend; milieu, natuur, beleving	Idem
<b>Biobrandstof</b>	≈ 10% totaal verbruik	Belangrijk deel van het potentieel
<b>Totaal verbruik (PJ)</b>	117	200-800*

\* *obv. PBL & ECN (2011). Biobrandstoffen: bijv. groengas, biodiesel, biobenzine.*

## Windenergie

Het directe ruimtebeslag van windturbines is relatief klein, maar ze hebben grote indirecte impact met name op land. Ze zijn tot op grote afstand zichtbaar (>20 km) en hoorbaar (>1 km). Op 2,5 km afstand hebben windmolens nog een aanzienlijke impact op de landschapswaardering. Ook is er sprake van impact op diergroepen zoals vleermuizen, vogels en vissen. Daarnaast zijn er veiligheidszonerings om windturbines heen, waardoor het gebruik van ruimte door andere functies belemmerd wordt. Voor tenminste 70% van het opgestelde windvermogen is op een of andere manier achtervang nodig om natuurlijke fluctuaties te kunnen opvangen. In totaal zouden wind op land en zee samen goed kunnen zijn voor ongeveer 500 PJ, oftewel tussen de 10% en 20% van het geschatte (primair) energieverbruik in 2050.

## Wind op land

De belangrijkste structureffecten van wind op land zit in de uitsluiting van andere functies. Hoewel er rond het directe grondgebruik nog wel extensieve functies als landbouw mogelijk zijn, is bewoning lastiger. Een tweede structureffect is de verspreide aansluiting op het elektriciteitsnetwerk. Bij grotere vermogens wind is zowel de aansluiting zelf als de stabiliteit op het netwerk mogelijk een probleem.

Het ruimtebeslag in 2050 voor windenergie op land kent een zeer ruime marge omdat de technische parameters van windturbines een grote bandbreedte hebben. Hierbij speelt de plek in verband met de hoeveelheid wind ook nog een rol. Daarnaast heeft het politieke krachtenveld veel invloed heeft op het ruimtegebruik, zowel in locatiekeuze voor turbines, als in de dimensionering, als in omvang van de parken. De verwachting in de studies van PBL en ECN is, dat na 2020 wind op land niet veel verder zal groeien, althans niet van rijkswege. Immers, de maatschappelijke acceptatie van grootschalige windparken is niet vanzelfsprekend.

Het beoogde windvermogen op land voor 2020 van 6 GW is drie maal zoveel als wat er nu staat. In Nederland heeft Flevoland de hoogste windenergiedichtheid met een opgesteld vermogen van 0,4 MW per vierkante kilometer. Uitgaand van zo'n windenergiedichtheid is er dus nog 10.000 km<sup>2</sup> nodig voor de realisatie van de extra 4 GW in 2020. Dat is meer dan een kwart van Nederland met een windmolendichtheid van Flevoland. Een kleiner ruimtebeslag kan worden gerealiseerd door windmolens meer te concentreren en de bestaande windturbines met een relatief klein vermogen vervangen door turbines met een hoger vermogen. In de zoekgebieden uit de SVIR staat driekwart (1,5 MW) van het huidige windvermogen opgesteld.



Figuur 5  
Windmolenlocaties, 2012



Wind op land	Huidig	Potentieel 2050
<b>Direct ruimtegebruik</b>	2000 masten en platforms	2000-8000
<b>Indirect ruimtegebruik</b>	planologie, milieu, landschap, beleving	Idem
<b>Opgesteld vermogen (GW)</b>	2	4-8*
<b>Totaal verbruik (PJ)</b>	16	22-58

\* Het theoretische potentieel ligt vele tientallen gigawatts hoger. Deze range is een schatting voor 2050 inclusief de 'tegenwind' als gevolg van issues rond acceptatie, netwerk en achtervang.

## Wind op zee

Het ruimtegebruik van wind op zee kent vergelijkbare grote marges als bij wind op land. Het Nederlands continentale plat heeft echter zo'n ruim oppervlak, dat we uit mogen gaan van een groot potentieel aan energie. Zelfs wanneer we alle bestaande ruimtegebruik ongemoeid laten, dan loopt het potentiële vermogen naar de tientallen gigawatts.

Echter, niet al deze gigawatts op zee zijn even duur. Naarmate er in ondieper water en dicht bij de kust gebouwd kan worden, zijn de kosten lager. Daarom zoekt het Rijk in het Waterplan ook in het drukkere gebied, dichtbij land naar mogelijkheden voor windparken.

