

KLIMMAAT

ENERGIE

RUIMTE

1950

1970

1990

2010 2017

Beeld omslag:

- achtergrond:

Afwijkingen in de gemiddelde wereld temperatuur tussen 1850 en 2017
(Bron: Ed Hawkins, Professor of climate science, University of Reading)

- grafiek:

Inwoneraantal Nederland tussen 1850 en 2017 (Bron: CBS)

Energiegebruik per inwoner in Nederland (Bron: CBS)

Aantal auto's in Nederland (Bron: <https://www.wegenwiki.nl/Autobezit>)

Ruimte per inwoner in Nederland (Bron: CLO)

Bos en natuur per inwoner in Nederland (Bron: CLO)

RUIMTELIJKE VERKENNING
ENERGIE EN KLIMAAT

KLIMAAT

ENERGIE

RUIMTE

JANUARI 2018

posad
SPATIAL STRATEGIES

GE
GENERATION
ENERGY

H+N+
S+ +

FABRICations.
STUDIOMARCOVERMEULEN
architectuur | interieur | landschap | landschap

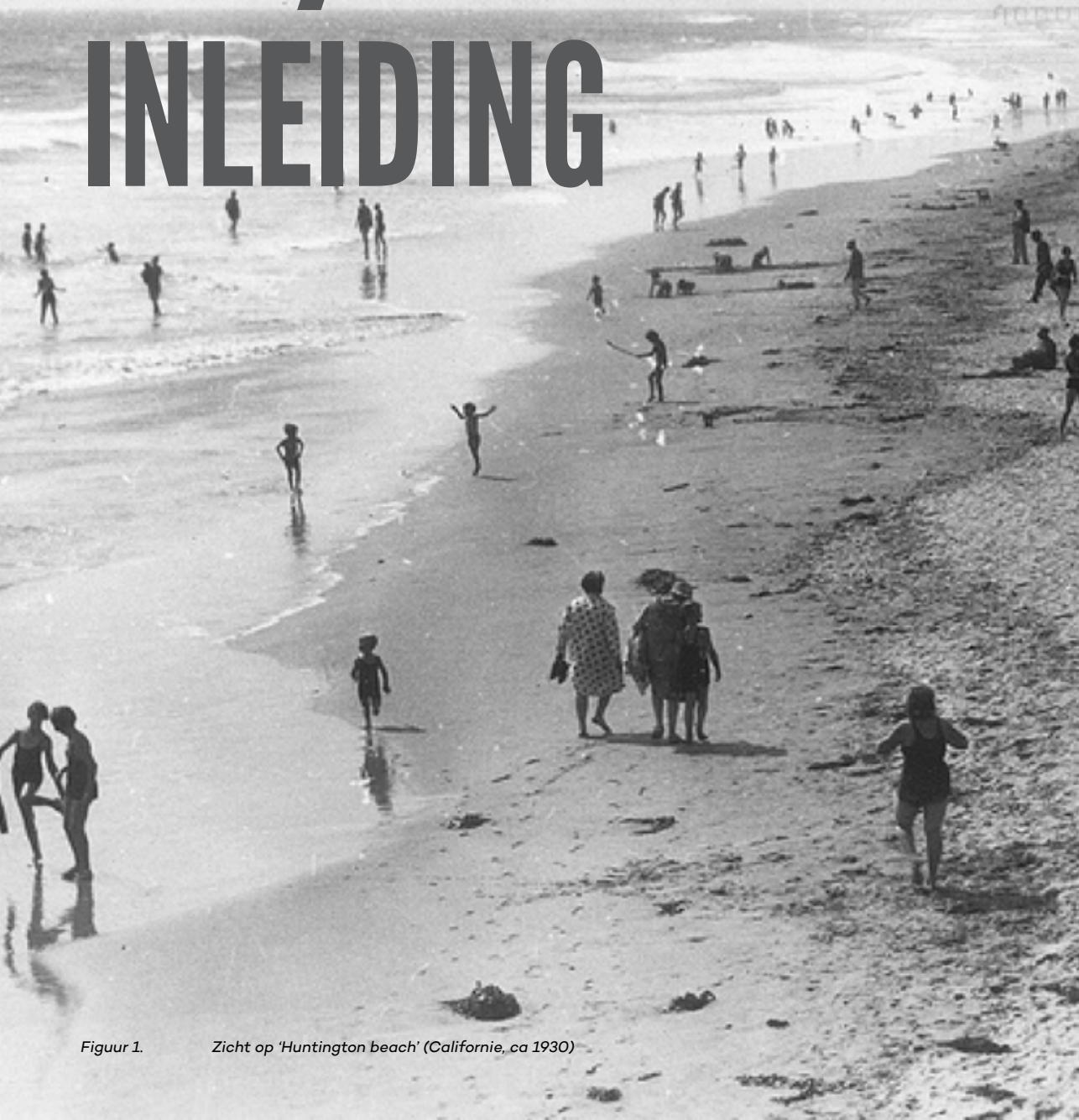
NRC
LAB

RUIMTEVOLK
WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

INHOUD

1	INLEIDING	6
2	ANALYSE PER FUNCTIONALITEIT	18
	ENERGIEBESPARING	20
	HOGE TEMPERATUUR WARMTE	34
	KRACHT EN LICHT (ELEKTRICITEIT)	54
	LAGE TEMPERATUUR WARMTE	162
	TRANSPORT EN MOBILITEIT	218
	VOEDSEL EN NATUUR	244
3	INTEGRALE DENKRICHTINGEN	276
4	INSTRUMENTEN / GOVERNANCE	300
5	ADAPTIVITEIT	322
6	BIJLAGEN	336
	FIGURENLIJST	376
	EINDNOTEN	380
	COLOFON	386

01 / INLEIDING



Figuur 1.

Zicht op 'Huntington beach' (Californie, ca 1930)



Huntington Beach,

URGENTIE

We zijn nog niet te laat om het tij te keren qua klimaatverandering. Althans dat hopen we. Berekeningen die ten grondslag liggen aan de mondiale klimaatstrategie sinds 'Parijs' laten zien dat – als we nu niet ingrijpen en de mondiaal toenemende CO₂-uitstoot verminderen – het steeds lastiger wordt en het ons steeds meer gaat kosten om in steeds minder tijd deze emissies tot een acceptabel niveau terug te brengen en ervoor te zorgen dat de verwachte temperatuurstijging niet boven de 2 graden komt.

De onderliggende en meest fundamentele opgave voor de klimaattransitie binnen de energiesector is dan ook om over te schakelen van een fossiel gebaseerde naar een biobased economie waarbij de gebruikte energie hernieuwbaar is. De urgentie van de opgave is in Parijs duidelijk be- en omschreven. We hebben een beperkte tijd die resteert maar bovenal ook een beperkt CO₂ 'budget' wat we nog kunnen verstoken. Het creëren en uitvoeren van oplossingen moet dus in die tijd. Dat vereist veranderingen in energieopwekking en -gebruik, maar ook in de daarvoor benodigde ruimtelijke condities. De ruimte in Nederland is immers al in gebruik voor veel verschillende andere functies. Er moet dus ruimte worden gemaakt en er zijn kansen voor het combineren van functies. Dit kost tijd, tijd om de voorwaarden te scheppen, daarna tijd voor het daadwerkelijk plannen en dan het realiseren. Een realisatie die op zichzelf nog een enorme opgave wordt; het bouwen van alle turbines, zonnevelden, warmtenetten, aanpassingen aan stroomnetten en modificaties aan alle woningen vereist geld, planning en vakmensen. De energietransitie is daarmee naast een technische en sociaaleconomische ook een ruimtelijke transitie.

RUIMTELIJKE VERKENNING ENERGIE EN KLIMAAT

In opdracht van de ministeries van EZ, IenM en BZK¹ is een Ruimtelijke Verkenning Energie en Klimaat (Ruimtelijke Verkenning) uitgevoerd naar de ruimtelijke aspecten van de Energietransitie. De verkenning is uitgevoerd door een collectief van ontwerp bureaus, kennisorganisaties en een universiteit², onder begeleiding van een interdepartementaal team vanuit de drie ministeries. Zo is de bij het collectief beschikbare kennis over energie en ruimte via ontwerpend onderzoek gebundeld. We denken dan ook gezamenlijk een beter antwoord te kunnen geven op de vragen die voortkomen uit de energietransitie.

Gedurende het traject hebben meer dan 100 professionals uit bedrijfsleven, overheden en maatschappelijke organisaties input geleverd tijdens twee ontwerp ateliers. Dit rapport is het eindresultaat van de gehouden ateliers en het werk door het ontwerpcollectief.

De Ruimtelijke Verkenning draagt afwegings- en beslisinformatie aan voor twee beleidstrajecten: de Nationale Omgevingsvisie (NOVI)³ en de uitwerking Energieagenda. In het vervolg op de Energieagenda – naar een CO₂ arme energievoorziening (Ministerie van EZ, 2016), zijn de transitiepaden voor de vijf functionaliteiten (hoge temperatuur, lage temperatuur, kracht en licht, mobiliteit en voedsel en natuur) en drie dwarsdoorsnijdende thema's (innovatie, ruimte en governance) uitgewerkt. Deze transitiepaden en de dwarsdoorsnijdende thema's worden uiteindelijk in samenhang bekeken. De resultaten kunnen onder andere worden gebruikt voor het Nationaal Energie en Klimaatplan (INEK) waarin Nederland aan de Europese Commissie aangeeft hoe het aan de klimaatverplichtingen wil voldoen.

Ruimte, innovatie en governance zijn in feite slechts enkele van de vele dwarsdoorsnijdende thema's. In een eerdere schets voor een Nationaal Perspectief⁴ (www.deltametropool.nl/nl/energie_en_ruimte), dat door een groot aantal van onze teamleden is gemaakt, ontrafelden we de complexiteit van de opgave en lieten we de ruimtelijke gevolgen van de verschillende opties zien.

In deze verkenning worden de ruimtelijke aspecten van verschillende bouwstenen onderzocht die een bijdrage kunnen leveren aan een CO₂-arme leefomgeving en energievoorziening in Nederland, en laten we zien dat er een noodzaak is om hiermee snel te beginnen. De verkenning is daarmee ondersteunend aan beleidsvorming op verschillende schaalniveaus. Aspecten als kosten of de verdeling van lusten en lasten zijn geen onderdeel van deze verkenning. De kostenaspecten worden behandeld in het rapport "Verkenning van klimaatdoelen" van PBL⁵. Onder ruimtelijke aspecten verstaan we hier het ruimtebeslag van de energietransitie, de ruimtelijke impact op de beleving en de leefomgeving en de ruimtelijke kansen en keuzemogelijkheden door slim te organiseren en combineren. Met ontwerpend onderzoek onderzoeken wij de ruimtelijke dimensie van deze transitie. Daar ligt ook een belangrijk deel van onze expertise. Wat betekent een volledige duurzame energievoorziening voor onze steden en voor ons landschap? Gaat er kwaliteit verloren of kunnen we de energietransitie aangrijpen om tegelijkertijd ook andere vraagstukken te adresseren? Welke kansen zien we door combinaties tussen de functionaliteiten en combinaties met andere functies?

In navolging van het advies van de RLi en de Energieagenda en op verzoek van de ministeries werkt de studie met vijf functionaliteiten. In het eerste deel van de verkenning (Hoofdstuk 2) zijn de verschillende ruimtelijke aspecten dan ook per functionaliteit uitgewerkt. Omdat het mede vanwege grote onzekerheden over toekomstige efficiënties lastig is de exacte potenties te berekenen worden hiervoor op veel plekken in deze verkenning bandbreedtes gehanteerd.

In het tweede deel van de verkenning (Hoofdstuk 3) bekijken we vanuit een viertal integrale en ruimtelijk onderscheidende denkrichtingen welke ruimtelijke- en andere kansen en grenzen er bestaan gegeven de genoemde bouwstenen en koppeling tussen deze bouwstenen en met andere ruimtelijke opgaven. De denkrichtingen dienen ook om de effecten en kansen van mogelijke beleidskeuzes inzichtelijk te maken. Welke keuzes komen in alle denkrichtingen naar voren, zijn er ruimtelijke hotspots aan te wijzen en welke no-regrets zijn te bepalen? Deze denkrichtingen zijn vormgegeven door twee ruimtelijke beleidsdilemma's, te weten nationale aanpak vs. regionale/lokale aanpak en energie invoegen in ons (stedelijk) landschap vs. energie nieuwe (stedelijke) landschappen laten definiëren.

In de hoofdstukken hierna geven we inzicht in de ruimtelijke instrumenten die benut kunnen worden voor de transitie (Hoofdstuk 4) en geven we kort inzicht in een paar regionale ruimtelijke verkenningen en de kansen die ontstaan door samenwerking tussen de schaalniveaus en op wat voor manier het aspect tijd en adaptiviteit (Hoofdstuk 5) meegenomen kan worden in de besluiten die moeten worden genomen.

REGEERAKKOORD

Deze verkenning is gedaan onder het kabinet Rutte II. Inmiddels zijn in het regeerakkoord 2017-2021 de ambities van het nieuwe kabinet vastgelegd. De ligt de lat hoog.

Enkele mogelijke relaties tussen maatregelen uit het regeerakkoord en de inhoud van deze verkenning:

- De snelle afvang van CO₂ in de industrie betekent een torenhoge ambitie maar ook dat na 2030 sneller moet worden overgegaan naar een volledig duurzaam energiesysteem. De fundamenten daarvoor moeten dus nu al gepland worden. Deze afvang lijkt kansrijk in de industriële hotspots met name in de havengebieden in combinatie met opslag onder de Noordzee.
- Om het sluiten van kolencentrales in uiterlijk 2030 zo goed mogelijk op te vangen binnen het huidige energienetwerk kan het slim zijn om de hiervoor benodigde opwek uit hernieuwbare energie zo dicht mogelijk te organiseren rond deze kolencentrales. Dit vanwege het feit dat de huidige netwerkinfrastructuur reeds is geoptimaliseerd op o.a. deze kolencentrales en hiermee dus mogelijkwijs kosten in netverzwaring vermeden kunnen worden.
- Op de verduurzaming van de gebouwde omgeving wordt in deze verkenning ingegaan in de paragrafen over besparen en lage temperatuurwarmte.
- De mobiliteit-bouwstenen uit hoofdstuk 2 van deze verkenning kunnen een invulling geven aan de in het regeerakkoord genoemde maatregelen rond mobiliteit.

“In de derde plaats maken we werk van een ambitieus klimaatbeleid. Nederland wordt duurzaam. We hebben geen alternatief voor aanpakken. We nemen onze verantwoordelijkheid voor het klimaatakkoord van Parijs. Er komt een nationaal Klimaat- en energieakkoord waarmee we met alle partijen de CO₂-uitstoot fors gaan verlagen. Denk daarbij aan verduurzaming van de gebouwde omgeving en het verkeer, vergroening van ons belastingstelsel en nieuwe energiebronnen. We leggen de lat hoog. We willen de meest ambitieuze doelstelling van Parijs. Daarvoor werken we samen met gelijkgezinde landen in Europa”.

OPGAVE, RUIMTE EN BIJBEHORENDE EENHEDEN

Het inzichtelijk maken van de ruimtelijke gevolgen van de energietransitie vereist dat we de bouwstenen van de transitie goed kennen en begrijpen. Hiervoor zijn niet alleen de afmetingen van een object – bijvoorbeeld een windturbine of zonnepanel – belangrijk, maar ook wat de planologische impact is, hoeveel energie het op kan leveren en hoe het ruimtelijk ingepast/geplaatst kan worden.

In hoofdstuk 2 worden voor de functionaliteiten van iedere productiefaciliteit, transport en opslag dan wel reductiemiddel – de ruimtelijke kenmerken, de planologische beperkingen voor bijvoorbeeld veiligheid, milieu, landschap, monumenten en natuur beschreven en meetbaar gemaakt. Dit naast de potentiële opbrengst van de bron. De opbrengsten van de verschillende opties zijn overigens niet per definitie optelbaar. Zo zijn er ook opties opgesplitst in een aantal sub opties om zo inzichtelijk te maken hoe de potentie verandert als gevolg van ruimtelijke bijsturing.

De doelstelling om toe te werken naar een CO₂ arme samenleving wordt in deze aanpak veelal beschreven in energie, niet altijd in de reductie van CO₂ (behalve bij het transitiepad voor de functionaliteit Voedsel en Natuur). De gedachte

OPGAVE, RUIMTE EN BIJBEHORENDE EENHEDEN

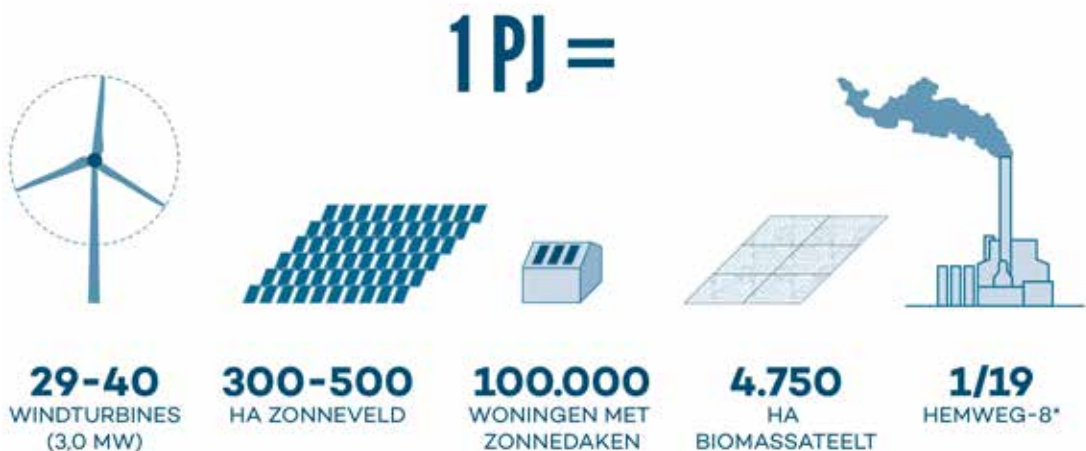
hierachter is dat een duurzame bron altijd de CO₂-uitstoot van de fossiele bron zal vervangen en daarmee CO₂-uitstoot vermindert. Het rekenen in energie-eenheden is – zeker in deze fase van het onderzoek – eenvoudiger. Voor het beantwoorden van de vraag wat de ruimtelijke effecten zijn is het zelfs niet per se noodzakelijk in CO₂ te rekenen.

Er is voor de studie gerekend in PJ, waarmee het energiegebruik en de opwekking van energie beschreven zijn.

Om een gevoel te geven voor de maat en schaal van deze energie-eenheid is het goed om te bedenken dat 1 Petajoule⁶ ongeveer gelijk staat aan de jaarlijkse energieproductie van 29-40 windturbines van 3 MW⁷, 300-500 hectare aan zonnevelden⁸ of het elektrisch energiegebruik van 100.000 woningen. Dit is ongeveer hetzelfde als de hoeveelheid elektriciteit (elektriciteitsgebruik woningen) die een stad als Almere per jaar nodig heeft.

Alle energie hoeveelheden worden voor dit onderzoek uitgedrukt in Petajoule (PJ) per jaar tenzij anders vermeld.

Bij deze getallen is waar mogelijk ook het aantal MW of GW opgenomen, dit beschrijft het opgestelde vermogen. Een GW opgesteld vermogen geeft niet altijd dezelfde output: een windturbine geeft per opgesteld vermogen een andere uitkomst dan een zonneveld. Dit heeft te maken met de duur, intensiteit en momenten waarop de bron daadwerkelijk energie geeft. 1 MW zonneveld geeft op dezelfde plek dus niet evenveel energie als 1 MW wind.



* 50 KILO STEENKOOL PER SECONDE

Figuur 2.

1 PJ = x windturbines, x zonnevelden, x ha biomassateelt, x kolencentrale

naam	symbool	Algemene waarde
Joule	J	1 Newton (N) * 1 m (meter)
Megawatt thermisch vermogen	MWth	
Megawatt elektrisch vermogen	MWe	
Watt	W	1 J/s

Figuur 3. Veel gebruikte eenheden en waarden

1	hectare	10.000	m²
1	km²	1.000.000	m²
1	km²	100	hectare
1	Wh	3.600	J
1	kWh	3.600.000	J
1	kWh	0,0000036	TJ
1	MWh	0,0036	TJ
1	GWh	3,6	TJ
1	TJ	0,2777778	GWh
1	PJ	277,7777778	GWh
1	ton	1.000	kg
1	m³ aardgas	31,65	MJ

Figuur 4. Omrekenregels

factor	naam	symbool	betekenis
10 ³	kilo	k	duizend
10 ⁶	mega	M	miljoen
10 ⁹	giga	G	miljard
10 ¹²	tera	T	biljoen
10 ¹⁵	peta	P	biljard

Figuur 5. Vermenigvuldigingsfactoren

Afkorting	Betekenis
NOVI	Nationale Omgevingsvisie
INEK	Integraal Nationaal Energie- en Klimaatplan
VEMW	Vereniging voor Energie, Milieu en Water
NPER	Nationaal Perspectief Energie en Ruimte
HT	Hoge temperatuur warmte
K&L	Kracht en Licht
LT	Lage temperatuurwarmte
T&M	Transport en Mobiliteit
V&N	Voedsel en Natuur
CAES	Compressed Air Energy Storage
LAES	Liquid Air Energy Storage
UDG	Ultra Diepe Geothermie
P2G	Power to Gas
LULUCF	Land Use, Land-Use Change and Forestry

Figuur 6. Afkortingen

De omvang van de opgave wordt snel duidelijk wanneer we zien hoe efficiënt veel energie er in fossiele bronnen zit en we deze moeten vervangen door wind of zon.

De concentratie van energie in fossiele bronnen zorgt voor een relatief klein ruimtebeslag, dit staat in contrast met de grote oppervlakken die nodig zijn voor duurzame energie. Duurzame energie heeft ruimtelijk een veel lagere dichtheid; er zijn meters zonneweide nodig om dezelfde hoeveelheid energie te produceren als een kilo steenkool of een liter aardgas.

Dit zorgt ervoor dat we veel ruimte nodig hebben voor de transitie en dat de transitie op veel plekken zichtbaar is of beleefd zal worden. In de volgende hoofdstukken wordt beschreven welke stappen er mogelijk zijn voor de transitie, de benodigde ruimte en de manier waarop dit kan worden toegevoegd aan het (stedelijk) landschap in Nederland. Maar er verdwijnen ook zaken die ruimte kosten, de fossiele energievoorziening kost immers ook ruimte. Te denken valt aan kolencentrales, benzinstations of kolen-, gas- en oliehavens. De plekken die het fossiele tijdperk achterlaat zijn vaak opnieuw te benutten voor de duurzame energieproductie of voor economische activiteiten die daaruit voortkomen.

Het is niet zo dat de transitie plots alles verandert en we 'gewoon' een knop omzetten. De komende decennia zullen oude en nieuwe systemen naast elkaar bestaan, elkaar aanvullen tot uiteindelijk de duurzame oplossing alleen verder kan. Dit zorgt ervoor dat de systemen leveringszekerheid geven, maar ook dat er in perioden een dubbel ruimtebeslag is. Immers beide systemen, fossiel en duurzaam, nemen ruimte in.

Omdat het gaat om een transitie en geen omschakeling is het ook mogelijk om systemen te optimaliseren, te perfectioneren en slimme combinaties te maken. En ook al is de urgentie om snel de doelstelling te halen enorm groot, de transitie geeft nog steeds de mogelijkheid om te ontwikkelen, om uit fouten goede – of zelfs betere – oplossingen te maken.



~8 kWh/kg

Economische ontwikkeling = fossiele energie = CO₂



~55 kWh/m² = ~150 Wh/dag

geen CO₂ = hernieuwbaar = Economische ontwikkeling

Figuur 7.

Steenkool vs zon-PV kWh/m²
(bij 500 ha zonneweide voor 1 PJ)

We maken daarom ook niet vandaag al het energielandschap en -systeem van 2050. Oplossingen van nu – zoals wind of zon – ontwikkelen ook over tijd, en worden efficiënter, dus hebben we ook de mogelijkheid om keuzes te heroverwegen, aan te passen en te optimaliseren. Als voorbeeld de aanpak in Flevoland, waar nu minder turbines staan dan 10 jaar geleden, maar waar meer opbrengst uit komt. Met nieuwe technieken komen nieuwe inzichten, over grotere of alleen hogere turbines, efficiëntere zonnevelden of meer oplossingen voor opwek op woningen.

Mede daarom is uitgegaan van wat we vandaag weten, welke technieken we nu kennen, economisch haalbaar zijn en we kunnen bewijzen. Dat wil niet zeggen dat er niet gekeken is naar de ontwikkeling van een techniek en de prognoses voor een techniek. Voor bijvoorbeeld zonnevelden wordt inzichtelijk gemaakt wat de potentie van een veld is in 2050, volgens de huidige prognoses. Maar het zou naïef zijn om uitsluitend met deze waarden te gaan rekenen. We hebben deze techniek vandaag immers niet, en ze komt er niet zonder vraag uit de markt. Daarom zijn soms ook bandbreedtes aangegeven, de onderkant betreft dan de huidige techniek en de bovenkant de verwachte gerealiseerde stand van de techniek in 2050. De transitie biedt voldoende ruimte om nieuwe technieken later toe te passen. Technische ontwikkeling kan keuzes in de toekomst makkelijker maken en nieuwe ruimte bieden maar zal ook leiden tot nieuwe vraagstukken en afwegingen.

Voor alle bouwstenen geldt in deze verkenning dat deze zich ruimtelijk volledig binnen de Nederlandse land- en zee grenzen bevinden. Er is dus geen (netto) import of export van energie. De enige uitzonderingen hierop zijn de mogelijke import van biomassa en een vaste onderlinge uitwisseling van elektriciteit via het Europees elektriciteitsnetwerk.

Finaal energetisch gebruik

In deze verkenning is steeds gerekend met finaal energetisch eindgebruik (bruto eindgebruik) tenzij nadrukkelijk anders vermeld. Hierbij wordt gerekend met de energie die bij de eindgebruiker terecht komt, inclusief verliezen door omzetting naar bruikbare energie en transportverliezen. Hierin is 'niet-energetisch gebruik' zoals energie die in aardolie zit voor plastics, niet meegenomen. Het bruto eindgebruik kan in het huidige energiesysteem soms 40% minder zijn dan de primaire input.

Embodied energy

Emissies reduceren tot een acceptabel niveau is een monsteropgave. Immers, in alles wat wij gebruiken zit energiegebruik verscholen. Onder andere in de kleren die we dragen, in ons voedsel, in de isolatiematerialen die we gebruiken, in vervoer en in verwarming. Terwijl we in Nederland in 2050 onze CO₂eq-emissies met 80-95% willen reduceren, gaat het bijna nooit over de embodied energy, en de daarmee samengaan CO₂-uitstoot, die het kost om besparende maatregelen en hernieuwbare energieproductie te produceren, implementeren en operationeel te houden. Vanwege de aard van dit ontwerp onderzoek en de complexiteit van het achterhalen van embodied energy, blijft dit in dit onderzoek verder buiten beschouwing.

SYSTEEMKEUZES

De transitie is geen simpele vervangingsopgave. Het is niet zo dat het sluiten van een kolencentrale en vervangen door veel windturbines de oplossing is. De transitie is een systeemverandering, waarbij veranderingen van een stukje van het systeem drastische (ruimtelijke) gevolgen kan hebben. De bouwstenen uit de transitiepaden zijn daarmee eerder knoppen dan oplossingen. Knoppen waaraan we kunnen draaien, met steeds een nieuwe configuratie als gevolg. Wordt er bijvoorbeeld gekozen voor grootschalige verwarming met warmtepompen dan neemt de elektriciteitsvraag toe. Dit vereist dan bronnen op land of de Noordzee. Wordt gekozen voor

HUDIGE ENERGIEVRAAG EN VERWACHTE VRAAG IN 2050

een grootschalig collectief warmtenet op basis van geothermie en restwarmte dan is zo'n grootschalig elektriciteitssysteem minder nodig maar moeten we wel meer biomassa importeren om aan de warmtevraag te kunnen voldoen. Dit laatste vereist grote ruimtelijke aanpassingen in en rond de grote zeehavens.

Getracht is om de verbanden tussen de opgaven duidelijk te maken, wat betekent een keuze voor een bepaalde opwekking voor de afname of andersom, wat doet het met het/ een netwerk en wat zijn de vereisten voor energieconversie en buffering? Zelfs met de keuzes en afwegingen die in de functionaliteiten zijn voorgesteld blijft een enorme hoeveelheid aan opties over, elk met een ander ruimtelijk verhaal.

HUDIGE ENERGIEVRAAG EN VERWACHTE VRAAG IN 2050

Het totale bruto energiegebruik van Nederland bedraagt nu zo'n 3.087 PJ⁹. Dat is de gesommeerde opwekking van elektriciteit, warmte en brandstoffen (inclusief conversie- en transportverliezen) die voor het gemak zijn uitgedrukt in de universele eenheid van energie, de (Peta)Joule. Op basis van de CBS-cijfers over 2015 is dat gebruik als getoond in de onderstaande tabel over de maatschappelijke sectoren verdeeld. Het Eindgebruik in 2050 zal wanneer ook flink wordt bespaard (25%) met meer dan 900 PJ afnemen.

INNOVATIE, EFFICIËNTIE EN GAMECHANGERS

Om de ruimtelijke impact van de transitie naar een klimaat neutrale samenleving te beperken is het van belang om slim om te gaan met huidige technieken en tegelijk nieuwe technieken uit te proberen.

Er zijn grofweg 4 soorten innovatie te onderscheiden¹⁰.

- Energiebesparing en verbetering van energie-efficiëntie (aan de gebruikskant);
- Verbeteren van de inpasbaarheid van duurzame energietechnieken door ruimtelijke innovaties (bv. PV verwerkt in ramen);
- Incrementele verbetering en efficiëntie van de productietechnieken waardoor de opbrengst hoger wordt;
- Implementatie op termijn van radicaal nieuwe technologieën. De ervaring leert echter dat het minstens dertig jaar duurt voordat een nieuwe techniek 1 procent marktaandeel in het energiesysteem heeft veroverd, en dat daarna een geleidelijke toename volgt¹¹. We houden in deze verkenning daarom geen rekening met zogenoemde gamechangers, maar het is goed om in het achterhoofd te houden dat 'verrassingen' de sectorale details zouden kunnen omgooien.

	2015	25% besparing	2050
Conversie- en transportverliezen	719 PJ	nvt	389 PJ
Gebouwde omgeving	674 PJ	168 PJ	506 PJ
Industrie	511 PJ	128 PJ	383 PJ
Landbouw, bosbouw en visserij	140 PJ	36 PJ	104 PJ
Grondstoffen / overig	542 PJ	135 PJ	407 PJ
Transport en mobiliteit	501 PJ	125 PJ	376 PJ
Totaal eindgebruik	2368 PJ		1776 PJ
Totaal incl. verliezen	3087 PJ		2165 PJ
25% besparingen		592 PJ	

Figuur 8. Energiegebruik in 2050 (bron: Nationaal Perspectief Energie en Ruimte)

INSTRUMENTEN / GOVERNANCE

De energietransitie legt een grote claim op de ruimtelijke inrichting van Nederland. Belangrijke afwegingen moeten worden gemaakt.

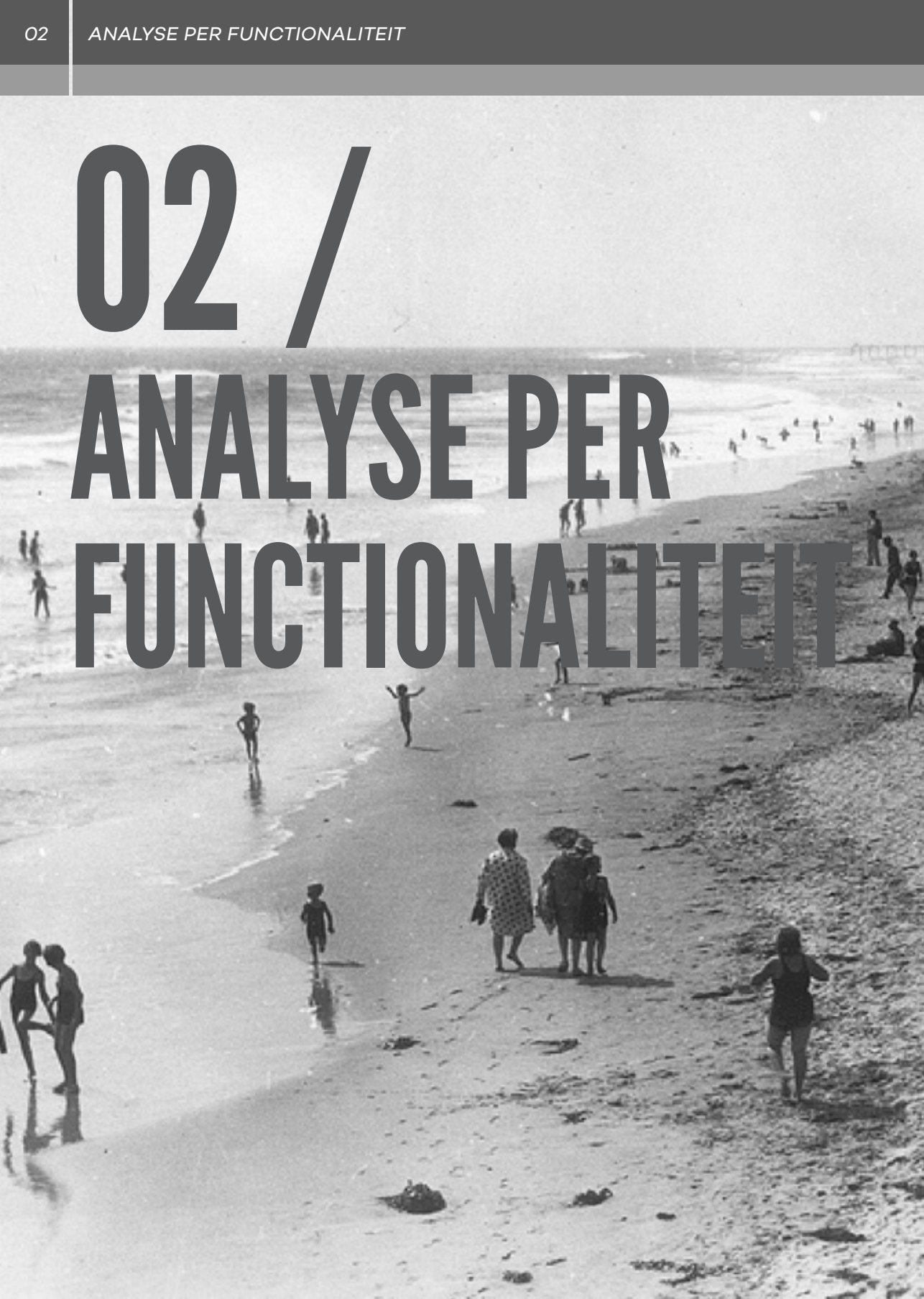
Waar kunnen noodzakelijke windmolens en zonnevelden worden toestaan en hoe kan dat het beste landschappelijk worden ingepast? Maar ook: moeten we nieuwe woonwijken niet gaan ontwikkelen op locaties waar relatief gemakkelijk aan de warmtevraag kan worden voldaan? Zoals op plekken waar geothermie gewonnen wordt of waar restwarmte uit industrie beschikbaar is. Ruimte, in de zin van onze leefomgeving, en de ruimtelijke ordening als discipline zijn kortom cruciaal in het slagen van de energietransitie.

Nu speelt de energietransitie nog onvoldoende een rol bij ruimtelijke afwegingen. Initiatieven voor zonnevelden worden nu vaak afgewezen omdat zonne-energie geen onderdeel is van het afwegingskader en voor de landschappelijke waarden wel beleid is. In andere gevallen speelt energie wel een rol bij de afweging, is er nog meer winst te behalen wanneer meer aspecten van energie worden meegenomen in de afweging. Zo wordt de restwarmte die vrijkomt bij datacentra nog lang niet altijd benut. In Eemshaven zijn bijvoorbeeld een aantal datacentra van Google gevestigd omdat de grote hoeveelheid benodigde energie hier voorhanden is. Energie als vestigingsplaatsfactor. Er zijn echter geen bedrijven of woningen in de nabijheid om te profiteren van de restwarmte. Wanneer energie een belangrijker rol speelt in ruimtelijke afwegingen kan ruimte strategisch bijdragen aan de energietransitie.

ADAPTIEF PROGRAMMEREN

De energietransitie is een enorme opgave, die gepaard gaat met grote onzekerheden. Hoe groot zal de vraag naar energie in 2050 precies zijn en hoe groot is dan de opgave? Welke nieuwe technologieën gaan welke bijdrage leveren aan de verduurzamingsopgave, en is dat dan voldoende?

Door deze onzekerheden bestaat er een risico op over- of onder investering. Zonder rekening te houden met deze onzekerheden en zonder tussentijdse bijsturing is de kans klein dat het doel precies in 2050 bereikt wordt en de kans groot dat de investeringen te hoog zijn of meer ruimte wordt gebruikt dan nodig is



02 / ANALYSE PER FUNCTIONALITEIT

Het uitgangspunt voor deze analyse per functionaliteit is dat de totale energiebehoefte voortkomt uit vier fundamentele maatschappelijke behoeften aan energie, die zowel nu als in 2050 bestaan. Voor deze aanpak is gekozen omdat dan de analyse loskomt van de hedendaagse economische structuren en energievoorziening met de huidige koppeling tussen sectoren, energiedragers en energiebronnen.¹ Omdat vanaf 2020 landgebruik emissies wel gaan meetellen in de emissiedoelstellingen² is besloten gelijktijdig een transitiepad voor de functie Voedsel & Natuur uit te werken.

Voor de transitiepaden van deze functionaliteiten zijn in het vervolg op de Energieagenda ambtelijk 10-pagers uitgewerkt. De in dit hoofdstuk uitgewerkte bouwstenen per functionaliteit hangen samen met de in de 10-pagers beschreven mogelijke maatregelen en keuzes.

De vijf functionaliteiten zijn:

- Hoge temperatuur warmte (HT), warmte voor het maken van producten en hoge temperatuur proceswarmte (vanaf ~ 100°C)
- Kracht en Licht (K&L), energie voor verlichting, apparaten en informatie- en communicatietechnologie
- Lage temperatuurwarmte (LT), warmtevoorzieningen in gebouwen voor verwarming en warm water
- Transport en Mobiliteit (T&M), energie voor transport en mobiliteit
- Voedsel en Natuur (V&N), de voorraad van organisch koolstof in bodems en planten/bomen.

Voor de eerste vier functionaliteiten is energiebesparing een essentieel onderdeel. Daarom wordt dit thema apart toegelicht. Vervolgens zijn de transitiepaden beschouwd en worden per transitiepad de bouwstenen met ruimtelijke kansen en belemmeringen inzichtelijk gemaakt en de eerste conclusies en aanbevelingen gedaan. De besproken bouwstenen in dit hoofdstuk zijn niet een volledig overzicht van alle mogelijke bouwstenen, wel vormen ze een helder overzicht van de meest kansrijke bouwstenen die kunnen bijdragen aan een CO₂-neutrale samenleving.



02 /

ANALYSE PER FUNCTIONALITEIT

2.1

ENERGIEBESPARING



DE OPGAVE

WONINGBOUW

RUIMTELIJKE EFFECTEN

BESPARING IN DE WONINGBOUW

UTILITEIT

Figuur 9. Stroomversnelling Tiwos Tilburg, Riesjard Schropp

DE OPGAVE

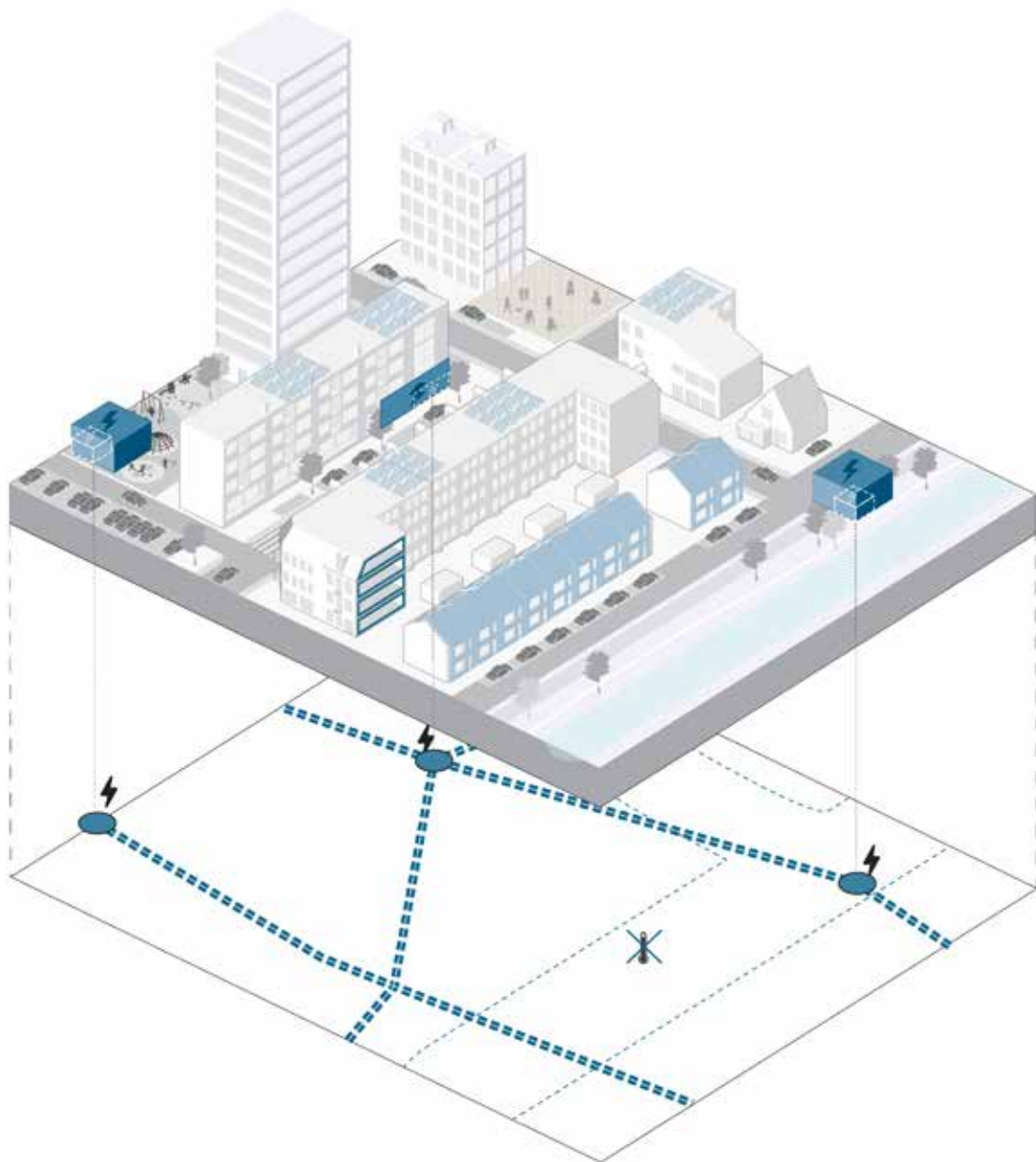
Besparing is een essentieel onderdeel van de energietransitie; “een kwh niet gebruikt zijn er drie tot acht die niet opgewekt hoeven te worden”. Ook volgens de trias energetica is besparen de eerste stap die we zouden moeten zetten. De logica dat we – zeker gezien de enorme verliezen die optreden bij het opwekken van energie – eerst moeten besparen en dan pas moeten kijken wat we kunnen opwekken lijkt onweerlegbaar. Maar hoe verhoudt deze besparingsopgave zich ten opzichte van de ruimtelijke opgave?

In dit hoofdstuk worden de ruimtelijke aspecten van energiebesparing in de gebouwde omgeving (woningbouw, kantoren en utiliteit) geïnventariseerd. Ook in andere sectoren zoals de industrie, landbouw en mobiliteit zal flink bespaard moeten gaan worden. Energiebesparing in de mobiliteit komt aan bod in de functionaliteit ‘Transport en Mobiliteit’. Besparen in de energie-intensieve industrie zal ook een flinke bijdrage kunnen leveren aan het besparingspotentieel. Nader onderzoek naar de ruimtelijke aspecten hiervan is gewenst.

In eerdere studies, visies en beleidsambities wordt uitgegaan van de mogelijkheid om 30 procent energie te besparen in de bebouwde omgeving. 30 procent besparen¹ in de gebouwde omgeving begint met de vraag wat we hieronder verstaan.

In Nederland staan 5.3 miljoen gebouwen – met daarin ca. 8 miljoen woningen, 217.000 gebouwen vallen onder de noemer utiliteit – ziekenhuizen, kantoren, bouwmarkten, scholen, etc. Voor deze gebouwen is gekeken wat besparing kan betekenen; voor het object maar ook voor de ruimtelijke context. Wat is het effect op het netwerk, op de warmtevraag, de elektriciteitsbehoefte? Nog meer dan bij de ruimtelijke gevolgen en keuzes van energieproductie, hangt besparing samen met veel meer – ruimtelijke – factoren.

Besparing wordt nu nog gezien als een verandering van bestaande bouw, aanpassingen aan een object. Maar de gehele energietransitie vereist wellicht meer: dat we nadenken over de opbouw van de stad en hoe ordening van de stad invloed kan hebben op ons energiegebruik (en onze opwekpotentie). Net als bij opwekking heeft besparing, met name door de verandering in gebruik, ook gevolgen voor onze netwerken. Besparing is vaak niet alleen een reductie van energie maar gelijktijdig ook het schuiven met bronnen; van warmte naar elektrische energie. Ook deze keuzes hebben ruimtelijke gevolgen.



Figuur 10.

Wat zijn ruimtelijke consequenties als we overgaan naar volledige elektrificatie van de gebouwde omgeving? We gaan van het gas af, maar er zal een toename op het elektriciteitsnet komen. Het netwerk zal verzaamd moeten worden en Transformatiehuizen zullen vier keer zo groot kunnen worden om de elektriciteit te kunnen verwerken. Dit gaat niet zonder consequentie in de openbare ruimte.

WONINGBOUW

Om alle woningen in Nederland 30 procent – of meer – aan energie te laten besparen is een enorme opgave. Het gaat in totaal om ca. 8 miljoen woningen, waarvan ca. 3 miljoen appartementen, 2,5 miljoen rijwoningen, 1,5 miljoen hoekwoning of twee-onder-een kap en 930 duizend vrijstaande woningen.²

Wanneer we deze woningen naast elkaar zetten valt direct een aantal zaken op. Zo gebruiken de ruim 3 miljoen appartementen net zo veel energie als de 930 duizend vrijstaande woningen, zowel in gas als elektriciteit. Op dit moment ligt de nadruk voor de besparingsopgave bij corporatiebezit – appartementen en rijtjeswoningen. Dat is een logische stap wanneer we de opgave beschouwen vanuit de actor; een zo klein mogelijke groep die een grote besparing kan doorvoeren. Vanuit het totaalgebruik is het misschien minder logisch; de omvang van het energiegebruik in de vrijstaande woningen wordt hiermee niet opgelost.

Ieder gebouw, woning of utiliteit, kan energieneutraal gemaakt worden. Technisch kan dat met ieder gebouw, maar vaak wegen investeringen niet op tegen de besparing. Naast de financiële haalbaarheid van de aanpassingen aan de woningen speelt ook de wenselijkheid; zijn we bereid om uiterlijke veranderingen aan onze woningen te accepteren? Het is sterk de vraag of we een monument of gebouw met bijzondere architectonische kenmerken 'in willen pakken' of in ieder geval aanpassingen willen doen die niet te verbergen zijn.

Woningen van voor 1945 zijn, vanuit architectonische kwaliteit – geveldetails, vorm etc – niet geschikt voor transformatie tot een energie neutrale woning, althans niet zonder vorm en stijl wezenlijk te veranderen. Daarnaast zijn woningen uit deze periode ook technisch minder geschikt, tenzij er grootschalig verbouwd wordt. Dit laatste vereist dan significante investeringen. Wel is het denkbaar deze woningen allemaal naar een label C te krijgen,



Figuur 11. Energielabel woningen voor en na besparing

wat al een enorme opgave op zichzelf is. De woningen uit de periode 1945–1990 zijn wel geschikt voor transformatie. De naoorlogse woningproductie kenmerkte zich door een eenvoudige bouwstijl met – vanwege kostenreductie – weinig details en beperkte uitzonderingen. Deze periode eindigt eind jaren tachtig, begin jaren negentig omdat vanaf dat moment woningen beter geïsoleerd worden. Met deze woningen kunnen we twee kanten op: de woningen zijn geheel neutraal te maken of we maximaliseren de besparing op basis van gebouwkenmerken.

De woningen uit de periode 1990 tot heden (2020) zijn steeds beter geïsoleerd, maar onvoldoende om geheel neutraal te zijn. Voordeel hiervan is dat het maar een kleine stap is naar neutraliteit, het nadeel is dat het bouwtechnisch erg ingewikkeld is. Het na isoleren van woningen zoals uit de periode na de tweede wereldoorlog is eenvoudig omdat er geen isolatie aanwezig is. Het na isoleren van woningen van na 1990 is een stuk ingewikkelder omdat er al een significant isolatiepakket aanwezig is. Het dubbel isoleren van zo'n woning leidt tot allerlei ongewenste condensatieproblemen. Van alle woningen die na 2020 gebouwd worden mag worden verwacht dat ze energieneutraal zijn. Kanttekening daarbij is wel dat de huidige regelgeving – en puntentelling – creatieve oplossingen nog steeds toestaat. Zo kan een woning met minder isolatie, met zonnepanelen en een warmtepomp 'neutraal' zijn.

RUIMTELIJKE EFFECTEN

Voor alle woningtypen staat vast dat energiebesparing niet onzichtbaar zal zijn. Om dit te illustreren laten we de verschillende opties van besparing – met name isolatie – zien op een woning van ca 90m². De besparing kan op drie manieren bereikt worden. Allereerst het isoleren van de woning aan de binnenzijde. Dit zorgt ervoor dat er aan de buitenkant van de woning weinig verandert, en dat daarmee het straatbeeld slechts kleinschalig verandert. Aanpassingen aan ramen en kozijnen liggen wel voor de hand, maar aan het gevelvlak verandert niets.

Aan de binnenkant van het huis zijn de gevolgen wel ruimtelijk. Met het isoleren en het plaatsen van (nieuwe) binnenwanden vereist een woning van deze maat ca 4 m² gebruiksoppervlak, ongeveer 5% van het totaal. Hoewel het de ruimte is die verdwijnt in iedere kamer van het huis is het totaal vergelijkbaar met een kleine badkamer of kinderkamer.

Het is maar de vraag of het haalbaar is om alle woningen in Nederland vanbinnen geheel te verbouwen, zeker omdat het vereist dat de bewoner tijdelijk elders woont, zeker omdat we ook vloerisolatieverbetering nodig hebben.

Wanneer een woning al spouwmuren heeft, maar nog geen isolatie, zoals in veel van onze woningen uit de periode 1920–1945, dan is spouwmuurisolatie ook een optie. Dit is een vorm van isolatie die noch aan de binnenkant noch aan de buitenkant veranderingen met zich meebrengt. Door middel van kleine boorgaten worden de bestaande spouwmuren gevuld met isolatieschuim. Deze methode wordt op dit moment op grote schaal aangeprezen als de oplossing, onder meer in Rotterdam. Dit enthousiasme over het gemak, de beperkte kosten en de korte terugverdientijd gaan echter voorbij aan de energievraag in de toekomst. Deze vorm van isolatie – gecombineerd met goede vloer en dakisolatie – maakt het mogelijk een oud huis naar label C of soms B te brengen.

Omdat veel van deze woningen nu een F of G label hebben is dit absoluut winst, maar voor de opgave waar we voor staan is het onvoldoende. Het grote nadeel van deze manier van isoleren is dat het na isoleren van woningen naar een nog beter label bijna niet mogelijk is. Het aanbrengen van isolatie op muren waar al isolatie inzit geeft condens problemen. Deze problemen zorgen voor een ongezond binnenklimaat en uiteindelijk ook een mogelijke afname van de isolatiewaarde. Deze vorm van isolatie is een tijdelijk middel, of een optie wanneer we de luxe hebben niet verder te hoeven verduurzamen in de woning.

Het na isoleren van woningen aan de buitenzijde geeft een groot aantal ruimtelijke veranderingen. Allereerst verandert het aanzicht van de woning en de straat. Wanneer we kijken naar woningen met betrekkelijk weinig 'details' zoals de naoorlogse woningen hoeft dit geen grote verandering te zijn. Vormtaal, stijl en materiaalgebruik kunnen gekopieerd worden. Dat wordt anders bij woningen met een rijke vormen taal en veel geveldetails.

Wanneer een isolatiepakket en buitenschil om een bestaande woning worden gebracht verandert ook de rooilijn; de woning wordt groter. Dit gaat ten koste van eigen terrein (tuin) of van openbare ruimte (straat, steegjes, openbaar groen). Op plaatsen waar woningen dicht bij elkaar staan en waar 'brandpoortjes' en andere toegangen naar tuinen en parkeerruimtes zijn kan dit leiden tot onverwachte ruimtelijke opgaven.



isoleren aan de
binnenzijde van de gevel

isoleren van de
(spouw)gevel

isoleren aan de
buitenzijde van de gevel



Figuur 12.

Ruimtelijke effecten besparing: isolatie (aan de binnenkant, buitenkant of in de spouwmuren) / Stroomversnelling Tiwos Tilburg, Riesjard Schropp

BESPARING IN DE WONINGBOUW

Op basis van de kenmerken van de woningen is er gekeken welke maximale haalbare besparingsniveau's gehaald kunnen worden. De kansen voor besparingen kunnen worden gedefinieerd door de besparingseffecten van bepaalde maatregelen door te rekenen op iedere pand. Uit eerder onderzoek naar besparingen in de gebouwde omgeving die Posad³ heeft uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Binnenlandse zaken zijn percentages bepaald die het besparingseffect kan weergeven per maatregel voor een gebouw. Voor woningbouw zijn deze gebaseerd op leeftijd en type, in de utiliteitsbouw op functie en oppervlakte.

Voor woningen voor 1946 is het aannemelijk om te stellen dat transformatie van energielabel G naar C een maximale haalbaar is. Uit Woononderzoek⁴ blijkt dat het verschil in gasgebruik daarmee gemiddeld met 20% verminderd. De groep tussen 1946 en 1991 is een groep waar veel besparingen te halen zijn in potentie. Deze woningen zijn goed aan te pakken voor isoleren van dak, muren en vloer en daarna kan de stap gedaan worden naar een warmtepomp. Voor woningen die kleiner zijn dan 65 m² is het niet aannemelijk dat deze woningen over zullen gaan naar warmtepompen. De groep woningen na 1991 zijn minder geschikt voor om over te gaan naar maximale warmtebesparing. Deze woningen zijn al wel geïsoleerd, maar onvoldoende voor het gebruik van een warmtepomp. Voor elektriciteit is aangenomen dat elke groep 10% kan besparen door de verlichting te veranderen naar LED-verlichting. Het uitgangspunt voor een warmtepomp is dat deze 40% bespaard op de resterende warmtevraag na isoleren, tegelijk neemt het elektriciteitsgebruik met 25% toe.

Als we de totale besparing van de woningen op deze manier berekenen komen we uit op een totale besparing van 115,1 PJ op een gebruik (2015) van 278,9 PJ aan warmte wat ongeveer 41% is. Voor elektriciteit komt dit neer op een 2,1 PJ op een gebruik van 77,4 PJ wat op 3%

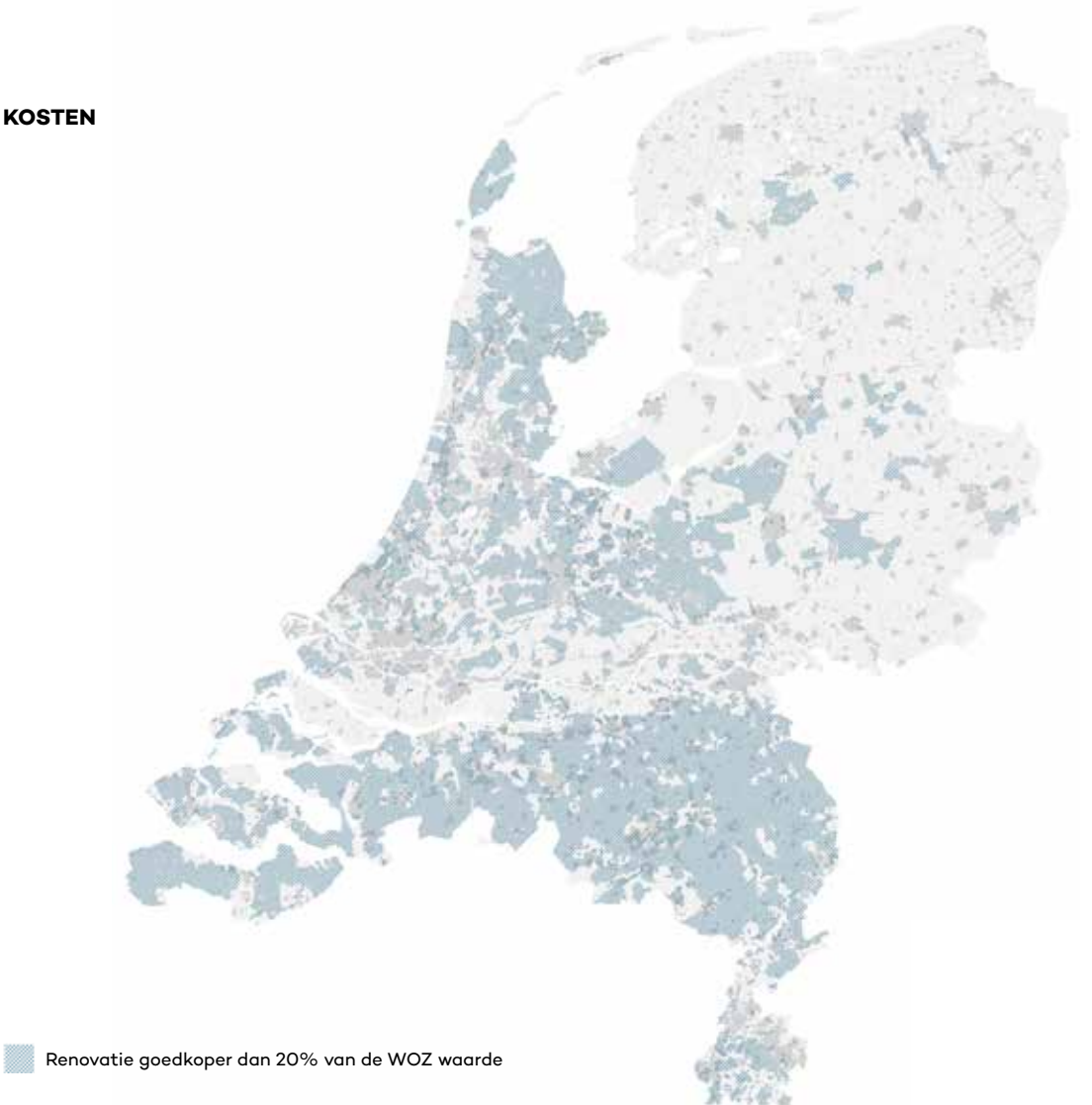
neerkomt. Hiermee wordt voor warmte in theorie de beoogde 30% gehaald.

Wanneer we de woningen uit de periode 1946-1991 geheel energieneutraal zouden maken gaat dit percentage nog veel verder omhoog; alle woningen uit deze periode die groter zijn dan 65 m² worden dan neutraal. Dit levert een aanvullende besparing op van 42,7 PJ aan gas.

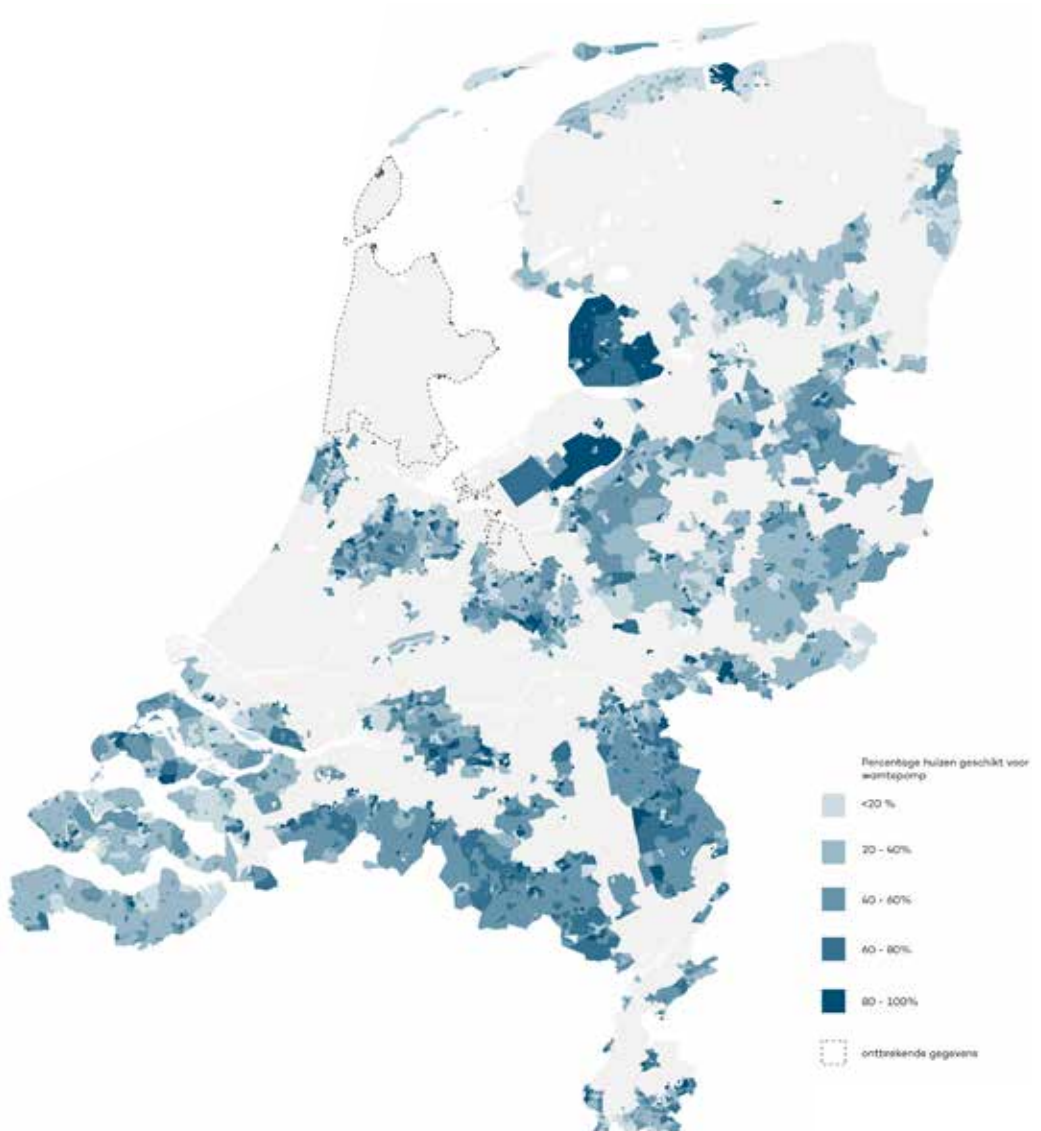
BESPARING IN DE WONINGBOUW

	AANTAL PANDEN (X1.000)	AANTAL WONINGEN (X1.000)	GEBRUIK 2015 ELEKTR. (PJ)	GEBRUIK 2015 GAS (PJ)	GEBRUIK NA BESP. ELEKTR. (PJ)	GEBRUIK NA BESP. GAS (PJ)	BESPARING SPOTENTIE OP ELEKTR. GEBRUIK (PJ)	BESPARINGSPOTENTIE OP GASVERBRUIK (PJ)	BESPARINGSPERCENTAGE ELEKTR. GEBRUIK	BESPARINGSPERCENTAGE GASGEBRUIK
WONINGEN VOOR 1946	1.170	1.492	15,0	61,9	13,5	49,6	1,5	12,3	10%	20%
WONINGEN 1946 TOT 1991 (<65 M²)	86	425	3,2	11,7	2,9	6,5	0,3	5,2	9%	44%
WONINGEN 1946 TOT 1991 (>65 M²)	2.840	3.877	38,7	140,5	40,5	42,7	-1,8	97,6	-4%	70%
WONINGEN VANAF 1991	1.200	2.024	20,5	64,8	19,1	64,4	1,4	0,4	7%	0%
TOTAAL	5.300	7.818	77,4	278,9	76,0	163,2	1,4	115,5	2%	41%

Figuur 13. Besparingspotentie woningbouw

**KOSTEN**

Figuur 14. Kosten besparing per woning



Figuur 15. Percentage van de woningen geschikt voor een warmtepomp

UTILITEIT

Nu kunnen we meteen stellen dat de utiliteitsector energieneutraal moet worden, maar dat is net zo onrealistisch als de woningbouwopgave. In de utiliteitssector is per sector gekeken wat het besparingseffect is van het isoleren van het dak, na-isoleren van de gevels, gebruik van warmtepompen, installatie van een Warmte-terug-Win installatie en voor elektriciteit besparing op verlichting. Per sector is rekening gehouden of een maatregel past bij de functie en type gebouw. De maatregelen hebben per functie een ander effect op de besparingspotentie per m²⁶.

De besparing in de utiliteitssector komt per sector bij de bovenstaande maatregelen zijn weergegeven in de tabel⁷.

De totale besparingspotentie ten opzichte van het gebruik 2016⁸ binnen deze groep ligt met 125,5 PJ(35%) voor gas en 79,2 PJ (48%) voor elektriciteit volgens onze berekening aanzienlijk hoger in de panden van de utiliteitssector dan bij de woningen. Alleen geldt voor vele sectoren dat het niet realistisch is om alle maatregelen

door te voeren, omdat niet alle activiteiten zich lenen om drastische maatregelen te treffen. In de gezondheidszorg of in de horeca is het niet te verwachten dat grote aanpak van isolerende maatregelen realistisch zijn, mede omdat zij dan voor een tijd gesloten zullen moeten zijn. In tegenstelling tot de woningen heeft er in deze analyse geen onderscheid plaats gevonden omtrent leeftijd van panden. Maar binnen de utiliteit is wel een aantal sectoren die aangepakt kunnen worden en waarbij de aanpak realistisch kan zijn.



Figuur 16. Mogelijke besparingsopties in de utiliteitssector

BESPARING IN DE UTILITEIT

	AANTAL PANDEN (X 1.000)	GEBRUIK ELEKTR. (PJ)	GEBRUIK GAS (PJ)	BESPARINGSPOTENTIE OP ELEKTRICITEITSGEBRUIK (PJ)	BESPARINGSPOTENTIE OP GASGEBRUIK (PJ)	BESPARINGSPERCENTAGE ELEKTR. GEBRUIK (PJ)	BESPARINGSPERCENTAGE GASGEBRUIK (PJ)
HANDEL	99	63,3	101,0	24,5	46,1	38 %	45 %
GEZONDHEIDSZORG	21	14,4	48,7	7,7	11,6	53 %	23 %
ONDERWIJS	14	6,9	26,0	3,0	7,1	43 %	27 %
KANTOREN	54	19,0	46,3	9,4	25,1	49 %	54 %
HORECA	16	51,5	116,2	31,6	28,9	61 %	24 %
SPORT EN CULTUUR	11	7,3	12,7	3,0	6,7	41 %	52 %
OVERIG	2	0,3	0,7	-	-	-	-
TOTAAL UTILITEIT	217	162,7	351,6	79,2	125,5	48 %	35 %

Figuur 17

Besparingspotentie in de utiliteitssector

02 / ANALYSE PER FUNCTIONALITEIT

2.2

HOGE

TEMPERATUUR WARMTE



BESCHOUWING FUNCTIONALITEIT

BOUWSTENEN

KANSRIJKE COMBINATIES

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Figuur 18. Luchtfoto van de hoogovens in IJmuiden, Debot / CC-BY-SA-2.5-NL

Onder deze functionaliteit worden alle warmteprocessen in de industriële sectoren (de grootste zijn raffinage, chemie, basismetaal, bouwmaterialen, papier en voeding) gerekend. De industrie is met 45 Mton CO₂-emissies verantwoordelijk voor ongeveer 25% van de totale huidige Nederlandse CO₂-uitstoot en daarmee een onmisbare bouwsteen om te komen tot een CO₂ arme samenleving.

In de energie-intensieve industrie wordt warmte op verschillende temperatuurniveaus gebruikt, waarbij de meeste warmte een hoge temperatuur heeft (hoger dan 100 graden Celsius). Om praktische redenen wordt ook middelhoge en lage temperatuurprocessen meegenomen. De CO₂-uitstoot van de industrie is niet alleen het gevolg van warmteprocessen (energetisch verbruik, ca 840PJ met 37 Mton directe CO₂-emissies). De industrie gebruikt fossiele energiedragers ook als grondstof (non-energetische verbruik, ca 569PJ met ca. 9 Mton CO₂-emissies) en ook elektriciteit (118 PJ met ca. 22 Mton CO₂ -emissies).²

Het transitiepad voor de functionaliteit hoge temperatuur warmte (HT) richt zich conform de doelstellingen uit het akkoord van Parijs primair op CO₂-reductie aan de schoorsteen (energetisch verbruik). Daarbij zal goed rekening moeten worden gehouden met andere initiatieven voor verduurzaming van de industrie, bijvoorbeeld op het gebied van circulariteit en grondstoffen, zodat deze trajecten elkaar versterken.

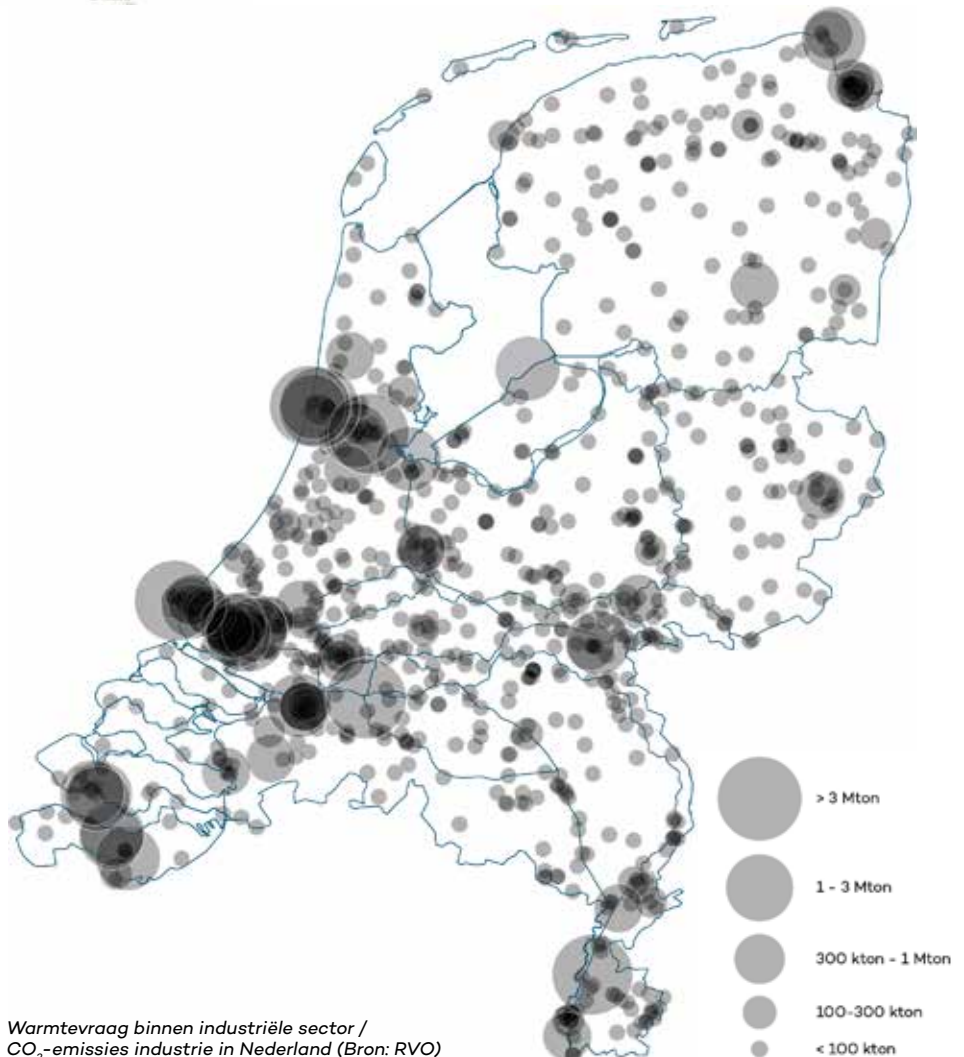
Bij een nationale doelstelling van 80% reductie in 2050 betekent dit voor de functionaliteit hoge temperatuur warmte dat nog ongeveer 10 Mton (8-12 Mton) kan worden uitgestoten. Bij een nationale doelstelling van 95% varieert volgens PBL de emissieruimte voor de industrie van 3 Mton tot - 16Mton (negatieve emissies) door de combinatie van biomassa en CCS/CCU). De noodzaak en haalbaarheid van negatieve emissies door de industrie is echter nog onzeker.

Hoewel de beoogde reducties technisch denkbaar zijn, kunnen zij met de huidige stand der techniek niet gerealiseerd worden. Bovendien zijn er vraagtekens bij de beschikbaarheid van voldoende grondstoffen en opslagcapaciteit. Daarom is zowel inzet van vrijwel alle beschikbare technische opties voor *verduurzaming van de industrie* als een forse inzet op innovatie nodig.

Ook de ruimtelijke aspecten verdienen aandacht. Enkele industriële clusters, waarin een flink deel van de relevante industriële bedrijven is gevestigd, liggen aan zee en daarmee is er een kans om elektriciteit uit windparken op zee hier te laten aanlanden; dat voorkomt grootschalige netverzwaring op land. Door grootschalige biomassa-toepassing ontstaan meer vervoersbewegingen zowel over zee, op binnenwater als op land. Ook geothermie en CCS leiden tot vraagstukken ten aanzien van ruimtelijke ordening.

BOUWSTENEN EN RUIMTELIJKE KANSEN/IMPLICATIES

De voorgestelde bouwstenen om CO₂-emissies te reduceren (energie-efficiency, elektrificatie, gebruik van biomassa, geothermie, CCS eventueel in combinatie met CCU en inzet van waterstof) hebben allen in meer of mindere mate invloed op het ruimtegebruik. Waterstof en elektriciteit zijn door hun samenstelling alleen een energiedrager, olie en gas zijn daarentegen zowel een energiedrager als een inhoudsstof. Volledige omschakeling naar CO₂-neutraal betekent dus ook dat er ten behoeve van de inhoudsstoffen een extra opgave ligt. Het gaat dus om een dubbele omschakeling. Dit vergt meer energie en ruimte dan wanneer alleen naar energiedragers wordt gekeken. Hieronder volgt per bouwsteen eerst een korte toelichting en vervolgens de mogelijke ruimtelijke implicaties.



Figuur 19. Warmtevraag binnen industriële sector / CO₂-emissies industrie in Nederland (Bron: RVO)

ELEKTRIFICATIE (EN DAARVOOR BENODIGDE NETINFRASTRUCTUUR)

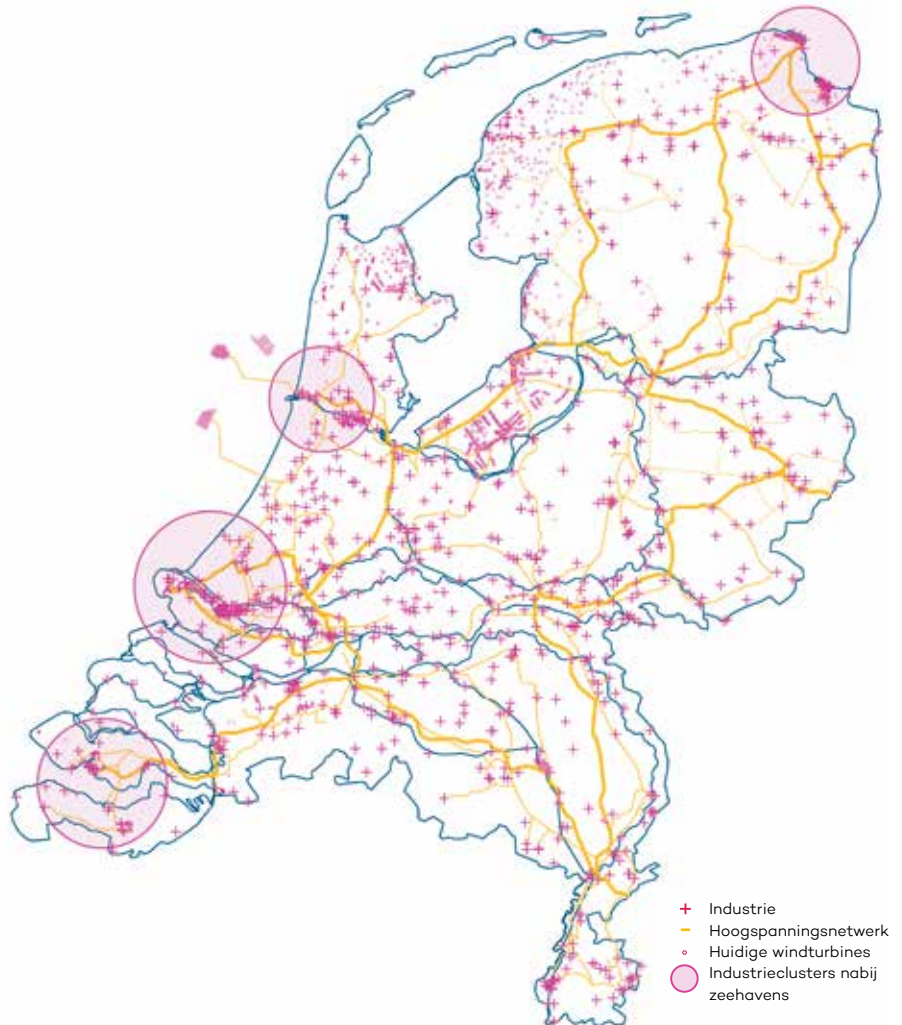
Tot 2050 zal de elektriciteitsbehoefte progressief stijgen door een toename aan elektrificatie van processen en door de (mogelijke) inzet van elektrolyse van waterstof voor o.a. de productie van kunstmest of methanol als brandstof of bouwsteen voor de chemie. Ook voor de overgang naar circulariteit wordt een hoge elektriciteitsvraag verwacht. De beschikbaarheid van voldoende, concurrerend geprijsde CO₂ vrije stroom is – naast de constante beschikbaarheid hiervan in relatie tot een meer weersafhankelijke elektriciteitsproductie - van belang voor grootschalige elektrificatie.

Dit heeft grote gevolgen voor zowel het ruimtebeslag op zee als op land. Veel van de extra elektriciteit zal van windenergie op zee moeten komen waarvoor aanlandingsplaatsen zullen moeten worden gecreëerd. Als de productie van windenergie op zee onvoldoende blijkt te zijn dan zal naar verwachting duurzame elektriciteit geïmporteerd moeten worden. Elektrificatie van de industrie leidt tot een aanzienlijke toename in de elektriciteitsvraag. PBL/ECN³ verwachten bij 95% CO₂ emissiereductie tot 150-300 PJ. In de McKinsey/VEMW-studie⁴ wordt verwacht dat de vraag naar (duurzame) elektriciteit zal groeien van ca. 100 nu naar 300 PJ in 2040 en 500 PJ in 2050. Hiervoor zou bijna de gehele potentie van windenergie op zee nodig zijn. De schattingen voor elektrificatie lopen dus nogal uiteen, netverzwaring is daarentegen voor beide opties onontbeerlijk.

Met name de clusters die aan zee liggen bieden kansen voor elektrificatie omdat aanlanding van elektriciteitsnetten voor wind op zee daar gepland zijn (Rotterdam, Vlissingen, Eemshaven en mogelijk ook Noordzeekanaal). Dit beperkt de noodzaak tot verdere netverzwaring op land. Op deze locaties liggen tegelijkertijd kansen voor het opslaan van energie dan wel het omzetten van elektriciteit in bijvoorbeeld waterstof.

Mogelijke ruimtelijke aspecten

- Ruimtebeslag opwek hernieuwbare energie (lokaal of elders)
- Verzwaring netinfrastructuur
- Ruimtebeslag opslagfaciliteiten
- Aanlandingsplaatsen Windenergie op zee
- Conversie infrastructuur (koppeling tussen sectoren, uitwisseling elektra, warmte, gas)
- Zichtbaarheid nieuwe installaties (industriële karakter)



Figuur 20. *Indicatieve weergave industrieclusters en netinfrastructuur*

BIOMASSA

Het gebruik van biomassa als grondstof voor de chemie of warmte is ook een belangrijke bouwsteen.

De binnenlandse potentie voor biomassa is volgens PBL ongeveer 143 PJ.

Aan de hand van het totale potentieel voor biomassa⁵ op aarde is op verschillende manieren gekeken naar welk deel van dit potentieel in Nederland gebruikt zou kunnen worden. De verkregen biomassa is hoofdzakelijk afkomstig van productie, reststromen en afval uit bossen, de landbouw en aquatische teelt. Op basis van inwonertal betekent dit een potentie voor biomassa naar rato tussen de 280 en 760 PJ. Wanneer we naar het BNP zouden kijken voor de verdeling is deze potentie naar rato vele malen hoger (900 – 2.400 PJ) en wanneer we naar oppervlakte van ons land kijken is deze potentie naar rato slechts 50 – 125 PJ.

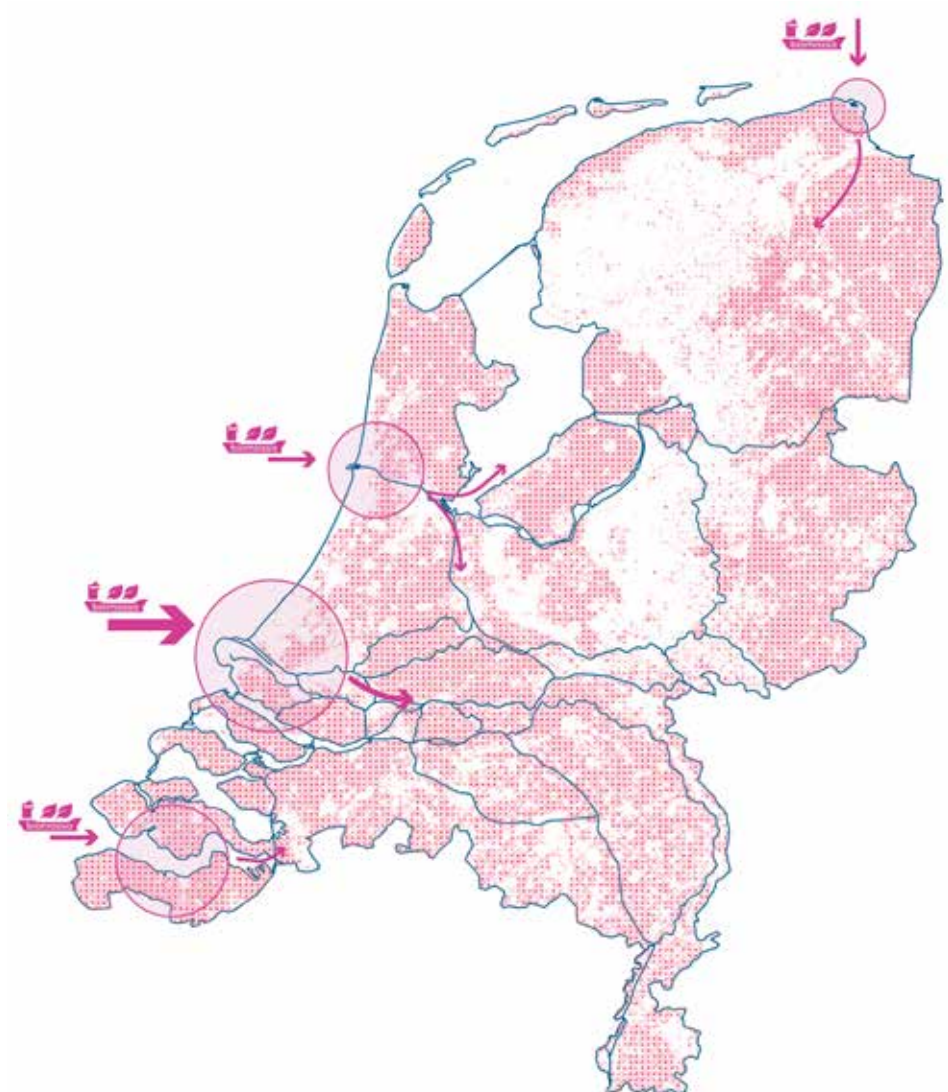
Het overgrote deel van de biomassa zal geïmporteerd moeten worden aangezien de vraag naar biomassa de binnenlandse potentie ruimschoots overstijgt. Het transport en de opslag van biomassa moet ook ruimtelijk gefaciliteerd worden. De import van 560PJ⁶ biomassa staat gelijk aan jaarlijks zo'n 1.500 containerschepen⁷ met pellets/biokolen. In 2016 meerden 900 van zulke schepen aan in de haven van Rotterdam⁸. Dit zal dan ook leiden tot de aanleg van nieuwe infrastructuur. Het merendeel zal hoogstwaarschijnlijk in havens worden verwerkt. Daarvoor is opslagcapaciteit in havens nodig en vervoer verder landinwaarts. De impact hiervan is groot. Ook voor inzet van biogene reststromen zal opslagcapaciteit beschikbaar moeten zijn en moet rekening gehouden worden met een aanzienlijke toename in transportbewegingen om de biomassa op de plaats van bestemming te krijgen. Dit kan beperkend zijn voor de potentie van biomassa. Dit moet verder worden verkend op clusterniveau, in samenhang met regionale energiestrategieën.

Voor de haven gerelateerde clusters geldt dat zowel ruimte moet worden voorzien voor bestaande industrieën als voor de opbouw van nieuwe industrieën. Nadere gebiedsgerichte verkenning dient duidelijk te maken of deze ruimte beschikbaar is en hoe dit slim kan worden georganiseerd.

Voor een aantal voorgestelde technologische richtingen zoals biomassa voor energie (stoom) is maatschappelijk draagvlak nog niet vanzelfsprekend. Industrie, maatschappelijke partijen en overheid zullen daaraan moeten werken. Specifiek voor biomassa is er nog een spanningsveld tussen door de sector gewenste toepassing in biochemie en het gebruik van biomassa voor warmteopwekking of brandstoffen. Vanuit de SER is een cascaderingstafel opgezet.

Mogelijke ruimtelijke aspecten

- Ruimtebeslag opslagfaciliteiten
- Verzwarend transportassen door toename transportbewegingen
- Toename geur
- Toename geluid
- Zichtbaarheid nieuwe installaties (industriële karakter)
- Afname luchtkwaliteit
- Ruimtebeslag productielocaties van biomassa
- Grootchalige stoomproductie in combinatie met CCS



Figuur 21.

Indicatieve weergave biomassa(import), doorvoer en industrieclusters

GEOTHERMIE

Geothermische energie kan worden ingezet voor hoge temperatuur warmte en zo een deel van de gebruikte fossiele energie vervangen. Om hoge temperatuur uit de ondergrond te benutten, zijn significant diepere putten nodig dan nu gebruikelijk. Dit wordt ook wel ultradiepe geothermie genoemd (UDG). UDG is gericht op het benutten van warmte op een diepte van meer dan 4.000 meter. Er is meer ervaring en zekerheid over de winning nodig om ultradiepe geothermie interessant te maken voor verduurzaming van de procesindustrie. In de Green Deal Ultradiepe Geothermie zijn afspraken gemaakt over het testen in een samenwerking tussen het Rijk, decentrale overheden en bedrijven. Zeven pilotprojecten in Friesland, Midden-Nederland en Zuid-Nederland zijn geselecteerd. Geothermie wordt in Nederland steeds meer toegepast in bepaalde (sub)sectoren, zoals de glastuinbouw (ondiepere geothermie). Vanwege de ondergrond kan dit niet in alle clusters plaatsvinden.

In potentie zou mogelijk 30%⁹ van de industriële warmtevraag kunnen worden voorzien door UDG. Uitgebreid geologisch onderzoek moet eerst meer duidelijkheid bieden over de mate waarin de warmte van de juiste temperatuur en onder de juiste omstandigheden aangetroffen wordt.

