



# Via Parijs

Een ontwerpverkenning naar een klimaatneutraal Nederland.

# Via Parijs

Een ontwerpverkenning naar een  
klimaatneutraal Nederland.



# Inhoudsopgave

<b>Een woord vooraf</b>	<b>4</b>
<b>Deel 1; Advies</b>	<b>6 - 21</b>
<b>Deel 2; Via Parijs, een ontwerpverkenning</b>	<b>22 - 115</b>
<b>1. Constante verandering</b>	<b>26</b>
<b>2. Zeven doelstellingen</b>	<b>32</b>
<b>3. Het energie- en grondstoffsysteem</b>	<b>38</b>
<b>4. Reduceren en onttrekken</b>	<b>48</b>
<b>5. Doeltreffend naar Parijs 2050</b>	<b>54</b>
5.1 Warmte	56
5.2 Elektriciteit	64
5.3 Waterstof	76
5.4 Biomassa	82
5.5 Circulaire landbouw en eiwittransitie	88
5.6 Verstedelijking en mobiliteit	94
<b>6. Een samenhangende energiestrategie</b>	<b>98</b>
Toekomstbeeld Via Parijs. De ondergrond: 2050	104
Toekomstbeeld Via Parijs. De bovengrond: 2050	110
<b>Bronnen</b>	<b>116</b>
<b>Beeldverantwoording</b>	<b>118</b>
<b>Colofon</b>	<b>120</b>

**Afb.1**  
Een energielandschap avant la lettre; De molenkaart van de Zaanstreek, 1930.



# Doeltreffend naar Parijs 2050

Via Parijs | een ontwerpverkenning naar een klimaatneutraal Nederland.

Afb. 27  
Aanleg van het gasnetwerk in 1963.

**Dit hoofdstuk toont in vier stappen hoe het gewenste energie- en grondstoffensysteem tot stand zou kunnen komen; doeltreffend naar Parijs 2050 en daar voorbij. Per energiedrager wordt berekend waar de ruimtelijke componenten van de energie-productie, -opslag en -distributie, kunnen landen.**

Op de komende bladzijden komen achtereenvolgens de energiesystemen voor warmte, elektriciteit, waterstof en biomassa aan bod. Vervolgens worden de thema's circulaire landbouw & eiwittransitie en verstedelijking & mobiliteit met bijbehorende CO<sub>2</sub> reductiemaatregelen toegelicht. Aan de hand van geografische kenmerken (waar waait het hard, waar schijnt de zon het meest, waar is de geothermische potentie van de ondergrond het hoogst) worden de ruimtelijke componenten over Nederland en de Noordzee verdeeld. Altijd rekening houdend met de omgevingskwaliteit en regionale identiteit. Dit leidt tot een compleet beeld waarin de verschillende systeemonderdelen een logische en passende plaats hebben gevonden.

## Het ruimtelijk casco

Nederland beschikt al over een uitstekend raamwerk om de transitie te accommoderen. Robuuste (internationale) netwerken voor de levering van olie en aardgas hebben Nederland een internationale concurrentiepositie bezorgd in de petrochemie. Dat geldt nu voor olie en aardgas, en in de toekomst ook voor duurzame energie en biobased grondstoffen. Zo ook zullen robuuste (internationale) netwerken voor de levering van waterstof, elektriciteit, warmte, CO<sub>2</sub> en biomassa randvoorwaardelijk zijn voor de ontwikkeling van de biochemie.

Voor een deel van de toekomstige stromen kan gebruik gemaakt worden van bestaande infrastructuur. Ook in andere leidingstroken is vaak nog ruimte om nieuwe stromen te accommoderen. Voor veel van de systemen geldt dat opschaling leidt tot een robuuster en efficiënter systeem. Bundeling van deze systemen en bijbehorende infrastructuren maakt ruimtelijke inpassing eenvoudiger en veelal mogelijk in bestaande leidingtracés of langs snelwegen. Daarmee ontstaat het beeld dat de ruimtelijke geografie van toekomstige stromen van duurzame energie en grondstoffen grotendeels samenvalt met de huidige geografie van fossiele stromen. Ook bestaande voorzieningen zoals diepzeehavens en overslagpunten zullen opnieuw zwaartepunten blijken in deze netwerken.

Op de komende bladzijden zullen per 'stroom' de ruimtelijke componenten een plaats krijgen op de kaart. Elke paragraaf zal beginnen met een korte inleiding, een toelichting op de systeemarchitectuur, een beschrijving van de kaart en een ooghoogte impressie hoe dit systeem er in de toekomst uit kan zien.



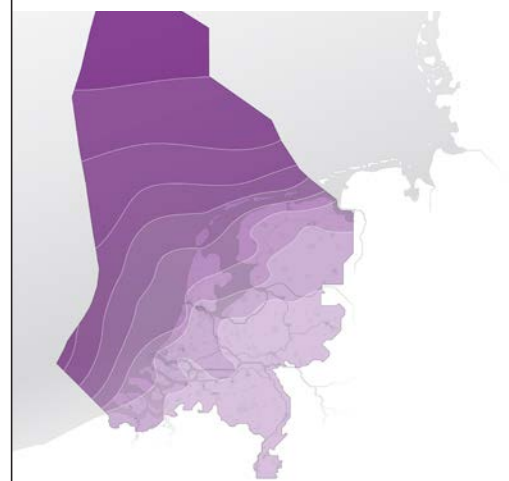
Afb. 28  
Geothermische potentie



Afb. 29  
Restwarmte potentie



Afb. 30  
Potentie zinstraling



Afb. 31  
Potentie windsnelheid

■ Potentie warmte opwekking  
■ Potentie elektriciteitsopwekking



# 5.1 Warmte

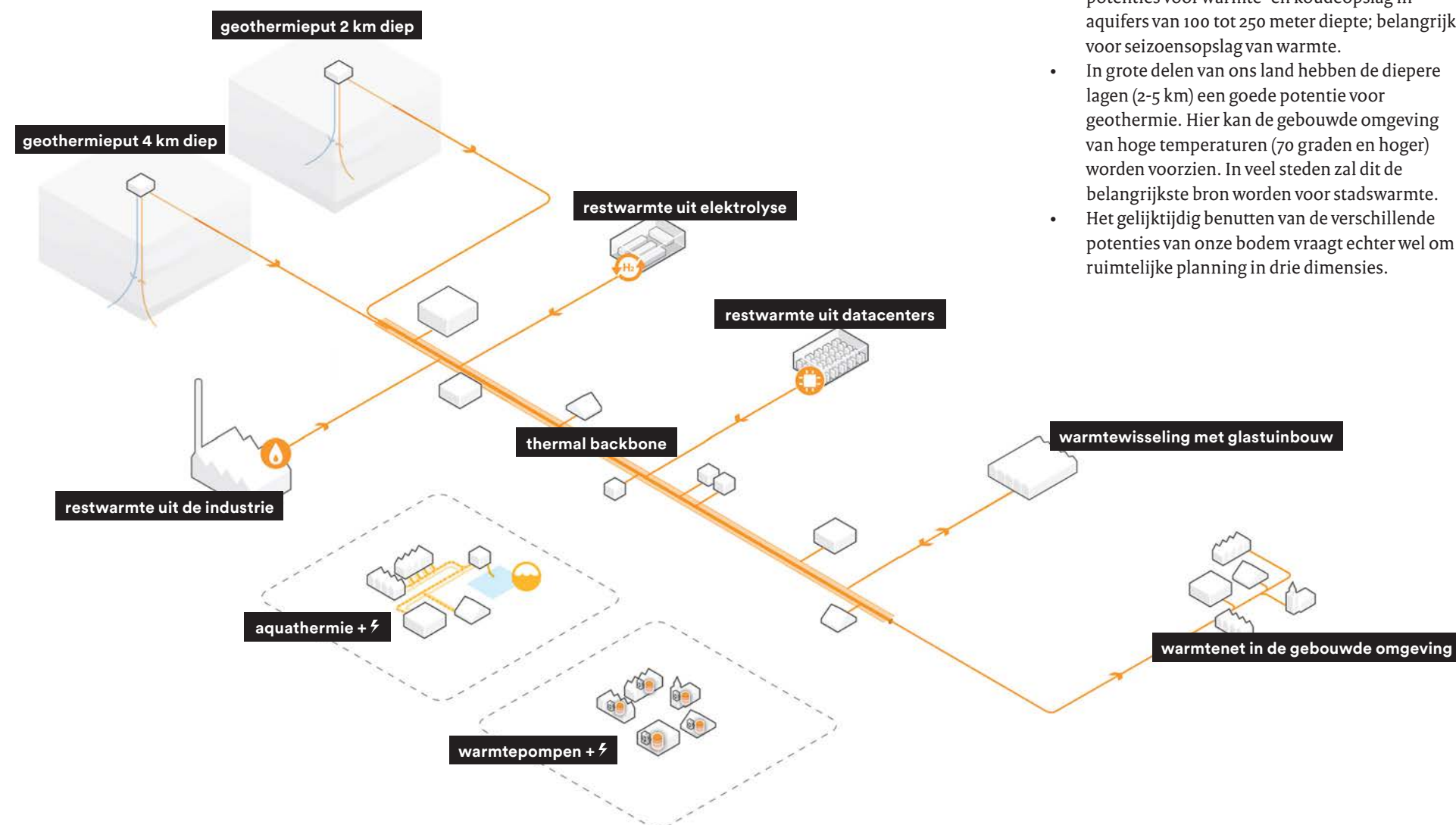
Het ruimtelijk narratief begint met het warmtesysteem. Hoe meer er direct met hernieuwbare warmte opgelost kan worden, des te minder elektriciteit er opgewekt hoeft te worden ten behoeve van de warmtevoorziening. Daarmee kan ook de visuele impact beperkt blijven.

De behoefte aan warmte beslaat meer dan een derde van onze totale energie- en grondstoffenvraag in 2050. De energietransitie op het gebied van warmte is extra gecompliceerd door het verschil in hoge en lage temperatuur warmtevrage. Een aanzienlijk deel van de lage temperatuur warmtevrage kan door grootschalig en collectief opgewekte warmte uit geothermie worden ingevuld. In delen van Nederland, vooral Zuid-Holland, Limburg en de noordelijke provincies, bevinden zich goed doorlaatbare aardlagen en breuklijnen in de aardkorst<sup>79</sup>. Via *thermal backbones*<sup>80</sup> en warmtenetten wordt deze warmte naar de eindgebruikers getransporteerd. Voor gebieden met een geconcentreerde warmtevrage (stedelijk gebied en glastuinbouw) lijken warmtenetten de meest kostenefficiënte oplossing. De hoge temperatuur

warmtevrage kan door middel van waterstof worden ingevuld. Waar deze (groene) waterstof geproduceerd komt in hoofdstuk 5.3 aan bod.

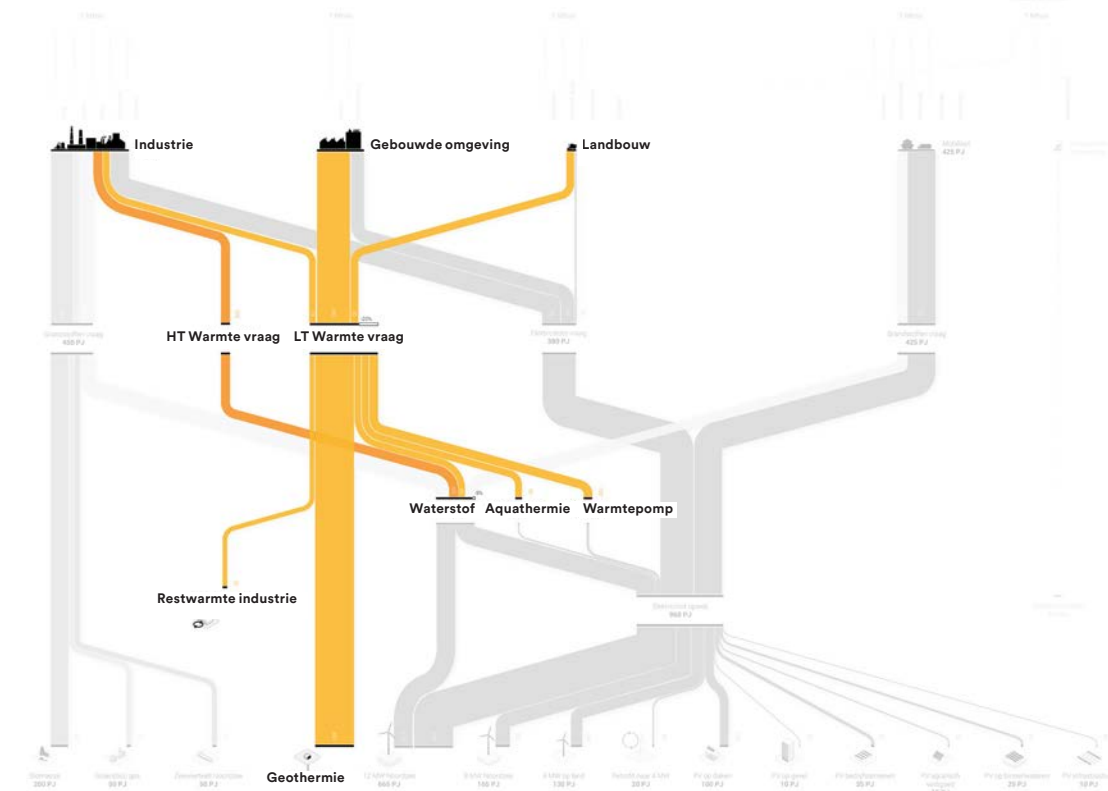
Voor een optimaal functioneren van een collectief warmtenet is het van belang dat de warmte die wordt opgewekt efficiënt wordt gebruikt. Er dient gestreefd te worden naar een 'open warmtenet'. Dat maakt sturing beter mogelijk, en zorgt ervoor dat warmtenetten op termijn door meerdere bronnen en verschillende producenten kunnen worden gevoed waardoor de leveringszekerheid toeneemt. Er kan dan mogelijk een warmtemarkt ontstaan waarbij de consument kan kiezen uit leveranciers. Voor de robuustheid van het netwerk is het van belang om deze infrastructuur te dimensioneren op toekomstig gebruik.

## Systemarchitectuur warmte



### Ruimtelijke componenten:

Het warmtesysteem bestaat grotendeels uit ondergrondse componenten. Warmte zal voor het merendeel uit geothermiedoubletten komen. Deze warmte wordt via grote buisleidingen, de thermal backbones, getransporteerd. Restwarmte uit de industrie zal ook via deze leidingen worden getransporteerd. Daarnaast zal restwarmte dat ontstaat tijdens het elektrolyseproces, voor de productie van waterstof, de backbone voeden. Warmtevragers zoals de gebouwde omgeving en glastuinbouwsector zijn zoveel mogelijk aan deze aanbieders verbonden. Het is van belang dat dit een bi-directioneel netwerk is, waar meerdere warmteleveranciers warmte kunnen leveren. Waar dit niet mogelijk is zullen losse systemen zoals collectieve aquathermie of (collectieve) warmtepompen in de warmtebehoefte voorzien.