Hoewel er op zee geen omwonenden zijn van windparken speelt hinder bij windparken in de buurt van de kust wel een rol. De kustzone is het meest gewaardeerde landschap van Nederland. Ook is de zee zeker niet leeg. Er zijn tal van andere belangen, zoals natuur, zandwinning, visserij, Defensie, toeristenindustrie en kustgemeenten, die door windenergie gehinderd kunnen worden en dat maakt een zorgvuldige inpassing van groot belang. Rondom turbines, en dus ook in windparken, gelden beperkingen voor vaarverkeer. Een zorgpunt met windenergie is de impact op de ecologie. Uit eerste metingen blijken slechts bescheiden en hanteerbare natuureffecten, maar er is voorzichtigheid gewenst bij veel grotere uitrol van de techniek. Er worden overigens ook positieve natuureffecten gezien.

Tot 2020 wordt in het National Renewable Action Plan voor Nederland een groei voorzien van het huidige vermogen naar 5 GW, maar de inpassing daarvan is slechts ten dele vastgelegd. Plannen voor wind op zee na 2020 zijn nog onzekerder. Het Waterplan meldt een doorgroeimogelijkheid in Noordelijke richting, maar dat zoekgebied is niet duidelijk omkaderd.

Ook elders op de Noordzee wordt gebouwd. Alle landen aan de Noordzee zijn actief met wind op zee. In totaal leveren de plannen voor 2020 alle wind op zee plannen 40 GW in Europa - dat is ook op andere wateren, maar het accent ligt op de Noordzee. Wanneer we de zoekgebieden voor 2030 en verder meerekenen gaat het bedachte vermogen richting de 150 GW.

Wanneer we het ruimtegebruik van alle functies honoreren, en slechts de overgebleven ruimte op zee aanwenden voor windenergie, dan is er nog voldoende ruimte voor 24 à 34 GW aan windenergie op het Nederlands continentaal plat.

Wind op zee	Huidig	Potentieel 2050
<b>Direct ruimtegebruik</b>	96 masten in twee windparken voor de kust	2000-20.000 masten in windparken op het Nederlands continentaal plat
<b>Indirect ruimtegebruik</b>	Natuur, beleving, interferentie met ander functies	Idem
<b>Opgesteld vermogen (GW)</b>	0,23	10-34*
<b>Totaal verbruik (PJ)</b>	2,4	110-430

\* 10 GW conform Waterplan; 34 GW volgens PBL & ECN (2011); het National Renewable Action Plan noemt 5-6 GW in 2020. Door het verschil in windkracht is de opbrengst op zee van dezelfde windturbine 1.5 tot 3 groter dan op land.

Het beoogde windvermogen op land voor 2020 van 6 GW is drie maal zoveel als wat er nu staat. In Nederland heeft Flevoland de hoogste windenergiedichtheid met een opgesteld vermogen van 0,4 MW per vierkante kilometer. Uitgaand van zo'n windenergiedichtheid is er dus nog 10.000 km<sup>2</sup> nodig voor de realisatie van de extra 4 GW in 2020. Dat is meer dan een kwart van Nederland met een windmolendichtheid van Flevoland. Een kleiner ruimtebeslag kan worden gerealiseerd door windmolens meer te concentreren en de bestaande windturbines met een relatief klein vermogen vervangen door turbines met een hoger vermogen. In de zoekgebieden uit de SVIR staat driekwart (1,5 MW) van het huidige windvermogen opgesteld.

### Zonne-energie

Zonne-energie biedt het voordeel dat aanbod van energie dicht bij de vraag kan worden gebracht en dat ook burgers en bedrijven de mogelijkheid krijgen om zelf op relatief kleine schaal hernieuwbare energie op te wekken. De kosten zijn nu nog hoog en zonne-energie zal zonder ondersteuning pas op langere termijn economisch rendabel worden.

De toepassing van zonne-energie zal in Nederland gekoppeld zijn aan de gebouwde omgeving: op daken, tegen gevels van huizen, op kantoren en bij de industrie. Investerings in grootschalige zonnecentrales/zonne akkers in Nederland worden niet voorzien. Naast de kosten van de zonnesystemen zelf zijn er in dat geval nog kosten door het extra ruimtebeslag. In de gebouwde omgeving hebben zonnesystemen geen extra direct ruimtegebruik, anders dan de installatie in en op gebouwen. Bij grote lokale inzet moet het netwerk geschikt zijn/gemaakt worden om kleine lokale producenten te kunnen bedienen. Bovendien maken natuurlijk fluctuaties in zonne-energie net als bij windenergie een achtervangsysteem nodig voor een continue en betrouwbare energielevering.