Mogelijke ruimtelijke aspecten:

- Toename geur
- Toename geluid
- Zichtbaarheid nieuwe installaties (industriële uiterlijk)
- Toename warmtevragende bedrijvigheid in een gebied (indirect effect)
- Effecten op de ondergrond en vraag naar ruimtelijke inrichting van de ondergrond
- Kansen voor cascadering



Figuur 22. *Indicatieve weergave pilots ultradiepe geothermie*

CCS/CCU

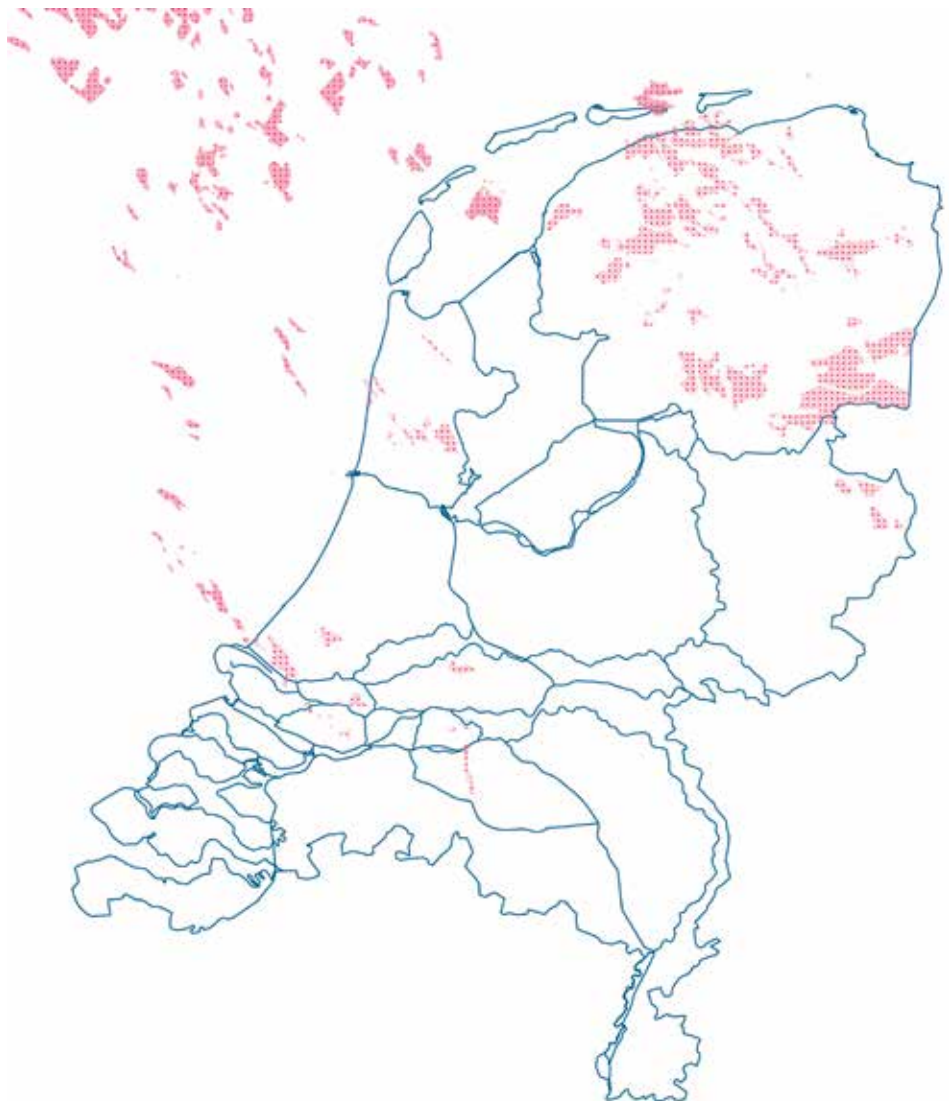
Op basis van de paden die door PBL geschetst zijn is duidelijk dat CCS en CO₂ afvang en gebruik (CCU) een belangrijke rol kunnen spelen in deze functionaliteit. Voor CCS geldt dat de technologie in principe beschikbaar is. Voor CCU is dat tot op zekere hoogte ook het geval, maar hier ligt een belangrijke innovatie-opgave. Ondanks de beschikbare technologie zijn er nog belemmeringen waardoor het niet van de grond komt. Enerzijds is er nog geen (financiële) prikkel om CCS en CCU toe te passen. Dit zal op termijn verbeteren door uitrolbeleid via beprijzen/normeren en de versterking van het ETS. Anderzijds zijn er nog veel institutionele belemmeringen en vragen waardoor CCS en CCU projecten niet snel gerealiseerd worden. Voor kleinere CO₂-bronnen kan CCS en CCU veel goedkoper worden door gebruik te maken van een gedeelde infrastructuur. Met name om meer ervaring op te doen met de organisatorische kant van de CCS-projecten moeten voor 2030 één of enkele CCS-pilotprojecten worden gerealiseerd.

In de McKinsey studie wordt het potentieel voor CCS/CCU in de industrie ingeschat op 19Mt/jaar, maar wordt in het 95% scenario in 2050 maar 10 Mton CO₂/jaar ingezet. In de PBL-studie loopt de inzet van CCS t.b.v. hoge temperatuur warmte in 2050 uiteen van 7-26 Mton bij een 80% reductie en 7-38 Mt/jaar bij 95% reductie. De inzet van CCS wordt mede bepaald door de inschatting van de opslagcapaciteit (10-50 Mt/jaar). Bij een lage tot gemiddelde capaciteit (10-25 Mton CO₂/jaar) wordt de inzet van CCS mogelijk beperkt: bij 95% reductie kunnen dan geen kolen meer voor staalproductie worden ingezet. De hier genoemde potentiëlen voor CCS/CCU zijn allemaal jaarlijkse capaciteiten tot en met 2050. Dat wil dus zeggen dat bij maximale inzet volgens PBL (50 Mton/jaar) na 2050 de opslagcapaciteit dan vol is. Daarnaast bestaat er mogelijk ruimtelijke concurrentie met de opslag van een energiedrager zoals waterstof of de ondergrondse ruimte benodigd

voor geothermische energie. CCS is dus geen eindoplossing, wel een tijdelijke oplossing. Het blijft dus van belang om ook de transitie naar duurzame processen in te gaan.

Mogelijke ruimtelijke aspecten

- Ruimtebeslag opslagfaciliteiten
- Toename (ondergrondse) infrastructuur
- Aantrekkende werking van locaties met potentie
- Ruimtebeslag hernieuwbare elektriciteitsopwekking (~10% van elektriciteitsproductie bij kolencentrale) benodigd om CO₂ af te vangen, samen te persen en transporteren
- Transportleidingen voor bijvoorbeeld internationaal transport
- Concurrerend CCS met andere stoffen/gassen die we op willen slaan



Figuur 23. *Indicatieve weergave ondergrondse opslagmogelijkheden voor CCS*

RESTWARMTE/WARMTENETTEN

De industrie produceert aanzienlijke hoeveelheden restwarmte. Door middel van het uitrolbeleid (beprijzen/normeren en subsidie), worden prikkels gegeven om de productie van restwarmte zo veel mogelijk te reduceren door processen efficiënter te maken en zo mogelijk op lagere temperatuur te laten verlopen, of als dat niet mogelijk is om de restwarmte zo veel mogelijk te hergebruiken (onder meer via opwerking van lage en midden temperatuurwarmte). De in de tijd oplopende doelen zullen het steeds moeilijker maken om deze opties niet te benutten. De hoeveelheid restwarmte neemt dus tot 2050 steeds verder af. Tegelijkertijd moet de resterende restwarmte steeds CO₂-armer worden, door voor (resterende) hoge temperatuurprocessen gebruik te maken van hernieuwbare energie en CCS. Waarbij alle restwarmte die in 2050 resteert CO₂-arm moet zijn.

Tegelijkertijd zijn er mogelijkheden voor de levering van restwarmte aan anderen. Het gaat daarbij in eerste instantie om restwarmte-uitkoppeling tussen bedrijven. Bij lagere temperatuurniveaus en gebrek aan afzet binnen de industrie, wordt ook restwarmtelevering aan anderen, met name de gebouwde omgeving, via warmtenetten relevant. Wel moeten warmtenetten robuust worden opgezet zodat verdere reductie van restwarmte in de industrie niet wordt afgeremd en lock-in wordt voorkomen. Dit kan bijvoorbeeld door het op termijn vervangen van restwarmte voor geothermische warmte.

Een gebrek aan (regie op de aanleg van) infrastructuur vormt een belangrijke belemmering voor de uitwisseling van restwarmte. In de energieagenda is voor de functionaliteit lage temperatuur warmte al aangegeven dat het wenselijk is om meer centrale regie op warmte-infrastructuur te hebben, die vergelijkbaar is met elektriciteit- en gasinfrastructuur. Dit geldt in veel gevallen ook voor industriële warmtenetten, bijvoorbeeld in

industriële clusters waar veel aanbod en vraag van restwarmte is. Wanneer er geen geschikte marktpartij gevonden kan worden om deze rol in te vullen, zal de overheid een dergelijke regierol op zich moeten nemen om relevante partijen bij elkaar te brengen en financiële mogelijkheden te realiseren, bijvoorbeeld door het inzetten van PPS-constructies of Green Deals.

Mogelijke ruimtelijke aspecten

- Mogelijk slimme koppelingen met bestaande- en mogelijk ook nieuwe warmte vragende functies (kassen, zwembad, ...)
- Onder- en bovengrondse infrastructuur warmtenetwerken + ruimtelijk organiseren van de juiste cascadering van temperatuurniveaus
- Wisselwerking met investeringen in isolatiemaatregelen (indirect effect)
- Ruimtebeslag van pompen en installaties
- Ruimtebeslag van opslagfaciliteiten
- Knooppunten met conversieapparaten tussen systemen

BUFFERFUNCTIE INDUSTRIE/'ENERGIEFABRIEKEN'

De industrie kan een bufferfunctie vervullen bij een fluctuerend aanbod aan duurzame elektriciteit door de inzet van power-to-fuel (bijv. waterstof) en power-to-products (bijv. ammoniak) toepassingen bij overschotten en omgekeerd de productie van elektriciteit bij schaarste. Zo kunnen de regionale energieclusters (zie hieronder) mogelijk als 'energiefabrieken' een belangrijke rol spelen in het balanceren van de energievraag en -aanbod.

Mogelijke ruimtelijke aspecten

- Ruimtebeslag van nieuwe gebouwen, infrastructuur en installaties
- Minder noodzaak separate opslagfaciliteiten (elders)
- Mogelijke verandering risicocontour
- Toename geur
- Toename geluid



Figuur 24. Indicatieve weergave zoekgebieden restwarmte in de industrie

REGIONALE CLUSTERS (COMBINATIE VAN VERSCHILLENDE MAATREGELLEN)

Het merendeel van de bedrijven binnen dit transitiepad zijn vanwege schaalvoordelen, efficiency, samenwerkingsmogelijkheden, beschikbare infrastructuur en utiliteiten gevestigd in regionale industriële clusters. Op hoofdlijnen zijn er 6 regionale industriële clusters te onderscheiden:

1. Rotterdam/Moerdijk, 16,9 Mton CO₂-emissie
2. Noordzeekanaalgebied (IJmuiden-Amsterdam); 12,0 Mton
3. Zeeland - West-Brabant, 7,9 Mton
4. Chemelot (Sittard-Geleen); 4,5 Mton
5. Eemsdelta, 0,7 Mton
6. Emmen, 0,5 Mton

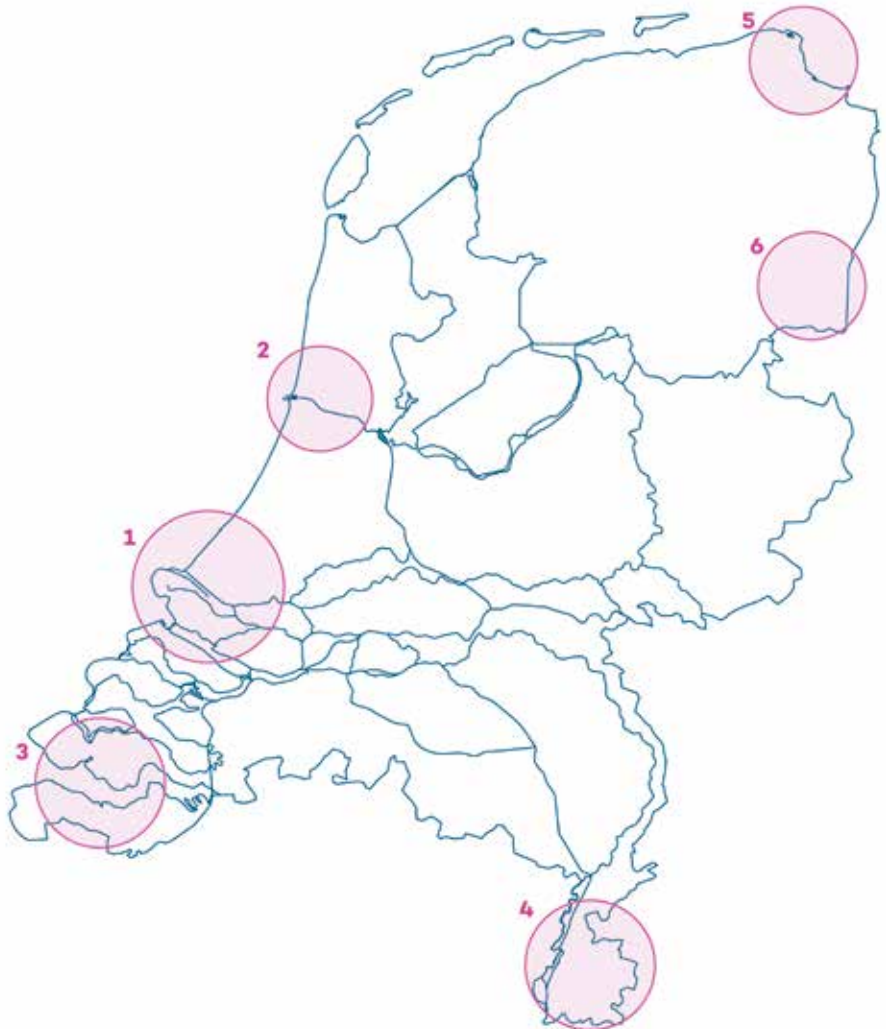
Binnen de regionale clusters is het belangrijk dat tijdig de uitdagingen worden opgepakt en kansen worden benut die specifiek voor het betreffende cluster gelden. Clusters bieden onder andere kansen voor:

- Verdere clustering, co-siting en industriële symbiose om daarmee energie-efficiëntie, CO₂ reductie en kostenverlaging mogelijk te maken
- Verdere opschaling van hernieuwbare energie en (logistieke) ondersteuning van offshore projecten
Slimme en robuuste energie netwerken met clusters als 'balancing hubs' voor opslag en omzetting van hernieuwbare energie
- Opschaling van nieuwe groeimarkten door innovatieve start-ups te koppelen aan gevestigde industrie
- Industriële samenwerking op gebied van CCS en CCU
- Opschalen van gebruik en productie van duurzame(re) transportbrandstoffen door gezamenlijke infrastructuur (link met transitiepad Duurzame mobiliteit)

- Opschaling van hernieuwbare energie en van nieuwe groeimarkten, voor collectieve energiebesparingsmaatregelen en voor industriële symbiose
- Het versterken van Nederland als vestigingsplaats voor een CO₂ neutrale industrie door een gerichte acquisitie van (buitenlandse) investeringen gezamenlijk met de overheid.
- Koppeling met omliggende gebouwde omgeving > benutten restwarmte

Door de ligging van de bedrijven in industriële clusters zijn er volop kansen om CO₂-emissies te verminderen via een clusteraanpak voor het benutten van energiebesparings- en uitwisselingsmogelijkheden en mogelijkheden voor duurzame energie (opwekken, transporteren en benutten). Zo komen sector en functionaliteit overschrijdende opties in beeld. Er zal hiervoor ruimte moeten worden geschapen voor het aanleggen van de benodigde infrastructuur zoals warmtenetten, stoompijpen, CC(U)S netwerken en -opslagruimte, opslag van elektriciteit in chemie en waterstof voor de industrie.

Binnen clusters kunnen slimme en robuuste energienetwerken worden ontwikkeld waarbij de clusters kunnen dienen als 'balancing hubs' voor opslag en omzetting van hernieuwbare energie. Het is daarbij zaak om te zorgen voor energietransportnetwerken die vraag en aanbod met elkaar verbinden zonder dat daarbij congestieproblemen ontstaan. Gezien de ligging van clusters en de hoeveelheid energie die op Nederlandse bodem kan worden geproduceerd moet er speciale aandacht komen voor grensoverschrijdende projecten.



Figuur 25. *Indicatieve weergave industriële clusters*

INTRODUCTIE

De industrie kan een rol spelen bij het vervullen van de taken waarvoor de andere transitiepaden staan. Zo kan de industrie een belangrijke functie vervullen in het transitiepad kracht en licht, door het mogelijk maken van een volledige omschakeling naar een op hernieuwbare energie gebaseerde elektriciteitsvoorziening. De industrie kan een bufferfunctie vervullen bij een fluctuerend aanbod aan duurzame elektriciteit door de inzet van power to fuel (bijv. waterstof) en power to products (bijv. ammoniak) toepassingen bij overschotten en omgekeerd de productie van elektriciteit bij schaarste.

De verduurzaming van de industrie leidt naar verwachting tot een grote additionele vraag naar duurzame elektriciteit en/of waterstof. De komende kabinetsperiode zal moeten worden geïventariseerd welke consequenties te verwachten zijn voor de elektriciteitsvoorziening en de benodigde *transportinfrastructuur*. Door afkoppeling van restwarmte richting de gebouwde omgeving kan de industrie een belangrijke bijdrage leveren aan de verduurzamingsopgave in de functionaliteit lage temperatuurwarmte.

RELATIES TUSSEN HT MAATREGELEN EN ANDERE TRANSITIEPADEN

- Elektrificatie
Link met kracht & licht: De energie-intensieve industrie als gebruiker met sterk groeiende elektriciteitsvraag maar mogelijk ook als producent en opslag van elektriciteit (veiligheidsafstanden bestaan al), dus mogelijk belangrijke rol in flexibilisering
- Biomassa
Link met voedsel & natuur (concurrentie om biomassa), LT-warmte (idem) en mobiliteit (groeiende vraag biomassa resulteerde in groeiende aantal & afstand transportbewegingen)
- Geothermie
Mogelijke belemmering door voedsel & natuur (gebieden)
- CCS/CCU
Link met mobiliteit: ruimtelijke concentratie van energie en transport infra in tracés
- Restwarmte/warmtenetten
Duidelijke link met LT-warmte, mogelijke concurrentie voor warmtebronnen
- Regionale clusters/havens
Link met mobiliteit (clustering kan tot meer verkeer leiden) en LT-warmte (cascadering)

RELATIES TUSSEN ANDERE TRANSITIEPADEN EN HT

Lage temperatuur warmte

- Warmtenetwerken op welke schaal?
- In grensregio interessant om met buurlanden samen te werken (Zeeland/Brabant/Limburg)
- Ondergrondse infra is opgave voor ruimtelijke ordening
- Kartering van vraag en aanbod is belangrijk
- Draagvlak bevolking voor warmtenetten
- Hoge afhankelijkheid van autonome ontwikkelingen (bijvoorbeeld in industrie)

Kracht en licht

- Vraag en aanbod dicht bij elkaar organiseren
- Grootschalige elektriciteitsopwekking mogelijke implicaties/effecten op grote industrieclusters
- Noodzaak om een resiliënt toekomstig energiesysteem te ontwikkelen
- Grote 'energieslurpers' (Energie-intensieve industrie) naar de kust 'verhuizen'?

Transport en mobiliteit < > Netwerken < > Infrastructuur

- Backbone van huidige system(en)
- Belangrijk om vervangingstermijn scherp te hebben en dan te interveniëren
- Infrastructuurlandschap met sterk lineaire structuren
- Vele links met andere transitiepaden zoals Kracht & Licht, HT en LT-warmte
- Bron en verzorgingsgebied organiseren
- Infranetwerk (wegenstelsel) als energiebron (warmte) en mogelijk opslaglocatie

Voedsel en natuur

- Wat is de beste toepassing van (beperkte mate beschikbaar) groen gas?
- Wachten op ETS/carbon credits/CO₂ belasting
- Bron voor biobased industrie
- Kunstmestproductie nu met veel gas, gaat veranderen!

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

- **Relatief beperkte ruimtelijk effecten:** In vergelijking met de andere functionaliteiten, voornamelijk Kracht en Licht, zijn de ruimtelijke effecten op nationale schaal enigszins beperkt. Een ander verschil met de andere functionaliteiten is dat voor HT veel van de bouwstenen moeten worden toegepast in en nabij de bestaande zes regionale industrieclusters, vanwege de aanlanding van elektriciteit en/of biomassa nabij deze clusters en de mogelijkheden voor slimme koppelingen binnen deze clusters.
- **Onzekerheden en nader onderzoek:** Doordat gemeenschappelijke doelstellingen ontbreken voor ofwel sub-sectoren of specifieke strategieën binnen HT, is ook een verregaande analyse van mogelijke ruimtelijke effecten of acties met betrekking tot HT erg lastig. Daarom is meer onderzoek nodig naar de mogelijke ruimtelijke implicaties, om besluiten van zowel overheid als bedrijfsleven te ondersteunen. Dit onderzoek zou ook de toepassing van HT-bouwstenen moeten prioriteren met betrekking tot ruimtelijke wenselijkheid. Het is bijvoorbeeld vanuit ruimtelijk perspectief mogelijk dat geothermie de voorkeur krijgt boven biomassa ten behoeve van hoge temperatuur processen, maar dit zou verder onderzocht en bevestigd moeten worden. Op dit moment kan al wel gezegd worden dat het zeker is dat bepaalde HT-bouwstenen (bijvoorbeeld elektrificatie) significante (tweede orde) effecten hebben op de omgeving, zoals een toenemende vraag naar hernieuwbare elektriciteit (McKinsey studie). Toekomstig onderzoek moet zeker eerste en tweede orde effecten van mogelijke HT-bouwstenen meenemen. Tegelijkertijd is wel duidelijk dat alle bouwstenen (in meer of mindere mate) moeten worden toegepast om de doelstelling voor CO₂-reductie te kunnen behalen. Omdat de meeste bouwstenen niet zijn gekwantificeerd, is er mogelijk nog ruimte voor enige flexibiliteit in het bepalen van welke bouwstenen waar en door wie en in welk mate moeten worden uitgevoerd.
- **Netwerken zijn belangrijke componenten in de transitie van de industriële sector:** voor warmte, CO₂, elektriciteit en biogas. Veel van de verantwoordelijkheden hiervoor liggen bij andere organisaties, buiten de energie intensieve industriële sector. Het sectorale denken wordt ook uitgedaagd door nieuwe en innovatieve ontwikkelingen zoals de 'prosumer'.
- **De grote energie intensieve bedrijven zijn economisch gezien van nationaal belang:** Vanwege deze reden en omdat hun energievraag de lokale energiepotentie overstijgt, kunnen en hoeven de bouwstenen niet allemaal op hun huidige plek plaatsvinden. Nationale en decentrale overheid hebben de rol om de transitie van deze bedrijven op het nationale schaalniveau te faciliteren.

Aanbevelingen:

- Leren van waardevolle lessen van succesvolle voorbeelden in Nederland en het buitenland.
- Investeren in 'capacity building' en werkgelegenheid zijn belangrijke voorwaarden om het energiesysteem te kunnen verduurzamen.
- Exergie (energiekwaliteit): Noodzaak voor verschuiving in het denken tijdens het operationaliseren van emissiereductie in de energie intensieve industrie, en vooral in de fase tot 2030: van het denken in energie (kwantiteit/theoretisch te benutten potentieel) naar exergie (kwaliteit/praktische potentie in tijd en ruimte). Zonder overwegingen met betrekking tot exergie kunnen complexe energiesystemen zoals cascaderende warmtenetwerken niet worden ontwikkeld. Het goede nieuws is dat veel van de productieprocessen binnen de verschillende industrieën exergetisch al geoptimaliseerd worden (zie bijvoorbeeld Stremke et al. 2011¹⁰). Exergetische kennis zou echter meer 'mainstream' kunnen worden, en zo door kunnen dringen in (sociaalecologische) kosten-baten analyses, politieke besluitvorming, wetgeving, financieringsmodellen en de energietransitie praktijk van alledag.
- Slimme clustering: het versterken van de industriële clusters door een gebiedsspecifieke aanpak gekoppeld aan de kracht van de clusters (geografische ligging, omvang, type bedrijvigheid, etc.). Slimme clustering op plekken waar elektriciteit gaat aanlanden (aanlanding net op zee is nu voorzien bij de Maasvlakte en, Borssele; Noordzeekanaalgebied lijkt kansrijk voor aanlanding windparken Hollandse Kust Noord) en in deze clusters kan worden omgezet naar o.a. waterstof. Hiermee kunnen deze clusters door hun grootschaligheid via opslag ook een rol spelen bij het opvangen van pieken en dalen op het landelijk net. Clustering bij kansen in de ondergrond voor diepe geothermie. En betekenisvolle relatie met hun omgeving o.a. door synergie met lage temperatuur warmte (cascadering) en de ruimtelijke organisatie daarvan. Dit speelt vooral bij de clusters in de Rotterdamse haven, Noordzeekanaal en Vlissingen.
- Transitie = tijdelijk ruimte nodig voor twee systemen: havens dienen tijdelijk in ruimte te voorzien van twee systemen: afbouw van een fossiel systeem en opbouw van hernieuwbaar. De industriële clusters die veel HTW gebruiken zijn geconcentreerd in de havengebieden. De clusters zullen over een lange periode moeten worden omgevormd van fossiel naar hernieuwbaar via onder andere elektrificatie en toename gebruik van biomassa. Ook zullen haventerreinen in toenemende mate benut worden voor voorbereiding op de bouw en onderhoud van windparken op zee. De ruimte in de havens zal dus tijdelijk benut worden voor zowel fossiel als hernieuwbaar. Nadere gebiedsgerichte verkenning dient duidelijk te maken of deze ruimte beschikbaar is en hoe dit slim kan worden georganiseerd. De ontwikkeling van de stad richting de havengebieden (oude havengebieden inzetten voor wonen) zorgt ook voor minder ruimte in de havens.
- Adaptiviteit noodzakelijk, onzekerheid over de specifieke invulling van de transitie: het zal lang onzeker blijven welke energiedragers dominant blijken te zijn bij transitie van de productieprocessen van de industrie. Bijvoorbeeld de benodigde elektriciteit (of omgezet naar b.v. waterstof), de benodigde geothermie (ordering van de ondergrond) of biomassa. Pas als dit bekend is zal de ruimtelijke impact samenhangend met de opwekking, transport en opslag van de energiedragers volledig bekend zijn. Dit vraagt om een adaptieve aanpak.

02 / ANALYSE PER FUNCTIONALITEIT

2.3

KRACHT EN LICHT (ELEKTRICITEIT)

Figuur 26. Hoogspanningsmast in landelijk gebied, Tineke Dijkstra Fotografie

BESCHOUWING FUNCTIONALITEIT

BOUWSTENEN

WINDENERGIE

ZONNE-ENERGIE

ENERGIE UIT WATER

GEOOTHERMIE VOOR ELEKTRICITEITSOPWEKKING

KERNENERGIE

DISTRIBUTIENETWERK

OPSLAG

CONVERSIE

KANSRIJKE COMBINATIES

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De functionaliteit kracht en licht beslaat de energievraag voor verlichting, apparaten en informatie- en communicatietechnologie. Deze energievraag besloeg in 2015 ca. 16% van het totale Nederlandse energieverbruik. In de praktijk wordt dit vrijwel volledig ingevuld door elektriciteit. In het transitiepad voor Kracht en Licht wordt naast de energievraag voor de functionaliteit ook de de-carbonisatie van de Nederlandse elektriciteitsproductie en de daarbij behorende maatregelen uitgewerkt. Dit betekent dat in dit transitiepad wordt omschreven welke stappen noodzakelijk zijn om de CO₂-uitstoot van de Nederlandse elektriciteitsproductie terug te dringen, ook waar deze elektriciteit gebruikt wordt voor andere functionaliteiten. Ook aanpassingen in het elektriciteitsnetwerk en opslag en conversie worden in dit transitiepad meegenomen. Om de doelen te kunnen halen moet de gehele elektriciteitsproductie uiterlijk in 2050 volledig CO₂-vrij zijn, omdat de elektriciteitsproductie bij uitstek geschikt is voor vergaande CO₂-reductie. Dit komt doordat de emissies geheel van de aanbodkant komen¹. Wat de totale elektriciteitsvraag zal zijn in 2050 is lastig te zeggen. Dit is niet alleen afhankelijk van de elektriciteitsvraag voor verlichting en apparaten, maar vooral ook van de elektriciteitsvraag als gevolg van elektrificatie in andere functionaliteiten.

De bouwstenen om te komen tot een CO₂-vrije elektriciteitsproductie zijn op hoofdlijnen in twee categorieën in te delen:

- Bouwstenen die uitgaan van vraagreductie of ruimtebeslagreductie zoals energiebesparing, voortdurende inzet op energie-efficiëntie, innovaties rond ruimtelijke impact van hernieuwbare energieproductie of gedragsverandering.
- Bouwstenen die uitgaan van het volledig CO₂-vrij maken van de elektriciteitswinning zoals grote windparken op zee, zonneweiden op land en binnenwater, zonne-energie langs infrastructuur, zonne-energie op daken en de benodigde aanpassingen in netwerk- en opslaginfrastructuur.

Elektriciteit kan in theorie in grote getalen hernieuwbaar worden opgewekt, zeker ten opzichte van warmte en brandstoffen. De maximale vraag naar elektriciteit kan hiermee ook bediend worden. Wel zijn de ruimtelijke consequenties dan aanzienlijk. Het is hierbij dus zaak om slim te combineren met andere ruimtelijke opgaven.

Aangezien de binnenlandse potentie voor warmte en brandstoffen (diepe en ondiepe bodemwarmte (LT en HT), en biofuels/biogas uit biomassa (LT, T&M, HT) beperkt is kan deze ofwel geïmporteerd worden (biomassa) ofwel via warmtepompen en het omzetten van elektriciteit naar waterstof en biogas worden gerealiseerd. Dit leidt echter tot een flinke toename in de vraag naar elektriciteit. Het huidige elektriciteitsnetwerk is ontworpen vanuit een fossiel systeem. Dus tijdens en na de transitie leidt dit mogelijk tot congestie in het netwerk en/of overschotten en zullen er twee systemen naast elkaar bestaan. In de groeifase naar een duurzaam elektriciteitssysteem zal een zekere periode sprake zijn van onvoldoende vermogen om in piekvragen te kunnen voldoen. Totdat voldoende buffer- en opslagmogelijkheden voor duurzame energie zijn gerealiseerd moet hiervoor een alternatief bestaan.

Voor de kortere termijn is het dus van belang hier slim op aan te sluiten. Ook voor elektriciteit geldt dat een afnemer zich het liefst zo dicht mogelijk bij productie bevindt.

Duurzame elektriciteit is in Nederland met name te realiseren door wind- en zonne-energie.

Ook via kernenergie, geothermie en energie uit water is echter elektriciteit op te wekken.

De potentie hiervan is in Petajoules niet heel groot. Wel kunnen deze vormen van energie een constante productie leveren, en daarmee bijdragen aan de energiezekerheid.

Ruimtelijke kansen/belemmeringen per bouwsteen voor energieproductie en transport

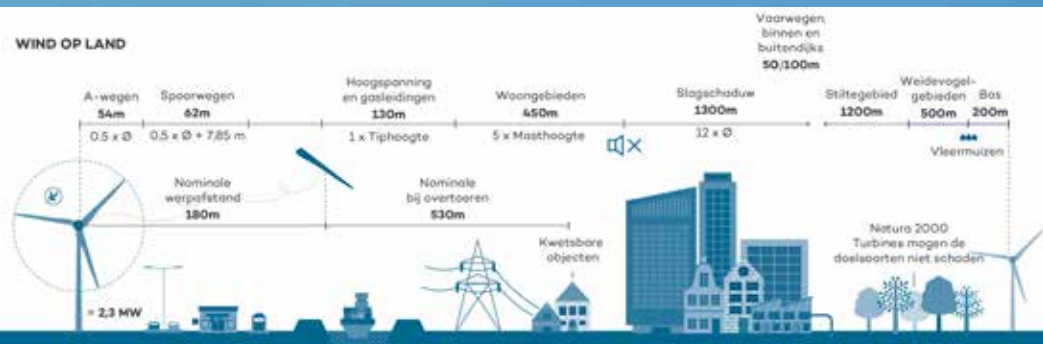
De voorgestelde bouwstenen om CO₂-emissies te reduceren (*Windenergie op zee, windenergie op land, zonne-energie, energie uit water, geothermie, kernenergie*) hebben allen in meer of mindere mate invloed op het ruimtegebruik. Daarnaast zijn er bouwstenen om eventuele congestie op het hoogspanningsnetwerk te voorkomen door pieken/dalen tussen dag en nacht en de seizoenen op te vangen (*Buffering, conversie/opslag via power-to-gas (bijvoorbeeld waterstof), Compressed Air Energy Storage en Liquid Air Energy Storage of uitbreiding van het hoogspanningsnetwerk*) die ook in meer of mindere mate invloed op het ruimtegebruik hebben. Hieronder volgt per bouwsteen de huidige situatie en de mogelijke potentie.

WINDENERGIE

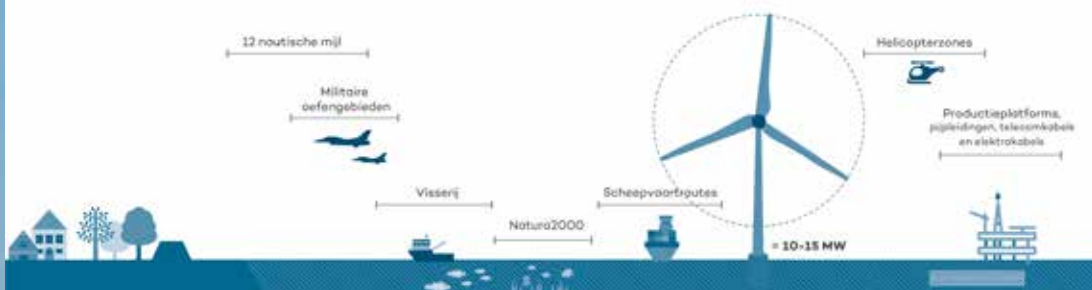


Figuur 27. Windenergie Flevoland, Rob Poelenjee

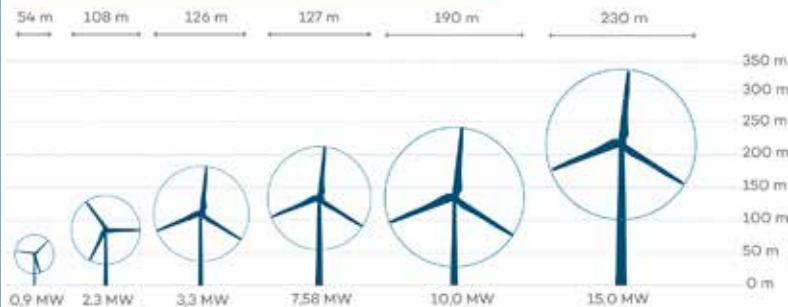
WIND OP LAND



WIND OP ZEE



VERMOGEN EN GROOTTE



WINDSNELHEDEN

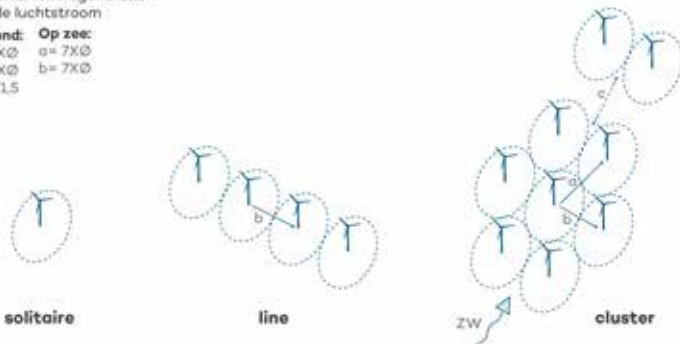


OPSTELLING

a= buffer ivm regeneratie van de luchtstroom

Op land: a= 6XØ
b= 4XØ
c= 1/1,5

Op zee: a= 7XØ
b= 7XØ



VOLLASTUREN

< 7 m/s	2240
7-7,5 m/s	2620
7,5-8 m/s	2850
8 - 9,5 m/s	3200
Op zee	
> 9 m/s	4000 - 4400

WINDENERGIE OP ZEE - HUIDIGE SITUATIE

De capaciteit van windenergie op zee in 2024 bedraagt bij realisatie van de huidige plannen circa 4,5GW geïnstalleerd vermogen. Hiermee kan in theorie in ongeveer 17% van de huidige elektriciteitsvraag worden voorzien². In de Energieagenda is aangegeven dat het kabinet inzet op een gelijkmatige uitbreiding van 2024 tot en met 2030 van in totaal 7GW windenergie op zee. Het nieuwe regeerakkoord kent een doelstelling (4 Mton CO₂ reductie door windenergie op zee) die daar bij aansluit. Daarmee zou de totale capaciteit windenergie op zee in 2030 circa 11,5GW geïnstalleerd vermogen bedragen. Op zee betekent dit per jaar de installatie van ongeveer 90 turbines van 10MW. Dit is zeker gezien de transportcapaciteit op land en de huidige ecologische ruimte op zee een uitdaging. De huidige windparken op zee bestaan uit 2MW tot 4MW windturbines. De windparken die nu gebouwd worden bestaan uit veel grotere windturbines, 8MW (Borssele) tot mogelijk 14MW voor IJmuiden ver. Dit heeft voornamelijk te maken met het feit dat grotere windturbines minder ecologische impact hebben op vogels en bij IJmuiden Ver, in tegenstelling tot dichtbij de 12 nautische mijl (NM) zone, de zichthinder van de kust hier geen rol meer speelt. Windparken binnen de 12 NM-zone voor de kust zijn nu niet aan de orde vanwege schaalvergroting van parken (past niet binnen de 12 NM), de clustering met buitenlandse parken en de belangen van de visserij die juist binnen deze zone groot zijn.

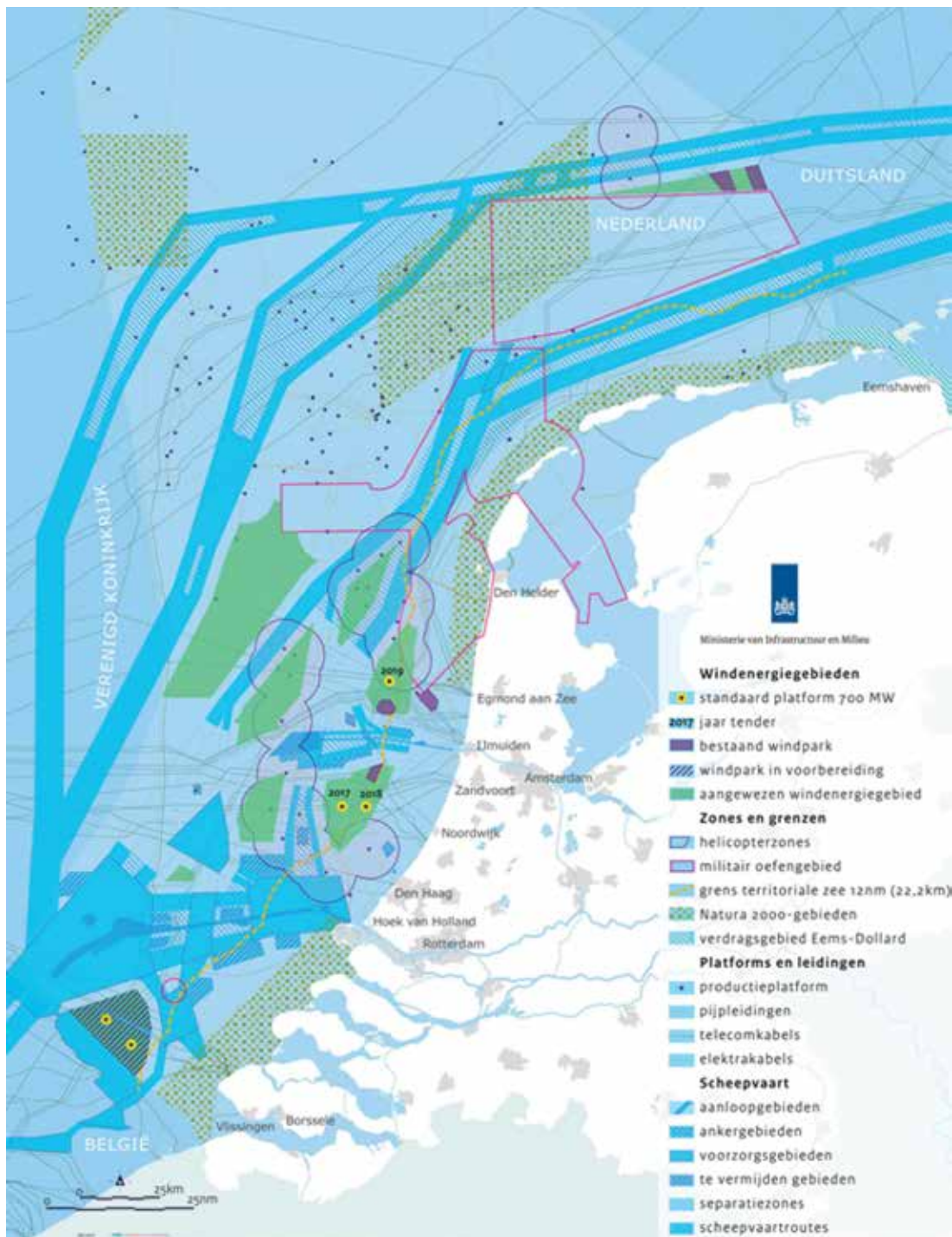
RUIMTELIJKE ASPECTEN

(Inter)nationale restricties

De ruimtelijke, ecologische en maritieme mogelijkheden voor het plaatsen van windturbines is onderhevig aan wet- en regelgeving die betrekking heeft op de bescherming van milieu, personen of economische belangen. In de Beleidsnota Noordzee, als onderdeel van het Nationaal Waterplan, zijn hiervoor windenergiegebieden aangewezen. Deze gebieden bieden ruim voldoende capaciteit voor 7 GW. Bij een hogere ambitie zijn er nieuwe windenergiegebieden nodig.

Rondom windgebieden in deze verkenning zijn de volgende harde restricties meegenomen:

- Helicopterzones
- Militaire oefengebieden
- Grens territoriale zee (22,2 km³)
- Verdragsgebied Eems-Dollard
- Natura2000
- Productieplatforms
- Pijpleidingen, telecomkabels en elektrakabels
- Scheepvaartroutes
- Laagvlieg luchtvaartroutes
- Zand- en schelpenwinning



Figuur 28. Mogelijke (inter)nationale restricties voor windenergie op de Noordzee (Bron: Ministerie van I&M)



Figuur 29.

Energetic Odyssey (H+N+S)



2050

POTENTIE WINDENERGIE OP ZEE

Voor de huidige parken wordt doorgaans gerekend met een potentie van ongeveer 7-9MW/km² voor offshore windparken. Dit geldt dan wel voor redelijk solitair staande parken (dus redelijk turbulentienvrije wind). Als je zo de hele Noordzee vol zou zetten dan treden er veel verliezen op, af en toe is dus lege ruimte noodzakelijk om de wind weer op sterkte te laten komen. De toekomstige turbines zullen aanzienlijk groter zijn dan wat nu in de huidige parken staat. Daarmee zou ook de molenbiotoop van de individuele windturbine groter worden en zal mogelijk de ratio per km² dalen. Naar 2050 is de verwachting dat ongeveer 4-6MW/km² kan worden gerealiseerd op zee door inzet van 10-14MW turbines. Mogelijkerwijs zijn hier nog diverse mogelijkheden om dit te optimaliseren voor een beperkter ruimtebeslag (kleinere rotordiameters, meer variatie in tiphoogtes, etc.).

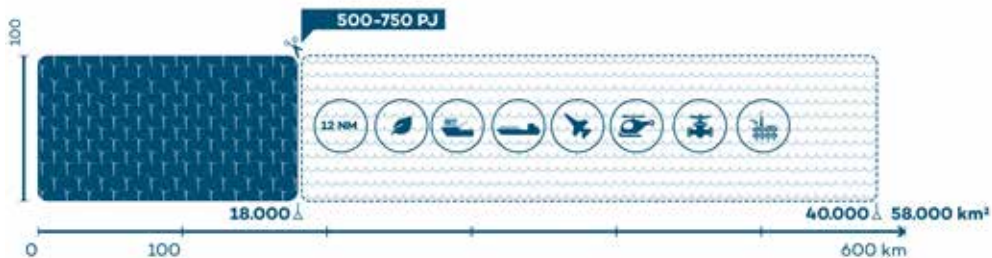
Gegeven de verschillende beschermde gebieden in zee en de andere ruimtelijke belangen zoals scheepvaartroutes (exclusief visserij) is ongeveer 18.000km² vrije ruimte beschikbaar. Wanneer de belangen van visserij hier ook van af worden gehaald zal logischerwijs de potentie lager uitvallen. Tegelijkertijd is windenergie goed te combineren met andere functies zoals de visserij. Wel lijkt verder onderzoek naar slimme combinaties tussen visserij en windenergie gewenst.

- Bij 4-6MW/km² is het theoretisch energetisch potentieel van de Noordzee dan 1.000-1.500 PJ (72-108 GW)

Voor een optimale opbrengst zullen er vrije ruimtes tussen windparken moeten komen, zo ontstaat een soort schaakbordpatroon. Dit principe is in bovenstaand theoretisch potentieel niet meegenomen.

Een meer realistisch potentieel met in achtname van de voldoende ruimte en de belangen van andere Noordzee stakeholders, inclusief de regeneratieruimte voor de windsector zelf ligt rond de helft hiervan, 500-750 PJ (36-54GW).

De belangrijkste knelpunten voor verdere uitrol dan de geplande 11,5 GW betreffen de mate waarin er voldoende ecologische gebruiksruimte is voor extra windparken en of de daarmee opgewekte energie kan worden ingepast in het elektriciteitsnetwerk. Voor een verdere uitrol zal dus aanvullende ecologische gebruiksruimte gevonden moeten worden en dient er transportcapaciteit op het hoogspanningsnet te komen en/of congestie management. Het huidige aantal beschikbare hoogspanningsstations nabij de kust is beperkt. Ook kan er niet onbeperkt elektriciteit worden toegevoegd aan het net, dan kan congestie ontstaan en het net in onbalans raken. Dit kan worden ondervangen door forse netuitbreiding of het beter afstemmen van het aanbod van elektriciteit met de vraag.



Figuur 30. Oppervlak, restricties en potentie windenergie op zee



Figuur 31. Mogelijke locaties voor windenergie op zee tot 2030

BOUWSTEEN

Het zal steeds belangrijker worden om de vraag naar energie af te stemmen met het aanbod uit de windparken en om in te spelen op de verduurzaming van de industriële energievraag. Verder zal het netwerk ook meer buffercapaciteit moeten bevatten om de weerafhankelijkheid van windenergie van zee goed op te kunnen vangen. Ook kan deze grote vraag op zee of in de zeehavens opgeslagen of omgezet worden in andere energiedragers zoals waterstof. Hier kan de industrie in met name de zeehavens een grote rol spelen door grootschalige elektrificatie in te voeren.

In alle gevallen is er relatief veel infrastructuur nodig om voor windenergie op zee de afstand tussen de plaats van het aanbod en de plaats van vraag te overbruggen. Dit brengt een extra ruimtebeslag met zich mee op zowel de zee als het land.



Figuur 32. Impressie windenergie in zeehavens (H+N+S)



WINDENERGIE OP LAND - HUIDIGE SITUATIE

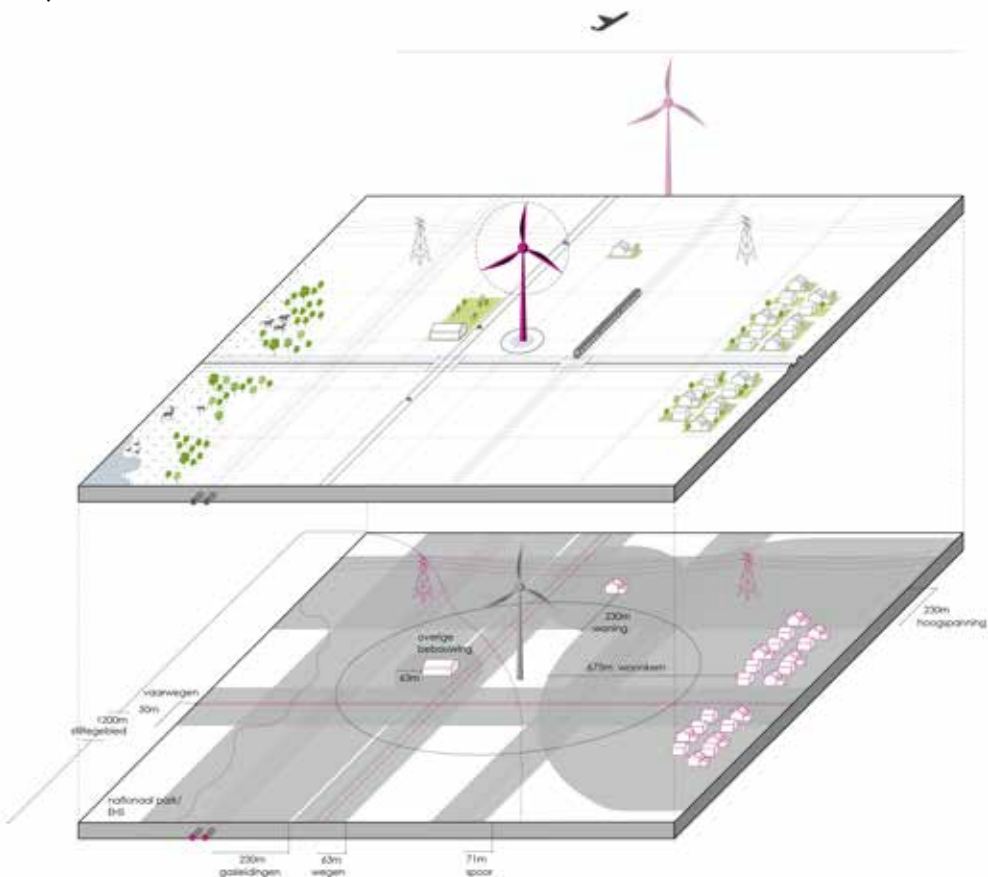
Windenergie op land gaat over windenergie opgewekt op land en op binnenwater⁴. Windenergie is geen onbekende in het Nederlandse landschap. Momenteel staan er ongeveer 2.000 windturbines op land met een capaciteit van ongeveer 3,3GW⁵. In het energieakkoord hebben Rijk en provincies afgesproken 6 GW (54 PJ) operationeel windvermogen te realiseren in 2020.

RUIMTELIJKE ASPECTEN

Het is technisch en ruimtelijk mogelijk om in een groot deel van ons open landschap windenergie op te wekken. Uiteraard dient hierbij wel rekening te worden gehouden met de nodige afstanden in verband met effecten op mensen en natuurwaarden (geluid, trillingen, veiligheid, milieu).

De gebruikte turbines in deze studie zijn, inclusief de rotorbladen, tussen de 100 en 200 meter hoog. Windturbines halen energie uit de luchtstroom, zijn daarmee van invloed op de kracht van de doorstromende lucht. Dit betekent dat bij achter elkaar geplaatste turbines, de opbrengst afneemt. Voor een maximale opbrengst moeten daarom de volgende regels in acht worden genomen. Afstand tot andere windturbines:

- 4 keer de rotordiameter haaks op de overheersende windrichting en 6 keer de rotordiameter in de overheersende windrichting
- Turbines worden in lijnopstellingen geplaatst.
- Maximaal 3 lijnen achter elkaar, daarna minimaal 1,5 km buffer i.v.m. regeneratie van de luchtstroom.



Figuur 33. Windenergie op land en ruimtelijke beperkingen

Windenergie is goed te combineren met andere gebruiksfuncties zoals landbouw of natuur omdat het werkelijk ruimtegebruik van een windturbine beperkt is. Vanwege veiligheids- en milieueisen zijn windturbines minder goed te combineren met de gebouwde omgeving. Windenergie kan daarnaast juist vanwege deze eisen gebruikt worden om (natuur)gebieden te vrijwaren van bebouwing.

Het plaatsen van windturbines, met name op plekken waar nu nog geen windturbines zichtbaar zijn, heeft effect op de beleving van de ruimte en de leefomgevingskwaliteit en daardoor kan op maatschappelijke weerstand gestuit worden.

Nationale restricties

De mogelijkheden voor het plaatsen van windturbines zijn onderhevig aan wet- en regelgeving. Rondom bebouwing en infrastructuur zijn veiligheidsbuffers vastgesteld en vanuit de milieuregelgeving (geluid) worden beperkingen opgelegd. Deze restricties gelden in dit onderzoek als 'harde' randvoorwaarden. Deze buffers worden vastgesteld aan de hand van de afmetingen van de turbine. Een kleinere turbine heeft meer plaatsingsmogelijkheden dan een grote turbine, maar kan echter weer minder energie produceren.

In deze verkenning zijn de volgende zones als harde restrictie meegenomen:

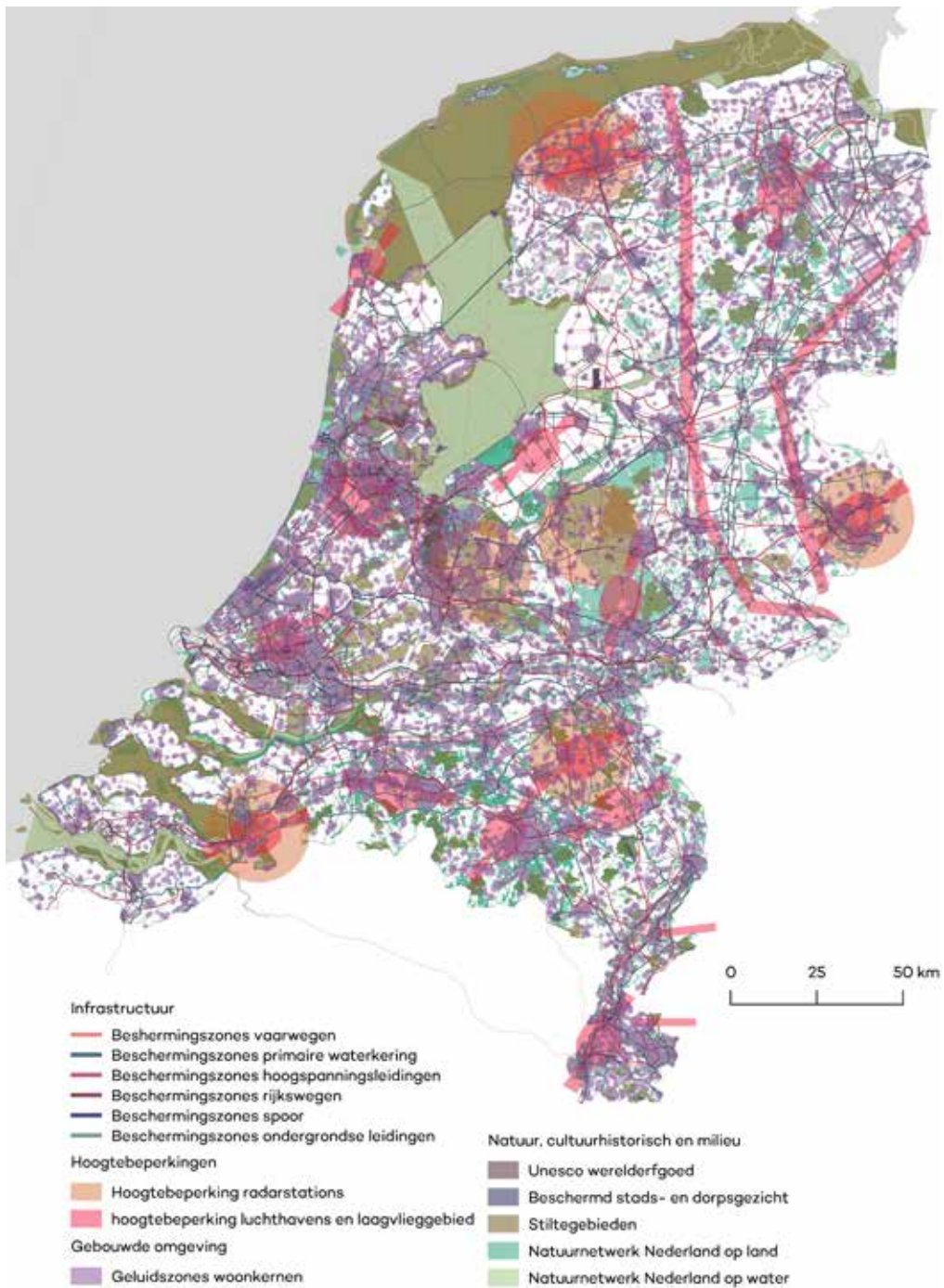
- Geluidszones rondom woonkernen
- Veiligheidszones rondom kwetsbare en beperkt kwetsbare objecten (niet op de kaart weergegeven)
- Veiligheidszones rondom A-, N- en S-wegen, spoorwegen en hoogspannings-, gas- en buisleidingen
- Veiligheidszones of hoogtebeperking rondom luchthavens (burgerluchtvaart/militair), radarstations en laagvlieggebieden
- Beschermingszones rondom waterkeringen t.b.v. waterveiligheid
- Veiligheidszones rondom vaarroutes

Overige restricties

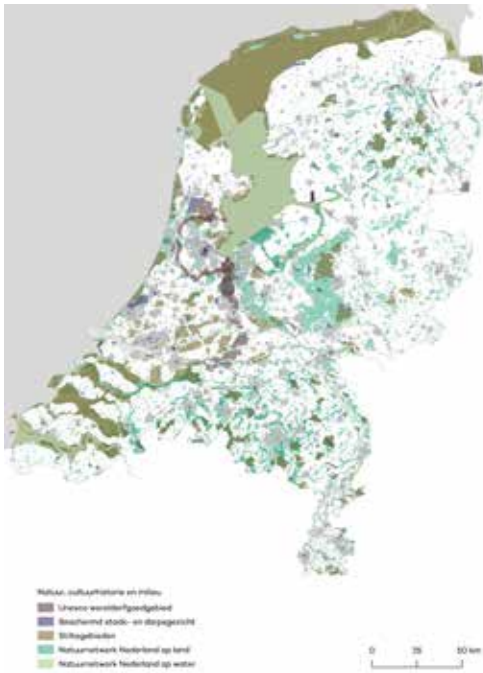
Naast de harde restricties op nationale schaal, bestaan er restricties die door lokale/provinciale autoriteiten bepaald kunnen worden. Deze randvoorwaarden kunnen per locatie verschillen. Veelal is er wel een mogelijkheid voor windenergie, mits deze geen schade aanricht aan doelsoorten of natuurwaarden. Het natuurnetwerk Nederland (NNN) en de grotendeels daarbinnen gelegen Natura2000-gebieden worden omschreven als gebied dat vanwege de natuurwaarden niet mag worden aangetast of enkel onder strikte voorwaarden.



Figuur 34. Impressie nieuwe windlandschappen (Posad)



Figuur 35. Mogelijke beperkingen windenergie op land (2,3MW)



Figuur 36. Natuur, cultuurhistorie en milieu



Figuur 38. Gebouwde omgeving



Figuur 37. Hoogtebeperking en radar



Figuur 39. Infrastructuur

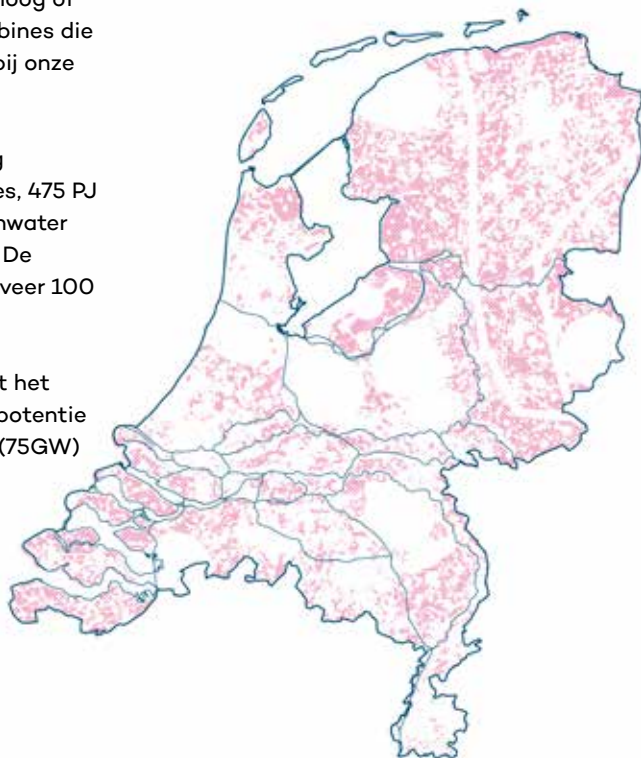
POTENTIE WINDENERGIE OP LAND

Nieuwe windturbines leveren steeds meer energie op. Vanuit de techniek is het potentieel voor windenergie op land enorm. Voor deze grotere potentiëlen zijn wel veel grotere en met name hogere windturbines benodigd. De inpassing van veel van de nu bekende windturbines is echter nu al een maatschappelijke uitdaging dus het is niet aannemelijk om te veronderstellen dat in 2050 ons land vol staat met vergelijkbare windturbines maar dan van 250 meter hoog of hoger. Daarom gaan we uit van windturbines die nu ook al bekend zijn in ons landschap bij onze berekening van het potentieel (3MW). Het technisch potentieel voor 3MW windturbines in open gebied is, rekening houdend met bovengenoemde restricties, 475 PJ (50GW). Hierbij is de potentie op binnenwater zoals het IJsselmeer niet meegerekend. De potentie van al het binnenwater is ongeveer 100 PJ.

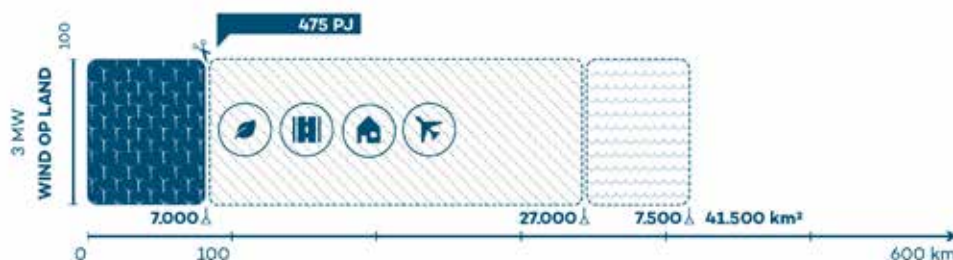
Wanneer zou worden gecombineerd met het Natuur Netwerk Nederland dan kan de potentie op land toenemen tot ongeveer 700 PJ (75GW) exclusief het binnenwater.

Wanneer daarentegen een afstand van 500 meter wordt aangehouden tot alle bebouwing neemt de potentie af tot 160 PJ (17GW) en bij 1.000 meter tot 14 PJ (1GW).

Al de bovengenoemde potenties zijn niet met ruimtelijke- en landschappelijke kwaliteit in het achterhoofd ontwikkeld.



Figuur 40. Windenergie op land buiten restrictiegebieden



Figuur 41. Oppervlak, restricties en potentie windenergie op land

Wanneer we alleen vanuit belemmeringen redeneren ligt een Landscape from Hell⁶ op de loer. Een serieus gesprek over deze belemmeringen zal dus gevoerd moeten gaan

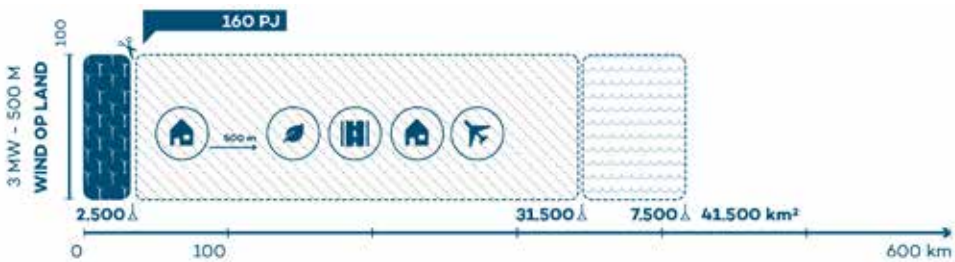
worden. Hieronder een samenvatting van wat vanuit de ruimte en het landschap de bouwstenen voor oplossingsrichtingen voor windenergie op land kunnen zijn.



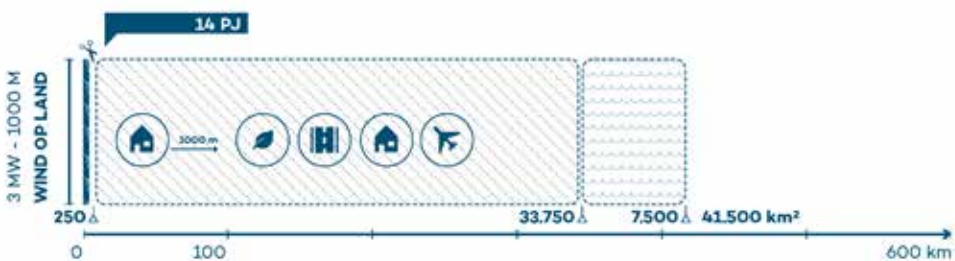
Figuur 42. Windenergie op land op minimaal 500 meter tot alle losse bebouwing



Figuur 43. Windenergie op land op minimaal 1.000 meter tot alle losse bebouwing



Figuur 44. Oppervlak, restricties en potentie windenergie op land, 500 m tot alle losse bebouwing



Figuur 45. Oppervlak, restricties en potentie windenergie op land, 1.000 m tot alle losse bebouwing

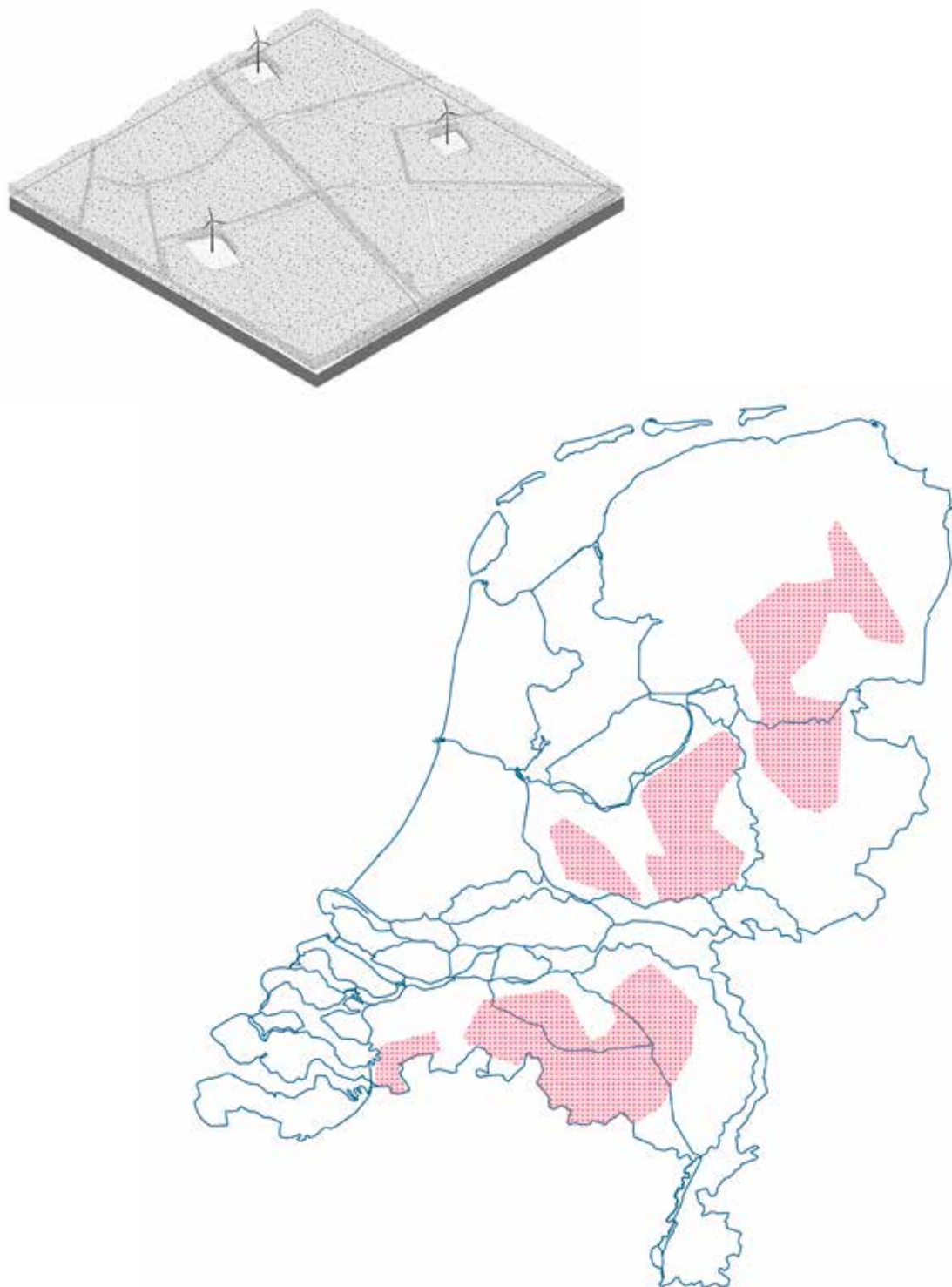
REPOWERING CONCENTRATIES VAN WINDTURBINES⁷

Hoewel het momenteel geïnstalleerde vermogen aan Nederlandse windturbines met ongeveer 17 PJ nog relatief bescheiden is, worden hiermee wel reeds bestaande 'windenergielandschappen' gedefinieerd. Het gaat hier om het IJsselmeergebied, de havens van Rotterdam, Amsterdam en de Eems-Dollard, de Zuidwestelijke delta en Friesland. Ook een deel van de turbines die de komende jaren gebouwd gaan worden zal tegen 2050 aan vervanging toe zijn. 'Repowering' (het vervangen van de vele oudere, relatief kleine windturbines door grote, moderne windturbines met een groter opgesteld vermogen) van deze bestaande nationale windenergie landschappen kan een jaarlijkse elektriciteitsproductie van in totaal ongeveer 50 PJ (5 GW) opleveren. Met het repoweren van windturbines bestaat direct ook de mogelijkheid om te herstructureren en samenhang in het landschap te versterken. Bijvoorbeeld polderstructuren kunnen versterkt worden.

De meest kansrijke gebieden voor repoweren zijn de havens (500 windturbines) en het IJsselmeergebied (400 windturbines) vanwege de grotere opbrengsten met grotere turbines (>3MW) die elders op land minder waarschijnlijk zullen zijn.

NIEUWE WINDENERGIE LANDSCHAPPEN⁸

Naast de optimalisatie (herstructureren en opwaarderen) van bestaande windenergielandschappen, kan ook gekeken worden naar nieuwe kansrijke locaties. Hierbij stuiten we onvermijdelijk op twee groepen grondbezitters: agrariërs en natuurbeherende organisaties. Beide groepen hebben een belang om bij te dragen aan de doelstellingen voor windenergie (verandering economische positie in delen van de landbouwgebieden en boeren die zoeken naar nieuwe verdienmodellen + financiering versterking biodiversiteit in oude productiebossen). Zo ontstaan er twee typen nieuwe windenergielandschappen; 'windakkers' en 'windbossen'. In beide gevallen sluit de plaatsing van windturbines aan bij open, grootschalige en door mensenhanden gemaakte landschappen; droogmakerijen, polders (waaronder ook de rivierkommen) en productiebossen. De totale potentie bedraagt ongeveer 35 PJ (4 GW).



Figuur 46. Indicatieve weergave zoekgebieden windbossen

Windbossen

Bossen en windturbines kunnen van een afstand gezien goede ensembles vormen. Aan de recreatieve beleving van het bos hoeft dit geen afbreuk te doen, want door de bomen zijn de windturbines slechts sporadisch te zien. Voor de ecologische kwaliteit van met name oude (naaldhout-) productiebossen kunnen windturbines zelfs een verbetering betekenen. In windbossen kunnen maximaal tussen de 400-1.000 windturbines worden ingepast en is de potentie dan 10-25 PJ (1,3-3 GW).

Windakkers

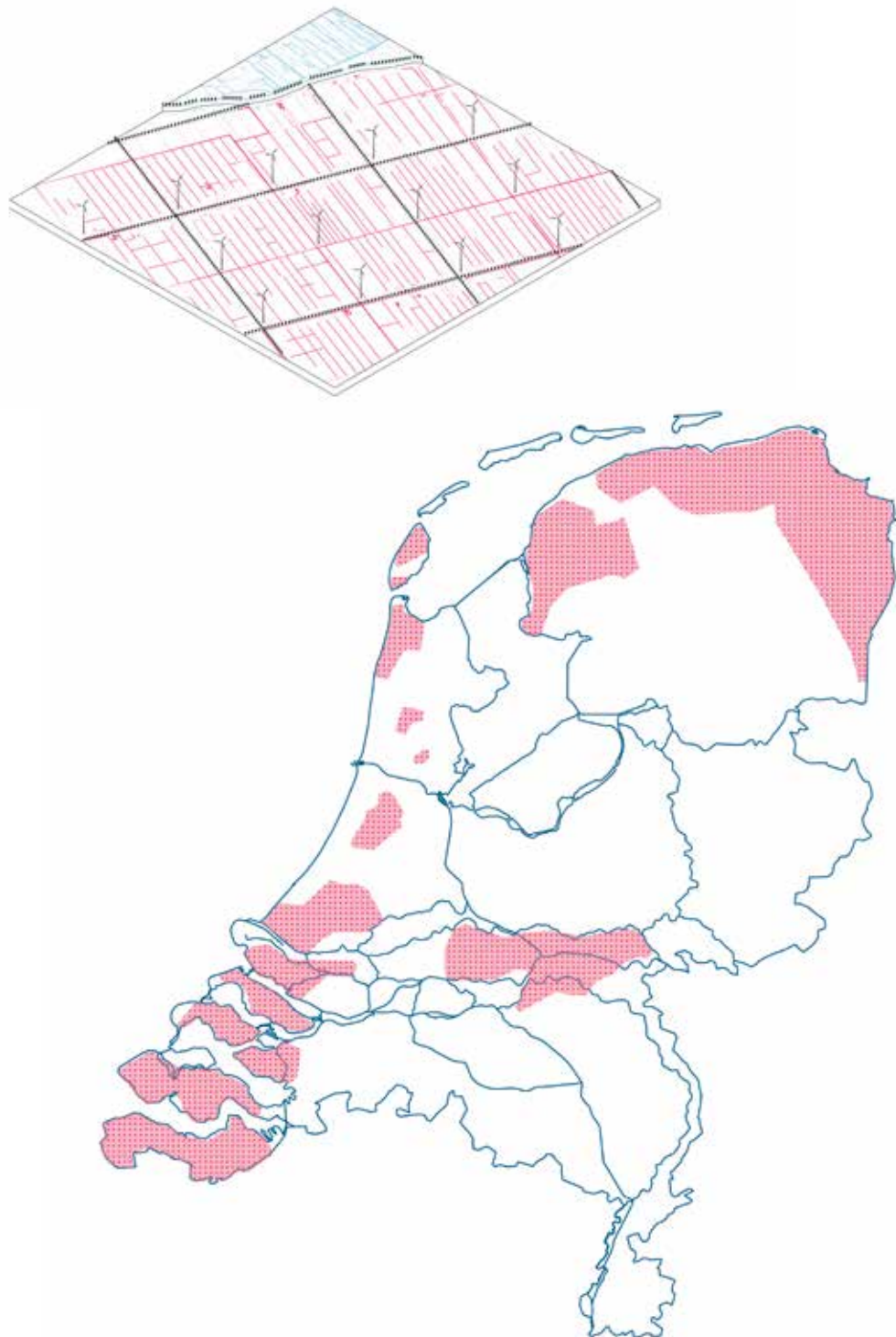
Qua maat en schaal passen windturbines goed bij grotere uitgestrekte droogmakerijen, hoogveenontginningen en komgronden van het rivierengebied. Bij de inrichting van het landschap kan windenergie een bijdrage leveren aan het versterken van deze landschappelijke structuren.

Op windakkers is ruimte voor 200-400 windturbines en is de potentie 5-10 PJ (0,6-1,2 GW).

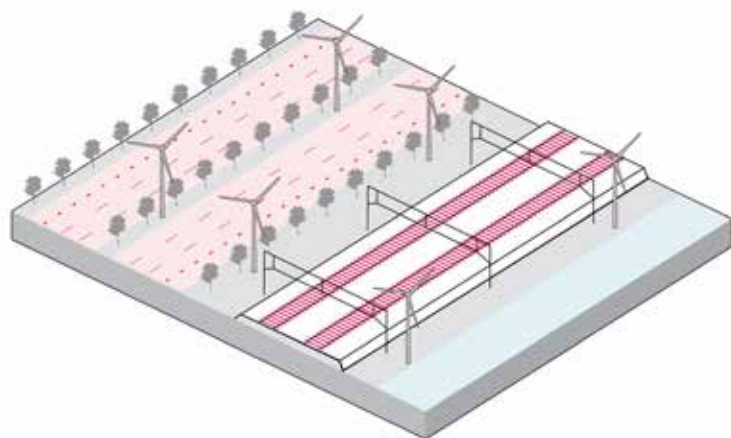


Figuur 47. Impressie windbos (H+N+S).





Figuur 48. Indicatieve weergave zoekgebieden winddakkers



Figuur 49. Indicatieve weergave zoekgebieden windenergie langs infrastructuur



Figuur 50. Impressie windenergie langs infrastructuur en op binnenwater (Posad)





Figuur 51. Impressie windenergie op bedrijventerrein (H+N+S)

LOKALE WINDENERGIE⁹

Ook lokaal bij bedrijventerreinen, dorpen en erven van agrariërs kan windenergie voorzien in de elektriciteitsbehoefte.

Windenergie op bedrijventerreinen

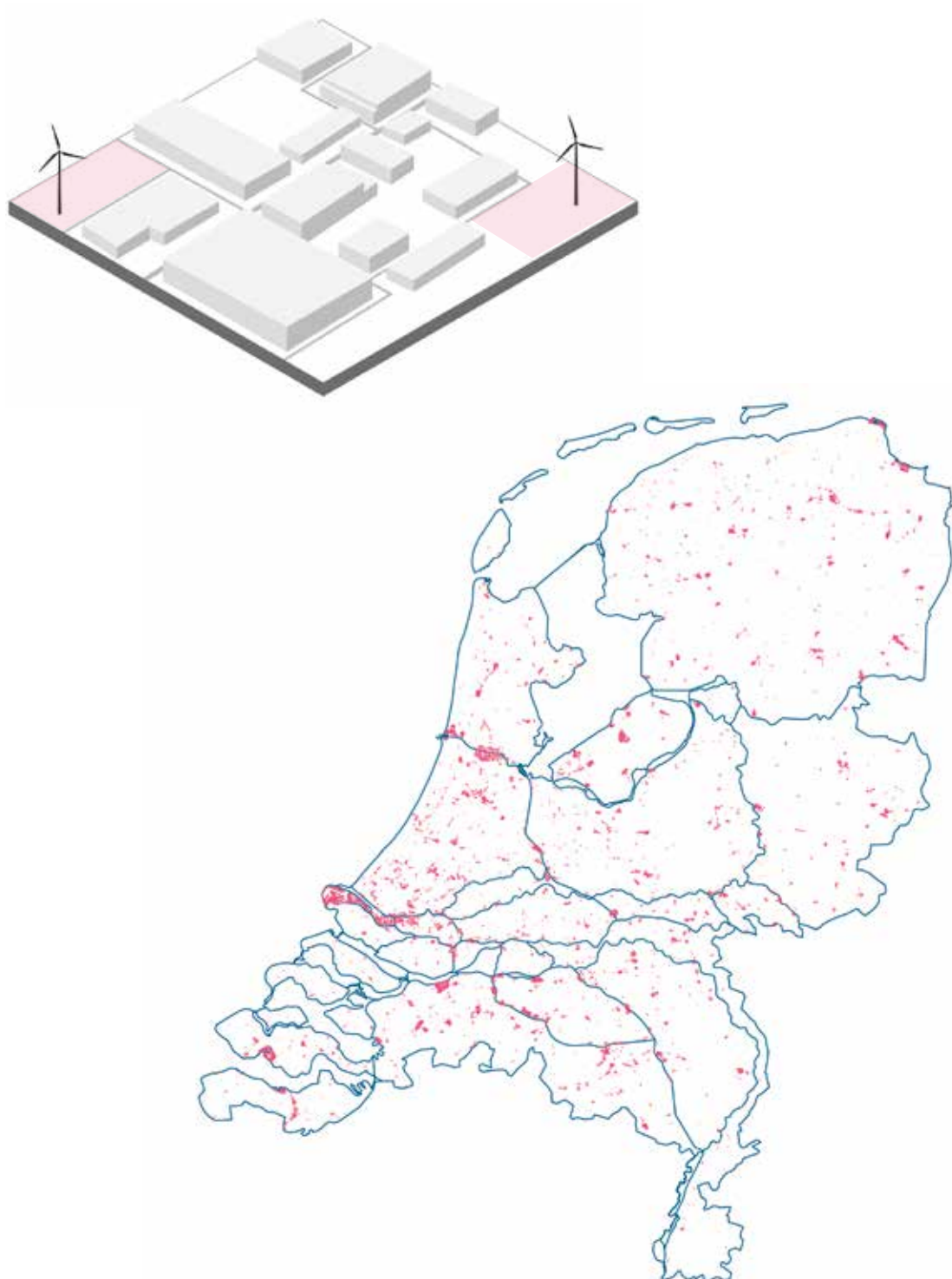
Bij bedrijventerreinen met voldoende ruimte kunnen (tijdelijk) windturbines worden geplaatst.

Windenergie op eigen erf agrariërs

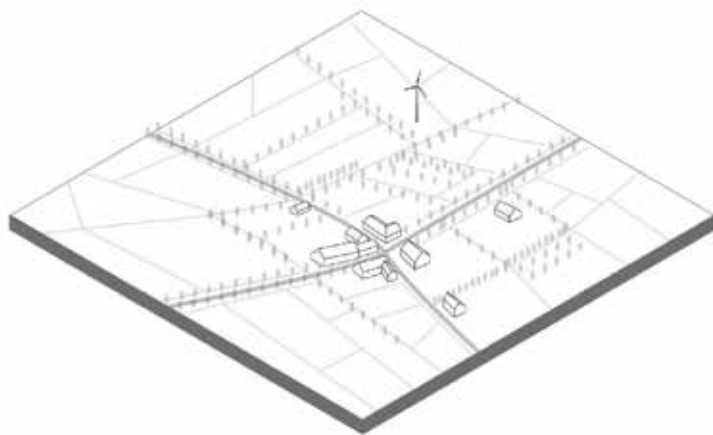
Wanneer bij ieder agrarisch erf (schatting 70.000) een kleine windturbine van 2,4 kW (~15m hoog) kan worden gerealiseerd is de potentie daarvan ongeveer 1 PJ (0,2 GW).

Windenergie bij dorpen

Wanneer bij ieder dorp (schatting 2.400) een dorpsmolen van 2,3 MW kan worden gerealiseerd levert dit een potentie van ongeveer 50 PJ (5,5 GW).



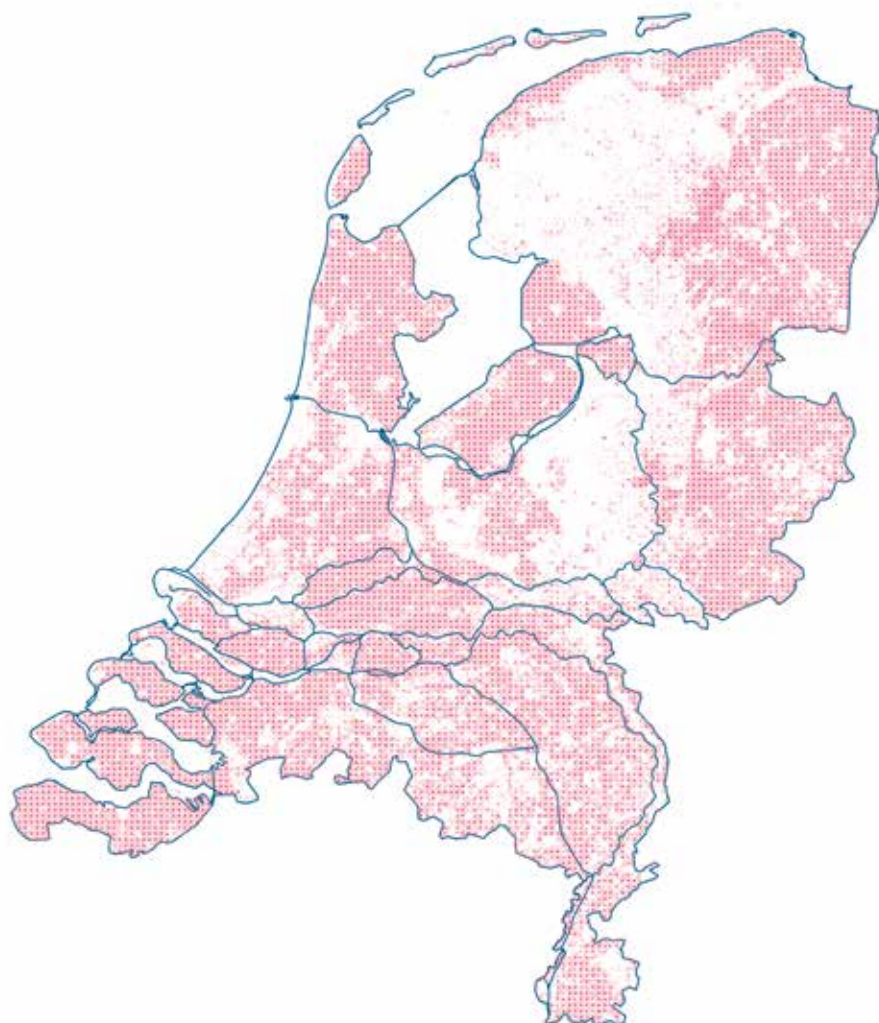
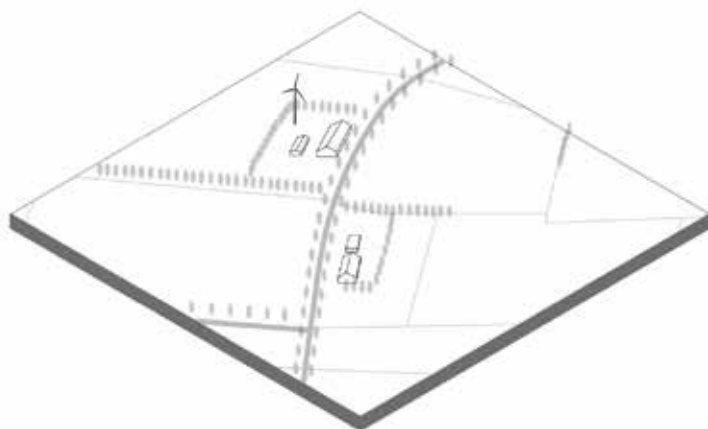
Figuur 52. Indicatieve weergave zoekgebieden windenergie bij bedrijventerreinen



Figuur 53. *Indicatieve weergave windenergie bij ieder dorp in Nederland*



Figuur 54. *Impressie dorpsmolens*



Figuur 55. *Indicatieve weergave zoekgebieden windenergie op agrarische erven*

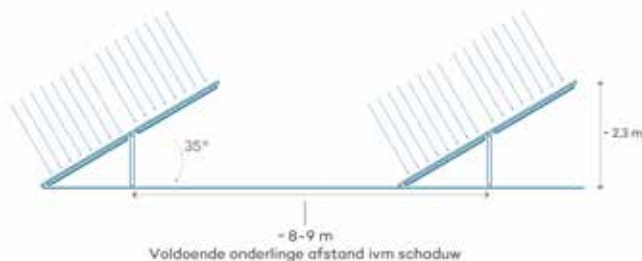
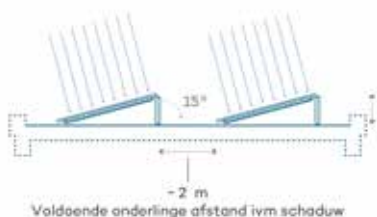


Figuur 56. Impressie erfturbine

ZONNE-ENERGIE



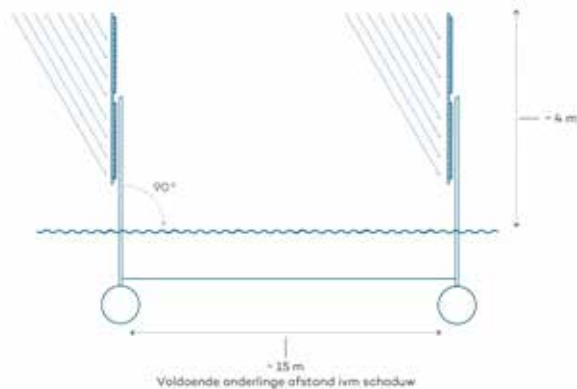
Figuur 57. Zonnepanelen bij ENGIE Nijmegen, Rob Poelenjee (bron: DGRW)



OPBRENGST ZONNEPANELEN



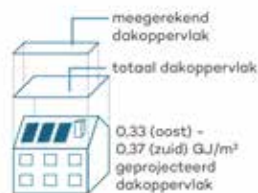
1056-1070 kWh/m ²	987-1001 kWh/m ²
1043-1056 kWh/m ²	973-987 kWh/m ²
1029-1046 kWh/m ²	959-973 kWh/m ²
1015-1029 kWh/m ²	945-959 kWh/m ²
1001-1015 kWh/m ²	



DE IDEALE OPSTELLING



1 huishouden =
ongeveer 20 panelen



ZONNE-ENERGIE - HUIDIGE SITUATIE

Het huidige opgesteld vermogen van zonnestroom is ongeveer 2,0GW¹⁰ (~6,5 PJ). Hoofdzakelijk wordt dit vermogen gehaald uit installaties op daken en zonneweides.