Afb. 32  
Het onderdeel warmte in het totale energiesysteem voor 2050. Voor het totale overzicht zie bladzijde 46.

“We streven naar een open, publiek, warmtenet, waar meerdere warmteleveranciers op kunnen aantakken.”

De Nederlandse bodem is bijzonder geschikt om een duurzaam energiesysteem te ondersteunen, vooral als het gaat om onze warmtevoorziening.

- De constante temperatuur rond 11 graden in ondiepe lagen geeft natuurlijke mogelijkheden voor passieve koeling en voorverwarming; actief kan er gebruik van worden gemaakt middels warmtepompen en bodemlussen.
- Als deltaland heeft Nederland zeer goede potenties voor warmte- en koudeopslag in aquifers van 100 tot 250 meter diepte; belangrijk voor seizoensopslag van warmte.
- In grote delen van ons land hebben de diepere lagen (2-5 km) een goede potentie voor geothermie. Hier kan de gebouwde omgeving van hoge temperaturen (70 graden en hoger) worden voorzien. In veel steden zal dit de belangrijkste bron worden voor stadswarmte.
- Het gelijktijdig benutten van de verschillende potenties van onze bodem vraagt echter wel om ruimtelijke planning in drie dimensies.

### Optimaal benutten van de potentie van de ondergrond

Behalve dat geothermie een kosteneffectieve vorm van duurzame energiewinning is, heeft geothermie nog een ander belangrijk voordeel: de zichtbare ruimtelijke impact is minimaal. Dit in tegenstelling tot de ruimtelijke en landschappelijke impact van windturbines, pv-cellen en zonnecollectoren. De meeste infrastructuur voor geothermie bevindt zich ondergronds en ook de bovengrondse behuizing van de warmtewisselaars (geothermiestations) is nog geen 100m<sup>2</sup> groot. Een ander voordeel is dat er geen concurrentie ontstaat met andere vormen van landgebruik zoals voedselproductie. En hoewel hier nog nader onderzoek naar gedaan moet worden, lijkt geothermie ook veel minder aardbevingsgevoelig, omdat het gebruikte grondwater ook weer teruggewerkt wordt en er nauwelijks drukverschillen in de ondergrond ontstaan. Omdat het een gesloten systeem betreft lijkt ook de mogelijke impact op de ecologie van de ondergrond en het grondwater beperkt<sup>81</sup>. Daarmee is er op al deze aspecten ook minder maatschappelijke weerstand te verwachten waardoor een grootschalige implementatie mogelijk is en voorstelbaar wordt.

Het op grote schaal kunnen benutten van aardwarmte vraagt echter wel om coördinatie. De bronnen moeten namelijk onderling op minimaal 1,5 kilometer afstand liggen om niet in elkaars invloedssfeer te komen waardoor het rendement wordt verlaagd. Bij teveel onderlinge afstand wordt de beschikbare aardwarmte niet optimaal benut en is het transportnetwerk minder efficiënt.

### Onzekerheden van geothermie.

Er is nog relatief weinig bekend van de ondergrond. De (globale) inschattingen van de permeabiliteit van de bodem en daarmee de capaciteit voor geothermie van verschillende delen van Nederland lopen ver uiteen. Daarnaast bestaan zorgen over het benutten van de bodem, onder andere naar aanleiding van de recente aardbevingen in Groningen als gevolg van aardgaswinning. Ook bestaat de angst dat winning van geothermische energie de zoetwaterwinning beïnvloed. Omdat winning van geothermie volgens andere principes plaatsvindt dan aardgaswinning is voorts nog onduidelijk of deze zorgen terecht zijn. Nader onderzoek is hiervoor nodig.

79 TNO (2015) Geologische Dienst, Potentiekaart ondergrond aardwarmte <http://www.thermogis.nl/basicviewer/ThermoGISBasic.html>.  
80 Studio Marco Vermeulen, PBL, CRA & Ministerie I&M (2016) Dutch Smart Thermal Grid; Strategie voor de verduurzaming van de warmtevoorziening  
81 Studio Marco Vermeulen, PBL, CRA & Ministerie I&M (2016) Dutch Smart Thermal Grid; Strategie voor de verduurzaming van de warmtevoorziening



## Het warmtesysteem in 2030

- geothermisch doublet, 0,5 PJ per put
- ruimtelijke reservering voor nieuw doublet van 0,5 PJ (t=30)
- geothermisch doublet, 0,15 PJ per put
- ruimtelijke reservering voor nieuw doublet van 0,15 PJ (t=30)
- indicatief tracé hoofdwarmteleiding / Thermal Backbone, zoveel mogelijk gebruik makend van ruimte in buisleidingenstrook
- industriegebied aangesloten op collectief warmtenet
- gebouwde omgeving aangesloten op collectief warmtenet
- ruimtelijke reserveringen voor zoetwater in de ondergrond, nader onderzoek voor geothermie noodzakelijk
- ⚡ restwarmte uit datacenters optimaal benut door het cascaderen van warmte
- ⚡ restwarmtebronnen worden optimaal benut door het cascaderen van warmte
- ⚡ gebouwde omgeving aangesloten op collectief warmtenet gevoed door aquathermie
- ⚡ elektrolyzers voor de productie van groene waterstof
- ⚡ t.b.v. de hoge temperatuur warmtevraag (1.600 ha)
- indicatief tracé bestaand aardgasnetwerk
- grens Nederlands deel Noordzee



## Warmte in 2030

Dat een landsdekkend warmtenetwerk er niet op korte termijn is, is duidelijk. Voor het transport van warmte over lange afstand is er behoefte aan een volledig nieuw netwerk. Het lijkt logisch om voor de plaatsing van nieuwe leidingen gebruik te maken van bestaande buisleidingenstroken waar nog voldoende ruimte is voor nieuwe leidingen. Waar vraag en aanbod van warmte dicht bij elkaar ligt zoals in Zuid-Holland en Noordoost Groningen, kan snel gestart worden met de aanleg van geothermieputten en warmtenetten. De eerste lange afstand koppelingen zullen gemaakt worden tussen regio's met een grote warmtevraag en regio's met een groot warmteoverschot. De regio Amsterdam heeft bijvoorbeeld een grote warmtevraag, maar weinig geothermische potentie. De regio Noord-Holland Noord heeft echter wel veel warmte beschikbaar in de ondergrond. Het lijkt logisch dat deze regio's warmte met elkaar zullen uitwisselen. Deze eerste koppelingen maken de weg vrij voor verdere aantakking van andere regio's. De afstand tussen bron en afnemer is immers verkleint door de aanleg van de eerste koppelingen met buisleidingen. Dit principe van een groeiend netwerk kan worden vergeleken met het ontstaan van het rijkswegennetwerk. In de jaren 30 ontstonden de eerste punt naar punt wegverbindingen. Anticiperend op de massamotorisatie in de jaren '70 werd begonnen met de aanleg van een (West-Europees) netwerk van E-wegen. Nu vormen deze wegen geen punt naar punt verbindingen meer, maar zijn het loops geworden waaraan steden worden aangetakt. Sindsdien creëert het snelwegennetwerk een aantrekkelijk vestigingsklimaat en is het randvoorwaardelijk voor groei en verstedelijking.

Een systeem met een hiërarchische opbouw is ook een wenselijk perspectief voor het warmtenetwerk. Dit vraagt om een sterke planning en regie op nationaal niveau en op de korte termijn. Een belangrijk verschil met het rijkswegennet is dat we geen 100 jaar de tijd hebben voor realisatie en organische groei.

In gebouwde omgevingen die zich op korte afstand van oppervlaktewater bevinden is er ook potentie voor het collectief toepassen van aquathermie. Middels warmtepompsystemen kan warmte en koude worden gehaald uit het oppervlaktewater, maar ook uit afvalwater en drinkwater. Verkennende berekeningen laten zien dat hier grote potentie voor bestaat<sup>82</sup>. Het jaarrond gebruik maken van oppervlakte water als warmtebron levert niet alleen duurzame warmte op maar tegelijkertijd nog aan aantal andere voordelen. Met het onttrekken van warmte aan oppervlaktewater verbetert de waterkwaliteit en wordt de temperatuur in stedelijke omgevingen in de zomer gereduceerd.



Afb. 33  
Wegennet in 1935, punt naar punt.



Afb. 34  
Wegennet in 1975, rijkswegennet.



Afb. 35  
Wegennet in 2018, voorwaarde voor groei.

<sup>82</sup> CE Delft (2018) Nationaal potentieel van aquathermie.



## Het warmtesysteem in 2050

- geothermisch doublet, 0,5 PJ per put
- ruimtelijke reservering voor nieuw doublet van 0,5 PJ (t=30)
- geothermisch doublet, 0,15 PJ per put
- ruimtelijke reservering voor nieuw doublet van 0,15 PJ (t=30)
- indicatief tracé hoofdwarnteleiding / Thermal Backbone, zoveel mogelijk gebruik makend van ruimte in buisleidingenstrook
- industriegebied aangesloten op collectief warmtenet
- gebouwde omgeving aangesloten op collectief warmtenet
- ruimtelijke reserveringen voor zoetwater in de ondergrond, nader onderzoek voor geothermie noodzakelijk
- restwarmte uit datacenters optimaal benut door het cascaderen van warmte
- restwarmtebronnen worden optimaal benut door het cascaderen van warmte
- gebouwde omgeving aangesloten op collectief warmtenet gevoed door aquathermie
- elektrolyzers voor de productie van groene waterstof t.b.v. de hoge temperatuur warmtevraag (1.600 ha)
- indicatief tracé bestaand aardgasnetwerk
- grens Nederlands deel Noordzee

“De zichtbare ruimtelijke impact van geothermie is minimaal.”

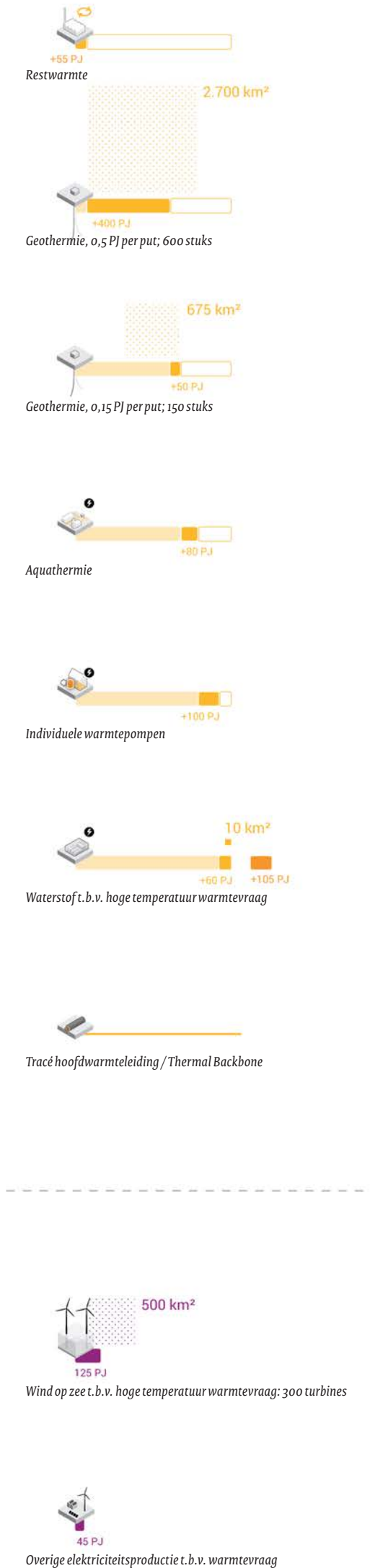
## Warmte in 2050

Zodra de eerste koppelingen zijn gemaakt kan vanuit de regio's met een warmteoverschot met goed geïsoleerde buisleidingen (thermal backbones) restwarmte en geothermie over grotere afstand aangevoerd worden en kunnen nieuwe warmtenetten worden aangelegd. Losstaande warmtevragers langs de backbones kunnen ook aangesloten worden. Langzaam maar zeker kan er zo een landsdekkend, robuust warmtenet ontstaan waar een grote diversiteit aan partijen warmte kan aanbieden en afnemen: het 'Smart Thermal Grid'. Er kan vanuit verschillende (duurzame) warmte- en restwarmtebronnen en aanbieders aan het smart grid worden geleverd. In een smart thermal grid kunnen vraag en aanbod op elkaar worden afgestemd. Het gaat aan de aanbodkant om water van verschillende temperaturen en ook aan de vraagkant zijn er verschillende temperaturen gewenst. Een ideale match wordt bereikt als aan de vraagkant kan worden gecascadeerd, dat wil zeggen dat in verschillende temperatuurtrappen restwarmte van hoogwaardig tot laagwaardig optimaal kan worden benut. In de hele keten wordt dan gebruik gemaakt van de restwarmte van andere warmtegebruikers<sup>83</sup>. Het bereiken van een dergelijke configuratie vraagt om uitgekende ruimtelijke ordening en het nodige 'loodgieterswerk'.

De hoeveelheid beschikbare restwarmte in 2050 is onzeker. Maar het gebruik van restwarmte zal wel een cruciale rol blijven vervullen. Door efficiëntere processen zal er naar alle waarschijnlijkheid wel minder industriële restwarmte beschikbaar zijn dan nu. Aan de andere kant zullen bijvoorbeeld nog te bouwen datacenters een nieuwe bron van restwarmte zijn<sup>84</sup>. Het Planbureau voor de leefomgeving schat de potentie van restwarmte uit datacenters in 2050 zelfs op 100 PJ<sup>85</sup>. Anno 2017 staat er aan datacentervermogen 1.247 MW, wat een restwarmteproductie van 40 PJ betekent<sup>86</sup>. De restwarmte van datacenters en industrie zal via cascadering benut worden door glastuinbouw, kantoren, woningen, overige utiliteitsbouw en uiteindelijk de agrarische sector<sup>87</sup>.

In gebieden waar de warmtevraag niet genoeg geconcentreerd is, en een warmtenet te kostbaar wordt (bijvoorbeeld in het buitengebied), lijken elektrische warmtepompen, idealiter in combinatie met aquathermie<sup>88</sup> (deze zijn minder luidruchtig dan lucht/water-warmtepompen en verbruiken minder elektriciteit), de beste optie. Dat geldt ook voor de gebieden die te ver (lees te kostbaar) van een warmtebron of hoofdleiding af liggen. De steden in Zeeland zijn hier een goed voorbeeld van. Een warmtepomp is alleen mogelijk in combinatie met een lage temperatuur afgiftesysteem (bijvoorbeeld vloerverwarming) en effectief als de bebouwing zeer goed geïsoleerd is. Indirect ruimtelijk effect van de toepassing van elektrische warmtepompen is de toename van de elektriciteitsbehoefte en daarmee van het aantal windturbines en/of zonnepanelen.