Niet alleen elektriciteit uit zon (zon PV) is interessant, maar zeker ook warmte uit zon. Zonneboilers kunnen in combinatie met beter geïsoleerde huizen of laagcalorische industriële processen ingezet worden.

Zon elektrisch	Huidig	Potentieel 2050
<b>Direct ruimtegebruik</b>	Daken en gevels in de bebouwde omgeving	340 km <sup>2</sup> op woningen*
<b>Indirect ruimtegebruik</b>	beleving	beleving
<b>Opgesteld vermogen (GWp)</b>	0,13	93
<b>Totaal verbruik (PJ)</b>	0,3	275*

Zon thermisch	Huidig	Potentieel 2050
<b>Direct ruimtegebruik</b>	> 125 duidend in de bebouwde omgeving; 0,8 km <sup>2</sup>	20 km <sup>2</sup> *
<b>Indirect ruimtegebruik</b>	beleving	beleving
<b>Totaal verbruik (PJ)</b>	Onbekend	29*

\*obv PBL & ECN (2011)

## Geothermie

Bij energie uit zowel aardwarmte als warmte-koudeopslag (WKO) wordt gebruik gemaakt van de ondergrond. Er wordt per saldo echter geen materiaal onttrokken, hooguit warmte. Aardwarmte kan in theorie een veel grotere rol gaan spelen in de elektriciteitsvoorziening en warmtelevering aan gebouwen dan nu. Aardwarmte kan ten minste zo belangrijk worden als restwarmte en warmte-koudeopslag.

Aardwarmte is bodemwarmte in de ondergrond vanaf 1 à 2 kilometer. De temperatuur neemt per kilometer diepte toe met gemiddeld 30 graden Celsius in Nederland. Op grotere diepte typisch vanaf 3 kilometer is de temperatuur zo hoog dat uit een geothermische bron ook elektriciteit kan worden opgewekt.

WKO speelt zich af tussen 20 en 200 meter en kan bijna overal in Nederland worden toegepast. Een aantal regio's zijn echter minder geschikt: oostelijk deel van de provincies Gelderland, Overijssel en Drenthe, de Peelhorst in Noord-Brabant en delen van Limburg.

Het directe ruimtegebruik van aardwarmte en WKO aan het oppervlakte is gering. Voor een aardwarmteinstallatie wordt een oppervlaktebeslag van 400 m<sup>2</sup> per GWh geschat. Voor dezelfde hoeveelheid elektriciteit neemt een kolencentrale 9x en een windpark 2 à 3x zoveel ruimte in beslag. Een WKO installatie ter grootte van ongeveer een zeecontainer is voldoende voor een hele wijk. Wel zijn er ruimtelijke conflicten mogelijk als putten te dicht bij elkaar staan dan beïnvloeden ze elkaars warmte/koude of als er sprake is van grondwaterwinning en bodemverontreinigingen.

Aardwarmte	Huidig	Potentieel 2050
<b>Direct ruimtegebruik</b>	4 locaties	10- tot 100-tallen
<b>Totaal verbruik (PJ)</b>	0,3	10-125

WKO	Huidig	Potentieel 2050
<b>Direct ruimtegebruik</b>	42 duizend locaties	100 duizenden locaties
<b>Totaal verbruik (PJ)</b>	3,8	60-80

## Waterkracht en andere technieken

Het potentieel voor waterkracht is in het vlakke Nederlandse landschap beperkt (7 installaties, 37 MW, 0,2 PJ) . Er is een klein aantal waterkrachtcentrales met een beperkte energieproductie. Daarnaast is er wel belangstelling voor andere energietechnieken met water, hoewel er nog niet veel werkende installaties zijn. Het rendement lijkt bovendien voorlopig laag. Het gaat om energie uit golfslag, en getijden. Energie uit osmose wordt verkend en nog een aantal andere technieken liggen op de tekentafel of zijn in de experimentele fase.