ZONNEDAKEN

Techniek en plaatsing

De optimale plaatsingshoek in Nederland is 35° met een oriëntatie tussen zuidoost en zuidwest. Panelen kunnen zowel op platte als op schuine daken geplaatst worden. Op basis van de hoogtes van gebouwen kan een inschatting gemaakt worden welke gebouwen een schuin dak hebben en welke een plat dak. Om de ongunstige oriëntatie uit te sluiten bij schuine daken is uitgegaan van een beschikbaarheid van 50% van het oppervlak. Daarvan is verondersteld dat de helft zuid georiënteerd is en de andere helft oost georiënteerd. Daarnaast dient er rekening gehouden te worden met obstakels op de daken zelf of in de directe omgeving. Uitgangssituatie voor de berekening is uiteindelijk een effectieve benutting van ongeveer 26% van het beschikbare dakoppervlak binnen Nederland.

Restricties

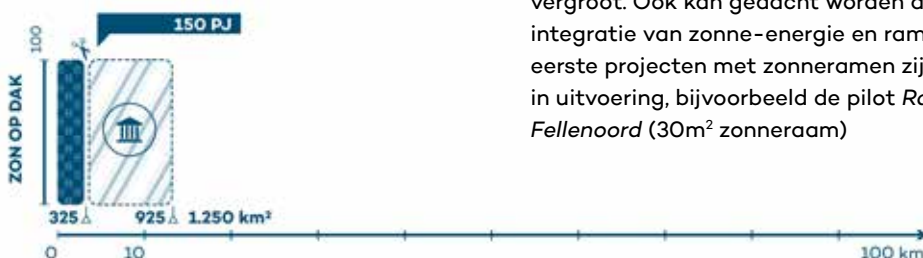
Voor rijksmonumenten en panden binnen een rijks beschermd stads- of dorpsgezicht geldt dat deze te maken hebben met extra randvoorwaarden bij het plaatsen van PV-cellen. Binnen deze verkenning wordt met deze restrictie rekening gehouden door voor deze objecten de potentiële opbrengst ten opzichte van een normaal dak te halveren.

Potentie

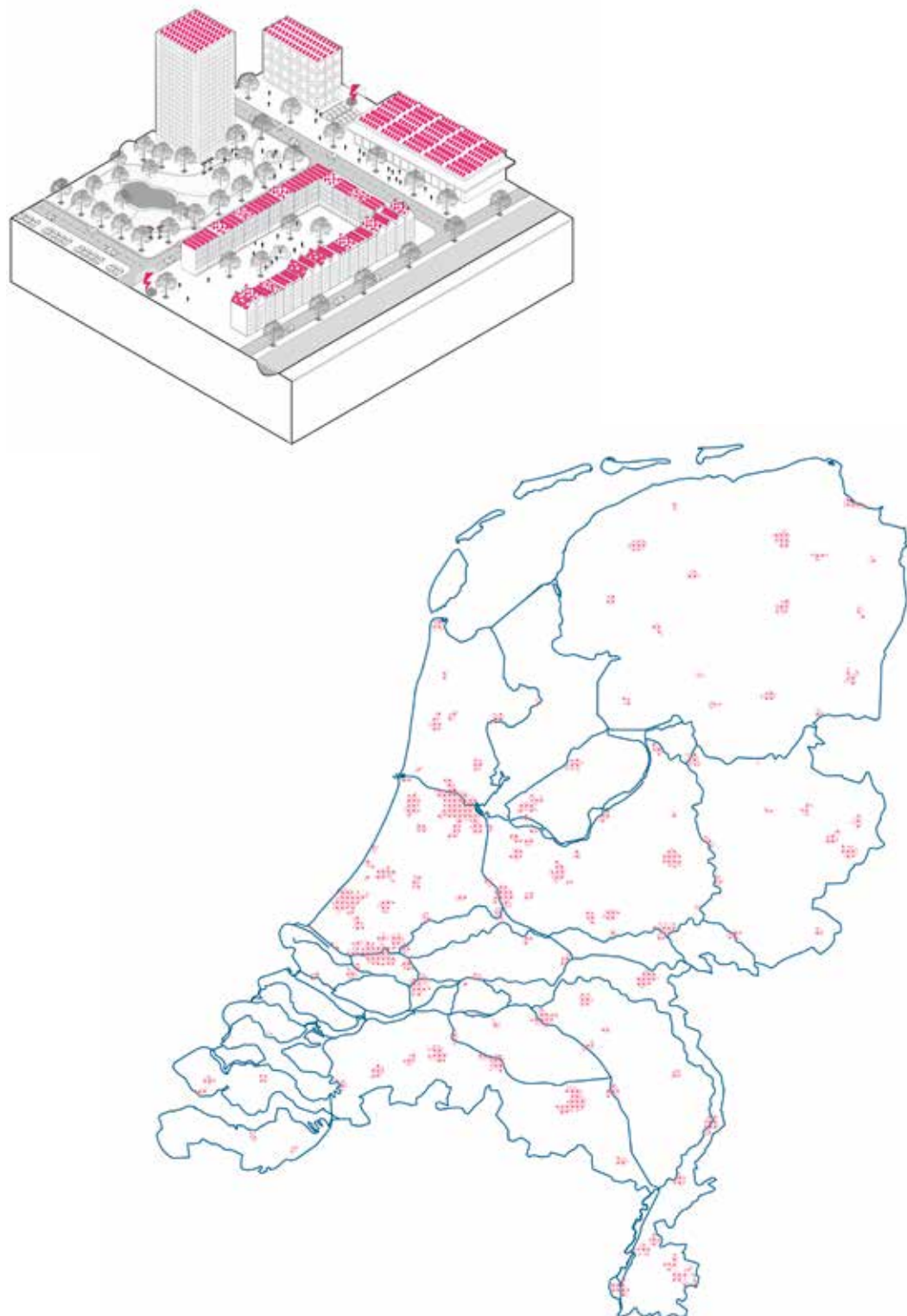
Er is in Nederland 1.250 km² dak, deels plat en deels schuin. Hiervan is een veel kleiner deel geschikt (~325 km²) als gevolg van oriëntatie, schaduw, dakkapellen, schoorstenen, monumenten, beschermde stadsgezichten, etc. Het technisch potentieel voor zonnedaken is dan zo'n 200PJ (65GW). Hierbij is de efficiëntie van zonnepanelen in 2050 gesteld op 30%¹¹, wat bijna een verdubbeling ten opzichte van nu betekent. Het werkelijk te behalen potentieel zal lager zijn omdat niet alle panelen in 1 keer in 2050 geplaatst worden en er dus ook panelen met een lagere efficiëntie bestaan. Daarom rekenen we met een gemiddelde efficiëntie van 26% tussen 2030 en 2050 (bij een levensduur van een zonnecel van ongeveer 20 jaar). Daarnaast is deze potentie afhankelijk van veel private initiatieven. Niet iedereen zal zonnepanelen op zijn/haar dak willen hebben. In onderstaande berekeningen gaan we hierbij uit van 75%¹² van het geschikte dakoppervlak dat ingezet kan worden voor zonne-energie. Het potentieel voor zonnedaken is daarmee in 2050 tussen de 90PJ (30GW) en 150PJ (50GW).

Deze enorme potentie kan leiden tot congestie op het laag-, midden- en hoogspanningsnet. Mogelijke oplossingen hiervoor zijn thuis- of buurtbatterijen of netuitbreiding.

Naast efficiëntieverbetering kan door aanpassingen in ontwerp de toepassingschaal van zonne-energie (doordat bijvoorbeeld een groter deel van daken hiermee geschikt kan worden gemaakt) op daken verder worden vergroot. Ook kan gedacht worden aan integratie van zonne-energie en ramen. De eerste projecten met zonn ramen zijn reeds in uitvoering, bijvoorbeeld de pilot Rabobank Fellenoord (30m² zonnerraam)



Figuur 58. Oppervlak, restricties en potentie voor zonnedaken



Figuur 59. *Indicatieve weergave zonnedaken in stedelijk gebied*



Figuur 60. Impressie zonnedaken (H+N+S)

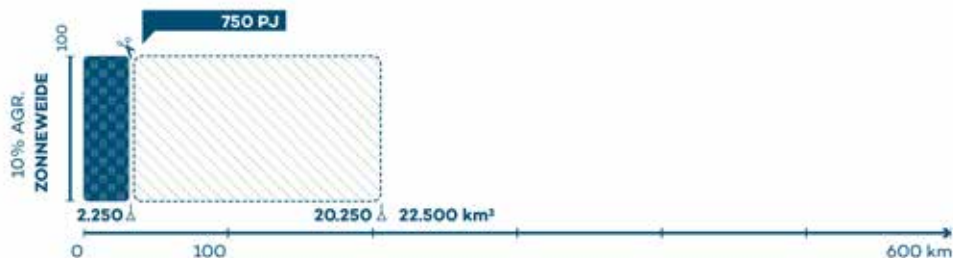


ZONNEWEIDEN (OP LANDBOUWGEBIED)*Techniek en plaatsing*

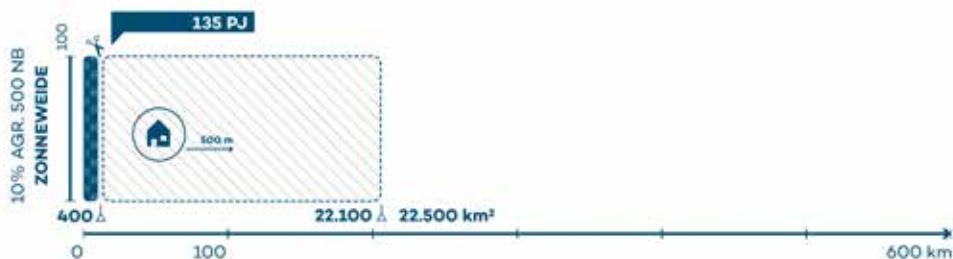
De optimale plaatsingshoek in Nederland is 30–34° met een oriëntatie tussen zuidoost en zuidwest. Bij plaatsing op velden worden er vaak meerdere panelen van ca. 1,6 m² boven- en naast elkaar geplaatst op stellingen waarbij de hoogte tussen de 1,5 tot ca 1,8 m bedraagt en de stellingen ver genoeg uit elkaar moeten staan zodat ze elkaar niet beschaduen. Bij plaatsing in het open veld moet rekening gehouden

worden met omringende objecten die schaduw kunnen werpen, zoals bebouwing of bomenrijen. Daarnaast dient enige afstand bewaard te worden tot infrastructuur of activiteiten die schade kunnen opleveren.

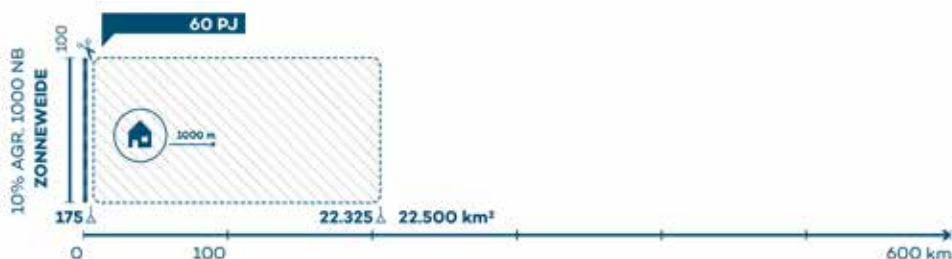
Voor zonneweides wordt in deze verkenning gerekend met op het zuiden gerichte opstellingen van 2 panelen breed onder een hoek van ongeveer 35 graden en met een hart op hart afstand tot de volgende rij van ongeveer 9 meter vanwege o.a. mogelijke schaduw.



Figuur 61. Oppervlakte en potentie voor 10% zonne-energie op agrarisch terrein



Figuur 62. Oppervlakte en potentie voor 10% zonne-energie op agrarisch terrein, 500 m vanaf bebouwing



Figuur 63. Oppervlakte en potentie voor 10% zonne-energie op agrarisch terrein, 1.000 m vanaf bebouwing

Wanneer de panelen op maaiveldniveau geplaatst worden, kunnen relatief lage objecten ze al grotendeels aan het zicht onttrekken. Hierbij kan gedacht worden aan dijkjes, bosschages die vaak langs wegen aangeplant worden, bebouwing of bestaande heggen rond de velden.

Restricties

Als restricties voor zonneweiden zijn in deze verkenning het Natuur Netwerk Nederland, Natura2000 gebieden buiten de NNN en UNESCO-werelderfgoed meegenomen.

Potentie

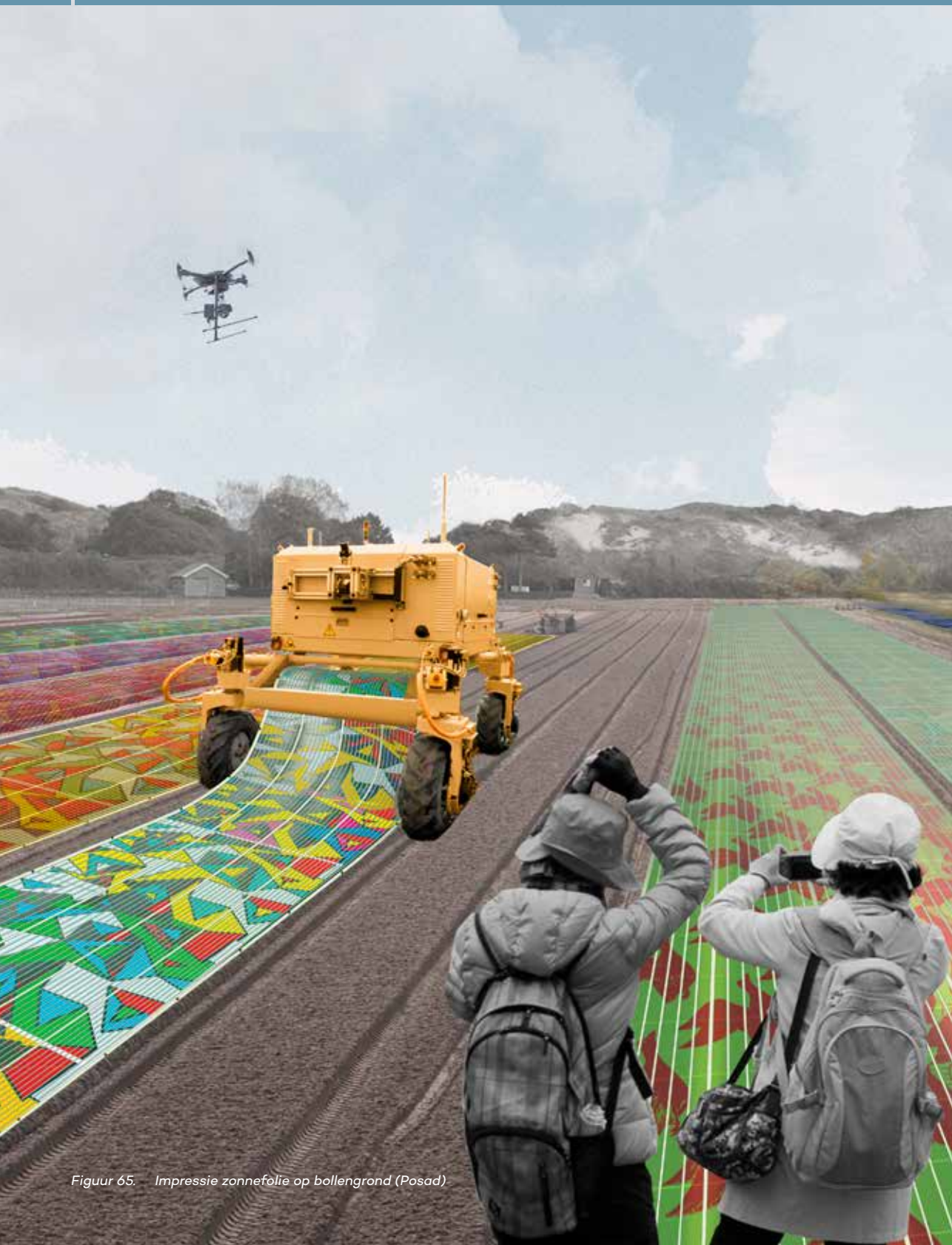
Ook in deze veldopstellingen rekenen we met dezelfde maximum efficiëntie van 26% als bij zonnedaken. De potentie voor zonneweiden is, wanneer 10% van het totale landbouwareaal wordt ingezet, ongeveer 450 PJ (150 GW) tot 750 PJ (250GW). Wanneer de ruimte

die vrijkomt bij een verwachte stijging in voedselproductiviteit per hectare wordt gebruikt voor energieproductie kan 0,5% potentiële ruimte per jaar vrijkomen¹³. De landschappelijke versnippering waartoe dit kan leiden heeft een groot effect op onze beleving en de leefomgevingskwaliteit.

Wanneer bijvoorbeeld alleen wordt gekeken naar gebieden op minimaal 500 meter van woningen dan daalt de maximale potentie naar 135PJ (45GW) over en bij 1.000 meter afstand neemt deze potentie verder af in de richting van 60PJ (20GW).



Figuur 64. Indicatieve weergave zoekgebieden zonne-energie in energielandschappen (Bron: NPER)



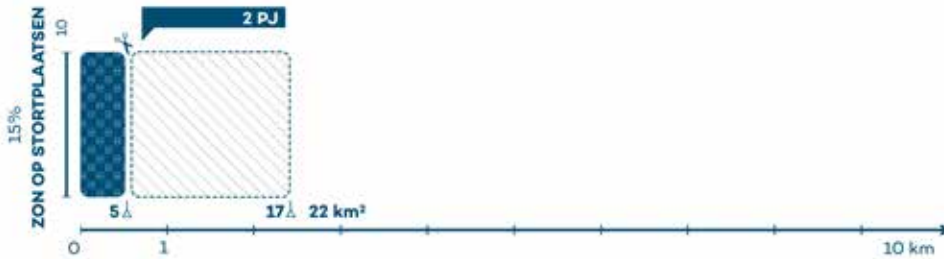
Figuur 65. Impressie zonnefolie op bollengrond (Posad)



ZON OP 15% VAN DE STORTPLAATSEN

In Nederland bevindt zich nog 22 km² aan (voormalige) stortplaatsen. Een deel hiervan kan ook met zonnepanelen worden ingevuld.

Het grootste deel van deze voormalige stortplaatsen is echter al herontwikkeld. Het potentieel is daarom ingeschat op 15% van het totale oppervlak.



Figuur 66. Oppervlakte en potentie voor zonne-energie op 15% stortplaatsen

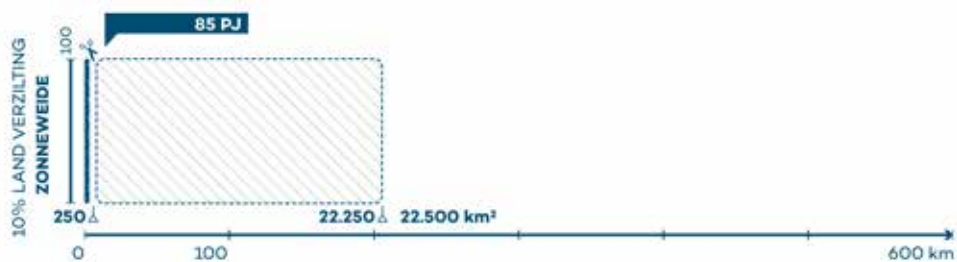


Figuur 67. Indicatieve weergave zoekgebieden zonne-energie op stortplaatsen

ZON OP 10% VAN DE AGRARISCHE GRONDEN WAAR BODEMVERZILTING KAN VOORKOMEN

Locaties waar landbouw onder druk kan komen te staan als gevolg van bodemverzilting kunnen worden ingezet voor duurzame

energieopwekking, bijvoorbeeld door zonneweiden. Wanneer ook hier 10% van deze gronden gebruikt wordt als zonneweide is de potentie ongeveer 50 - 85 PJ (16 - 30 GW).



Figuur 68. Oppervlakte en potentie voor zonne-energie op 10% agrarisch terrein in gebieden bodemverzilting

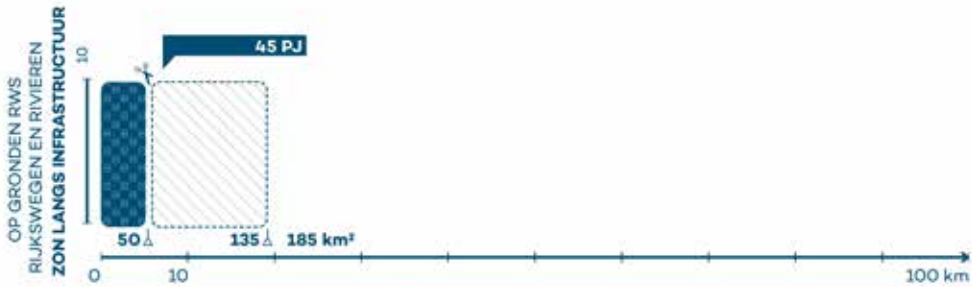


Figuur 69. Indicatieve weergave agrarische gronden gevoelig voor verzilting

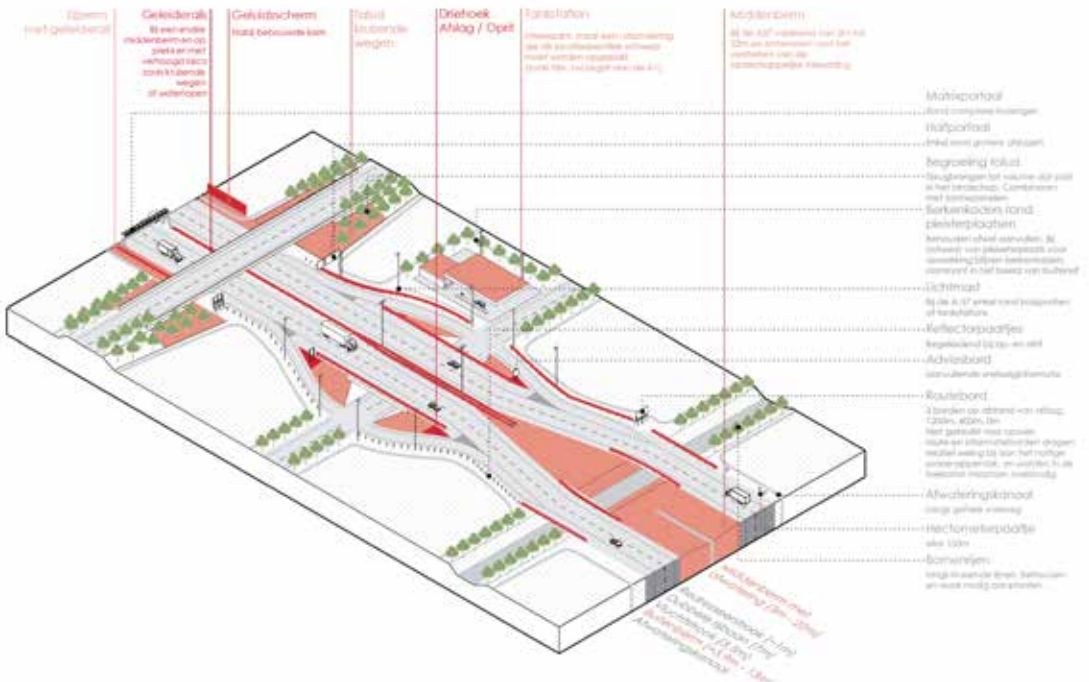
ZON LANGS INFRASTRUCTUUR (OVERHEID)

Er zijn behoorlijke potenties voor zonne-energie rond infrastructuur. Momenteel is het mogelijk zonne-energie te integreren in geluidswallen en bermen. Wanneer alle gronden van RWS

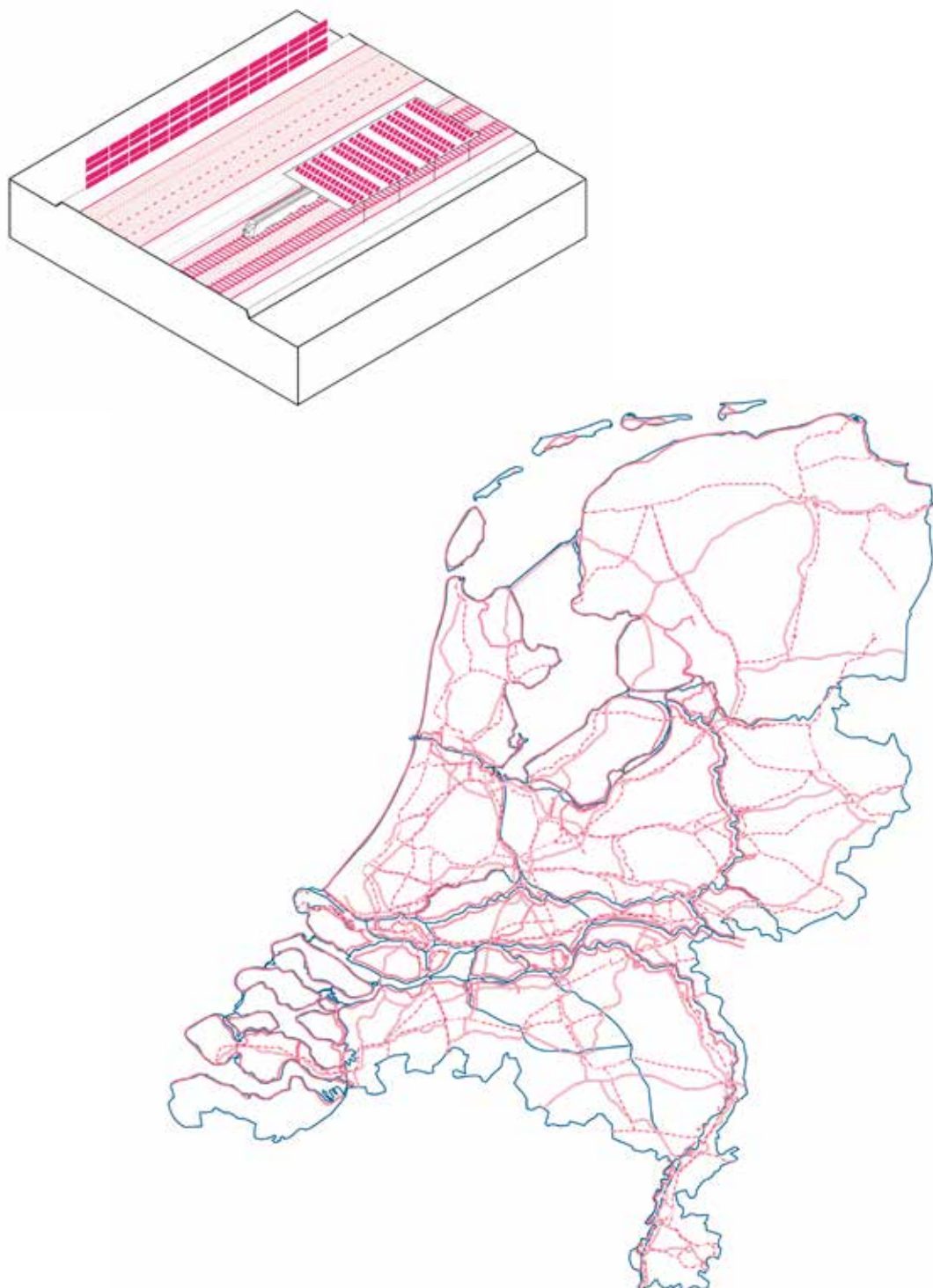
naast snelwegen en dijken worden benut als zonneweide is de maximale potentie voor elektriciteitsopwekking zo'n 25 - 45 PJ (9 - 15 GW).



Figuur 70. Oppervlakte en potentie voor zonne-energie langs infrastructuur



Figuur 71. De grammatica van de snelweg / A37 (Posad)



Figuur 72. indicatieve weergave zoekgebieden zonne-energie langs infrastructuur

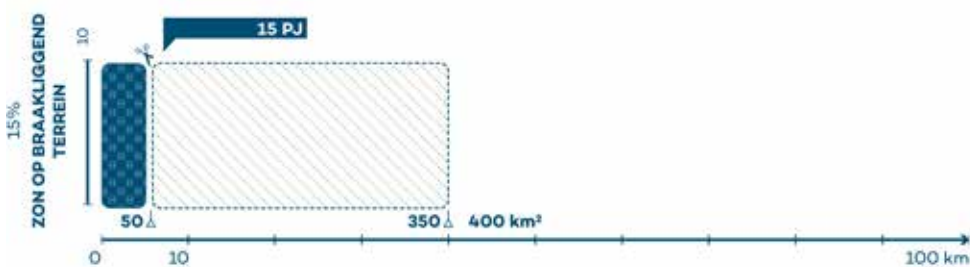


Figuur 73. Impressie zonne-energie langs infrastructuur (Posad)

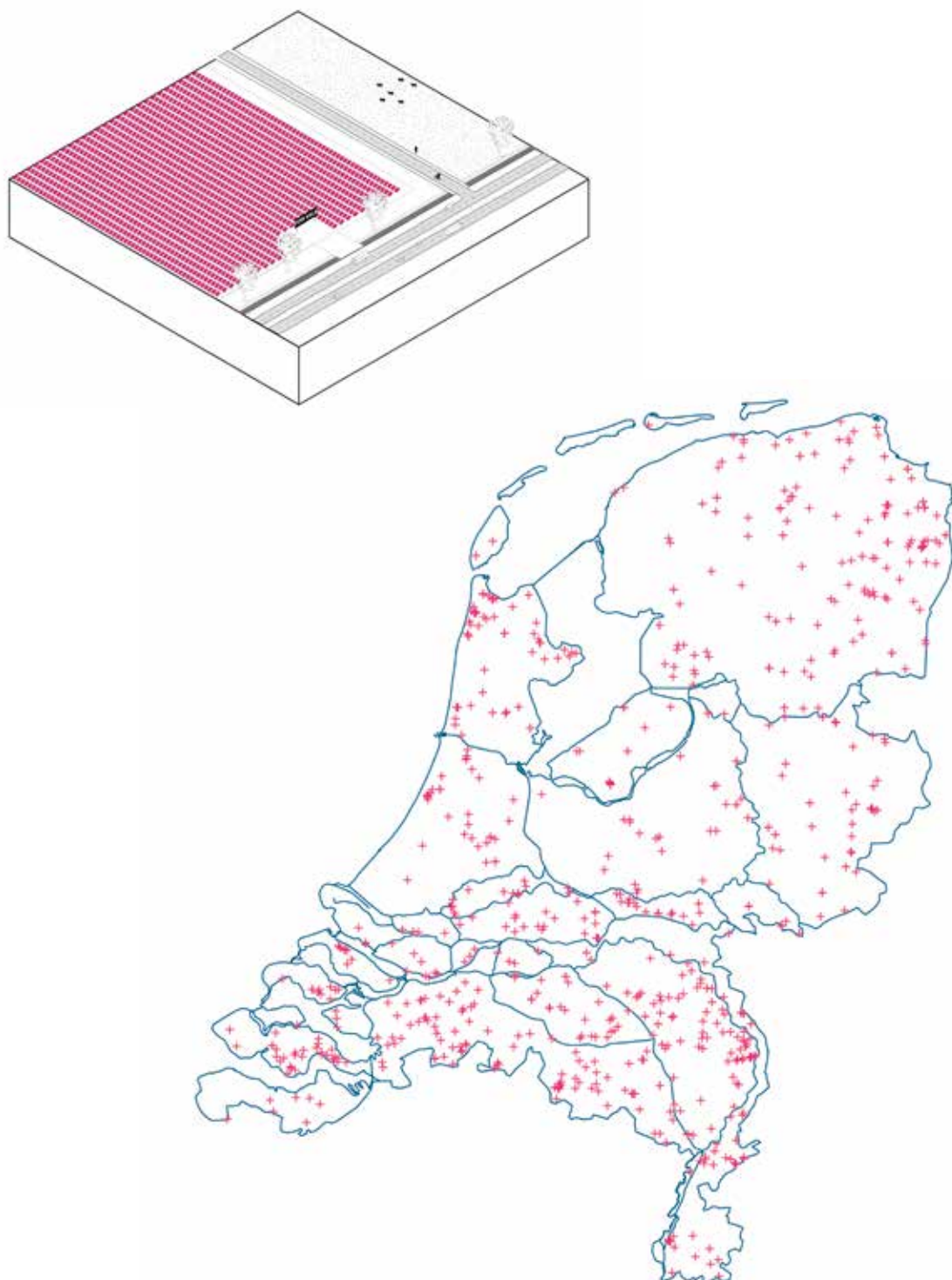


ZON OP 15% VAN HET BRAAKLIGGEND TERREIN

Er ligt in Nederland zo'n 40.000 hectare ongebruikt terrein. Dit zijn bouwterreinen, maar ook grote oppervlaktes in industriegebieden die als reserves worden aangehouden. Tijdelijk kan zonne-energie worden opgewekt op deze plekken. Het beschikbaar potentieel is ingeschat op 15% hiervan, mede vanwege de vele beperkingen en andere opties zoals natuur of biomassa die hier kunnen gelden.



Figuur 74. Oppervlakte en potentie voor zonne-energie op braakliggende terrein



Figuur 75.

Indicatieve weergave zoekgebieden zonne-energie op braakliggend terrein

ZON IN DUINENLANDSCHAP

Met de opwekking van zonne-energie in de duinen ontstaat een nieuw en spectaculair energielandschap. Het onderzoeken van zonne-energie in duinen past in de trend van het meer multifunctioneel inzetten van robuuste natuurgebieden. Er kan gekeken worden of de constructies die zonnepanelen ondersteunen, bij kunnen dragen aan het proces van duingroei. Twee grote onderzoeksinstituten in de Nederlandse duinen, het ECN in Petten en ESA-ESTEC in Noordwijk, kunnen hun omgeving gebruiken voor toegepast onderzoek.



Figuur 76. Impressie zon in duinlandschap (FABRICations)



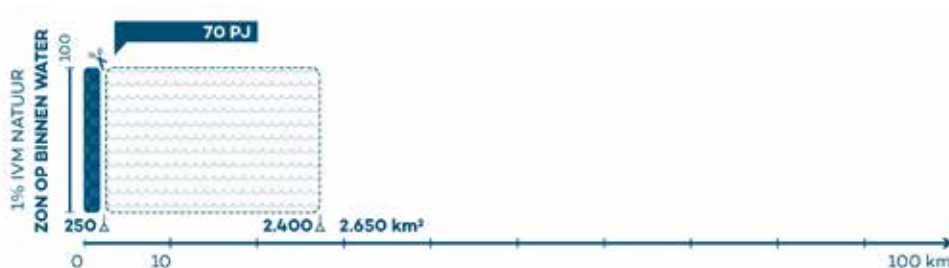
Figuur 77.

Indicatieve weergave zoekgebieden zonne-energie in duinenlandschap

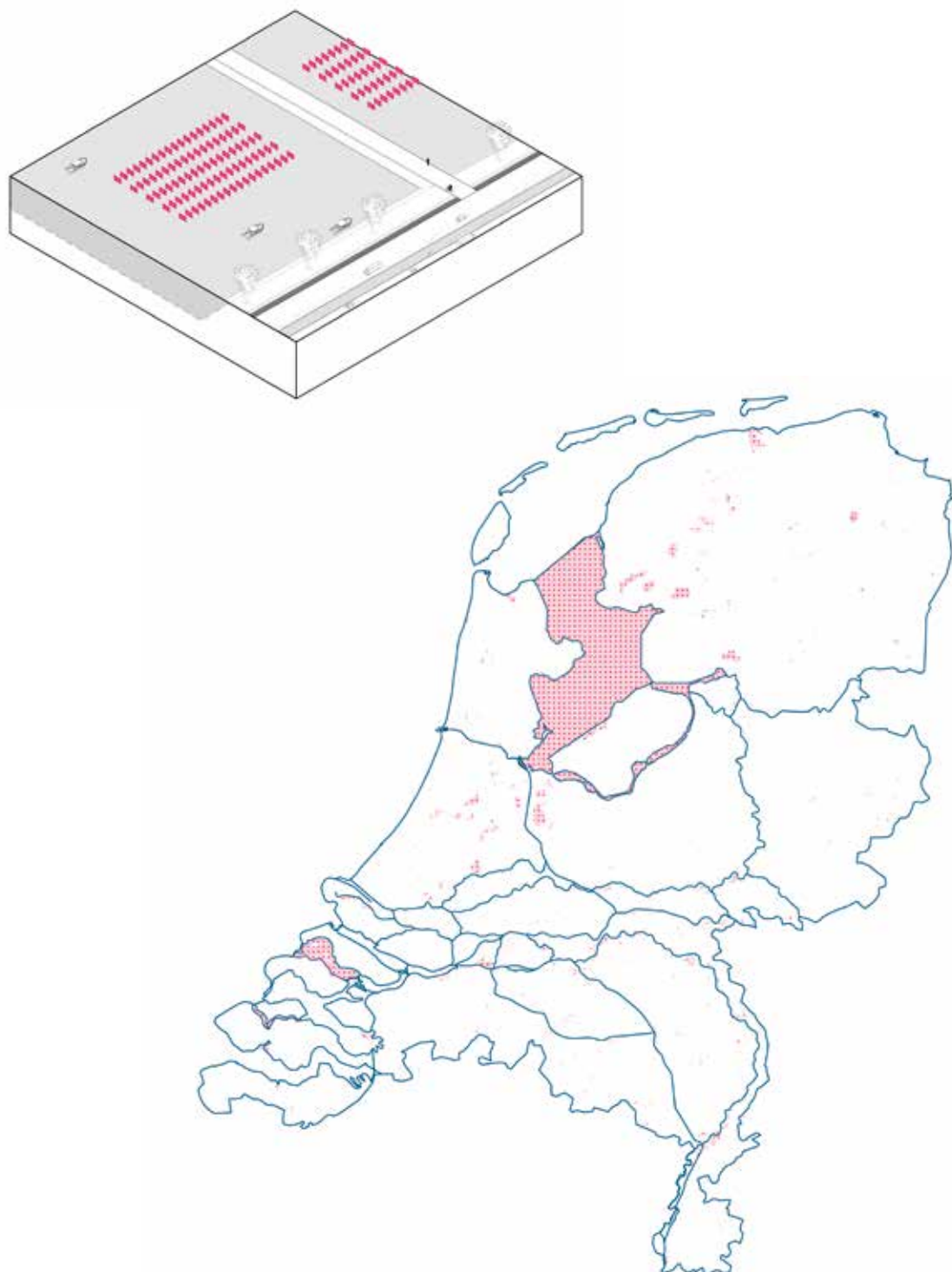
ZONNEWEIDEN (BINNENWATER)

Ook op binnenwater – grote meren, zandputten en grindafgravingen – wordt momenteel geëxperimenteerd met zonne-energie. In het IJsselmeer wordt getest met verticale schermen. Het vlotten systeem (de buizen) ligt onder water, boven water zijn de panelen op een constructie boven het water zichtbaar; een dergelijk systeem is behoorlijk golfbestendig en kan dus op binnenwater. Panelen vangen aan twee kanten licht in en staan op oostwest gericht (i.p.v. zuiden bij normale panelen). Hiermee wordt de zonne-piek niet om 12 uur verkregen, maar verspreid over de dag.

De schermen zullen maximaal 2 meter boven het wateroppervlak staan. Een voordeel van verticale schermen is dat ze het wateroppervlak nauwelijks bedekken, waardoor de ecologische effecten klein zijn. Deze ruimte kan dus ook niet bevaren worden (tenzij deze onderbroken zijn), maar aan de andere kant kunnen zo ook visrust gebieden gecreëerd worden. De potentie voor zonneweiden op binnenwater is, wanneer 10% van het beschikbaar binnenwater wordt ingezet, ongeveer 70 PJ (22GW). Bij 10% is het bij gebruik van verticale drijvende panelen mogelijk om schaduwvorming onder het wateroppervlak tot een minimum te beperken (< 1%).



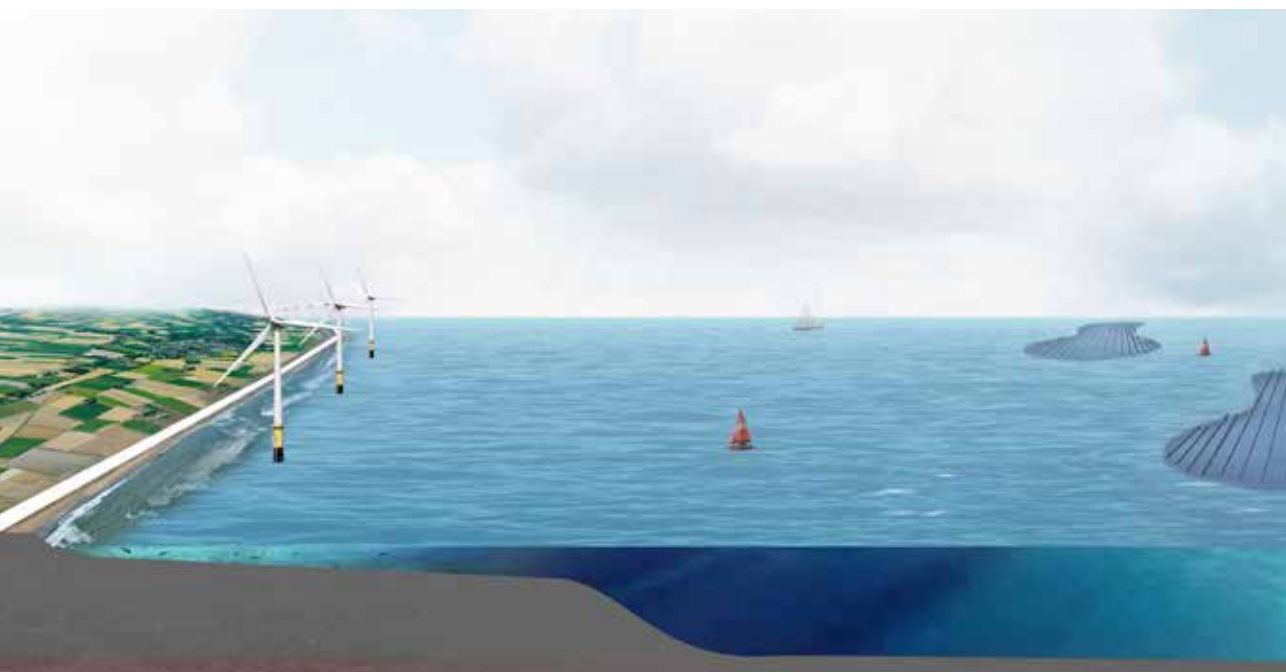
Figuur 78. Oppervlakte en potentie voor zonne-energie op binnenwater



Figuur 79. Indicatieve weergave zoekgebieden zonne-energie op binnenwater



Figuur 80. *Impressie zon op binnenwater (Posad)*

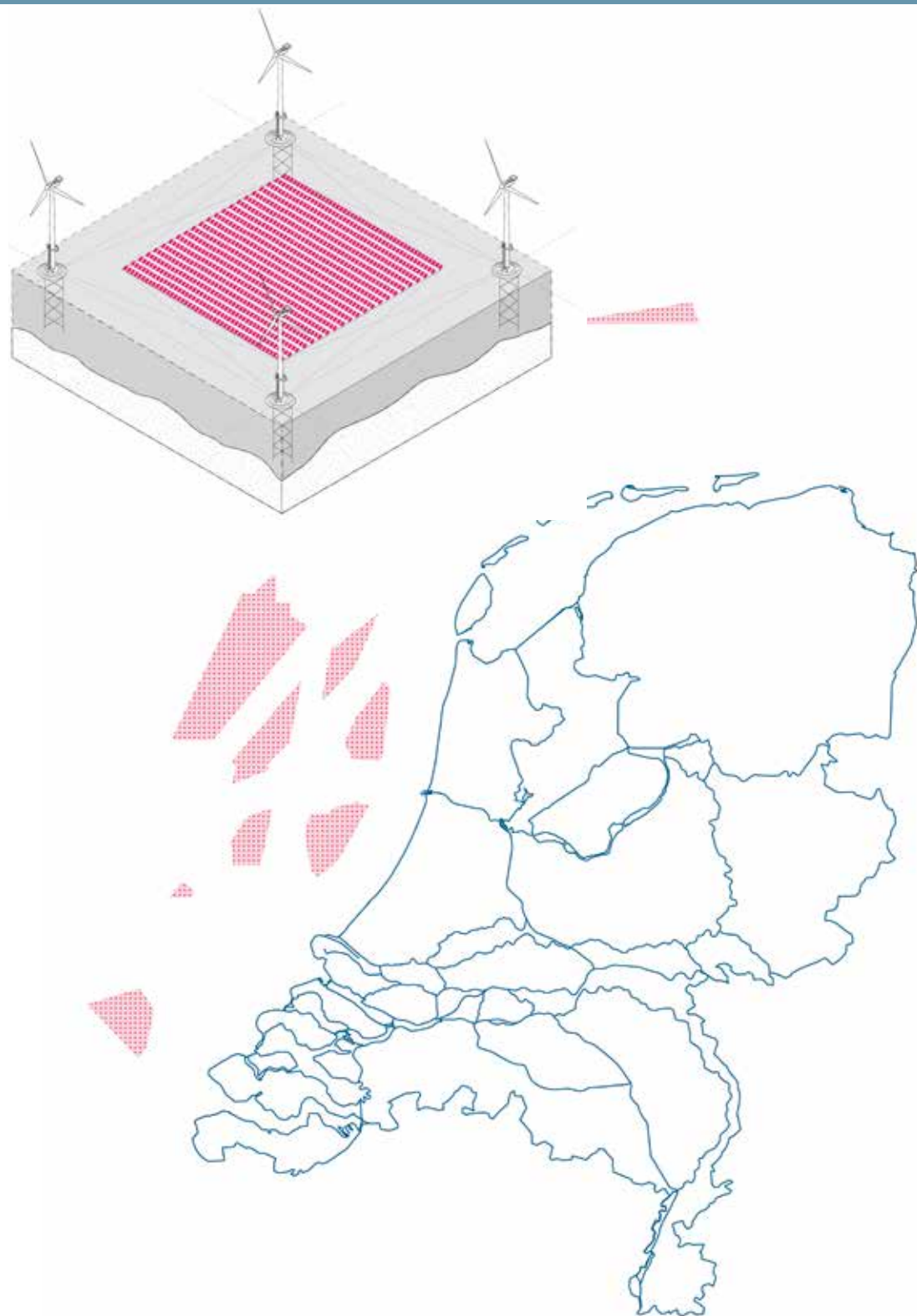




Figuur 81. Impressie zon op binnenwater (Posad)

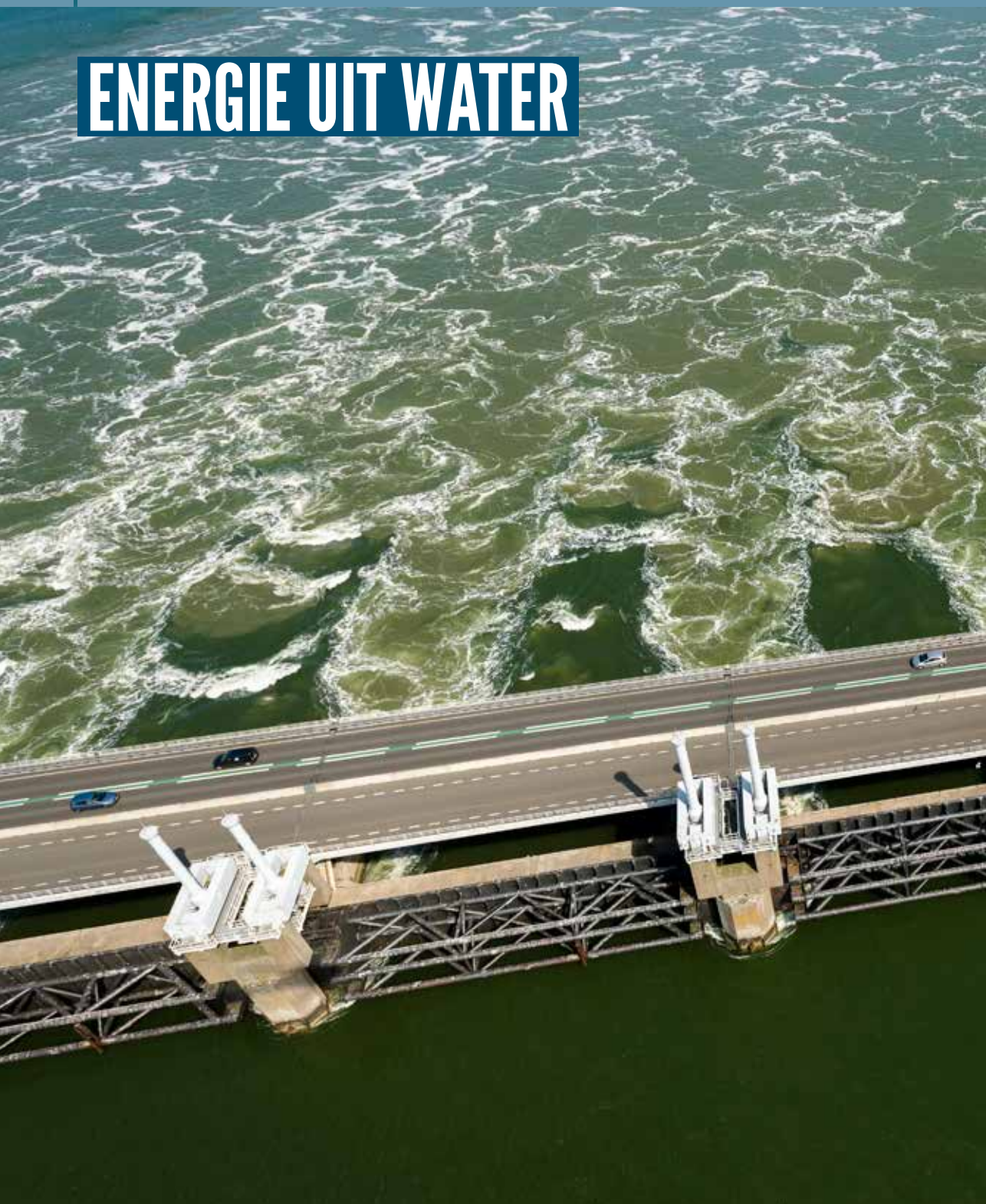
ZON OP ZEE

De potentie voor zonne-energie op de Noordzee is sterk afhankelijk van de mate waarin zout en golfslag effect kan hebben op de opbrengst en levensduur van de systemen, de op zee beschikbare ruimte en mogelijkheden voor slimme koppeling met windparken op zee.



Figuur 82. *Indicatieve weergave zoekgebied zonne-energie op zee gekoppeld aan huidige zoekgebieden windenergie op zee*

ENERGIE UIT WATER



Figuur 83. Luchtfoto Oosterscheldekering, Thomas Fasting



STROMINGS ENERGIE

Grootste waterkracht centrale
Drieklijvendam, China, 18.200 MW
Grootste waterkrachtcentrale NL
Centrale in de Maas bij Uithoorn, 14 MW
Mini waterkrachtcentrale NL
Centrale Overijsselse Vecht
bij Grambergen, 100 kW



Kleine waterkracht centrale 1-10 MW
Mini waterkrachtcentrale 200-1000 kW
Micro waterkrachtcentrale <math><100\text{ kW}</math>

GOLFLAGENERGIE

Golfenergie is gewonnen uit de snel wisselende waterhoogte door de golven op zee.



GETIJDENERGIE

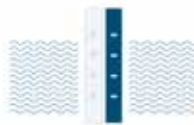
Getijdenenergie beruht op het getijdenverschil. In de onderstaande techniek wordt de beweging van de drijvers gebruikt om een generator te laten draaien. Op dit moment zijn er wereldwijd prototypes operatief.



30m diepte prototype 250 kW
1km diepte prototype 1 MW

BLAUWE ENERGIE

Osmose centrale
Een kubieke meter zoet water met 3,5 massa procent zout, heeft een potentiële energie van 2,5 megajoule (0,7 kWh).*



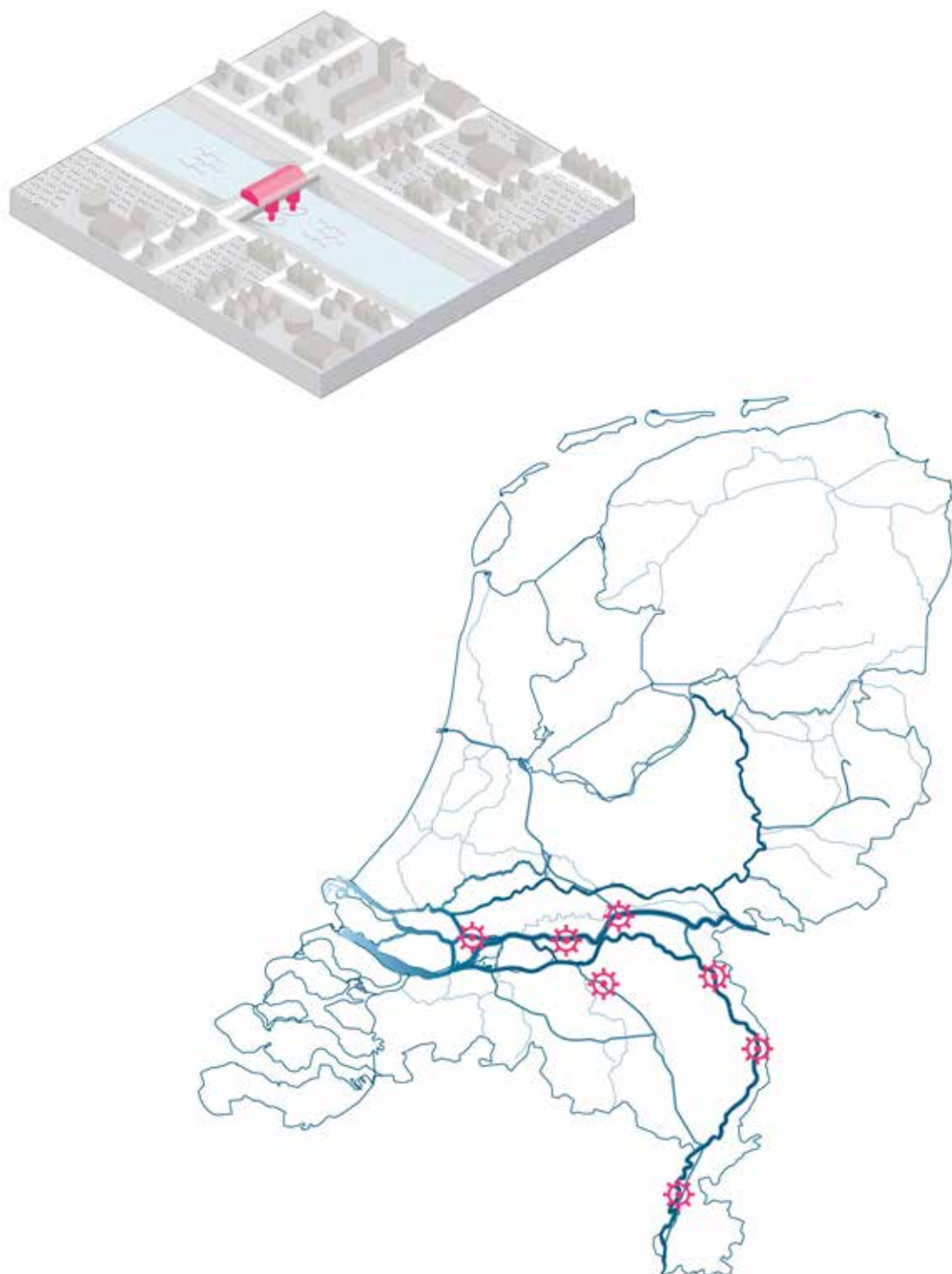
2,5 MJ / m³ water

HUIDIGE SITUATIE

Er zijn verschillende technieken om energie uit beweging van water te winnen. De totale potentie hiervan is echter relatief laag. Hieronder is per optie deze potentie in beeld gebracht.

STROMINGSENERGIE

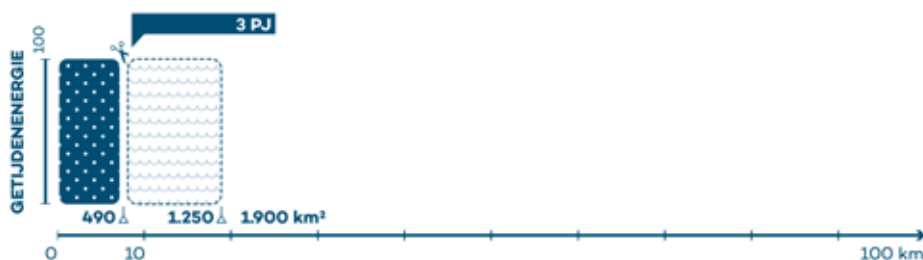
Rivieren hebben een natuurlijk verval en stroomsnelheden waarmee energie kan worden opgewekt. De productie van elektriciteit uit afstromend water is afhankelijk van het verval en de hoeveelheid water dat door de rivier wordt afgevoerd. Om de potentiële energie te winnen zijn kunstwerken nodig waar turbines in geplaatst kunnen worden. In Nederland staan nu enkele turbines (~38MW¹⁴) voornamelijk bij rivierstuwen. Het potentieel is mede als gevolg van concurrerend gebruik zoals scheepvaart, infrastructuur en andere belangen beperkt en maximaal 1 PJ¹⁵.



Figuur 84. Indicatieve weergave potentiële locaties stromingenergie

ENERGIE UIT GETIJDENVERSCHIL

Om het hydraulisch verval van getijden te benutten voor energieopwekking is een bassin nodig. Het oppervlak van de bassins langs de kust waar via getijdenverschil energie kan worden opgewekt bedraagt circa 490 km² (Haringvliet, Grevelingenmeer, Oosterschelde). De jaargemiddelde energieproductie is afhankelijk van de doorstroomopeningen, verliezen door wrijving en afname van het getijverschil in het bekken, het rendement van de turbines en natuurlijk de omvang van het bekken. Aangenomen wordt een gemiddeld getijverschil van 2 meter en een effectief hoogteverschil aan de 'binnenzijde' van de kering van 20%, dus 0,4 meter. De omzetting van een hydraulisch verval kan een hoog rendement leveren (tot circa 80%). Het potentieel wordt geschat op 3 PJ.¹⁶



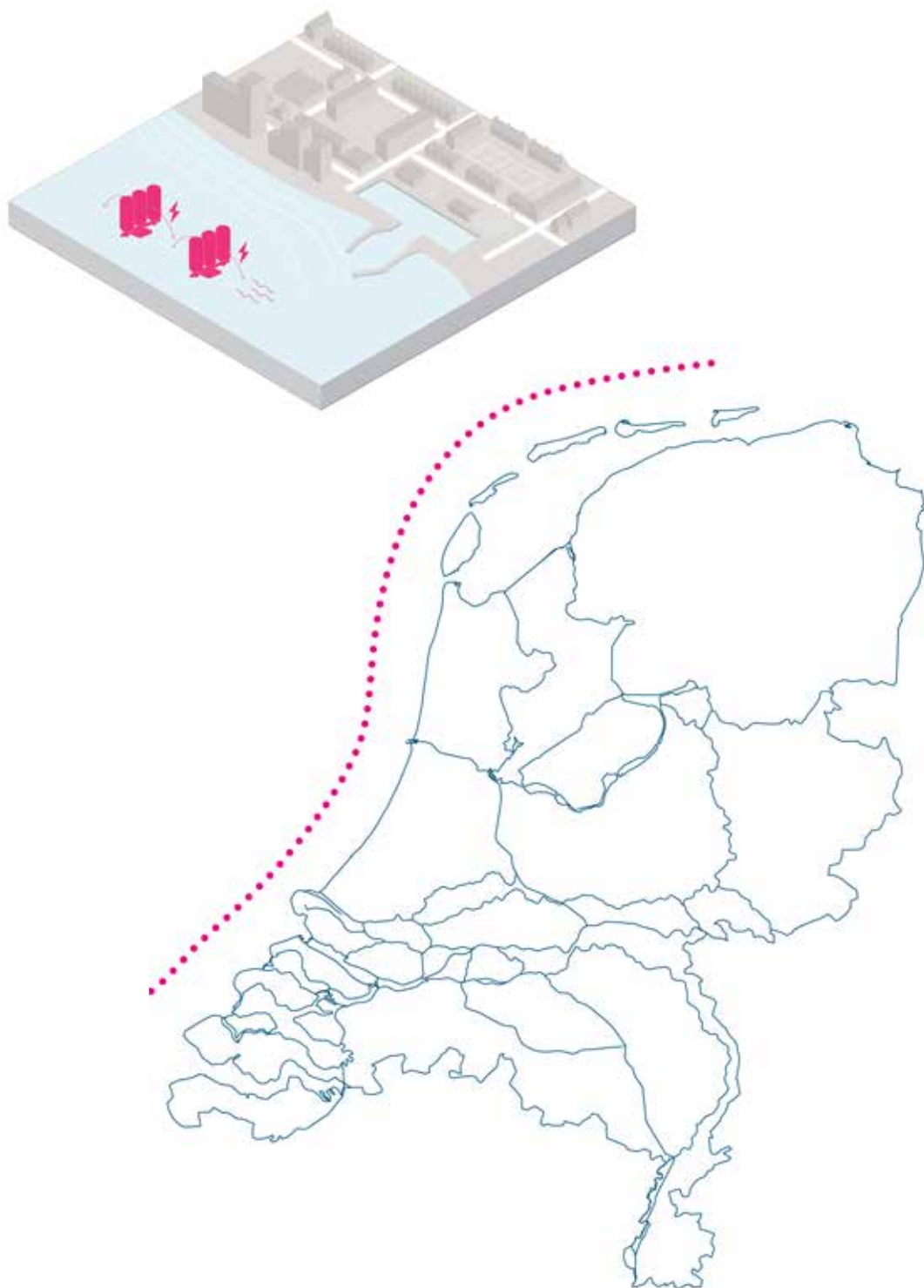
Figuur 85. Oppervlakte en potentie voor energie uit getijdenverschil



Figuur 86. *Indicatieve weergave potentiële locaties voor energie uit getijdenverschil*

ENERGIE UIT GOLFSLAG

Golfenergie is op verschillende manieren te winnen. De meest doorontwikkelde golfenergie-installaties zijn gebaseerd op één van de volgende vier principes; onttrekking van (een deel van) de golfenergie kan worden gerealiseerd via drijvers, luchtdrukkamers, aftopping van de golven of golfrotors. Het potentieel wordt geschat op 5 PJ¹⁷ mede als gevolg van de andere functies in de Noordzee. Afstemming met o.a. de scheepvaart is daarom ook van groot belang.



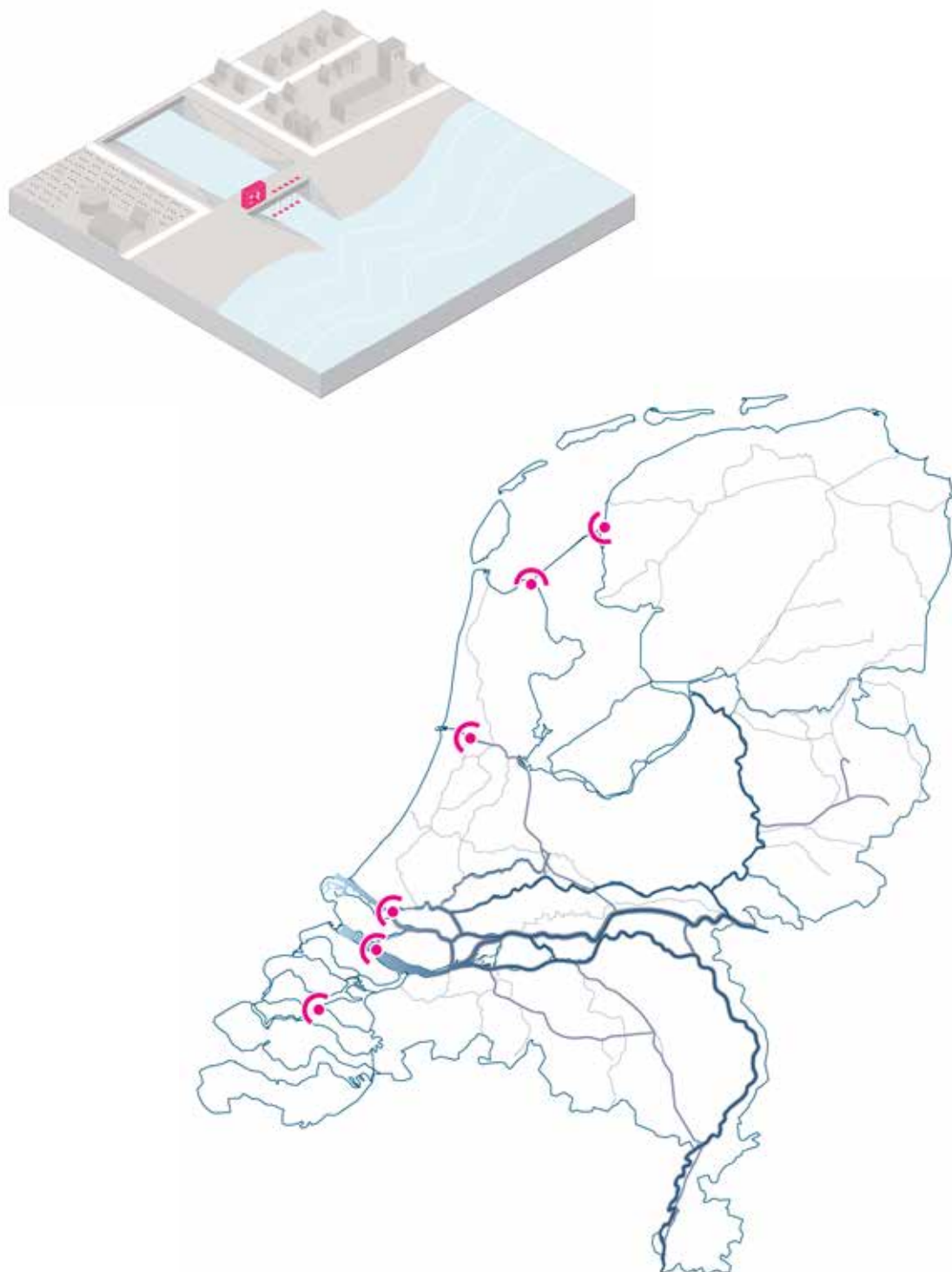
Figuur 87. *Indicatieve weergave potentiële locaties energie uit golfslag*

BLUE ENERGY (OSMOSE)*Huidige situatie*

Het winnen van energie uit zoet-zout gradiënten werkt volgens het principe van osmose. Het zoutverschil tussen zoet en zoutwater zorgt voor een potentiaalverschil. De potentie hiervan wordt begrensd door de hoeveelheid zoet water die door de grote rivieren stroomt. De benodigde hoeveelheid zout water in de Noordzee lijkt voldoende aanwezig. De beschikbaarheid van zoet water is daarnaast sterk seizoensafhankelijk. Een blue energiecentrale zal liefst direct aan het water dichtbij een zoet-zout gradiënt worden gerealiseerd. Hiervoor is ruimte nodig bijvoorbeeld bij harde waterkeringen zoals de Afsluitdijk. Een 10MW installatie heeft ongeveer 0,5 ha ruimtebeslag. Momenteel is in Nederland 1 installatie van 50kW te vinden bij de Afsluitdijk.

POTENTIE

De potentie voor energie uit zoet-zout gradiënten is ongeveer 65PJ. Niet alle locaties waar zoet en zout water samenkomen kunnen geschikt worden gemaakt voor blue-energy. Daarnaast kan ook de scheepvaart indirect beslag leggen op een gedeelte van de afvoer. Locaties waar voldoende zoetwateraanvoer is gelegen nabij zout water zijn de Afsluitdijk, het Noordzeekanaal (IJmuiden), de nieuwe waterweg bij Hoek van Holland en het Haringvliet bij de sluisen. Wanneer op deze locaties een derde van het afstromende water beschikbaar is voor energieopwekking is de potentie ongeveer 1GW (22PJ) ¹⁸.



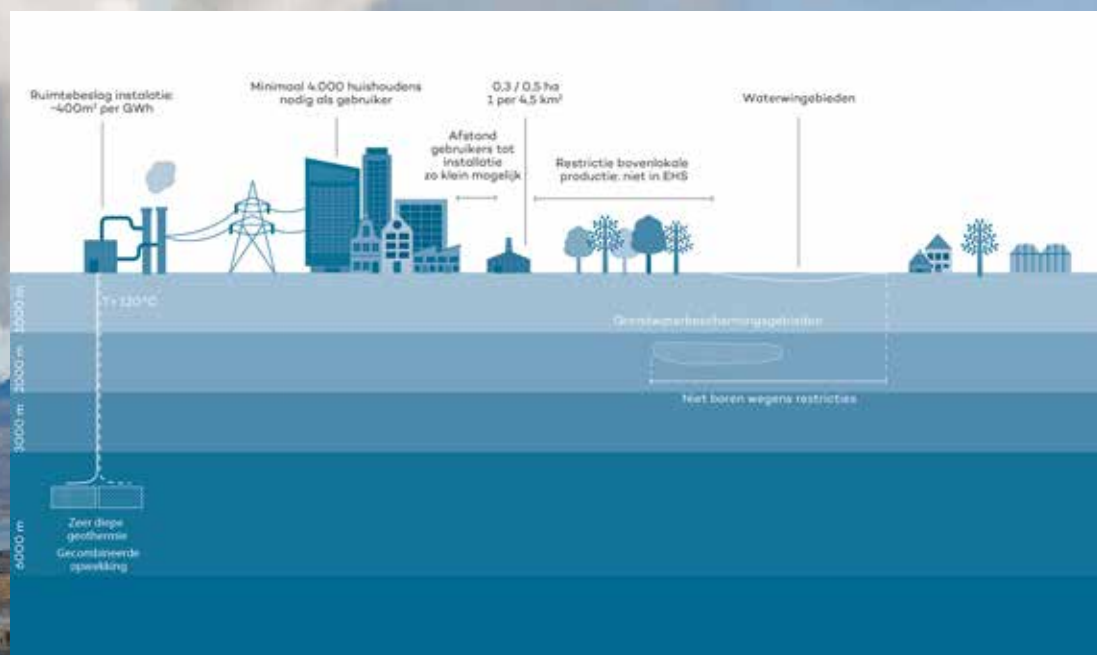
Figuur 88. Indicatieve weergave potentie blue-energy (osmose)

GEOthermie VOOR ELEKTRICITEITSOPWEKKING



Figuur 89. Geothermische centrale IJsland

GEOTHERMIE VOOR ELEKTRICITEITOPWEKKING



POTENTIE

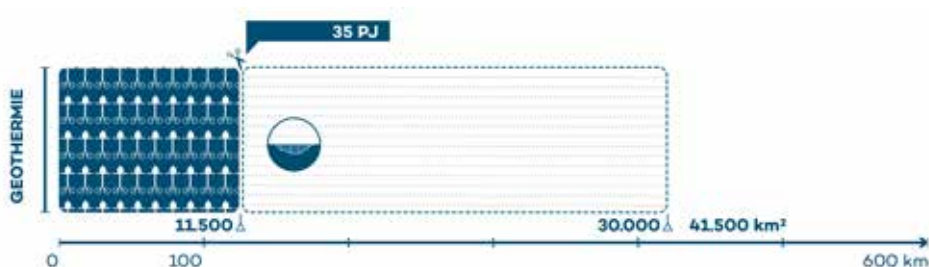
Het potentieel van geothermie voor elektriciteitsopwekking waarbij grotere dieptes noodzakelijk zijn (4 tot 7 km diepte) is ongeveer 35PJ¹⁹ (1,35 GW²⁰). Over deze dieptes is echter nog niet veel bekend, omdat er veel minder boringen tot deze diepte zijn uitgevoerd.

Elektriciteitsopwekking uit geothermische warmte is mogelijk via de Organic Rankine Cycle (ORC). Bij de Organic Rankine Cycle wordt een turbine aangedreven met de verdamping van een organische stof. De ORC-techniek is inzetbaar bij warmte vanaf circa 90°C tot 300°C en vermogens vanaf 100 kW_e tot 10 MW_e.²¹

RUIMTELIJK RISICO

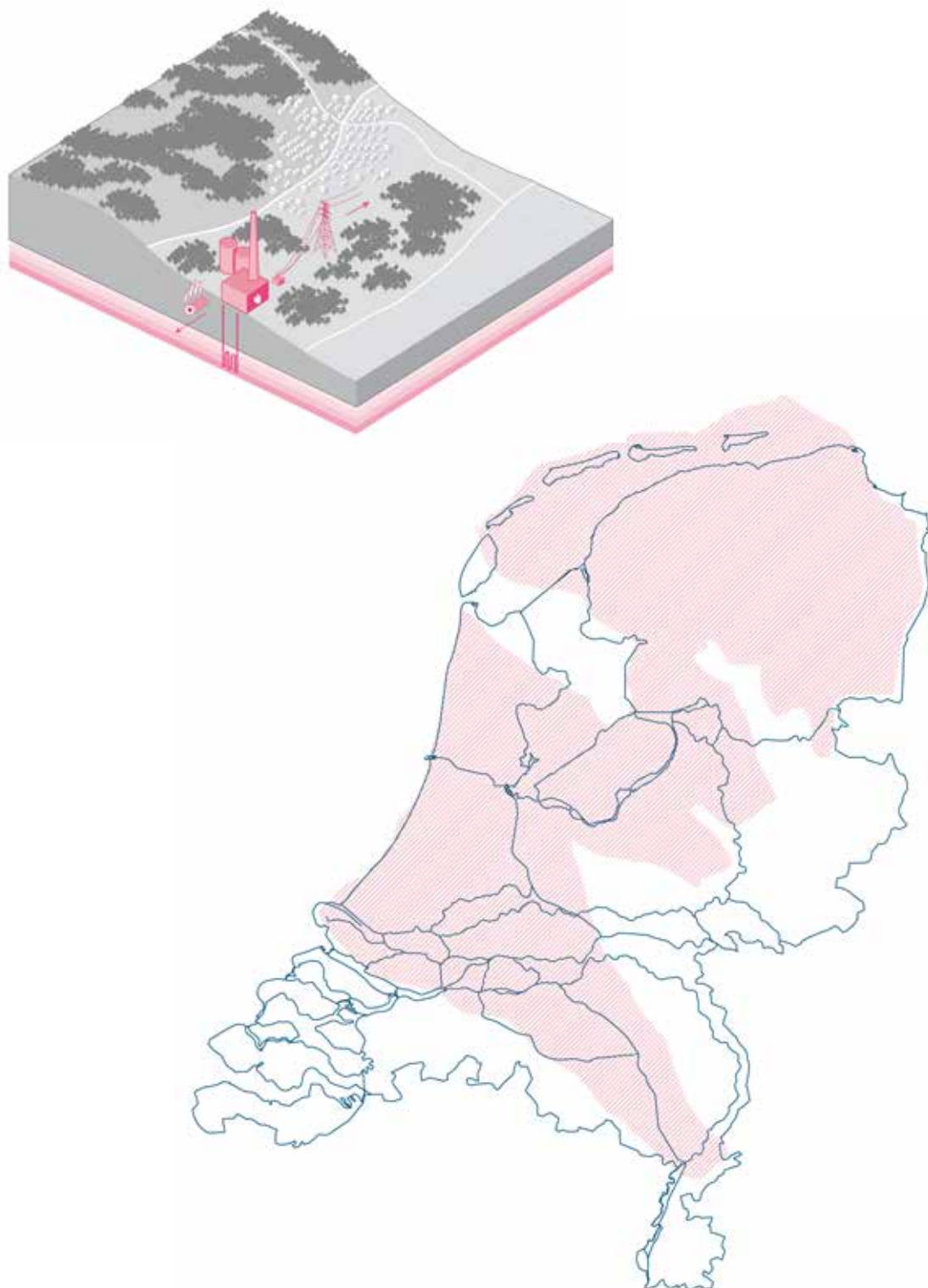
Wanneer bij geothermie diepe gesteentes moeten worden gestimuleerd is er mogelijk een risico voor kleine aardbevingen. Dit in combinatie met het feit dat van de diepere lagen tot op heden nog niet een volledig beeld kan worden geschetst betekent dat hiervoor aanvullend onderzoek noodzakelijk is.

Het is echter de vraag of geothermie in beginsel niet beter te benutten is voor warmte in plaats van voor elektriciteit, vanwege de moeilijkheden rond het duurzaam opwekken van warmte en de conversieverliezen bij de omzetting naar elektriciteit.



Figuur 90. Oppervlak, restricties en potentie voor diepe geothermie

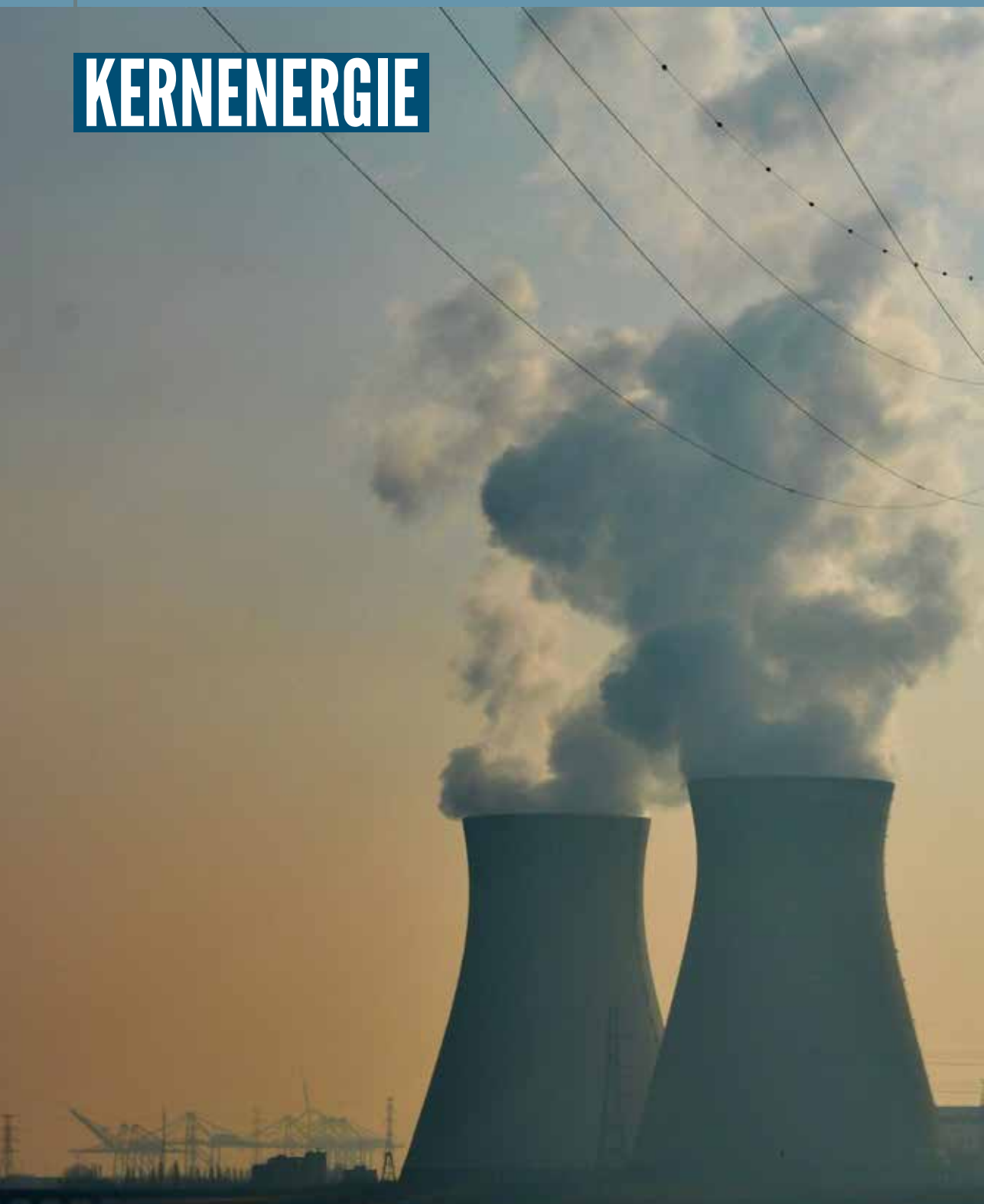
GEOTHERMIE VOOR ELEKTRICITEITOPWEKKING



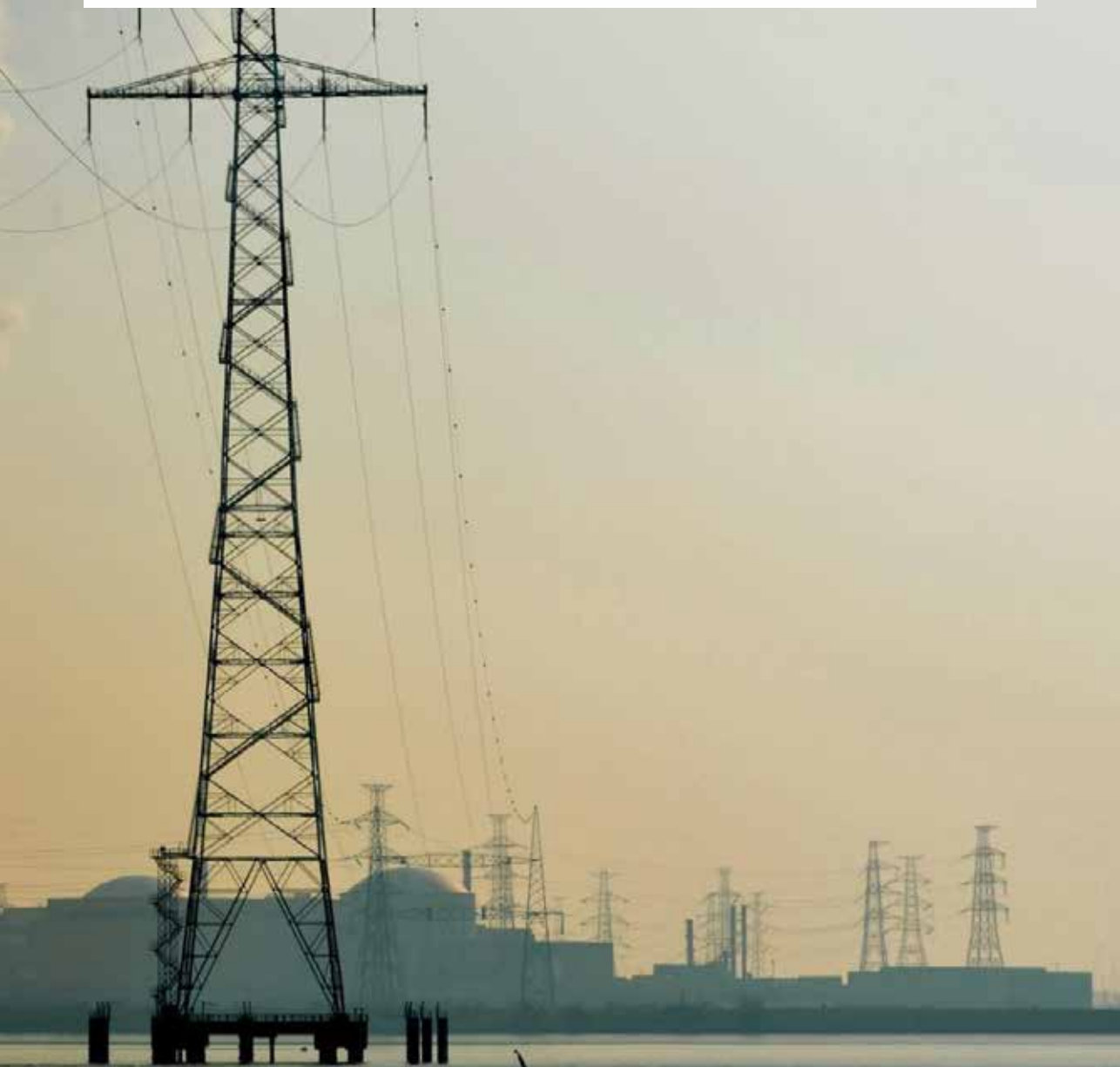
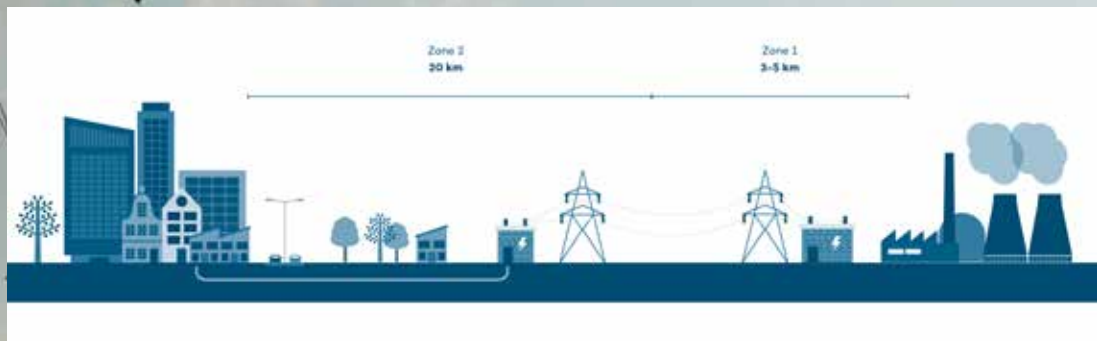
Figuur 91.

Indicatieve weergave technische potentie geothermie (Bron: ThermoGIS, 2km diep)

KERNENERGIE



Figuur 92. Kerncentrale Doel, MichelvGiersbergen / CC-BY-SA-4.0



Kernenergie kan een optie zijn voor CO₂-arme elektriciteitsproductie. De potentie voor kernenergie is in de PBL/ECN-studie veronderstelt op 10 GW (maximaal ongeveer 300 PJ), verdeeld over in totaal 3 locaties, wat ongeveer 20 keer het bestaande vermogen van de kerncentrale in Borssele is. Deze 3 locaties (Borssele, Maasvlakte en Eemshaven) zijn in het waarborgingsbeleid vastgesteld.







Dit sinds 1986 gevoerde waarborgingsbeleid houdt in dat er op de locaties waarop dit beleid betrekking heeft geen ontwikkelingen mogen plaatsvinden die de bouw van kerncentrales onmogelijk maken of ernstig belemmeren. Het waarborgingsbeleid is dus uitsluitend gericht op het ruimtelijk reserveren van een beperkt aantal locaties voor de eventuele vestiging van een kerncentrale, indien daartoe ooit besloten zou worden.