## Ruimtebeslag





“Wanneer de gehele warmtevraag met elektrische warmtepompen wordt opgelost, zijn er ongeveer 3.000 windturbines op land extra nodig.”

#### All-electric warmtevoorziening

De lage temperatuur warmtevraag kan ook door middel van all-electric voorzieningen worden ingevuld. Hoewel de ruimtelijke impact in eerste instantie klein lijkt (warmtepompen zijn relatief klein) is de daadwerkelijke impact van de hele keten groot. Wanneer we bijvoorbeeld de gehele warmtevraag van de gebouwde omgeving met warmtepompen zouden bedienen, zijn er in theorie ongeveer 3.000 extra windturbines op land nodig<sup>83</sup>, die zorgen voor een nog grotere impact op de omgevingskwaliteit van ons land. Tevens zullen de miljoenen warmtepompen gevels ontsieren en voor geluidsoverlast zorgen. Woningen zullen maximaal geïsoleerd moeten zijn om de warmtepomp te laten renderen, terwijl dit voor met name oudere woningtypes vrijwel onmogelijk en erg kostbaar is. Daarnaast wordt het energiesysteem dan veel meer afhankelijk van elektriciteit. Dit kan grote gevolgen hebben tijdens een windstille periode of als er onvoldoende daglicht is (dunkelflaute). Dit betekent vervolgens dat er meer energieopslag nodig is, bijvoorbeeld in batterijen of in de vorm van waterstof, met bijbehorende conversieverliezen als gevolg. Bovendien zijn warmtepompen bij elkaar opgeteld veel duurder dan collectieve oplossingen op basis van geothermie en restwarmte<sup>84</sup>. Kortom, het is niet gewenst om een all-electric warmtevoorziening op grote schaal toe te passen in Nederland.

#### Afb. 36

Airconditioners in het straatbeeld van Azië verstoren het straatbeeld en zorgen voor geluidsoverlast. Vergelijkbare zorgen zijn er voor het op grote schaal inzetten van elektrische warmtepompen.

#### Afb. 37

De landsdekkende kabelgoot kan relatief eenvoudig nieuwe energiestromen faciliteren zoals warmte. Buisleidingenstrook bij Moerdijk.

Vorige bladzijden:

83 Nico Tillie, Andy van den Dobbelen et al, REAP, Rotterdamse Energie Aanpak, TU-Delft, dS-V (2009)

84 CE Delft (2014). Energiegebruik Nederlandse commerciële datacenters 2014-2017

85 Bron: Planbureau voor de Leefomgeving: Toekomstbeeld klimaatneutrale warmtenetten in Nederland.

86 Gezien de onzekerheid over de beschikbaarheid van restwarmte uit de industrie schatten wij de totaal te benutten restwarmte op 55 PJ in 2050.

87 Bron restwarmte cascadering: Eindrapport overheidswerkgroep, 2019, blz. 13

88 Studio Marco Vermeulen, 2019. Energielandschappen van de Toekomst; Zeeuwse Warmte en Koude. NederlandBovenWater

89 Uitgaande van een COP van elektrische warmtepompen van, 1:3  
90 Studio Marco Vermeulen, PBL, CRA & Ministerie I&M (2016) Dutch Smart Thermal Grid; Strategie voor de verduurzaming van de warmtevoorziening

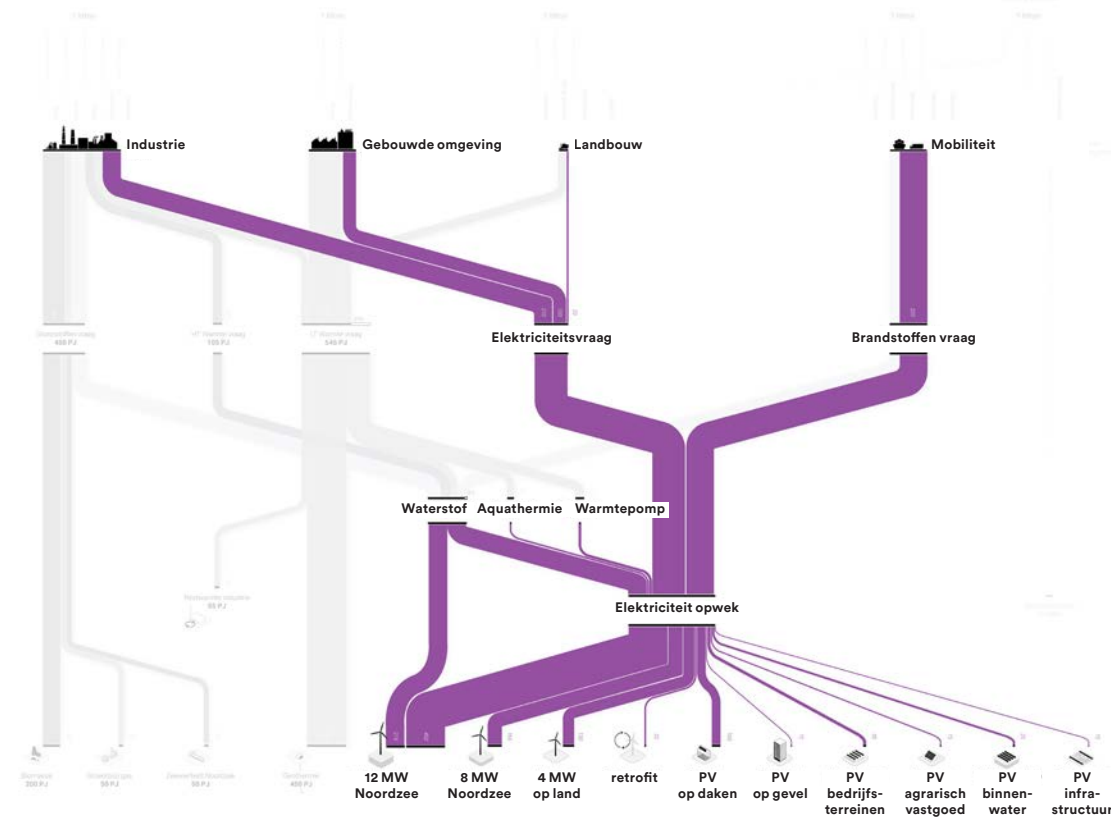




## Meer dan een derde van onze totale energie- en grondstoffenvraag in 2050 is elektriciteit. Keuzes waar en hoe duurzame elektriciteit opgewekt wordt, hebben een grote ruimtelijke impact.

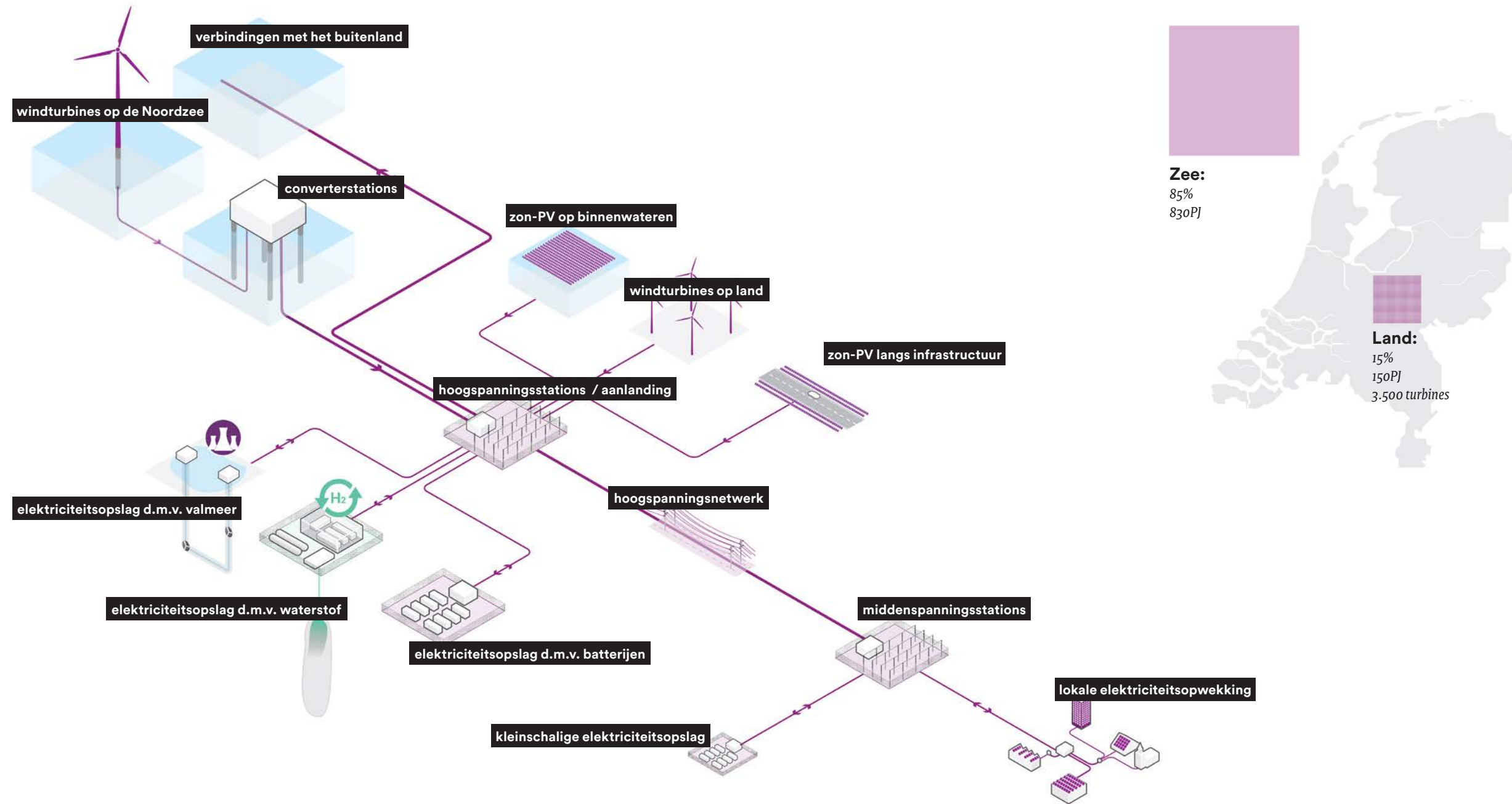
Bij het opwekken van hernieuwbare energie loont grootschaligheid en concentratie. Dit is kosteneffectief en beperkt op nationale schaal de zichtbare ruimtelijke impact. Een toekomstig duurzaam en hernieuwbaar elektriciteitsstelsel of staat bij het optimaal benutten van de Noordzee voor de productie van elektriciteit. Wanneer we deze potentie ten volle benutten, is het mogelijk om de ruimtelijke impact op land beperkt te houden. Nederland heeft op zee nu nog maar vijf, relatief kleine, windparken.

De komende jaren komen daar vijf grote windparken bij. Te beginnen bij de kust voor Zeeland, daarna bij Zuid- en Noord-Holland. Ook boven de Wadden, waar sinds afgelopen jaar het grootste windturbinepark van Nederland staat (Gemini), zullen nieuwe windturbines komen. Worden alle plannen tot 2030 gerealiseerd<sup>91</sup>, dan zullen er in totaal 1.300 windturbines operationeel zijn met een opbrengst van 165 PJ. Dit vraagt om 2.200 km<sup>2</sup> ruimte op de Noordzee.



**Afb. 38**  
Het onderdeel elektriciteit in het energiesysteem voor 2050. Voor het totale overzicht zie bladzijde 46.

### Systemarchitectuur elektriciteit



“Een toekomstig duurzaam en hernieuwbaar elektriciteitsstelsel valt of staat bij het optimaal benutten van de Noordzee.”

**Afb. 39**  
De verhouding tussen wind op zee en wind op land in 2050.

<sup>91</sup> Zie verder de Routekaart Wind op Zee 2030, overeenkomstig Scenario III - Snel Vooruit - uit PBL (2018), De toekomst van de Noordzee, De Noordzee in 2030 en 2050: een scenariostudie

# 5.2 Elektriciteit

#### Ruimtelijke componenten:

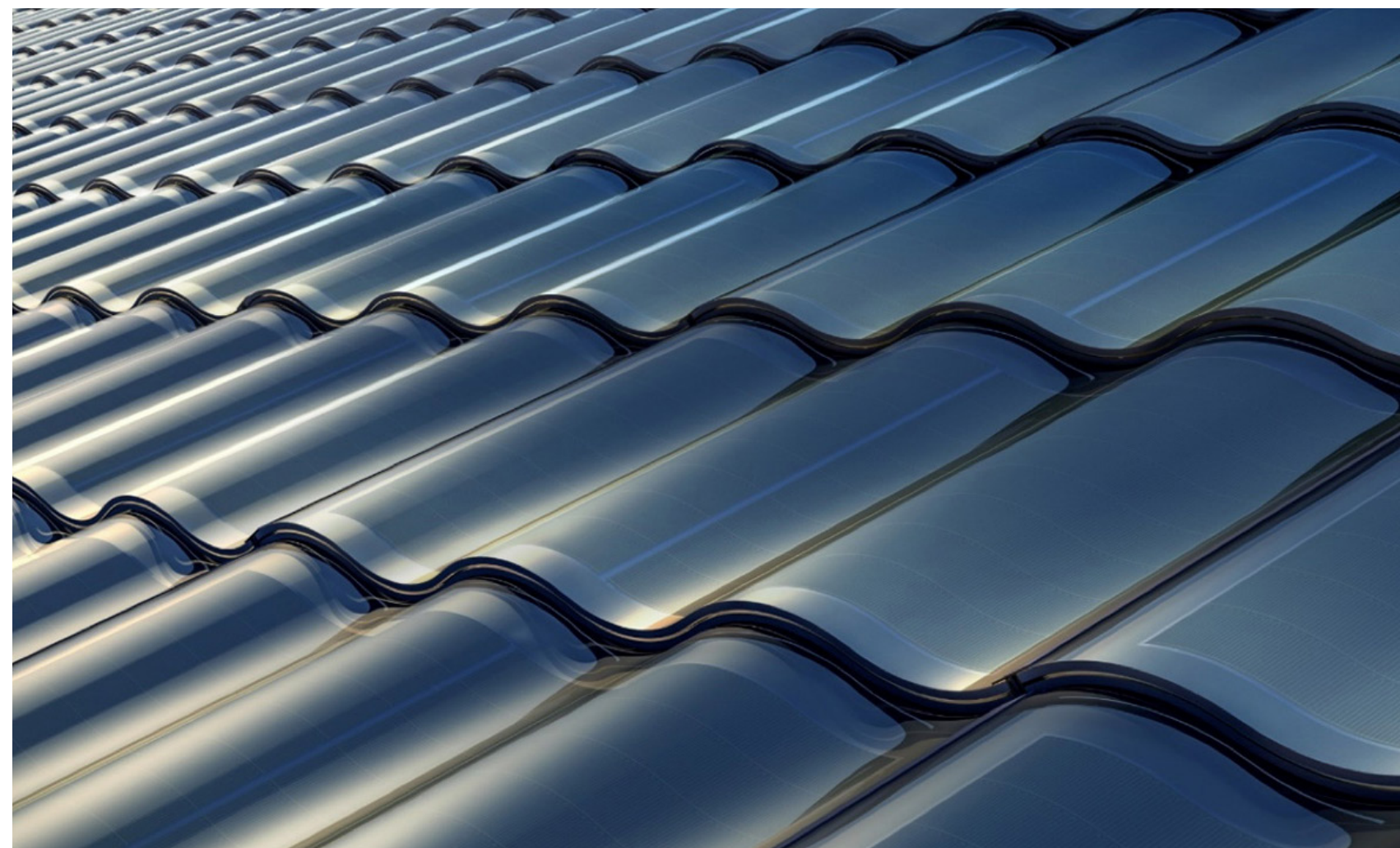
Hoogspanningsstations vormen de knooppunten in onze elektriciteitsvoorziening. Ze verbinden de opwek van elektriciteit (aanbod) en vraag met elkaar, sluiten hoogspanningsverbindingen op elkaar aan en transformeren de spanning naar een ander niveau. Daarnaast worden buffermaatregelen hierop aangesloten. Elektriciteit wordt opgeslagen in batterijen, door elektriciteit te converteren naar waterstof en deze in zoutcavernes of lege gasvelden op te slaan, of doormiddel van valmeren. Via het hoogspanningsnetwerk wordt elektriciteit getransporteerd. Op kleinere schaal kan lokale elektriciteitsopwekking terug geleverd worden aan het netwerk. Ook hier zullen kleinschalige opslagmaatregelen noodzakelijk zijn.