Bij stijgende energieprijzen worden met innovatieve ontwikkelingen niet alleen duurzame energievormen rendabel. Ook wordt exploitatie van bestaande fossiele energievoorraden in Nederland mogelijk weer economisch interessant. Zo is de oliewinning bij Schoonebeek weer opgepakt. Uitwerking van plannen voor ondergrondse vergassing van steenkolen en winning van schaliegas kunnen grote ruimtelijke impact hebben onder andere via milieu, natuur en landschapsbeleving. Winning van deze fossiele brandstoffen zal sterk afhankelijk zijn van de prijs die moet worden betaald voor de uitstoot van CO<sub>2</sub>, en het gevoel van voorzieningszekerheid van andere aanvoer zoals gas uit Rusland.

## BIJLAGE Energienetwerken in 2050

De energienetwerken van 2050 zullen er anders uitzien dan nu. De hiervoor genoemde energietechnieken zijn daar een belangrijke reden voor.

Op het elektriciteitsnetwerk moeten vraag en aanbod per definitie aan elkaar gelijk zijn. Dat is problematisch in het geval van wind- en zonne-energie, omdat het aanbod daarvan varieert en soms zelfs tot nul komt. Naarmate het gemiddelde aandeel fluctuerend hernieuwbaar op het netwerk groter wordt, kan het lastiger worden om de overal vraag en aanbod in balans te houden.

De balans werkt beide kanten op. Hernieuwbaar moet afgeschakeld kunnen worden als het aanbod te hoog wordt. Op andere momenten is de vraag zo hoog dat hernieuwbaar er niet aan kan voldoen, of dat hernieuwbaar niet beschikbaar is. Daarom is er altijd een achtervang nodig voor de capaciteit van hernieuwbaar. Beide vragen een netwerk dat beter regelbaar is, en over grotere afstanden regie geeft aan de netbeheerder(s), over meer aanbieders.

Er zijn drie belangrijke ontwikkelingen die het netwerk aanvullen en die tot nieuwe ruimtelijke voorzieningen leiden.

1. Kleine vragers en aanbieders kunnen meer marktprikkels krijgen of en gebundeld worden.

Dat gebeurt nu al, bijvoorbeeld door het dag- nachttarief. De verschillen in tarief zijn bedoeld om pieken in de vraag af te vlakken. De veelbesproken 'slimme meter' kan in combinatie met een 'slim net' in het verlengde van vraag-sturende systemen werken. Dan wordt ook het over het verloop van dag of nacht het prijsverschil groter waarop bijvoorbeeld kleinere bedrijven kunnen gaan reageren.

Een mogelijke aanvulling aan de aanbodkant is het bundelen van aanbieders van bijvoorbeeld zonnestroom per wijk of van micro-wkk (HR ketels die ook elektriciteit opwekken. Die wijk of buurt zou dan door de netbeheerder in een keer bij of afgeschakeld kunnen worden. Afschakelen is nadelig voor een lokale stroomproducent, want die krijgt op dat moment geen geld voor stroom die hij niet 'mag' leveren. Vooralsnog zal dit in Nederland een kleine rol spelen.

2. Opslag van energie. Bij tijdelijk overaanbod wordt de energie opgeslagen en wanneer de vraag weer stijgt wordt die energie aangewend.

Ook van deze techniek zijn al praktische voorbeelden, zoals (grootschalig) wateropslag in fjorden in Noorwegen en (zeer kleinschalig) buurtbatterijen. Pumped storage, vliegwielen, batterijen, waterstof en methaan (uit waterstof en CO<sub>2</sub>) etc. worden verder verkend als mogelijkheden om elektrische energie op te slaan.

Deze eerste twee ontwikkelingen kunnen tot nieuwe, nog niet te overziene veranderingen in de ruimte leiden. Er zijn veel ideevormende verkenningen. Die variëren van meer meet- en regeltechniek in de meterkast van gebouwen of compleet nieuwe netwerken, zoals bijvoorbeeld van waterstofgas, of nieuwe nutsgebouwen in wijken, tot het oppompen van het complete IJsselmeer en de aanleg van een kunstmatig (energie) eiland in de Noordzee.

3. Interconnectie, verbindingen over landsgrenzen. Door de netwerken van verschillende landen met elkaar te verbinden kunnen pieken en dalen in vraag en aanbod meer afgevlakt worden.

Verkenningen laten zien, dat in een volledig verknoopt Europees netwerk de achtervangcapaciteit van hernieuwbaar veel minder groot hoeft te zijn dan het benodigde minimum van 70%. De interconnectie wordt ook nagestreefd vanwege andere belangen, zoals de marktordening en prijsbeheersing.