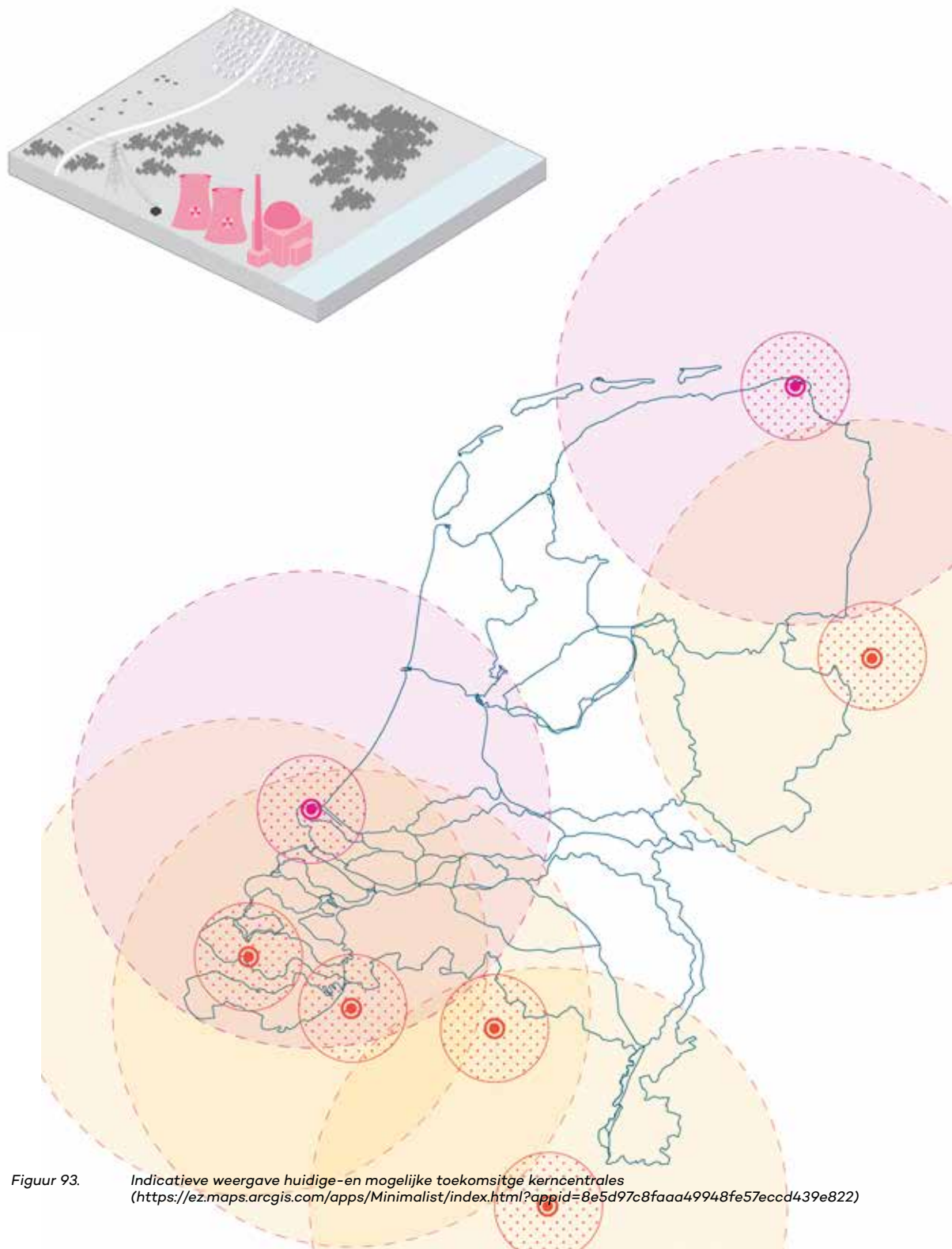
Kernenergie heeft als voordeel dat het, anders dan windenergie of zonne-energie wel regelbaar is.

Eventuele toekomstige inzet van thoriumcentrales vraagt nog de nodige R&D ter voorbereiding van een eventuele pilot in een latere fase en voor nadere bepaling van risico's.

Een positief investeringsklimaat voor kernenergie hangt af van het maatschappelijk draagvlak, de kosteneffectiviteit, de veiligheid en (de verwerking van) het nucleair afval.

LEGENDA

-  mogelijke locatie kerncentrale volgens waarborgingsbeleid
-  bestaande kerncentrale
-  0-20 km zone bestaande kerncentrale
-  0-20 km zone mogelijke locatie kerncentrale volgens waarborgingsbeleid
-  20-100 km zone bestaande kerncentrale
-  20-100 km zone mogelijke locatie kerncentrale volgens waarborgingsbeleid



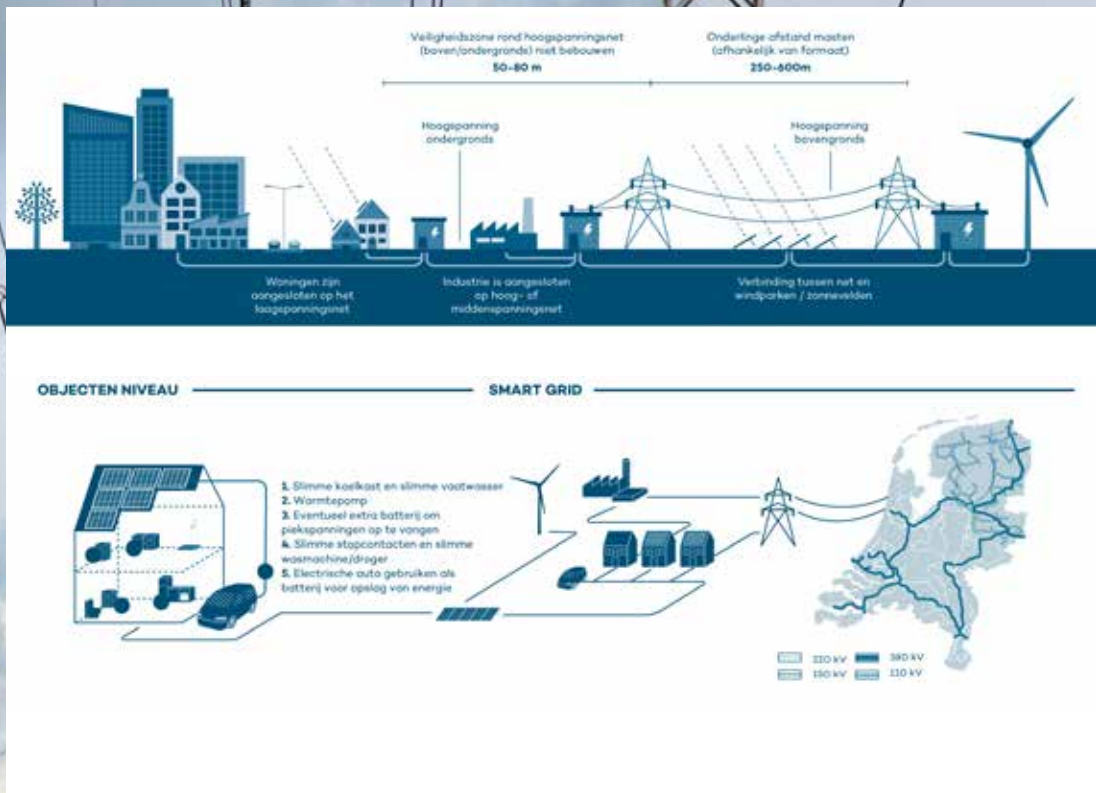
Figuur 93.

Indicatieve weergave huidige- en mogelijke toekomstige kerncentrales
(<https://ez.maps.arcgis.com/apps/Minimalist/index.html?appid=8e5d97c8faaa49948fe57eccd439e822>)

DISTRIBUTIENETWERK



Figuur 94. Hoogspanningsmasten, Rob Poelenjee



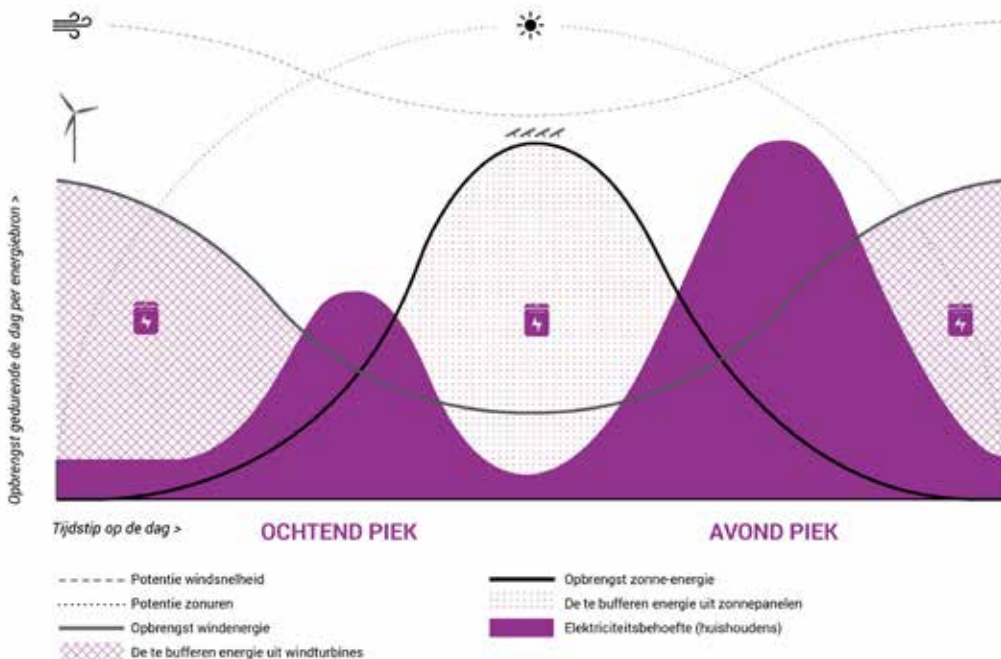
De bouwstenen voor elektriciteitsproductie hebben allemaal in meer of mindere mate invloed op het energienetwerk zoals we dat nu kennen. Waar het huidige energiesysteem nog vooral afhankelijk is van een aantal centrale energiecentrales, die werken op fossiele brandstoffen, zal het in de toekomst steeds meer gevoed worden door decentraal en duurzaam opgewekte energie.

Door grootschalige hernieuwbare opwek zal het huidige distributienetwerk (hoog-, midden- en laagspanning) verzaamd en uitgebreid moeten worden om deze decentraal opgewekte elektriciteit te kunnen distribueren. Dit komt deels door een aanzienlijke toename van de elektriciteitsbehoefte als gevolg van elektrificatie van mobiliteit, industriële processen en ruimteverwarming. Daarnaast heeft hernieuwbare opgewekte energie een ander aanbodprofiel gedurende de dag en de seizoenen dan bijvoorbeeld een gascentrale.

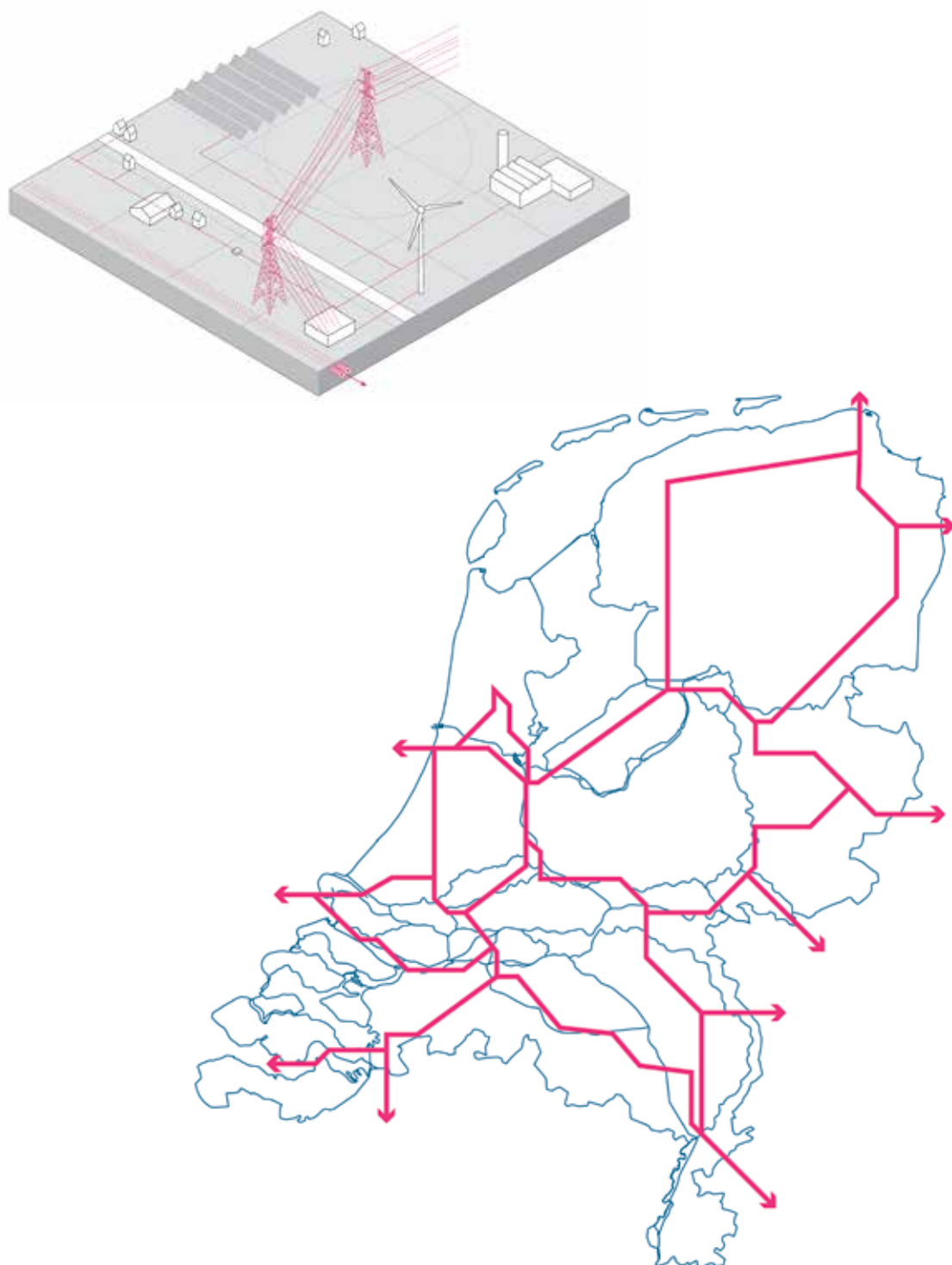
De piekvraag – waarop netwerken gedimensioneerd worden – zal daarom nog harder toenemen. In 2015 was de elektriciteitsvraag ongeveer 370 PJ²², de verwachte elektriciteitsvraag in 2050 is volgens de verschillende varianten uit het onderzoek van PBL/ECN tussen de 512 PJ en de 839 PJ.

NETVERLIEZEN

Van alle gedistribueerde elektriciteit gaat ongeveer 1,5% tot 7,5% verloren aan netverliezen.²³ In stedelijke gebieden zullen deze verliezen aan de onderkant van deze bandbreedte liggen vanwege de relatief kortere kabellengte. In zeer dunbevolkte gebieden zullen deze verliezen daarentegen veel hoger zijn. Met een meer (dan huidig) decentraal elektriciteitssysteem kunnen netverliezen verder beperkt worden aangezien vraag en aanbod zich dan dichter bij elkaar bevinden.



Figuur 95. Piekvraag naar en piekproductie van duurzame energie (Studio Marco Vermeulen)



Figuur 96. Schematische weergave huidig en gepland 380kV-ring

NETWERK EN BUFFERING

Omdat de elektriciteitsvraag flink zal toenemen en deze duurzaam en meer variabel opgewekt zal worden is het belangrijk dat het energiesysteem variabele productie van energie kan absorberen. Dit hangt onder meer af van de beschikbare capaciteit om productie te balanceren. Dit gebeurt momenteel bij pieken in windenergie door gasgestookte (WKK-) centrales terug te regelen maar dit zal in een hernieuwbaar systeem lastiger zijn. Ook kunnen overschotten geëxporteerd worden. Tekorten kunnen dan ook worden geïmporteerd. Als laatste is het mogelijk om de vraag naar elektriciteit te beïnvloeden, oftewel vraag- en aanbodsturing.

Hieronder enkele opties:

Productie zonnepanelen of windturbines beperken

Bij congestie kunnen zonnepanelen of windturbines tijdelijk afgeschakeld worden. Dan neemt de opbrengst uiteraard af.

Apparaten

Het gebruik van bijvoorbeeld witgoed apparatuur kan gestuurd worden zodat deze apparaten niet ten tijde van een piekvraag actief zijn.

Bufferen in koelhuizen

Tijdens de daluren kan een koelcel gekoeld worden tot een lagere temperatuur dan het standaard setpoint. Dit kan als bijvoorbeeld een koelproces een tijdelijke temperatuurvariatie toelaat, tot aan de kritische temperatuur, zodat het koelen kan worden uitgesteld als de vraag naar energie groot is.

- De diepvries industrie kan op het moment dat de stroom goedkoop is (als er een overproductie is) gaan koelen, waarna vervolgens weer minder energie gebruikt hoeft te worden.
- Het voordeel van het gebruik van koelhuizen voor belasting verschuiven is het dubbel ruimtegebruik.

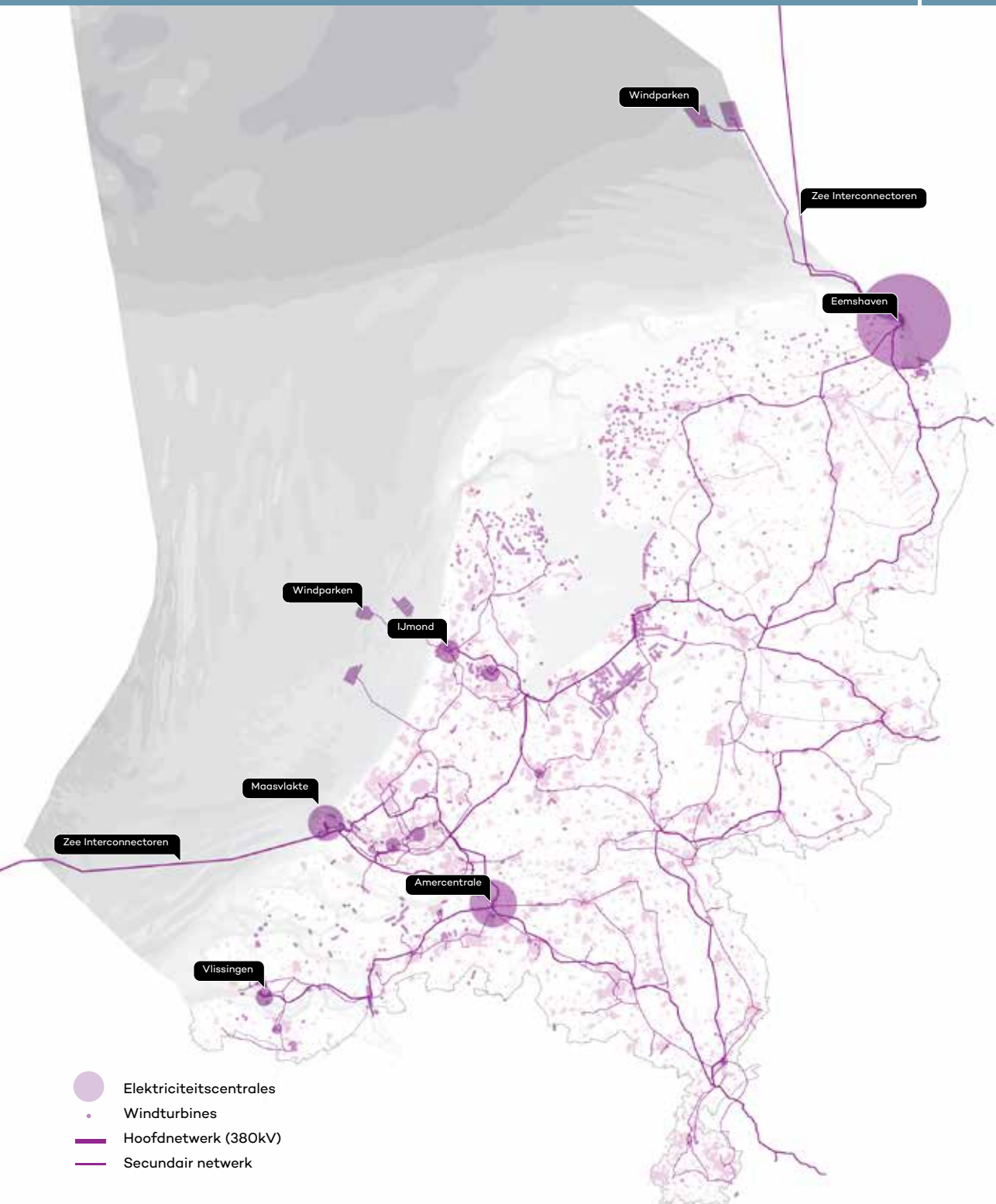
Bufferen in auto (slim laden en ontladen elektrische auto's)

Elektrische auto's worden opgeladen op momenten die optimaal zijn voor het elektriciteitssysteem. Hiermee wordt onder meer voorkomen dat elektrische auto's laden op het moment van de vraagpiek.

Elektrische auto's worden gestuurd opgeladen op momenten van weinig vraag, maar kunnen bij een hoge vraag ook elektriciteit terug leveren aan het net. De resterende capaciteit kan bijvoorbeeld gebruikt worden om de piekvraag aan het begin van de avond op te vangen.

Vraagsturing bij warmtepomp²⁴

Als huizen goed geïsoleerd zijn, kunnen ze fungeren als warmteopslag. Wanneer er een vraagpiek wordt verwacht kunnen de warmtepompen het huis in de tijd daarvoor alvast voorverwarmen. De elektriciteitsvraag voor verwarming kan op momenten van een vraagpiek op deze manier beperkt worden. Eventueel kan additionele warmwateropslag voor additionele opslag en daarmee flexibiliteit zorgen.


















Figuur 97. Elektriciteitsnetwerk (Studio Marco Vermeulen)

OPSLAG



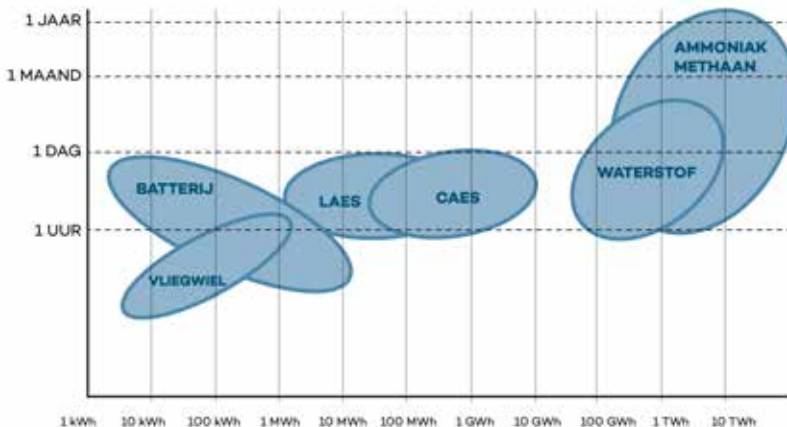
Figuur 98.

80MWh Powerpack Station Tesla, Southern California Edison. Bron: Tesla.

<p>BATTERIJ</p>  <p>Energie wordt chemisch opgeslagen in batterijen met een grote capaciteit voor wind- en zonnepanelen. Kleine batterijen zijn geschikt voor toepassing op wijk of woonwijk.</p>	<p>GEÏNPRIMEERDE LICHT</p>  <p>Bi hoge energiedichtheid wordt lucht door middel van compressoren opgeslagen in perslucht en opgeslagen in vaten. Deze energie kan later omgezet worden in bewegingsenergie om elektriciteit te produceren. Bij de compressie van lucht wordt deze warm. Deze energie kan vervolgens ook opgeslagen worden.</p>	<p>VLIEGWIEL</p>  <p>Een zware schijf wordt verandert door een elektromotor. Elektriciteit wordt opgeslagen als kinetische energie van het wiel. Wanneer energie nodig is, wordt de versnoring van het wiel gebruikt voor energieproductie.</p>	<p>WATERKRACHTCENTRALE</p>  <p>Een centrale pompt bij lage energievraag water naar een hoger gelegen spoorbekken. Tijdens piekmuren worden de stuizen gesloten en stroomt het water naar een turbine naar een lager gelegen reservoir.</p>	<p>VEHICLE-TO-GRID</p>  <p>Elektrische voertuigen kunnen worden ingezet voor de opslag van energie in batterijen. De batterijen zijn geschikt voor toepassing op wijk of woonwijk.</p>
<p>ONDERZEE ENERGIE ZAKKEN</p>  <p>Een overschot aan energie wordt gebruikt om lucht in opblaasbare zakken te pompen. Als er energie nodig is, wordt de lucht door de druk van de zee naar boven gepompt, tango een turbine die er elektriciteit van maakt.</p>	<p>RINGWAND</p>  <p>De ringwand is een plan voor een opslag centrale met een diameter van 13,6 km en een hoogte van 215m. Het systeem bestaat uit een heilig en loog tussen. De afstanden van het basis zijn bedekt met PV en op de ringwand staan windturbines.</p>	<p>KOUDE-WARTEOPSLAG (SEIZOENSOPSLAG)</p>  <p>In de zomer gebruikt men het koude grondwater om gebouwen te koelen. Het opgewarmde water stroomt naar op in de bodem. In de winter wordt gebruikt om gebouwen te verwarmen.</p>	<p>ONDERWATER OPSLAG CENTRALE</p>  <p>Dit systeem gebruikt de waterdruk op de bodem om mechanische energie om te zetten in een pompcentrale. Het water stroomt terug de turbine die energie produceert.</p>	<p>ONDERGRONDE POMP-CENTRALE</p>  <p>Er wordt onderzoek gedaan naar Aquapompecentrales die gebruik maken van bestaande ondergrondse reservoirs. Zoals bijvoorbeeld oude kolen- en zoutvaten.</p>
<p>MILJUCENTRALE</p>  <p>In poelen van water, kan ook grond gebruikt worden om energie op te slaan. De ruwheid van het systeem is minder ingrijpend dan waterkrachtcentrales. Dit systeem is in de ontwikkelingsfase.</p>	<p>ELEKTRICITEIT NAAR GAS</p>  <p>Waar kan geproduceerd worden in waterstof en methaans in het aardgasnet. Het kan ook in het aardgasnet opgeslagen worden door CO2 en water te converteren in synthetisch methaan.</p>	<p>THERMISCHE IJS OPSLAG</p>  <p>Het elektriciteit wordt een glycol oplossing gebruikt. Verwarmde wordt de koude glycol oplossing door de leiding met water gepompt.</p>	<p>GESMOLTEN ZOUT OPSLAG</p>  <p>Gesmolten zout kan gebruikt worden als transport medium van zonnestroom. Het is voordelig dat het zich tot meer dan 500°C kan verwarmen tegenover 250°C voor water. Het zout wordt gebruikt om stroom te produceren die weer een turbine aandrijft.</p>	<p>KOELHUIZEN</p>  <p>Tijdens de koude kan een koelvat gebruikt worden tot een laagere temperatuur. Dit kan een natuurlijke temperatuursverval toe. Het kan ook worden gebruikt om stroom te produceren die weer een turbine aandrijft.</p>

Wanneer in 2050 de hele elektriciteitsvraag wordt ingevuld met hernieuwbare elektriciteit zou naast vraag- en aanbodsturing een deel van deze productie moeten worden opgeslagen.

De verschillende opslagtechnieken hebben allemaal een andere capaciteit en ook de tijd waarin je elektriciteit kan opslaan is verschillend. Zie ook onderstaand schema.



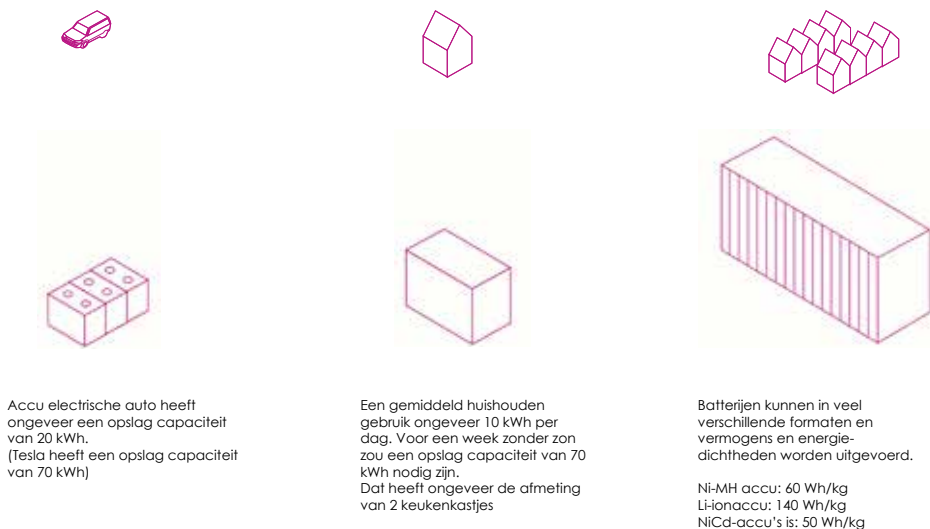
Figuur 99. Opslagcapaciteit en duur per opslagtechniek; bron: NUON

BATTERIJ

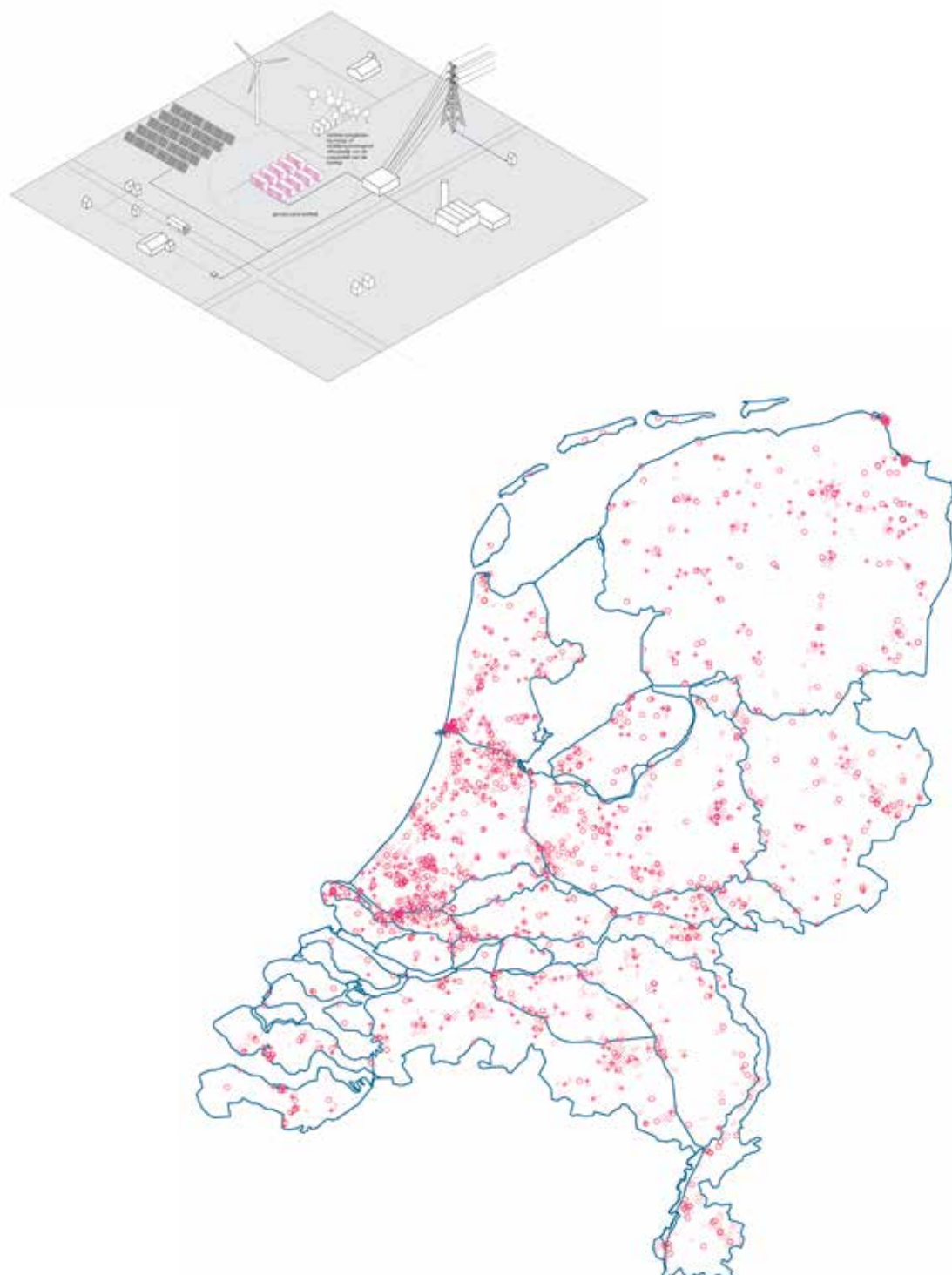
Bij overschot aan aanbod kunnen batterijen worden opgeladen. Bij een overschot aan vraag kunnen batterijen worden ontladen. Batterijen zijn er in verschillende formaten.

De Redox Flow batterij heeft een grote capaciteit en is daardoor geschikt voor grote energie opslagtoepassingen zoals het uitmiddelen van de productie van opwekkingsbronnen met grote variatie zoals wind- of zonne-energie.

De grootste nu bekende toepassing (2MW en 72 GJ) bevindt zich in Baden-Württemberg (Duitsland) in een fabriekshal waar tanks staan van 45.000 liter voor het opslaan van elektrische energie in vloeibare elektrolyten. Wanneer 1 PJ opgeslagen zou worden via deze methode betekent dit dat ongeveer 15.000 van dit soort fabrieks- of bedrijfshallen moeten worden gevonden.



Figuur 100. elektriciteitsopslag in batterijen



Figuur 101. Indicatieve weergave zoekgebieden grootschalige opslag in batterijen (nabij huidige bedrijventerreinen en onderstations)



Figuur 102. Impressie (redox) batterij in hal (Posad)



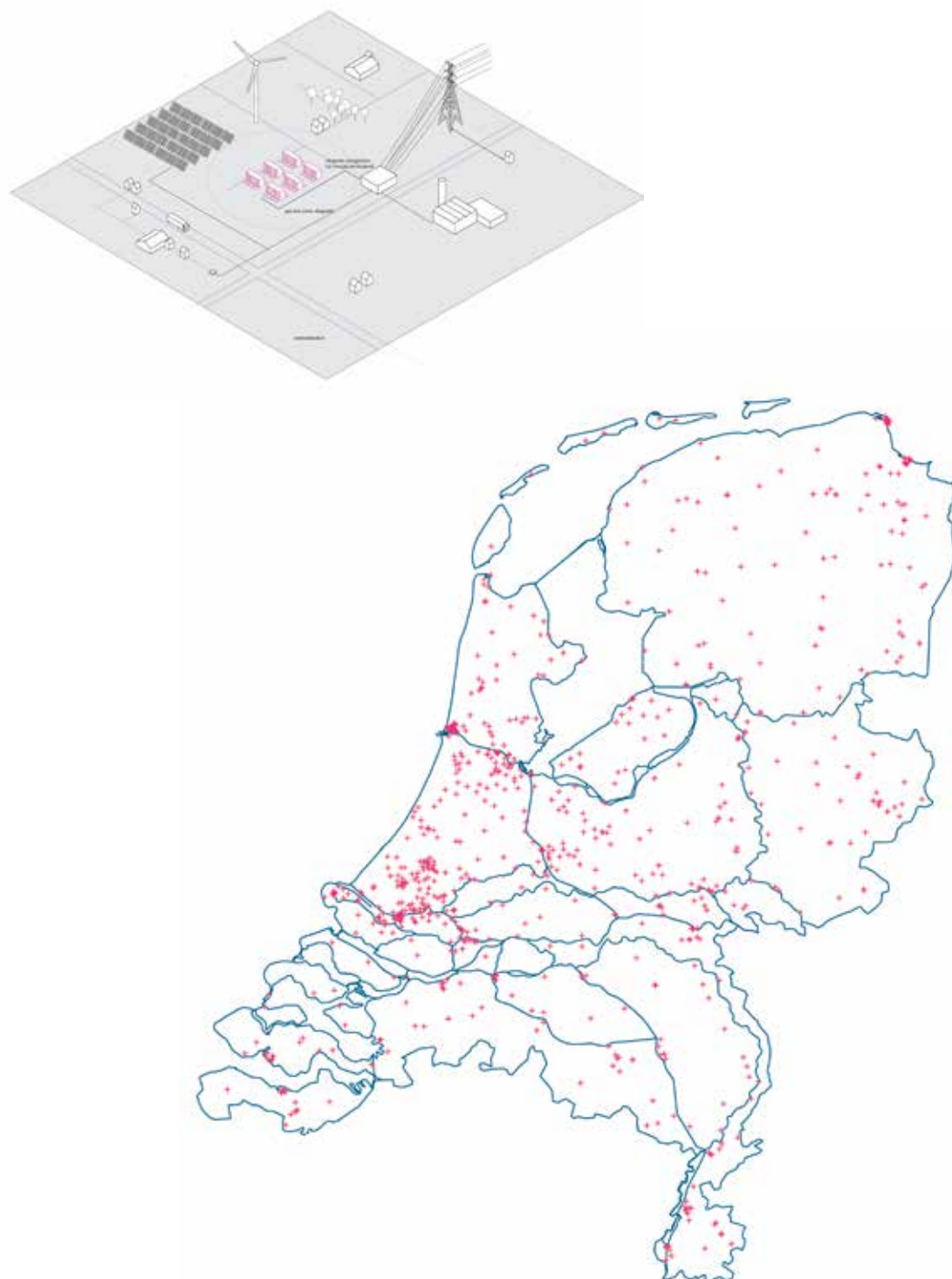
VLEIOWIEL

Vergelijkbaar met batterijen kunnen ook vliegwieln als elektriciteitsopslag worden gebruikt. Vliegwieln zetten elektriciteit om in kinetische energie, en deze kan vanwege de zeer lage weerstand van het vliegwiel weer voor een groot deel in elektriciteit omgezet worden op het moment dat daar behoefte aan is. Een zware roterende schijf wordt versneld door een elektromotor. Elektriciteit wordt opgeslagen als de kinetische energie van het wiel. Wanneer energie nodig is, fungeert de elektromotor als een generator waardoor het wiel vertraagt en elektriciteit geproduceerd wordt. Wrijving moet tot een minimum beperkt blijven voor de verlenging van de opslagduur. Dit wordt vaak bereikt door het plaatsen van het vliegwiel in een vacuüm en het gebruik van magnetische lagers.

De efficiëntie bedraagt ongeveer 85%



Figuur 103. Impressie elektriciteitsopslag via vliegwiel (Posad)



Figuur 104. *Indicatieve weergave potentiële locaties opslag in vliegwiel (nabij huidige bedrijventerreinen)*

VLOEIBARE LUCHTOPSLAG (LAES)

Bij vloeibare luchtopslag wordt eerst buitenlucht onder druk gezet, vervolgens gekoeld en als vloeistof bij -200 °C opgeslagen in tanks. Tijdens de piekuren kan deze energie aangewend worden door de vloeistof bij hogedruk te laten verdampen en daarmee een gasturbine aan te drijven. Afvalwarmte van een aanpalende biogasinstallatie kan eventueel worden benut om het verdampen zo efficiënt mogelijk te laten verlopen. Deze manier van opslag bevindt zich momenteel nog in de testfase. In Bury (GB) wordt momenteel een test-installatie gebouwd die gedurende 3 uur 5MW vermogen moet kunnen leveren.

- De efficiëntie van vloeibare lucht opslag is ongeveer 50%.



Figuur 105. Indicatieve weergave potentiële locaties vloeibare luchtopslag (nabij huidige bedrijventerreinen en onderstations)

GECOMPRIEERDE LUCHTOPSLAG (CAES)

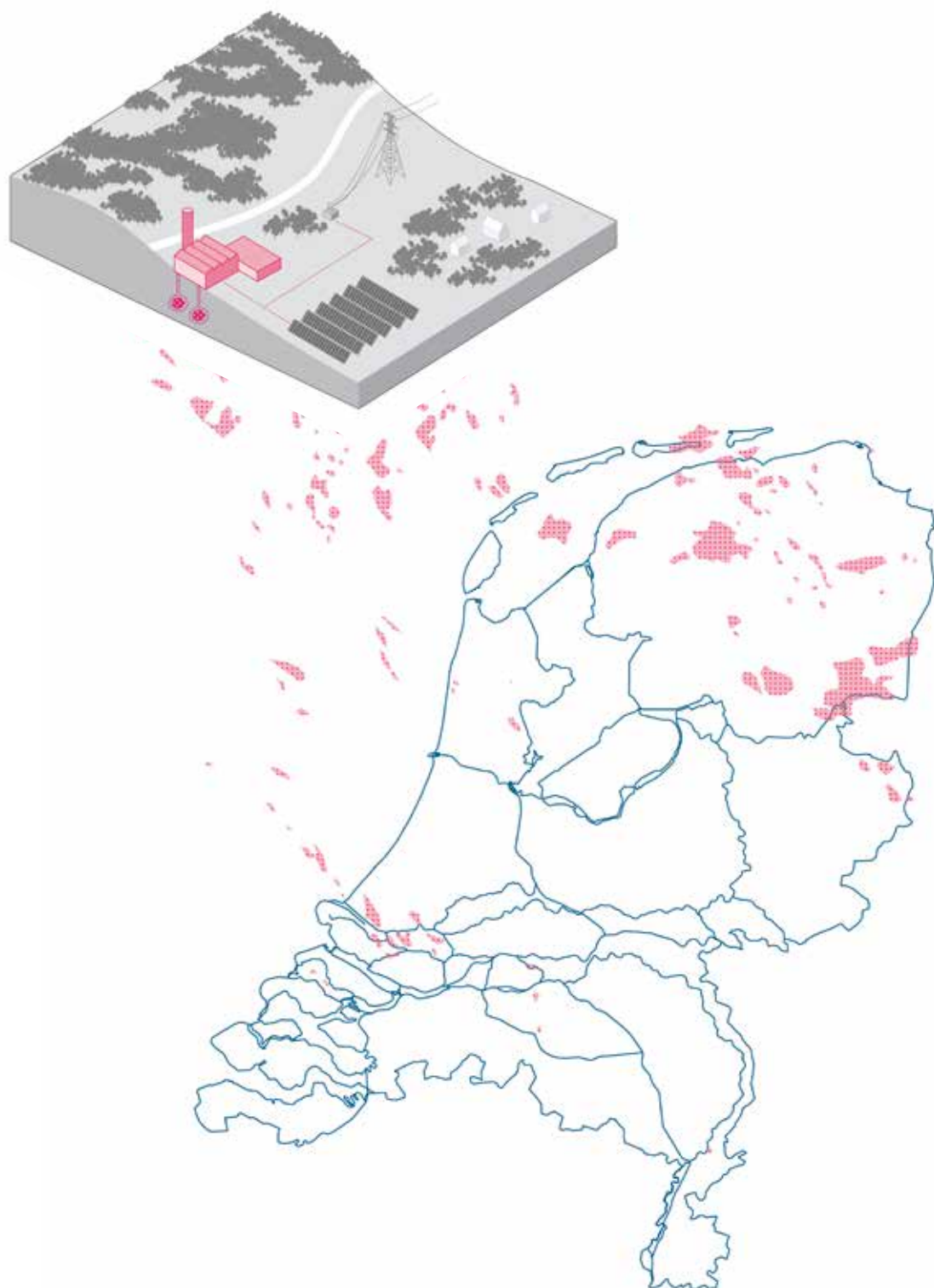
Gecomprimeerde luchtopslag (CAES) is een energieopslag methode waarmee aanzienlijke hoeveelheden energie (in de orde van 100-1.000 MWh) kunnen worden opgeslagen.

Als energie goedkoop beschikbaar is wordt atmosferische lucht opgeslagen in persluchtvat en of grootschalige structuren (oude mijnen of gasvelden of andere soortgelijke geologische structuren. Bij de compressie van lucht komt veel warmte vrij. Dit kan gekoeld worden of deze thermische energie kan ook opgeslagen worden. Tijdens de piekuren kan deze energie aangewend worden.

De efficiëntie van gecomprimeerde lucht opslag is ongeveer 42%.



Figuur 106. Impressie ruimtelijke invloed gecomprimeerde luchtopslag (Posad)



Figuur 107. *Indicatieve weergave potentiële locaties gecombineerde luchtopslag (nabij lege gasvelden of zoutcaavernes)*



Figuur 108. *Impressie valmeer opslag en gecprimeerde luchtopslag (Posad)*



CONVERSIE



Figuur 109. Van windenergie naar waterstof, bron: www.siemens.com/press

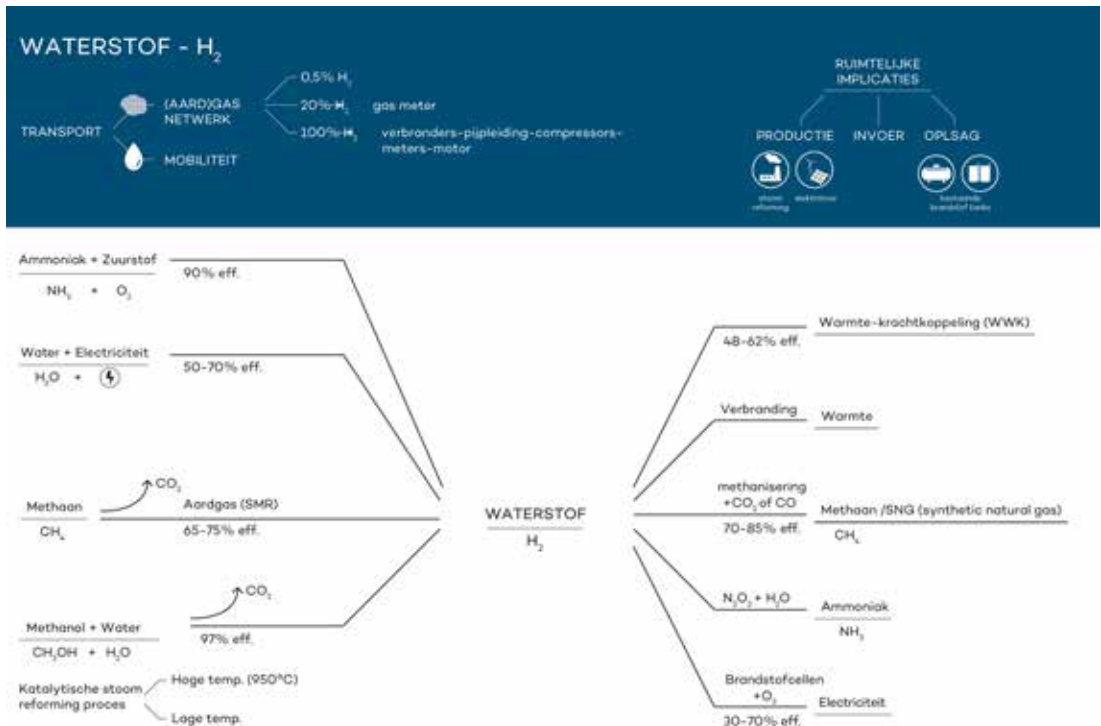


P2G (WATERSTOF)

Bij Power-to-gas (waterstof) wordt via elektrolyse water gesplitst in waterstof (H_2) en zuurstof (O_2). Dit waterstof kan worden bijgemengd met aardgas en in beperkte mate (zonder grote aanpassingen in de branders op gas) ingevoerd worden op het aardgasnetwerk. Het proces van elektriciteit naar waterstof heeft een efficiëntie van 50 - 70 tot in de toekomst mogelijk 90 procent. Door de grote vraag naar elektriciteit is het wenselijk om de installatie dichtbij een productielocatie of hoogspanningsstation te plaatsen.

Waterstof wordt getransporteerd via pijplijnen of tanks voor gebruik door een industriële consument. Waterstof kan worden opgeslagen als gas, gecompriemd en gekoeld als vloeistof, of in een binding met een vaste stof. Daarmee biedt het meer flexibiliteit dan elektriciteit.

Bij afnemers wordt het waterstof, behalve als grondstof, veelal ingezet als brandstof om middels een WKK, elektriciteit en warmte lokaal op te wekken. Dit is met name interessant als het aanbod van wind en zon laag is en elektriciteit daarmee duur. (zie ook *PBL, 2016, Vormgeving van de energietransitie*)



Figuur 110. Mogelijke omzettingen van en naar waterstof en daarbij behorende efficiëntie(s)



Figuur 111.

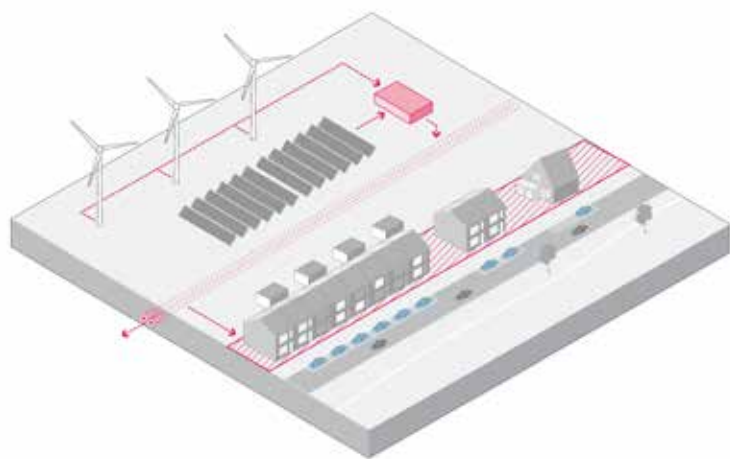
Indicatieve weergave potentiële locaties 'Power to Gas' (waterstof)
(Nabij huidige industriële clusters aan zee)

P2G (METHAAN)

Bij Power-to-Gas (methaan) reageert waterstof (H_2) samen met koolstofdioxide (CO_2) tot methaan (CH_4) en water (H_2O). Het geproduceerde methaan wordt geïnjecteerd in het gasnet. Daarmee hoeven minder (dan bij waterstof) aanpassingen in de infrastructuur en branders gemaakt te worden. Bij het verbranden van het geproduceerde methaan komt de CO_2 die bij de productie aan het proces is toegevoegd weer vrij. Het gehele proces van productie en verbranding kan CO_2 -neutraal worden door het te combineren met een koolstofopvanginstallatie, die CO_2 uit de lucht afvangt.

Bij de omzetting van elektriciteit uit zon- en windenergie in waterstof en vervolgens in methaan gaat energie verloren. Deze omzetting naar methaan kan met rendementen van 70 tot 85 procent (de resterende 15 tot 30 procent is mogelijk bruikbare restwarmte) bij chemische omzetting, tot mogelijk 95 procent in een bioreactor. (zie ook *PBL, 2016, Vormgeving van de energietransitie*)

De ondergrondse opslagcapaciteit biedt de mogelijkheid om nog meer energie tijdelijk vast te leggen. Daarmee biedt P2G een oplossing voor de discrepantie tussen vraag en aanbod van elektriciteit over langere perioden (zoals de seizoenen).



Figuur 112.

Indicatieve weergave potentiële locaties 'Power to Gas' (methaan)
(Nabij huidige industriële clusters aan zee)

Omdat iedere vierkante meter in Nederland al een functie heeft, zal de energietransitie veranderingen met zich mee brengen op veel van de functies en het bijbehorende landgebruik. Het is daarmee ook een ruimtelijke (ordenings-) opgave. Voor de realisatie van deze opgave is het daarom verstandig te kijken naar combinaties met andere ruimte vragende functies om deze slim in de beperkte ruimte in Nederland te organiseren. Meervoudig ruimtegebruik of het slim combineren van functies is ook in de energietransitie mogelijk. Het monofunctionele landschap van een zonneweide is te combineren met windturbines. Het bijkomend voordeel van deze combinatie is het efficiënt gebruik van het elektriciteitsnetwerk. Zon en wind leveren zelden op hetzelfde moment een piek, de combinatie levert dus een beter gebruik van het net op en een gelijkmatiger stroomoutput op dat deel van het netwerk.

Een andere mogelijkheid is het combineren van specifieke landschappelijke of functionele kenmerken met energieopwekking. Zo is het toepassen van zon op wateroppervlakken een optie. Hierbij moet wel onderzocht worden of het wegnemen van zon op en onder water de biodiversiteit niet negatief beïnvloedt, maar zo zijn er voor iedere inpassing nog onderzoeksopgaven te benoemen.

In bepaalde landschappen of bij specifiek gebruik kan de energietransitie ook nieuwe kansen bieden voor het landschap en het gebruik. In veenweidegebieden waar sprake is van bodemdaling – door bemaling en oxidatie – en verzilting kan de energietransitie een nieuw perspectief bieden. Wanneer de gronden vernat worden stopt het inklinken en oxidatieproces, maar wordt melkveehouderij onmogelijk. Door op deze vernatte gronden grootschalige zonneweides te plaatsen ontstaat echter een bedrijfsmatig alternatief voor de melkveehouderij in het gebied. De energietransitie biedt zo ook mogelijkheden,

waarbij we opmerken dat deze oplossing niet meteen de beste landschappelijke oplossing hoeft te zijn.

Windenergie in windbossen biedt ook de mogelijkheid tot het combineren met het creëren van biomassa. Op land kan het plaatsen van windturbines gecombineerd worden met bebossing (en recreatie), wat CO₂ vastlegt en biodiversiteit kan vergroten. Op zee kan gezocht worden naar locaties waar windenergie en visserij goed samen kunnen gaan en eventueel op termijn ook biomassateelt. Op deze manier kan windenergie op zee een bijdrage leveren als de 'kraamkamer' van de zee. Vanzelfsprekend moet wel gekeken worden hoe nadelige effecten van geluidstrillingen over de lange afstand verminderd of voorkomen kunnen worden.

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Elektriciteit kan opgewekt worden in de meest onvoorstelbare plaatsen, in de middenberm van een snelweg, als vangrail, op en om huizen en bedrijven. Het vinden van de slimme combinaties en het combineren van (planologische)ruimte is een grote uitdaging, maar wel een met veel mogelijkheden.

- **Windenergie op Zee is substantieel nodig:**

Vanuit ruimtelijk oogpunt is inzetten op windenergie op zee cruciaal om de doelstellingen voor elektriciteitsproductie te halen. De potentie overstijgt in grote mate de huidige beschikbare capaciteit voor windenergie op zee (7 GW aan nieuwe windparken bovenop de reeds bestaande en pijplijn windparken (4,5 GW) binnen de reeds aangewezen windenergiegebieden).

Voor het realiseren van meer windparken op zee is een nieuwe ruimtelijke afweging nodig om te komen tot nieuw aan te wijzen gebieden voor windenergie i.r.t. andere gebruikers op de Noordzee met inachtneming van huidige (inter)nationale afspraken omwille van visserij en (scheepvaart- en luchtvaart) veiligheid. Daarnaast zijn in internationaal verband afspraken gemaakt over natuur en biodiversiteit die nadere verkenning behoeven. In dit licht lijkt het een kans om in de tenders voor nieuwe parken niet alleen energieopbrengst als doel na te streven, maar daar ook andere (inter)nationale doelen (zoals natuurontwikkeling) mee te nemen en slim te combineren met de verschillende gebruiksfuncties en de inpassings- en aanpassingskosten voor de andere Noordzee gebruikers/belangen.

- **Slim combineren, ook om andere ruimtelijke opgaven aan te pakken:**

Technisch gezien is er voldoende ruimte beschikbaar. Maar omdat iedere vierkante meter in Nederland al een functie heeft, zal de energietransitie veranderingen met zich mee brengen op veel van de functies en het bijbehorende landgebruik. Het is daarmee ook een ruimtelijke (ordenings) opgave. Voor de realisatie van deze opgave is het daarom van belang te kijken naar combinaties met andere ruimte vragende functies en deze slim in de beperkte ruimte in Nederland te organiseren. Meervoudig ruimtegebruik of het slim combineren van functies is ook in de energietransitie mogelijk. Energie kan opgewekt worden in de meest onvoorstelbare plaatsen, in de middenberm van een snelweg, als vangrail, op en om huizen en bedrijven. Het vinden van de slimme combinaties en het combineren van (planologische)ruimte is een grote uitdaging, maar wel een met veel mogelijkheden. De energietransitie kan ook (deel)oplossingen bieden voor andere ruimtelijke opgaven zoals bijvoorbeeld bodemdaling.

- **Realisatie kost tijd en is een grote opgave:**

Hoewel er technisch ruimte beschikbaar is, is de daadwerkelijke realisatie van grootschalige zonne- en windparken een grote ruimtelijke en maatschappelijke opgave. Enerzijds omdat het besluitvormingstijd kost voor het bepalen van de juiste locaties voor opwekking en transport (een doorlooptijd van 10-15 jaar voor opwekkingsgebieden of transportleidingen is geen uitzondering). Anderzijds ook omdat het landschap wezenlijk zal veranderen. Door alle nieuwe energieprojecten zullen meer afwegingen gemaakt moeten worden met andere maatschappelijk opgaven. De maatschappelijke acceptatie van deze veranderingen mag niet als vanzelfsprekend worden beschouwd en maakt een zorgvuldig en transparant besluitvormingsproces noodzakelijk.

- **De energietransitie is deels een tijdelijke ruimtelijke claim op ons landschap:**

De energielandschappen die nu bedacht worden zijn niet de energielandschappen van de toekomst. Wel is de ruimte hier nu al voor nodig om de opgave te realiseren maar vanaf 2050 kan wellicht met minder ruimtebeslag dezelfde hoeveelheid elektriciteit worden gerealiseerd. Het is goed om te realiseren dat naast de enorme ruimtelijke claims tot 2050 benodigd om de doelen te behalen een deel hiervan na 2050 niet meer nodig zijn.

- **De energietransitie is deels een tijdelijke ruimtelijke claim op ons landschap:**

De energielandschappen die nu bedacht worden zijn niet de energielandschappen van de toekomst. Wel is de ruimte hier nu al voor nodig om de opgave te realiseren maar vanaf 2050 kan wellicht met minder ruimtebeslag dezelfde hoeveelheid elektriciteit worden gerealiseerd. Het is goed om te realiseren dat naast de enorme ruimtelijke claims tot 2050 benodigd om de doelen te behalen een deel hiervan na 2050 niet meer nodig zijn.

- **Huidig beleid kan realisatie in de weg zitten:**

Op een aantal locaties (in Natura 2000 gebieden zoals de kust, Veluwe en IJsselmeergebied) loopt de ontwikkeling van wind- en zonne-energie tegen de grenzen van het natuurbeleid op. Een natuur inclusieve benadering van ruimtelijke allocatie is noodzakelijk. Momenteel worden de mogelijkheden en beperkingen voor wind- en zonne-energie in relatie tot natuur nader onderzocht.

- **Samenwerking tussen schaalniveaus:**

De manier waarop wordt nagedacht over de plaatsing van zonne- en windenergie op land en waarop het momenteel is georganiseerd ('taakstelling' per provincie), vertaalt zich in grote verschillen in de bijdrage aan de nationale doelstellingen, de impact op de kwaliteit van de leefomgeving en in de mogelijkheden van het benutten van de ruimtelijke kansen (combinatiemogelijkheden). Een andere benadering is noodzakelijk, waarbij besluitvorming over locaties in regionale processen plaatsvindt. De relatie met het plannen van het elektriciteitsnetwerk en het benutten van combinatiemogelijkheden zoals windturbines in bos of grootschaliger energielandschappen zal waarschijnlijk ook ruimtelijke kaders op rijksniveau vragen. Samenwerking op de verschillende schaalniveaus is nodig, evenals samenhang in planning op nationaal, provinciaal en gemeentelijk niveau.

- **In samenhang plannen locaties en energie-infrastructuur:**

De huidige netinfrastructuur en daarvoor noodzakelijke doorlooptijd in besluitvorming voor uitbreiding, aanpassing dan wel verzwaring is een beperkende factor in het realiseren van de doelen op de korte termijn. Hiervoor zou bijvoorbeeld een afwegingsfactor t.a.v. netinfrastructuur mee kunnen worden gegeven richting de decentrale overheden voor plaatsing van duurzame energie. Bijvoorbeeld dat voor grotere projecten (op de korte termijn) de huidige capaciteit mede bepaalt waar in eerste instantie ontwikkelingen tot stand kunnen komen. Dit betekent een iets langere aanloop en iets hogere kosten omdat capaciteit op het net vooral in gebieden beschikbaar is waar de zon minder schijnt. Op de langere termijn vraagt het om slim plannen van nieuwe netwerken i.r.t. ruimtelijke keuzes voor de plaatsing van wind- en zonne-energie op land en zee. Aan de andere kant is het de vraag of, vanuit ruimtelijke overwegingen, het net niet zou moeten worden aangepast indien blijkt dat het net onvoldoende capaciteit heeft voor aantakking van ruimtelijk geschikte bronnen (bijv. zon in het zuiden en oosten). Een grote inzet op windenergie op zee leidt ook tot een grotere afstand tussen de locatie van het winnen/aanbod en de vraag. Het overbruggen van die afstand vergroot het ruimtegebruik en daarmee samenhangende ruimtebeslag t.o.v. het zo dicht mogelijk bij elkaar situeren van aanbod en vraag.

- **Ruimtelijk effect van keuzes in andere functionaliteiten:**

De keuzes in andere functionaliteiten m.b.t. de mix van energiebronnen en mate waarin daarvoor extra elektriciteit nodig is beïnvloeden in grote mate de benodigde elektriciteitsproductie. Deze keuzes hebben een groot ruimtelijk effect. Een goede afweging van deze keuzes is daarom belangrijk.

02 /

ANALYSE PER FUNCTIONALITEIT

2.4

LAGE TEMPERATUUR WARMTE



BESCHOUWING FUNCTIONALITEIT

BOUWSTENEN

DE ONDERDELEN

DUURZAAM GAS

ELEKTRICITEIT

WARM WATER

WELKE OPTIE WAAR?

Figuur 113. De aanleg van een lage temperatuur afgiftesysteem, Stuttgart Airport, 2014.
Bron: www.constructionspecifier.com/being-radiant

POSITIONERING

In dit hoofdstuk concentreren we ons op het finale energiegebruik van lagere temperatuur warmte, met 30% het grootste aandeel in de energievraag van Nederland. Met als uiteindelijke doel om de CO₂eq-uitstoot, van het volledige energiesysteem in Nederland, te reduceren en verdere klimaatverandering te voorkomen.

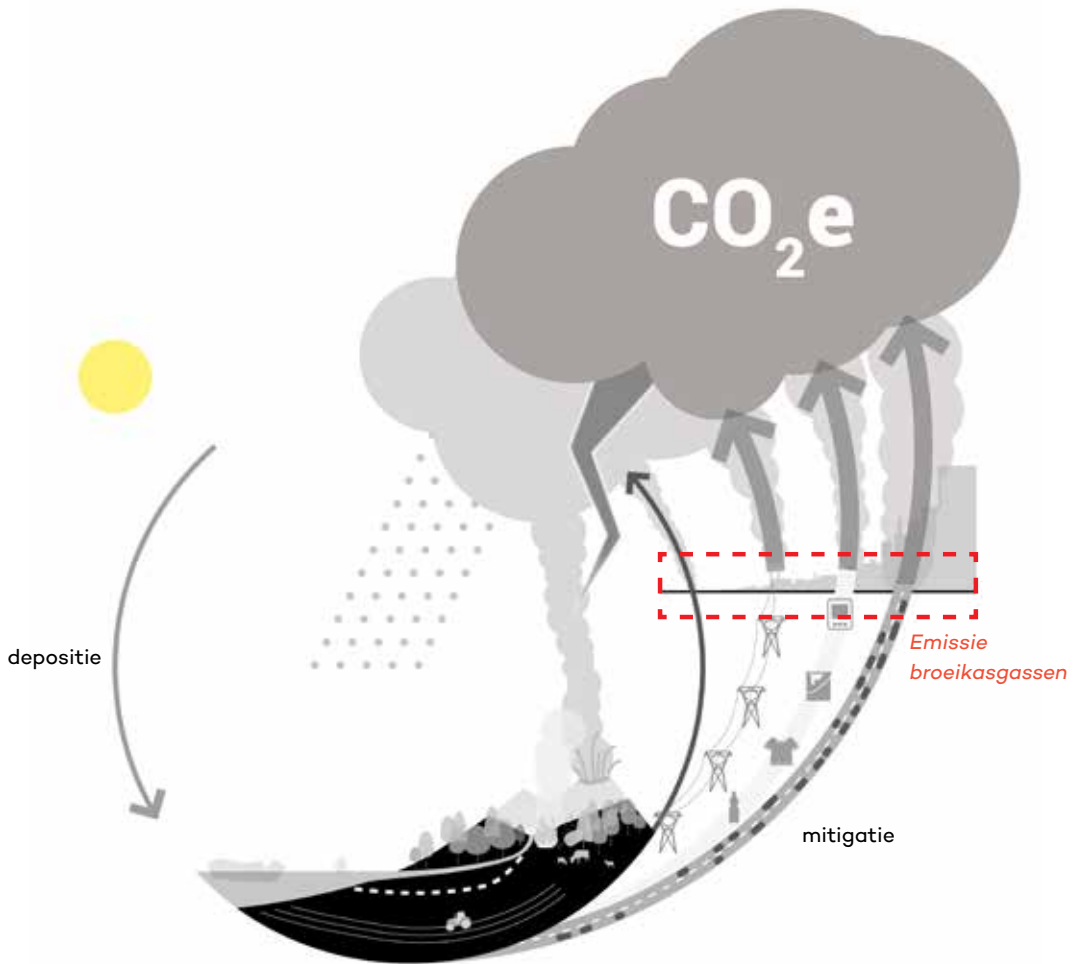
Waar het gaat om het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen zijn regionale, nationale en internationale kaders en instrumenten sturend voor het resultaat van de energietransitie. Subsidies op duurzame energie, belasting op fossiele brandstoffen en CO₂, milieukaders rond fijnstof zijn voorbeelden van instrumenten waarop 'hogere' overheden op kunnen sturen. Om te komen tot minder dan 16,5 Mton CO₂-emissie moeten tot 2030 2 tot 3 miljoen woningen (woningequivalenten) aardgasvrij worden. Dit betekent dat in de periode 2030-2050 nog 6 tot 7 miljoen woningen onder handen genomen moeten worden. Daarnaast ligt er een grote, en vaak onderbelichte, verduurzamingsopgave voor kantoren, bedrijfsbebouwing en glastuinbouw.

EMBODIED ENERGY

Emissies reduceren tot een acceptabel niveau is een monsteropgave. Immers, in alles wat wij gebruiken zit energiegebruik verscholen. Onder andere in de kleren die we dragen, in ons voedsel, in de isolatiematerialen die we gebruiken, in vervoer en in verwarming. Terwijl we in Nederland in 2050 onze CO₂eq-emissies met 80-95% willen reduceren, gaat het bijna nooit over de embodied energy, en de daarmee samengaande CO₂-uitstoot, die het kost om besparende maatregelen en hernieuwbare energieproductie te produceren, implementeren en operationeel te houden. Vanwege de aard van dit ontwerp onderzoek en de complexiteit van het achterhalen van embodied energy, blijft dit in dit onderzoek verder buiten beschouwing.

NOTITIE

Dit onderzoek is geschreven als aanvulling op de ten pager lagere temperatuur warmte (<100 °C), en betreft een verdere uitwerking en verdieping van het denkbare transitiepad naar een volledige verduurzaming van De lagere temperatuur warmtevoorziening in Nederland tot 2050. Het geeft aanvulling op de ruimtelijke aspecten van het transitiepad en geeft een aanbeveling vanuit ruimtelijk oogpunt.



Figuur 114. Het toegenomen CO₂ gehalte in de atmosfeer, door het gebruik van die fossiele brandstoffen, heeft het hele aardse ecosysteem uit evenwicht gebracht. De gevolgen van klimaatverandering kunnen op 3 manieren bestreden worden: mitigatie, adaptatie, depositie.

CO₂-e(q): "CO₂-equivalent is een rekeneenheid om de bijdrage van broeikasgassen aan het broeikaseffect onderling te kunnen vergelijken. Het is gebaseerd op het 'Global Warming Potential' (GWP) - dat is de mate waarin een gas bijdraagt aan het broeikaseffect. Zo heeft methaan een GWP van 21 CO₂-eq en zwavelhexafluoride (SF₆) een GWP van 23.900 CO₂-eq. Dat houdt in dat 1 kilo methaan over een periode van 100 jaar 21 keer meer aan het broeikaseffect bijdraagt dan 1 kilo CO₂. Zwavelhexafluoride warmt zelfs 23.900 keer meer op dan CO₂." PBL

RELATIE MET ANDERE TRANSITIEPADEN

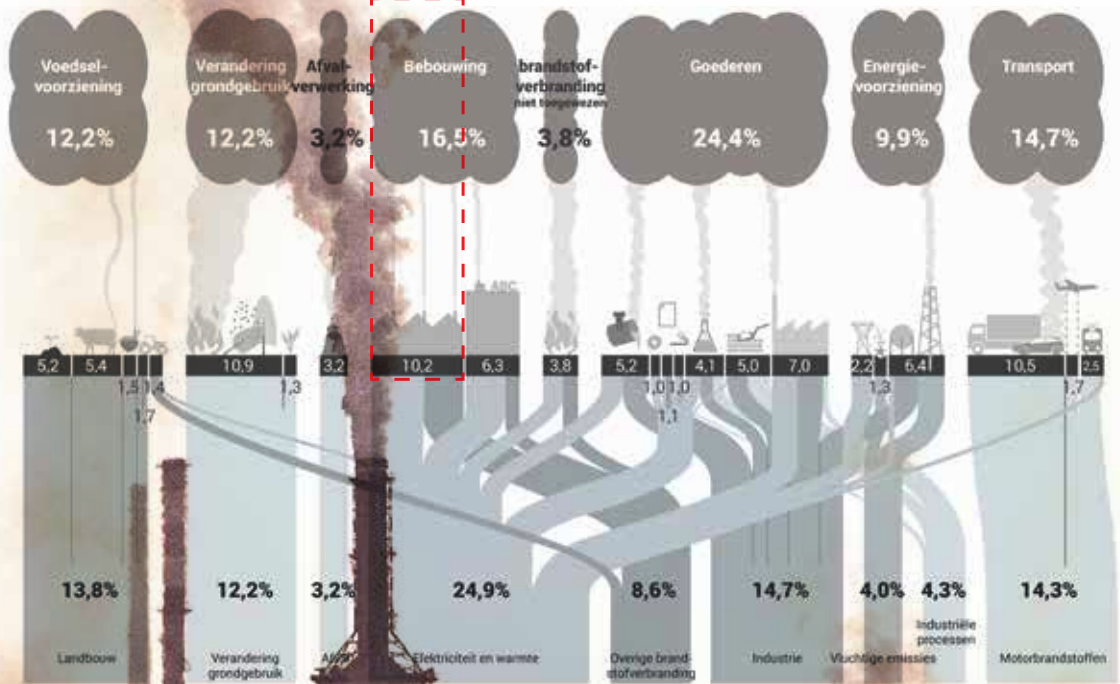
Het transitiepad lage temperatuur warmte moet in samenhang gezien worden met de andere transitiepaden. De paden Kracht & Licht, Hoge Temperatuur Warmte, Transport & Mobiliteit en Voedsel & Natuur vragen allen om grote ruimtelijke ingrepen en zullen elkaar op sommige aspecten overlappen. Dit vraagt om ruimtelijke coördinatie en afstemming tussen de systeemkeuzen en energiedragers.

Mocht er bijvoorbeeld gekozen worden om het mobiliteitsvraagstuk door middel van elektrisch transport in te vullen en wordt daarnaast ook nog een aanzienlijk deel van de gebouwen door middel van elektrische warmtepompen verwarmd, dan heeft dit grote gevolgen voor de elektriciteitsbehoefte en het elektriciteitsnetwerk.

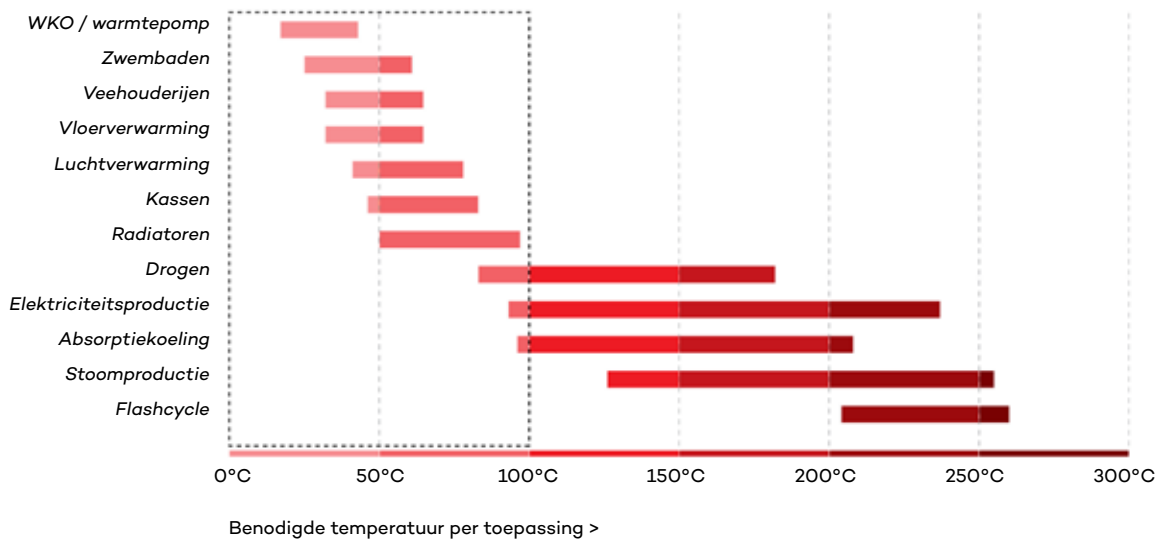
Mocht duurzaam gas een deel van de energiebehoefte voor hoge temperatuur warmte invullen, dan kan dit gevolgen hebben voor het gebruik van hybride warmtepompen in de lagere temperatuur transitie. Gebruik van biomassa voor het opwekken van warmte kan weer in strijd zijn met het transitiepad Voedsel & Natuur. Deze conflicterende belangen worden meegenomen in de vergelijking van de systeemkeuzen voor het transitiepad lagere temperatuur warmte.



Figuur 115. PV-productie, zoals hier in Baotou, China, vereist meer dan 30 gevaarlijke chemicaliën in haar productie, met inbegrip van krachtige broeikasgassen en giftige chemicaliën. Bron: <http://www.dailymail.co.uk/pollution-disastrous-scale.html>

CO₂e-emissies lagere temperatuur warmte

Figuur 116. Bronnen van mondiale broeikasgas emissies, 2005.
Bron: World Resources Institute, gebaseerd op CO₂-equivalenten, met 100 jaar potentieel voor het opwarmen van de aarde.



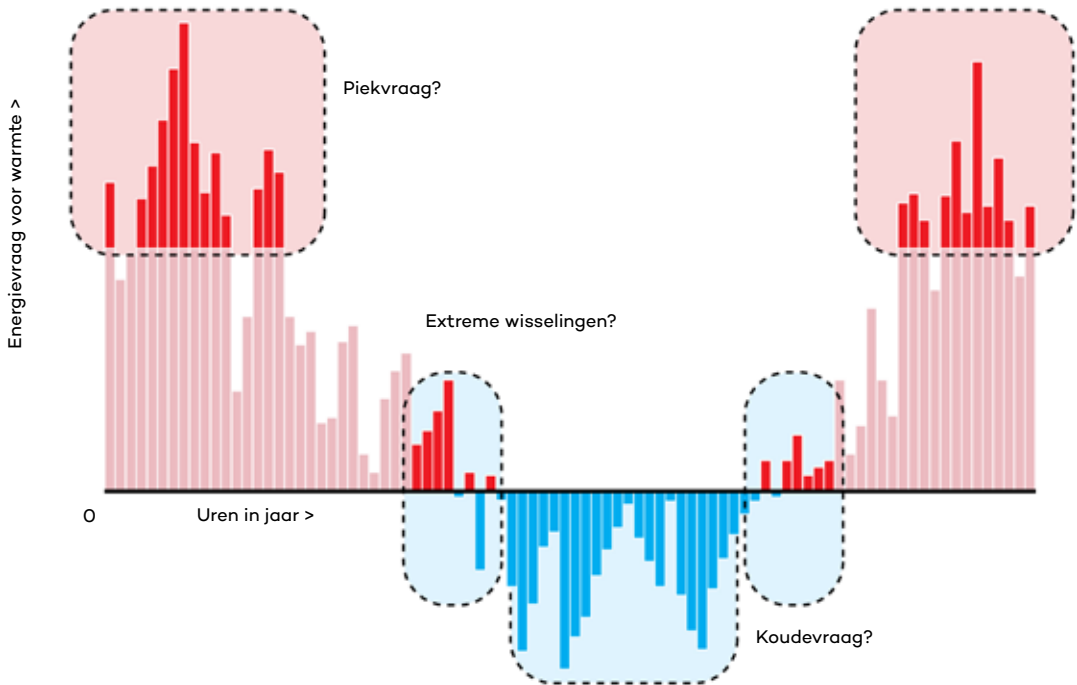
Figuur 117. Benodigde temperatuur

RUIMTELIJKE IMPACT

De nieuwe manier van energieopwekking zal in de toekomst bestaan uit een meer gevarieerde mix van bronnen en zal alom tegenwoordig zijn in de dagelijkse leefomgeving. Het gaat om erg veel 'hardware'. En waar gaat dat landen? Soms kleinschalig op je eigen dak of aan de gevel, soms op buurtniveau of stedelijk niveau en soms op regionale of zelfs landelijke schaal in nieuwe energielandschappen. Vooral de wind- en zonprojecten op grotere schaal, met landschappelijke impact, kunnen nu vaak op maatschappelijke weerstand rekenen. Maar we weten ook al zeker dat we het met alleen kleinschalige en lokale initiatieven niet zullen redden. Bovendien zal voor elke systeemkeuze het netwerk moeten worden verzaamd of zelfs een nieuwe infrastructuur toegevoegd moeten worden. Dit onderzoek zal zich richten op de ruimtelijke gevolgen van de verschillende hoofdsystemen in het transitiepad lage temperaturen.

DEFINITIE LAGE TEMPERATUUR WARMTE

Lage temperatuur warmtevraag betreft het energiegebruik van warmte onder de 100°C en is met 30% van het totale finale energiegebruik in Nederland de grootste energievraag in Nederland. De focus ligt hierbij op het gebruik van lagere temperatuur warmte voor verwarming en tapwater in woningen, kantoren, ziekenhuizen, scholen, veehouderijen, bedrijfsgebouwen en tuinbouwkassen. Met ruim 7 miljoen woningen en in totaal 8,3 miljoen gebouwen in Nederland, is de transitie naar een volledige verduurzaming van het lage temperatuur warmtesysteem in Nederland tot 2050 een geweldige opgave waar particulieren, ondernemers, gemeenten, provincies en het rijk gezamenlijk hun schouders onder moeten zetten.



Figuur 118. Schommelingen in de energievraag voor lagere temperatuur warmte

EISEN AAN HET SYSTEEM

Elke toepassing, of het nou gaat om het verwarmen van bijvoorbeeld woningen of kassen, vraagt om zijn eigen temperatuur. Dit maakt het LT transitiepad complex en uitdagend, omdat niet elke bron (temperatuur) geschikt is voor elke toepassing. In sommige gevallen, bijvoorbeeld bij woningen die moeilijker te isoleren zijn of bij een gebrek aan hernieuwbare warmtebronnen in de buurt, zullen combinaties van energiedragers en systemen nodig zijn. Ook is het energiegebruik voor LT niet gelijk gedurende het jaar, zo zal de warmtevraag in de koudere wintermaanden hoger zijn dan in de zomer. De piekvraag naar en de piekproductie van duurzame warmte vallen, in tegenstelling tot het huidige energiesysteem op basis van fossiele brandstoffen, vaak niet samen. Pieken in warmtevraag tijdens koude wintermaanden en een warmteoverschot, bij continue warmteleverende bronnen, tijdens warme zomermaanden zorgen voor discrepantie in het systeem.

Voor een betrouwbaar warmtesysteem (baseload) is het belangrijk om voldoende capaciteit en leveringszekerheid te kunnen garanderen, maar ook om piekbelastingen te kunnen opvangen of voorkomen. Het type energiebron, de soort infrastructuur en het type warmteafgiftesysteem hebben hier allemaal een rol in. Daarnaast wordt de behoefte om gebouwen te koelen steeds groter. Het systeem zal daarom, met oog op het integraal verduurzamen van het warmtesysteem, dus ook moeten kunnen voorzien in de koudebehoefte. Naast piekbelastingen is een extreem wisselende warmtevraag, bijvoorbeeld bij een sterk veranderlijke buitentemperatuur of verandering van ruimtegebruik, ook een uitdaging. Een robuust warmtesysteem zal snel moeten kunnen schakelen om piekbelastingen op te kunnen vangen en zowel kunnen koelen als verwarmen. Uitgangspunt is dat er zoveel mogelijk een vergelijkbaar warmtecomfort wordt geleverd als nu met het gebruik van aardgas en CV-ketels.



Figuur 119. Warmtebron: restwarmte



Figuur 120. Energie-infrastructuur: warmtenetten

Elk warmtesysteem kan worden verdeeld in vier cruciale systeemelementen in de transitie naar een (volledig) duurzaam warmtesysteem: het warmteaanbod (duurzame bron), de energie-infrastructuur, het warmteafgiftesysteem en de reductie van de warmtevraag (besparing). De transitie vindt grofweg plaats op deze vier fronten:

1. VERDUURZAMEN WARMTEAANBOD

Bijna negentig procent van de gebouwen in Nederland wordt verwarmd door lokaal opgewekte warmte met behulp van CV ketels -door verbranding van aardgas (ECOFYS 2016). De ambitie is om het gebruik van deze fossiele brandstoffen voor ruimteverwarming tot (vrijwel) nul te reduceren in 2050. Het overgrote deel van de warmtevraag zal dus, om deze ambitie te halen, ingevuld moeten worden met hernieuwbare energiebronnen. Zo kan warmte gewonnen en geproduceerd worden met geothermie, zonnethermie, oppervlaktewater, hernieuwbaar gas of hernieuwbare elektriciteit. Ook zal duurzame restwarmte, daar waar het in ruime mate beschikbaar is, moeten worden benut.

2. AANLEG ENERGIE-INFRASTRUCTUUR

De warmtebehoefte in Nederland (vooral voor ruimteverwarming en warmtapwater) wordt nu nog veelal ingevuld met gas uit Groningen en een groeiend deel door biogas, elektriciteit (warmtepompen) en restwarmte (warmtenetten). Vanaf de jaren 60 van de

vorige eeuw is een landsdekkend gasnetwerk aangelegd in Nederland, dat er voor zorgt dat het gewonnen gas uit Groningen gedistribueerd kan worden door heel Nederland. Met de overgang naar andere typen warmtebronnen zal ook de manier van warmtetransport gedifferentieerder worden. In sommige gevallen kan er mogelijk gebruik gemaakt worden van het huidige gasnetwerk (met aanpassingen), voor transport van bijvoorbeeld biogas, biosyngas, groen gas, waterstof en methaangas. In het geval er wordt voorzien in de warmtevraag door middel van elektriciteit, kan gebruik worden gemaakt van het bestaande elektriciteitsnet, maar is verzwaaring hiervan nodig wanneer het net onvoldoende capaciteit heeft. In alle gevallen zullen met de transitie, naar een duurzaam warmtesysteem, bestaande netten en de benodigde installaties uitgebreid, vervangen, verzaamd, of omgevormd moeten worden om een robuust warmtesysteem te behouden. Ook zal er aandacht moeten worden besteed aan de opslag van energie in bijvoorbeeld batterijen, buffervaten of de ondergrond.

3. AFGIFTESYSTEEM (HTA, LTA EN TAPWATER)

Hoe warmte, en dan in het bijzonder met welke energiedrager, wordt geleverd aan de eindgebruiker is een cruciaal vraagstuk bij de transitie van lagere temperatuur warmte. Zo worden energiedragers zoals gas en/of elektriciteit veelal in pandig omgezet in warmte, door middel van bijvoorbeeld warmtepompen of CV-ketels. En aangeleverd warm water,



Figuur 121. Afgiftesysteem: vloerverwarming



Figuur 122. Reductie warmtevraag: schilisolatie

kan op zijn beurt door middel van een warmtewisselaar afgegeven worden aan het interne warmteafgiftesysteem bij gebouwen, waarbij de aanvoertemperatuur van het warme water (hoge temperatuur 90°C, midden temperatuur 70°C, lage temperatuur 55°C en zeer lage temperatuur <30°C) vraagt om verschillende typen warmteafgiftesystemen. Deze warmteafgiftesystemen kunnen worden verdeeld in twee typen, de traditionele, hoge temperatuur afgiftesysteem (HTA) met veelal radiatoren en convectoren en het lage temperatuur afgiftesysteem (LTA) met bijvoorbeeld vloerverwarming. HTA-systemen zijn relatief goedkoop en vragen weinig ruimte, en LTA-systemen bieden, door een aanvoertemperatuur van maximaal 55°C en idealiter 35°C, een hoger thermisch comfort dan de traditionele systemen. Om te zorgen dat het gebouw met een LTA-systeem net zo snel op temperatuur kan komen als met een HTA-systeem zijn wel ingrijpende en kostbare aanpassingen nodig, denk aan bijvoorbeeld vloerverwarming, wandverwarming, of grotere LT-radiatoren. Daarbij vraagt een LT verwarmingssysteem ook om een zeer goede schilisolatie. Dit zal niet bij elke gebouw realiseerbaar zijn. In meerdere opzichten zal de ruimtelijke impact van deze maatregelen voor bijna iedereen dan ook groot zijn.

De resterende warmtevraag bij huishoudens, naast warmte voor ruimteverwarming, is voor warm tapwater. Vanwege legionellapreventie

dient het water met een temperatuur van tenminste 60°C op het tappunt te worden geleverd. Mogelijk wordt dit in de toekomst verlaagd naar 50 °C (aanpassing NEN 1006). Gebouwen met een HTA-systeem worden gevoed door water warmer dan 60°C en hebben geen aanvullende voorzieningen voor warmtapwater nodig. LTA-systeem dienen daarentegen te worden voorzien van (elektrische- of gas-) naverwarming voor warmtapwater.

4. REDUCTIE WARMTEVRAAG

Om het beoogde doel van een CO₂-arme gebouwde omgeving en glastuinbouw te kunnen behalen is een forse energiebesparing in gebouwen (met name door renovatie) en kassen (met name nieuwe processen en type kassen) onvermijdelijk. Het huidige energiegebruik in de glastuinbouw bedraagt 100 PJ (2015). In het Energieakkoord heeft de glastuinbouw toegezegd 11 PJ aan energiebesparing te realiseren tot 2050. Hiermee ligt de sector op koers om klimaatneutraal te zijn in 2050 (PBL, 2017). Dit neemt niet weg dat de glastuinbouw naar verwachting nog tot 2050 met 7% hectare zal groeien (Trendprognose 2050, PBL). In totaal zal er 2.000 hectare aan nieuwe kassen bijgebouwd worden. Deze nieuwe kassen zijn vanaf 2020 klimaatneutraal.

De verwachting is dat tot 2050 netto nog eens 1 miljoen woningen worden toegevoegd (Primos 2016, midden-voortvarend scenario, CE DELFT & PBL). Iets meer dan een half miljoen woningen zullen worden onttrokken (gesloopt) aan de woningvoorraad tot 2050. Dit zullen naar alle waarschijnlijkheid woningen zijn met een slechte schilisolatie. In totaal worden er dus 1,5 miljoen woningen toegevoegd. Dit zullen, in ieder geval vanaf 1 januari 2021 allemaal bijna energieneutrale gebouwen (BENG) zijn. Dit betekent dat deze woningen een uitstekende schilisolatie zullen hebben, voorzien van een lage temperatuur afgiftesysteem en gereed zijn voor CO₂-vrije warmtelevering. Dit kan zowel een 'individuele' (door middel van warmtepompen) of een 'collectieve' warmtelevering (warmtenetten) zijn. De uitdaging, bij het reduceren van de warmtevraag van huishoudens, ligt vooral bij renovatie van de resterende bestaande woningvoorraad van 6,5 miljoen woningen. Waarbij voor elk warmtesysteem geldt dat het noodzakelijk is om de warmtevraag van gebouwen sterk te reduceren; ongeacht welke energiedrager er gekozen wordt. Wel geldt algemeen dat hoe lager de temperatuur van het afgiftesysteem is, hoe beter het gebouw geïsoleerd moet worden.