“We moeten zuinig zijn op onze ruimte en monofunctionele oplossingen voorkomen.”

## Wind op land

Het kiezen voor geconcentreerde windturbine locaties op de plekken in Nederland waar het het hardst waait heeft twee voordelen. Ten eerste zijn er minder turbines nodig om dezelfde energie op te wekken. Met als effect minder kosten, hogere opbrengsten en een kleinere ruimtelijke impact bekeken op de schaal van Nederland. Ten tweede wordt er contrast gecreëerd tussen ‘vol’ en ‘leeg’. Dit geeft letterlijk ruimte om andere delen van Nederland vrij te houden van windturbines. Grootschalige, rationele landschappen waaronder jonge ontginningen, grootschalige zeekeipolders, grootschalige havengebieden en hoogveenontginningen, lenen zich het beste voor het grootschalig en geconcentreerd opwekken van windenergie. De grootschalige maat van de turbines past bij de maat en schaal en het karakter van deze landschappen. In deze gebieden kan energieopwekking een nieuwe laag toevoegen aan het bestaande landschap. Bijkomend voordeel is dat, door het plaatsen van windturbines, sommige andere ongewenste functies worden uitgesloten en het contrast met andere landschappen kan worden vergroot. De Flevopolders en de Wieringermeerpolder zijn zulke landschappen. Op deze locaties wordt al de meeste windenergie opgewekt en hiervoor bestaan nu ook al de meest omvangrijke plannen. Daarnaast is het grondgebied relatief nieuw (pas in 1930 drooggelegd) en kent een lange geschiedenis van windenergie. Met name voor Flevoland zal de geconcentreerde opstelling een verbetering<sup>92</sup> zijn ten opzichte van de huidige versnipperde opstellingen. Ook de oostzijde van de Zeeuwse Eilanden en delen van West-Brabant lenen zich voor grootschalige windlocaties, alsook het rationele jonge ontginningslandschap De Peel. Naast concentraties van windturbines in het landschap is er ook ruimte voor windturbines op grootschalige bedrijventerreinen en glastuinbouwgebieden zoals het Westland. Ook onze zeehavens Rotterdam, de Eemshaven, het Noordzeekanaalgebied en de Zeeuwse havens Terneuzen en Vlissingen, lenen zich voor grootschalige windturbine locaties. Turbines worden bij voorkeur in een gridopstelling geplaatst. Lijnopstellingen werken alleen in situaties waarbij over een afstand van vele kilometers een ononderbroken rij van turbines geplaatst. Vaak vindt echter interferentie plaats met achterliggende lijnopstellingen. Lijnopstellingen zullen daardoor maar een beperkte bijdrage kunnen leveren aan de grote hoeveelheid elektriciteit die nodig is. Concentraties in rasteropstellingen zijn ruimtelijk het meest efficiënt en hebben daarom de voorkeur. In totaal is er ruimte voor 3.500 grootschalige windturbines op land. Ter vergelijking, nu staan er 2.300 kleinere windturbines opgesteld.



### Afb. 40

Verbeelding van een gridopstelling van windturbines in het polderlandschap. Bron: ‘Wind in het open landschap’ uit de studio Duurzaam energielandschap Oss, gemaakt door BoschSlabbers, 2017.

### Afb. 41

Dakpannen met geïntegreerde zonnecellen.

<sup>92</sup> Planbureau voor de Leefomgeving (2019). Wind-op-land: Lessen en ervaringen

<sup>93</sup> Rijkswaterstaat, Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, Rijksvastgoedbedrijf & Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (2019) Pilotprogramma Hernieuwbare energie op rijksareaal

## Zonne-energie

Opwekking van zonne-energie vindt zo veel mogelijk decentraal plaats via daken en gevels van gebouwen. De (Rijks)overheid kan het ten volle benutten van het huidige dakpotentieel op verschillende manieren stimuleren. Denk bijvoorbeeld aan een zonneladder of voorkeursvolgorde, een dakenwet, of het aanpassen van de SDE+. Op bedrijventerreinen, agrarisch vastgoed en op daken van woningen en kantoren zal in totaal 360 km<sup>2</sup> zonnepanelen geplaatst worden. Dit kan met zonnepanelen, maar bijvoorbeeld ook met zonnedakpannen.

We moeten zuinig zijn op onze ruimte en monofunctionele oplossingen voorkomen. Zonneparken concurreren met de voedselproductie en hebben een negatieve impact op de ecologische waarde van de omgeving. In deze strategie zal daarom geen zonne-energie opgewekt worden op landbouwgronden en natuurgebieden. Daar waar de natuurwaarden en voedselproductie niet in het geding zijn, kunnen wel op grote schaal zonnepanelen geplaatst worden. Zo zal er in het IJsselmeer in totaal 60 km<sup>2</sup> aan drijvende zonnepanelen worden gerealiseerd.

De ruimte langs snelwegen biedt ook mogelijkheden voor de opwekking van zonne-energie. De kansen voor de opwekking van zonne-energie langs het rijkswegennet lijken groot. De komende jaren zal Rijkswaterstaat verschillende pilotprojecten realiseren<sup>93</sup>. Vanuit landschappelijke kwaliteit en de beleving vanuit het landschap vanuit de auto en de trein, zouden we hier zeer selectief mee om moeten gaan. In dit toekomstbeeld worden daarom drie iconische zonneroutes gemaakt: de A37, A15 en de A59 die zich daarmee duidelijk onderscheiden. Deze routes zullen substantieel bijdragen aan de elektriciteitsopwekking, landschappelijk ingepast zijn en met behoud van ecologische waarden van het Rijkswaterstaat areaal. Andere snelwegen en spoorlijnen richten zich alleen op bouwkundig geïntegreerde (onzichtbare) oplossingen, zoals zonne-geluidsschermen of de solar-road. Ook voor zonne-energie geldt; durf te kiezen voor enkele grootschalige en geconcentreerde opwek locaties en vrijwaar gebieden waar dit niet gewenst is.



## Varianten Wind op Land

### Variant 1: Nationale clusters

#### Uitgangspunten:

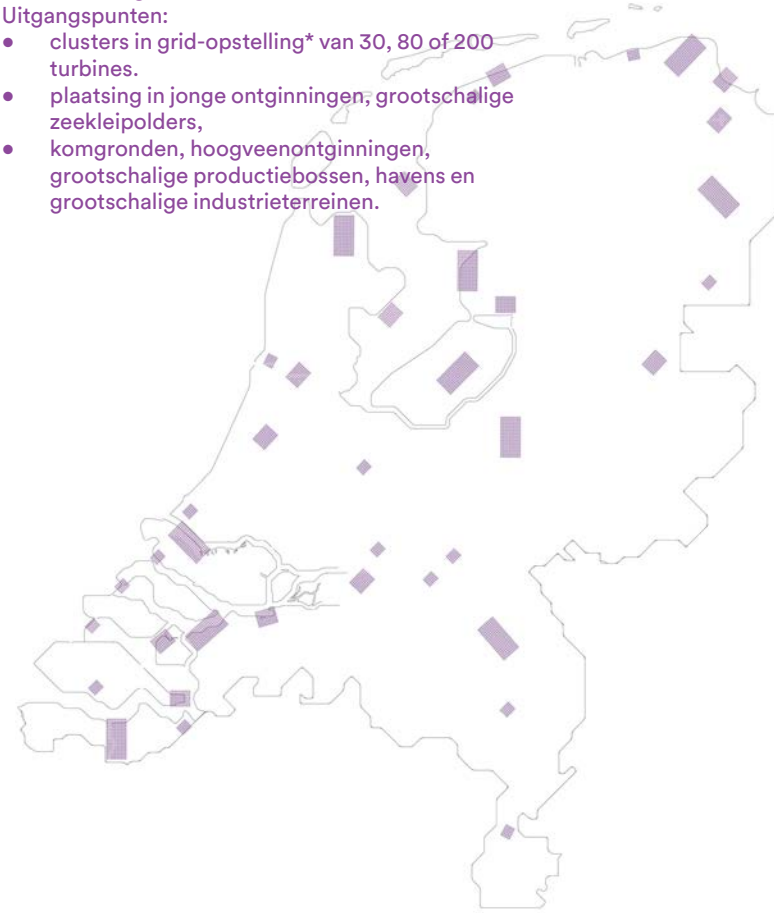
- clusters in grid-opstelling\* van 200, 300, 400 of 1.000 turbines.
- plaatsing in jonge ontginningen, grootschalige zeeleipolders, grootschalige havengebieden en hoogveenontginningen.



### Variant 2: Regionale clusters

#### Uitgangspunten:

- clusters in grid-opstelling\* van 30, 80 of 200 turbines.
- plaatsing in jonge ontginningen; grootschalige zeeleipolders,
- komgronden, hoogveenontginningen, grootschalige productiebossen, havens en grootschalige industrieterreinen.



### Variant 3: Lokale clusters

#### Uitgangspunten:

- clusters in grid-opstelling\* van 15 of 30 turbines.
- plaatsing voor ongeveer 2/5 in jonge ontginningen, grootschalige zeeleipolders, komgronden, hoogveengebieden, havens en grootschalige industrieterreinen.
- plaatsing voor ong. 3/5 op lokale bedrijventerreinen en verspreid over elke provincie, met iets meer clusters in de kustprovincies.



### Variant 4: Confetti

#### Uitgangspunten:

- clusters in grid- en lijnopstellingen\* van 2, 4 of 8 turbines.
- plaatsing verspreid over Nederland, met zowel los van elkaar als bij elkaar liggende opstellingen.
- dit scenario is ruimtelijk onwenselijk.



## Voorkeursmodel Wind op Land

De vier varianten voor clustering laten goed zien wat een meer of mindere mate van clustering van windturbines oplevert. In elke variant zijn 3.500 windturbines van 4 MW op land ingetekend (totaal 150 PJ). Het voorkeursmodel bestaat uit een combinatie van clusters op nationale (vanaf 200 turbines) en regionale schaal (vanaf 30 turbines).

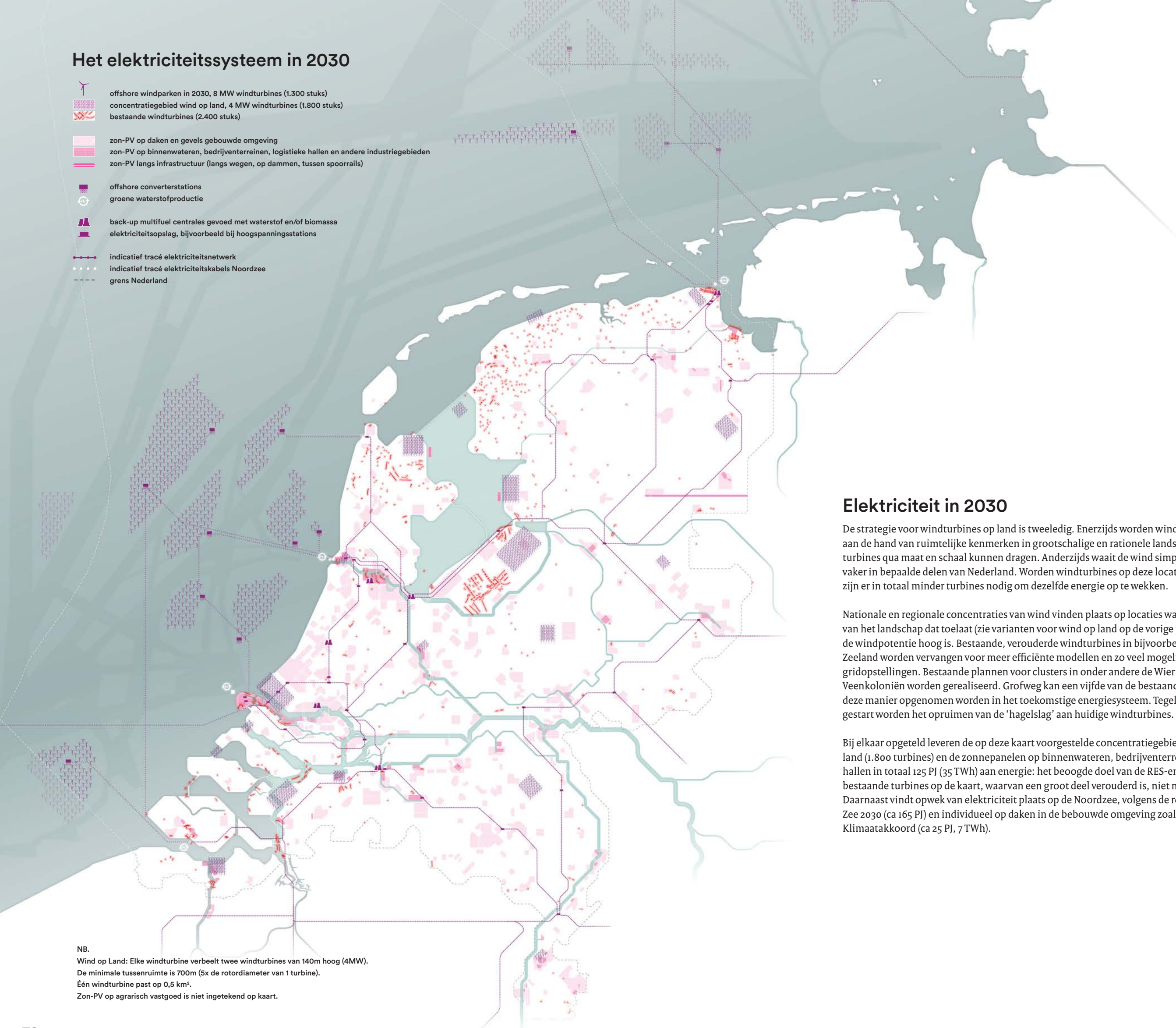


**\*Uitgangspunten en kengetallen:**  
 In elk scenario zijn 3.500 windturbines van 4 MW op land ingetekend. Elk puntje is één windturbine van 140m (4MW). Voor het optimaal profiteren van de windenergie moeten windturbines op een bepaalde minimale afstand van elkaar staan. Vuistregel voor de onderlinge afstand is vijf keer de diameter van de rotor. De minimale tussenruimte is hierdoor 700m, dat is 5x de rotor-diameter van één turbine. Één windturbine past dus op 0,5 km².