Overigens, naast interconnectie kijkt Europa naar institutionele aspecten van het netwerk om hernieuwbare energie betere kansen te geven, bijvoorbeeld door het veranderen van de tijdschaal waarop energie verhandeld wordt.

Naast deze innovatieve sporen op het elektriciteitsnetwerk is ook het aardgasnetwerk in ontwikkeling. Door de productie van groen gas veranderen de stromen van gas door het land. Aan de andere kant wordt er geleidelijk minder op aardgas gekookt en gestookt. Nieuwe woningen worden steeds vaker zonder gasaansluiting geleverd. Toch is gas nog lang niet afgeschreven.

Een paar voorbeelden. Een groot deel van de bestaande huizen draait nog wel op gas en zou zelfs een bredere toepassing kunnen krijgen. Zo kan (groen) gas mogelijk efficiënt ingezet worden voor als aanvulling op laagcalorische verwarming in de vorm van micro-wkk. Of als efficiënte opwarmer van de wasdroger (de gebeurt al: je schone was drogen met mestgas!). Het is ook denkbaar dat auto's op aardgas gaan rijden en schepen op LNG (Liquefied Natural Gas). Beide opties leiden overigens tot een verbetering van de luchtkwaliteit. Daarnaast is de rol van waterstofgas nog niet te overzien. Zo 'n transitie is niet voorzien in het biobrandstof/benzine netwerk.

## Bronnen

- CBS (2012) *Hernieuwbare energie in Nederland 2011*, Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag/Heerlen.
- De Vries, S., M. de Groot & J. Boers (2012) *Eyesores in sight: Quantifying the impact of man-made elements on the scenic beauty of Dutch landscapes*. *Landscape and Urban Planning* Vol. 105, Issues 1–2, 118–127.
- EC (2009) *Directive 2009/28/EC of the European parliament and council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC*
- Elzenga, H.E., J.A. Montfoort, J.P.M. Ros. (2006) *Micro-warmtekracht en de virtuele centrale: Evaluatie van transitie op basis van systeemopties*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Elzenga, H., S. Kruitwagen (2012), *Ex-ante evaluatie van Green Deals Energie*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Europese Commissie (2007), *An Energy Policy for Europe Communication from the commission to the European Council*, COM(2007) 1 final.
- Gordijn, H., A. Van Hoorn & F. Verwest (2003), *Energie is ruimte*, RPB, Den Haag.
- Lindeboom, J. et al (2011) *Short-term ecological effects of an offshore wind farm in the Dutch coastal zone; a compilation*. *Environmental Research Letters* 6.
- Ministerie Infrastructuur en Milieu (2012). *Structuurvisie Infrastructuur en Ruimte*. Den Haag: Ministerie voor Infrastructuur en Milieu.
- PBL & ECN (2011), *Naar een schone economie in 2050: routes verkend, Hoe Nederland klimaatneutraal kan worden*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Sijmons, D. (2008), *Kleine Energieatlas, Ruimtebeslag van elektriciteitsopwekking*, Ministerie VROM, Den Haag.
- Van der Werf, T., F. Stevens van Abbe, S. Jongeneel (2011), *Verkenning energie en ruimte*, Ministerie van Infrastructuur en Milieu: Den Haag.
- Van der Wulp, N.Y, F.R. Veeneklaas & J.M.J. Farjon (2009) *Krassen op het landschap; Over de beleving van storende elementen*. Wageningen UR, WOT-paper 1
- Van Hoorn, A., Tennekkes, J. & Van den Wijngaart, R. (2010) *Quickscan energie en ruimte, Raakvlakken tussen energiebeleid en ruimtelijke ordening*. Den Haag/Bilthoven: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Van Hoorn, A., D. Evers, R. Kuiper (2012), *Hoe pas je energielandschappen in?*, Nova Terra speciale editie, april.
- Wijngaart, R. van den, R. Folkert, H. Elzenga (2012), *Naar een duurzamere warmte voorziening van de gebouwde omgeving in 2050*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Winkelman, J., F. Kistenkas & M. Epe. 2008. *Ecologische en natuurbeschermingsrechtelijke aspecten van windturbines op land*. Alterra-rapport 1780,
- Zonneveld, W. (2008). *Ruimtelijke planning op zoek naar beelden*. *Stedenbouw & ruimtelijke ordening*, 2008/89(3), 34-36.