DE ONDERDELEN

BRONNEN



biomassa



grootschalige elektriciteitsproductie



lokale elektriciteitsproductie



oppervlaktewaterinname;
±12 °C



glastuinbouw (fresnel);
±40 °C



zonnethermie;
±50 °C



geothermie;
80 - 120 °C



restwarmte;
variërend

CONVERSIE



biovergister



Power-to-Methane



Power-to-Syngas



Power-to-Hydrogen

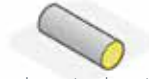


Power-to-Heat

DISTRIBUTIE



aardgasnetwerk



aardgasnetwerk coating



electriciteitsnetwerk



zeer lage temperatuur warmtenet;
(bv. bronnet); 30 - 12 °C



lage temperatuur warmtenet;
50 - 30 °C



middenhoge temperatuur warmtenet;
70 - 50 °C



hoge temperatuur warmtenet;
70 - 100 °C

OPSLAG



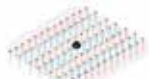
bestaande aardgas
opslagtank



waterstof opslag tanks



opslaginstallatie
(batterijen collectief)



warmte-koude opslag in
de ondergrond; centraal

invloedsfeer gas

invloedsfeer elektriciteit

invloedsfeer warmte

DE ONDERDELEN

GEBOUWGEBONDEN
VOORZIENINGEN



HR-ketel



hybride warmtepomp

INDIVIDUELE
OPSLAG



opslaginstallatie
(batterijpakket per huis)



buffervat
(warmte)

AFGIFTESYSTEEM



warmtapwater



lage temperatuur
warmteafgiftesysteem



hoge temperatuur
warmteafgiftesysteem

ISOLATIE



zeer goed geïsoleerd



isolatie minder bepalend

booster warmtepomp / elektrische
na-verwarmer (tbv warmtapwater)



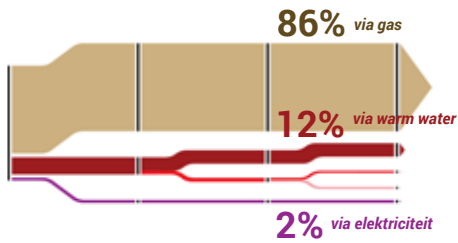
elektrische warmtepomp

DE WARMTESYSTEMEN



Figuur 123.

De aanleg van een lage temperatuur afgiftesysteem, Stuttgart Airport, 2014.
Bron: www.constructionspecifier.com/



Figuur 124. Opbouw warmteverbruik per drager, Nederland 2015. (PBL, 2017)

Dit onderzoek geeft een vergelijking tussen drie hoofdopties voor de lagere temperatuur warmtetransitie, namelijk duurzaam gas, duurzame elektriciteit en warm water. Met een focus bij de afwegingen op de ruimtelijke bepalende factoren, lokale potentie en nabijheid van grote infrastructuur. Ook hybride vormen, combinaties van elektriciteit en warmte, warmte en gas, en gas en elektriciteit, komen aan bod.

Deze verkenning geeft aan waar voor welke energiedrager of energiedragers gekozen kan worden, welke energie-infrastructuur daarvoor nodig is en hoe de verduurzaming voor langere periode gewaarborgd kan worden. Aan de hand van ruimtelijke kenmerken van gebieden in Nederland zal een voorzet gegeven worden in welke gebieden welke keuzes aan de orde zijn en waar naar alle waarschijnlijkheid één warmtesysteem dominant zal worden. Hier kan op zeer korte termijn al worden gestart met de aanleg van infrastructuur ten behoeve van de warmtevoorziening.



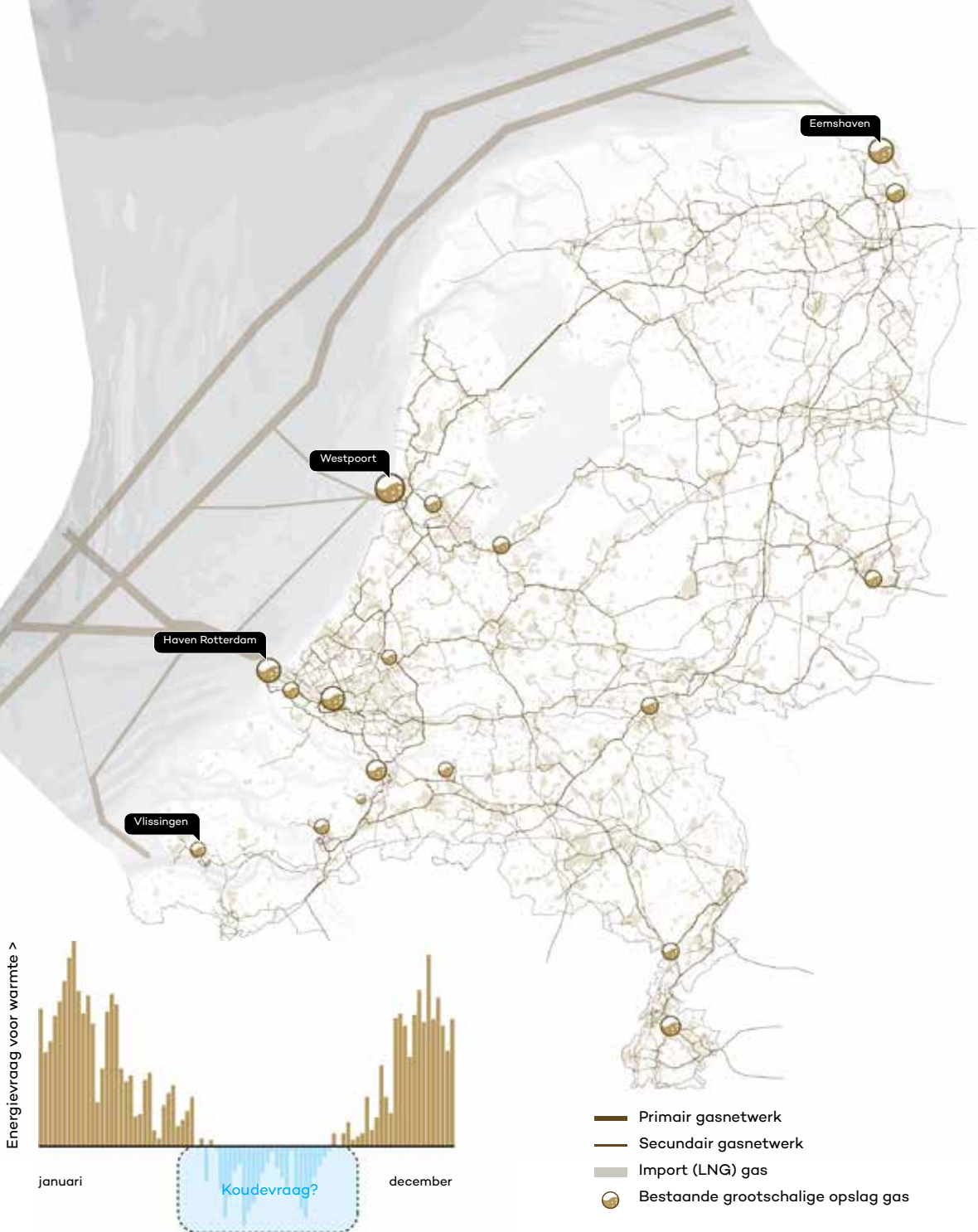
DUURZAAM GAS





Figuur 125. Er is maatwerk vereist voor sommige warmtevragers. Hoe gaan we om met (UNESCO)erfgoed?
Van Nellefabriek, Arjandb / CC BY-SA 3.0 NL

BESTAANDE INFRASTRUCTUUR (AARD)GAS



Nederland beschikt over een uitgebreid gasnetwerk. Vanaf de jaren 60 van de vorige eeuw is een landsdekkend gasnetwerk aangelegd in Nederland dat er voor zorgt dat het gewonnen gas uit Groningen gedistribueerd kan worden door heel Nederland. Op dit moment maakt 86% van alle gebouwen gebruik van het aardgasnetwerk (PBL,2017).

In de transitie naar een duurzaam en betrouwbaar warmtesysteem in Nederland behoort het gebruik van duurzaam gas tot de mogelijkheden. Duurzaam gas kan op verschillende manieren geproduceerd worden. Hoewel op dit moment duurzaam gas niet grootschalig beschikbaar is en de conversieverliezen groot zijn, is niet uit te sluiten dat na 2030 dit een reëel alternatief wordt. Hierbij kan gebruik gemaakt worden van het huidige gasnetwerk, bijvoorbeeld voor het transport van biogas, syngas en methaangas. Ook het transport van waterstof is mogelijk met nieuwe installaties en door het aanbrengen van een coating in het huidige aardgasnetwerk.

Het nadeel van duurzaam gas is dat het niet gebruikt kan worden om gebouwen te koelen. Hiervoor zijn aanvullende voorzieningen nodig. Ander groot nadeel is dat bij de verbranding van duurzaam gas CO₂ vrijkomt, zij het dat het een 'korte kringloop' betreft. Opvang en opslag op zo'n klein schaalniveau lijkt (voorlopig) niet realistisch.

Het voordeel van duurzaam gas voor lagere temperatuur verwarming is dat het via bestaande leidingen en met bestaande hoge temperatuur afgiftesystemen werkt. Hierdoor is het ook denkbaar dat gebouwen en wijken waar het lastig is om het afgiftesysteem aan te passen of vergaande isolerende maatregelen te treffen wel door middel van duurzaam gas verwarmd worden. Denk hierbij aan historische binnensteden of monumenten.

Er zal een afbouw van gasdistributienetten plaatsvinden en de resterende netten moeten mogelijkerwijs geschikt gemaakt worden voor het transporteren van duurzaam gas.

Met name het behouden van het hoogcalorisch-gastransportnet is van belang. Hoogcalorisch gas wordt via de havens, en via de in 2006 in gebruik genomen BBL-pijplijn, geïmporteerd en deze netten worden gebruikt voor in- en export van gas. Nederland heeft voor de toekomst ook de ambitie om gasrotonde van Noordwest Europa te blijven.

PIEKBELASTINGEN

In de zoektocht naar potentiële energieopslag voor duurzame energie is het omzetten van elektriciteit naar andere energiedragers een goede optie. Gas is eenvoudiger op te slaan dan elektriciteit. De havens van Rotterdam, de Eemshaven, Westpoort Amsterdam en Vlissingen beschikken al over enorme gasopslagfaciliteiten die hiervoor gebruikt kunnen worden.

POWER-TO-SYNGAS

Het proces

Power-to-Syngas; ofwel een elektrochemische omzetting van stoom en koolstofmonoxide CO, met behulp van elektriciteit, tot syngas. Syngas kan worden gebruikt voor de productie van synbrandstoffen en hoogwaardige chemicaliën, en biedt een efficiënte technologie om verschillende energieintensieve sectoren te koppelen, zoals transport en de chemische industrie. Het mengsel wordt verkregen door het vergassen van bijvoorbeeld biomassa en water. Via industriële technieken, waaronder pyrolyse en vergassing, kan bio-syngas geproduceerd worden uit vaste of vloeibare biomassa. Syngas kan geïnjecteerd worden in het gasnet, en gemengd worden met aardgas.

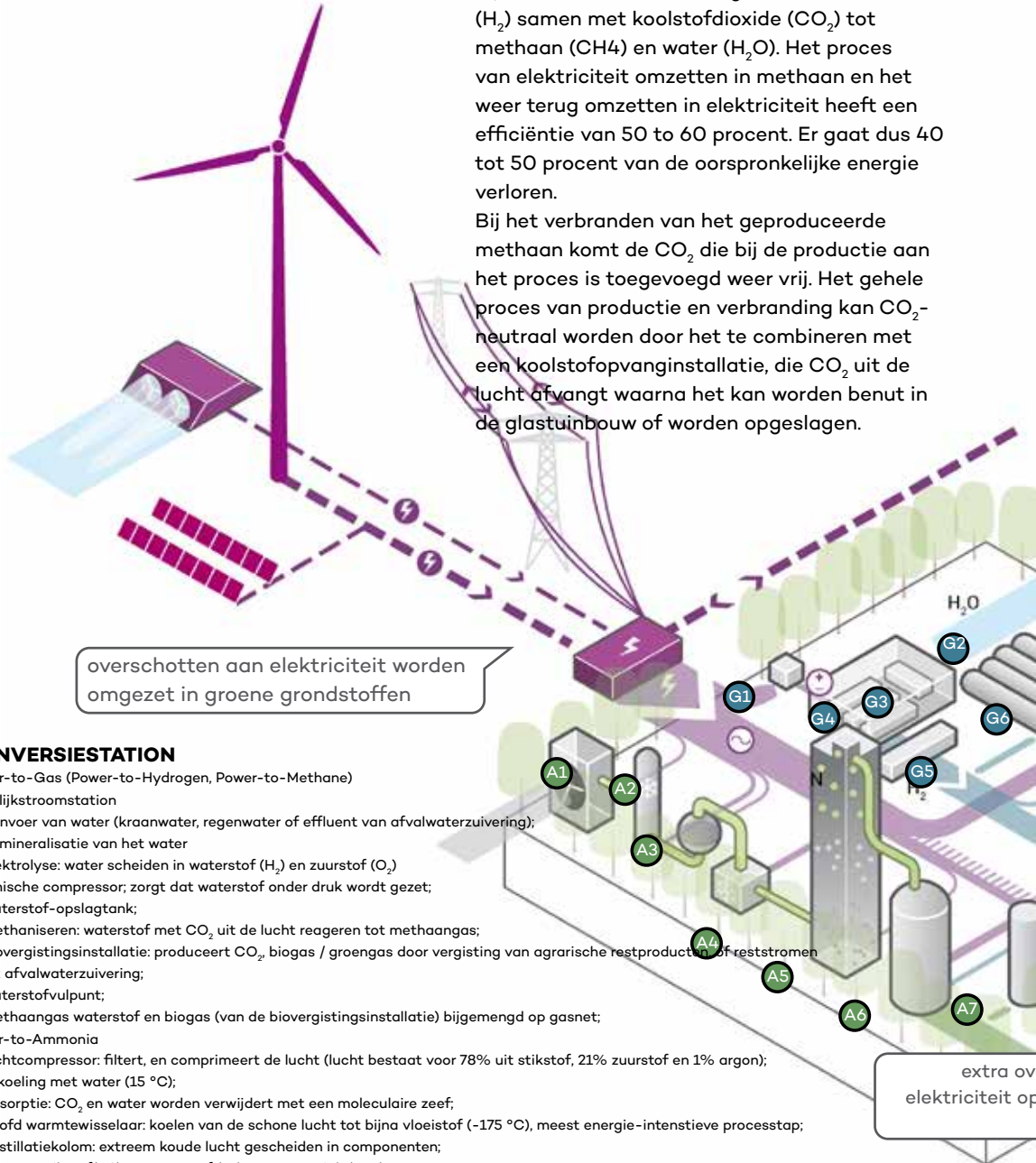
Voorbeeldproject:

Er zijn in Delfzijl plannen (april,2017) om een 12MW power-to-gas pilot project van Gasunie. Het park is een voorbeeldproject hoe om te gaan met piekbelastingen. Power-to-Gas kan op termijn een oplossing bieden voor de opslag van elektriciteit van windturbines of zonnepanelen die niet op het moment zelf door gebruikers kan worden afgenomen. De gasinfrastructuur gaat via het Power-to-Gas concept aldus fungeren als een enorm opslagmedium.

POWER-TO-METHANE*Het proces*

Bij Power-to-Methane reageert waterstof (H_2) samen met koolstofdioxide (CO_2) tot methaan (CH_4) en water (H_2O). Het proces van elektriciteit omzetten in methaan en het weer terug omzetten in elektriciteit heeft een efficiëntie van 50 tot 60 procent. Er gaat dus 40 tot 50 procent van de oorspronkelijke energie verloren.

Bij het verbranden van het geproduceerde methaan komt de CO_2 die bij de productie aan het proces is toegevoegd weer vrij. Het gehele proces van productie en verbranding kan CO_2 -neutraal worden door het te combineren met een koolstofopvanginstallatie, die CO_2 uit de lucht afvangt waarna het kan worden benut in de glastuinbouw of worden opgeslagen.

**CONVERSIESTATION**

Power-to-Gas (Power-to-Hydrogen, Power-to-Methane)

- gelijkstroomstation
- aanvoer van water (kraanwater, regenwater of effluent van afvalwaterzuivering);
- demineralisatie van het water
- elektrolyse: water scheiden in waterstof (H_2) en zuurstof (O_2)
- ionische compressor; zorgt dat waterstof onder druk wordt gezet;
- waterstof-opslagtank;
- methaniseren: waterstof met CO_2 uit de lucht reageren tot methaangas;
- biovergistingsinstallatie: produceert CO_2 , biogas / groengas door vergisting van agrarische restproducten of reststromen
- uit afvalwaterzuivering;
- waterstofvulpunt;
- methaangas waterstof en biogas (van de biovergistingsinstallatie) bijgemengd op gasnet;

Power-to-Ammonia

- luchtcompressor: filtert, en comprimeert de lucht (lucht bestaat voor 78% uit stikstof, 21% zuurstof en 1% argon);
- afkoeling met water (15 °C);
- adsorptie: CO_2 en water worden verwijderd met een moleculaire zeef;
- hoofd warmtewisselaar: koelen van de schone lucht tot bijna vloeistof (-175 °C), meest energie-intensieve processtap;
- destillatiekolom: extreem koude lucht gescheiden in componenten;
- reactor: stikstof(N_2) en waterstof (H_2) tot ammoniak (NH_3);
- ammoniak-opslag in vloeibare vorm;

Overig

Power-to-Formic-acid

- mierenzuur (CH_2O_2) synthese;

Power-to-Methanol

- methanol (CH_3OH) synthese;

○ wisselstroom

○ gelijkstroom

Voorbeeldproject:

Sinds 2013 beschikt Audi AG over een Power-to-Gas installatie van 6 MW. Hierin wordt methaan geproduceerd met behulp van CO_2 afkomstig van een biomassacentrale. Het heeft een capaciteit van 1.300 m³/h waterstof en 300 m³/h methaan. Deze installatie wordt gebruikt om duurzame elektriciteit, als hier een overschot van is, om te zetten in gas en op te slaan in het gasnetwerk.

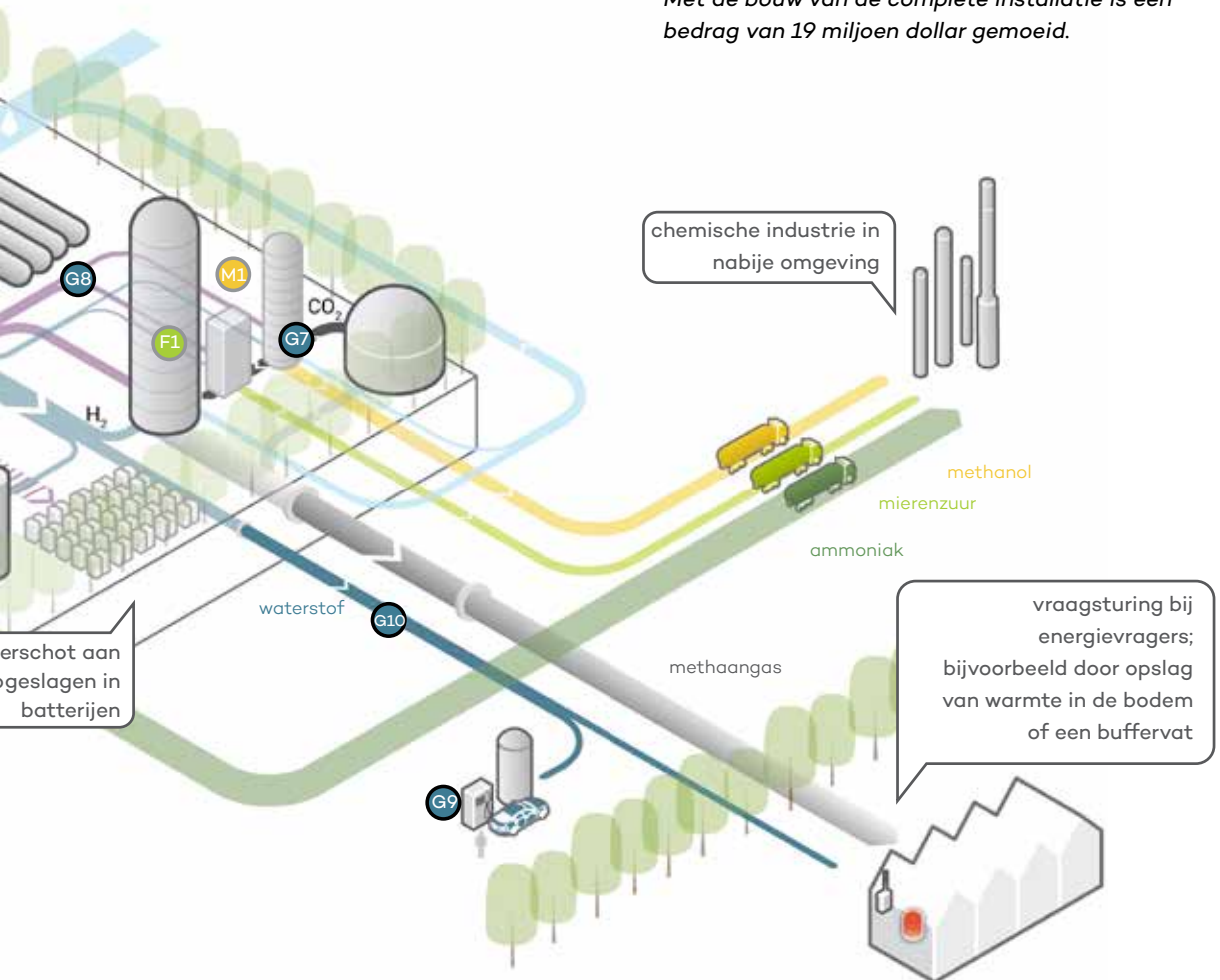
POWER-TO-HYDROGEN**Het proces**

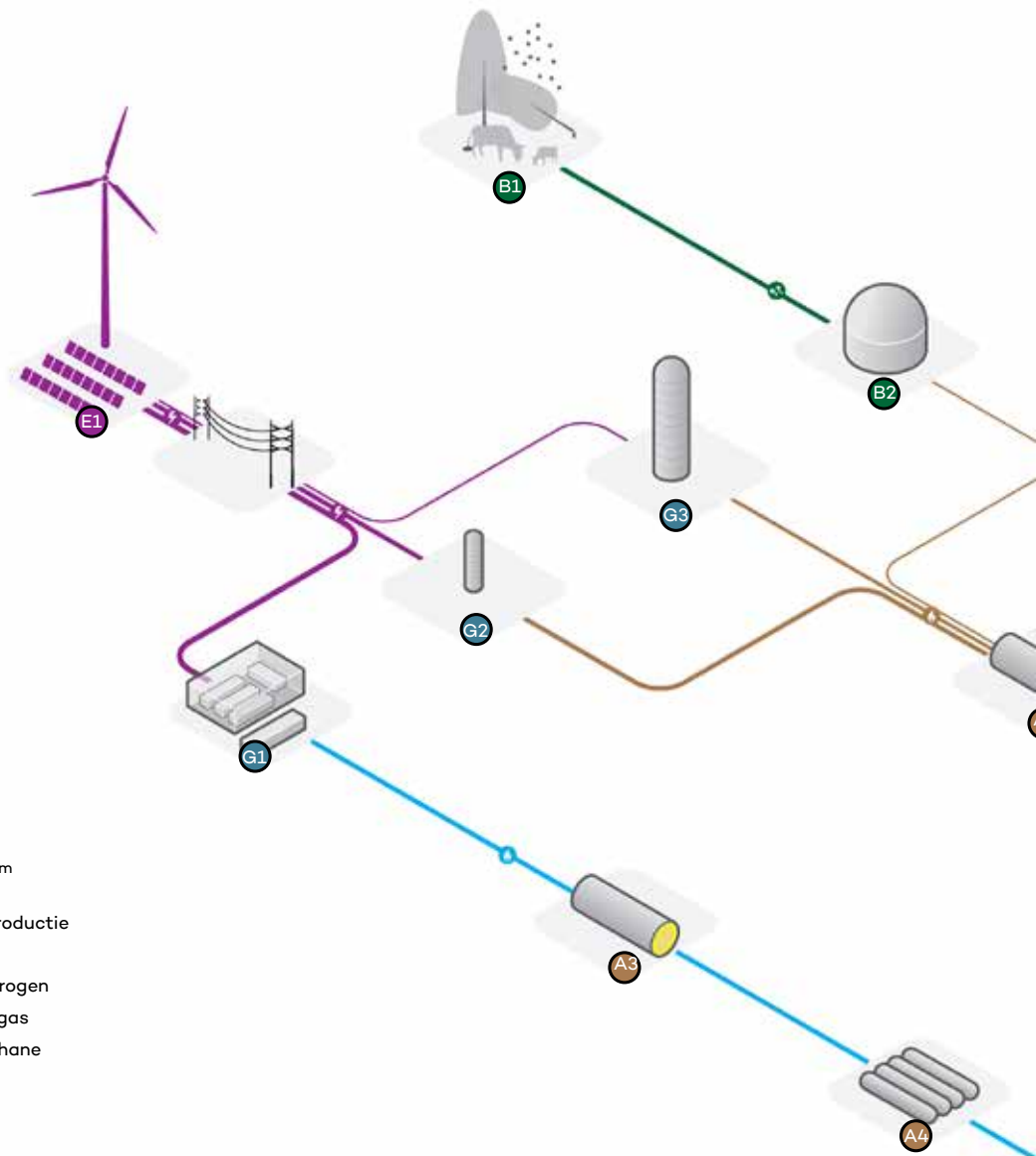
Bij Power-to-Hydrogen wordt via elektrolyse water gesplitst in waterstof (H_2) en zuurstof (O_2). Dit waterstof kan worden bijgemengd met aardgas en in beperkte mate ingevoerd worden op het aardgasnetwerk. Dit mede omdat het explosiever is dan aardgas.

Daarnaast kan het ook gebruikt worden als transportbrandstof of in de industrie. Het proces van elektriciteit naar waterstof en het weer terug omzetten in elektriciteit heeft een efficiëntie van 50 - 70 procent. Er gaat dus 30 tot 50 procent van de oorspronkelijke energie verloren. Door de grote vraag naar elektriciteit is het wenselijk om de installatie dichtbij een productielocatie of hoogspanningsstation te plaatsen.

Voorbeeldproject:

Energiepark Mainz in Duitsland is de eerste Power-to-Gas elektrolyse-installatie van meer dan 1 MW. Het heeft een piekvermogen van 6 MWel en 4 MWel continue capaciteit. Het geproduceerde waterstof wordt gecomprimeerd door een ionische compressor, ter plaatse opgeslagen en ingevoerd in het aardgasnetwerk. Met de bouw van de complete installatie is een bedrag van 19 miljoen dollar gemoeid.





Elektricitessysteem

- Ⓜ grootschalige
- Ⓜ elektriciteitsproductie

Power-to-Gas

- Ⓜ Power-to-Hydrogen
- Ⓜ Power-to-Syngas
- Ⓜ Power-to-Methane

Biomassa

- Ⓜ biomassa
- Ⓜ biovergister

Gasnetwerk

- Ⓜ aardgasnetwerk
- Ⓜ bestaande aardgas opslagtank
- Ⓜ aardgasnetwerk coating
- Ⓜ waterstof opslagtanks

Warmteafgiftesysteem

- Ⓜ CV-ketel
- Ⓜ hoge temperatuur warmteafgiftesysteem (traditionele radiatoren)
- Ⓜ warmtapwatervoorziening
- Ⓜ lage temperatuur warmteafgiftesysteem (vloerverwarming) + zeer goede schilisolatie



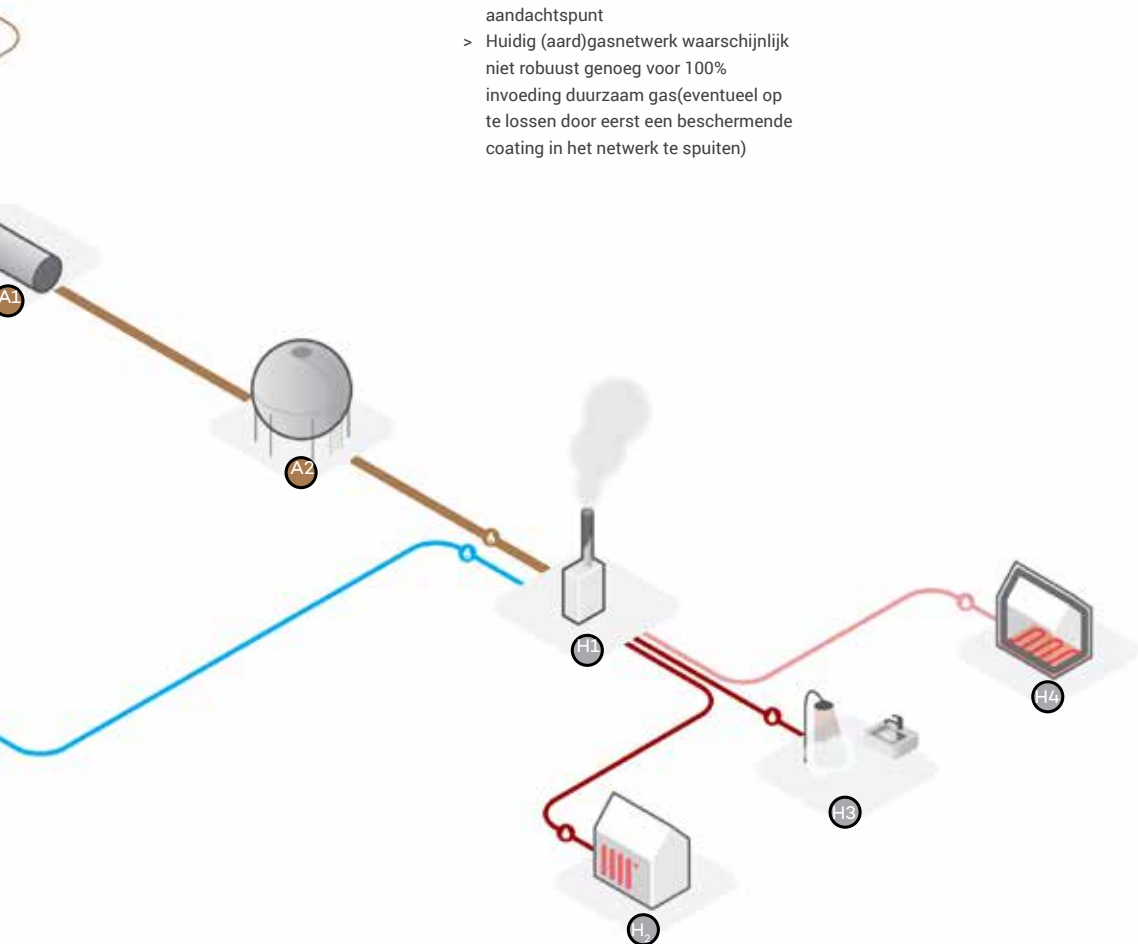
- > Gas kan worden opgeslagen
- > Overschotten aan elektriciteit kunnen worden omgezet in duurzaam gas
- > Piekbelastingen kunnen goed worden opgevangen
- > Bestaande CV ketels kunnen worden gebruikt (behalve waterstof), geen ingrijpende maatregelen per gebouw
- > Ook te gebruiken als transportbrandstof en in de industrie
- > Onomkeerbaar proces van gas naar elektriciteit mbv verbrandingsinstallatie (uitvoer: elektriciteit en water)
- > Bestaande infrastructuur kan worden gebruikt



- > Beperkte hoeveelheid duurzaam gas. Naar alle waarschijnlijkheid is duurzaam gas nodig in de Hogere Temperatuur Transitie
- > Hoge conversieverliezen
- > Gebruik van groene grondstoffen (biomassa, mest) voor energie in plaats van biobased industrie
- > Veiligheid transport (explosiegevaar)
- > Mogelijke desinvestering in bestaande infrastructures die niet bijdragen aan het bereiken van de einddoelen in 2050
- > Biedt geen mogelijkheid tot koeling
- > Voor biogas is de afhankelijkheid van de import van biomassa een aandachtspunt
- > Huidig (aard)gasnetwerk waarschijnlijk niet robuust genoeg voor 100% invoeding duurzaam gas(eventueel op te lossen door eerst een beschermende coating in het netwerk te spuiten)



- > Overschot van elektriciteit kan worden omgezet in duurzaam gas
- > Gas kan dienen als opslagmiddel om piekproductie en piekvraag te compenseren
- > Piekbelastingen kunnen door middel van een piekketel worden opgevangen



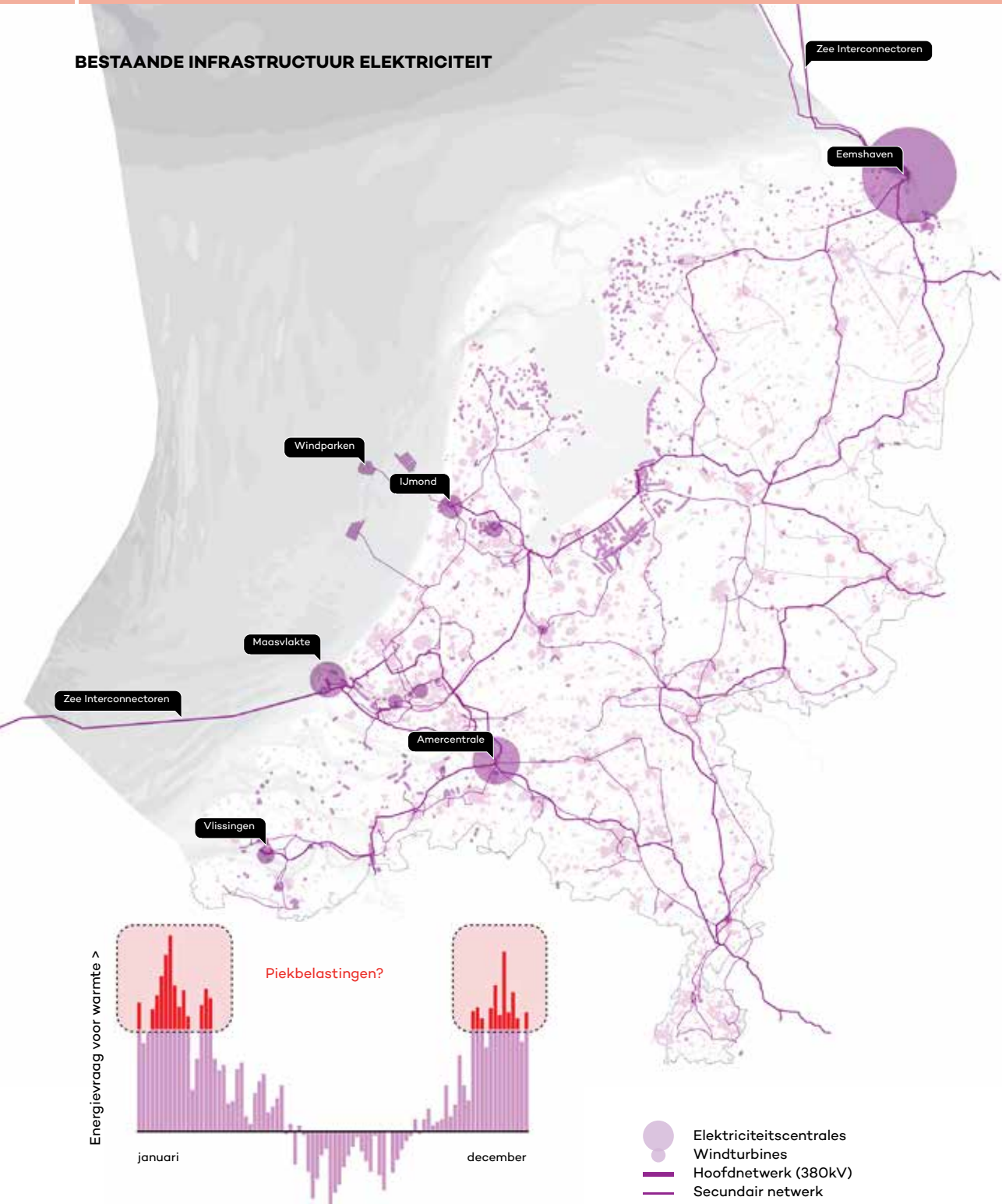
ELEKTRICITEIT



Figuur 126. Individuele maatregelen kunnen voor verrommeling van het straatbeeld zorgen.
Bron: <https://www.inverse.com/article/9092>



BESTAANDE INFRASTRUCTUUR ELEKTRICITEIT



Een alternatief voor het verbranden van gas om mee te verwarmen, is het benutten van de aanwezige warmte (energie) in het grondwater en in de lucht. Met behulp van elektrische warmtepompen (eWP) kan warmte die zich buiten het gebouw bevindt via een lage temperatuur afgiftesysteem worden gebruikt voor ruimteverwarming.

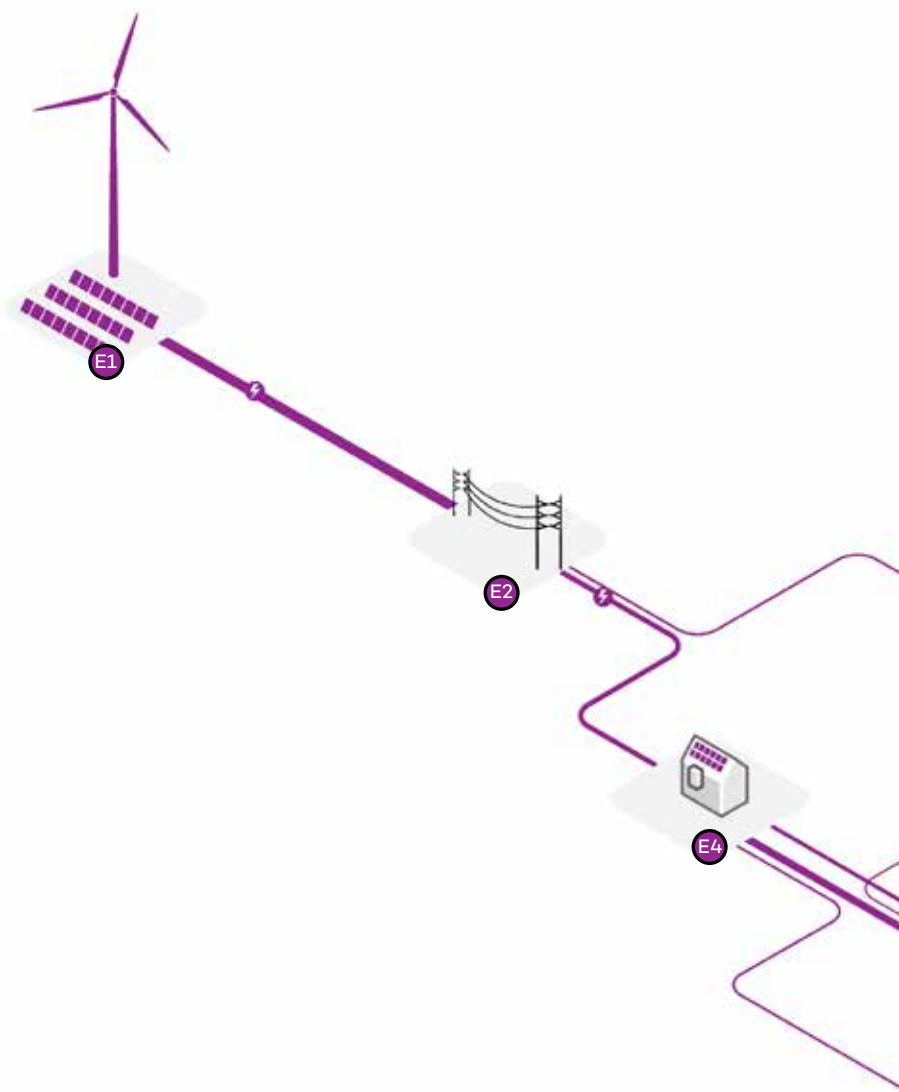
Nederland beschikt over een uitgebreid elektriciteitsnetwerk en de laatste jaren is het hoogspanningsnet uitgebreid met meerdere en zwaardere (380kV) verbindingen. Mede dankzij het groeiend aantal elektrische warmtepompen, stijgt de elektriciteitsvraag aanzienlijk. Op dit moment wordt 2% van de huishoudens door middel van elektrische warmtepompen voorzien van warmte en koude. Met het oog op de plannen voor toekomstige grootschalige productie van duurzame elektriciteit, in combinatie met een landsdekkend en robuust hoogspanningsnet, lijkt deze vorm van warmtevoorziening in eerste instantie goed te implementeren. Echter kunnen piekbelastingen, door elektrische warmtepompen of de piekproductie van elektriciteit, zorgen voor elektriciteitsuitval. Voor een robuust en betrouwbaar elektriciteitssysteem moet er bij deze oplossing fors geïnvesteerd worden in het elektriciteitsnetwerk (zowel hoogspanning-, maar zeker ook middenspanning en laagspanningsnet), slimme sturingssystemen en in opslagcapaciteit. Straten moet open voor het verzwaren van het laagspanningsnet, en door de toename van de elektriciteitsvraag is er extra behoefte aan (grootschalige) elektriciteitsproductie. Een overschot aan elektriciteit kan deels op het hoogspanningsnet gebufferd worden. Dit overschot wordt eventueel elders in Nederland gebruikt of gaat naar België en/of Duitsland. De buffermogelijkheid van het net is door de Groene Rekenkamer geraamd op 20%.

In de gevallen van ruimteverwarming op basis van elektriciteit moeten gebouwen grootscheeps geïsoleerd worden, idealiter naar energielabel A(+) om deze manier van verwarmen efficiënt te maken.

Dit vergt aanzienlijke investeringen en heeft veel ruimtelijke impact in de gebouwen en/of aan de buitenzijde. Daarnaast moeten er (zeer) lage temperatuur warmteafgiftesystemen worden aangelegd. Het is zeer de vraag is of deze optie haalbaar is voor alle gebouwen in Nederland, financieel bezien en vanuit ruimtelijke kwaliteit. Dit is zeker voor monumentale en historische bebouwing een probleem. Het risico bestaat daarnaast dat er meer elektrische warmtepompen worden aangeschaft met een groter vermogen en hogere elektriciteitsvraag, om gebouwen toch voldoende te kunnen verwarmen bij een energielabel lager dan A, waardoor nog meer elektriciteit nodig is.

Voor nieuwbouw lijkt de elektrische warmtepomp wel de meest efficiënte warmtevoorziening. Deze woningen en overige gebouwen kunnen goed geïsoleerd worden en beschikken over een LT-afgiftesysteem. Warm tapwater kan geproduceerd worden met een onafhankelijke warm tapwater-warmtepomp (BWP), een elektrische naverwarmer, of een combiwarmtepomp (zowel voor ruimteverwarming als warmtapwater). Onvermijdelijke aanschaf, door particulieren, van de goedkope maar luidruchtige lucht/water-warmtepomp, met een buitenunit, kan zorgen voor verrommeling van het straat- en gevelbeeld en geluidsoverlast, zeker als meerdere units in elkaars nabijheid worden geplaatst. Op langere termijn kan innovatie zorgen voor kleinere en stillere pompen.

Eventueel kan er ook geïnvesteerd worden in een buffervat gekoppeld aan de warmtepomp, zodat er altijd direct voldoende warm water is. Eventueel plaatsen van in pandige (seizoens) buffers zorgen ervoor dat er warmtevoorraad kan worden opgebouwd het gehele jaar door. Voldoende buffer voor de piekvraag in de winter, zorgt ervoor dat een kleinere warmtepomp afdoende is. Tevens wordt zo de elektriciteitsvraag voor de warmtepomp verspreid over het hele jaar.



TRANSITIE MET ELEKTRICITEIT ALS DRAGER

Elektriciteitssysteem

- ① grootschalige elektriciteitsproductie
- ② elektriciteitsnetwerk
- ③ opslaginstallatie (batterijen collectief)
- ④ opslaginstallatie (batterijpakket per huis + lokale elektriciteitsproductie bv. zonnepanelen op dak)

Warmteafgiftesysteem

- ⑤ elektrische warmtepomp
- ⑥ hybride warmtepomp (elektriciteit met "top" op van gas)
- ⑦ booster warmtepomp / elektrische na-verwarmer (tbv warmtapwater)
- ⑧ warmtapwatervoorziening
- ⑨ lage temperatuur warmteafgiftesysteem + zeer goede schilisolatie



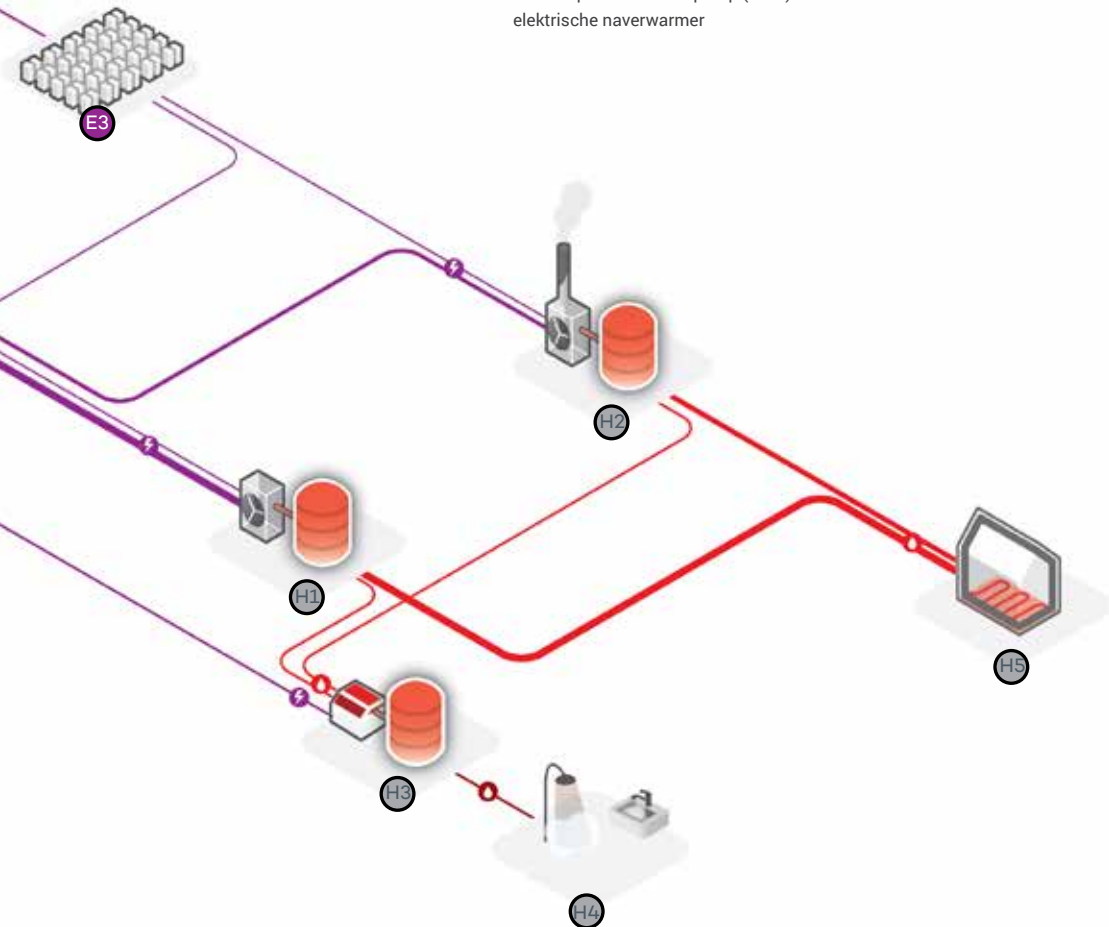
- > Het elektriciteitsnetwerk moet al aangepast worden voor duurzame elektriciteit, meekoppelkans
- > Eén systeem, eenvoudiger te implementeren
- > Koeling mogelijk in combinatie met eWP en LTA
- > Geschikt voor nieuwbouw en mogelijk ook (met aanpassingen) voor de naoorlogse voorraad
- > Eenvoudig te implementeren; eenieder kan op eigen initiatief in een individuele oplossing voorzien



- > Verrommeling van de buitenruimte door individuele warmtepompen
- > Verregaande maatregelen nodig op individuele schaal, isolatie en (Z)LT-afgiftesysteem
- > Piekbelasting moeilijk op te vangen, verzwarend van het elektriciteitsnetwerk nodig
- > Sommige gebouwen kunnen niet kostenefficiënt worden voorzien van verregaande isolatie en een LT-afgiftesysteem
- > eWP niet geschikt voor een HT-afgiftesysteem
- > eWP alleen geschikt voor (zeer) goed geïsoleerde gebouwen
- > Extra voorziening nodig voor tapwater, warm tapwater warmtepomp (BWP) of elektrische naverwarmer



- > Piekbelasting kan door elektrische warmtepompen worden opvangen
- > Koeling door middel van warmtepompen mogelijk
- > Warmtapwater mogelijk door elektrische naverwarming met buffervat

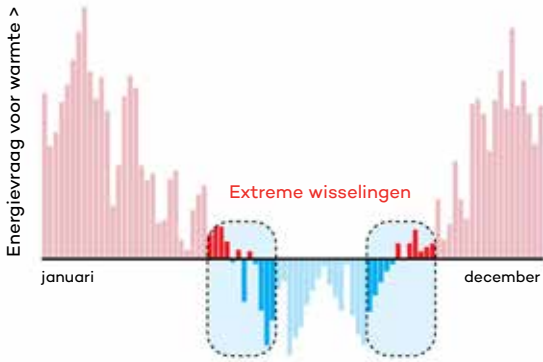
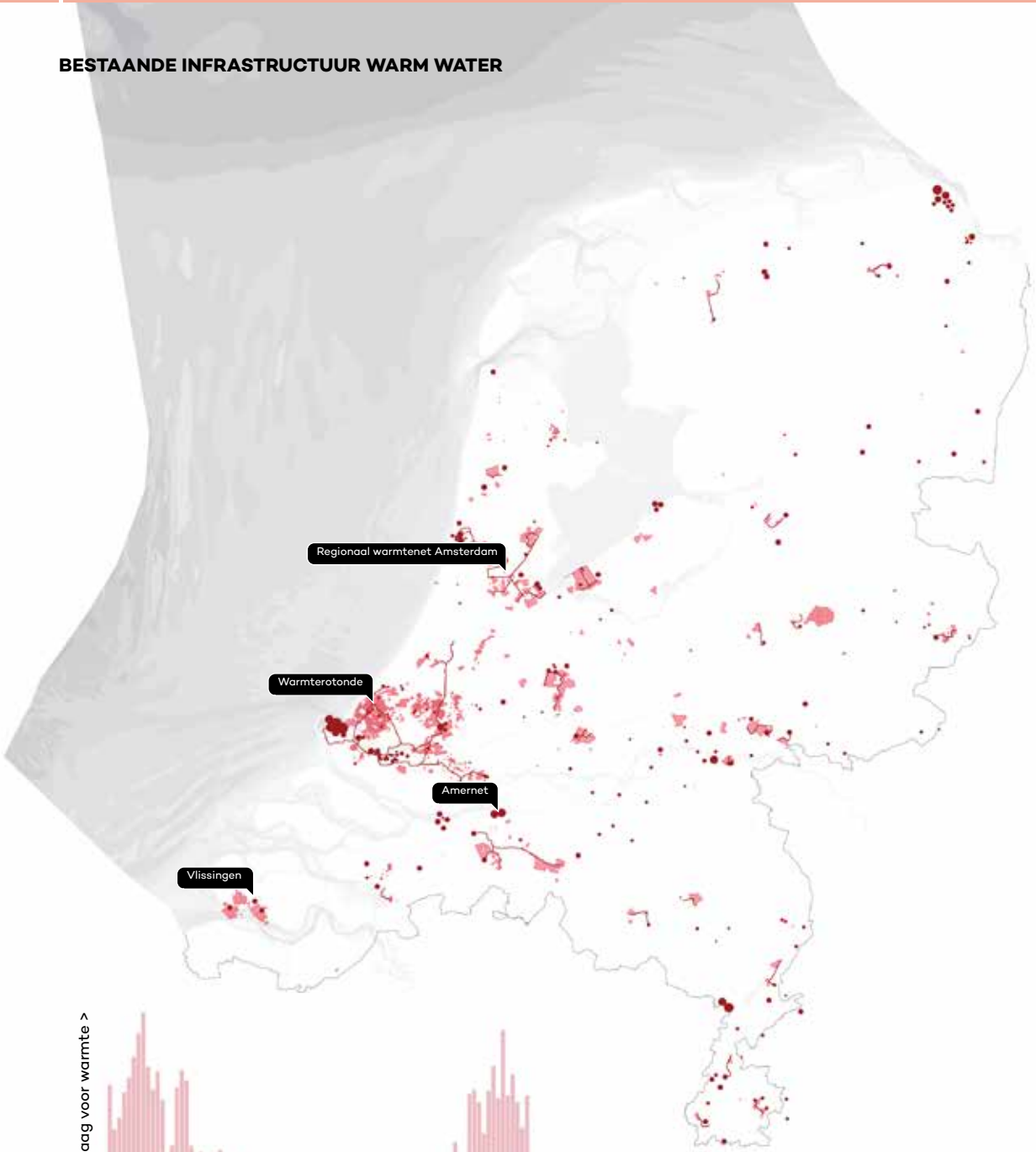


WARM WATER





BESTAANDE INFRASTRUCTUUR WARM WATER



- Bestaande HT-transportleidingen
- Bestaande warmtenetten
- Restwarmtebronnen
- Geothermieputten

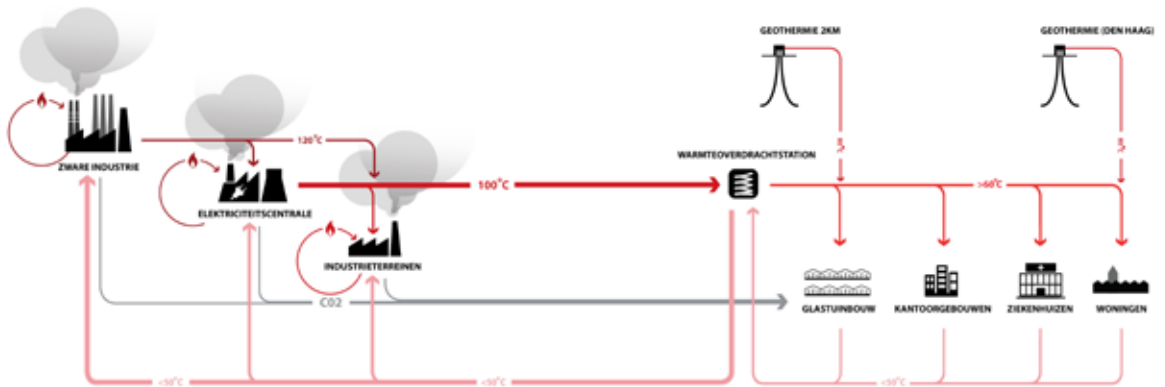
Voor ruimteverwarming is het niet nodig dat het verwarmingswater een hoge tot zeer hoge temperatuur heeft, zoals nu gebruikelijk, laat staan dat deze hoge temperatuur is opgewekt middels een gasvlam van 1500 °C. De keuze voor het soort alternatief voor aardgas is in belangrijke mate afhankelijk van de inrichting van een gebied. Zo is voor een warmtenet een hoge dichtheid en zekere omvang van de vraag nodig. Door het naoorlogse verstedelijkingsbeleid (gebundelde deconcentratie) is Nederland ruimtelijk gezien goed geschikt voor grootschalige implementatie van warmtenetten. Voor collectieve voorzieningen voor warmte-opwekking is een warmtenet noodzakelijk dat de warmte van de bron naar de woningen (en andere afnemers) distribueert. Warmtenetten bestaan uit een afgiftesysteem op wijkniveau, een distributienet (de hoofdverbindingen tussen afgiftesysteem en warmtebron(nen) en de bijbehorende warmteoverdrachtstations. Een warmtenet is een leidingennetwerk dat producenten van warmte verbindt met afnemers. Dat kan op uiteenlopende manieren, afhankelijk van de afstand tussen bron en bestemming, de gewenste temperatuur, de benodigde capaciteit, en cetera. Binnen een warmtenet maken we onderscheid tussen transportnetten en distributienetten. Transportnetten of -leidingen zijn weinig vertakt en transporteren warmte over grote afstanden naar warmteoverdrachtstations (WOS). Van daaruit wordt warmte via doorgaans sterk vertakte distributienetten naar de eindgebruikers getransporteerd (PBL, 2017). Naast de nu gebruikte restwarmtebronnen van hoge temperatuur lijkt er in Nederland ook een groot potentieel te zijn voor het benutten van aardwarmte (geothermie). Daarnaast kunnen kleinere bronnen in de gebouwde omgeving op een warmtenet aangesloten worden, denk bijvoorbeeld aan de restwarmte door de koeling van supermarkten, ziekenhuizen of kantoren.

Grofweg kunnen warmtenetten verdeeld worden in vier typen netten, een HT-warmtenet, een cascaderingsysteem, LT-warmtenetten en bronnetten. Niet elke warmtebron kan aangesloten worden op type warmtenet en sommige systemen vragen om een bepaalde schaal. Wel heeft elk type warmtenet voordelen die kunnen worden meegenomen in het transitiepad. De volgende bladzijden gaan dieper hierop in.

In Nederland wordt al 12% van de warmtebehoefte via warmtenetten vervuld. Dit gebeurt voornamelijk door het gebruik van hoge temperatuur- of stoomnetten in de industrie. In 2015 waren ongeveer 350 duizend woningen (5% van de woningvoorraad) aangesloten op warmtenetten op basis van restwarmte (o.a. van industrie, afvalcentrales en elektriciteitscentrales).

Bijkomende uitdaging bij het gebruik van warmtenetten is het bufferen van energie. Restwarmte en geothermie kunnen 24 uur per dag worden benut. Zonnethermie daarentegen levert overdag het meeste op en is vooral nodig tijdens de avond en ochtenduren. Deze warmte dient gedurende de dag daarom gebufferd te worden. Ook wisselt de warmtevraag gedurende het jaar. Hier zijn grotere seizoenbuffers voor nodig. Een optie is het bufferen van warmte in de ondergrond of het converteren naar een andere energiedrager, bijvoorbeeld gas.

Piekbelastingen kunnen worden opgevangen met slimme regeltechniek waarbij het (trage) warmtesysteem anticipeert op piekbelasting of extreme wisselingen in behoefte. Op het moment zijn de meeste grootschalige warmtenetten voorzien van hulpwarmtecentrales (boosters) voor de piekvraag of als (gedeeltelijke) back-up. Deze worden nu gestookt op aardgas. In de toekomst kan dit plaatsvinden door Power-to-Heat oplossingen, of een WKK (warmte-kracht-koppeling) op duurzaam gas. Deze kunnen zowel in het primaire net, als in het secundaire net staan.



HOGE TEMPERATUUR WARMTENET (HT) 100 - 70°C

Bestaande warmtenetten in Nederland zijn over het algemeen hoge temperatuur (> 60°C) warmtenetten. Deze worden doorgaans gevoed door een of meerdere (vaak fossiel gestookte) grote (rest)warmtebronnen. Hoogwaardige warmte (hoge temperatuur) maakt het mogelijk om met een minimaal verlies warmte over grote afstand te transporteren. Voorbeeld hiervan is het besluit om zowel het Westland, Den Haag en Leiden verder aan te sluiten op het warmtenet (de warmerotonde) dat gevoed wordt door de Rotterdamse haven. Er is berekend dat de hoofdtransportleiding, met een afstand van 43km, slechts één graad warmteverlies oplevert. Hoewel hoogwaardige warmte dus beter te transporteren is over lange afstand, heeft het als nadeel dat bronnen van een lagere temperatuur niet aan te sluiten zijn. Dit beperkt het aanbod van duurzame warmte. Slechts aardwarmte vanaf 80 graden of meer kan worden aangesloten op dit systeem. Bovendien is er een mismatch in temperatuur aanbod en vraag waardoor het systeem minder efficiënt is. Hoogwaardige warmte wordt gebruikt voor het (laagwaardig) verwarmen van gebouwen. Voordeel van hoge temperatuur warmtenetten

echter is dat er geen aanvullende maatregelen nodig zijn op gebouwniveau. Dat maakt het als optie aantrekkelijk voor de moeilijk te isoleren bestaande bebouwingsvoorraad, zoals de historische binnensteden of vooroorlogse woningen. Het bestaande, traditionele HT-warmteafgiftesysteem alsook warmtapwater kunnen direct worden gevoed met warmte van een HT warmtenet.



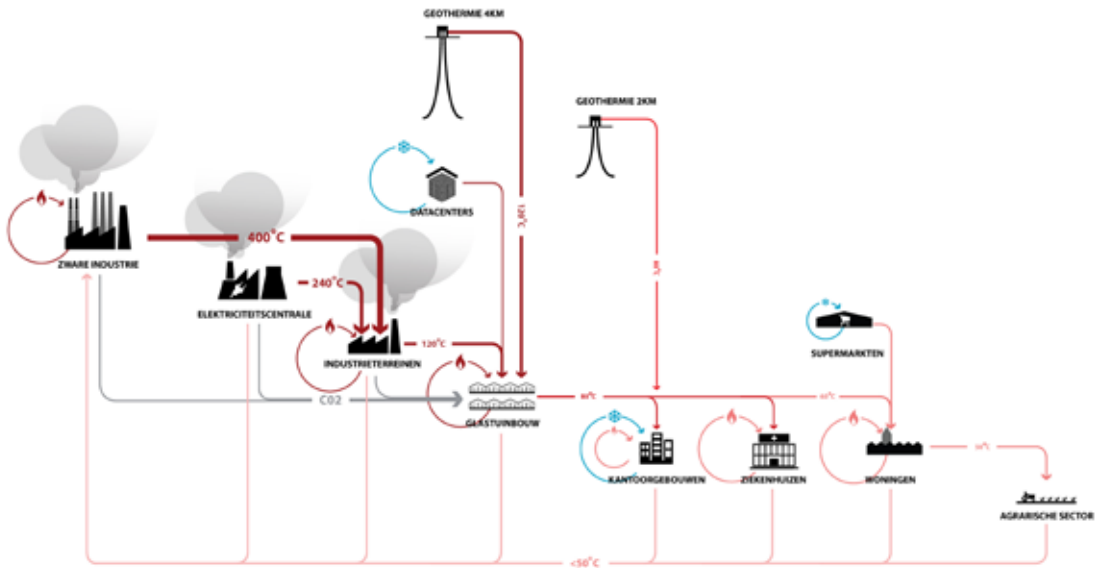
- > HT warmte is goed over lange afstanden te transporteren
- > Geen aanpassing nodig aan het afgiftesysteem in gebouwen
- > Geen extra isolerende maatregelen op gebouwniveau noodzakelijk



- > Veel isolatie nodig voor hoofdbuisleidingen over lange afstanden
- > Bronnen van een lage temperatuur kunnen niet worden aangesloten
- > Mismatch in temperatuur vraag en aanbod maakt het systeem minder efficiënt



- > Hoofdtransportleidingen over lange afstand mogelijk met minimaal warmteverlies



CASCADERINGSPRINCIPE RESTWARMTE EN GLASTUINBOUW

Voor het optimaal functioneren van een grootschalig collectief warmtenet is het van belang dat de warmte die wordt opgewekt ook efficiënt wordt gebruikt. Bij het aankoppelen van warmtevragers aan het warmtenet moet goed worden nagedacht welke temperatuur van warmte waar wordt ingezet. Huidige warmtenetten werken door middel van het 'flushen' van warmte, waarbij aanbod van hoogwaardige warmte direct wordt gekoppeld aan de lage temperatuur warmtevraag van huishoudens. Efficiënter is het om warmte te cascaderen, waarbij een aanbod van hoge temperatuur warmte bijvoorbeeld eerst langs andere industrie of glastuinbouw wordt gevoerd alvorens het de huishoudens bereikt (Dobbelsteen, 2010). Het cascaderen van warmte in de industrie zorgt voor efficiënt gebruik van hoge temperatuur warmte. Hierna kan door middel van een warmteoverdrachtstation (WOS) warmte worden gewisseld met een lagere temperatuur warmtesysteem. Dit warmtesysteem is vooral geschikt op plekken waar verschillende warmtevraagprofielen

aanwezig zijn zoals industriegebieden en zal dus niet grootschalig toegepast worden. Het nadeel van dit systeem is dat het afhankelijk is van enkele hoogwaardige warmtebronnen en dat er veel pijpleidingen nodig zijn om vraag en aanbod direct te koppelen. Dit vraagt om veel ruimtelijke coördinatie.



- > Efficiënt gebruik van hoge temperatuur warmtevraag en aanbod
- > Vestigingsvoorwaarde/kansen voor groeigebieden industrie en glastuinbouw
- > Kan gekoppeld worden aan een LT warmtesysteem en andere warmtebronnen
- > Kans voor het (deels) aankoppelen van lagere temperatuur bronnen



- > Veel pijpleidingen nodig om vraag- en aanbodtemperatuur direct te koppelen
- > Vraagt veel ruimtelijke coördinatie
- > Gevoelig voor wegvallen grote puntbronnen



- > Kans voor grootschalige industriegebieden met verschillende warmtevraagprofielen
- > Na cascaderen kan warmte door middel van een WOS gewisseld worden met LT-warmtenetten ten behoeve van verwarming gebouwde omgeving

BOUWSTEEN



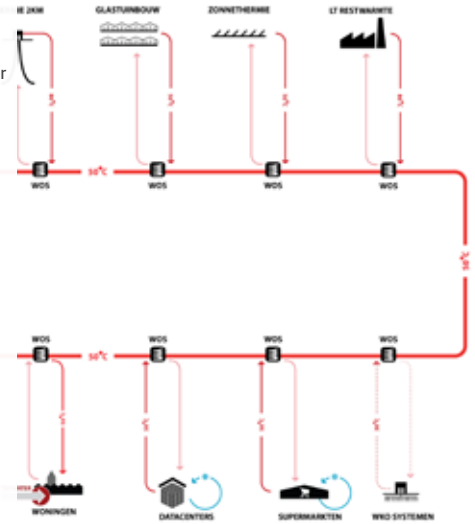
- > De potentie van duurzame bronnen wordt beter benut
- > Robuust systeem door kleinere en meerdere bronnen
- > De hoofdtransportleiding en het warmtenet hoeven aanzienlijk minder geïsoleerd te worden
- > Piekbelastingen worden opgevangen door een ander systeem, mix van systemen is robuust



- > Verregaande maatregelen nodig op gebouwniveau, t.b.v. het LT-afgiftesysteem
- > Verregaande isolatie maatregelen nodig op gebouwniveau
- > Aanvullende voorziening nodig voor tapwater
- > Hoge temperatuur warmte uit geothermie en restwarmte, wordt gedowngraded naar 50 graden
- > Meer transportleidingen nodig omdat er meerdere bronnen zijn.
- > Lage temperatuur warmte heeft naar verhouding meer energieverlies als het getransporteerd wordt over lange afstanden



- > Wijken waar verregaande isolatiemaatregelen en het aanpassen van het afgiftesysteem mogelijk zijn
- > Goed geïsoleerde gebouwen met een laag warmtegebruik.



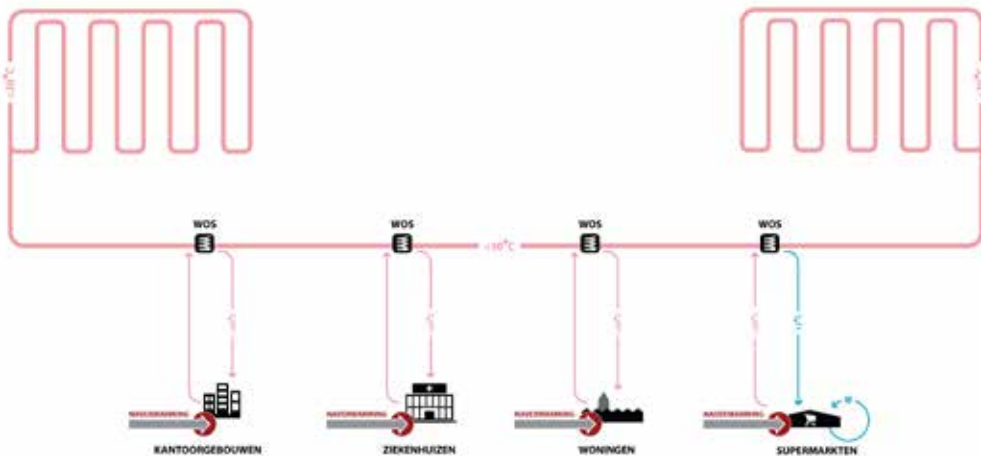
LAGE TEMPERAATUUR WARMNET 50 - 30°C

Lagere temperatuur warmtenetten werken met een temperatuur van 30 tot 50 graden en zijn niet afhankelijk van warmte (warm water) met een hoge invoertemperatuur van bijvoorbeeld warmtekrachtkoppeling of restwarmte. Dit biedt de mogelijkheid om gebruik te maken van meerdere kleinere, duurzame bronnen zoals zonnethermie. Deze bronnen zijn vaak op lagere temperaturen beschikbaar dan tot nu toe gebruikelijk is in (hoge temperatuur) warmtenetten. Door de introductie van lage temperatuur warmtenetten in Nederland, kan het grote potentieel aan deze duurzame warmtebronnen in de directe leefomgeving, efficiënt ontsloten en gedistribueerd worden naar lage temperatuur warmteafnemers zoals huishoudens. Naarmate er meer maar kleinere warmteproducenten op warmtenetten worden aangesloten, zal de behoefte aan transportnetten groter worden. Hoewel dit systeem veel flexibeler is aan de aanbodzijde vragen lage temperatuur warmtenetten wel om verregaande aanpassingen aan de vraagzijde. Zo zullen de gebouwen zeer goed geïsoleerd dienen te worden en zal het warmteafgiftesysteem geschikt moeten zijn voor deze lage temperatuur. Het isoleren of het aanbrengen van een LT-afgiftesysteem zoals vloerverwarming is niet bij elk gebouw mogelijk.

Voor nieuwbouw is dit systeem echter uitermate geschikt.

Aanvullende energievoorziening

Bij het aansluiten van woningen op lage temperatuur warmtenetten is er voor warmtapwater een alternatieve of aanvullende oplossing nodig. Warm water temperaturen onder de 60°C zijn, in verband met de huidige regels rondom Legionella preventie, niet geschikt om als warmtapwater te gebruiken (ECOFYS, 2016). Om deze reden moeten woningen bij een lage temperatuur warmteaansluiting aparte maatregelen treffen om warmtapwater te gebruiken. Op dit moment wordt hiervoor meestal naverwarming, via een elektrische- of gasboiler of een (booster)warmtepomp in combinatie met warmwateropslag, toegepast (ECOFYS, 2016). Vergeleken met een complete all-electric warmtevoorziening, zoals een combiwarmtepomp, gebruikt deze bijkomende warmtevoorziening slechts een fractie van de energie, aangezien de ingangstemperatuur al rond de 50 graden is. Er hoeft dus slecht verwarmd te worden om water van 50 naar 60 graden te verwarmen voor warmtapwater. Door deze aanvullende (elektrische) voorziening zal de piekbelasting van het elektriciteitsnet minimaal zijn.



BRONNET 30 - 12°C

Een bronnet is een collectieve warmtevoorziening op basis van warmte uit oppervlaktewater (± 12 graden Celsius, en valt met deze temperatuur nog onder de warmtewet), gedistribueerd met een collectief 'warmtenet' gevoed door maar één bron (oppervlaktewaterinname en mogelijk grondwater). Door de vele rivieren, grote meren en de lange kustlijn is de energetische potentie van het gebruik van oppervlaktewater als warmtebron in Nederland vrij groot, ongeveer 40 PJ (BRON). Ook zogenaamde riothermie; energie/warmte gewonnen uit effluent van afvalwaterinstallaties valt onder de noemer bronnet.

Een bronnet lijkt nog het meest op het huidige waterleidingnetwerk, omdat het niet geïsoleerd hoeft te worden voor de 'zeer lage temperatuur' warmte van ± 12 C. Het voordeel hiervan is dat het bronnet stukken goedkoper is dan een geïsoleerd 'traditioneel' warmtenet. Bij het toepassen van een bronnet, zitten de kosten vooral bij de afnemers, in verregaande isolatiemaatregelen en het aanpassen van het warmteafgiftesysteem in huis. De temperatuur vanuit het bronnet wordt individueel per afnemer of groep afnemers verhoogd met een warmtepomp (mogelijk in combinatie met zonneboilers). Om vervolgens via het warmteafgiftesysteem de ruimten op te warmen.

Eventueel kan het bronnet in de zomer gebruikt worden om de ruimten in panden te koelen. Worden warmtepompen in combinatie met bronnetten gebruikt in plaats van lucht, dan zorgt dit voor een reductie van 42% in de elektriciteitsbehoefte, in vergelijking met alleen elektrische (combi)warmtepompen, omdat vanaf de basistemperatuur van circa 12 graden verwarmd wordt.



- > Niet afhankelijk van nabijheid van verschillende bronnen, hier is riolering-, grond- of oppervlaktewater de bron.
- > Mogelijkheid tot koelen
- > Buisleidingen hoeven niet geïsoleerd te worden.
- > Substantieel minder gebruik van elektriciteit voor ruimteverwarming (ten opzichte van all-electric), doordat gebruik wordt gemaakt van basistemperatuur water van ± 12 °C die verder opgewarmd wordt



- > Aanvullend energie nodig voor het naverwarmen voor ruimteverwarming
- > Aanvullend energie nodig voor het naverwarmen voor tapwater
- > Verregaande isolatie maatregelen nodig op gebouwniveau



- > Waar geen warmtebronnen (restwarmte, geothermie) aanwezig zijn maar wel uitvoering geïsoleerd en het afgiftesysteem aangepast kunnen worden, is het aanleggen van een bronnet in combinatie met warmtepompen een goede optie.



Figuur 128. Warmteopslag voor 14.000 woningen in Arnhem. Bron: Nuon/Jorrit Lousberg



- > Bij seizoensopslag ook voldoende warmte beschikbaar tijdens de koudere wintermaanden



- > Snelheid waarmee piekbelastingen kunnen worden voorkomen onbekend. Mogelijk slimme aansturing nodig



- > Aansluiting op een warmtebron of warmtenet
- > Gebruik voor seizoenbuffering en tegengaan piekbelasting

WARMTEOPLAG

Warmteopslag kan zowel bovengronds als ondergronds en eventueel gecombineerd met koude zoals bij Warmte koude opslag (WKO) in de bodem. We beschrijven hier opslagtechnieken van thermische energie met temperaturen van 10 tot 100 graden Celsius.

Warmtebuffer bovengronds

Een buffervat kan zowel kleinschalig thuis, als grootschalig in grote warmteopslag.

Warmtebuffer ondergronds

Een voorbeeld van warmteopslag ondergronds is een WKO, die wordt gebruikt om gebouwen te verwarmen en/of koelen. Dit is een methode om energie in de vorm van warmte of koude op te slaan in de bodem. Hierbij wordt gebruik gemaakt van watervoerende lagen in de bodem. In de zomer wordt het koele grondwater gebruikt om gebouwen te koelen.

Het warme water wordt opgeslagen in de bodem tot het weer nodig is voor ruimteverwarming in de winter. Dit kan zowel in een open systeem in de watervoerende lagen als in een gesloten systeem in een gegraven ondergrondse buffer of bodemwarmtewisselaars met buizen. Deze laatste gesloten systemen zijn over het algemeen kleinschaliger en geschikt voor vooral woningbouw.

Voorbeeldproject:

Een ander voorbeeld van ondergrondse warmteopslag is Ecovat. "Bestaande systemen voor thermische energieopslag verpompen het water in het vat, waardoor een gemiddelde temperatuur in het vat ontstaat. Dit betekent minder energiekwaliteit (exergie). Ecovat onderscheidt zich in innovatie doordat er géén water uit het vat verpompt wordt. Het water blijft op zijn plek en de energie in het vat wordt uitgewisseld via de binnenwand van het vat. Door warmte-uitwisseling is het systeem efficiënter en goedkoper in gebruik."



Figuur 129. Power-to-heat 10.000 m³ warmwateropslag, Neukölln, Duitsland
 Bron: Vattenfall; <https://corporate.vattenfall.de/newsroom/pressemappe/pressemappe-fernheizwerk-neukolln-neue-erzeugungsanlagen/>.



- > Maakt gebruik van de potentie van
- > Warmtenetten als opslag
- > Flexibiliteit in gebruik
- > Goedkoop en eenvoudig te managen



- > Elektriciteit nodig, nabijheid van warmtenet of stoomnet; of een opslag-unit
- > Thermische krachtcentrale nodig om stoom terug om te zetten in elektriciteit



- > Aansluiting op een warmtebron of warmtenet
- > Gebruik tijdens piekbelastingen

POWER-TO-HEAT

Als er een overschot is aan elektriciteitsproductie, wordt via een grote 'heater' (hoogspanning elektrode ketel) water opgewarmd en opgeslagen in een gekoppeld warmtenet of opslagunit. Het proces van elektriciteit naar warmte heeft een efficiëntie van ±95 procent.

Voorbeeldproject:

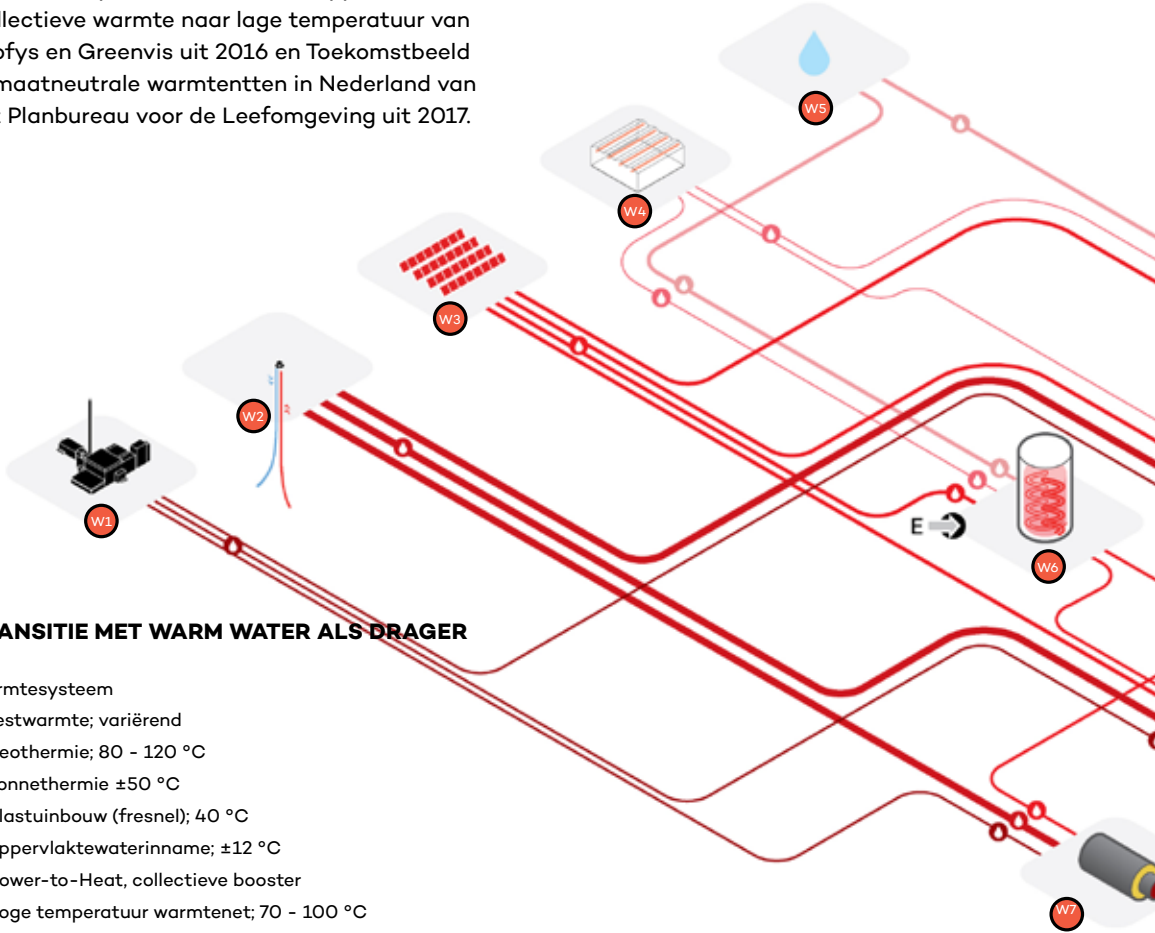
In Denemarken en Duitsland wordt al langere tijd gebruik gemaakt van Power-to-Heat-installaties. Mede doordat deze landen een groot aandeel aan duurzame energie hebben. De gerealiseerde installaties zijn met name gekoppeld aan grote energiegebruikers en gemeentelijke nutsbedrijven. Zo is bijvoorbeeld de stad Flensburg in Duitsland, één van de pioniers die probeert te profiteren van prijsfluctuaties in de elektriciteitsmarkt.

Met een 30 MW Power-to-Heat-installatie gebruikt het overtollige elektriciteit om water op te warmen tot 100 °C. Dit water komt vervolgens in een warmwateropslag van 29 mln. liter water, om vervolgens in het warmtenet te komen.

COMBINATIE WARMTENETTEN

Het is mogelijk om een combinatie te maken van de verschillende soorten warmtenetten en daarbij gebruik te maken van de voordelen van iedere soort. Dit combinatieprincipe is gebaseerd op informatie uit de rapporten Collectieve warmte naar lage temperatuur van Ecofys en Greenvis uit 2016 en Toekomstbeeld Klimaatneutrale warmtenetten in Nederland van het Planbureau voor de Leefomgeving uit 2017.

1. Ten eerste dient de beschikbare hoge temperatuur (rest)warmte optimaal gecascadeerd te worden. Dit gebeurt (al) voornamelijk in grote industrieclusters waar de restwarmte efficiënt (korte afstanden) langs andere industrieën wordt gevoerd.



TRANSITIE MET WARM WATER ALS DRAGER

Warmtesysteem

- restwarmte; variërend
- geothermie; 80 - 120 °C
- zonnethermie ±50 °C
- glastuinbouw (fresnel); 40 °C
- oppervlaktewaterinname; ±12 °C
- Power-to-Heat, collectieve booster
- hoge temperatuur warmtenet; 70 - 100 °C
- middenhoge temperatuur warmtenet; 70 - 50 °C
- lage temperatuur warmtenet; 50 - 30 °C
- zeer lage temperatuur warmtenet (bv. bronnet); 30 - 12 °C
- warmte-koude opslag in de ondergrond

Warmteafgiftesysteem

- elektrische warmtepomp
- booster warmtepomp / elektrische na-verwarmer (tbv warmtapwater)
- hoge temperatuur warmteafgiftesysteem
- warmtapwatervoorziening
- lage temperatuur warmteafgiftesysteem + zeer goede schilisolatie

Overig

- E → toevoeging van energie



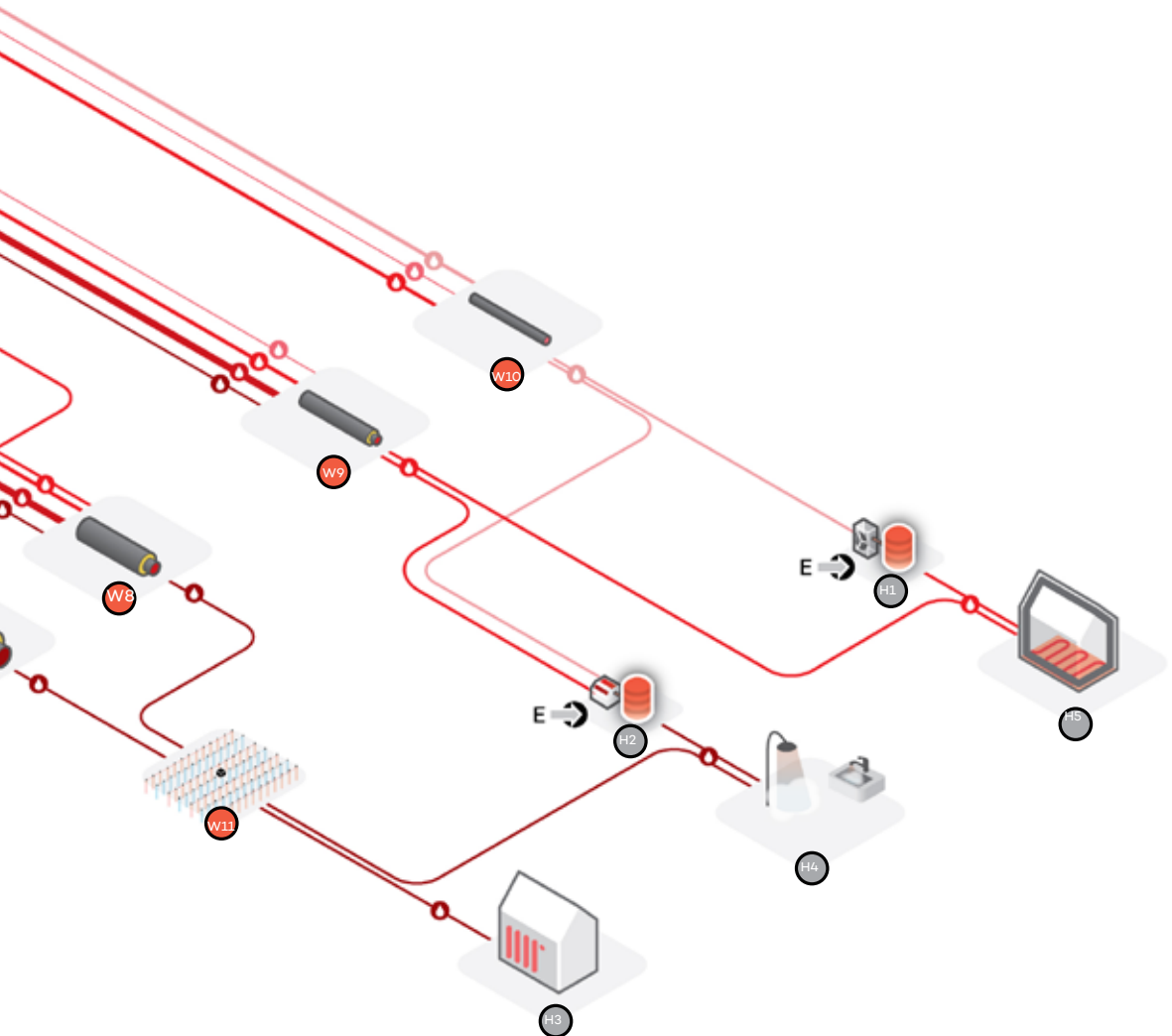
- > Robuust systeem doordat er veel verschillende bronnen kunnen worden aangetakt
- > Temperatuur aanbod en vraag kunnen goed gekoppeld worden
- > LTA en goede isolatie hoeft geen vereiste zijn door het gebruik van verschillende temperatuur warmtenetten

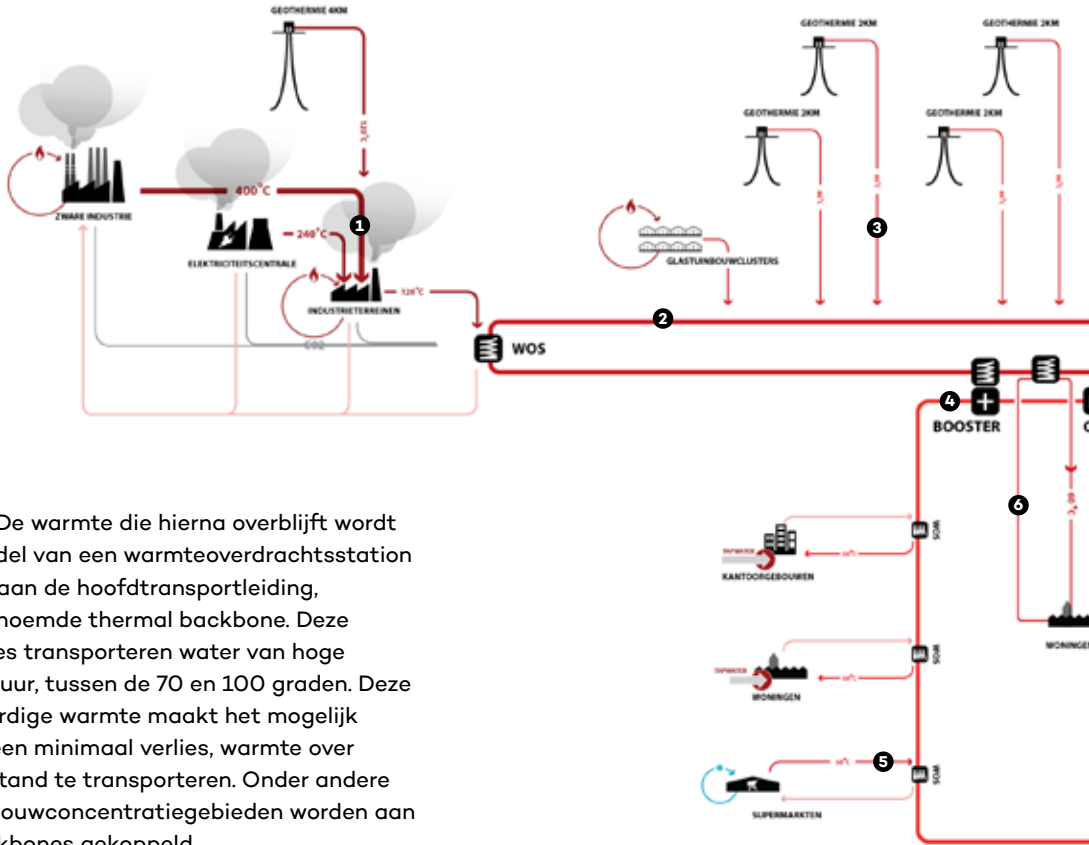


- > Vraagt om de aanleg van veel nieuwe infrastructuur
- > Kan een traag systeem zijn, piekbelastingen kunnen een probleem zijn
- > Vraagt veel ruimtelijke coördinatie
- > Vraagt veel voorinvesteringen



- > Combinatie van warmtenetten zorgt voor efficiënt gebruik beschikbare energie
- > Kansen voor groeigebieden industrie en glastuinbouw
- > LTA en goede isolatie hoeft geen vereiste zijn door het gebruik van verschillende temperatuur warmtenetten
- > Robuust systeem doordat er veel verschillende bronnen kunnen worden aangetakt

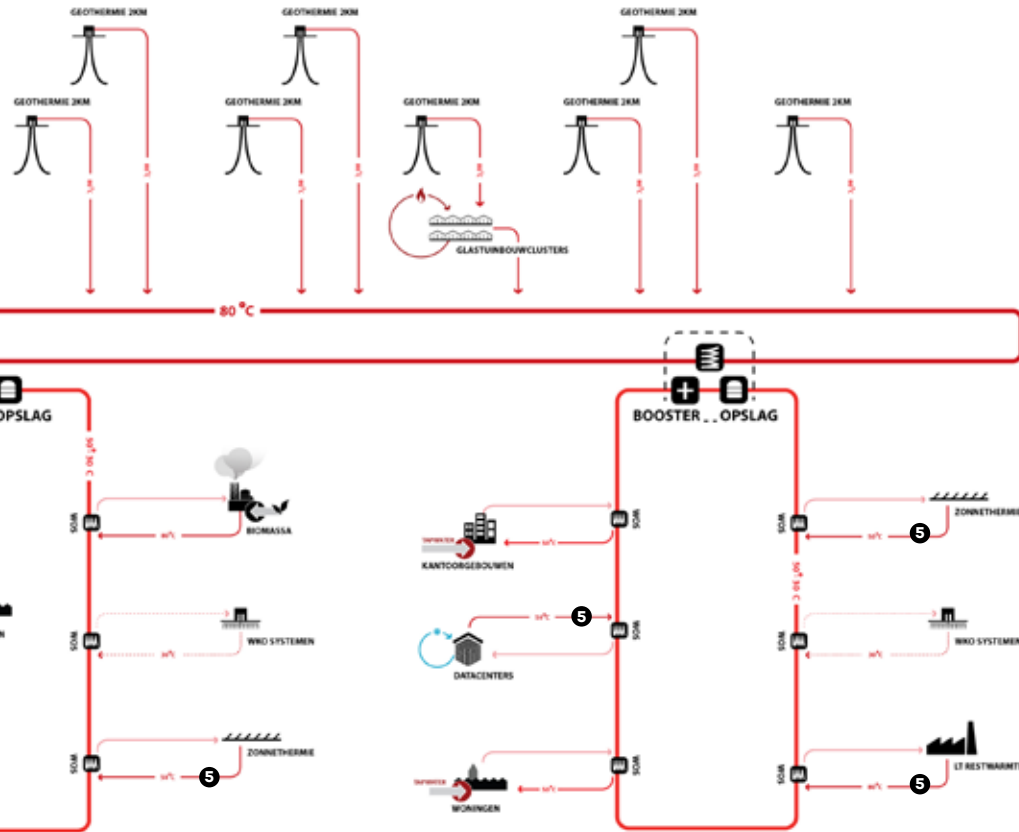




2. De warmte die hierna overblijft wordt door middel van een warmteoverdrachtsstation geleverd aan de hoofdtransportleiding, een zogenoemde thermal backbone. Deze backbones transporteren water van hoge temperatuur, tussen de 70 en 100 graden. Deze hoogwaardige warmte maakt het mogelijk om met een minimaal verlies, warmte over grote afstand te transporteren. Onder andere glastuinbouwconcentratiegebieden worden aan deze backbones gekoppeld.