## Het elektriciteitssysteem in 2030

-  offshore windparken in 2030, 8 MW windturbines (1.300 stuks)
-  concentratiegebied wind op land, 4 MW windturbines (1.800 stuks)
-  bestaande windturbines (2.400 stuks)
-  zon-PV op daken en gevels gebouwde omgeving
-  zon-PV op binnenwateren, bedrijventerreinen, logistieke hallen en andere industriegebieden
-  zon-PV langs infrastructuur (langs wegen, op dammen, tussen spoorrails)
-  offshore converterstations
-  groene waterstofproductie
-  back-up multifuel centrales gevoed met waterstof en/of biomassa
-  elektriciteitsopslag, bijvoorbeeld bij hoogspanningsstations
-  indicatief tracé elektriciteitsnetwerk
-  indicatief tracé elektriciteitskabels Noordzee
-  grens Nederland



### Elektriciteit in 2030

De strategie voor windturbines op land is tweeledig. Enerzijds worden windturbines geplaatst aan de hand van ruimtelijke kenmerken in grootschalige en rationele landschappen die de turbines qua maat en schaal kunnen dragen. Anderzijds waait de wind simpelweg harder en vaker in bepaalde delen van Nederland. Worden windturbines op deze locaties geplaatst, dan zijn er in totaal minder turbines nodig om dezelfde energie op te wekken.

Nationale en regionale concentraties van wind vinden plaats op locaties waar het laadvermogen van het landschap dat toelaat (zie varianten voor wind op land op de vorige pagina's) én waar de windpotentie hoog is. Bestaande, verouderde windturbines in bijvoorbeeld Flevoland en Zeeland worden vervangen voor meer efficiënte modellen en zo veel mogelijk opgenomen in gridopstellingen. Bestaande plannen voor clusters in onder andere de Wieringermeer en de Veenkoloniën worden gerealiseerd. Grofweg kan een vijfde van de bestaande windturbines op deze manier opgenomen worden in het toekomstige energiesysteem. Tegelijkertijd kan er ook gestart worden het opruimen van de 'hagelslag' aan huidige windturbines.

Bij elkaar opgeteld leveren de op deze kaart voorgestelde concentratiegebieden voor wind op land (1.800 turbines) en de zonnepanelen op binnenwateren, bedrijventerreinen en logistieke hallen in totaal 125 PJ (35 TWh) aan energie: het beoogde doel van de RES-en. Daarbij zijn de nog bestaande turbines op de kaart, waarvan een groot deel verouderd is, niet meegerekend. Daarnaast vindt opwek van elektriciteit plaats op de Noordzee, volgens de routekaart Wind op Zee 2030 (ca 165 PJ) en individueel op daken in de bebouwde omgeving zoals benoemd in het Klimaatakkoord (ca 25 PJ, 7 TWh).

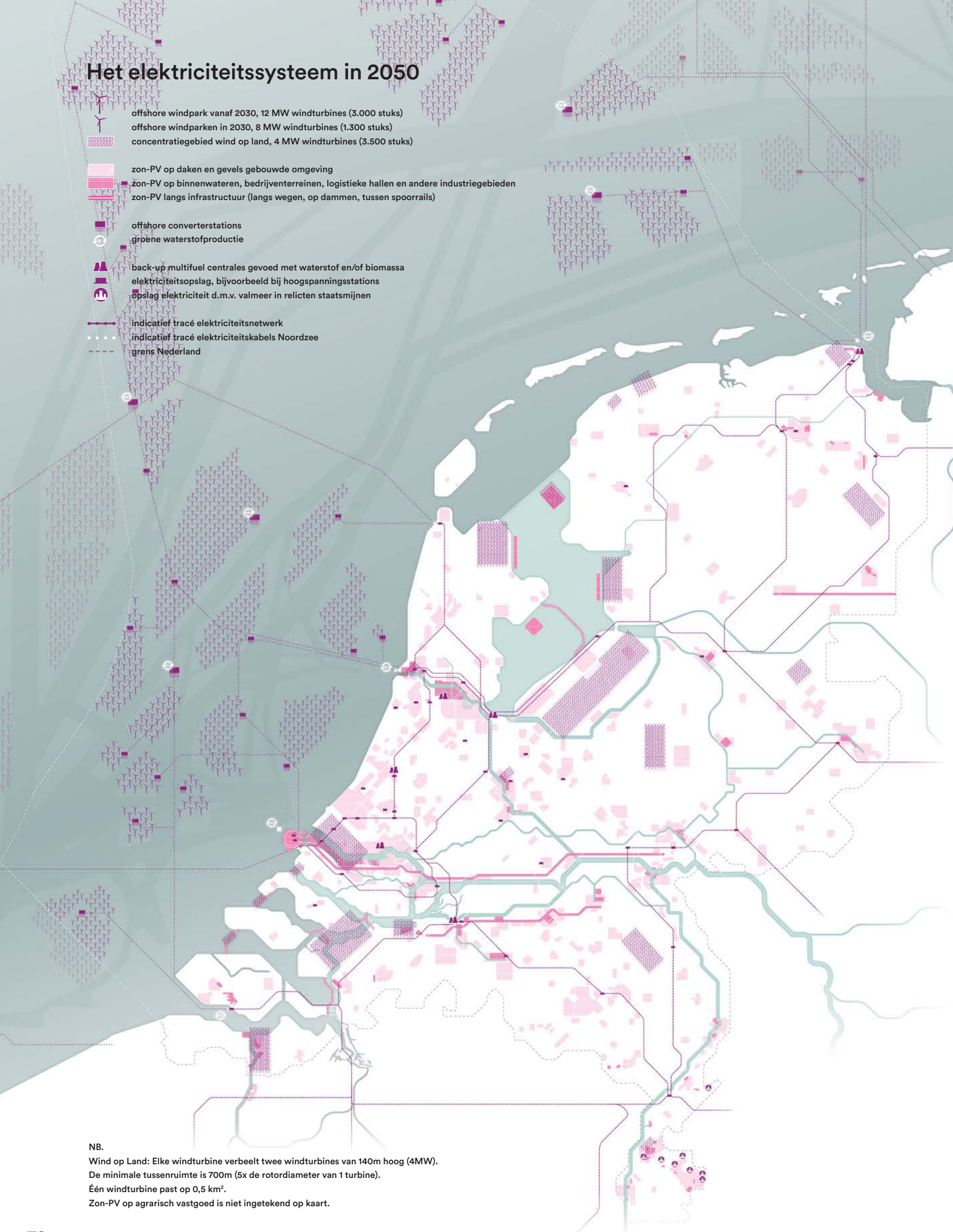
**“Nationale en regionale concentraties van windturbines vinden plaats op locaties waar het laadvermogen van het landschap dat toelaat én waar de windpotentie hoog is.”**

NB.  
 Wind op Land: Elke windturbine verbeelt twee windturbines van 140m hoog (4MW).  
 De minimale tussenruimte is 700m (5x de rotordiameter van 1 turbine).  
 Één windturbine past op 0,5 km².  
 Zon-PV op agrarisch vastgoed is niet ingetekend op kaart.



## Het elektriciteitssysteem in 2050

- offshore windpark vanaf 2030, 12 MW windturbines (3.000 stuks)
- offshore windparken in 2030, 8 MW windturbines (1.300 stuks)
- concentratiegebied wind op land, 4 MW windturbines (3.500 stuks)
- zon-PV op daken en gevels gebouwde omgeving
- zon-PV op binnenwateren, bedrijventerreinen, logistieke hallen en andere industriegebieden
- zon-PV langs infrastructuur (langs wegen, op dammen, tussen spoorrails)
- offshore converterstations
- groene waterstofproductie
- back-up multifuel centrales gevoed met waterstof en/of biomassa
- elektriciteitsopslag, bijvoorbeeld bij hoogspanningsstations
- opslag elektriciteit d.m.v. valmeer in relict staatsmijnen
- indicatief tracé elektriciteitsnetwerk
- indicatief tracé elektriciteitskabels Noordzee
- grens Nederland



NB.  
 Wind op Land: Elke windturbine verbeelt twee windturbines van 140m hoog (4MW).  
 De minimale tussenruimte is 700m (5x de rotordiameter van 1 turbine).  
 Één windturbine past op 0,5 km².  
 Zon-PV op agrarisch vastgoed is niet ingetekend op kaart.

## Elektriciteit in 2050

Bijgaande kaart toont alle ruimtelijke componenten voor het elektriciteitssysteem in 2050. De ruimte op de Noordzee wordt ten volle benut voor de productie van elektriciteit. Er is duidelijke sturing nodig om dit te realiseren en conflicten te voorkomen tussen windenergie, scheepvaart, natuurbelangen en visserij. In totaal zal 7.500 km² van de Noordzee benut worden voor windenergie. Dat zijn 4.300 windturbines in totaal. Dit is de maximale potentie volgens de scenariostudie van het Planbureau voor de Leefomgeving: De toekomst van de Noordzee<sup>94</sup>. Rondom de windturbines zal zeewier gekweekt worden, in paragraaf 5.6 wordt hier verder op ingegaan.

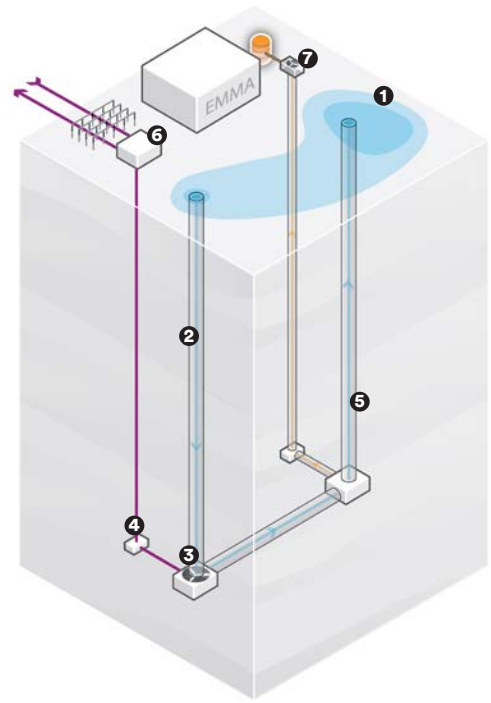
De elektriciteit opgewekt op de Noordzee zal op strategische plekken aanlanden bij de industriële havengebieden Vlissingen, Rotterdam, het Noordzeekanaalgebied en de Eemshaven, zogenoemde 'energy ports'<sup>95</sup>. Dit zijn locaties waar veel vraag zal zijn naar elektriciteit, waar al een zwaar elektriciteitsnetwerk ligt, en waar de mogelijkheid is om elektriciteit te converteren naar andere energievormen.

Geconcentreerde windturbine locaties op land, in totaal gaat het om 3.500 windturbines, zullen op strategische locaties in Nederland worden gerealiseerd. Verdere elektriciteit wordt opgewekt door zonnepanelen in de gebouwde omgeving, op agrarisch vastgoed, op het binnenwater en langs enkele snelwegen en dammen.

Naar 2050 toe zal het hoogspanningsnetwerk aanzienlijk moeten worden uitgebreid om te voorzien in een toenemende behoefte aan elektriciteit. Denk bijvoorbeeld aan het verzwaren van het elektriciteitsnetwerk ten behoeve van de aanlanding van wind op zee (bijvoorbeeld in Den Helder). Ook het verzwaren van bestaande verbindingen zal nodig zijn om aan de elektriciteitsvraag te voldoen, bijvoorbeeld ten behoeve van de chemische industrie in Chemelot. Verdere internationale verbindingen zullen nodig zijn om het netwerk robuust te maken, bijvoorbeeld door de aanleg en het versterken van (gelijkstroom)verbindingen met het buitenland zoals de BritNed, COBRA en NorNed connectoren.







**Afb. 42**  
Schematische weergave van de werking van een valmeer in een voormalige mijnschacht.

- 1 valmeer
- 2 toevoerpijp naar turbine
- 3 turbine voor elektriciteitsopwekking
- 4 transformator
- 5 afvoerpijp naar valmeer
- 6 hoogspanningsstation
- 7 warmteterugwinning

#### Prosper-Haniel kolenmijn

Momenteel wordt onderzocht of de Prosper-Haniel kolenmijn in de Duitse staat Noordrijn-Westfalen kan worden ingericht als een waterkrachtreservoir dat dienst zal doen als opslagbatterij voor overtollige wind- en zonne-energie. De capaciteit van deze opslagfaciliteit wordt enorm: genoeg voor de energievoorziening van 400.000 huishoudens. Dat is ongeveer 4,5 PJ elektriciteit. Technisch zijn er geen belemmeringen om in de Bottropse mijn een waterkrachtcentrale aan te leggen. Met onder de grond een reservoir in de vorm van een vijftien kilometer lange ring (capaciteit 575.000 kubieke meter) en een nieuw aan te leggen stuwmeer van tien hectare bovengronds.