3. Aan deze backbones worden ook duurzame warmtebronnen met een hoge temperatuur gekoppeld. Dit zullen voornamelijk geothermiebronnen zijn. Er is mogelijk een zeer grote potentie van aardwarmte beschikbaar in grote delen van Nederland. Deze potentie wordt geschat tussen de 85 en 1000 PJ. De temperatuur van het hoofddistributienet is gelijk aan de geothermische warmte waardoor deze enorme hoeveelheid energie, via backbones, waar nodig over langere afstand getransporteerd kan worden. Geothermie heeft -naast dat het een kostenefficiënte vorm van duurzame energiewinning is- een minimaal zichtbare ruimtelijke impact ten opzichte van de landschappelijke impact van windturbines, pv-cellen en zonnethermievelen. De meeste infrastructuur voor geothermie bevindt zich ondergronds en ook de bovengrondse behuizing van de warmtewisselaars (geothermiestations) is slechts circa 100m² groot, ongeveer de grootte van één woning.

4. Aan deze backbones worden lage temperatuur warmtenetten gekoppeld. Door middel van warmteoverdrachtsstations zorgt de hoge temperatuur warmte in de backbones voor opwarming van de lage temperatuur warmtenetten. Aanvullend aan de WOS zullen er zogenaamde boosters nodig zijn om tijdens pieken aan de vraag te voldoen. Deze boosters kunnen zowel door duurzaam gas (bio-WKK's) of elektriciteit (Power-to-Heat) worden gevoed. Seizoensbuffers en andere warmteopslagvoorzieningen kunnen de discrepantie tussen warmteproductie en -vraag verder verminderen. Warmteoverdrachtstations, boosters en warmteopslag samen vormen zogenoemde warmteknopen. Deze warmteknopen vormen de schakel tussen de thermal backbones en de warmtenetten per wijk, dorp of stad. Met deze lokale LT-warmtenetten, tussen de 30 en 50 graden, wordt warmte naar de woningen en andere afnemers gedistribueerd.

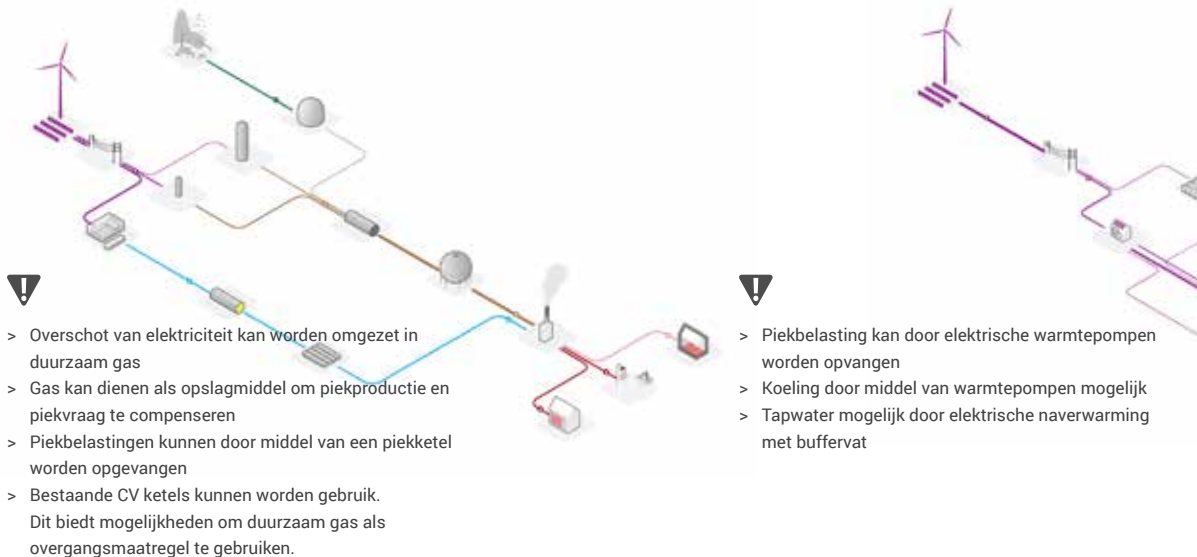


5. Aan de lokale LT-warmtenetten kunnen ook lokale duurzame warmtebronnen, met een lage temperatuur, worden gekoppeld. Voorbeelden van lokale lage temperatuur warmtebronnen zijn bijvoorbeeld: zonnethermievelden en lage temperatuur restwarmte (kantoren, supermarkten etc.) Zo worden verschillende duurzame bronnen optimaal benut. Het gebruik van warmte tussen de 30 en 50 graden betekent wel dat gebouwen aanzienlijk geïsoleerd dienen te worden, om dezelfde mate van warmtecomfort te kunnen ervaren zoals we gewend zijn met gas en radiatoren. Daarnaast is er aanvullende energie nodig voor de naverwarming van warmtapwater.

6. Er zullen wijken en gebouwen zijn waar het aanpassen van het warmteafgiftesysteem of de benodigde isolatiemaatregelen niet of moeilijk realiseerbaar zullen zijn, zonder verregaande (bouwkundige) aanpassingen.

Hier biedt een LT-warmtenet geen uitkomst. Voor deze specifieke plekken is het mogelijk om een apart HT warmtenet direct aan de thermal backbone te koppelen. Deze warmte, tussen de 100 en 70 graden, kan direct gebruikt worden met een traditioneel HT afgiftesysteem of voor de verwarming van warmtapwater. Hier zijn dus geen aanvullende isolerende maatregelen of grootschalige aanpassingen aan het afgiftesysteem nodig.

Deze combinatie van warmtenetten zorgt voor een optimale balans tussen aanbod en vraag en kunnen in een groot deel van Nederland ingezet worden in de transitie naar een volledig duurzaam lagere temperatuur warmtesysteem. Het volgende hoofdstuk zal ingaan op de ruimtelijke configuratie van de verschillende infrastructuren, systeemkeuzen en fasering.



- > Overschot van elektriciteit kan worden omgezet in duurzaam gas
- > Gas kan dienen als opslagmiddel om piekproductie en piekvraag te compenseren
- > Piekbelastingen kunnen door middel van een piekketel worden opgevangen
- > Bestaande CV ketels kunnen worden gebruikt. Dit biedt mogelijkheden om duurzaam gas als overgangsmaatregel te gebruiken.

- > Piekbelasting kan door elektrische warmtepompen worden opvangen
- > Koeling door middel van warmtepompen mogelijk
- > Tapwater mogelijk door elektrische naverwarming met buffervat

DUURZAAM GAS, ELEKTRICITEIT OF WARM WATER?

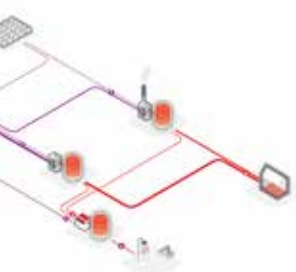
Technisch gezien is elk hoofdsysteem (gas, elektriciteit en warm water) denkbaar voor grote delen van Nederland. Naar alle waarschijnlijkheid zal er voor de verduurzaming van de lage temperatuur warmtevoorziening een combinatie van oplossingen ontstaan. Kort door de bocht: waar de bebouwingsdichtheid voldoende groot is en er duurzame warmtebronnen (restwarmte, geothermie en zonnethermie) beschikbaar zijn, zijn warmtenetten goed voorstelbaar. In de delen van Nederland waar dit niet het geval is, lijken individuele warmtepompen de beste oplossing. Duurzaam gas, in welke vorm dan ook, lijkt vooral geschikt voor die delen van de bebouwingsvoorraad die niet geschikt zijn voor lage temperatuur verwarmingssystemen (elektrisch of warm water), omdat de gebouwen – om welke reden dan ook – niet voldoende geïsoleerd kunnen worden. En dan zijn er nog de hybride oplossingen waarbij er een combinatie wordt gezocht tussen de drie systemen, bijvoorbeeld hybride warmtepompen of warmtepompen met bronnetten.

Welke (aan)delen van gebouwde omgeving uiteindelijk zullen worden voorzien van duurzaam gas, all-electric oplossingen, warmtenetten of hybride oplossingen is moeilijk

te voorspellen. Dit is afhankelijk van een hele reeks factoren, waaronder ook een aantal ruimtelijke factoren zoals dichtheid, afstand tot de bron, bouwjaar en bebouwingstype. Maar ook de beschikbare ruimte voor de opwek van duurzame energie. Daarnaast spelen de implementatie- en onderhoudskosten, vooral op korte termijn, natuurlijk een belangrijke rol. En niet onbelangrijk: het maatschappelijk draagvlak voor bepaalde oplossingen. Geothermie, waterstof of windmolens kunnen bijvoorbeeld onbespreekbaar zijn, maar dat kan ook gelden voor warmtepompen aan de gevel of verregaande isolatiemaatregelen.

Daarnaast zijn er mogelijke grenzen aan grootschalige toepassing van bepaalde systemen of bronnen. Mocht bijvoorbeeld alle mest van veehouderijen vergist worden tot biogas, dan levert dit 'slechts' 50 PJ op. Even los van de vraag of de veestapel over 30 jaar nog zo groot is. De daadwerkelijke beschikbaarheid van geothermie (en restwarmte) is bepalend voor de toepassing van warmtenetten. Mocht er overgestapt worden op all-electric systemen, dan zal er een aanvullende opgave zijn voor duurzame elektriciteit; ofwel meer windmolens en zonneparken.

Hierna volgt een inventarisatie van de wijze waarop de verschillende systemen van gas,



- > Combinatie van warmtenetten zorgt voor efficiënt gebruik beschikbare energie
- > Geeft locaties aan voor groeigebieden industrie en glastuinbouw
- > LTA en goede isolatie hoeft geen vereiste zijn door het gebruik van verschillende temperatuur warmtenetten
- > Robuust systeem doordat er veel verschillende bronnen kunnen worden aangetakt

elektriciteit en warm water gecombineerd kunnen worden, zodat er de belangrijkste voordelen van elk systeem worden benut. Aspecten als het opslaan van energie, omgaan met piekvragen en piekproductie en koeling zijn daarbij van belang.

Duurzaam gas en elektriciteit

Er zijn voorzieningen beschikbaar die zowel gas en elektriciteit gebruiken, hybride warmtepompen bijvoorbeeld. Voordeel is dat de bestaande gasinfrastructuur gebruikt kan worden. Piekbelastingen kunnen worden opgevangen omdat de gasketel bijspringt op strenge winterdagen. Daardoor zal het elektriciteitsnetwerk niet extreem belast worden. Deze oplossing is bijvoorbeeld denkbaar op plekken waar het gasnet nog geruime tijd beschikbaar zal zijn. Knelpunt voor dit systeem is de onzekerheid van hernieuwbaar gas, op dit moment is duurzaam gas nog niet grootschalig beschikbaar.

Gebouwen kunnen gekoeld worden door eWP. Ook kan deze combinatie helpen bij het bufferen van elektriciteit tijdens productiepieken, door het plaatsen van conversiestations (Power-to-Hydrogen, Power-to-Methane, Power-to-Syngas, bio-WKK) op plekken waar de infrastructuren elkaar kruisen.

Duurzaam gas en warm water

Traditionele warmtenetten zijn eigenlijk al een combinatie van deze twee systemen. Op het moment zijn de meeste grootschalige warmtenetten voorzien van hulpwarmtecentrales (boosters) voor de piekvraag of als (gedeeltelijke) back-up.

Wordt deze techniek in de toekomst gebruikt, dan zullen de centrales gevoed worden door duurzaam gas. Een andere mogelijkheid is het toepassen van gasnoverwarmers in combinatie met LT of bronnetten. Deze combinatie lijkt echter niet ideaal gezien de beperkte hoeveelheid biogas en de grote conversieverliezen bij de productie van andere gassen. Koeling lijkt geen optie met deze combinatie van systemen.

Elektriciteit en warm water

In principe zijn zowel LT warmtenetten en bronnetten al hybride systemen, omdat deze verwarming voor respectievelijk warmtapwater en ruimteverwarming nodig hebben. Door middel van Power-to-Heat installaties kunnen piekbelastingen mogelijk opgevangen worden. De opslag van energie kan door warmteopslag in het warmtenet, of per gebouw in individuele opslagvoorzieningen. Bij bronnetten bestaat wel de mogelijkheid tot koeling.

HYBRIDESYSTEEM

Elektriciteitssysteem

- grootschalige elektriciteitsproductie
- elektriciteitsnetwerk
- opslaginstallatie (batterijen collectief)
- opslaginstallatie (batterijpakket per huis + lokale elektriciteitsproductie cq. zonnepanelen op dak)

Power-to-Gas

- Power-to-Hydrogen
- Power-to-Syngas
- Power-to-Methane

Biomassa

- biomassa
- biovergister

Warmtesysteem

- restwarmte; variërend
- geothermie; 80 - 120 °C
- zonnethermie ±50 °C
- glastuinbouw (fresnel); 40 °C
- oppervlaktewaterinname; ±12 °C
- collectieve booster
- hoge temperatuur thermal backbones; 70 - 100 °C
- warmte-koude opslag in de ondergrond; centraal
- lage temperatuur warmtenet; 50 - 30 °C
- zeer lage temperatuur warmtenet (bv. bronnet); 30 - 12 °C
- warmte-koude opslag in de ondergrond; decentraal

Gasnetwerk

- aardgasnetwerk

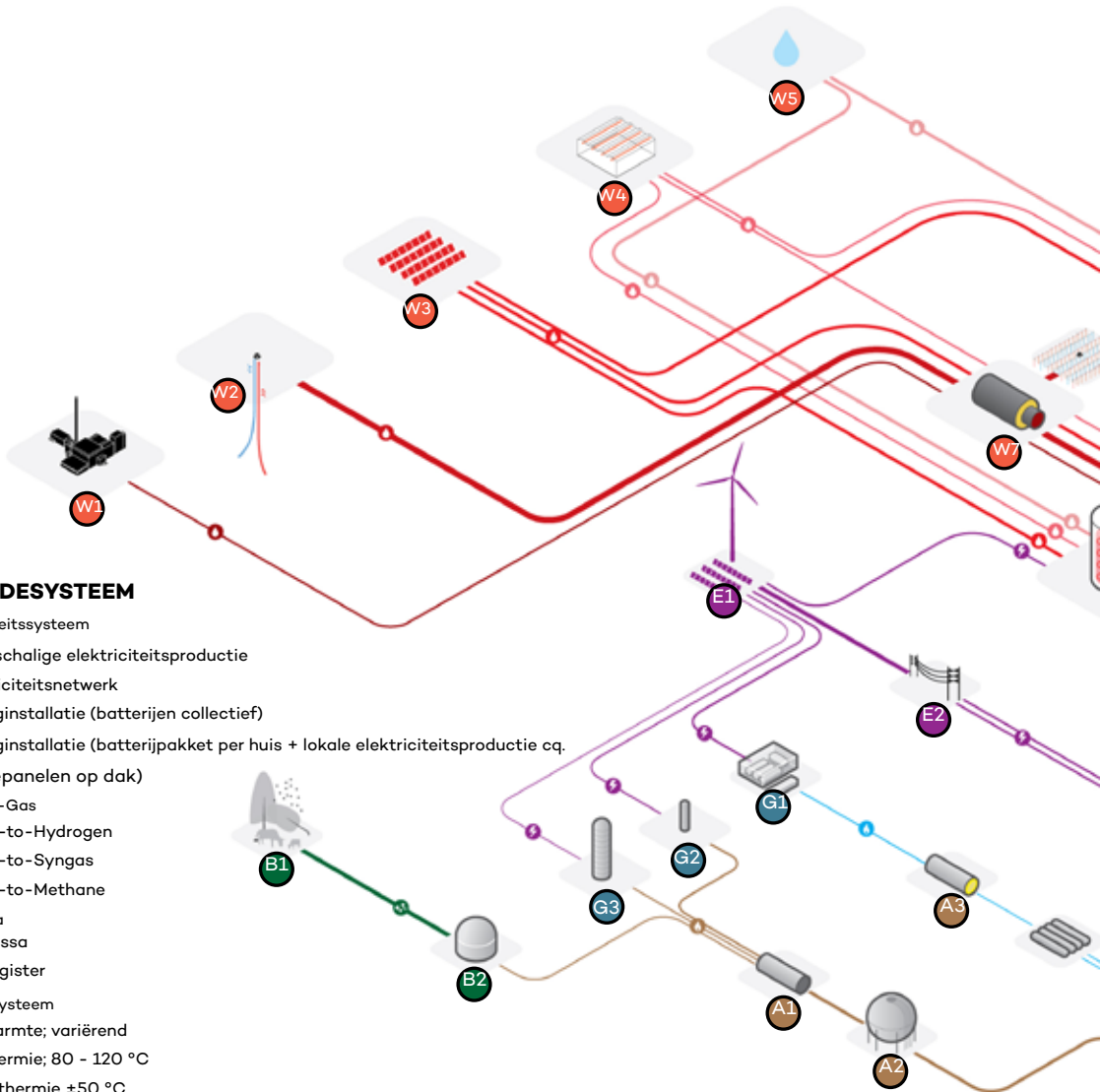
- bestaande aardgas opslagtank

- aardgasnetwerk coating

- waterstof opslag tanks

Warmteafgiftesysteem

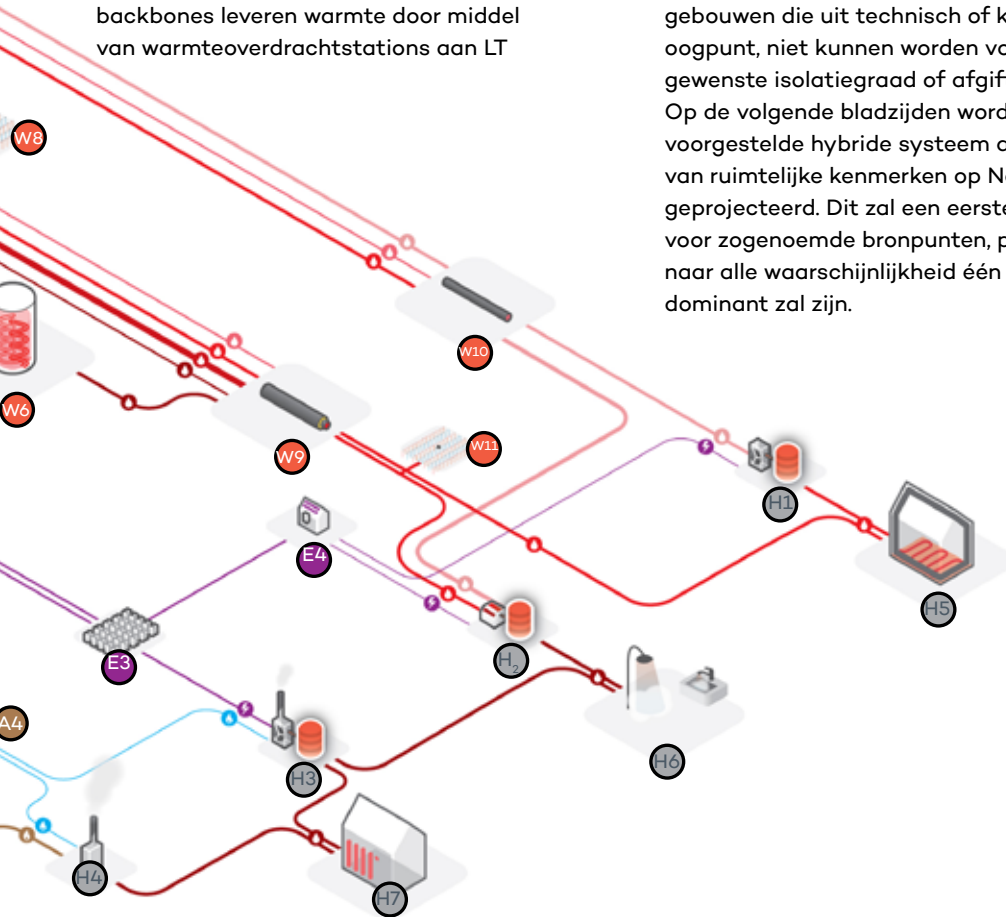
- elektrische warmtepomp
- booster warmtepomp / elektrische na-verwarmer (tbv warmtapwater)
- hybride warmtepomp (electriciteit met "top" op van gas)
- HR-ketel
- lage temperatuur warmteafgiftesysteem + zeer goede schilisolatie
- warmtapwatervoorziening
- hoge temperatuur warmteafgiftesysteem (traditionele radiatoren)



Bijgaand schema toont een mogelijke combinatie van het beste van elk systeem. Dit resulteert in een hybride warmtevoorziening die robuust is naar de toekomst, bestand is tegen piekvraag en piekproductie, kosteneffectief is en met een minimale ruimtelijke impact.

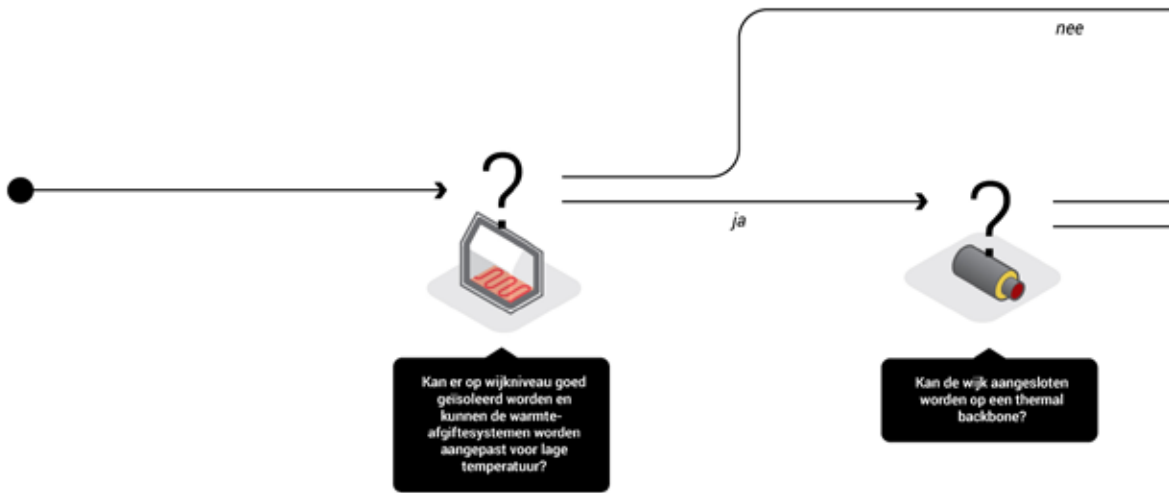
De hoofdinfrastructuur bestaat uit thermal backbones (W7), waar hoge temperatuur vraag en aanbod aan gekoppeld zijn. Deze backbones leveren warmte door middel van warmteoverdrachtstations aan LT

Piekbelastingen worden opgevangen door Power-to-Heat conversie (W6) op het hoofdnnet, elektrische warmtepompen (H1), elektrische naverwarming (H₂) en op enkele locaties met hybride warmtepompen (H3). Overschotten in elektriciteit worden omgezet in duurzaam gas (G1,2,3). Welk type gas in de toekomst het meest beschikbaar of geschikt is, is onbekend. Wel is aan te nemen dat er een vorm van duurzaam gas beschikbaar zal zijn voor gebouwen die uit technisch of kostenefficiënt oogpunt, niet kunnen worden voorzien van de gewenste isolatiegraad of afgiftesysteem (H7). Op de volgende bladzijden wordt het voorgestelde hybride systeem aan de hand van ruimtelijke kenmerken op Nederland geprojecteerd. Dit zal een eerste aanzet geven voor zogenoemde bronpunten, plekken waar naar alle waarschijnlijkheid één energiedrager dominant zal zijn.



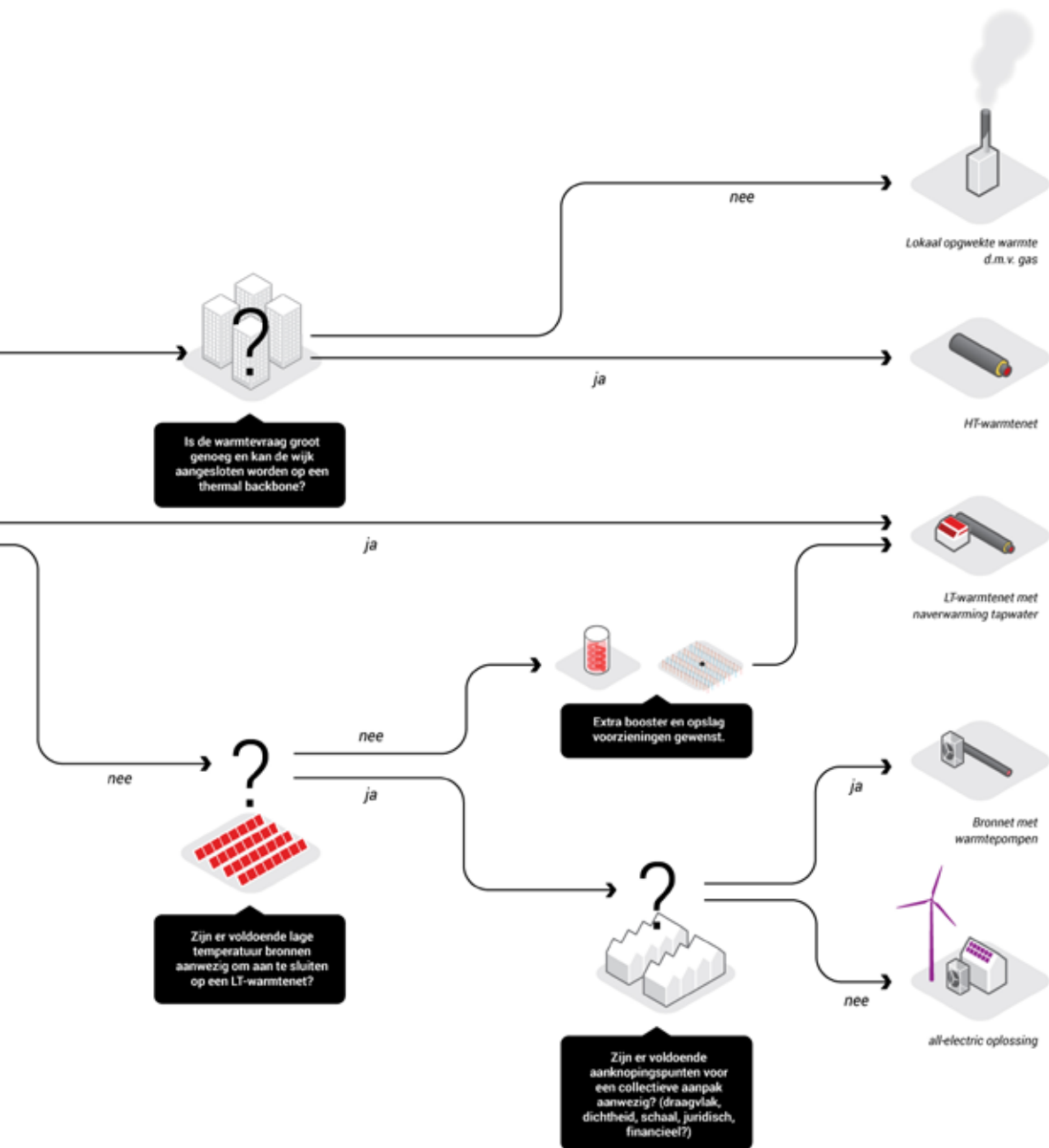
warmtenetten (W9). Hieraan worden meerdere (lage temperatuur) bronnen aangetakt en wordt er geïnvesteerd in een systeem waar de mix van bronnen dus nog kan veranderen, maar de hoofdinfrastructuur gelijk blijft. Dit zorgt ervoor dat er geen desinvestering plaatsvindt omdat naar gelang de groei of krimp van de warmtevraag warmtebronnen kunnen worden aangetakt of losgekoppeld.

WELKE OPTIE WAAR?

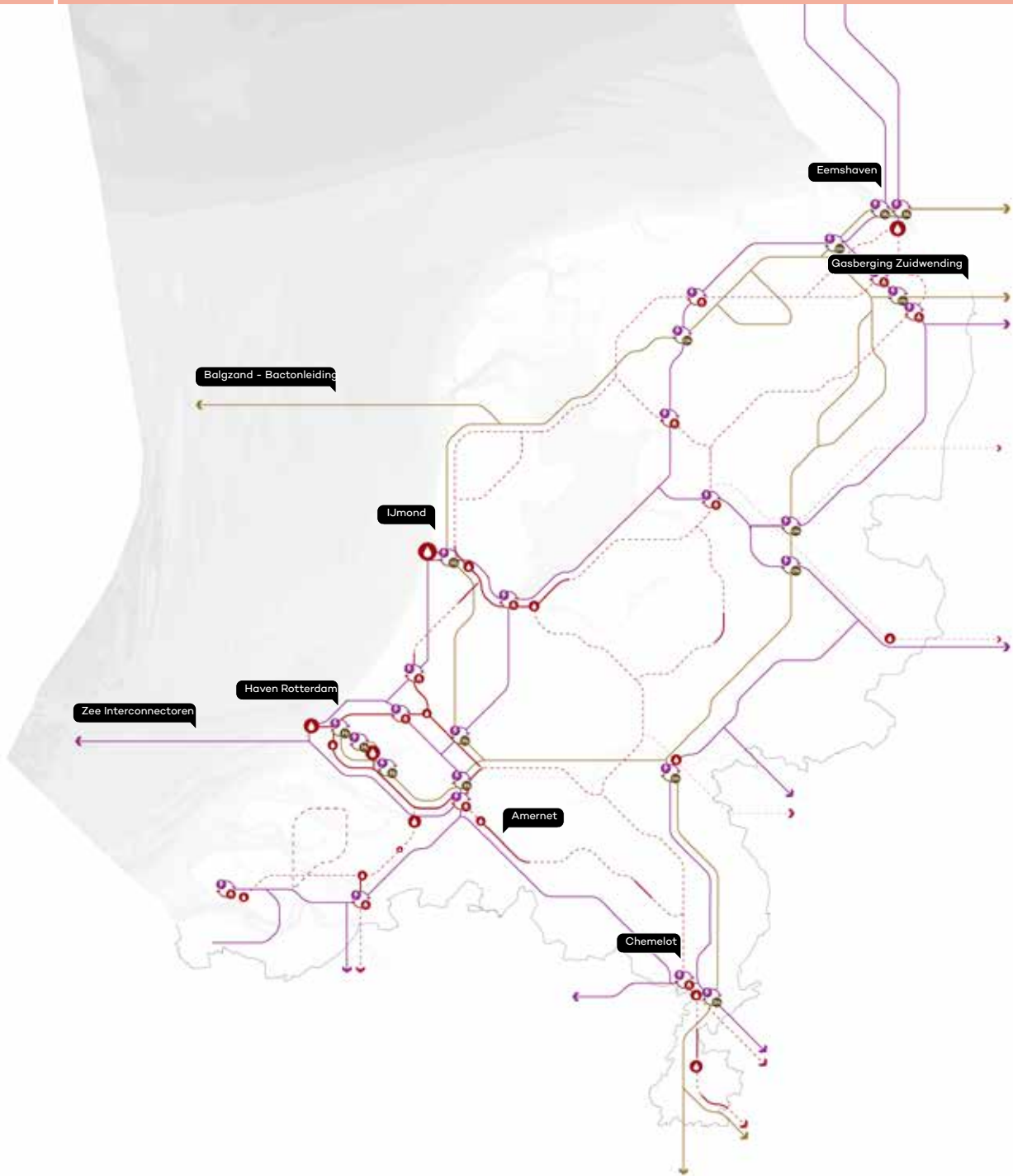


Aan de hand van ruimtelijke kenmerken van Nederland worden de gebieden bepaald waar, naar waarschijnlijkheid, één energiedrager dominant zal zijn: de bronpunten. Hier kan al voor 2030 worden gestart met de aanleg van de voorzieningen en eventuele aanvullende infrastructuur. Bovenstaand stroomdiagram laat zien hoe zo een keuze tot stand kan komen. Er zijn zes smaken in de transitie lagere temperatuur warmte: lokaal opgewekte warmte door middel van duurzaam gas, warmte via een HT-warmtenet, warmte via een LT-warmtenet met naverwarming tapwater, bronnet met eWP of all-electric.

Aan de hand van ruimtelijke condities kan een handelingsperspectief worden geschetst voor verschillende gebieden, steden, dorpen en wijken van Nederland. Deze clusters zijn verbeeld middels Voronoi-cellen. Deze verbeelden de dichtheid van een kern in grote of kleine cellen. In andere woorden, hoe groter de wijk of kern hoe groter het veld, hoe groter de warmtevraag, dus hoe ingrijpender of grootschaliger een systeem geïmplementeerd dient te worden. Aan de hand van kosten- en emissie-effecten over de hele keten (van productie, transport en opslag, tot afgiftesysteem) kan in de toekomst een meer gedetailleerde keuze gemaakt worden.



WELKE OPTIE WAAR?



- Bestaand (hoogcalorisch) gasnetwerk
- Bestaand 380 kV elektriciteitsnetwerk
- Bestaande warmtebuisleiding
- - - Voorstel thermal backbone

- - - Mogelijke uitbreiding thermal backbone
- ⊕ Conversie Power-to-Heat
- ⊕ Conversie Power-to-Gas
- ⊙ Restwarmtebronnen

HOOFDINFRASTRUCTUUR MET CONVERSIESTATIONS

Nederland beschikt al over uitgebreide, landelijke dekkende netwerken voor gas en elektriciteit. Nederland is goed aangesloten op het internationale gasnetwerk en is een belangrijke schakel (gasrotonde) tussen de landelijke netten van Engeland, Duitsland, Scandinavië en België. Dat geldt ook voor elektriciteit. De zogenoemde zee interconnectoren tussen de elektriciteitsnetten van deze landen zullen worden uitgebreid, in combinatie met toekomstige grote windparken op zee. Deze zullen ook nodig zijn voor de opslag (stuwmeren in Scandinavië bijvoorbeeld), transport en opslag van duurzame elektriciteit in Europa.

Slechts een zeer beperkt deel van de Nederlandse bebouwing is aangesloten op een warmtenet. Met name in steden als Rotterdam waar de bebouwingsdichtheid groot is én er nabijheid is van grote restwarmtebronnen, zijn al warmtenetten aangelegd. Toch blijkt transportafstand tussen bron en afgifte vaak minder problematisch als nu vaak wordt gedacht. Het Amernet bijvoorbeeld overbrugt al een indrukwekkende afstand van 20 km met een verwaarloosbaar warmteverlies (<0,5C). De eerdergenoemde warmterotonde breidt zich uit tot aan Leiden, 43 km afstand tot de warmtebron met een transportverlies van ongeveer 1 graad.

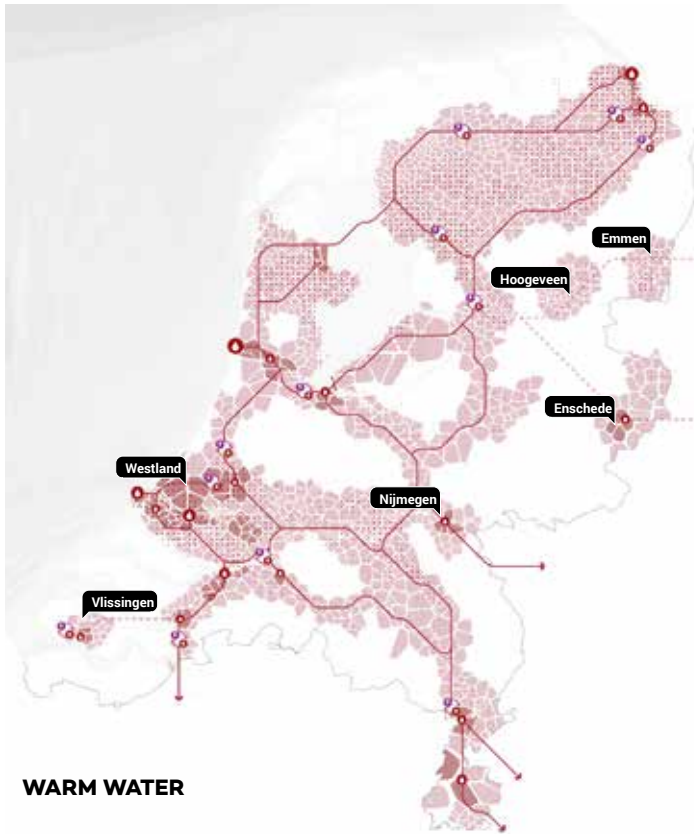
Het lijkt kansrijk om de ondergrondse warmteleidingen te bundelen met andere infra (weg, water, rail, buisleidingen, KV, biomassa, CO2 etc.). Omdat warmteleidingen

volumineus zijn, is het verstandig daar ruimte voor te reserveren. In de leidingstroken van het gasnetwerk en gevaarlijke stoffen is waarschijnlijk voldoende ruimte, omdat de afmetingen van deze stroken zijn gedimensioneerd op het veiligheidsrisico van aardgas en gevaarlijke stoffen. Het voorgestelde primaire transportnet is daarom geprojecteerd op deze tracés, zonder dat dit ten koste hoeft te gaan van de bestaande transportcapaciteit van aardgas en gevaarlijke stoffen. In de kaart zijn met stippellijnen de mogelijke thermal backbones aangegeven.








Conversieclusters

In de zoektocht naar potentiële energieopslag voor duurzame energie is het omzetten van elektriciteit naar andere energiedragers een goede optie. De havens van Rotterdam, de Eemshaven, Westpoort Amsterdam en Vlissingen beschikken al over enorme gasopslagfaciliteiten die hiervoor gebruikt kunnen worden. Hier komen ook de infrastructuren van elektriciteit, gas en warm water samen; dit zijn logische locaties om conversiestations te plaatsen. Hier kan door middel van bijvoorbeeld Power-to-Hydrogen, Power-to-Methane, Power-to-Syngas of bio-WKK energie van de ene naar andere drager worden omgezet. Met de veelheid aan gas- en elektriciteit- verbindingen met het buitenland is zelfs denkbaar dat Nederland een rol heeft al worden voor de duurzame energie opslag voor West Europa. In de conversieclusters kan ook, door toevoeging van elektriciteit, waterstof worden geproduceerd, een belangrijke grondstof voor de petrochemische industrie.

WELKE OPTIE WAAR?



WARM WATER





-  Hoge temperatuur warmtenet / cascaderingsysteem
-  Lage temperatuur warmtenet gekoppeld aan Thermal backbone
-  Thermal backbone
-  Duurzame restwarmtebronnen
-  Geothermie, 1.200 putten met 0,5 PJ
-  Geothermie, 2.600 putten met 0,15 PJ
-  Conversiestation Power-to-Heat

Het is lastig inschatten hoe de energietransitie voor lage temperatuur zal verlopen en wat het aandeel daarin zal zijn van gas, elektriciteit en warm water. Dat is van veel factoren afhankelijk. Toch kan, op basis van een aantal ruimtelijke factoren en verschillen in de toepassingsmogelijkheden van de drie hoofdsystemen, een voorstelbaar transitiepad geschetst worden voor Nederland.

In gebieden met een geconcentreerde warmtevraag (stedelijk gebied en glastuinbouw) én de nabijheid van restwarmte- en/of geothermische bronnen lijken warmtenetten de meest kostenefficiënte oplossing. Ook de

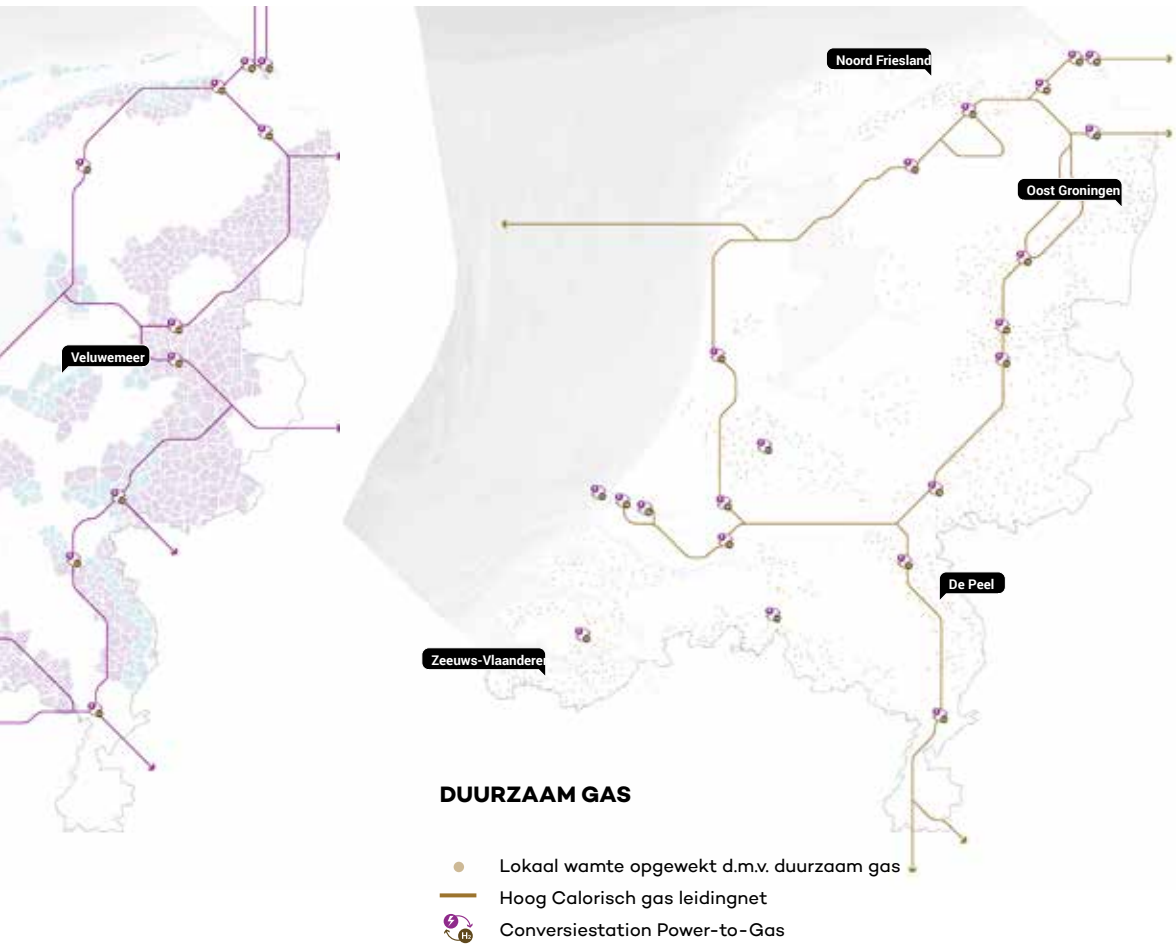


ELEKTRICITEIT

-  Hoofdspanningsnet (380kV)
-  Conversiestation Power-to-Gas
-  Bronnetten
-  All-electric oplossingen

nabijheid van hoofdtransportleidingen van warm water (thermal backbones) maakt een warmtenet kansrijk. Bij de bebouwing die goed geïsoleerd kan worden en waar een lage temperatuur afgiftesysteem (vloerverwarming) mogelijk is, kunnen LT-netten worden aangelegd. Bij het deel van de bebouwing waarbij schilisolatie niet (goed) mogelijk is en/of de aanleg van een LT afgiftesysteem lastig is (bijvoorbeeld bij historische binnensteden), kan een HT-net worden aangelegd en kunnen radiatoren worden gehandhaafd.

In gebieden waar de warmtevraag niet geconcentreerd is, en een warmtenet daarom te



kostbaar wordt (buitengebied), lijken elektrische warmtepompen, eventueel in combinatie met een bronnet de beste optie. Dat geldt ook voor de gebieden die te ver (lees waardoor het te kostbaar wordt) van een warmtebron of hoofdleiding zijn verwijderd. Een warmtepomp is (net als een LT warmtenet) alleen mogelijk in combinatie met een lage temperatuur afgiftesysteem (bijvoorbeeld vloerverwarming) en effectief als de bebouwing goed geïsoleerd is. Indirect ruimtelijk effect van de toepassing van elektrische warmtepompen is de toename van de elektriciteitsbehoefte en daarmee van het aantal windmolens en/of zonneparken.

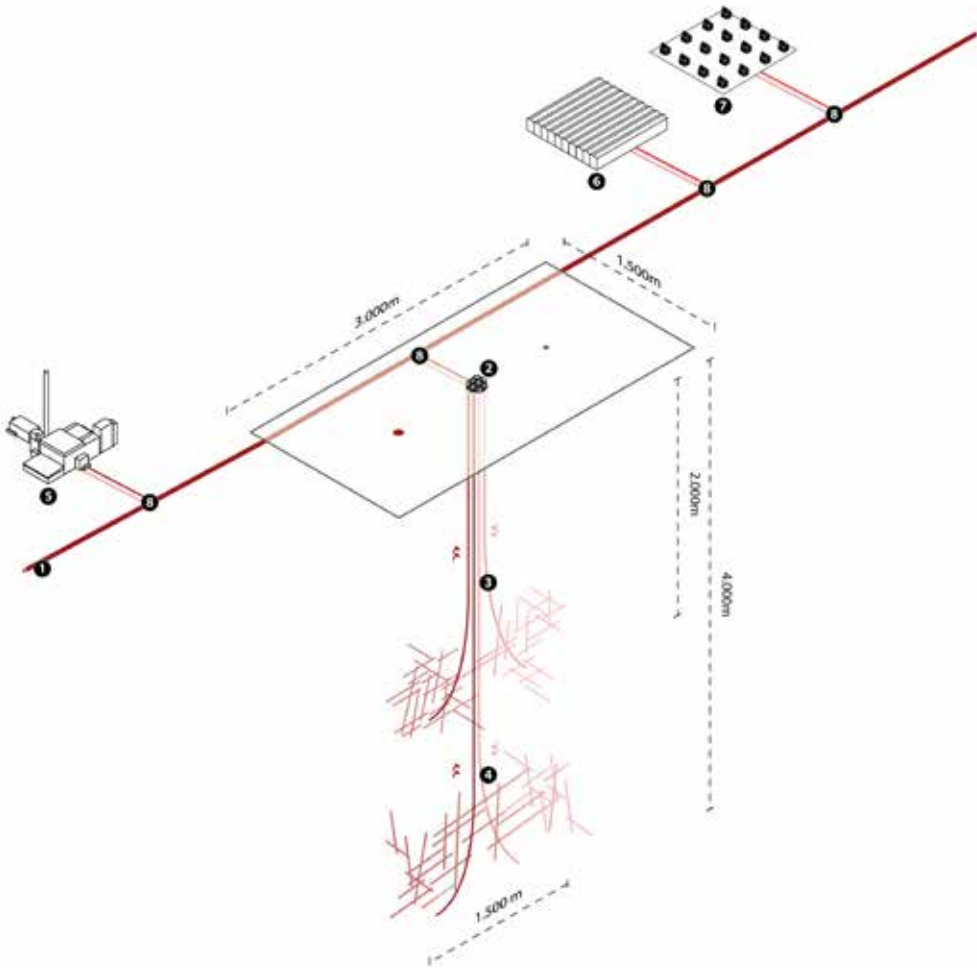
Het enige (duurzame) alternatief in deze gebieden is verwarming door middel van biogas (op basis van biomassa), waterstof, syngas of methaangas. De cv-ketels moeten dan worden vervangen, de radiatoren kunnen worden gehandhaafd. Voor waterstof moeten aanpassingen gedaan worden aan het gasnet. De toepassing van duurzaam gas is ook een optie voor concentraties van bebouwing waarbij schilisolatie en een LT-afgiftesysteem niet realiseerbaar zijn én er geen restwarmte of geothermie nabij is. Bijvoorbeeld 'perifeer' gelegen historische stadscentra.

WELKE OPTIE WAAR?

De systeemkaarten voor warm water, elektriciteit en gas geven een eerste richting aan geografisch bepaalde hoofdopties voor de verduurzaming van de warmtevoorziening. De grens tussen de gebieden met verschillende systeemopties is niet hard en er zal sprake zijn van overlap in opties.

Legenda

1. Hoofd buisleiding, *thermal backbone*
2. Geothermie put (ongeveer 100m²)
3. Krijt laag, ondergrond temperatuur 80 °C
4. Trias laag, ondergrond temperatuur 120 °C
5. Restwarmte industrie gekoppeld aan warmtenet
6. Glastuinbouw gekoppeld aan warmtenet
7. Bebouwde omgeving gekoppeld aan warmtenet
8. Warmteoverdracht station



Figuur 130. Schematische opbouw van een warmtesysteem gevoed door geothermie

02 /

ANALYSE PER FUNCTIONALITEIT

2.5

TRANSPORT EN MOBILITEIT



BESCHOUWING FUNCTIONALITEIT

HISTORIE, INNOVATIE EN DE TOEKOMST VAN MOBILITEIT

BOUWSTENEN

TRANSITIE NAAR DUURZAME MOBILITEIT

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

ENERGIEGEBRUIK MOBILITEIT: NU EN STRAKS

Nederland is een transportland. In 2014 werd maar liefst 181 miljard kilometer afgelegd door gemotoriseerd verkeer op de weg. Het overgrote deel hiervan is woon-werkverkeer, en hiervan wordt dan weer 77% met de auto afgelegd, 10 procent met het openbaar vervoer en 6 procent met de fiets.¹ Mobiliteit is in Nederland verantwoordelijk voor een energiegebruik van 501 PJ, een kwart van het totale energiegebruik in Nederland.²

De grootste energiegebruiker in mobiliteit is de personenauto, met een aandeel van 47%. De top 5 wordt afgemaakt door zwaar commercieel verkeer, zeescheepvaart, licht commercieel verkeer en binnenlandse scheepvaart. Gezamenlijk vertegenwoordigt deze top-vijf 89% van het totale energiegebruik in transport en mobiliteit met begin- en eindbestemming in Nederland.³ De focus van deze studie ligt daarom op deze vijf gebruikers, met de nadruk op wegverkeer (zwaar en licht, zowel goederen als personen).

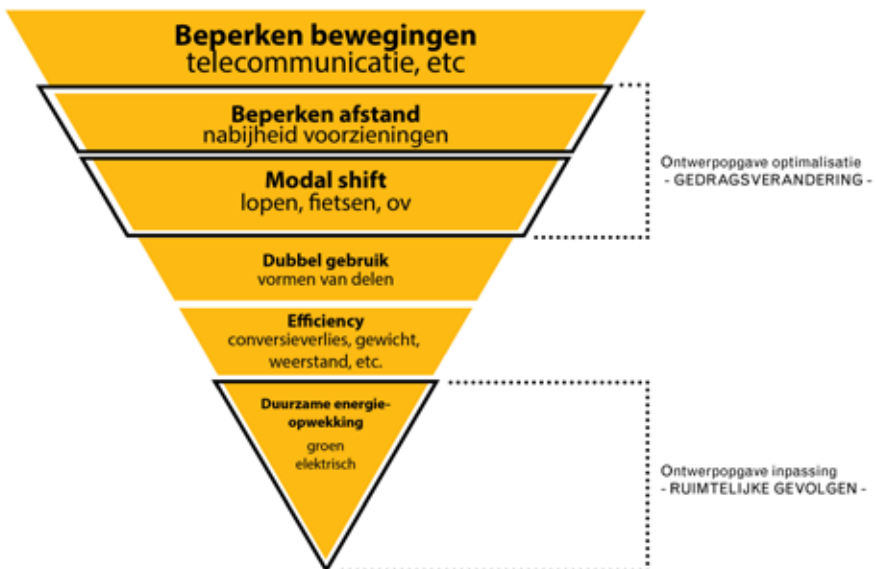
Mobiliteit neemt toe. En flink ook. Volgens huidige trends neemt wegverkeer tot 2050 toe met 40 tot 70%, en luchtvaart potentieel zelfs met honderden procenten⁴. Dit betekent niet dat energiegebruik evenzeveel toeneemt. De efficiency van mobiliteit per kilometer neemt toe, in eerste instantie door het gebruik van lichtere materialen, betere stroomlijning, etc. Ook de brandstoftransitie betekent – los van de opwekkingsvorm van energie (hernieuwbaar of niet) – vaak al een veel hogere motorefficiency voor wegverkeer, oplopend tot 80% bij elektromotoren zonder batterij (rijdend laden). (BRON). Deze autonome ontwikkelingen tegen elkaar afgewogen zou tot een vermindering van het energiegebruik van circa 4% in het wegverkeer kunnen leiden tot 2050.⁵ Nog 91% te gaan!

DE TRIAS ENERGETICA VOOR MOBILITEIT

De trias energetica geeft een methode aan om zo slim mogelijk tot een hernieuwbaar of duurzaam energiesysteem te komen. Op hoofdlijnen is het credo: besparen – duurzaam opwekken – compenseren.

Wanneer je dit principe toepast voor mobiliteit lijkt het voor de hand te liggen eerst in te zetten op het verminderen van mobiliteit. Wanneer in de toekomst energie hernieuwbaar is opgewekt, heeft besparen minder effect. Maar vanuit ruimtelijk perspectief is de indirecte impact toch groot, omdat al deze energie ergens opgewekt moet worden. Beleidskeuzes hieromtrent kunnen direct stimulerend zijn (fiscaal, regelgeving) of ruimtelijk (nood tot mobiliteit verminderen). Ook zijn er autonome ontwikkelingen (telecommunicatie) die mobiliteit vervangen. De ruimtelijke aspecten van besparing worden verder verkend in deze studie.

De opwekking van duurzame energie – mbt. mobiliteit in eerste instantie elektriciteit en biogas – betekent een besparing op zich (de hogere motorefficiency van elektromotoren, ook 'well-to-wheel', dus het hele productie en gebruiksproces van mobiliteit, vraagt minder energie⁶). Verschillende mobiliteitsscenario's met verschillende brandstofmixen hebben een grote impact op de manier van opwekking, distributie en gebruik – en daarmee op het Nederlandse landschap. Voor dit onderdeel van de energietransitie wordt vooral de ruimtelijke impact onderzocht.



Figuur 132. De Trias Energetica voor mobiliteit

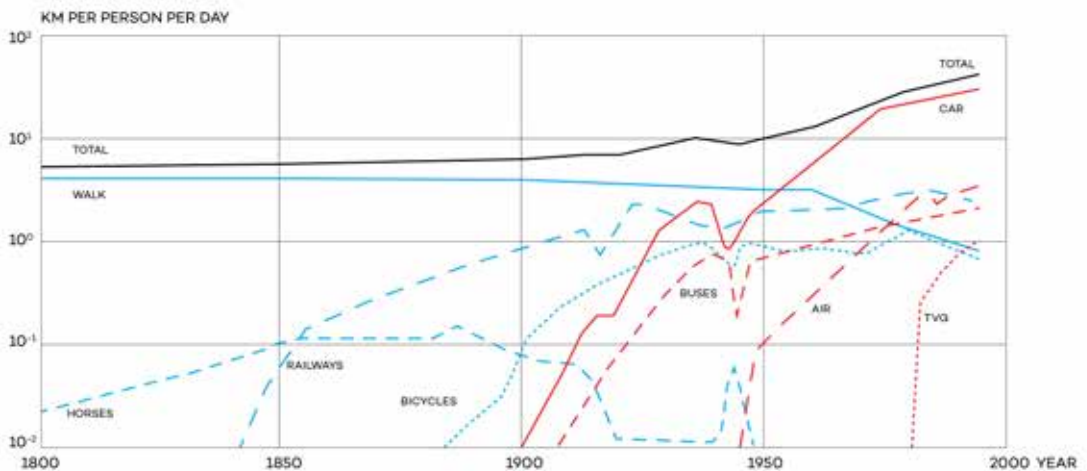
DE STAD REAGEERT OP NIEUWE VERVOERSVORMEN

Zelfs in de relatief korte geschiedenis van moderne stadsplanning is energiegebruik als drijfveer van ruimtelijke besluitvorming een recent verschijnsel. En terwijl energie en ruimte nog maar net samen worden genomen, sturen technologische ontwikkelingen ons naar een nieuw paradigma voor mobiliteitsplanning. De samenhang tussen ruimte en mobiliteit is altijd zeer sterk geweest. Met elke revolutie in mobiliteit werden stedenbouwkundige regels herschreven. Stedenbouwers creëerden geen steden van de toekomst; ze faciliteren nieuw gedrag, geïnspireerd door de enorme ontwikkelingen in transport en mobiliteit. Nieuwe mobiliteitsvormen hebben ook altijd een enorme impact gehad op de modal split, zoals te zien in onderstaande afbeelding.⁷ Tegenwoordig gaan deze ontwikkelingen razendsnel. In de komende 30 jaar zal technologische vooruitgang resulteren in nieuwe vormen van transport, data science en digitale infrastructuur die de ruimtelijke ordening en regionale planning herstructureren.

HISTORISCHE CONTEXT

Steeds als er een fundamentele verandering van transport plaatsvond vond een reactie plaats in stedelijke ontwikkeling. Nu we een nieuwe fase van mobiliteitsgedreven veranderingen ondergaan, is het belangrijk dat ontwerp en beleid de instrumenten gebruiken om technologische verandering te kunnen dicteren, in plaats van slechts te reageren. Langzaam verkeer – te voet en te paard – vormde lang geleden de beperkende factor voor de maat van steden. Zelfs de grootste steden in het Romeinse Rijk, zoals Rome, waren te belopen binnen afzienbare tijd. Dichtheden waren hierdoor zeer hoog en het platteland contrasteerde sterk met steden. Mobiliteit leidde nog niet tot hoge energiekosten; tijd was de beperkende factor.

Met de industriële revolutie werd snel transport voor veel mensen en goederen bereikbaar. Dit heeft steden veranderd tot knooppunten van productie en handel op een grotere schaal en met grotere snelheid dan tot dan toe het geval was.



Figuur 133. Logaritmische weergave van de ontwikkeling van gemiddelde afstanden voor iedere transportmodus.
Bron: Sijmons et. Al., 2014

HISTORIE, INNOVATIE EN DE TOEKOMST VAN MOBILITEIT

Een van de eerste – en bekendste – stadsmodellen waarin nieuwe mobiliteit drager was van stedelijke ontwikkelingen was de tuinstad van Ebenehaezer Howard. De centraal geplande Garden City was georganiseerd rond lopen en OV: een diameter van 2,5 km zou verzekeren dat alle afstanden bewandelbaar waren. Een hub-and-spoke spoorstelsel zou een ring van gemeentes verbinden met een centrale industriële hub.

De opkomst van automobilititeit was het startpunt van grootschalige suburbanisatie. De suburbane droom werd het verst doorgevoerd in Broadacre City van Frank Lloyd Wright uit 1924, in een poging de arcadische visie van een agrarisch, niet-stedelijk leven bereikbaar te maken dankzij futuristische mobiliteitsvormen. In deze visie zijn steden gedecentraliseerd zodat iedere familie een perceel heeft voor de productie van hun eigen voedsel en onderkomen. De Ville Radieuse van Le Corbusier is ontwikkeld in eenzelfde tijdsbestek, en gebruikte de mogelijkheden van toegenomen mobiliteit juist om de impact van externaliteiten van mobiliteit en industrie te verminderen. In de ‘stad als machine’ werden overlastgevendende voorzieningen

– inclusief delen van het mobiliteitssysteem zelf – op afstand geplaatst van plekken waar mensen wonen.

In meer recente stedelijke planning zijn steeds elementen terug te vinden van bovenstaande visies. Sinds de opkomst van de auto is ons mobiliteitssysteem niet meer fundamenteel veranderd, en er is vooral gewerkt aan het optimaliseren van mobiliteit en het verminderen van de negatieve bijeffecten als luchtvervuiling, geluidsoverlast en barrièrewerking. Het optimaliseren leidde in principe vrijwel altijd tot een toename van mobiliteit – en dus energiegebruik. Veel succesvolle OV-lijnen, zoals de lightrailverbinding tussen Den Haag en Rotterdam, hebben een grote betekenis voor de tussenliggende dorpen en een hoge bezettingsgraad. Ook is er sterkere stedelijke groei langs de haltes, al is dit een proces van tientallen jaren. Toch heeft dit weinig invloed gehad op overig verkeer: de drukte op de wegen tussen deze steden is in deze jaren niet verminderd.⁸ Gedragsbeïnvloeding door middel van mobility enablers heeft weinig invloed op de modal split.



<p>Lage-dichtheid in suburbane knooppunten, OV-afhankelijk</p>	<p>Agrarisch landschap met lage dichtheid - Auto/vliegtuig afhankelijk</p>	<p>Hoge dichtheid megasteden- Auto afhankelijk</p>	<p>Transit Oriented Development OV+ Zacht verkeer (fiets, voetganger)</p>	<p>Sharing Economy • Transportation Relay Network</p>
<p>1909 / Garden City Ebenehaezer Howard</p>	<p>1925 / Broadacre City Frank Lloyd Wright</p>	<p>1925 / La Ville Radieuse Le Corbusier</p>	<p>1983 "Transit Oriented Development" Peter Calthorpe</p>	<p>Automatisering van wegverkeer, hernieuwbare energie</p>
<p></p>	<p></p>	<p>1939 / Futurama Exhibit General Motors, Norman Bel Geddes New York Worlds Fair</p>	<p>1999 / The Transit Andres Duany The Congress for New Urbanism</p>	<p></p>

Figuur 134. Stedenbouwkundige concepten als reactie op nieuwe vormen van mobiliteit

TOEKOMSTIGE ONTWIKKELINGEN IN MOBILITEIT

Steeds waren nieuwe stedelijke concepten een anticipatie op nieuwe vormen van mobiliteit, en zoals gezegd zijn er sinds de auto weinig fundamenteel nieuwe mobiliteitsvormen ontstaan; al heeft de opkomst van de TGV een grote invloed gehad op verstedelijkingspatronen in Frankrijk en is de toegankelijkheid van een luchthaven een steeds belangrijkere vestigingsfactor voor niet alleen bedrijven, maar ook individuen. Er staan echter een aantal ontwikkelingen op stapel die ons mobiliteitssysteem potentieel enorm veranderen, en die niet los gezien kunnen worden van de energietransitie.

Specific-purpose vehicle designs

Specific-purpose vehicles zijn op maat gemaakte vormen van mobiliteit. Het spectrum aan dergelijke mobiliteitsvormen neemt enorm toe, en heeft daarmee grote invloed op het gebruik van infrastructuur. Denk op kleine schaal aan de Pedelec (hogesnelheids-e-bikes) en de segway, die de actieradius van respectievelijk fietsers en voetgangers verhogen, en op grotere schaal aan openbaar vervoer op afroep of platooning van vrachtwagens. Voertuigen worden steeds meer speciaal gemaakt voor het aantal passagiers of de vracht die zij moeten vervoeren waardoor ze efficiënter zijn met betrekking tot ruimtegebruik, kosten en energieverbruik dan vervoersmiddelen voor algemeen gebruik.

Zelfrijdende vervoersmiddelen

Zelfrijdende auto's stellen passagiers van voertuigen in staat tot een hogere productiviteit en/of meer vrije tijd, zonder een gevaar te zijn voor hunzelf en anderen. Consultant McKinsey voorspelt dat de overgang naar volledig autonome voertuigen in de directe toekomst zal plaatsvinden. Sommige scenario's voorspellen dat consumentenmodellen volledig autonoom zijn in 2030. In 2040 zal 90% van het marktaandeel van nieuwe auto's bestaan uit autonome voertuigen⁹. Wetgeving en

maatschappelijke acceptatie zouden in de weg kunnen staan, maar verbeteringen in transport- en energiegebruik maken autonoom transport een onvermijdelijk – en onweerstaanbaar – design en planning gereedschap. De potentiële impact op energiegebruik is enorm. Enerzijds omdat zelfrijdend verkeer kan leiden tot hypermobiliteit: het maakt niet uit hoe lang je onderweg bent, je verliest immers geen tijd. Tegelijkertijd kan het leiden tot extra verplaatsingen omdat auto's mogelijks buiten woonwijken parkeren: ze rijden zelfstandig naar parkeergarages buiten de stad.

Gedeelde voertuigen

Gedeelde voertuigen worden door diverse mensen gedurende de dag gebruikt, in plaats van slechts door een enkel persoon. De deeleconomie is binnengedrongen tot de meeste aspecten van ons leven, en het delen van private vervoersmiddelen is in opkomst, (Uber, Snappcar). Gemiddeld genomen staan auto's 96% van de tijd stil. Voor ieder voertuig dat gedeeld wordt, wordt geschat dat vier¹⁰ tot dertien¹¹ auto's van de weg zullen verdwijnen. Het patroon van vervaging tussen private en gemeenschappelijke goederen zal versterkt worden met toekomstige autonome vervoersmiddelen.

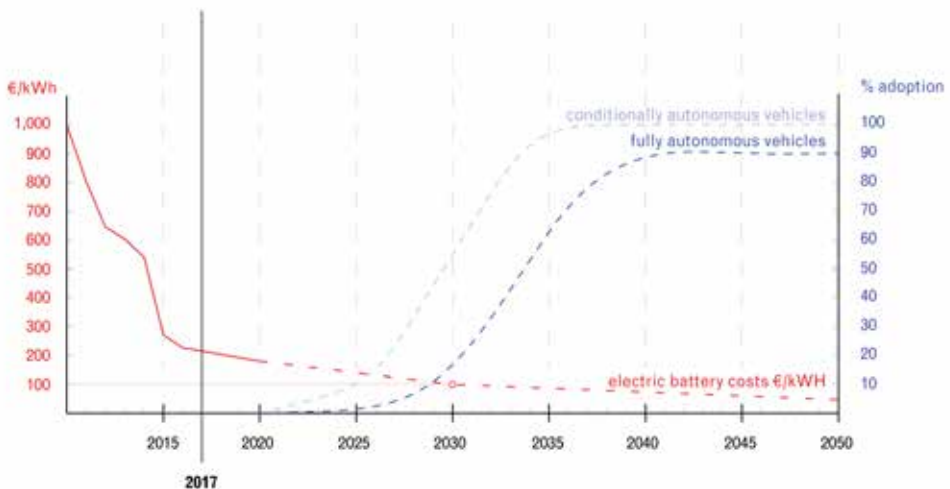
Van producten naar diensten

Gebruikers van openbaar vervoer worden aangetrokken tot een bepaald transportmiddel vanwege de diensten die zij verleent, niet vanwege het product. Neem bijvoorbeeld de trein, de metro of de bus; keuzes worden gemaakt op basis de reisduur, prijs en dienstverlening met betrekking tot bagage, overstappen en punten van vertrek en bestemming. In een product-gedreven vervoersmarkt, zouden gebruikers een sterke voorkeur kunnen geven aan het merk (Airbus A320, in plaats van een Boeing 737), en zodoende hun financiële beslissingen af laten hangen van het product. Niemand doet dit. Tot op het heden is de automarkt product-gedreven. Dit heeft er voor gezorgd dat

met name Europese fabrikanten auto's afleveren van hoge kwaliteit en mooi ontwerp. Elektrische voertuigen krijgen een steeds groter marktaandeel en kunnen meer en meer inspelen op prijsconcurrentie vanwege totale kosten van bezit met interne verbrandingsmotoren. Bedrijven die nu elektrische auto's op de markt zetten, halen hun business case vaak uit het leveren en vervangen van batterijen (Tesla, de eigenaars van Volvo). Kwaliteitsverschillen in auto's worden steeds kleiner. Het komende decennium zal de auto-industrie andere vormen van transport volgen en richting dienst-gerichte oplossingen gaan, zoals het delen en leasen van auto's. Er wordt verwacht dat in 2024 een dienst-gedreven automarkt zal ontstaan.

Technologiebedrijven zoals Uber, Lyft, Amazon en Google zijn al vroeg partnerships aangegaan met fabrikanten van vervoersmiddelen.¹²

Bovengenoemde mobiliteitsinnovaties versterken elkaar, waardoor een hogere gebruikspotentie per voertuig mogelijk wordt (energiebesparing), maar mobiliteit ook enorm toe kan nemen, en dus het energiegebruik. Het is echter moeilijk voorspellingen te doen, en het is denkbaar dat de beschikbaarheid van energie zélf een bepalende factor gaat worden in de transitie van mobiliteit.



Figuur 135.

De kosten van elektrisch rijden per kilometer zijn vanaf ca. 2020 lager dan fossiel. De verwachting is dat vanaf ca 2035 autonoom rijden dominant is. (Bron: ING, 2017. Breakthrough of electric vehicle threatens European car industry)

INNOVATIES MBT. ENERGIE EN MOBILITEIT

Vehicle2grid

Een directe link met het energiesysteem is de potentie van vehicle2grid, waarin batterijpakketten in auto's gekoppeld aan het elektriciteitsnetwerk niet alleen elektriciteit kunnen afnemen, maar ook terugzetten. Daarmee fungeren auto's als buffer waarmee beschikbaarheidspieken afgevangen kunnen worden. Het business model van Tesla is deels gebaseerd op dit principe.¹³

Rijdend laden

Een cruciale innovatie voor zwaarder vervoer is de mogelijkheid tot rijdend laden. Dit kan op drie manieren: via bovenleidingen (zoals de trolleybus in Arnhem), sleepcontacten (zoals metro's) en inductie (contactloos laden). Deze technieken zijn alle drie al zeer ver ontwikkeld, en opvallend genoeg ligt zelfs de efficiency van inductieladen rond de 90%. Het is daarmee een efficiëntere vorm van energieoverdracht dan opslag van elektriciteit in batterijen. Dit komt mede door de gewichtsbesparing: de energiebron hoeft niet meegesleept te worden. Er zijn nog veel praktische haken en ogen, zoals bladeren in het sleepcontact, het effect van inductie op pacemakers en het risico van elektrocutie. Ruimtelijk is de impact van bovenleidingen natuurlijk erg groot, en zijn er mogelijk extra rijstroken nodig specifiek voor het laden van voertuigen. Economisch zijn deze technieken nog niet rendabel. Een belangrijke kostenfactor is de aanleg van energie infrastructuur naar en langs de wegen. Dit pleit voor energieopwekking langs infrastructuren: de energie zal dan dichtbij de gebruiker aanwezig zijn.¹⁴

CONCLUSIE – DE TOEKOMST VAN MOBILITEIT

Stedenbouw heeft altijd nieuwe mobiliteitsvormen gevolgd en hierop geprobeerd te anticiperen. Externaliteiten (lawaai, vervuiling, barrière werking) werden mede bepalend voor inrichting mobiliteit in de stad, met lopen en OV als minder overlast-gevende vorm van mobiliteit, en auto's waar mogelijk de stad uit. Woon-werkverkeer was bepalend in al deze reacties door de stedenbouw; waarin betere mobiliteit (sneller, comfortabeler) vaak leidt tot grotere woon-werkafstanden, waarin de tijdsbesteding ongeveer hetzelfde blijft. In de volgende mobiliteitsrevolutie – waarin geautomatiseerd verkeer een hoofdrol speelt – zou het kunnen dat reistijd niet meer bepalend is, omdat reizen geen 'verloren' tijd meer is. Dit kan leiden tot hypermobiliteit. Stedenbouw zou daarom tegengas kunnen/moeten bieden aan mobiliteit. Tegelijkertijd neemt de populariteit van stedelijk wonen toe, mede omdat de negatieve aspecten (vervuiling, lawaai) van wonen in de stad teruggedrongen zijn. Compact leven in de buurt van voorzieningen staat diametraal tegenover de suburbaniteit die het resultaat kan zijn van zogenaamde robot-auto's.

BOUWSTENEN

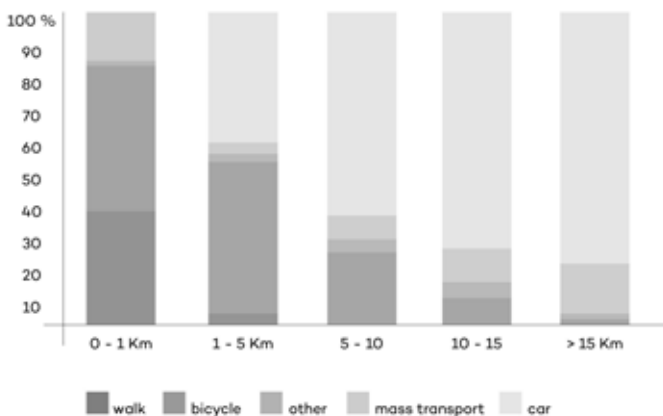


Figuur 136. wandel- en fietsverbinding richting station Den Haag CS, Bart van Vliet

AFSTANDEN VERMINDEREN

Een van de ruimtelijke potenties van duurzame mobiliteit ligt in het verbeteren van de modal split, de balans tussen diverse vervoersmodaliteiten. De besparingspotentie is groot, mits geïnvesteerd wordt in de juiste zaken. Uit het onderzoek van CE Delft¹⁵ blijkt dat het stimuleren van kleinschalig elektrisch vervoer als de e-bike en elektrische scooter een no-regret keuze is in modal split-beleid, terwijl de kosten en baten van investeren in OV vanuit een energieperspectief sterk uit balans zijn. Meer OV leidt niet tot minder autoverkeer. Goede fietsverbindingen + het stimuleren van de elektrische fiets wel.

Door afstanden tussen bestemmingen te beperken, snijdt het mes aan twee kanten: bij kortere afstanden zijn mensen eerder geneigd duurzame vervoersvormen (fiets, lopen) te kiezen. Door dichtheid en voorzieningen en hun verzorgingsgebied op elkaar af te stemmen, neemt mobiliteit in potentie af. We onderzoeken de potenties en effecten van het stimuleren van een betere modal split op drie niveaus.



Figuur 137. Bij kortere afstanden wordt vaker voor de fiets gekozen ¹⁶
(bron: CBS, 2008. Fietsen naar het werk populair bij kleine afstanden)

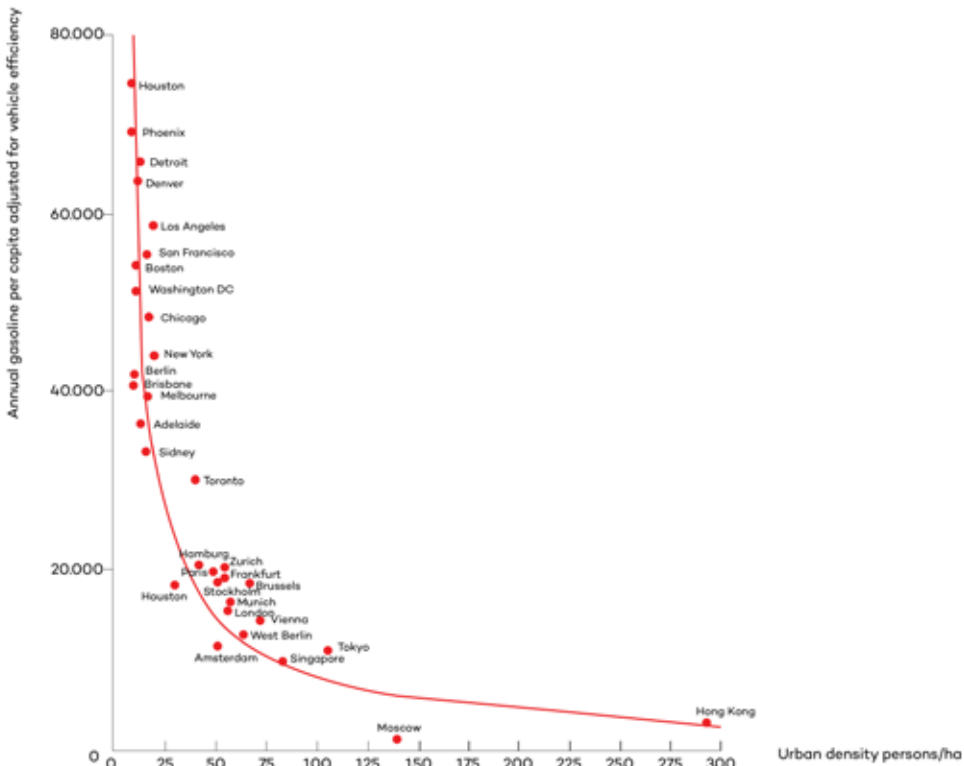
DE POTENTIE VAN STEDENBOUW VOOR MOBILITEITSGEDRAG

In de jaren '90 is veel onderzoek gedaan naar de relatie tussen ruimtelijke planning en mobiliteitsgedrag. Een hogere stedelijke dichtheid heeft effect: bewoners van binnenstedelijke nieuwbouwlocaties blijken 1/3 minder kilometers te maken dan bewoners van uitleglocaties¹⁷. Uit metastudies blijkt dat het verschil in energiegebruik door mobiliteit zelfs op kan lopen tot 40%¹⁸. Een bekende studie van Newman en Kenworthy¹⁹ toont een exponentieel verband tussen dichtheid en energiegebruik in mobiliteit.

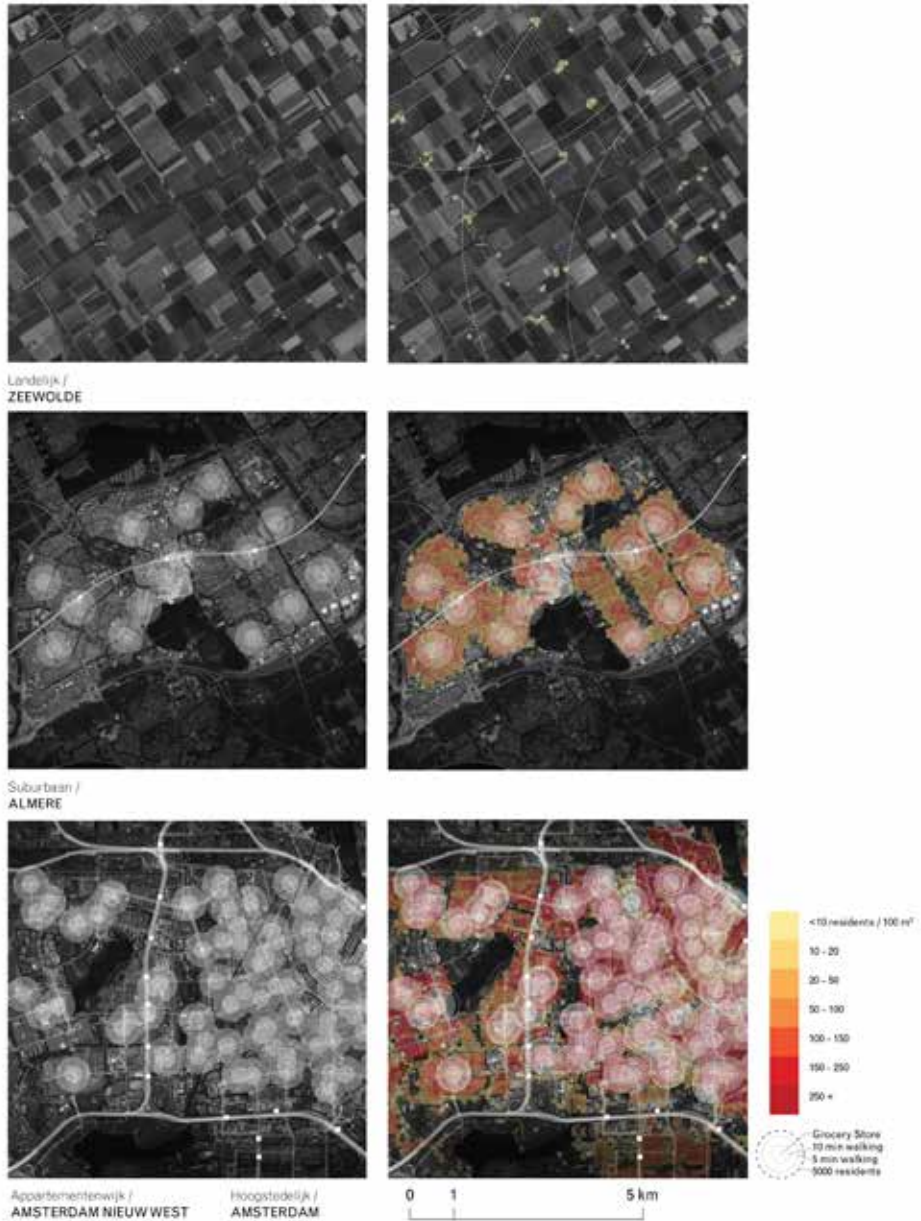
Andere overheidsinstrumenten om mobiliteitsgedrag te beïnvloeden, zoals kilometerbeprizing, sorteren op korte termijn meer effect²¹, en tot 2030 ligt er een bouwopgave van circa 1 miljoen woningen,

slechts 12% van het totale areaal aan bebouwing. Het effect van verdichting is dus iets dat speelt op lange termijn, en is moeilijk te kwantificeren. Dit neemt niet weg dat het relevant is dit verder te onderzoeken. Zeker omdat andere paden binnen de energietransitie stedelijke vernieuwing mogelijk versnellen. Bijvoorbeeld de enorme investeringen in bestaande bebouwing voor isolatie – maakt vervangende nieuwbouw vaak aantrekkelijker. De voordelen van compact bouwen voor verwarming en –koeling en de ruimtebesparing voor extra energieopwekking zijn andere effecten.

Ruimtelijk beleid kan erop gericht zijn verdichting te stimuleren en bijvoorbeeld in krimpgebieden te zoeken naar facilitering van deze krimp, al is maatschappelijke acceptatie hiervan een uitdaging.



Figuur 138. De relatie tussen energiegebruik in mobiliteit en stedelijke dichtheid²⁰



Abbeelding 9. Loopafstanden tot supermarkten

Figuur 140. Loopafstanden tot supermarkten gerelateerd aan dichtheid

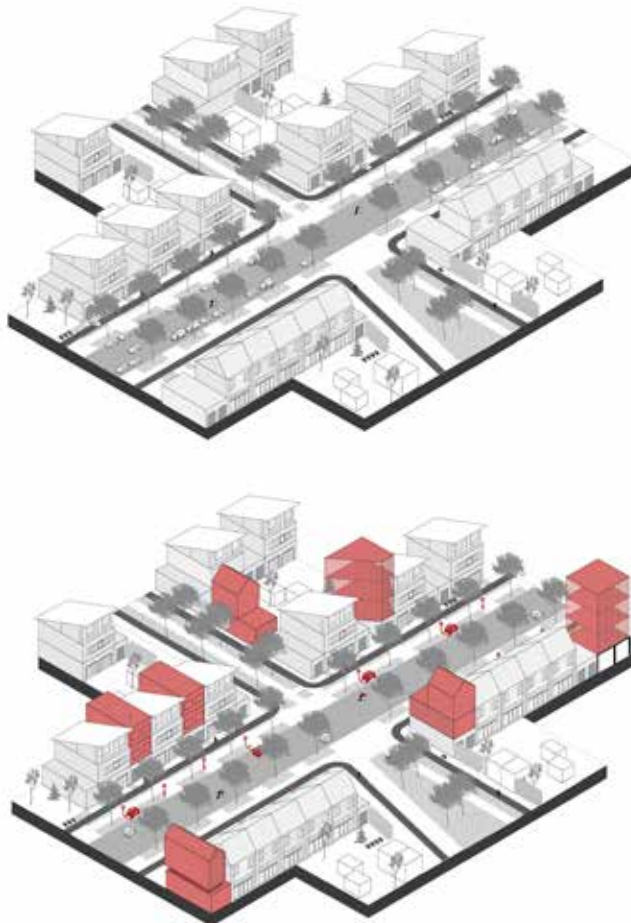
BOUWSTENEN (+ RUIMTELIJKE IMPACT EN KANSEN)

Dit zijn geen opzienbarende conclusies, maar door wijken op deze manier te evalueren ontstaat wel een beleidskeuze die het mobiliteitsgedrag van mensen kan beïnvloeden:

- Verdichten en krimpen: de eerder genoemde studie geeft aan dat binnenstedelijk verdichten de mobiliteit per inwoner vermindert. Volgens het PBL kan nog aan een groot deel van de woningbehoefte voldaan worden door transformatie en verdichting.²³ Daarnaast kan in krimpgebieden waar de kritieke massa voor groei ontbreekt, gekozen worden voor een uitdovingsstrategie.