Vorige bladzijden:  
94 Gebaseerd op het scenario IV - Samen Duurzaam - uit PBL (2018), De toekomst van de Noordzee, de Noordzee in 2030 en 2050: een scenariostudie.  
95 Planbureau voor de Leefomgeving, Hekkenberg, M., Koelemeijer, R., (2018). Analyse van het voorstel voor hoofdlijnen van het klimaatakkoord. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

## Buffercapaciteit

Energieopslag speelt een essentiële rol in de energietransitie, om piekvraag en -aanbod van stroom op te vangen en daarmee het elektriciteitsnet te ontlasten. Een land dat grotendeels op hernieuwbare energie draait, moet maatregelen nemen om de periodiciteit van duurzame energiebronnen het hoofd te bieden. Piekcapaciteit en buffers zijn systeemeisen die beter grootschalig te organiseren zijn en zijn dus goed te combineren met grootschalige opwek. De industriële clusters langs de kust kunnen hierin een rol vervullen door elektriciteit om te zetten in waterstof. Van nature vindt hier al conversie van energie plaats. Bestaande elektriciteitscentrales kunnen worden omgevormd naar 'noodaggregaten' waar door middel van waterstof of biomassa elektriciteit wordt opgewekt.

Het uitbreiden van zogenoemde zee-interconnectoren tussen de elektriciteitsnetten van de landen rond de Noordzee draagt bij aan de robuustheid van de Noordwest-Europese netten. Internationale uitwisseling van elektriciteit gebeurt nu al met bijvoorbeeld Noorse waterkracht, maar gaat met grote conversieverliezen gepaard. Elektriciteit kan zowel op grote als kleine schaal worden opgeslagen in batterijen. Echter hebben de meeste batterijen tot op heden een vervuilende impact.

Het oppompen van water en uit het verval daarvan weer elektriciteit opwekken is een efficiënte techniek om een overschot aan geproduceerde elektriciteit op te slaan. Wij hebben in Nederland alleen geen hoge bergen of stuwmeren. Er is echter nog een andere manier. De voormalige staatsmijnen in Limburg kunnen een rol vervullen als waterkrachtcentrale. De oude mijnen worden uitgerust met turbines aan de voet van de mijnschachten, die energie opwekken als er een tekort is aan wind- en zonne-energie. Het water wordt opgepompt met behulp van overtollige duurzame energie. Bij een tekort aan die groene stroom stort het water via de schachten de diepte in naar de turbines.

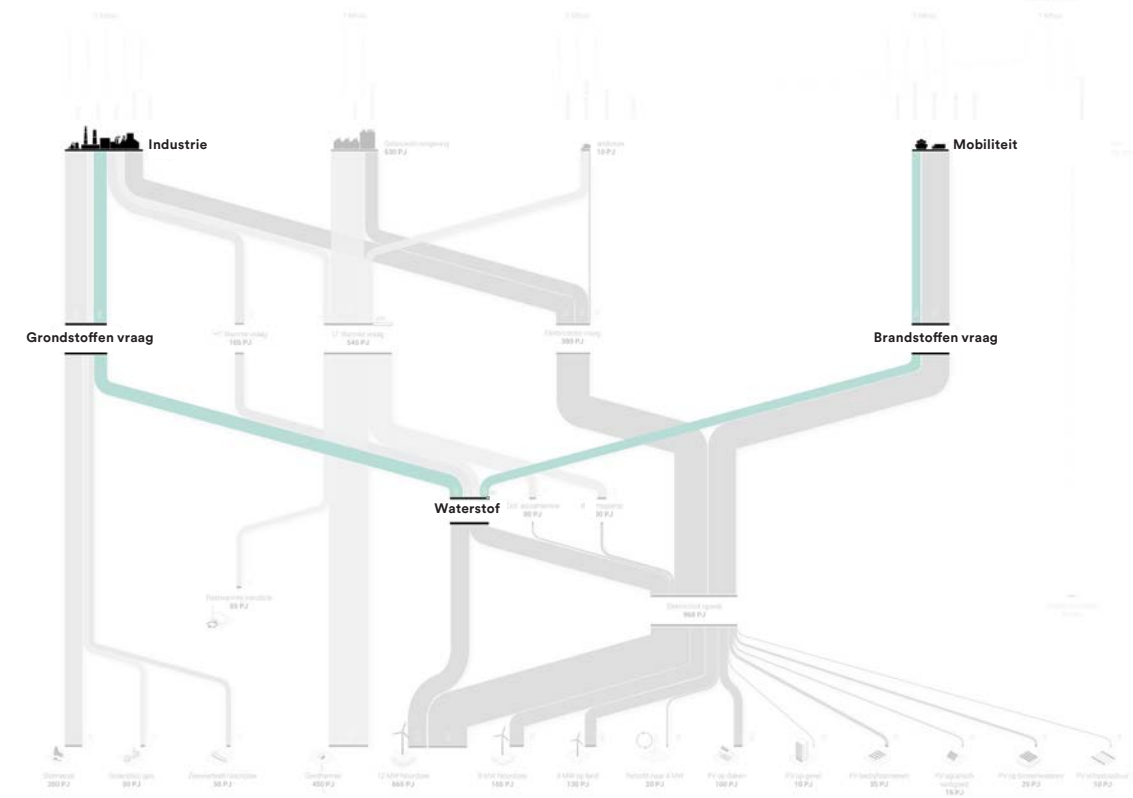
De aanwezige hoogspanningsstations en verdichting in het elektriciteitsnetwerk door de chemische industrie van Chemelot bieden kansen om hier elektriciteit op te slaan. De relicten van een historisch energielandschap kunnen zo onderdeel worden van het energiesysteem van de toekomst.

“De opslag voor piekcapaciteit en energie buffers zijn systeemeisen die beter grootschalig te organiseren zijn.”





**Afb. 43**  
Het onderdeel waterstof in het energiesysteem voor 2050. Voor het totale overzicht zie bladzijde 46.



“Door bij de aanlandingspunten direct elektriciteit om te zetten in waterstof wordt voorkomen dat er extra elektrische infrastructuur nodig is.”

geproduceerd worden op de aanlandlocaties van wind op zee bij de industriële clusters. Hiervoor zal ongeveer 10 km<sup>2</sup> aan elektrolyse-installaties nodig zijn, verspreid over de aanlandingspunten van wind op zee. Door bij de aanlandingspunten direct elektriciteit om te zetten in waterstof, wordt voorkomen dat er extra elektrische infrastructuur nodig is. De industrieclusters zijn met een dicht netwerk van buisleidingen aan elkaar verbonden en kunnen dus ook waterstof met elkaar uitwisselen.

besparingen en vervanging van aardgas door collectieve warmte uit restwarmte en geothermie, met name voor lage-temperatuur-verwarming. Het moet daarom mogelijk zijn om relatief snel een deel van deze aardgastransportleidingen geschikt te maken voor waterstoftransport en een ‘backbone’ te realiseren van Groningen naar IJmuiden, Rotterdam, Emmen, Geleen en Terneuzen. Gasunie heeft aangegeven deze backbone met een capaciteit van 10-15 GW voor nationaal waterstoftransport al voor 2030 te kunnen realiseren<sup>96</sup>. In 2030 zal waterstof

**Onzekerheden van waterstof.**

Waterstof is geen energiebron, maar een energiedrager. Het gebruik van waterstof is pas duurzaam wanneer de waterstof gemaakt wordt uit water en duurzaam opgewekte elektriciteit. We spreken dan over zogenaamde groene waterstof. De grijze waterstof die nu door de industrie wordt gebruikt voor het maken van grondstoffen heeft aardgas als bron. Er zijn grote verwachtingen over waterstof uit water met elektriciteit als energiebron, maar het wordt nog nauwelijks toegepast, o.a. omdat er erg veel extra opwekcapaciteit voor nodig is. Import van groene waterstof lijkt ook een mogelijkheid. Maar de vraag is of het buitenland wél voldoende groene waterstof kan produceren om in de toekomstige vraag te voorzien. Daarnaast zijn ook de opslagtechnologieën nog experimenteel en omgeven met onzekerheden. Er is altijd sprake van rendementsverlies en daardoor is het goedkoper en efficiënter om duurzame elektriciteit direct te benutten.

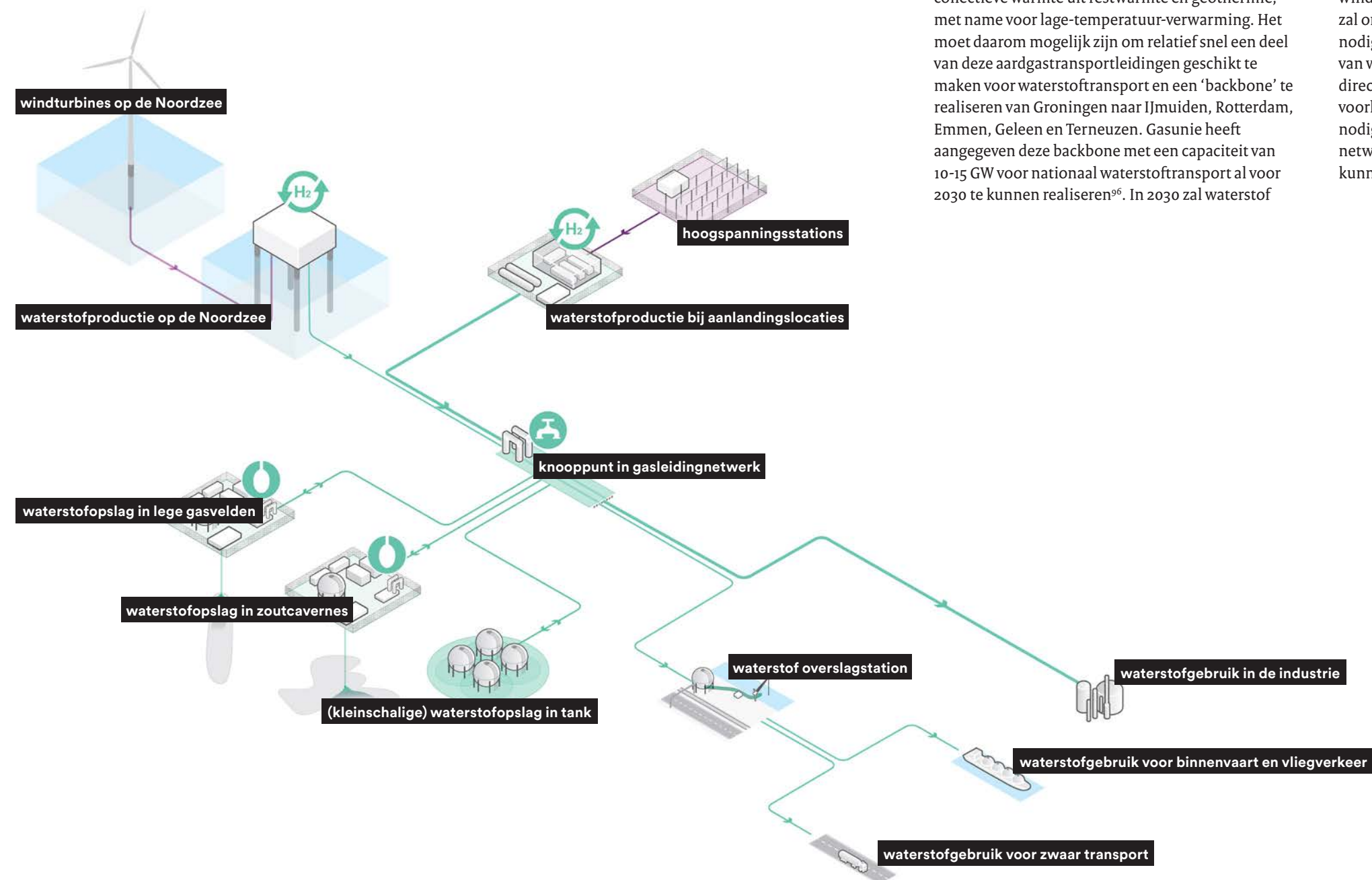
<sup>96</sup> Gasunie (2018) Waterstofbackbone 2030.

De vraag naar waterstof behelst ongeveer een vijfde van onze totale energie- en grondstoffenvraag in 2050. Hiervan is ongeveer een kwart nodig in de mobiliteitssector, de rest is nodig in de industrie.

Er is een groeiende internationale consensus dat duurzame waterstof een sleutelrol zal spelen in de transitie naar een duurzame energievoorziening. Waterstof is van cruciaal belang om de CO<sub>2</sub>eq emissies van de industrie en zwaar transport te verminderen en daarnaast energieopslag op grote schaal te kunnen realiseren. Daarnaast is elektrolyse een middel om overschotten aan (wind)energie te converteren als het elektriciteitsaanbod groter is dan de vraag. Bovendien kan waterstof ook dienen als back-up van het elektriciteitssysteem op momenten dat er weinig duurzame elektriciteit beschikbaar is. Nederland is door haar unieke positionering en aanwezige infrastructuur

goed uitgerust om een voorlopersrol op het gebied van waterstof in te nemen. De Nederlandse aardgastransportinfrastructuur, -de hogedrukleidingen voor transport over grotere afstanden-, is ideaal om grote hoeveelheden gas te transporteren. Met aanpassingen aan bestaande compressorstations en door het aanbrengen van een coating in het huidige (Gronings-) aardgasnetwerk kan de gasinfrastructuur geschikt gemaakt worden om waterstof te transporteren. Een deel van de bestaande transportcapaciteit komt de komende jaren beschikbaar doordat de gasproductie in Groningen in 2030 verdwenen zal zijn en doordat de vraag naar gas vermindert. Dat laatste vanwege

**Systemarchitectuur waterstof**








**Ruimtelijke componenten:**

Waterstof wordt geproduceerd door elektrolyse, waarbij water omgezet wordt in waterstof en zuurstof door toediening van elektriciteit. Deze elektrolyse-installaties worden zo dicht mogelijk bij de opwek van duurzame elektriciteit geplaatst om extra elektrische infrastructuur te voorkomen. Dit betekent waterstofproductie direct op de Noordzee of bij de aanlanding van Wind op Zee. Waterstof wordt via het aangepaste gasnetwerk getransporteerd en gebruikt in de industrie of als brandstof voor zwaar transport. In lege gasvelden, zoutcavernes of opslagtanks kan waterstof opgeslagen worden.

**5.3 Waterstof**



## Het waterstofsysteem in 2050

-  offshore windturbines (12 MW), 1.000 stuks, benodigd voor de productie van waterstof bij offshore converterstations
-  offshore windturbines benodigd voor de elektriciteitsvraag
-  benodigd oppervlakte voor elektrolyzers voor de productie van groene waterstof
-  back-up multifuel centrale gevoed met biomassa of waterstof
-  indicatief tracé waterstofnetwerk, gebruik makend van bestaand aardgasnetwerk of ruimte in buisleidingenstrook
-  seizoen en piekbuffering waterstof in zoutcaverne(s)
-  aanpassing/vervanging bestaande compressorstations
-  indicatie aansluitingen waterstof voor bio-raffinage en ander grootschalig verbruik in de industrie
-  industrie en gebouwde omgeving aangesloten aan bestaand aardgasnetwerk
-  indicatief tracé bestaand aardgasnetwerk
-  grens Nederlands deel Noordzee



## Waterstof in 2050

Naargelang de afstanden tussen windturbines op zee en het vasteland groter worden, wordt het interessanter om waterstof direct op de Noordzee te produceren. Hiervoor zal aanvullend ongeveer 10 km<sup>2</sup> aan elektrolyse-installaties nodig zijn op de Noordzee zelf. Om de in totaal 360 PJ aan waterstof te produceren zullen er 1.000 windturbines op zee nodig zijn (als onderdeel van reeds genoemde 4.300 windturbines) met een ruimtebeslag van ongeveer 1.700 km<sup>2</sup>. Met aanpassingen aan bestaande gas- en olie infrastructuur op de Noordzee kan deze waterstof naar land getransporteerd worden en hier in de waterstofrotonde worden gevoed. Met name de Eemshaven zal in de toekomst een belangrijk knooppunt voor (waterstof)conversie kunnen worden. Het huidige (Gronings)gasnetwerk vertakt zich vanaf hier door heel Nederland en in lege gasvelden en zoutcavernes is het mogelijk om waterstof op te slaan. Het is dus relatief eenvoudig om vanaf hier waterstof door Nederland, en wellicht zelfs richting Duitsland en België te transporteren. Ook nu wordt ruwe olie bij de zeehavens omgezet in olieproducten die per pijpleiding het achterland en het buitenland voorzien van energie en grondstoffen. Groene waterstof kan in principe over de hele wereld worden verscheept naar plaatsen die minder goed zijn uitgerust met hernieuwbare energiebronnen.

## Ruimtebeslag



Waterstof t.b.v. grondstoffen en mobiliteit vraag



Waterstofpijpleiding



12 MW wind op zee t. b.v. waterstofproductie: 1.000 turbines



“Het strategisch en proactief sturen op de realisatie van netwerken, leidt tot een robuust ‘multi commodity grid’ dat voorwaarden-scheppend is voor het behoud en de vestiging van industrie.”

### Communicerende vaten; de industrie als conversiecluster

De industrieclusters zullen naar alle waarschijnlijkheid een belangrijk knooppunt van koolwaterstofstromen en koolwaterstofconversie blijven. Sommige industrieclusters liggen echter geografisch gunstiger om bepaalde activiteiten te accommoderen in de transitie naar 2050. Industrieclusters waar in de toekomst grote hoeveelheden duurzame elektriciteit zullen aanlanden zijn de ideale locatie om door middel van elektrolyse duurzame waterstof te produceren. Ondanks dat de exacte verhoudingen onzeker zijn, kan worden aangenomen dat het transporteren van moleculen vele malen goedkoper is dan het transporteren van elektronen<sup>97</sup>. Het is dus voorstelbaar dat, zeker met de aanwezige ruimte in de buisleidingstrook<sup>98</sup>, er op grote schaal gebruik zal worden gemaakt van transport via buisleidingen. Bewijs hiervan is de geplande aanleg van waterstofpijpleidingen in Zeeland, Zuid-Holland en Groningen. Deze zullen voorlopig nog gevoed worden door blauwe waterstof (waterstof uit aardgas in combinatie met CO<sub>2</sub> afvang en opslag). Richting 2050 zal het waterstofnetwerk verder uitgebreid worden en gevoed worden met groene waterstof. Industrie op locaties waar geen grote hoeveelheid duurzame elektriciteit aanwezig is, kunnen vervolgens per pijpleiding voorzien worden van waterstof. Het strategisch en proactief sturen op de realisatie van bovenstaande netwerken, leidt tot een robuust ‘multi commodity grid’ dat voorwaarden-scheppend is voor het behoud en de vestiging van industrie.



<sup>97</sup> Berenschot, 2018. Elektronen en/of Moleculen. Utrecht: Berenschot Groep B.V.  
<sup>98</sup> Ministerie I&M, 2014



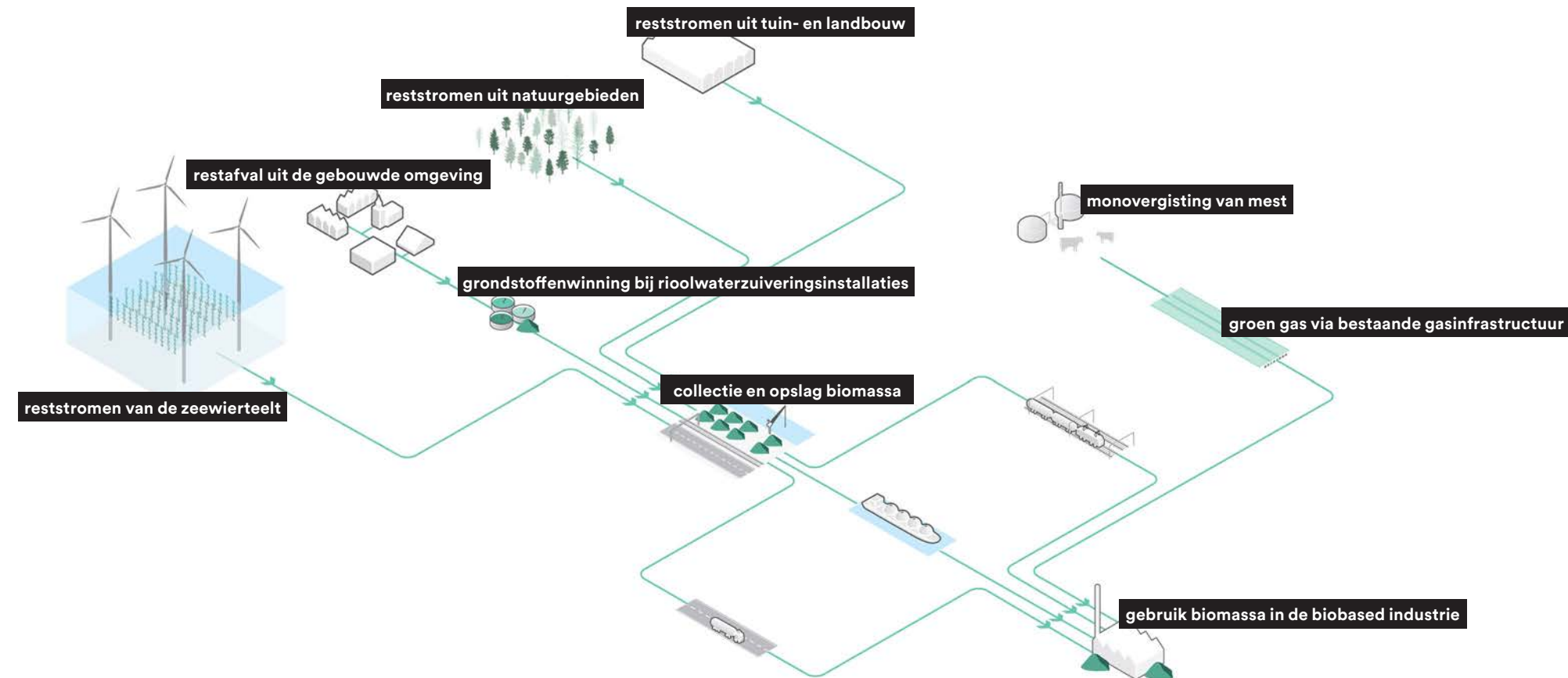
# 5.4 Biomassa

De behoefte aan biomassa beslaat ongeveer 15% van de energie- en grondstoffenvraag in 2050. Hoe deze biomassa wordt gewonnen, is nog de vraag. Belangrijk is dat dit niet concurreert met de transitie naar een circulaire landbouw of bestaande natuurwaarden. Het efficiënt gebruik van reststromen vormt de sleutel.

Niet alleen fossiele brandstoffen, maar ook het gebruik van fossiele grondstoffen gaat gepaard met broeikasgasemissies. De (petro)chemische industrie is daarom naarstig op zoek naar plantaardige grondstoffen die op termijn fossiele grondstoffen kunnen vervangen. Met deze grondstoffen kunnen vervolgens biobased producten worden gemaakt zoals medicijnen, bouwmaterialen en plastics. De groene grondstoffen zullen voor een groot deel gewonnen worden uit organisch restmateriaal afkomstig van de land- en tuinbouw en uit duurzaam natuurbeheer. Het is belangrijk dat biomassa hoogwaardig gebruikt wordt. Dit kan zowel als

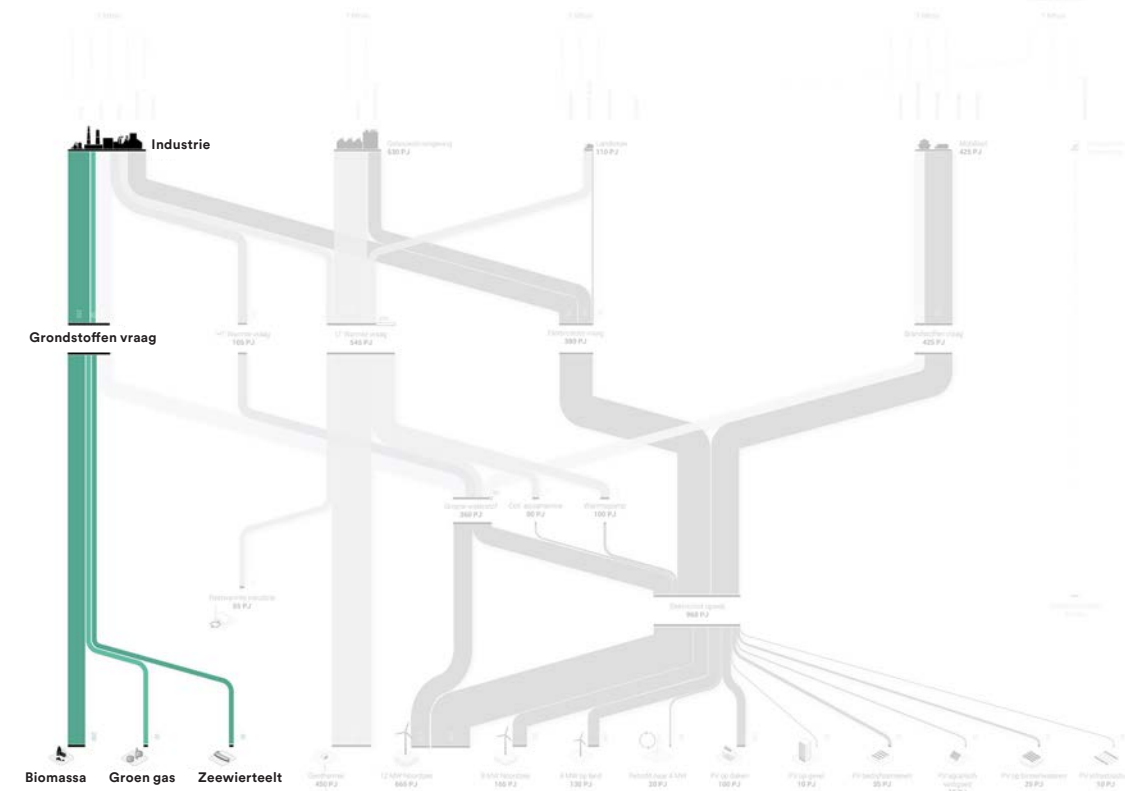
organische stof om de vruchtbaarheid van de bodem op peil te houden in de circulaire landbouw, alsook in de biobased industrie. Hoe het gebruik in beiden sectoren zich tot elkaar zal verhouden is onduidelijk. Het gebruik van biomassa als groene grondstof is een directe concurrent als het gaat om de transitie naar een circulaire landbouw en leidt tot het 'weglekken' van grondstoffen die nodig zijn om de bodemvruchtbaarheid op peil te houden. Organisch 'restmateriaal' is namelijk essentieel bij een transitie naar een circulaire landbouw, waarbij kunstmest wordt vervangen door natuurlijke, organische meststoffen. Idealiter wordt biomassa zo efficiënt

## Stysteemarchitectuur biomassa



### Ruimtelijke componenten:

Bijgaand schema toont verschillende biomassabronnen en hoe deze getransporteerd kunnen worden. Het gaat bij alle bronnen om reststromen. Dit zijn reststromen uit de voedselproductie zoals de zeeiwerteelt en de tuin- en landbouw of reststromen verkregen uit duurzaam natuurbeleid. Via de bestaande riolering zal afval van de gebouwde omgeving naar rioolwaterzuiveringsinstallaties worden getransporteerd, waar vervolgens grondstoffen uit deze reststromen gewonnen worden. Deze grondstoffen worden verzameld en opgeslagen en verder getransporteerd naar de biobased industrie. Ook groen gas geproduceerd uit mest zal, via de bestaande gasinfrastructuur, in deze industrie gebruikt worden.



Afb. 44  
Het onderdeel biomassa in het energiesysteem voor 2050. Voor het totale overzicht zie bladzijde 46.

mogelijk gebruikt en opgewerkt (gevaloriseerd) tot voor verschillende stakeholders bruikbare grondstoffen, waarna uiteindelijk het resterend organisch materiaal als compost terugkomt in de natuurlijke cyclus. Of dit technisch haalbaar is is nog onduidelijk.

De inzet van biomassa speelt een belangrijke rol in het halen van de klimaatdoelstellingen. Het gaat daarbij niet om de teelt van biomassa, maar om reststromen verkregen uit onder andere de voedselverwerkende industrie of de vergisting

van mest. Mede afhankelijk van de ontwikkeling van de internationale landbouwproductiviteit en de mondiale voedselvraag, zullen er in de toekomst mogelijk scherpe keuzes nodig zijn rond de inzet van biomassa voor voedsel-, energie-, en grondstoffenproductie met het behoud van bodemvruchtbaarheid.



Afb. 45  
Shredders voor het vermalen van voedsel- en tuinafval waarna het via de riolering getransporteerd kan worden.



## Het biomassasysteem in 2050

- offshore converterstations dienen ook als verzamelpunt voor de zeevloed
- grootschalige zeevloed bij windturbines op de Noordzee
- zeehavens worden gebruikt voor opslag en transport reststromen zeevloed
- back-up multifuel centrale gevoed met biomassa of waterstof

- rioolwaterzuiveringen met grondstofwinning en/of productie biogas
- dubbel gebruik rioleringsstelsel voor transport groene grondstoffen in bebouwd gebied
- vernatten van alle veenweidegebieden: aangepaste melkveehouderij, plaatselijk ontwikkelen natte teelten, plaatselijk omvormen naar natuur, bij dunne veenpakketten opgeven veenbehoud.

NB.  
 \*Locatie aan te planten bossen nader te bepalen.  
 Het totale oppervlakte van de huidige bossen is 373.000ha.  
 Een kwart van de bestaande RWZI's zijn ingetekend op de kaart.