De huidige praktijk voor wat betreft krimp is vooral volgend en probeert de impact te reduceren,²⁴ er kan ook actief ingezet worden op het aanbieden van nieuwe woonruimte aan bewoners van krimpgebieden. Een radicale stap die veel investeringen mbt infrastructuur en leefkwaliteit kan besparen.

- Optimaliseren openbare ruimte: zet in wijken met een hoge dichtheid volledig in op langzaam verkeer en OV, en faciliteer in ruimer opgezette wijken infrastructuur voor duurzamere (elektrische) mobiliteit. Voor krimpgebieden betekent dit vervoer op maat, mogelijk zelfrijdend.



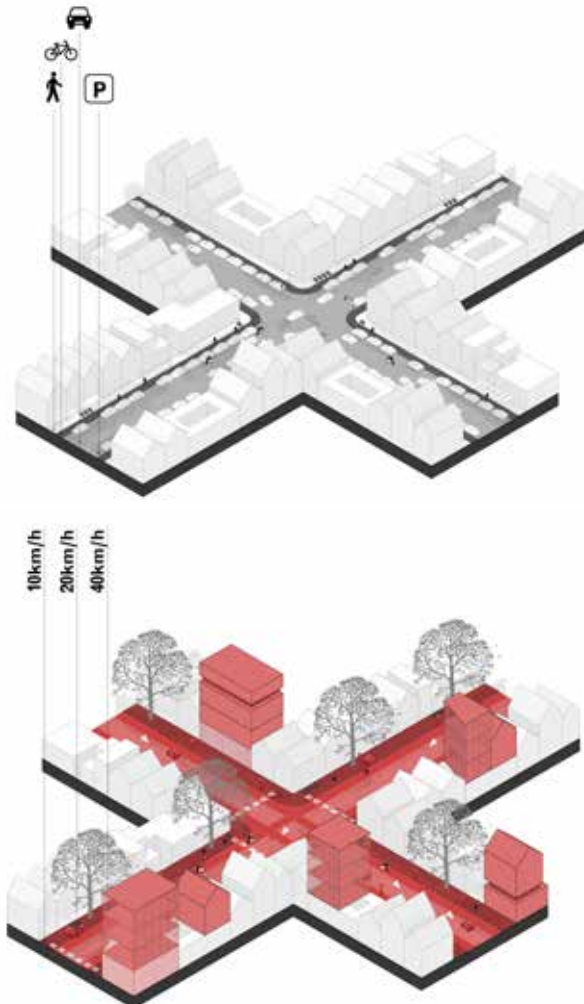
Figuur 141. Bestaande en mogelijke toekomstige situatie suburbane wijk met verdichting en herinrichting buitenruimte

BOUWSTENEN (+ RUIMTELIJKE IMPACT EN KANSEN)

Deze keuze borduurt voort uit de mogelijkheid dat de woningmarkt in de toekomst gaat veranderen als gevolg van nieuwe mobiliteitsvormen en andere technologische ontwikkelingen²⁵ – en daarmee krimpgebieden bereikbaarder en populairder worden.

Wat is dan de potentiële energiebesparing? Dit kan alleen zeer globaal voorgerekend worden. Stel dat het lukt de volledige woningbouwopgave binnen de scope van deze studie – ca 1 miljoen woningen (12%) – te

realiseren als verdichtingsopgave, daarmee 33% minder autokilometers makend. Dit betekent een reductie van 4% personenvervoer, het equivalent van 10 PJ. Dit neemt toe wanneer er actief ingezet wordt op herlocatie van woningen in krimpgebieden. Ter vergelijking: het invoeren van kilometerheffing leidt potentieel tot een automobiliteitsreductie van 10 tot 15%, echter tegen een hoog welvaartsverlies.²⁶ Overigens is het effect van optimalisering van het netwerk voor bestaande wijken en bewoners niet meegenomen – het potentiële effect is dus groter.



Figuur 142. Bestaande en mogelijke toekomstige situatie stedelijke wijk met verdichting en herinrichting van de buitenruimte

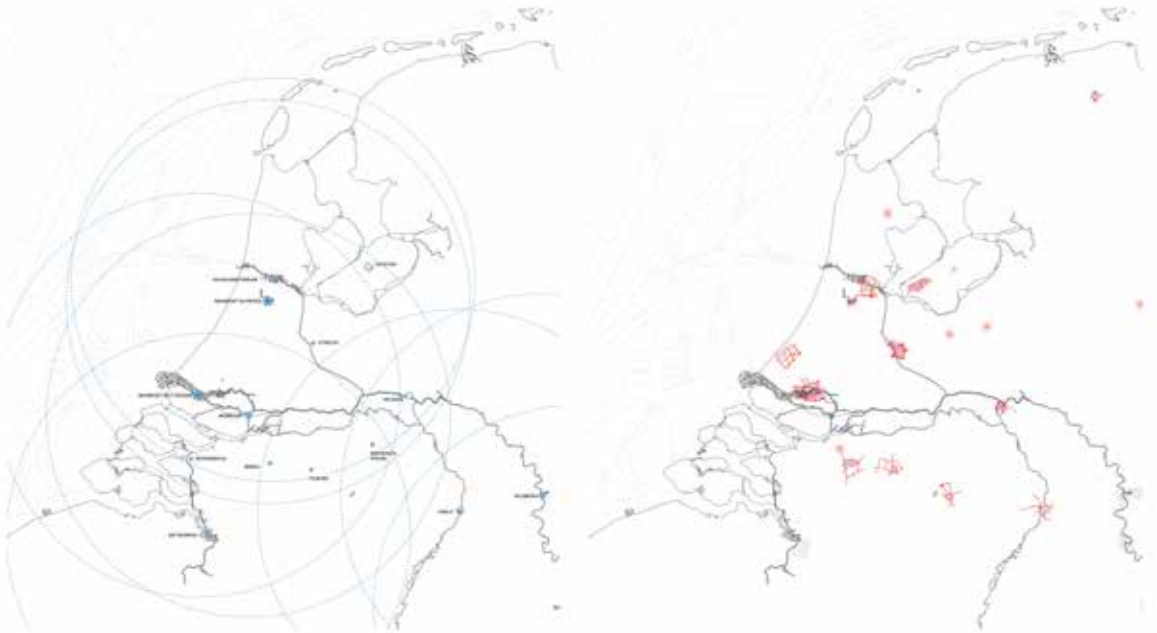
NETWERK: NIEUWE INFRASTRUCTUREN

De opkomst van specific purpose vehicles en de daarmee samenhangende verbreding van het spectrum aan mobiliteitsvormen, en ook de enorme groei van bezorgingsdiensten en dergelijke meer, vraagt om een herziening van de mobiliteitsketen van mensen en goederen. Het Nederlandse logistieke systeem is sterk geoptimaliseerd: wanneer een schap in de supermarkt leeg dreigt te raken, is er al een vrachtwagen met nieuwe producten onderweg. Toch wordt er hier en daar aan de stoelpoten van de supermarkthegeemonie gezaagd, zoals ook andere retail al sterk aan het veranderen is.²⁷ Bezorgdiensten worden steeds slimmer, en het 'wagenpark' van diensten als DHL bestaat al lang niet meer alleen uit busjes en vliegtuigen, maar ook uit boten, 'cubicycles', segways, e-bikes, noem maar op. Door deze slimmere vormen van distributie neemt de behoefte aan overslag mogelijkheden toe. Reed een bezorger vroeger direct met een bestelbus of vrachtwagen van een distributiecentrum naar de afnemer, met de opkomst van stadsdistributie zijn er meerdere transfers toegevoegd in de distributieketen. Niet alleen goederen-, ook bij personenvervoer wordt het transportmiddel steeds beter afgestemd op de locatie, met meerdere overstappen op andere vervoersmiddelen tot gevolg. De introductie van het 'Rondje om de kerk' bij de NS, maar ook de opkomst van fietsdeelsystemen en dergelijke zijn een resultaat hiervan.

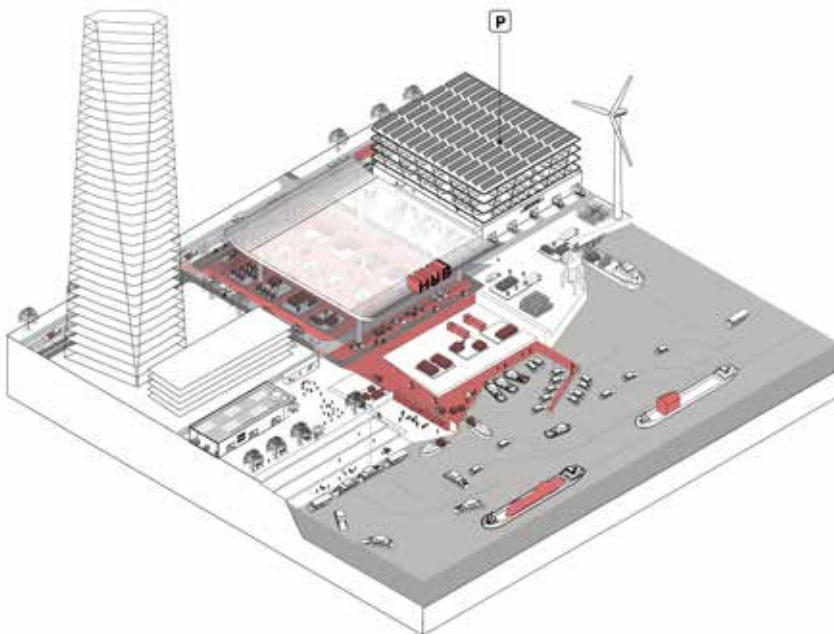
Voor energiegebruik betekent dit vooral een mogelijke besparing: er wordt minder lucht getransporteerd, en er wordt minder gebruik gemaakt van zware transportmiddelen waar dit niet nodig is. Ook kan grootschalig vervoer – per trein of boot – aantrekkelijker blijven dan vervoer over de weg wanneer er op meer plekken overslagmogelijkheden zijn. Dit is iets waar de haven van Rotterdam al actief op inzet door landinwaarts meer overslagpunten te organiseren.

Ruimtelijk kan deze transitie op twee manieren gefaciliteerd worden. Het inrichten van veel meer locaties als overslag- en overstaphubs, niet alleen op OV knooppunten, maar ook bijvoorbeeld waar snelweg, rails en rivier elkaar raken of langs ringwegen, maakt een meer passende transportketen aantrekkelijker. Dit in combinatie met herinrichting van de openbare ruimte, waar nu door de stikte scheiding auto-fiets-voetganger congestie ontstaat, vooral op het fietspad waar steeds transportmiddelen in steeds meer formaten en snelheden gebruik van maken. Bijvoorbeeld door op rijbanen onderscheid te maken naar maximumsnelheid en/of gewicht in plaats van vervoersmiddel. Voor de gemeente Rotterdam heeft TNO in 2014²⁸ uitgerekend wat de impact kan zijn van een slim distributiesysteem van hubs en een netwerk van wegen speciaal voor kleinschaligere, elektrische vormen van vervoer. De CO₂-uitstoot door wegverkeer zou hiermee 5% afnemen, dit komt overeen met het planten van 2500 hectare bosgebied. Wanneer dit voor heel Nederland geïmplementeerd is de inschatting zijn dat dit 20 petajoule bespaart.

Opties	Besparing
Alleen binnenstedelijk verdichten	10-15 PJ
(Inter)stedelijk netwerk en hubs optimaliseren	20 PJ

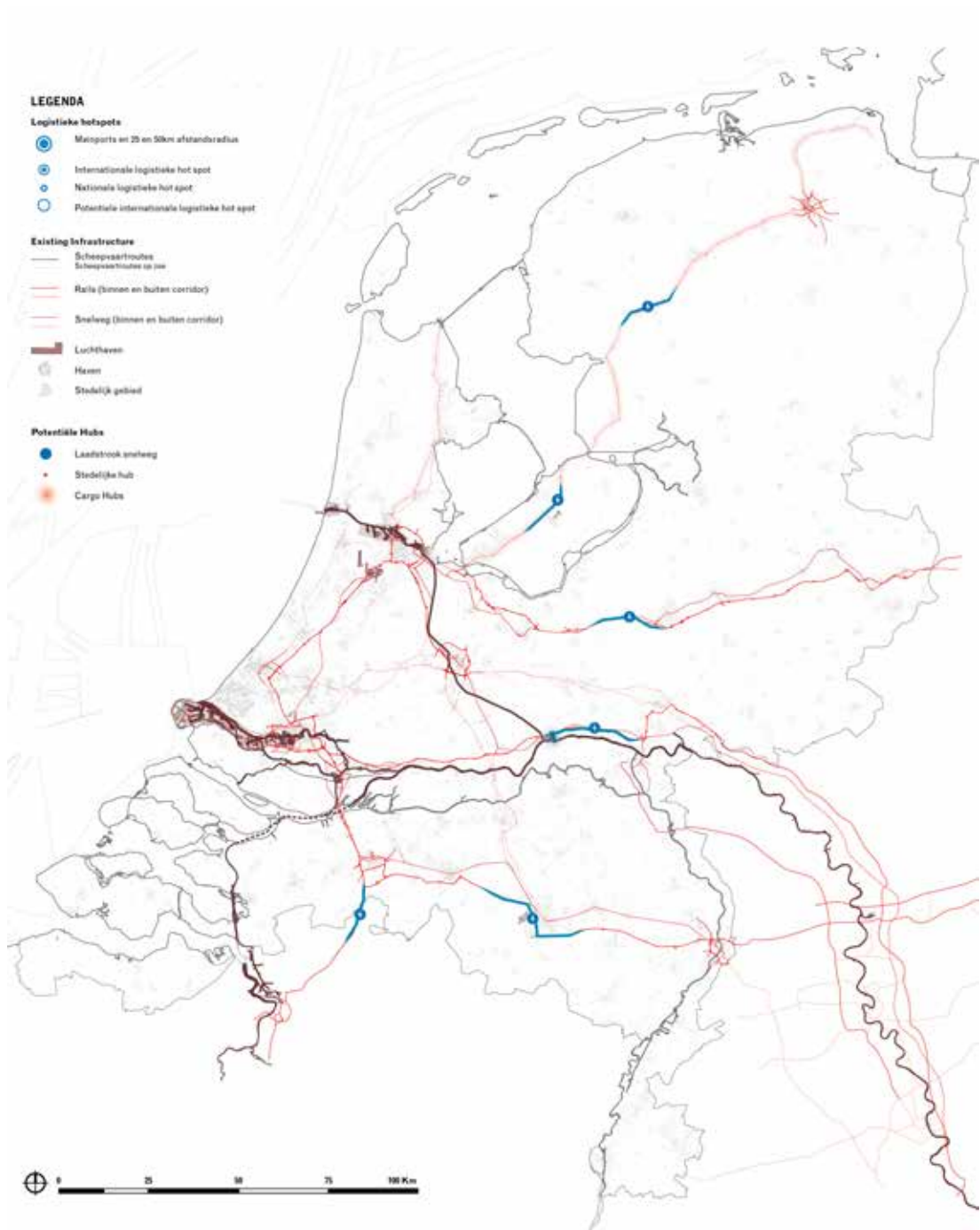


Figuur 143. *Belangrijkste bestaande en toekomstige logistieke hubs in NL (links), potentiële stedelijke hubs en distributienetwerken (rechts)*



Figuur 144. *Stedelijke hubs voor uitwisseling van mensen en goederen zorgen voor een flexibeler mobiliteitsketen. De opkomst van zelfrijdende mobiliteit kan het belang van hubs vergroten: auto's kunnen bijvoorbeeld mensen brengen en vervolgens goederen ophalen*

BOUWSTENEN (+ RUIMTELIJKE IMPACT EN KANSEN)



Figuur 145. Een nieuw netwerk van corridors en hubs, met laadstroken midden tussen de logistieke centra

MOBILITEITS TOP 5: DE TE VERWACHTEN TRANSITIE

De top-5 van energiegebruikers in de Nederlandse mobiliteit (autoverkeer, zwaar commercieel verkeer, zeescheepvaart, licht commercieel verkeer, binnenvaart) kent ieder een eigen verwacht transitie- en innovatiepad. Door het grote verschil in afschrijving tussen auto's, vrachtwagens en schepen kunnen innovaties sneller of langzamer uitgerold worden. Daarnaast kent ieder vervoersmiddel een eigen logica wanneer het gaat om brandstof.

Autoverkeer en licht commercieel verkeer

Voor autoverkeer gaan de ontwikkelingen hard. Batterij-elektrische auto's zijn grootschalig op de markt gebracht en kunnen qua prijs concurreren met conventionele nieuwe auto's. De actieradius is in het overgrote deel van autoritten voldoende. Batterij-elektrisch heeft een grote voorsprong op waterstof-elektrisch, zowel qua marktaandeel als efficiency.

Zwaar commercieel verkeer

Voor vrachtverkeer zijn er meer uitdagingen, door de grotere afstanden die vrachtwagens afleggen en het grote gewicht. Tot nu toe wordt vooral ingezet op (bio) LNG, of batterij voor stadsdistributie. Er wordt onder anderen door Tesla gewerkt aan vrachtwagens op batterijen die een actieradius van 300 tot 500 km - een conventionele tank rijdt 1.600 km.

Voor vrachtverkeer kan rijdend laden een oplossing zijn om de actieradius te vergroten (en het mee te torsen gewicht aan batterijen te verminderen). Dit kan op verschillende manieren, die ieder eigen ruimtelijke consequenties hebben. Er zijn drie dominante technieken: een pantograaf (bovenleiding), een sleepcontact en inductie. De efficiency van alle drie de systemen is hoog - 90 tot 100%.

Zee- en binnenscheepvaart

De afschrijvingstijd van schepen en scheepsmotoren loopt in de tientallen jaren.

Daarnaast bestaat, voornamelijk in de binnenvaart, een groot deel van de rederijen uit individuele scheepseigenaars.

Al worden er kleinschalige experimenten met waterstof en batterijen gedaan, er wordt vooral ingezet op (bio-)LNG als minder vervuilende energiebron.

VERSCHILLEN IN MOTOREFFICIENCY

Een belangrijk effect van de brandstoftransitie zit in de hogere efficiency van elektrische motoren. Per gereden kilometer hoeft voor een batterij-aangedreven auto 76% minder energie opgewekt te worden dan een benzine auto, en een waterstof-aangedreven auto gebruikt ca 30% minder energie (well 2 wheel)²⁹. Ook in het hele proces inclusief productie en levenscyclus van de voertuigen en batterijen (LCA), is het energiegebruik van elektrische auto's 30% lager³⁰. Omdat veel van het energiegebruik in de hele productie- en levenscyclus van voertuigen in andere transitiepaden (voornamelijk kracht en licht en hogetemperatuurwarmte) terechtkomt, rekenen we hier alleen met het eindgebruik.

ENERGIEMIXEN EN HUN INDIRECTE RUIMTELIJKE CONSEQUENTIES

Op basis van bovengenoemde efficiencyverschillen kan een inschatting gemaakt worden van het energiegebruik van verschillende mobiliteitsmixen, en daarmee het indirecte ruimtegebruik. De verschillen zijn gigantisch - allereerst omdat de opwekkingsvorm ruimtelijk verschilt (windmolens en zonnepanelen enerzijds, biomassateelt anderzijds als dominante opwekkingsvormen), en daarnaast omdat door verschillen in efficiëntie de energievraag, en daarmee de ruimtevrage per mix verschilt. We hebben het energiegebruik van drie brandstofmixen (waarbij we hebben gekozen voor uitersten: 100% van het één of het ander per opwekkingsvorm) met elkaar en met het huidige brandstofverbruik vergeleken. In alle drie de rekenmodellen is LNG dominant in de scheepvaart - al kan waterstof hier een rol gaan

spelen in de toekomst. Onderstaande mixen zijn uitersten. Ze geven echter een beeld van de grote indirecte effecten en de grote verschillen hiertussen.

- Mix 1, voortzetten huidige trend: gaat uit van batterij-elektrisch voor licht wegverkeer, en (bio)LNG voor zwaar wegverkeer.
- Mix 2, trendbreuk naar waterstof: gaat er vanuit dat al het wegverkeer, dus ook zwaar vrachtverkeer, 100% waterstof-elektrisch wordt, en de scheepvaart op bio-LNG vaart
- Mix 3: zo optimaal mogelijk, waarbij de meest veelbelovende techniek per transportmiddel voor 100% toegepast wordt.

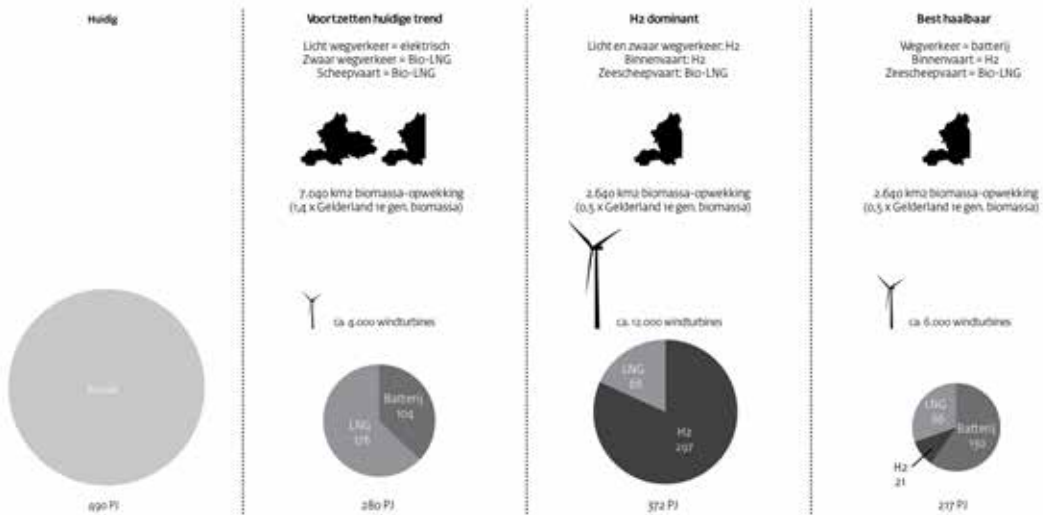
De verschillen in ruimtegebruik nodig voor de opwekking van voldoende elektriciteit of productie van LNG lopen sterk uiteen, zoals in Figuur 146 te zien is. Voor wegverkeer lijkt waterstof geen evidente keuze, omdat het alternatief veel efficiënter is. Al met al gebruikt de meest energiezuinige brandstofmix de helft van het huidige energiegebruik in wegverkeer, groei van de mobiliteit niet meegenomen.

Het verschil met het trendskenario is 110 PJ minder biomassaopwekking (4.400 km², rekening houdend met een efficiëntie van 70%³¹ en een opbrengst van 0,025PJ/km²)³², maar 53 PJ meer elektriciteitsopwekking (ca 2.000 extra 3MW-windmolens).³³

Opties:

Totaal energiegebruik well2wheel (excl. mobiliteitsgroei):

<i>Huidige trend voortzetten (markt)</i>	<i>280 PJ</i>
<i>Inzetten op H₂</i>	<i>372 PJ</i>
<i>Meest efficiënt</i>	<i>217 PJ</i>



Figuur 146. Indicatie van de benodigde hoeveelheid energieopwekking voor diverse brandstofmixen

DIRECTE RUIMTELIJKE CONSEQUENTIES VAN DE BRANDSTOFTRANSITIE

Waterstof tanken: meer ruimte nodig in buitengebied

Voor de ruimtelijke gevolgen beperken we ons tot wegverkeer. Voornamelijk de aanleg van laadinfrastructuur heeft impact op de openbare ruimte. Er is een groot verschil tussen waterstof en batterij-elektrisch. Waterstof tanken duurt iets langer en de actieradius is veel korter dan voor traditionele motoren, en het is te verwachten dat waterstof tankstations niet binnen de bebouwde kom geplaatst kunnen worden in verband met de veiligheid. Er zullen dus nieuwe laadstations in het buitengebied nodig zijn om de hogere tankfrequentie, langere tankduur en het wegvallen van tankstations binnen de bebouwde kom op te vangen.

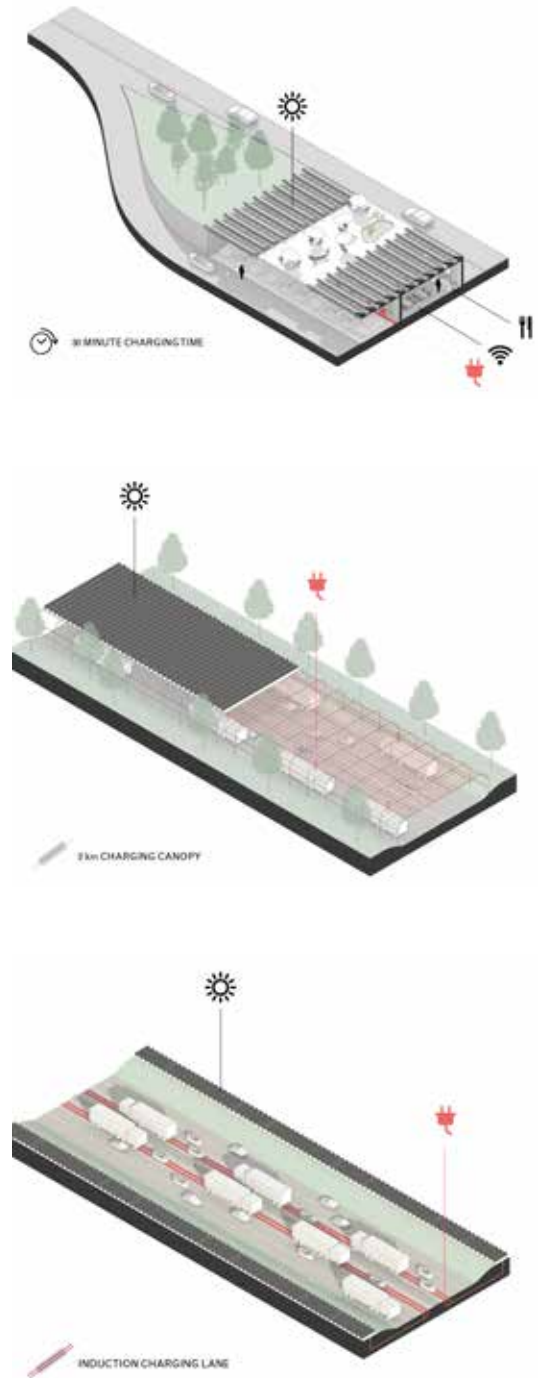
Elektrisch laden: in alle straten

Elektrisch laden betekent vooral de opkomst van laadinfrastructuur in woonstraten en parkeergarages. Snelladers langs snelwegen zullen vooralsnog een reserve-optie blijven: het laden duurt nog altijd 20 minuten en het is niet goed voor de accu. De extra capaciteit die nodig is zal leiden tot het vervangen van de elektriciteit in veel straten.

Laadstroken

Op bepaalde plekken zullen (vracht)wagens en bussen opgeladen worden door middel van inductie, sleepcontact of pantograaf. Dit vraagt om extra rijstroken die hier speciaal voor ingericht zijn.

Een belangrijke voorwaarde voor rijdend laden is de beschikbaarheid van elektriciteit bij de laadstroken. Er moet langs wegen een hogere capaciteit aan elektravoorzieningen komen. Dit draagt bij aan de logica infrastructuur en energieopwekking ruimtelijk aan elkaar te koppelen.



Figuur 147. De snelweg als energiecridor, waarin het beeld en de functie van tankstations zal veranderen

Vrijkomende fossiele infrastructuur

Bestaande tankstations zullen – zeker binnen de bebouwde kom – uit het straatbeeld verdwijnen. Een klein deel van de stedelijke verdichtingsopgave kan hier in opgevangen worden. Buiten de bebouwde kom verandert het beeld van een tankstation: omdat een deel van de bezoekers hier langere tijd doorbrengt (om de auto op te laden) zullen deze meer ingericht worden voor kort verblijf, bijvoorbeeld met werkplekken of horeca.

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

- Verbeterde leefbaarheid in de steden: een emissievrij personenvervoer en stadslogistiek levert een enorme kans op voor de leefbaarheid in steden: in 2050 zullen steden schoon en stil zijn wat betreft mobiliteit. Dit vergroot, op termijn, ook de kansen voor verdichting van wonen en werken in de steden en nabij vervoersknooppunten. Op zichzelf levert ook dat weer mobiliteitswinst op, om dat dichter bij elkaar brengen zorgt voor minder vervoerskilometers. Bovendien kan de ruimte die niet gebruikt wordt voor stedelijke groei, ingezet worden voor onder andere energieopwekking.
- Multifunctioneel gebruik corridors en knooppunten: het slim en adaptief plannen van laadinfrastructuur irt belangrijke routes (bijvoorbeeld de goederencorridors, koppeling met tankstations die dan ook een bredere functie krijgen in combi met werken, vergaderen, pakketten afhalen en wegbrengen, laadpunten (elektrisch/waterstof). En op die manier ook organiseren van overslagpunten tbv de stadslogistiek. Maar ook op een lager schaalniveau de knooppunten van stations die ook werk- en vergaderlocatie kunnen zijn, pakketten afhalen en wegbrengen, laadpunt van elektrische fiets en scooter. Dit vergt een integraal beleid van gemeenten rond infrastructuur en ruimte op lokaal niveau.
- Ingrepen in weg- en spoor infrastructuur combineren met duurzame energie: combinaties met netwerken voor energie en het opwekken van duurzame energie. Bijvoorbeeld door energie mee te nemen in het MIRT³⁴. Opwekking van energie op en rond rijkswegen levert in potentie tientallen petajoules op. Daarnaast zal de aanleg van grootschalige transportinfrastructuur voor energie, bijvoorbeeld warmte, aanleiding bieden voor het plannen van nieuwe mobiliteitscorridors.
- Ruimtebeslag door transitie naar elektrisch/waterstof/biobrandstoffen: bij een transitie van mobiliteit naar elektrisch / waterstof / biobrandstoffen (oa vrachtvervoer) is veel meer elektriciteit en biomassa nodig, beide hebben een grote ruimtevrage. Dilemma: verschillende mix heeft verschillende impact (bijvoorbeeld: bij waterstof is er een omzettingsverlies dus meer opwek nodig en daarmee meer ruimtelijke impact). Is het gezien deze ruimtelijke impact handig om af te wachten wat de markt doet of beter om meer te sturen?
- Verandering van stedelijke structuur kan bijdragen aan gedragsverandering: andere structuur kan er voor zorgen dat er minder mobiliteit nodig is of dat andere vormen aantrekkelijk worden, zoals wandelen en fietsen. Naast structuurverandering zijn aanpassingen nodig in langzaamverkeersroutes (meer lopen/fietsen), versterken overstapmogelijkheden. Hier zijn ook kansen voor Smart City / Smart Mobility concepten waarbij de woning en de auto samen een systeem vormen van opwek en opslag van energie. Hierdoor is ook minder verzwarening van de netwerken nodig in de stad, omdat de pieken en dalen binnen het systeem van woning en auto wordt opgelost. Dit kan ook op een wat collectievere manier, zoals bijvoorbeeld in Utrecht – de wijk Lombok. Dit vraagt wel om ruimtelijke organisatie. Naast de bestaande stad geldt dit natuurlijk ook voor de naar schatting 1 miljoen huizen die nog worden gebouwd. Deze bouwopgave schept kansen voor verbinding tussen veranderingen in de stedelijke structuur en de kansen voor vermindering van mobiliteit (wonen bij knooppunten, meer fiets(snel)wegen, aantrekkelijker maken van langzaam verkeer routes, ...).
- Bouwen in of buiten de stad? Wat weegt zwaarder: voldoen aan woningbehoefte of beperken van emissies in mobiliteit? Vanuit het beperken van mobiliteit is compact bouwen en verdichten van bestaand stedelijk gebied verstandiger dan nieuwbouw in (nu nog) open gebieden nabij steden. Naast mobiliteit heeft compact bouwen tot zekere hoogte – dichtheid gaat immers ten

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

koste van onder andere groen in de stad - de potentie een besparing in energiegebruik voor verwarming en koeling te bewerkstelligen. Tegelijkertijd is het bouwen in open gebied sneller te realiseren. Dit vraagt wel extra ruimte en investeringen voor infrastructuur. Ook zal de mobiliteit hoger zijn en daarmee groeit dus ook de behoefte aan duurzaam opgewekte elektriciteit. Er zal dan dus meer ruimte voor zonne- en windenergie nodig zijn.

- Gedragsverandering is een zaak van de lange adem: de potentiële winst van compacter bouwen lijkt klein als het om energiebesparing gaat. Stedelijke transformatie is echter een continu proces, waardoor op lange termijn het effect groter is.
- Ruim baan voor nieuwe vormen van mobiliteit: Veel nieuwe vormen van mobiliteit, zoals pedelecs of elektrische bakfietsen, zijn een energie- en ruimte efficiënter alternatief voor bestaande mobiliteitsvormen (e-bikes verminderen autoverkeer, cargo bikes vervangen bestelbusjes). Deze 'tussenmaten' in mobiliteit zijn nu nog vaak een probleem op de weg: te groot of snel voor het fietspad, te kwetsbaar of langzaam voor de autoweg. Dit vraagt om nieuwe oplossingen.

02 / ANALYSE PER FUNCTIONALITEIT

2.6 VOEDSEL EN NATUUR



BESCHOUWING TRANSITIEPAD

BOUWSTENEN VOOR OPTIMALISATIE VAN HET HUIDIGE LANDGEBRUIK

BOUWSTENEN VOOR BEWUSTE VERANDERING VAN LANDGEBRUIK

INNOVATIEVE VORMEN VAN LANDBOUW

KANSRIJKE COMBINATIES BINNEN HET TRANSITIEPAD VOEDSEL EN NATUUR

KANSRIJKE COMBINATIES MET ANDERE TRANSITIEPADEN

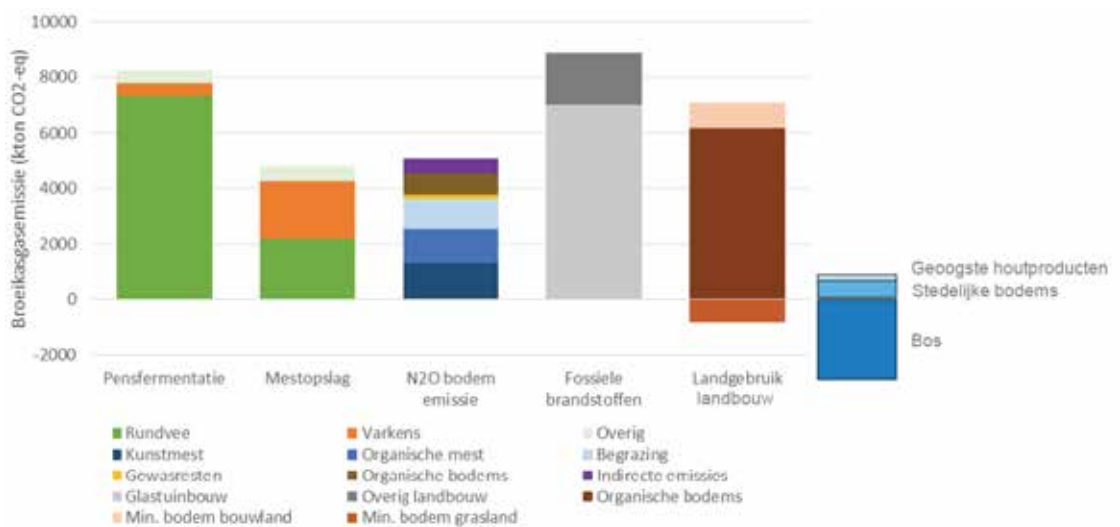
CONCLUSIES

Het transitiepad voedsel en natuur gaat niet primair over energie, maar vooral over het terugdringen van broeikasgasemissies vanuit landgebruik voor landbouw en natuur. En daarnaast ook de mogelijkheden om met aanpassingen of verandering van dit landgebruik broeikasgassen in het landschap vast te leggen. Het gaat er dus in zekere zin om het landschap zelf zo goed mogelijk in te zetten als instrument om de broeikasgashuishouding te reguleren en te optimaliseren.

De broeikasgashuishouding wordt momenteel nog sterk gedomineerd door de sectoren energie, industrie en mobiliteit, maar bij voortschrijdende emissiereductie in die sectoren zal het aandeel vanuit de sectoren landbouw en natuur zonder gewijzigd beleid of gebruik relatief toenemen en in 2050 mogelijk zelfs domineren. Kenmerkend voor het transitiepad voedsel en natuur is verder dat veel maatregelen een relatief lange incubatietijd hebben. Zo zal het planten van nieuw bos pas over zo'n 30 jaar (als bomen volgroeid zijn) leiden tot een significante bijdrage in de koolstofvastlegging.

De maatregelen om vanuit het transitiepad voedsel en natuur te komen tot een betere broeikasgasbalans kunnen grofweg worden ingedeeld in de volgende twee categorieën:

- Veelal technische maatregelen die uitgaan van continuering en optimalisatie van het huidige landgebruik, zoals het hanteren van een hoger waterpeil zonder verandering van gebruik, onderwaterdrainage, extensivering van het agrarisch gebruik, precisielandbouw, het organiseren van meer opslag van koolstof boven- of ondergronds, het afvangen van emissies en innovaties zoals het toepassen van andere teelten.
- Maatregelen die uitgaan van een significante verandering van het landgebruik, zoals biomassateelt, bosontwikkeling en akkerbouw in plaats van melkveehouderij. Ook een veranderende voedselbehoefte zoals meer consumptie van plantaardige in plaats van dierlijke eiwitten en (het tegengaan van) verstedelijking vallen in deze categorie, zij het dat verandering van landgebruik in die gevallen een indirect effect van de maatregel is. Dit zijn in potentie (uiteraard afhankelijk van de schaal waarop de maatregel wordt toegepast) grootschalige maatregelen die het aanzien van het landschap sterk kunnen doen veranderen. Koppelingen met andere maatschappelijke doelen zoals gezondheid, waterbeheer en natuurontwikkeling zullen in deze categorie van maatregelen een belangrijke rol spelen om tot implementatie te komen.



BOUWSTENEN VOOR OPTIMALISATIE VAN HET HUIDIGE LANDGEBRUIK

An aerial photograph of a vast, green agricultural field. The field is divided into long, parallel rows of crops. A red tractor is visible in the upper right quadrant, moving across the field and leaving a trail of dark soil behind it. The overall scene is a typical representation of modern agriculture.

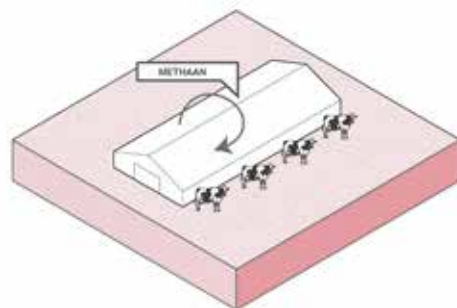
Deze categorie van maatregelen gaat impliciet uit van de landbouw als een mondiaal opererend systeem dat vooral gedreven wordt door kostenoptimalisatie en economies of scale. De oplossingen worden hier vooral in de techniek gezocht, en niet in het ruimtegebruik.

OPTIMALISATIES IN DE VEETEELT ZONDER NOEMENSWAARDIGE CONSEQUENTIES VOOR HET LANDGEBRUIK

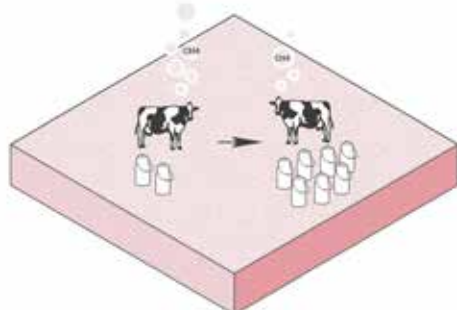
Deze maatregelen die betrekking hebben op de veehouderij gaan met name over rantsoenaanpassing, levensduurverlenging, stalaanpassingen, mestvergisting en – oxidatie. Deze maatregelen hebben nauwelijks consequenties voor het landgebruik, de ruimtelijke implicaties beperken zich doorgaans tot leefomgevingseffecten als geur en fijnstof. De maatregel rantsoenaanpassing heeft ruimtelijk vooral als effect dat de teelt van veevoer op Nederlandse bodem wordt aangepast. Een deel van het grasland wordt dan bijvoorbeeld maisakker, bij voorkeur in de directe nabijheid van het vee dat het moet voeden en idealiter ook op plekken waar deze gewassen het beste groeien.

De maatregel levensduurverlenging heeft geen significante ruimtelijke effecten. Ook de maatregel stal-aanpassingen (opvang methaan, anders opvangen mest) heeft op zich nauwelijks ruimtelijke consequenties, maar kan wel positieve leefomgevingseffecten hebben als meerdere onderwerpen tegelijk worden meegenomen (geur, luchtkwaliteit). Vanwege de benodigde investeringen is het denkbaar dat deze maatregel bijdraagt aan verdere schaalvergroting.

De maatregelen mestoxidatie en mestvergisting hebben nauwelijks een invloed op het landgebruik en beperkte ruimtelijke en leefomgevingseffecten wanneer deze als mono-mestvergisters op de schaal van een individueel agrarisch bedrijf worden toegepast (geur, luchtkwaliteit). Wanneer het echter gaat om een co-vergister waarbij ook andere

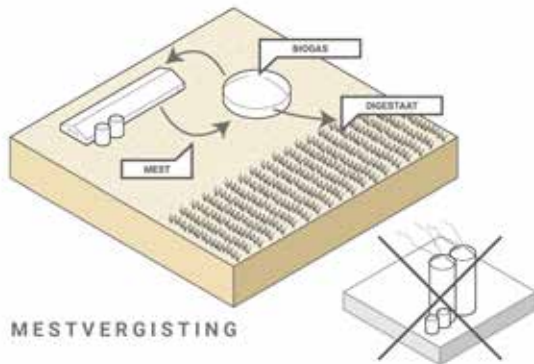


METHAAN AFGANGEN

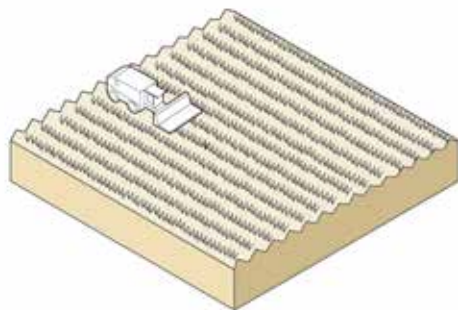
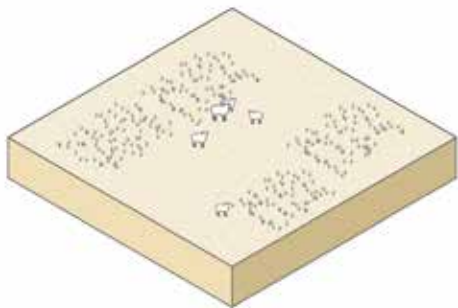


OPTIMALISATIE LEVENSDUUR, VOEDING, GENETICA, PRODUCTIE PER DIER

afvalstoffen van buiten worden aangevoerd en die meerdere agrarische bedrijven bedient, dan zal de aan- en afvoer van grondstoffen een wezenlijke ruimtelijke impact hebben. Deze co-vergister dient dan op een goed bereikbare locatie met voldoende milieuruimte (zoals een bedrijventerrein) geplaatst te worden. De precieze locatie van zo'n co-vergister kan mede worden beïnvloed door instrumenten uit andere transitiepaden, bijvoorbeeld als er (regionaal) behoefte is om het biogas uit vergisting anders te gebruiken dan op het eigen bedrijf door bijvoorbeeld voeding in het aardgasnet.



MESTVERGISTING

OPTIMALISATIE LAND-
BEWERKING/BODEMBEHEERBEHOUD
PERMANENT GRASLAND

OPTIMALISATIES IN HET BODEMBEHEER ZONDER NOEMENSWAARDIGE CONSEQUENTIES VOOR HET LANDGEBRUIK

De maatregelen precisielandbouw en nitrificatieremmers hebben op zich geen ruimtelijke impact, en mogelijk wel positieve leefomgevingseffecten omdat minder emissies naar water, bodem en lucht plaatsvinden. Maatregelen gericht op het vergroten van de koolstofvoorraad in landbouwbodems zijn specifiek voor de gebieden met de betreffende bodemsoorten. Behoud van permanent grasland heeft nagenoeg geen invloed op het landschap. Een beter beheer van minerale gronden kan een invloed hebben op het landschap als boeren kiezen voor andere gewassen die meer jaarrond de bodem bedekken.

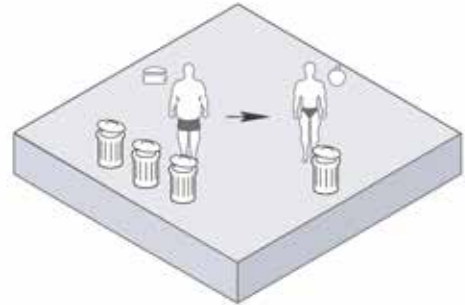
OPTIMALISATIES IN DE VEETEELT MET RUIMTELIJKE CONSEQUENTIES

Alleen als wordt ingezet op het verminderen van het aantal dieren komt er, voor zover geen extensivering plaatsvindt, ruimte vrij voor ander gebruik. Wáár dit het geval is, zal enerzijds afhangen van de bedrijfsomstandigheden, die deels locatiegebonden zijn (zoals de kwaliteit van locatiefactoren: bodemkwaliteit, logistiek, mogelijkheden voor andere teelten) en deels ook niet locatiegebonden (bijvoorbeeld of er sprake is van een bedrijfsopvolger).

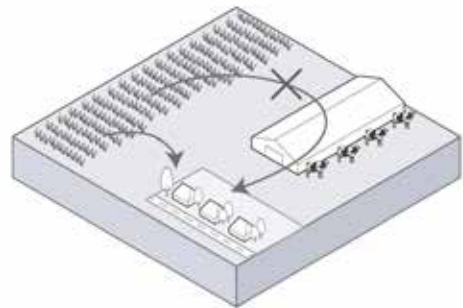
Anderzijds zal het afhangen van kansen voor andere opgaven en daarmee ook de prijs die de boer voor zijn grond kan vangen: woningbouw nabij bestaande steden, verbrede extensieve landbouwbedrijven in recreatief aantrekkelijke gebieden, peilverhoging in veenweidegebieden, ruimte voor wateropgaven, natuur nabij bestaande natuurgebieden of daar waar natuurverbindingzones wenselijk zijn, zonneweides waar dat in het landschap past en aansluit bij de vraag naar energie.

Hoevéél ruimte er vrijkomt, is afhankelijk van de emissieruimte die beschikbaar blijft voor de veehouderij en de emissiereductie die (verdere) innovaties weten te bewerkstelligen. In gebieden waar de bodem daarvoor geschikt is, zal omschakeling naar akkerbouw in de rede liggen. Waar de bodem daarvoor minder geschikt is, is het onttrekken aan de landbouw logischer. De behoeften van andere functies zoals woningbouw, zonnevelden en nieuw bos in het komende decennium bedragen indicatief 165.000 hectare² (totaal landbouwoppervlak 2,25 mln. ha, grasland 1,3 mln. ha).

De andere diersectoren zoals de pluimveehouderij gebruiken weinig land, dus een teruggang leidt tot weinig vrijkomende grond. Wel gaan de leefomgevingseffecten omlaag. Een teruggang lijkt vooral daar logisch waar de bestaande leefomgevingseffecten het meest knellend zijn – voor de bedrijfsvoering of voor de omgeving.



MINDER CONSUMPTIE EN VERSPILLING



DIEET VAN PLANTAARDIGE EIWITTEN IN PLAATS VAN DIERLIJKE EIWITTEN

BOUWSTENEN VOOR BEWUSTE VERANDERING VAN LANDGEBRUIK



Figuur 150. Landschap Wijde Wormer, Tineke Dijkstra

Deze categorie van maatregelen sluit aan bij de landbouw als onderdeel van de lokale samenleving waarin zij zich dient te voegen. De oplossingen worden hier vooral gezocht in het beter laten aansluiten van het ruimtegebruik bij de van nature heersende productieomstandigheden. Deze maatregelen kunnen er mede voor zorgen dat landbouw en natuur beter in het landschap worden ingevoegd.

Verskillende typen landgebruik kennen verschillende broeikasgasemissieprestaties. Van slecht naar goed presterend ziet de ranking er ongeveer als volgt uit:

- Veenweidegebieden en moerige gronden: sterke broeikasgasemissies door verbranding van organische stof als gevolg van ontwatering.
- Bebouwde omgeving en infrastructuur: broeikasgasemissies met name als gevolg van ontwatering van de grond.
- Akkerbouwgebieden: broeikasgasemissies met name als gevolg van ploegen en ontwatering van de grond.
- Grasland: broeikasgasemissies door pensfermentatie van met name runderen, maar ook vastlegging van emissies in wortels van gras en bodem.
- Permanent grasland: netto vastlegging van emissies in wortels van gras en bodem.
- Natuurgebieden, niet zijnde veen en bos: vastlegging van emissies in wortels van vegetatie en bodem.
- Moeras- en venen: sterke vastlegging van emissies in met name de bodem, mits er geen sprake is van verdroging.
- Bossen of losse bomen: sterke vastlegging van emissies in met name de vegetatie (hout).

Zo bezien zijn de volgende ontwikkelingen vanuit klimaatoptiek wenselijk en efficiënt: Het vernatten (en daarmee als zodanig laten verdwijnen) van veenweidegebieden en deze plaats te laten maken voor natte graslanden die indien onbeheerd zullen evolueren tot

veenmoerassen en moerasbossen. Eventueel kan hier ook rietteelt en andere vormen van paludicultuur plaatsvinden. Riet neemt veel CO₂ op en kan dit langdurig vasthouden, mits het lang in gebruik blijft als bijvoorbeeld bouw materiaal.

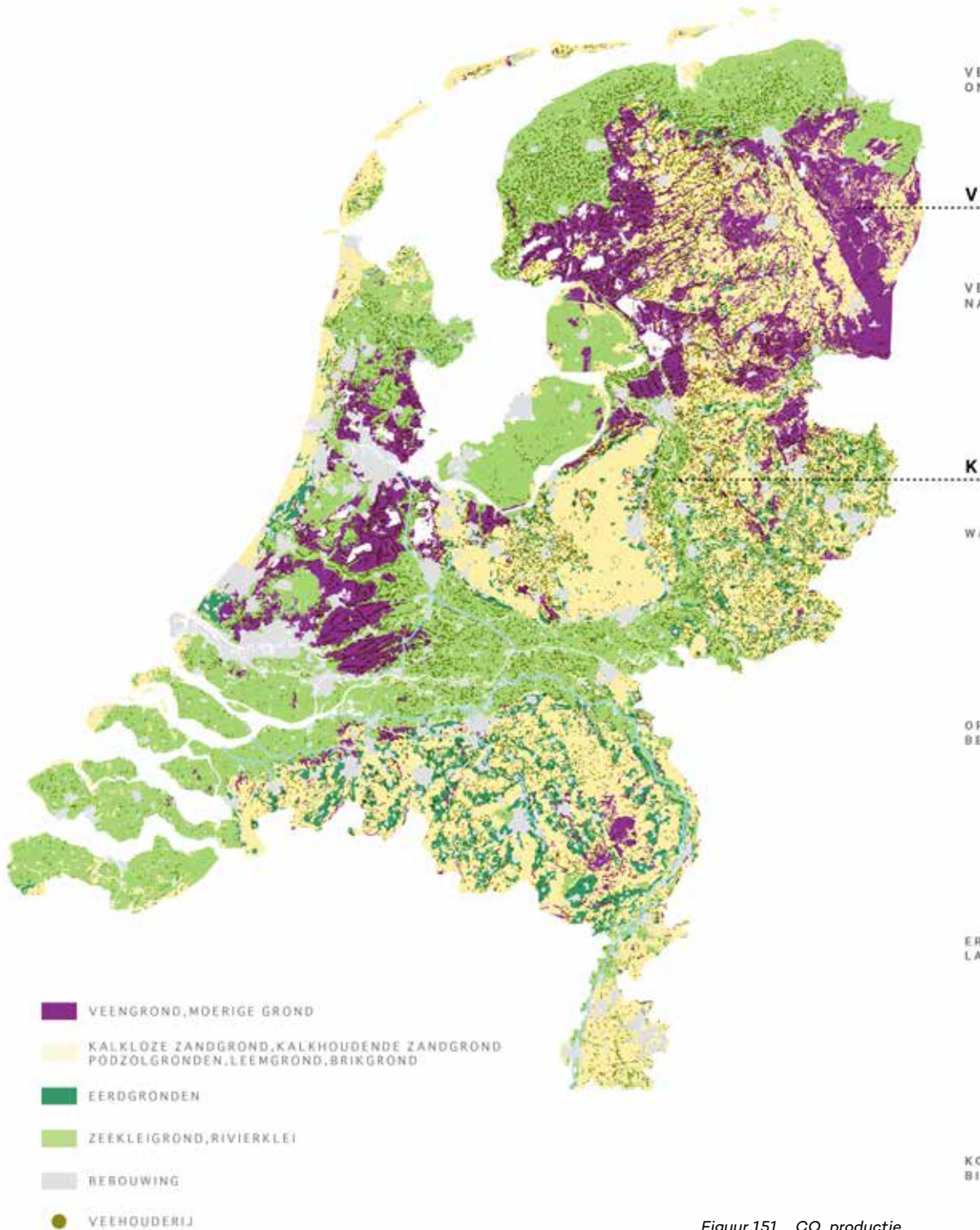
Het zo compact mogelijk houden van de bebouwde omgeving en de infrastructuur, en dus zo weinig mogelijk ruimtelijke uitbreidingen. Wanneer binnen dit type ruimtegebruik zoveel mogelijk bomen worden geplant (in parken, lanen, straten, langs wegen, kanalen, e.d.) dan wordt dit type als het ware verweven met bos, of in ieder geval losse bomen.

Akkerbouwgebieden worden idealiter beperkt tot de meest vruchtbare gebieden. Hier zou zoveel mogelijk verweving plaats moeten vinden met bos of losse bomen, met name in de vorm van erfbeplantingen, landschapselementen en agroforestry. Dit betreft vooral de rijke klei- en leemgronden van het rivierengebied, de zeekelepolders, de droogmakerijen en de flanken van de beekdalen. De arme zandgronden zijn door bemesting vruchtbaarder (en daarmee voor akkerbouw beter geschikt) te maken, maar dit vraagt om een bufferzone richting kwetsbare natuurgebieden.

Niet-permanent grasland zou zoveel mogelijk moeten worden omgezet naar permanent grasland. Ook hier kan verweving plaatsvinden met bos of losse bomen (zie voorgaand punt). Grond die voortvloeiend uit bovenstaande ruimtelijke keuzes niet nodig of geschikt is voor hoogproductieve akkerbouw of als permanent grasland kan gebruikt worden voor bosuitbreiding en uitbreiding van overige natuurgebieden.

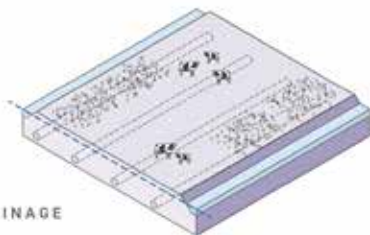
De typen landgebruik die netto emissies vastleggen (permanent grasland en natuur) dienen op een klimaat-slimme manier te worden beheerd. Dit kan betekenen dat met name de ontwikkeling van bos of boomgroepen in bestaande natuurgebieden worden gestimuleerd.

De geschiktheid voor (het overschakelen op) bepaalde typen landgebruik hangt

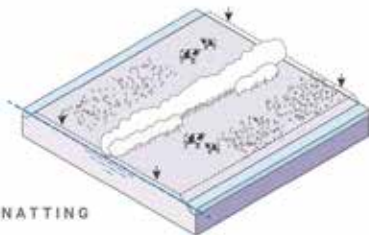


Figuur 151. CO₂ productie

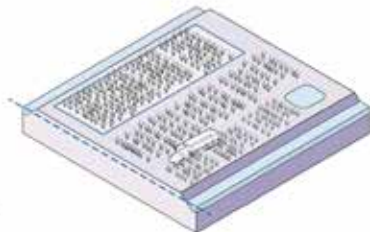
BEWUSTE VERANDERING VAN LANDGEBRUIK



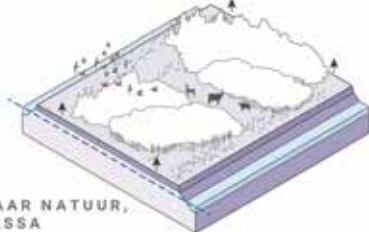
VEENWEIDE:
ONDERWATER-DRAINAGE



VEENWEIDE:
PASSIEVE VERNATTING



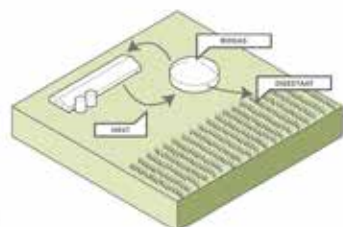
VEENWEIDE:
INTENSIEVE LANDBOUW



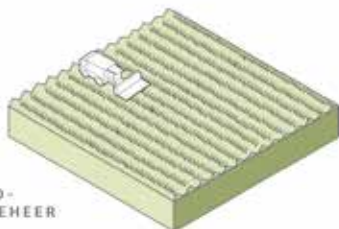
VEENWEIDE:
OMVORMEN NAAR NATUUR,
BOS EN BIOMASSA



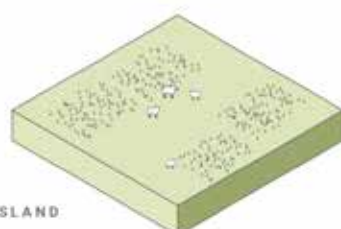
VEENWEIDE:
WATERRETENTIE



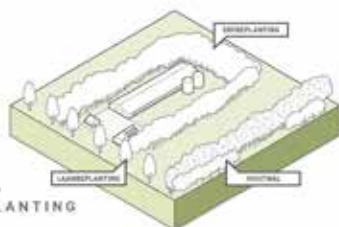
MESTVERGISTING



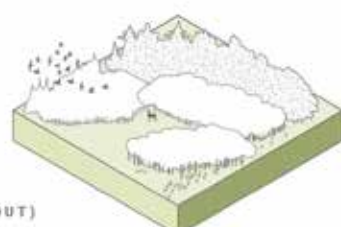
VEENWEIDE:
OPTIMALISATIE LAND-
WERKING/BODEMBEHEER



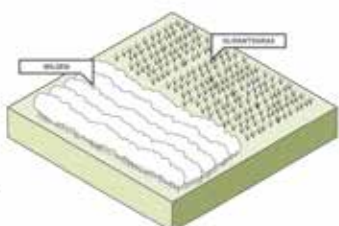
BEHOUD
PERMANENT GRASLAND



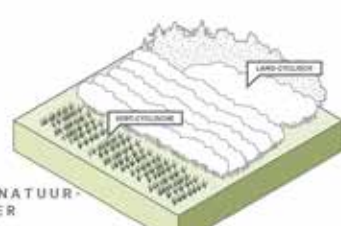
VEENWEIDE:
BOOMBEPLANTING +
LANDSCHAPSBEPLANTING



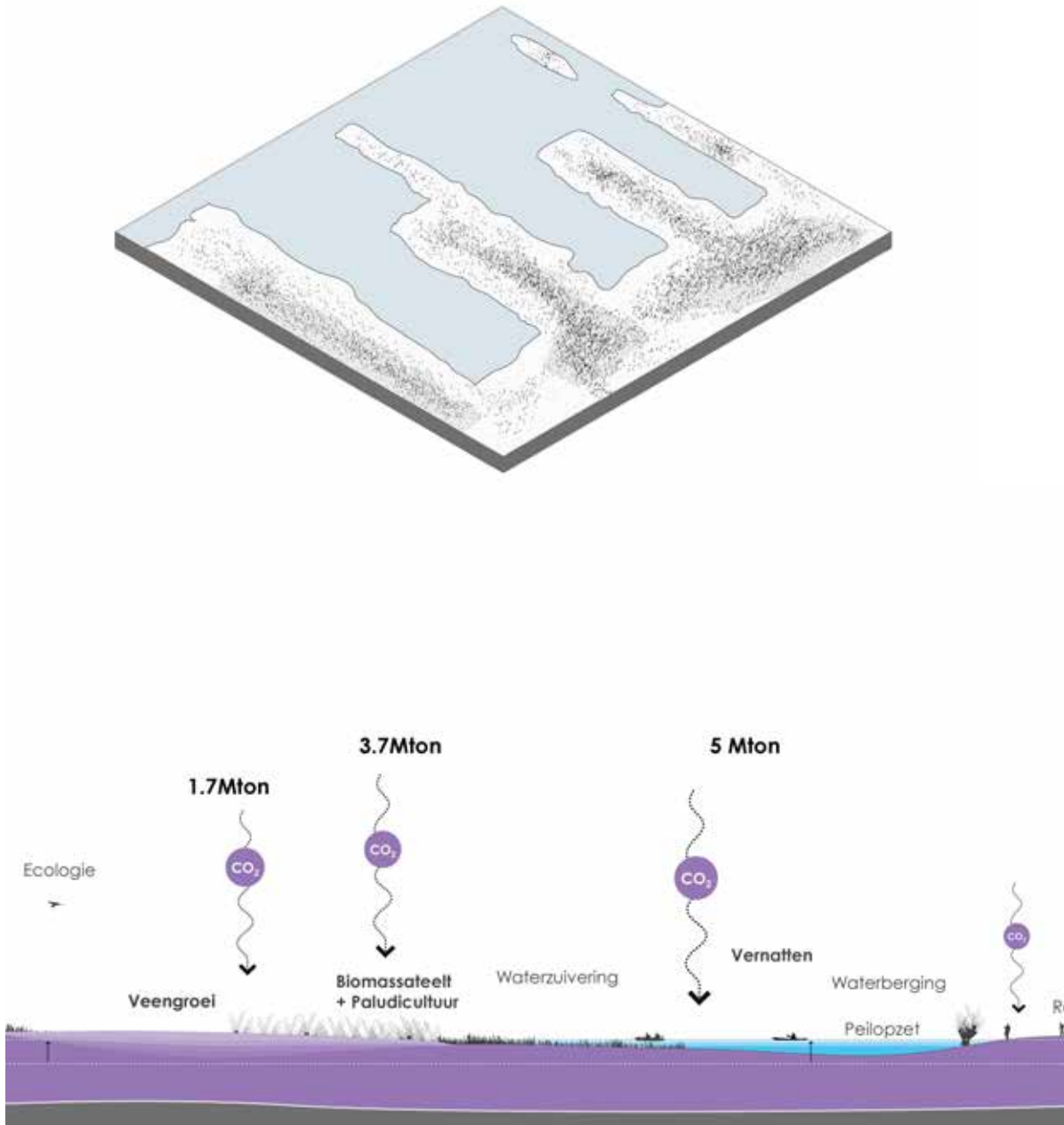
NIEUW BOS
LANG-CYCLISCH
(CONSTRUCTIEHOUT)



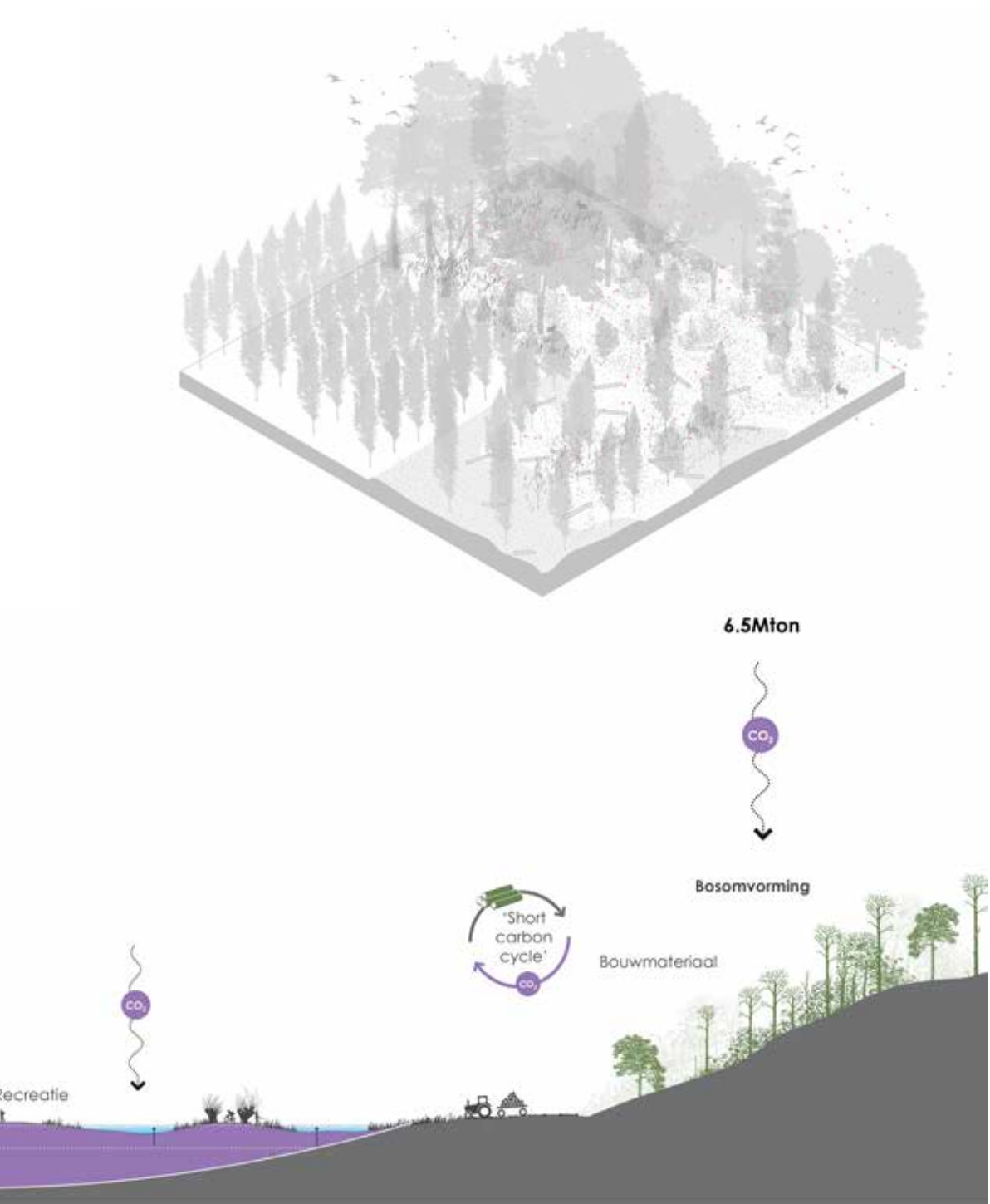
VEENWEIDE:
KORT-CYCLISCHE
BIOMASSATEELT



OPTIMALISEREN NATUUR-
TYPEN EN -BEHEER



Figuur 152. LULUCF landschap met CO₂ buffer als nevenfunctie



sterk samen met de bodemgesteldheid. Van nature vruchtbare en goed ontwaterde klei- en leemgrond leent zich het beste voor akkerbouw. Veengronden, arme zandgronden en laaggelegen gronden (rivierkommen, beekdalen, diepe droogmakerijen) zijn van nature minder geschikt voor landbouw, hetgeen kansen biedt voor natuurontwikkeling. Veeteelt neemt een middenpositie in: met name meer extensieve vormen van veeteelt kunnen zich doorgaans goed handhaven op gronden die voor akkerbouw te arm of te nat zijn. In onderstaande kaart zijn de verschillende maatregelen die betrekking hebben op een bewuste verandering van landgebruik daarom gekoppeld aan de bodemkaart van Nederland.

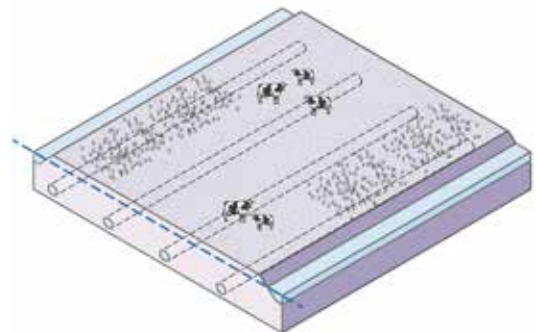
Een bewuste verandering in landgebruik van landbouw naar natuur klinkt puur geredeneerd vanuit klimaat als een vanzelfsprekende maatregel. Economisch geredeneerd is deze overgang echter verre van vanzelfsprekend. In de huidige economische realiteit brengen voedselgewassen per hectare nu eenmaal vele malen meer op dan natuur. Ook alternatieve energieteelten als riet en wilg brengen bij lange na niet zoveel op als voedselgewassen. Een economische prikkel om de hier geschetste veranderingen van landgebruik in gang te zetten ontbreekt dus. Ook vanuit economisch oogpunt zal dus gezocht moeten worden naar een stapeling van opgaven en dus een koppeling met bijvoorbeeld waterbeheer, energieproductie, recreatie en cultuurhistorie. Maar zelfs dan zullen de maatschappelijke kosten op de korte termijn hoger zijn dan de maatschappelijke baten. Dit zijn met andere woorden dure maatregelen die alleen te realiseren zijn vanuit lange termijn perspectieven en een duurzame en robuuste inrichting van ons land.

VEENWEIDEGEBIEDEN EN MOERIGE GRONDEN

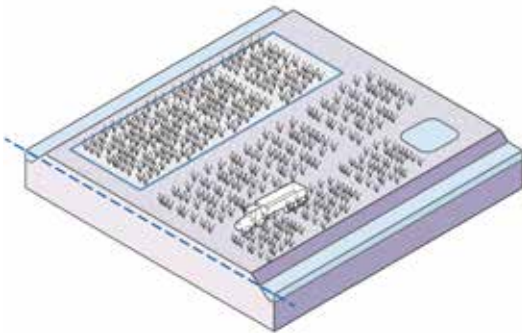
De maatregelen beheer veenweidegebieden en moerige gronden (375.000 ha, vooral in West-Nederland en langs oostkant van het IJsselmeer) kan grote ruimtelijke effecten hebben als ervoor wordt gekozen de emissies sterk terug te dringen. Een veel hoger waterpeil maakt het noodzakelijk het landgebruik aan te passen. Omdat de melkveehouderij de grootste gebruiker van deze gronden is, wordt hier ook verwezen naar maatregelen voor optimalisaties in de veeteelt met ruimtelijke consequenties. Omschakeling naar reguliere akkerbouw is niet logisch, maar naar andere (natte) teelten zou wel kunnen.

Als er sprake is van grootschalige teelt van biomassagewassen kan zowel de teelt als de verwerking van die gewassen lokaal een grote ruimtelijke impact hebben, met name omdat deze gewassen doorgaans (ver) boven ooghoogte reiken en de verwerking al snel over grote volumes gaat (in verhouding tot de geproduceerde energie). Biomassateelt voor energie / duurzame warmte dient vanuit logistiek oogpunt vooral nabij afnemers te plaats te vinden.

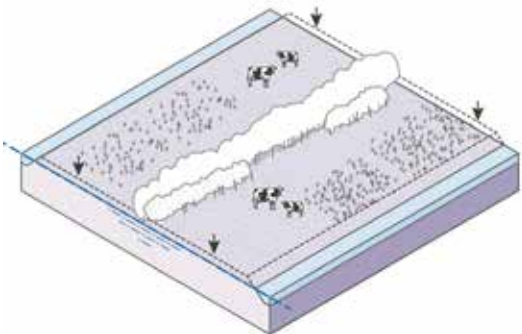
Ook als er sprake is van omschakeling naar de functie natuur, dan zal het karakteristieke veenweidebeeld vervangen worden naar dat van een nat natuurgebied, met opslag van vegetatie en daardoor minder openheid.



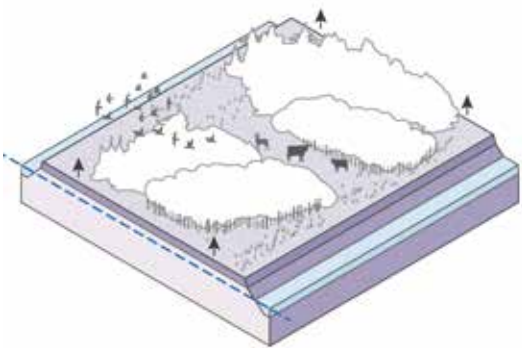
VEENWEIDE:
ONDERWATER-DRAINAGE



VEENWEIDE:
NATTE LANDBOUW



VEENWEIDE:
PASSIEVE VERNATTING



VEENWEIDE:
OMVORMEN NAAR NATUUR



WATERRETENTIE

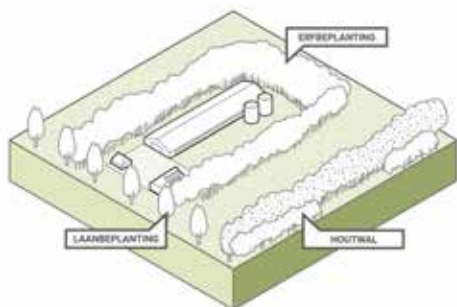
BOS, NATUUR EN BEPLANTING

De maatregel actief bosbeheer kan binnen een bestaand bos grote landschappelijke effecten hebben, maar heeft daarbuiten geen noemenswaardige effecten. Wel zal hogere houtproductie tot meer transport leiden. De maatregel beheer bestaande natuur kan binnen natuurgebieden grote landschappelijke effecten hebben. Ook kan het van invloed zijn op het watersysteem.

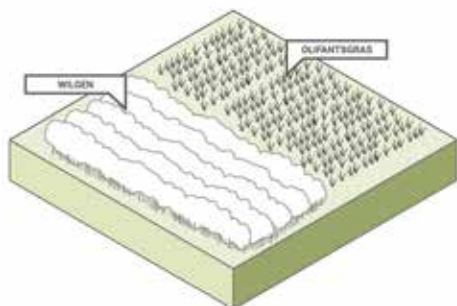
De maatregel bosuitbreiding betreft omzetting van ander landgebruik in bos, dus een grote ruimtelijke impact, en ook allerlei (positieve) leefomgevingseffecten zoals waterberging. Er zijn daarmee ook indirecte ruimtelijke en leefomgevingseffecten mogelijk, bijvoorbeeld als het zou leiden tot verplaatsing van veehouderijen. Meer bos maakt het meeste kans op plekken waar de aanwezige landbouw economisch zwak is of tot slechte lokale leefomgevingskwaliteit leidt.

Het toevoegen van grote arealen bos en natuur in een grote ruimtelijke planningsopgave. De potentiële consequenties voor het landschap zijn immers groot en er liggen grote kansen op het gebied van natuurontwikkeling, recreatie en waterbeheer.

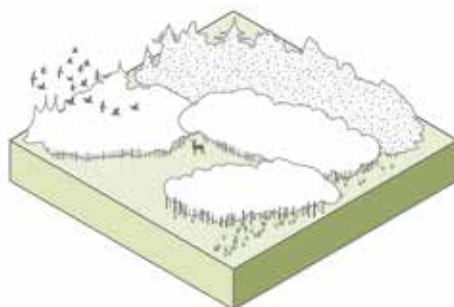
De maatregel beheer en uitbreiding van landschappelijke elementen heeft ook gevolgen voor het landschap, maar deze maatregel is er specifiek op gericht om de kwaliteit van het landschap te versterken. Bijvoorbeeld door het toevoegen van 'erfbepanting' aan agrarische complexen die anders 'naakt' in het landschap staan, of het herstellen van in het verleden verdwenen landschappelijke beplanting zoals houtwallen. Deze biomassa legt CO₂ vast en kan voorzien in biomassa voor energie of materialentoepassing.



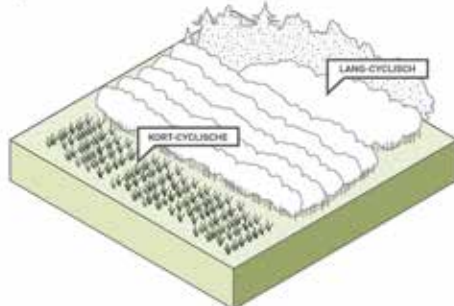
**ERFBEPLANTING +
LANDSCHAPSBEPLANTING**



**KORT-CYCLISCHE
BIOMASSATEELT**



**NIEUW BOS
LANG-CYCLISCH
(CONSTRUCTIEHOUT)**



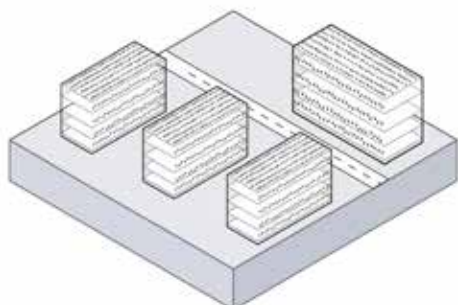
**OPTIMALISEREN NATUUR-
TYPEN EN -BEHEER**

INNOVATIEVE VORMEN VAN LANDBOUW

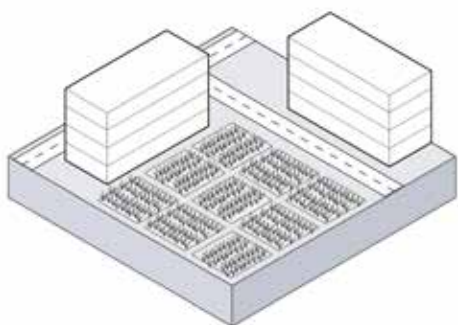


Figuur 153. Impressie Rotterdam, daklandschap (H+N+S)

Wanneer innovatieve vormen van landbouw, zoals stadslandbouw of *vertical farming*, op grote schaal geïmplementeerd worden, dan hebben deze in potentie een grote ruimtelijke impact. Deze ontwikkelingen kunnen op termijn leiden tot een sterkere integratie van stad en platteland, waarbij bovendien mogelijk ruimte vrij komt voor andere vormen van landgebruik. De verdere ontwikkeling van deze innovaties is echter zeer ongewis, waardoor het op dit moment nog niet heel zinvol is om hiervoor ruimtelijk beleid te ontwikkelen anders dan stimuleren en experimenteren.



VERTICALE LANDBOUW



STADSLANDBOUW





Figuur 154. Impressie koppeling oplossingen voor klimaatopgave met wateropgave en natuur- of landschapontwikkeling (H+N+S)



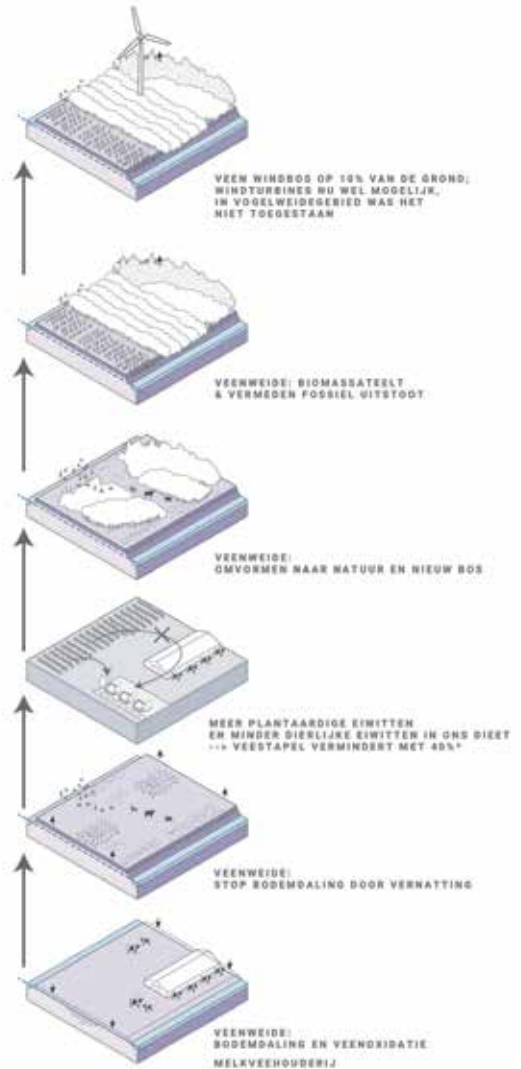
KANSRIJKE COMBINATIES

In sommige gevallen zijn ruimtelijke koppelingen mogelijk, die de ruimtelijke impact van meerdere maatregelen mogelijk op een kleiner grondgebied kunnen concentreren. Een voorbeeld daarvan is het omschakelen van melkveehouderij naar bos en natuur in veenweidegebieden. Hier ligt een kans om van sterk positieve emissies (uitstoot) naar negatieve emissies (vastlegging) te komen. Een andere mogelijke combinatie betreft de verbreding van de landbouw. Het agrarisch bedrijf als producent van natte landbouwgewassen, energie en biomassa, afvanger van de eigen emissies, koolstofbuffer en producent van een aantrekkelijk landschap.

PEILVERHOOGING VEENWEIDEGEBIEDEN

Het verhogen van het waterpeil in veenweidegebieden leidt tot minder CO₂ uitstoot. De oxidatie van het veen neemt daardoor sterk af. Dit leidt echter tot een (nog) slechtere business case voor de melkveehouderij. Het mogelijk maken van energieproductie (wind, zon, biomassa) zou deze businesscase om kunnen buigen naar een positieve uitkomst. Om tot handelingsperspectieven te komen is een gebiedsgerichte, integrale benadering nodig (nieuwe vormen van landbouw, natuurontwikkeling, energieproductie, recreatie, ...). Alleen bij een peil gelijk aan het maaiveld kan het veen aangroeien (en ook CO₂ opnemen), maar dit zal het landschap compleet veranderen en heeft effect op de dorpen en steden in het gebied. Minder pompen in de veenweidegebieden levert ook een energiebesparing op: het pompen van water kost ook energie.

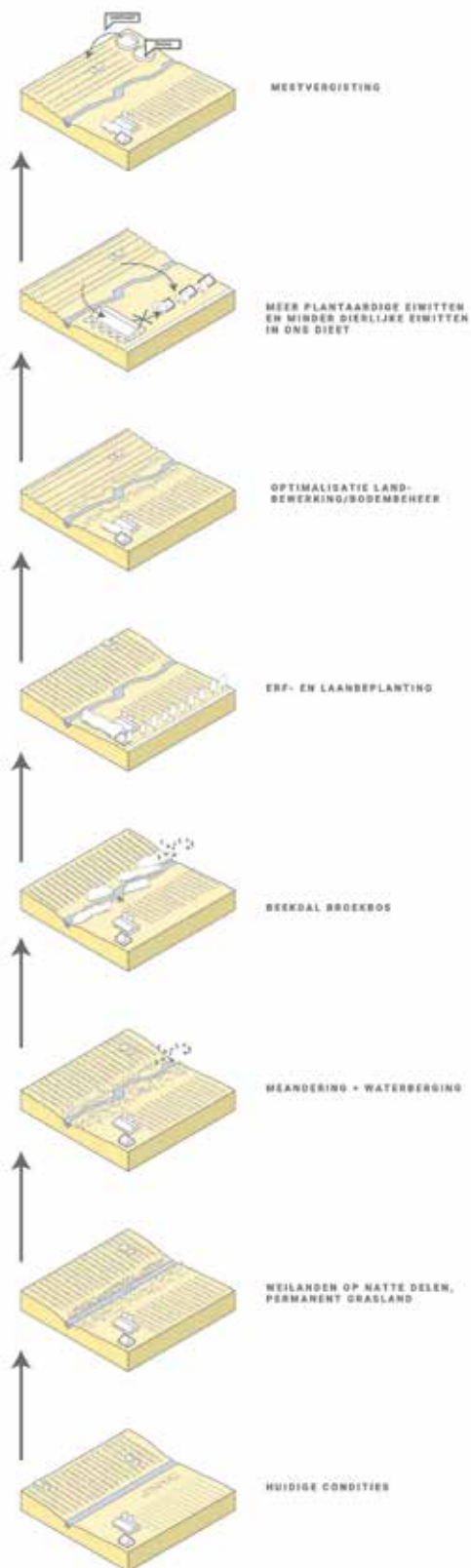
Zonder opzetten van het waterpeil in veenweidegebied zal het veen, en daarmee een uniek Nederlands cultuurlandschap, op termijn verdwijnen. Het veen blijft alleen behouden als het peil gelijk wordt aan het maaiveld, maar ook dan krijg je een ander landschap dan het huidige veenweidegebied.



De maatregelen voor het veenweidegebied kunnen worden opgevat als een reeks met een voortschrijdende emissievastlegging en dito verandering van het landschapsbeeld. Zie de figuur hiernaast. Een eerste stap in deze reeks is het verhogen van het waterpeil, zodat de veenoxidatie in ieder geval wordt afgeremd. Dit is in zekere zin 'uitstel van executie', aangezien het een op de langere termijn toch zal verdwijnen. Het veen wordt alleen behouden als het waterpeil het maaiveld benadert. Veeleelt is dan niet meer mogelijk en zonder beheer zal het veenweidegebied dan transformeren naar een natuurlijk veenlandschap. In eerste instantie wordt dit landschap gekenmerkt door lage begroeiing, maar na verloop van tijd zal een veen-broekbos ontstaan. Een alternatief is de toepassing van natte landbouw (paludicultuur). Dit zou bijvoorbeeld om water minnende voedings- en voedergewassen zoals kroos, lisdodde en cranberry kunnen gaan, of om (energie-) gewassen zoals riet en wilg. Door de vermeden fossiele uitstoot leiden deze energiegewassen mogelijk tot een landschap met nog hogere klimaatprestaties dan een natuurlijk veenlandschap. Door toepassing van wind- en zonne-energie kunnen de klimaatprestaties verder verhoogd worden.

DUURZAME ONTWIKKELING ZANDGRONDEN

Voor de zandgronden kan een vergelijkbare reeks gemaakt worden. Hierbij gaat het echter niet om een voortschrijdende ingreep zoals peilverhoging, maar meer om een mogelijke combinatie van maatregelen die de klimaatprestaties van het landschap aanzienlijk kunnen verbeteren. Een eerste stap kan zijn om op de flanken van de beekdalen (de bufferzones tussen intensieve landbouwgebieden en natuur in de beekdalen) meer permanent grasland toe te passen. In de beekdalen zelf is of wordt veelal een ontwikkelingsrichting ingezet naar een natuurlijker verloop van de beek inclusief waterberging en meandering. Hierbij is de neiging om te streven naar een open cultuurlandschap van natte hooilanden. In natuurlijke omstandigheden worden beekdalen



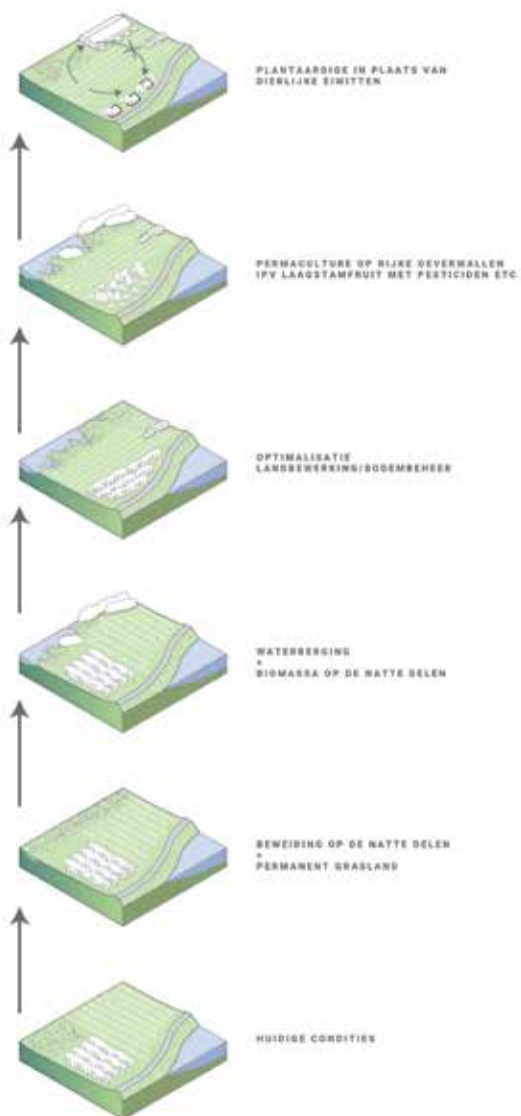
KANSRIJKE COMBINATIES

echter gekenmerkt door natte bossen. Deze kunnen meer koolstof vastleggen en bevorderen bovendien de natuurlijke meandering (en daarmee de waterberging en waterkwaliteit) van de beek.