**+100.000 ha**  
 aan te planten bossen\*

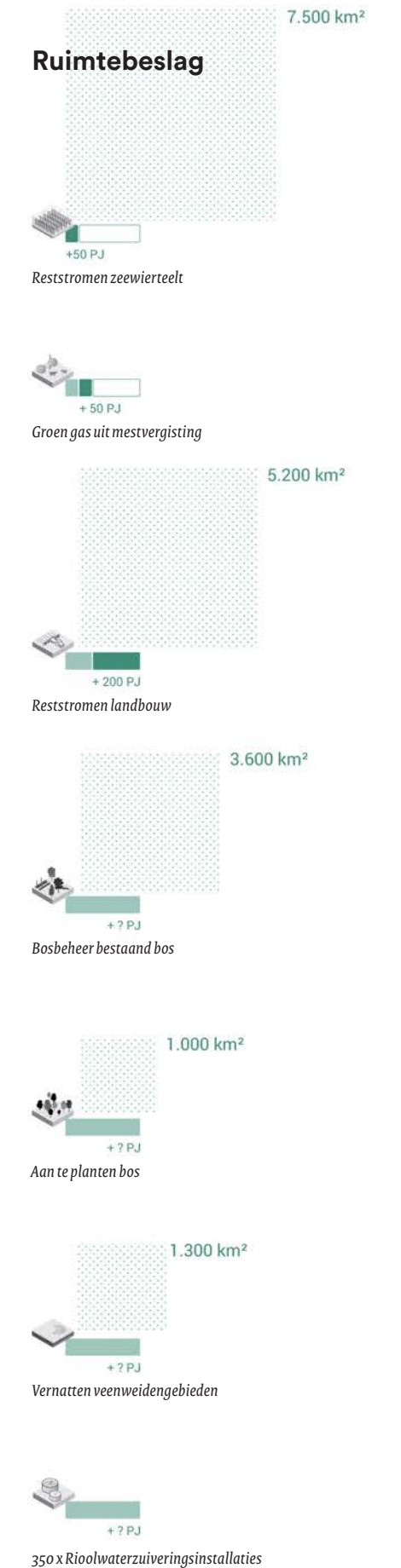
## Biomassa in 2050

Natuur en Milieu becijfert in haar biomassa-visie dat er in 2050 maximaal 200 PJ<sup>99</sup> biomassa beschikbaar is uit reststromen van de glastuinbouw, landbouw en natuurbeheer. Dit is zonder de organische stoffen die Nederland nodig heeft voor transitie naar een circulaire landbouw en bijbehorende voedsel- en veevoerproductie. Biomassagebruik vereist grote ruimtelijke aanpassingen in en rond de zeehavens en industrieclusters. Dit betreft aanpassingen voor zowel de aanvoer als de opslag en verwerking van deze hoeveelheid goederen, naast alle andere ruimteclaims (zoals meer dan 10 km<sup>2</sup> elektrolyse-installaties) die door de energietransitie op havengebieden worden gelegd.

In de toekomst zullen ook stedelijke organische reststromen benut worden voor de biochemie door het slim gebruiken van de bestaande riolering. Steden genereren dagelijks enorme hoeveelheden biomassa, geproduceerd door miljoenen mensen. Deze biomassa wordt nu opgevat als afval en vindt zijn weg als 'zwart water' naar afvalwaterbehandelingen. Sommige van deze afvalwaterbehandelingen experimenteren momenteel met het omzetten van slib in groen gas of het extraheren van waardevolle grondstoffen uit het afvalwater. Wanneer dit principe wordt opgeschaald, kan dit in potentie een enorme hoeveelheid aan groene grondstoffen opleveren. Het wordt nog interessanter wanneer alle huishoudens hun voedsel- en tuinafval zouden vernietigen in zogenoemde shredders. Deze pulp kan dan 's nachts, wanneer het systeem onderbenut is, door de riolering naar de afvalwaterzuiveringsinstallaties worden getransporteerd. Hier kan het groene residu worden verfijnd tot groene bouwstenen en groen gas<sup>100</sup>. Op deze manier worden alle rioolwaterzuiveringsinstallaties geleidelijk kleinschalige bioraffinaderijen van stedelijk groenafval.

Aanvullend op de productie van groen gas bij rioolwaterzuiveringsinstallaties kan ook het (mono)vergisten van mest een waardevolle methode zijn om hernieuwbaar gas als grondstof (en mogelijk ook hoge temperatuur vraag) voor de industrie te winnen. Het is goed voorstelbaar dat er in ons land gebieden zijn waar, door de dominante positie van de veehouderij, een groot potentieel aanwezig blijft voor groen gas productie<sup>101</sup>. Delen van het (aard)gasnet kunnen worden behouden zodat het geproduceerde groen gas via deze leidingen naar de grote industrieclusters kan worden getransporteerd waardoor geen aanvullende infrastructuur nodig is. Kantekening hier is dat voor totstandkoming van de circulaire landbouw stedelijke organische reststromen de grootste lek vormen uit de voedselketen. Om daadwerkelijk kringlopen te sluiten zou er evenveel organisch materiaal terug in de bodem moeten als er jaarlijks verteerd, in ons klimaat zou het dan gaan om 1,5 tot 2 ton biomassa per hectare per jaar<sup>102</sup>. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen hoe de beschikbare biomassa ingezet kan worden in zowel de biobased industrie als de circulaire landbouw.

Naast het optimaal benutten van de aanwezige reststromen uit het huidige gebruik van het landschap zal nieuw landgebruik ook extra biomassa opleveren. De voorgestelde grootschalige zeevloed op de Noordzee kan met name hieraan bijdragen. Reststromen uit deze zeevloedproductie kunnen belangrijke grondstoffen leveren voor de biobased economie. Geschat wordt dat uit de reststromen van de in totaal 7.500 km<sup>2</sup> aan zeevloedvelden ongeveer 50 PJ aan waardevolle grondstoffen gewonnen kan worden. Eiwit is het meest waardevolle onderdeel van zeevloed, maar zeevloed bestaat maar voor een klein deel uit eiwitten<sup>103</sup>. De reststroompotentie is dus erg groot en kan een klimaatvriendelijk alternatief zijn voor fossiele grondstoffen voor de productie van chemicaliën en biobrandstoffen. De impact op de reductiedoelstellingen door plantaardige eiwitten uit zeevloed te gebruiken als vervanging voor dierlijke eiwitten wordt besproken in paragraaf 5.5; Circulaire landbouw en eiwittransitie.



99 Transitieagenda Circulaire economie, 2018. Biomassa & voedsel. In de literatuur wordt biomassa beschikbaarheid meestal uitgedrukt in Joules. Als omrekenfactor naar massa kan een gemiddelde waarde van 17 GJ/ton worden gehanteerd.  
 100 Studio Marco Vermeulen (2015) Biobased Backbone: towards a sustainable, economically resilient and more beautiful Dutch-Belgian Delta region.  
 101 Energie en Ruime; Een nationaal perspectief (2017); Dirk Sijmons, FABRICations, H+N+S landschapsarchitecten, POSAD Spatial Strategies, Studio Marco Vermeulen, NRGlab / Wageningen Universiteit, Vereniging Deltametropool  
 102 Zie voor meer informatie over het gebruik van stedelijk restmateriaal in de circulaire landbouw het rapport: Circulariyy in agricultural production van de Wageningen University uit 2018.  
 103 Wageningen University & NoordzeeBoerderij, 2018. Kansen en belemmeringen voor 'Zeevloedstarters'



“Vernatten van de veenweiden is niet alleen een gouden kans voor het klimaat, maar ook voor meer biodiversiteit en een omslag naar een duurzame veehouderij en landbouwsector.”



Afb. 47  
Elzenbroekbos

“Door delen van het landschap te transformeren kan jaarlijks bijna 7 Mton opslagen worden.”

## Het absorptievermogen van het landschap

Het gebruik van het landschap is altijd gepaard gegaan met een grote uitstoot aan broeikasgassen. Het landschap werd gebruikt om in grondstoffen en brandstoffen te voorzien. Om eten te kunnen bereiden en de huizen te verwarmen werden de oorspronkelijke bossen gekapt, de veengebieden ontgonnen en kolen en aardgas aan de bodem onttrokken. Wij kunnen dit ook omdraaien, door ons landschap zo in te richten dat het juist CO<sub>2</sub>-opslaat in plaats van uitstoot. Deze absorptiemaatregelen zullen het landschap spectaculair veranderen.

De meeste prangende landschapsverandering zal plaatsvinden in de veenweidegebieden. Huidige oxidatie van de veenweiden gaat gepaard met een jaarlijkse CO<sub>2</sub> uitstoot van 4,3 Mton<sup>104</sup>. Het verhogen van de grondwaterstand in veenweidegebieden is een kostenefficiënte methode om CO<sub>2</sub>-uitstoot te reduceren. Wordt de helft van alle veenweidegebieden vernat, dan levert dit een reductie van 2 Mton op<sup>105</sup>.

Het vernatten van veenweiden gaat vaak ten koste van het oorspronkelijk landgebruik. Delen van deze veengebieden zullen worden getransformeerd tot natuur, alternatieve landbouw, productiebos of worden opgegeven. Daarmee zijn de veenweiden niet alleen een gouden kans voor het klimaat, maar ook voor meer biodiversiteit, weidevogels en een omslag naar een duurzame veehouderij en landbouwsector. Waar welke transformaties specifiek zullen plaatsvinden is niet onderzocht. Wel worden in paragraaf 5.5 verschillende toekomstperspectieven voor de landbouw besproken waar de transitie van de veenweidegebieden verder aan bod komt.

## Het belang van meer groen

De Nederlandse bossen hebben een jaarlijkse netto koolstofopname van 2 megaton<sup>106</sup>. Maar de koolstofopslag in huidige bossen met huidig beleid is een tijdelijke oplossing, omdat bomen alleen koolstof opslaan als ze groeien.



Nederland beschikt, buiten de Natura 2000 gebieden, over maar liefst 140.000 hectare bos, veelal oorspronkelijk aangelegd als productiebos voor de mijnbouw. Hier kunnen selectief bomen worden vervangen door jonge exemplaren van andere soorten. Dit levert circa 8m<sup>3</sup> per hectare per jaar aan hout op.

Afb. 46  
Een voorbeeld van duurzame bosbouw in Scandinavië.

Als ze dood gaan geven ze weer CO<sub>2</sub> af. Het gebruiken (en dus het kappen) van deze bomen om het hout vervolgens langdurig te gebruiken in combinatie met het aanplanten van nieuwe bomen draagt wel bij aan de reductiedoelstelling omdat CO<sub>2</sub> wordt afgevangen en langdurig wordt opgeslagen, een natuurlijke vorm van *Carbon Capture and Utilization* dus. Tegelijkertijd kan door de aanplant van een gevarieerdere mix aan bomensoorten de ecologische, landschappelijke en recreatieve meerwaarde in de vaak monotone bossen verbeterd worden.

De Nederlandse bos- en houtsector heeft de ambitie om de komende drie decennia 100.000 hectare nieuw bos in Nederland creëren<sup>107</sup>. Dit zou een gemiddeld jaarlijkse CO<sub>2</sub> opname van ongeveer 1,3 Mton<sup>108</sup> betekenen. Deze bosaanplant en bijbehorend duurzaam beheer zou een impuls kunnen betekenen voor delen van Nederland die kampen met een slechte bodemkwaliteit en/of een tanende agrarische economie. Waar deze bossen aangeplant gaan worden is echter niet nader onderzocht. Wel zullen deze bossen zich anders manifesteren naar gelang het landschapstype. Met het vernatten van veenweidegebieden kunnen hier bijvoorbeeld broekbossen worden aangeplant, die daar van oorsprong ook veel voorkwamen. De aanplant van nieuw bos en ander groen heeft niet alleen positieve effecten op ons landschap, maar kan

ook in de bestaande gebouwde omgeving bijdragen aan diverse doelen. Wanneer we onze versteende steden meer van groen voorzien, verbeteren we het microklimaat, kunnen we de steden beter koel houden en wordt energie voor koelen bespaard. Tegelijkertijd verbeteren we de biodiversiteit, zuiveren we de lucht en slaan we CO<sub>2</sub> op. Als laatste levert meer groen in onze steden en dorpen een directe kwaliteitsimpuls op.

Tot slot kan door het vervangen van een kwart van het ophoogzand met olivijn 1,2 Mton CO<sub>2</sub> eq opgeslagen worden (zie reductiemaatregelen op pagina 50). Olivijn heeft een lichtgroene kleur en als het verweert dan “bindt” het CO<sub>2</sub>: de CO<sub>2</sub> in de lucht komt vast te zitten in een andere stof, bicarbonaat. Deze stof wordt door regen vervolgens weggespoeld en komt in de oceaan terecht. Het komt uiteindelijk als kalk op de bodem van de zee terecht waar het miljoenen jaren kan blijven liggen. Een deel van onze stranden zal dan groen worden, in de twee betekenissen van het woord.

Theoretisch zou deze landschapstransformatie van onze bossen, landbouw, stranden en veenweidegebieden jaarlijks 7 Mton aan broeikasgasemissies kunnen opslaan.

104 Wageningen University & Research, 2018. Veenweiden verantwoordelijk voor groot deel CO<sub>2</sub>-uitstoot. Zie verder: <http://edepot.wur.nl/472317>  
105 Innoveren met een missie, integrale kennis- en innovatieagenda voor klimaat en energie, 2019.  
106 <https://resource.wur.nl/show/Veenweiden-verantwoordelijk-voor-groot-deel-CO2-uitstoot.html>  
107 CE Delft (2017) MKBA 100.000 hectare extra bos in Nederland.  
108 Pulselli et al. 2019. Een hectare aan gezond bos compenseert ongeveer 13 ton CO<sub>2</sub>-uitstoot. Dat is dus 1,3 Mton bij 100.000 ha).



We staan aan de vooravond van de transitie naar een hernieuwbaar energiesysteem, naar gedeelde mobiliteit, naar een gezonde landbouw en naar een circulaire economie. Dit is het moment om de identiteit van Nederland te ijk en koers te bepalen.

Via Parijs is een ontwerpverkenning naar een klimaatneutraal Nederland, een mogelijk toekomstbeeld dat vanuit ruimtelijke overwegingen én vanuit de logica van systemen ontwikkeld is. In het Klimaatakkoord zijn afspraken gemaakt tot 2030. Deze strategie kijkt verder vooruit, tot 2050, het moment waarop Nederland CO<sub>2</sub>-neutraal zal zijn. In deze ontwerpverkenning is de gehele opgave voor CO<sub>2</sub>-reductie in beeld gebracht en in nationaal perspectief geplaatst. Een inspirerend narratief, een 'groter verhaal' over Nederland dat richting geeft aan de transitie naar een postfossiele samenleving.