In het omringende cultuurlandschap op de flanken en de plateaus kan vervolgens gestreefd worden naar meer verweving tussen landbouw en bos of bomen door met name de vaak van oorsprong aanwezige landschappelijke beplanting in de zin van erf- en laanbeplanting, houtwallen en geriefbosjes te herstellen dan wel nieuw aan te planten. Wanneer bij de aanleg hiervan goed rekening wordt gehouden met de oogstbaarheid van de beplanting dan kan deze goed worden ingezet als een landschappelijke biomassa-plantage.

Een meer op plantaardige eiwitten gerichte agrarische productie en toepassing van mestvergisting in de resterende veeteelt zal de klimaatprestaties van de zandgronden verder verbeteren.

De meest arme zandgronden tenslotte komen primair in aanmerking voor droge bos- en natuurontwikkeling. Nieuwe bossen leiden tot reductie van CO₂. Nieuw bos moet niet van onderaf ontstaan (bijvoorbeeld wanneer een willekeurige agrariër stopt) maar moet zorgvuldig gepland worden om te kunnen meekoppelen met andere ontwikkelingen en de ecologische hoofdstructuur. Meer 'bos' hoeft niet per se ten koste te gaan van landbouwgrond, denk hierbij ook aan stedelijk groen, (herstel van) landschappelijke beplanting en omvorming van bestaande natuurgebieden. Meer groen in de stad leidt tot reductie van CO₂, maar ook tot oplossingen voor andere maatschappelijke opgaven zoals hittestress, wateropvang, gezondheid.



BETER BOEREN OP KLEIGRONDEN

De kleigronden in Nederland behoren tot de vruchtbaarste gronden in de wereld. In de kleigronden spelen wel gelijke verschillen als bij de zandgronden een rol: laagwaardigere landbouwgronden bestaan in de natte delen zoals de komgronden in het riviergebied of de gebieden met zoute kwel. Ze kunnen economisch anders gewaardeerd worden; het is eerder haalbaar om een landgebruiksverandering in te zetten, en is ook geografisch en fysisch voor de hand liggend. Met de beschikbaarheid van kunstmest, fossiele brandstoffen en ontwatering is het landgebruik in de afgelopen decennia geëgaliseerd verspreid over het gehele landschap. Wanneer we de intensiteit in kunstmestgebruik, brandstoffen en ontwatering willen afbouwen, kunnen we het beste aansluiting zoeken bij de subtiele verschillen die de ondergrond (grondwater en bodem) biedt. Hiermee kan de uitstoot van broeikasgassen afnemen door een duurzamere bedrijfsvoering en landbewerking, en ontstaan ook gebieden waar koolstof vastgelegd kan worden in permanent grasland en in nieuwe natuur- en bosgebieden en nieuwe boomgaarden.

HET BOERENBEDRIJF IN HET LICHT VAN KLIMAATVERANDERING

De businesscase van de veranderingen in de landbouw ten bate van CO₂ reductie moeten worden gezien in het licht van een verbrede duurzame agrarische bedrijfsvoering. Dit levert meer kansen en verbindingen op dan het puur vanuit CO₂ reductie bekijken van de transitie in de landbouw. Als we het landschap als uitgangspunt nemen, dan ligt het ook voor de hand om boeren te betalen voor hun landschappelijke diensten, waaronder het vastleggen van broeikasgassen.

Kansrijke combinaties met andere transitiepaden liggen vooral in het feit dat landbouw en natuur samen het grootste deel van het Nederlandse landoppervlak bestrijken. De energietransitie zal juist vanuit de andere transitiepaden voor het merendeel op deze agrarische grond en eventueel ook op natuurterreinen moeten landen. Agrarische grond en natuurterreinen zijn echter niet bij voorbaat geschikt voor het plaatsen van bijvoorbeeld windturbines en zonnepanelen (transitiepad kracht en licht). Met name bewoning en natuurwaarden leggen hier flinke beperkingen op. Deze beperkingen zijn echter vaak minder hard dan zij in eerste instantie lijken, participatie en compensatie kunnen vaak verzachtend werken.

Ook kunnen bepaalde ontwikkelingen in de landbouw en de natuur ruimte bieden voor de inpassing van duurzame energie. Schaalvergroting in de landbouw bijvoorbeeld kan middels uitplaatsen van woningen leiden tot ruimere mogelijkheden voor het plaatsen van windturbines. Natuurcompensatie en -ontwikkeling kan ruimte scheppen voor wind- en zonne-energie. Bijvoorbeeld door in ecologisch opzicht arme productiebossen parallel aan de plaatsing van windturbines te vervangen door (een successie naar) een meer natuurlijk en gevarieerd bos. Of door natuurontwikkelingsprogramma een plek te geven in de landschappelijke afwerking van de randen van zonnevelden.

Daarnaast kan de business case van landgebruiksverandering ondersteund worden door toepassing van (winstgevende) duurzame energieprojecten in het betreffende gebied. Tot slot kan de vanuit het transitiepad voedsel en natuur beschikbare biomassa (in de vorm van mest, biomassateelt en houtige biomassa uit natuur- en landschapsonderhoud) worden ingezet om hernieuwbare energie te produceren. Het gaat hierbij primair om hoge temperatuur warmte en biobrandstof voor transport en mobiliteit.

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De bijdrage aan de totale Nederlandse broeikasgasemissies vanuit voedsel en natuur lijkt nu nog relatief bescheiden, maar naarmate het bereiken van de emissiereductiedoelstellingen richting 2050 dichterbij komen zal juist dit transitiepad een belangrijke factor blijken. Bovendien is het Nederlandse landelijk gebied één van de weinige in Europa die broeikasgassen uitstoot in plaats van deze vast te leggen.

INTEGRALE BENADERING LANDBOUWTRANSITIE

De meest effectieve in dit hoofdstuk gepresenteerde maatregelen hebben niet alleen grote ruimtelijke, maar ook sociaal-economische implicaties. Het gaat dan met name om de maatregelen die uitgaan van een bewuste verandering van het landgebruik, dan wel maatregelen die indirect of op termijn een verandering van het landgebruik tot gevolg hebben. Voor een effectief klimaatbeleid voor voedsel en natuur zijn deze landgebruiksveranderingen echter wel degelijk nodig. Het gaat vrijwel zonder uitzondering om gebieden waar meer ruimtelijke opgaven spelen dan alleen klimaatverandering en energietransitie. Met name waterbeheer en natuurontwikkeling vragen om ruimtelijke optimalisaties die goed kunnen worden uitgelijnd met het verbeteren van de klimaat- en energieprestaties van het landschap.

De businesscase van de veranderingen in de landbouw t.b.v. CO₂ reductie moeten worden bezien in het licht van een verbrede duurzame agrarische bedrijfsvoering waarbij verschillende maatschappelijke doelen zoals klimaat, omgevingskwaliteit en dierenwelzijn aan elkaar worden gekoppeld. Dit levert meer kansen en verbindingen op dan het puur vanuit CO₂ reductie bekijken van de transitie in de landbouw. Ook het anders omgaan met het bewerken van de grond en teeltrotaties, zodat de bodem ook meer CO₂ opneemt en/of minder uitstoot, dient benaderd te worden vanuit het sluiten van kringlopen.

Dit vraagt om gebiedsgerichte integrale ruimtelijke benadering voor de verschillende Nederlandse bodemsoorten (grofweg: veen, zand en klei) en de daarop geënte landschappen.

Voor het veenweidegebied gaat het ook echt om het behoud van het veen, dat anders door onderbemaling en oxidatie gaandeweg verdwijnt. Het huidige veenweidegebied is feitelijk onhoudbaar: het veen zal op termijn volledig oxideren waardoor het landschap transformeert tot een droogmakerij of wanneer door peilstijging oxidatie wordt tegengegaan ontstaat een meer natuurlijk veenlandschap. Dat laatste type landschap heeft betere klimaatprestaties en is toekomstbestendiger, maar het gaat daarbij om een bewust in te zetten transformatie die door de hoge agrarische grondprijzen en transformatie in gebruik voor betrokkenen veel geld kost. Verhogen van het waterpeil leidt tot slechtere betreedbaarheid van veengrond voor koeien en lagere grasoogst, waardoor er nieuwe uitdagingen zullen zijn voor business case voor de melkveehouderij in deze gebieden. Het mogelijk maken van energieproductie (wind, zon, biomassa) en belonen van koolstofopslag zou deze business case om kunnen buigen naar een positieve uitkomst. Om tot handelingsperspectieven te komen is een gebiedsgerichte, integrale benadering nodig (nieuwe vormen van landbouw, natuurontwikkeling, energieproductie, recreatie, ...). Duurzame elektriciteitsproductie, natuurontwikkeling en gewassen die hoger reiken dan ooghoogte kunnen de karakteristieke openheid van het landschap in veenweidegebieden aantasten en deze vormen van ruimtegebruik worden daarom nu vaak nog tegengehouden door ruimtelijk beleid. Om dergelijke handelingsperspectieven mogelijk te maken zal het ruimtelijk beleid dus moeten worden aangepast. Voor de zand- en kleigebieden gaat het veel meer om een sterkere verweving tussen (intensieve) landbouw en natuur- en landschapsontwikkeling. Aanplant van nieuw bos op arme, natte of anderszins marginale landbouwgronden zal zorgvuldig gepland moeten worden om tot een optimale koppeling tussen maatschappelijke doelen en daarnaast een goede landschappelijke inpassing te komen. Het toevoegen van goed oogstbare landschappelijke beplanting zoals erf- en laanbeplanting

zal mits goed ontworpen een ruimtelijk gezien positieve invloed op het landschap hebben, met name wanneer het om grootschalige intensieve agrarische productielandschappen gaat.

NIEUWE BOSSEN

De bovengenoemde maatregelen op het gebied van landschapsontwikkeling en natuurbeheer zullen dus in kwantitatieve zin ondersteund moeten worden door het aanplanten van nieuw bos op huidig landbouwareaal. Voor het aanplanten van nieuw bos komen in eerste instantie de marginale (te natte, te arme) landbouwgronden in aanmerking. Grootschalige aanplant van nieuw bos vraagt daarbij om zorgvuldige afwegingen die niet alleen zouden moeten afhangen van kansen in het veld, zoals stoppende agrariërs. Een planmatige inpassing van nieuw bos op regionale en wellicht zelfs nationale schaal kan daarnaast een wezenlijke bijdrage leveren aan natuur- en landschapsontwikkeling, en kan ook bijdragen aan een realistisch alternatief voor de businesscases in de betreffende gebieden.

Aanplant van bomen leidt tot het vastleggen van CO₂ in vegetatie en bodem. Wanneer nieuw bos alleen van onderaf ontstaat wanneer boeren stoppen met de agrarische bedrijfsvoering en er op die percelen bos wordt aangeplant, dan bestaat het risico dat de openheid van het landschap aangetast wordt en dat kansen om mee te koppelen met het realiseren van bijvoorbeeld ecologische structuren en waterberging worden gemist. Zorgvuldige planning van nieuw bos is dus vereist. Kleinschalige aanplant van bomen in de vorm van stedelijk groen en (herstel van) landschappelijke beplanting, en omvorming van bestaande natuurgebieden, gaat niet ten koste van waardevolle landbouwgrond. De bos- en houtsector timmert aan de weg. In november dit jaar ligt er een uitwerking van het vorig jaar gelanceerde Actieplan Bos en Hout.

GROEN IN DE STAD

Meer groen in de stad leidt tot reductie van CO₂ maar ook tot oplossingen voor andere maatschappelijke opgaven zoals hittestress, wateropvang, gezondheid. Met name het verminderen van verharding in tuinen, pleinen en straten is hierbij een kans. Dit vergt gerichte inzet van gemeenten en waterschappen bij de (her)inrichting van de openbare ruimte.

ZON-PV OP DAKEN VAN STALLEN EN OP LOCATIES VAN VRIJKOMENDE AGRARISCHE BEBOUWING

De komende jaren moeten veel asbestdaken vervangen worden. Dit is een kans om hierop zonnepanelen te installeren. Momenteel staat er zo'n 11 mln m² aan agrarische bebouwing leeg. Richting 2030 komt daar naar schatting nog 16 mln. m² bij (Gies et al., Landelijk Gebied en Leegstand; WUR, 2016). Dit is overigens een kans die alleen door vastgoedeigenaren benut kan worden. Het Rijk kan hierin faciliteren door de voorwaarden mbt regelgeving asbestsanering en subsidiëring duurzame energie waar mogelijk op elkaar af te stemmen. Verder kan vrijkomende agrarische bebouwing een kans bieden in de zoektocht naar ruimte voor duurzame energieproductie. Zon-PV ligt ook hier het meest voor de hand.

VERANDERING VAN CONSUMPTIEPATRONEN

Met name de productie van dierlijke eiwitten stoot veel CO₂ en andere broeikasgassen uit. Verandering van consumptiepatronen biedt is een mogelijkheid om deze uitstoot te verminderen. Dat kan echter in bepaalde delen van Nederland grote consequenties hebben.

ONZEKERHEDEN

Voor de maatregelen in de richting van natuurontwikkeling geldt, dat een significant effect op de emissieboekhouding relatief veel tijd en ruimte vraagt. De factor tijd wordt hier nog even benadrukt: voordat een nieuw aan te planten boom een wezenlijke bijdrage kan leveren aan de vastlegging van koolstof zijn we circa één generatie verder. Maatregelen die in 2050 effectief dienen te zijn, moeten nu dus reeds worden ingezet.

NADER ONDERZOEK VOOR MEER CONCRETISERING

Het is op dit moment moeilijk in te schatten welke bijdrage de in dit hoofdstuk genoemde maatregelen daadwerkelijk kunnen leveren, en hoeveel oppervlakte daarmee gemoeid is. Om hier meer grip op te krijgen strekt het tot de aanbeveling om van een aantal concrete gebieden ontwerputwerkingen te maken waarin een aantal mogelijke maatregelen om emissies vanuit voedsel en natuur tegen te gaan, dan wel negatieve emissies of vastlegging te bewerkstelligen, samen komen.

03 / INTEGRALE DENKRICHTINGEN

Hoe gaat Nederland er uitzien wanneer veel van de getoonde bouwstenen gerealiseerd worden om de CO₂-doelen te behalen? Deze vraag speelt al snel bij het benoemen van ruimtelijke effecten en consequenties. Maar tijdens het ontwikkelen van het Nationaal Perspectief Energie en Ruimte werd al duidelijk dat het zo eenvoudig niet is. Zo'n perspectief vereist dat je namelijk een keuze maakt over alle 'knoppen' of 'keuzes', of op zijn minst een richting beschrijft. Dit vereist dan weer dat er uitspraken gedaan worden over ruimte, kwaliteit, kosten, sociaaleconomische effecten, en dat hier een waarde aan wordt toegekend. Met de enorme hoeveelheid variabelen, afhankelijkheden en onzekerheden is dat een bijzonder complexe opgave. In het Nationaal Perspectief is dit opgelost door de betrokken bureaus alle keuzes te laten nemen.

Voor de Ruimtelijke Verkenning Energie en Klimaat is een andere, meer toekomstbestendige route gekozen. In plaats van het nemen van keuzes en hier de – onzekere- consequenties van in beeld te brengen is gekozen om de context te benoemen; de bouwstenen en invloeden van de transitie. Zo voorkomen de denkrichtingen 'willekeurige' scenario's en laat het veel ruimte voor kennisontwikkeling en nieuwe inzichten. Vanuit een beschrijving van de transitiepaden voor de functionaliteiten ontstaat een beeld van de ruimtelijke aspecten van de energietransitie. Vervolgens is het de vraag hoe hiermee aan de slag te gaan. Welke generieke (ruimtelijke) handelingsperspectieven zijn er, welke mogelijke systeemkeuzes op basis van een analyse van kansen en belemmeringen op gebiedsniveau bij combinatie van de vijf transitiepaden zijn er, en welke instrumentatie en kennisagenda zijn hieruit af te leiden?

Om hierbij te helpen zijn vier verschillende integrale denkrichtingen verkend. Als startpunt hiervoor zijn twee benaderingen met elk twee denkrichtingen gekozen:

- Een ruimtelijke benadering (energie inpassen in het landschap versus energie domineert het landschap) in combinatie met
- Een sturingsbenadering (top-down versus bottom-up denkrichting).

Elke denkrichting heeft z'n voordelen en z'n beperkingen. Door het toepassen van de vier denkrichtingen worden dilemma's en kansen beter zichtbaar en ontstaat zicht op handelingsperspectief. Waarschijnlijk is er straks een combinatie van elementen uit de verschillende integrale denkrichtingen nodig om te komen tot een duurzaam, betrouwbaar, en veilig energiesysteem. Het gepresenteerde assenkruis is vooral een hulpmiddel voor analyse van de opgave en de daarbij mogelijke oplossingsrichtingen.

Een denkrichting is geen scenario, maar kan niet zonder een heldere toelichting op de maatregelen die passen bij die denkrichting. Per denkrichting zijn daarom mogelijke – passende – maatregelen en consequenties beschreven. Dit varieert van beschrijvingen over grootschalige of kleinschalige energieopwekking, kenmerken van besparing of bijvoorbeeld opgaven in energieopslag of – conversie. Dit is geen uitputtende lijst, noch is het een compleet scenario. De voorbeelden zijn indicatief, net als de kaart die toegevoegd is aan de denkrichtingen. Op de kaart is een aantal van de voorbeelden verbeeld zodat er een beeld ontstaat van de schaal, vorm en/ of plaats waar binnen deze denkrichting aan oplossingen gedacht kan worden. Ook hiervoor geldt dat het geen scenario of volledig beeld is, maar een bijdrage moet bieden aan het debat en de afweging hoe te komen tot een scenario voor een CO₂ armer Nederland.

03 /

INTEGRALE

DENKRICHTINGEN

3.1

RUIMTELIJKE

BELEIDSDILEMMA'S

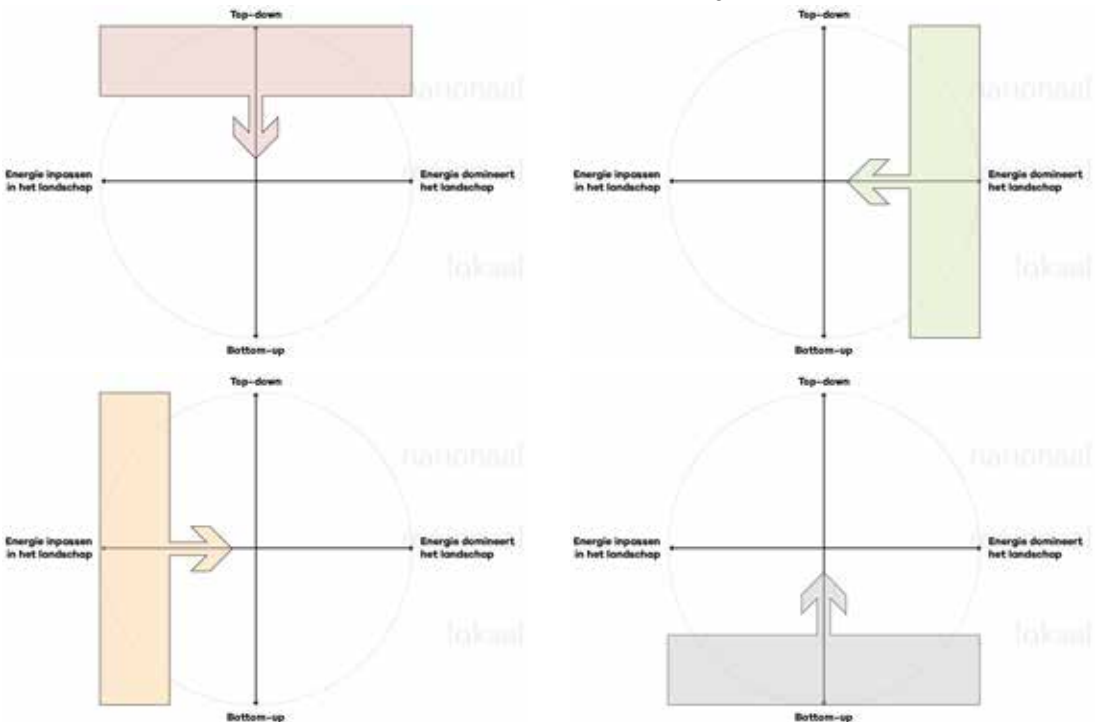
De uitwerking van de denkrichtingen biedt een nadere onderbouwing waarom we juist deze twee begrippenparen hebben gekozen als de belangrijkste ruimtelijke beleidsdilemma's van de energietransitie. Achter die ruimtelijke dilemma's gaan ook andere opvattingen schuil en verschillende visies op de ontwikkeling van het (stedelijk) landschap en zelfs sturingsfilosofieën. Energietransitie is immers geen technische kwestie alleen, het gaat er ook (en misschien vooral) om in welk Nederland wij willen leven. Ruimte is altijd een waarden geladen begrip geweest, en is vaak als instrumenteel gezien voor het bereiken van utopische doelen. Het is nuttig deze verschillende achterliggende beelden te herkennen om de uiteindelijk politieke keuzes voor te bereiden.

Onze redeneringen in de denkrichtingen start steeds vanuit één het uiterste van de as van het door ons ontwikkelde assenkruis voor ruimtelijke perspectieven van de energietransitie: grootschalig (nationaal-top-down), kleinschalig (regionaliseren, bottom-up), energie is leidend

in het (stedelijk) landschap (superponeren), en energie inpassen in het (stedelijk) landschap (invooegen). Zo ontstaan er vier integrale denkrichtingen.

Hierin wordt steeds eerst bekeken hoeveel je van de energieopgave kan alloceren als je vanuit het 'extreme' uiterste van de as start en welke kansen hierdoor naar voren komen. Voor de restopgave moet dan steun gezocht worden bij de andere denkrichtingen. Zo schuift de redenering iets verder naar het midden van het assenkruis. Dan wordt opnieuw bekeken wat mogelijk is en begint de afweging opnieuw. Deze denkrichtingen laten onder meer zien dat het niet gaat om een glijdende schaal op de beide assen van het viervlak maar om redeneringen waardoor specifieke kansen ontstaan en die op een gegeven moment tegen hun eigen grenzen oplopen.

Zo levert het viervlak ook een conceptuele onderlegger voor het polderoverleg waar verschillende opvattingen elkaar zullen moeten vinden om deze megaopgave tot een goed einde te brengen.



03 /

INTEGRALE

DENKRICHTINGEN

3.2

STURINGSFILOSOFIEËN

TOP-DOWN (GROOTSCHALIG)

Achterliggend beeld: Technotopia. De techniek gaat ons redden en zal door eindeloze innovaties en efficiencywinsten het mogelijk maken dat onze economische groei en groei van het energiegebruik kan worden gecombineerd met het verkleinen van onze ecologische footprint. De energietransitie kan worden gedefinieerd en opgelost als te isoleren technisch probleem.

Het levert concreet een technisch/corporate vertrekpunt op. Het redeneert vanuit de positie van het huidige energiesysteem (energiebedrijven, warmte-aanbieders, brandstoffen producenten). De aanbieders zijn er tot nu toe goed in geslaagd om – met een grote leveringszekerheid – grote en kleine klanten te bedienen. En waarom zou die formule voor de energietransitie veranderd moeten worden? Never change a winning team. Je hebt schaal nodig om in de base-load van energie van onze samenleving te voorzien. Big = Beautiful. De achterliggende vooronderstelling is dat 95% van de mensen en instellingen eigenlijk niet willen nadenken of lastig gevallen willen worden over deze nutsvoorziening. Transitie prima: technici regel het maar.

Een belangrijke ontwikkeling, misschien wel een omslagpunt, is dat de grote vragers in de markt voor warmte, elektriciteit en brandstoffen opteren voor 'klimaat neutrale' energie. Onlangs gaven de NS en Schiphol bijvoorbeeld aan over te stappen op 'groene stroom'. Tijdelijk profiteren alle producenten daarvan (we hebben iedere groene MW nodig die er maar geproduceerd kan worden) maar al snel zullen alleen grote aanbieders kunnen opschalen. Grootschalige hernieuwbare elektriciteits-opwekking van wind en zon en warmte uit geothermie kunnen op deze schoksgewijs toenemende vraag inspelen en hebben wat dat betreft de toekomst. Voor de levering van hoge temperatuur warmte voor de industrie bestaan alleen maar technische oplossingen op basis van waterstof en elektriciteit. Deze redenering kan tegen zijn grenzen

aanlopen van wege de ontwikkelingen in de markt. Veel consumenten worden ook 'prosumenten'. De markt fragmenteert daardoor en vraagt een andere benadering van het netwerk en de netwerkbeheerders. Een intelligent grid regelt dat er warmte en elektriciteit wordt geconsumeerd als er aanbod is en niet wanneer er geen aanbod is. Dat zal tot op zekere hoogte opgaan voor de gehele gebouwde omgeving maar in veel mindere mate voor de industrie die – door zijn productieprocessen – minder flexibel kan zijn. Dit soort technische ontwikkelingen ondermijnen de zinnigheid van het begrip 'base-load' en zullen het misschien tot een overleefd concept maken.

Of en wanneer het omslagpunt zal optreden is lastig te voorspellen. In elk geval zullen grote centrales meer en meer als peak shaving installaties werken. Dat kan voorlopig het beste met gas, dus dat is vooral slecht nieuws voor kolencentrales en kerncentrales. En tenslotte loopt de top-down redenering op tegen sociale grenzen. Er zijn zoveel grote infrastructurele ingrepen nodig (denk aan verzwaring, en verdichting van het elektriciteitsnetwerk, denk aan de aanleg van de warmtenetten 2.0) dat deze alleen in het ruimtelijke spoor kunnen worden opgenomen met een zeker draagvlak. En dat draagvlak zal moeten worden versterkt door mensen die de energietransitie een warm(er) hart toedragen. Voor voedsel geldt een soortgelijk verhaal: de groene revolutie heeft een productie en distributiesysteem opgeleverd waarop staat gemaakt kan worden. De markt voor agrarische producten is sterk geïnternationaliseerd door enorme innovaties in teelt- en bewaarstechniek plus een logistieke revolutie in de distributie.

De toekomstvisie vanuit deze sturingsfilosofie is een verdergaande schaalvergroting die gepaard gaat met technologische innovaties en efficiency maatregelen, waardoor we op een steeds kleiner areaal de monden van een groeiende wereldbevolking kunnen voeden. The sea is the limit in deze wijze van zien, dus het neerzetten van offshore windparken is nog maar de eerste stap van de ontginning van de Noordzee. Het palenwoud van deze nieuwe occupatie zal ook gebruikt worden voor de productie van plantaardige (zeewierweek) en dierlijke eiwitten (mariene aquacultures). Dezelfde ontwikkelingen hebben voor het Nederlandse landschap gezorgd voor relatief zeer hoge agrarische grondprijzen die het telen van biomassa als feedstock voor de industrie, laat staan als materiaal voor energieopwekking, onrealistisch maakt. De noodzakelijke biomassa-productie vindt dus grootschalig plaats in gebieden in de wereld met lage grondprijzen en de oogst wordt op grote schaal geïmporteerd.

De omvang van de agrarische productie is zelfs zodanig omvangrijk dat de reststromen voldoende materiaal opleveren voor sluitende business-cases voor co-vergisting en mono-vergisting-installaties die groen gas produceren in hoeveelheden die het plaatselijk mogelijk maakt om ook de gasinfrastructuur te laten liggen en op termijn lokaal in de warmtebehoefte te voorzien.

Bij voedsel en landschap zal een grens worden bereikt als de transportkosten van het geïnternationaliseerde landbouwsysteem sterk zullen oplopen als de werkelijke CO₂ prijs in rekening zal worden gebracht en het landbouw en voedselsysteem zullen dwingen weer dichterbij huis te produceren en de landbouw te regionaliseren.

Voor mobiliteit is de top-down benadering technisch gedomineerd en supranationaal. Het gaat om introductie van elektrische al of niet zelfsturende voertuigen, een technologie die buiten het bereik van de nationale overheden

wordt ontwikkeld door de autofabrikanten. De redenering loopt tegen zijn grenzen op als blijkt dat ook deze innovaties niet in staat zijn de prognoses over de stijgende transport-vraag te accommoderen zonder de klimaatdoelen in gevaar te brengen. Het einde van het verhaal dat elke nieuwe vraag naar mobiliteit moet worden gefaciliteerd loopt tegen klimaatgrenzen op.

Redenerend vanuit de verschillende kenmerken en opgaven is steeds te zien waar de grenzen van de denkrichtingen liggen; grenzen in (maatschappelijk) draagvlak, ruimtelijke inpassing en (technische) haalbaarheid. De top-down aanpak heeft weliswaar een grote productiepotentie – de noodzakelijke hoeveelheid energie kan worden opgewekt met deze aanpak – maar loopt waarschijnlijk tegen diverse andere beperkingen op alvorens het volledige potentieel te bereiken.

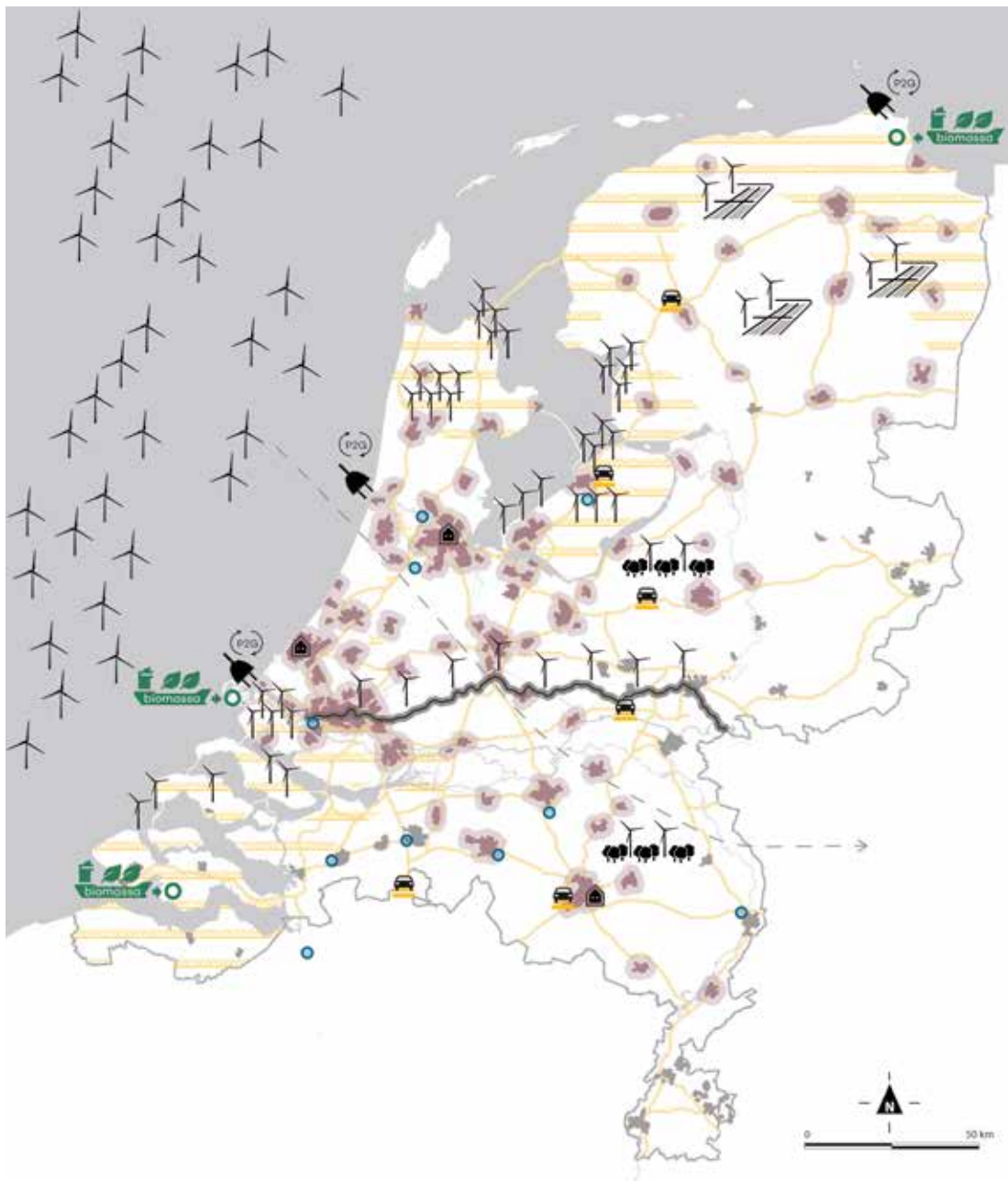
VOORBEELDEN VAN MAATREGELEN TOP-DOWN (GROOTSCHALIG)

De onderstaande voorbeelden voor het uiterste van de verticale as – bottom-up – top-down – zijn niet volledig. Het geeft daarmee ook geen volledige invulling van een perspectief voor Nederland; het doel van de voorbeelden is inzicht krijgen in de ‘bouwstenen’ die horen bij deze manier van denken. Een perspectief voor Nederland zal altijd elementen van alle assen bevatten.

Bij de grootschalige hernieuwbare elektriciteits- en warmteopwekking zijn de volgende grootschalige / top-down passen de volgende oplossingen en vormen:

- Windparken op de Noordzee
Bij een top-down benadering van de energietransitie is wind op zee niet weg te denken. Verondersteld wordt dat 40 GW (575PJ) ofwel 4.000 turbines een realistische (maar grote) opgave is voor de Noordzee. Hoewel functiecombinaties – ook op de Noordzee – met bijvoorbeeld visserij mogelijk zijn, komen deze uitgebreid in beeld in de denkrichting ‘energie invoegen in het (stedelijk) landschap’. Daarom zijn ze hier nu weggelaten.
- Nationale energielandschappen op land
Voor deze landschappen wordt gezocht naar ruimte maar zeker ook naar doeltreffende combinaties. Wanneer we uitgaan van een wind- en zonopgave voor land in een verhouding van 3:1 en de input vanuit ‘een Nationaal Perspectief’ ontstaat en opgave voor wind van 14 GW (144PJ) ofwel 4.600 turbines en een opgave voor zon van 17 GW (50PJ) ofwel een oppervlakte van 160 km².. De ruimte voor deze landschappen kan bijvoorbeeld worden gevonden in de gronden die vrijkomen door schaalvergroting in de landbouw in combinatie met minder landgebruik.
- Zon langs infrastructuur en naastgelegen akkers
Hiervoor is het met name het areaal van Rijkswaterstaat bezit langs wegen en dijken, in totaal ca 547 km², relevant. Op deze gronden van Rijkswaterstaat gecombineerd met naastgelegen agrarische terreinen is het mogelijk om ca. 24 GW (80PJ) ofwel 220 km² zonneveld in te passen.
- Geothermie in de gebouwde omgeving
Vanuit de top-down benadering is een grootschalige ontwikkeling van een warmtenet een optie. Dit vereist het winnen van geothermische energie – op grote schaal – in de vorm van bijvoorbeeld 15-20 GW; 1.000 tot 1.700 installaties wat een gebied beslaat van ca 10-20% van de ondergrond van Nederland.
- Conversie elektriciteit in groen gas voor industrie en gebouwde omgeving
De grootschalige winning van energie – zowel op land als op de Noordzee – vereist dat een deel van de elektrische energie wordt omgezet en/of opgeslagen. Los van de vraag welk type gas dit zal zijn gaat het om in totaal meer dan 250 PJ groen gas ten behoeve van de industrie en gebouwde omgeving. Ruimtelijke aspecten hieraan zijn opslag, transport en de productie van deze gassen voornamelijk op locaties in de buurt bij grootschalige opwek van duurzame elektriciteit.
- Conversie elektriciteit in waterstof ten behoeve van de industrie en mobiliteit
Ten behoeve van zwaar transport – en mogelijk ook personenvervoer – is waterstofgas naast elektriciteit een van de ‘transportbrandstoffen’, hiertoe moet elektrische energie omgezet worden in waterstofgas. Indicatief gaat het om ca 80 PJ opgewekt uit waterstofgas. Ruimtelijke aspecten hieraan zijn opslag, transport en de productie van deze gassen nabij opweklocaties.

- Een top-down benadering biedt ook ruimte aan grootschalige CCS deels onder land maar veelal onder de Noordzee. De hoeveelheid heeft een (in)directe relatie met de output van de industrie en de productie van biobrandstoffen. Deze opslag is eindig en kent in de ondergrond concurrentie van andere ondergrondse opslag – van andere gassen, kernafval etc.
- Import van biomassa ten behoeve van energieproductie, feedstock (materialen) en productie groen gas/biobrandstoffen in combinatie met CCS vraagt ruimte voor invoer, overslag, opslag en verwerking. Veel van deze ruimtevraag komt terecht in de havenindustrieën complexen. Transport van deze biomassa zal veelal over water gebeuren, zowel op zee als in de binnenwateren.
- In deze denkrichting is de mobilititeit batterij-elektrisch of waterstof-elektrisch voor het zwaardere transport. Dit betekent ook grootschalige uitrol van laadinfrastructuren en multifunctionele (distributie) knooppunten.




 Wind op zee (30MW turbines)

 Wind op land (3MW turbines)

 Windbox

 Aandrijving wind op zee

 Conversie naar waterstof en/of methaan


 Loadstraken smelting

 Multifunctionele distributieknopenpunten

 Zonne-energie in zonnewelden

 Zonne-energie lange infrastructuur

 Collectieve warmtesystemen i.o.m. geothermische energie
(buiten stedelijk gebied en potentiegebied geothermie verwarming via huidige gasnetwerk)

 Grootschalige import biomassa t.b.v. feedstock industrie en productie groen gas

 Energiebesparende opties voor huizen

 Grensoverschrijdende HVDC verbinding



BOTTOM-UP / REGIONALISEREN

Achterliggend beeld: Sociotopia. De energietransitie is slechts een van de onderling verbonden milieuproblemen die moet worden opgelost. Deze gordiaanse knoop van wicked-problems kan alleen maar worden aangepakt door een andere manier van (samen)leven, dus door sociale initiatieven van de 'energieke samenleving'.

Je zou kunnen zeggen dat de ideeën over het regionaliseren eerder uit een visie op voedselproductie en natuur zijn voortgekomen dan uit de energietransitie. De oppositie tegen de industrialisatie en de internationalisering van de landbouw heeft al oude wortels. Tegenwoordig worden de bezwaren gegoten in klimaattermen en gaat het bijvoorbeeld over de hoeveelheid food-miles die de producten afleggen voor ze op ons bord terecht komen. Lokale en regionaal geproduceerde producten hebben in deze denkrichting een streepje voor. Kwantitatief stelt deze beweging nu misschien nog niet zo veel voor, maar het is een wassende stroom waarop nieuwe relaties tussen stad en land geënt kunnen worden en die in deze denkrichting mainstream zal worden. Het gaat niet alleen om boerenbedrijven die direct leveren aan de klant die langskomt op de boerderij om kaas, aardappelen of groenten te kopen. De spontane trend heeft zich al georganiseerd in het thuis afleveren van versproducten. Stadslandbouw is eveneens in de slipstream van de tendens van het regionaliseren aan het groeien.

Een supermarktketen als Marqt, die mikt op kwaliteit en vermindering van food-miles, heeft een andere insteek en kan ook een andere prijs bieden aan de boeren en andere producenten. In deze manier van denken moeten we het hebben van (een combinatie van) culinaire hoogstandjes, regionale specialiteiten, milieubewustzijn en de transitie naar een duurzame landbouw. De trend van de bewuste vermindering van de vleesconsumptie ligt daarmee in het directe verlengde. Klimaat is hier

een bijkomend argument, maar vleesverlaten wordt ook door meer en meer consumenten gezien als een effectief middel om uitstoot van broeikasgassen als CO₂ en NH₃ te beteugelen.

Argumenten dat we op deze manier niet de groeiende wereldbevolking kunnen voeden glijden af als water langs een eend bij deze manier van kijken. Er komt in een tegenoffensief meer en meer tractie voor de argumentatie dat de 'groene revolutie' al 60 jaar bewijst dat het de wereldbevolking niet kan voeden en dat een nieuwe groene revolutie nodig is die leert van lokale en regionale agrarische tradities. Het regionaliseren loopt tegen zijn grenzen op bij het bieden van een antwoord op de noodzakelijke biomassa productie die nodig is voor het biobased maken van de industrie die in deze denkrichting een onmisbaar onderdeel vormt van de circulaire economie. Zelfs met derde generatie biomassateelt en geavanceerde algenproductie is er zoveel nodig dat productie vele malen de oppervlakte van ons land zullen beslaan. Deze vorm van landgebruik kan de trend van 'land-grabbing' op andere continenten versterken of zelfs leiden tot een botsing met de wereldvoedselproductie.

Voor elektriciteit en warmte start deze redenering bij het zoveel als maar mogelijk is de productie te decentraliseren. De burger, de buurt en de lokale gemeenschappen spelen daarin een cruciale rol. Dat wordt niet alleen ingegeven door efficiency ideeën om de opwekking, de opslag en het gebruik te regionaliseren, zo dicht mogelijk bij elkaar te laten plaatsvinden. De achterliggende gedachte is dat de energietransitie gebruikt moet worden voor structurele veranderingen die mensen de macht over hun eigen energievoorziening teruggeeft. In het verlengde daarvan ligt de gedachte dat de energietransitie een stap is om de zeggenschap over je eigen leefomgeving op een decentraal niveau te heroveren. Dit is sterk verbonden aan een democratisch uitgangspunt: de transitie doen we samen of het zal niet gebeuren. Dit democratisch discours kan op zijn beurt weer

instrumenteel zijn om anders na te denken over consumeren en produceren en een circulaire economie. M.a.w. de energietransitie is onderdeel van een bredere maatschappelijke beweging. Of anders geformuleerd, de energietransitie kan niet worden geïsoleerd maar gaat alleen maar lukken met wezenlijke economische structuurveranderingen.

Dezelfde ontwikkelingen die bij 'grootschalig/top-down' twijfel doen rijzen over concepten als de noodzaak grootschalig de basislast te produceren zijn hier stuk voor stuk de iconen van de beweging die een groot momentum organiseert door het koppelen van talloze lokale initiatieven. Nieuwe energie-coöperaties die als paddenstoelen uit de grond schieten. Elektrische auto's als opslagmedium voor de van zonnecellen voorziene wijk. Energiewinning uit rioolwaterslib van de lokale RWZI. Wijkverkiezingen organiseren welk warmtesysteem de voorkeur zal krijgen. De energieke samenleving aan zet.

De beweging richt zich vooral op de gebouwde omgeving. Vanuit dit gedachtengoed kan je daar een heel eind komen. In Duitsland zijn er al dagen waar 85% van de totale elektriciteitsbehoefte decentraal en hernieuwbaar wordt opgewekt. Wij schatten dat 90 - 150 PJ mogelijk is als alle geschikte daken vol gelegd worden met PV-cellen. De beweging loopt tegen grenzen op doordat de gerichtheid op huishoudens eigenlijk doet wegstijgen van de rest van de transitieproblematiek. De mobiliteit, de landbouw maar vooral de (hoge temperatuurvraag van de) industrie hebben een andere of grotere vraag en zijn niet vanuit de lokale initiatieven klimaatneutraal te krijgen. Vanuit deze manier van denken wordt dan ook de vraag gesteld of er in het Nederland van 2050 nog wel ruimte moet zijn voor dergelijke energie-intensieve bedrijfstakken. Maar dit deel van de transitie is ook een reality-check voor deze beweging van onderop dat je, strategisch en goed onderbouwd, uiteindelijk toch ook wat grootschaliger onderdelen in je nieuwe systeem nodig zult hebben.

Een ander front waar deze redenering tegen een grens aan kan lopen zit in de warmtelevering voor de gebouwde omgeving. De bottom-up aanpak om in een andere vorm van warmte te voorzien nu het aardgas afgebouwd wordt wijst in de richting van WKO-systemen waar – elektrische – warmtepompen het deficit kunnen aanvullen. Dit kan op het niveau van het woonblok of de individuele woning. Dit zorgt als neveneffect voor een zodanige fragmentatie van de vraag dat het toepassen van – meer klimaat neutrale – stadsverwarmingssystemen sterk wordt bemoeilijkt. Als een dergelijke decentralisatie van de warmtevoorziening massale vormen aanneemt is de extra elektriciteitsvraag van de warmtepompen groot. Ook die zal met hernieuwbare energie moeten worden opgewekt, hetgeen vrij massale systemen vraagt. Het omgekeerde van het bottom-up landschap dat men hier voor ogen stond. Wanneer bijvoorbeeld ingezet wordt op warmtepompen en dit vanuit de bottom-up gedacht aangepakt wordt, of wanneer we op ieder boerenbedrijf een kleine windturbine neerzetten, zal dit grote gevolgen hebben voor het netwerk waarover de stroom aan- of afgevoerd moet worden. Dat stroomnet is geen bottom-up systeem en vereist een top-down aanpak en sturing. De denkrichtingen zijn daarom ook niet exclusief, ze sluiten elkaar niet uit. De denkrichtingen – zoals bottom-up – laten zien wat de samenhang is en wat de verschillende keuzes en handelingsperspectieven met elkaar te maken hebben.

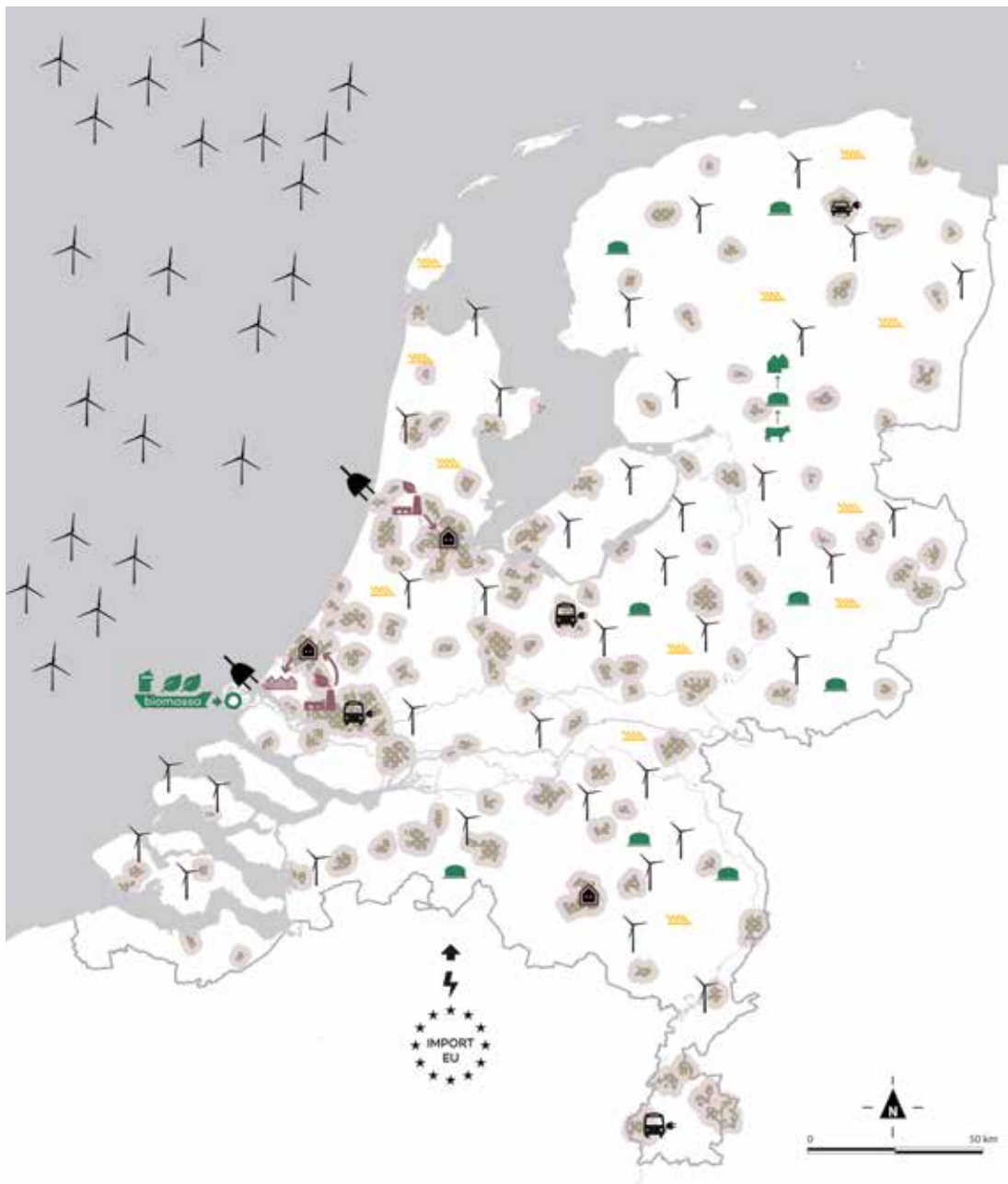
De industrie wordt geleidelijk meer territoriaal in de zin dat lange afstand transport van elektriciteit veel warmte- en andere transportverliezen geeft. De echte grote stroomgebruikers zullen een plek waar de groene stroom aangeland wordt een aantrekkelijke vestigingsvoorwaarde vinden, zoals bijvoorbeeld Google in de Eemshaven. Voor hoge temperatuur warmte speelt, via waterstofproductie op de platforms of in de havens hetzelfde. De geografie heeft dus weer invloed op vestigingspatronen van bedrijvigheid.


Voor de mobiliteit en transport is het regionaliseren de invalshoek waar het meest nadrukkelijk gezocht wordt naar mogelijkheden en beleidsstrategieën om wonen, werken en recreëren weer op (elektrische) fietsafstand te organiseren. Hiervoor valt te denken aan knooppunten strategieën in steden, verdichting rondom OV en dicht bij ondersteunend stedelijk programma. Uitdaging in deze opgave is niet in de laatste plaats het feit dat 90% van onze stad al staat en het dus vaak gaat om – complexe – aanpassingen aan het stedelijk weefsel. Dit is een zaak van zeer lange adem omdat dit uiteindelijk afhangt van beslissingen op het niveau van het individuele huishouden. Die wordt sterk beïnvloed door de vervoerskosten en door de flexibiliteit van de arbeidsmarkt.

VOORBEELDEN VAN MAATREGELEN BOTTOM-UP / REGIONALISEREN:

- Windparken op de Noordzee
Bij een bottom-up benadering is wind op zee minder groots uitgekapt. Verondersteld wordt dat 20 GW (285 PJ) ofwel 2.000 turbines een realistische opgave is voor de Noordzee. Hierbij worden andere functies in de Noordzee zoveel mogelijk ontzien. Top-down ligt bij windparken op de Noordzee meer voor de hand.
- Lokale wind en zonoplossingen
Hierbij kan worden gedacht aan dorpsmolens, zon op bedrijventerreinen, tijdelijke energielandschappen op braakliggende terreinen en kleinschalige zonneweides.
- Zon op daken
Hoewel het logisch is dat de daken van alle gebouwen in Nederland gebruikt kunnen worden voor energieproductie zijn er altijd beperkingen en uitzonderingen. Het beschermen van monumenten, dorps- en stadsgezichten kan reden zijn om niet te kiezen voor opwekking op daken. Maar zelfs wanneer 60% van de daken benut wordt kan dit 28 GW (90PJ) opleveren. Dat wil niet zeggen dat 60% van de bebouwde omgeving volledig vol ligt, van ieder dak is – gemiddeld genomen – slechts 20-25% benutbaar. Daarmee liggen er dus niet 'overal' zonnepanelen.
- Warmtesystemen zijn voornamelijk individueel:
 - Verwarming met behulp van warmtepompen en een klein deel biogas uit biomassa afkomstig uit Nederland
 - Optimaal benutten lokale restwarmte, eventueel het verplaatsen van warmtevragers naar lokale warmteaanbieders
 - Geothermie voor individuele bedrijven en op kleinere schaal een woonwijken die hun warmte uit geothermie kunnen halen.

BOTTOM-UP (REGIONALISEREN)



- | | | | |
|---|---|---|--|
|  | Wind op zee (30MW turbines) |  | Nabijheid wonen-werken-voorzieningen |
|  | Wind op land (3MW turbines) |  | Zonne-energie op daken |
|  | Aanzlanding wind op zee |  | Elektrisch openbaar vervoer binnen de stad |
|  | Zonne-energie in kleinschalige zonnepanelen |  | Energiebesparende opties voor huizen |
|  | Warmteopwekking via restwarmte |  | Kleinschalige warmteoplossingen |
|  | Energie door middel van lokale biomassa | | |
|  | Import biomassa t.b.v. Feedstock industrie en productie groen gas | | |

03 /

INTEGRALE

DENKRICHTINGEN

3.3

VISIES OP

ONTWIKKELING VAN HET (STEDELIJK) LANDSCHAP

ENERGIE INVOEGEN IN HET (STEDELIJK) LANDSCHAP

Achterliggend landschapsbeeld: Arcadië. Het landschap is een co-productie tussen natuur en mens en een spiegel van onze cultuur. Het is levend en organisch. Nieuwe maatschappelijke ontwikkelingen zullen daarin zo naadloos mogelijk moeten worden ingepast. Het is liefst een onbeweeglijk achterdoek voor onze dynamische stedelijke samenleving. Ruimtelijke vraagstukken worden benaderd via het territorialiseren, d.w.z. verankeren in de huidige topografie, van de oplossingen.

Deze redenering start met de ruimtelijke overweging dat de omgevingskwaliteit sterk gebaat is bij het zoveel mogelijk invoegen van de ontwikkelingen rond de energietransitie in de bestaande landschappelijke en stedelijke structuren. Concreet houdt dat in dat landschappelijke, historische en topografische aanleidingen worden gezocht om de nieuwe energie-infrastructuur ten behoeve van de opwek, opslag en netwerk aan op te hangen of in te voegen. In dit denkraam is het ook logisch om naar combinaties en meekoppelingen te zoeken met andere vormen van grondgebruik.

De (ontwerp)opgave is hier slimme syntheses te construeren, zo vloeiend mogelijke combinatie te vinden tussen bijvoorbeeld zonne-akkers en de bestaande kavelstructuren, het hergebruik van CO₂ in de glastuinbouw of de industrie, het combineren van buisleidingtracé's met warmteleidingen, het markeren van de loop van wegen of kanalen voor de situering van windturbines, et cetera. Waar deze manier van inpassen tegen zijn grenzen aanloopt is de schaal van de infrastructuur die moet worden ingepast. Dat kan binnen deze manier van denken worden opgelost door steeds grotere landschappelijke fenomenen te selecteren om op in te haken. Waar eerder een knik in een kanaal een mooie aanleiding vormde voor de tweede generatie windturbines is nu een groot havengebied of in de toekomst zelfs zo iets als de Nieuwe Hollandse Waterlinie

nodig om tegenwicht op niveau te bieden. Een letterlijke koppeling met de geografie ligt er bij de warmtevoorziening waar de aanwezigheid van restwarmte – gekoppeld aan industrie – en geothermie – gekoppeld aan winbare voorkomens – de gebieden waar een van de twee of allebei voorkomen tot de frontrunners voor het maken van warmtenetten zal maken. De reeds geconstrueerde nooduitgang van deze benadering is het stelsel van formele beperkingen vanuit allerlei hoeken en gaten van de samenleving (defensie, natuurbehoud, geluidshinder, groepsrisico, et cetera) die er ook voor zou moeten zorgen dat kwetsbare onderdelen van het stedelijke en landschappelijke weefsel niet overlopen worden door de energie-infrastructuur. Vanuit de positieve ontwerpbenadering van deze invalshoek is dat tevens een zwaktebod.

Voor de mobiliteit en transport is het territorialiseren de invalshoek waar het meest nadrukkelijk gezocht wordt naar stedenbouwkundige en andere planningsmaatregelen om de steden en stadsuitbreidingen mobiliteits-beperkend in te richten. Het zodanig inrichten van steden dat massale toepassing van airconditioning overbodig wordt, is daarvan een goed voorbeeld. De redenering loopt in deze sector tegen zijn grenzen op omdat 95% van de gebouwde omgeving die er nu al is ook de basis zal zijn voor de ruimtelijke orde van 2050. M.a.w. ruimtelijke aanpassingen zijn taai en stroperig, wellicht dat andere instrumenten, bijvoorbeeld financiële prikkels, hier meer effect sorteren.

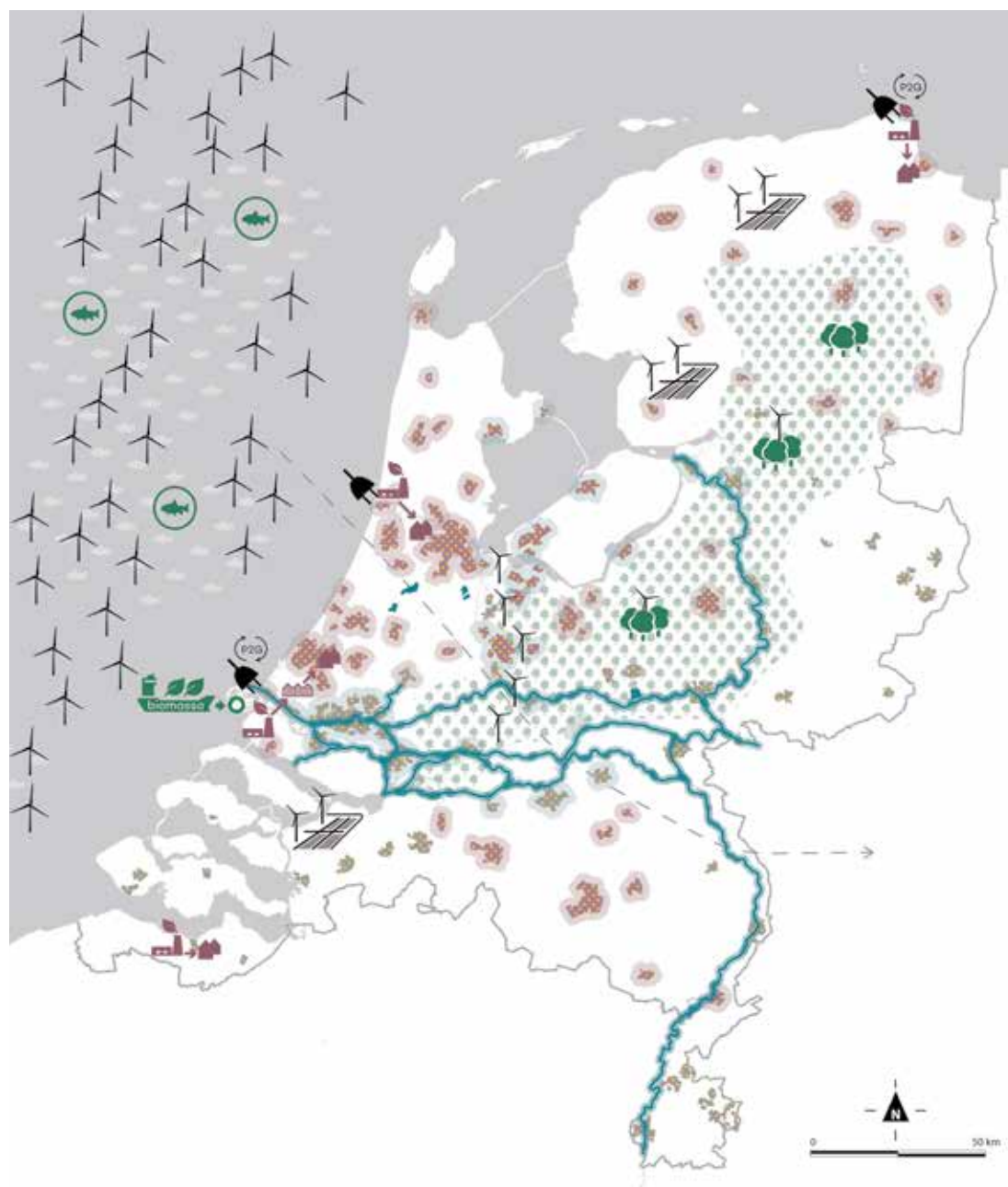
Voor voedselproductie wijst het territoriaal maken en houden letterlijk naar het belang van de natuurlijke gesteldheid van de ondergrond en de productieomstandigheden die deze oplegt. Optimalisatie van het bodembeheer is ook vanuit klimaattoegpunt van groot belang. Niet alleen het aanpassen van de ontwatering en het peilbeheer in de veenweidegebieden maar ook zaken als inploegen van biochar en precisielandbouw hebben een gunstige invloed

op de koolstof cyclus. Het nadenken in termen van agro-ecologie en het leren van traditionele vormen van landbouwkundig gebruik past naadloos bij deze redeneerlijn. Het aanleggen van 'nieuw' bos past ook in deze verhaallijn wanneer we dit framen als herstel van oude beplantingsstructuren.

VOORBEELDEN VAN MAATREGELEN 'ENERGIE INVOEGEN IN HET (STEDELIJK) LANDSCHAP':

- Hernieuwbare elektriciteits opwekking, vooral op Noordzee
De Noordzee blijkt – in bijna elke denkrichting – een logische en noodzakelijke oplossing te bieden. Ook in deze denkrichting is wind op zee niet weg te denken. Verondersteld wordt dat 40 GW (575PJ) ofwel 4.000 turbines een realistische (maar grote) opgave is voor de Noordzee. Dit beslaat dan ca 20% van het NCP. Nadrukkelijk wordt in deze denkrichting het verband gelegd tussen energieproductie op de Noordzee en de potentie die deze gebieden gelijktijdig bieden voor voedsel en ecologie; de kraamkamers van de Noordzee en het perspectief voor de visserij.
- Zon op daken
Hoewel het logisch is dat de daken van alle gebouwen in Nederland gebruikt kunnen worden voor energieproductie zijn er altijd beperkingen en uitzonderingen. Het beschermen van monumenten, dorps- en stadsgezichten kan reden zijn om niet te kiezen voor opwekking op daken. Maar zelfs wanneer 60% van de daken benut wordt levert dit 28 GW (90PJ) op. Dat wil niet zeggen dat 60% van de bebouwde omgeving volledig vol ligt, van ieder dak is – gemiddeld genomen – slechts 20-25% benutbaar. Daarmee liggen er dus niet 'overall' zonnepanelen.
- Wind en zon langs infrastructuur/ landschappelijke kenmerken
Infrastructuur en aangrenzende percelen biedt ruimte voor het inpassen van energieproductie in de vorm van wind en zon. Alleen het areaal van Rijkswaterstaat langs wegen en dijken is in totaal ca 547 km². Op deze gronden van Rijkswaterstaat gecombineerd met naastgelegen agrarische terreinen is het mogelijk om ca. 24 GW (80PJ) ofwel 220 km² zonneveld in te passen naast de ruimte die dit biedt voor windturbines. Met name het leggen van verbanden tussen (rest) ruimte langs infrastructuur en andere percelen en functies biedt veel mogelijkheden. Voor deze landschappen is het logisch te zoeken naar slimme combinaties zoals in bodemdalingsgebieden (veenweidegebieden) en combinaties met de veranderende businesscase van de agrarische sector. Zo kunnen bijvoorbeeld veengebieden 'vernat' worden en ontstaat er met het plaatsen van zonneweiden een nieuwe businesscase voor de gevestigde agrarische bedrijven.
- Verwarming van de gebouwde omgeving komt voornamelijk voort uit:
 - Collectieve warmtesystemen via slimme warmte cascades via restwarmte
 - Collectieve warmtesystemen (grootschalig) gevoed door geothermiebronnen
 - Collectieve warmtesystemen (kleinschalig) zoals thermische energie uit oppervlakter water
 - Daar waar collectieve systemen niet inpasbaar blijken kan via elektrificatie worden verwarmd
- In de landbouw wordt verder ontwikkeld in de richting van precisielandbouw
- Ook het stedelijk landschap zal in deze denkrichting ingrijpend veranderen. Hierbij kan worden gedacht aan vermindering van de (auto)mobiliteit, meer stedelijk groen, et cetera.

ENERGIE INVOEGEN IN HET (STEDELIJK) LANDSCHAP



-  Wind op zee (DMW turbines)
-  Wind op land (DMW turbines)
-  Aanlanding wind op zee
-  Conversie naar waterstof en/of methaan
-  Bebouwing
-  Slim koppelen windparken en duurzame visserij

-  Oomroepen en klimaatbestendige stad:
-  Incl. zonne-energie op daken
-  Incl. collectieve warmtesystemen i.o.m. geothermische energie
-  Incl. collectieve warmtesystemen i.o.m. warmte uit oppervlaktewater (TEO)
-  Warmtecasco's via restwarmte
-  Import biomassa t.b.v. feedstock industrie en productie groen gas
-  Grensoverschrijdende HVDC verbinding



ENERGIE DOMINEERT HET LANDSCHAP / SUPERPONEREN

Achterliggend beeld: *Palimpsest*. Het (stedelijk) landschap is een historisch gelaagde hybride van technische en natuurlijke processen, constant in ontwikkeling en waar telkens nieuwe lagen aan worden toegevoegd zonder de sporen van het bestaande geheel te wissen.

De constatering dat veel van onze landschappen die hoog gewaardeerd worden hun trotse kwaliteit juist ontleen aan dat ze monofunctioneel zijn ligt aan de basis van deze redenering. Die landschappen zijn nooit gemaakt met het oog op de kijkcijfers, maar utilitair. Laat zien wat je bent en wat je doet. De nieuwe energie-infrastructuur moet aangegrepen worden om zelfverzekerde nieuwe energielandschappen te maken. Dan komt het uiteindelijk met die waardering ook wel goed. De energie-infrastructuur mag gesuperponeerd worden over het bestaande landschap en een nieuwe laag aan de rijke geschiedenis toevoegen, naast de sporen van eerdere energielandschappen die Nederland rijk is.

Deze opvatting kan kwaliteiten opleveren getuige de (nu) alom geprezen windprojecten aan de dijken van Oostelijk Flevoland en de Noordoostpolder. Deze redenering loopt tegen zijn grenzen aan door de kleine en dichtbevolkte microstructuur die superponeren, als het al kan, niet de allure laat opleveren die gehoopt wordt. Vooral op en aan de grote wateren, inclusief de Noordzee, is deze zienswijze productief.

Voor voedselproductie wijst deze benadering in de richting van foot-loose productie, los van de grond dus, en die ook nog geklimatiseerd is. Grootschalige glastuinbouw en zelfs vertical farming gaan in deze verhaallijn steeds meer de basis van onze voedselvoorziening vormen. Dat deze kassen naast voedselproductie, uiteindelijk ook energie leveren is het streven, waarin overigens de embedded energie die geïnvesteerd is om ze te maken, niet wordt meegerekend. Dit is het succesverhaal van de

productieve Nederlandse landbouw. Op ons postzegelgrote territorium is de landbouw er in geslaagd de tweede landbouwexporteur – na de Verenigde Staten – te worden. Deze kennis, kapitaal- en energie-intensieve landbouw optimaliseert per kilo geproduceerd product en levert daarin soms indrukwekkende prestaties maar het geheel is in klimaat termen tamelijk kwetsbaar voor CO₂ beprijzing en/of heffingen. Dat geldt ook voor de hier gekozen oplossing om CO₂ in het landschap vast te leggen, namelijk monofunctioneel en diep onder de grond (CCS).

Wanneer onze landbouw op grote schaal foot-loose wordt, dan komt daarmee ook agrarische grond vrij die kan worden ingezet voor CO₂ buffering in bos of opwekking van duurzame energie.

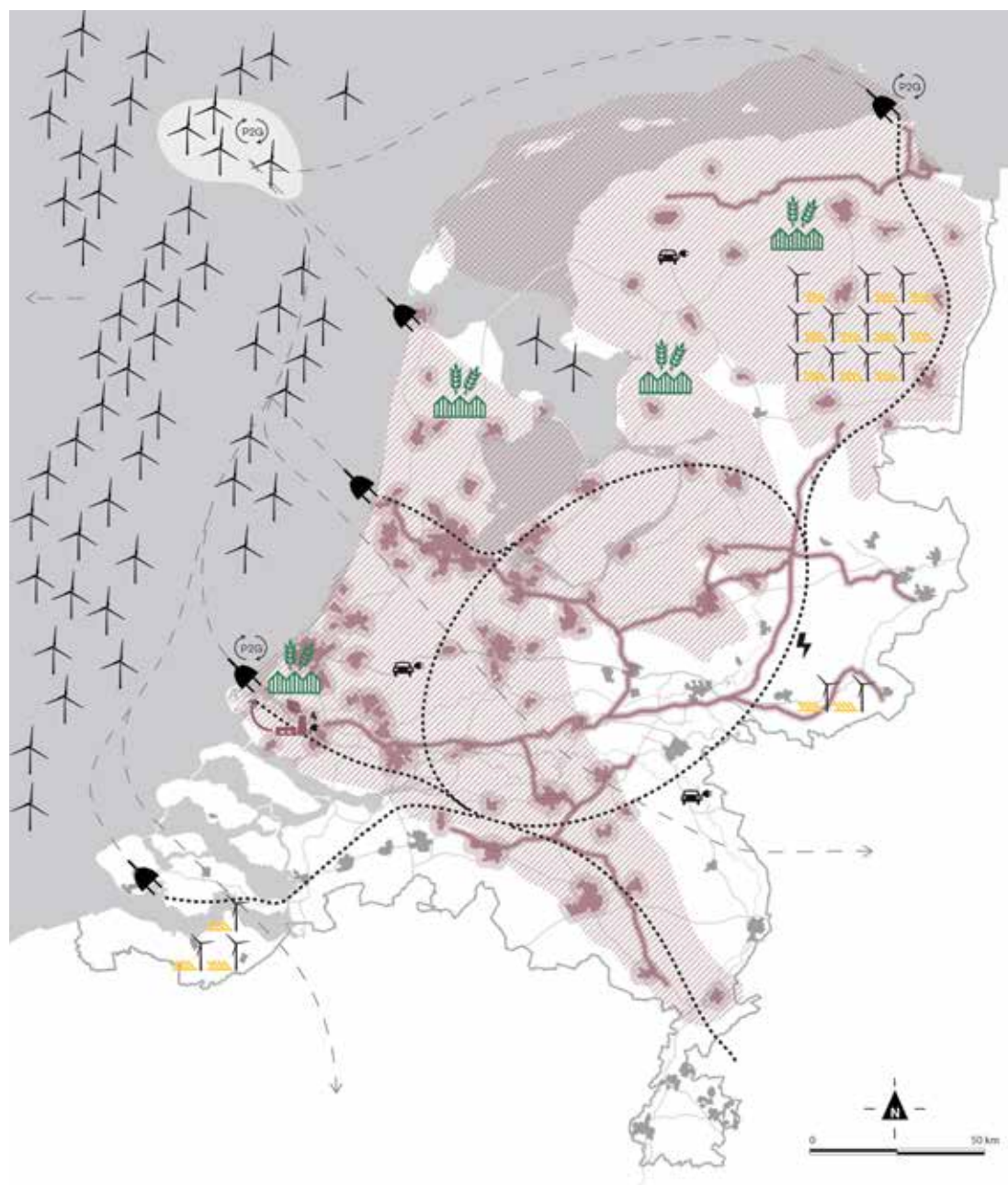
Voertuigtechniek en overvloedige goedkope fossiele brandstoffen hebben de ruimtelijke orde opgeleverd waarin we leven. Flink woon-werkafstanden worden voor lief genomen. woonplekken worden niet zelden gekozen tussen de werklocaties van de beide partners in. De Nederlander draait van alle Europeanen de meeste woon-werkverkeer kilometers (gemiddeld 22,6 km per auto). Voor transport geldt eenzelfde verhaal. Het vertakte en verknoopte distributiesysteem maakt het mogelijk agrarische producten met vers-kwaliteit over de halve wereld te verslepen, pakjes van bestellingen op een ander continent binnen twee dagen bij de burens te laten afgeven, et cetera. Het lijkt of afstand er nauwelijks meer toe doet. Het is dan ook geen Nederlands maar een internationaal gegeven. De internationalisering is krachtig angeblazen doordat luchtvracht oneigenlijk goedkoop is. Doordat kerosine al sinds 1947 niet is belast – door een internationaal verdrag om de wereldhandel na WOII aan te slingeren – is er geen gelijk speelveld ten opzichte van andere transportmodaliteiten. De tweede aanjager van de internationalisering van de handel gaat uit van de grote scheepvaart en vooral het containervervoer. Beide zullen beïnvloed

worden, c.q. tegen hun grenzen aanlopen, door het beprijsen van CO₂ en/of heffingen. Het versneld uitfaseren van zware stookolie (die roet produceert, een emissie die op drie fronten het klimaat beïnvloed) zal ook – licht doorwerken in de prijs van transport.

VOORBEELDEN VAN MAATREGELEN 'ENERGIE IS LEIDEND IN HET (STEDELIJK) LANDSCHAP':

- Hernieuwbare elektriciteits opwekking, vooral op Noordzee en nabij grote wateren
In deze denkrichting de extreme variant van wind op zee . Verondersteld wordt dat 80 GW (1.150PJ) ofwel 8.000 turbines een zeer grote opgave is voor de Noordzee. Dit beslaat dan ca 40% van het NCP. Ruimte voor andere functies wordt mogelijkwijs ingeperkt om deze hoeveelheden windenergie te kunnen realiseren.
- Wind en zon in een beperkt aantal nieuwe Nationale energielandschappen
En aantal gebieden worden als nieuwe Nationale energielandschappen aangewezen. Hier wordt maximaal energie geogst. Dat wil dus zeggen een combinatie van windenergie met zonne-energie en het mogelijkwijs uitsluiten van andere functies. Mogelijke locaties hiervoor zijn de huidige krimpgebieden. Hier moet dan dus ruimte worden gevonden voor deze energielandschappen. Een andere mogelijkheid is bijvoorbeeld grootschalige zonneweiden in het groene hart.
- Verwarming wordt gerealiseerd via collectieve grootschalige warmtenetten gevoed door ultradiepe geothermie
- CO₂ wordt gebufferd in nieuw aan te leggen bossen in landbouwgebieden die onder druk staan als gevolg van vernatting of verzilting

ENERGIE DOMINEERT HET (STEDELIJK) LANDSCHAP



Wind op zee (DHW turbines)



Wind en zonneweide in kringgebieden (DHW turbines)



Aanlanding wind op zee



Conversie naar waterstof en/of methaan



Elektrisch vervoer



Grootschalige warmtesystemen i.a.m. geothermische energie

(buiten stedelijk gebied en potentiegebied geothermie verwarming via huidige gasnetwerk)



Warmtenetwerken (lange afstandverbindingen)



Intensieve agrarische productie



Grensoverschrijdende HVDC verbinding

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De vier geschetste denkrichtingen zijn nadrukkelijk geen scenario's. Ze bieden meerwaarde doordat via deze denkrichtingen inzicht ontstaat in de gevolgen van keuzes en de samenhang tussen keuzes. Het verbeelden van deze denkrichtingen maakt de ruimtelijke weerslag inzichtelijk. Door de vertaling naar de kaart wordt geduid hoe de opgaven vanuit die denkrichting ruimtelijk hun weerslag zouden kunnen kennen.

De denkrichtingen zeggen nog niets over de ruimtelijke kwaliteit van de oplossingen. De denkrichtingen zijn ontwikkeld op functie en methodiek. In een vervolgstap zou de ruimtelijke kwaliteit kunnen worden toegevoegd door te gaan ontwerpen aan de oplossingen die vanuit de verschillende denkrichtingen naar boven komen: wat voor type landschappen zouden er kunnen ontstaan, wat is de mogelijke transitie in de stedelijke omgeving en hoe kan dat bijdragen aan een waardevolle leefomgeving?

Het uitwerken van de denkrichtingen laat zien dat wanneer je vanuit de uitersten op de assen begint, andere denkrichtingen niet worden uitgesloten maar juist de samenhang, noodzakelijke verbinding en de verhouding tussen de denkrichtingen naar voren komt. Het is nooit of het een of het ander, maar altijd een samenhang. Het starten vanuit de verschillende denkrichtingen brengt wel verschillende samenhangen, verbindingen en verhoudingen in beeld.

Deze denkrichtingen zijn ontwikkeld vanuit de opgaven voor de klimaat- en energietransitie. Van belang is deze ook uit te werken in samenhang met de andere ruimtelijke opgaven voor Nederland, die in het proces naar een Nationale Omgevingsvisie worden benoemd.

Er zijn een aantal typen gebieden waar veel van de opgaven voor de klimaat- en energietransitie ruimtelijk samenkomen, vanuit alle denkrichtingen. Er zijn echter nog veel verschillende oplossingsrichtingen mogelijk voor de verschillende opgaven én in deze gebieden zullen ook andere opgaven zorgen voor ruimtelijke veranderingen. Die kunnen elkaar in de weg zitten maar door het in samenhang ontwikkelen en uitvoeren van de oplossingsrichtingen kunnen deze elkaar ook helpen. In de vier gebieden die we hieronder hebben benoemd zien we een grote ruimtelijke concentratie van oplossingen én in potentie een grote bijdrage aan de klimaat- en energietransitie.

- De zeehavens. De transitie van een fossiel-gebaseerde industrie naar een hernieuwbare industrie, de verwerking en overslag van eventueel geïmporteerde biomassa, de aanlanding van mogelijkerwijs grote hoeveelheden elektriciteit afkomstig van wind op zee, het omzetten van deze elektriciteit naar bijvoorbeeld waterstof, en zo voorts.
- Op en rond corridors en knooppunten. Niet alleen verandert hier veel in de energie- en laadinfrastructuur, ook de koppeling met de knooppuntontwikkeling, transitie in de mobiliteit en (stad)logistiek en de opwekking van hernieuwbare energie langs deze corridors zorgen voor veel ruimtelijke veranderingen.
- Ook zijn er gebieden (krimpgebieden, veenweidegebieden, overstromingsgevoelige gebieden, gebieden met verziltingsproblematiek) waar de energietransitie bij kan dragen aan het succesvol omgaan met de daar bestaande opgaven en waar het gelijk opgaan van de transitie van die landschappen met de transitie naar duurzame energie kansen biedt voor meekoppeling.
- Als laatste komen veel opgaven samen in de stedelijke omgeving. De transities voor duurzame energie zorgen voor 'verbouwingen' in de wijken. Nieuwe mobiliteitsconcepten, verdichting en knooppuntontwikkeling, het opwekken en opslaan van elektriciteit, het transporteren van de nieuwe vormen van energie, isoleren van de gebouwen, nieuwe oplossingen voor de warmtevoorziening.

In deze verkenning geven we een aanzet voor en signaleren we het belang van deze gebieden. Er is echter veel meer nodig om die samenhang verder te verkennen, inzicht te geven in de meerwaarde van samenhangende oplossingen en concrete voorbeelden daarvan uit te werken. Het inzetten van ontwerpend onderzoek en het betrekken van de verschillende stakeholders daarbij kan helpen om hieraan invulling te geven.

04 / INSTRUMENTEN/ GOVERNANCE

RUIMTELIJKE INSTRUMENTARIUM

De transitie naar een duurzame energievoorziening heeft op veel terreinen ingrijpende gevolgen voor onze samenleving. Het gaat onder meer om een verandering van de leefomgeving en het landschap. Maar ook om een andere manier van bouwen en samenwerken in en aan onze ruimte. Dit deel van de rapportage gaat in op de instrumenten waarmee ruimte kan bijdrage aan de grote transitie die nodig is naar een duurzame energievoorziening voor Nederland. We gaan in op de rol van energie in ruimtelijke afwegingen. En hoe de omgevingswet kan bijdrage aan de energietransitie.

04 / INSTRUMENTEN/ GOVERNANCE

4.1 BESCHOUWING

ENERGIETRANSITIE EN RUIMTE

De transitie naar een duurzame energievoorziening heeft op veel terreinen ingrijpende gevolgen voor onze samenleving. Het gaat onder meer om een verandering van de leefomgeving en het landschap. Maar ook om een andere manier van bouwen en samenwerken in en aan onze ruimte. Dit deel van de rapportage gaat in op de instrumenten waarmee ruimte kan bijdrage aan de grote transitie die nodig is naar een duurzame energievoorziening voor Nederland. We gaan in op de rol van energie in ruimtelijke afwegingen, en hoe de instrumenten van de omgevingswet kunnen bijdragen.

Het ruimtelijk instrumentarium van de toekomst wordt sterk beïnvloed door de komst van de Omgevingswet. De nieuwe wet zal leiden tot minder en overzichtelijke regels, meer ruimte voor initiatieven en lokaal maatwerk en het geven en vragen van vertrouwen. De energietransitie is deels afhankelijk van initiatieven uit de samenleving. De opgave om in 2050 een CO₂-arme energievoorziening te realiseren is echter complex en heeft ook regie nodig vanuit de overheid. In de volgende paragraaf worden de kerninstrumenten van de Omgevingswet beschreven en hoe overheden deze kunnen inzetten voor de energietransitie. De Omgevingswet biedt kansen en mogelijkheden voor maatwerk, maar stelt zelf geen inhoudelijke en procesmatige eisen. Veel zal dan ook afhangen van de manier waarop de instrumenten van de Omgevingswet door Rijk, Provincies en Gemeenten worden benut voor de klimaat- en energietransitie.

04 / INSTRUMENTEN/ GOVERNANCE

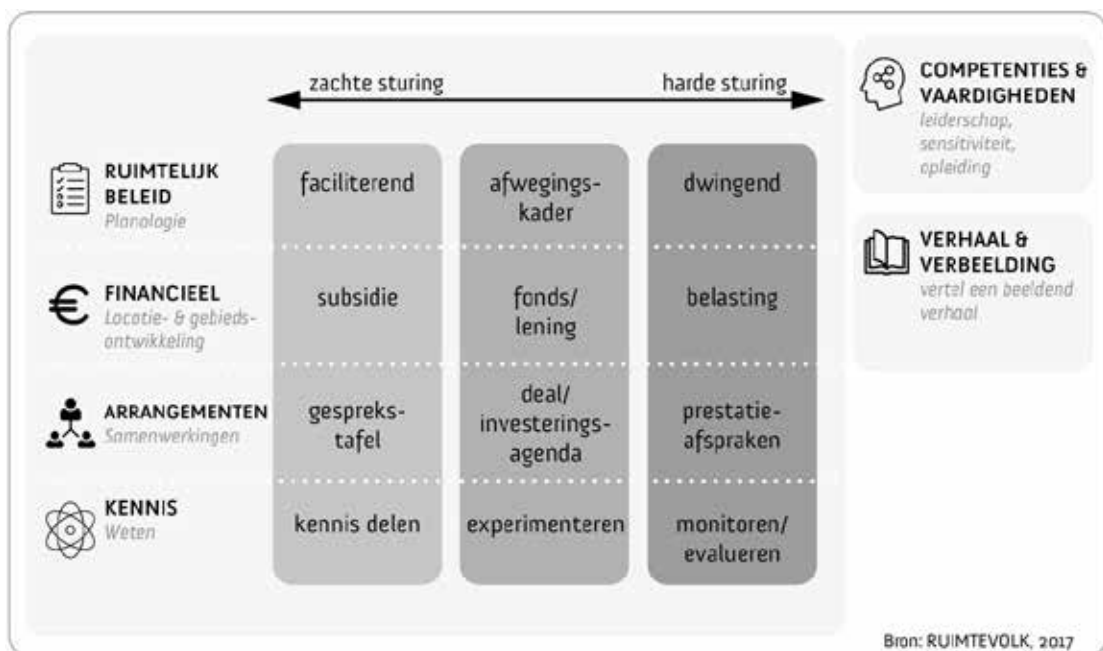
4.2 INSTRUMENTEN EN MOGELIJKE STRATEGIEËN

Het zetten van betekenisvolle stappen wordt mede bepaald door op het juiste moment op het geschikte schaalniveau het best passende instrument in te zetten. We geven middels een instrumentenkoffer inzicht in het gebruik van ruimtelijke instrumenten voor de energieopgave met hierin speciale aandacht voor de instrumenten uit de Omgevingswet. Daarnaast gaan we in op mogelijke strategieën om ruimte te maken voor de energietransitie. Daar wordt stilgestaan bij het samenspel tussen schaalniveaus en de instrumenten uit de instrumentenkoffer.

RUIMTELIJKE INSTRUMENTENKOFFER VOOR DE ENERGIETRANSITIE

In deze paragraaf wordt de ruimtelijke instrumentenkoffer beschreven en voorbeeldmatig inzicht gegeven in de toepassing voor de energietransitie. Het is een eerste overzicht van ruimtelijke instrumenten en de voorbeelden zijn zeker niet uitputtend. In de door Ruimtevolk ontwikkelde instrumentenkoffer

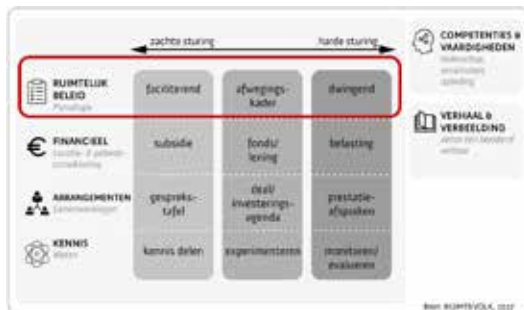
onderscheiden we vier verschillende categorieën instrumenten: ruimtelijk beleid, financieel instrumentarium, arrangementen en kennis. Voor elk van deze categorieën zijn instrumenten beschikbaar waarmee zacht of hard kan worden gestuurd. Daarnaast onderscheiden we 'competenties en vaardigheden' en 'verhaal en verbeelding' als randvoorwaarden voor de het inzetten van de instrumenten uit de instrumentenkoffer. We beschrijven kort de categorieën en geven van een aantal instrumenten een voorbeeld. Belangrijk om te vermelden is dat de instrumenten van de Omgevingswet voor iedereen nieuw zijn (de wet gaat in 2021 in werking) en nog niet allemaal in de praktijk worden toegepast. Het noemen van passende voorbeelden bij het onderwerp energie is dan ook niet altijd mogelijk.



Figuur 155. Ruimtelijke instrumentenkoffer voor de energietransitie

DE KERNINSTRUMENTEN VAN DE OMGEVINGSWET

Om uitvoering te geven aan het ruimtelijk beleid van overheden zullen in de toekomst voornamelijk de kerninstrumenten uit de Omgevingswet worden benut. Op dit moment zijn overheden nog niet verplicht om visies en plannen op te stellen conform de nieuwe wet, maar op een aantal plekken in het land wordt hier al wel mee geëxperimenteerd³. De kerninstrumenten van de Omgevingswet bieden de mogelijkheid om de energietransitie integraal af te wegen met andere opgaven in de fysieke leefomgeving.



OMGEVINGSVISIES

Een omgevingsvisie is een integrale langetermijnvisie voor de gehele fysieke leefomgeving. De omgevingsvisie wordt gemaakt door Rijk, provincies en gemeenten en geldt voor het gehele gebied. De overheid bepaalt het uitwerkingsniveau van de visie. De visie is vormvrij, zelfbindend en moet rekenschap geven van beleid van hogere overheidslagen (algemeen beginsel van behoorlijk bestuur). Samenspraak tussen de overheidslagen is dus van belang aangezien zij een deel van de doorwerking en uitvoering op zich nemen. De omgevingsvisie is de plek om de ambities met betrekking tot energie te verwoorden en af te wegen t.o.v. of verbinden met andere functies. De provincie Gelderland is nu bijvoorbeeld een omgevingsvisie aan het opstellen waar energie een voorname rol zal spelen. Op dit moment geldt er de regel dat er geen windmolens zijn toegestaan 'boven de Veluwe'. Er zijn echter gemeenten die kansen zien voor windmolens in bossen. In

de Gelderse omgevingsvisie zal de afweging tussen landschap en energie gemaakt moeten worden óf inzicht moeten worden gegeven in combinatiekansen en wanneer dit toegestaan wordt.

OMGEVINGSVISIE MERWEDEKANAALZONE

Utrecht groeit en kiest voor gezonde verstedelijking. De Merwedekanaalzone is aangewezen als gebied om te verdichten. In de omgevingsvisie Merwedekanaalzone wordt vastgelegd hoe de groei gecombineerd wordt met behoud van kwaliteit en aantrekkelijkheid. Mobiliteit is een belangrijk thema in deze omgevingsvisie. Als gevolg van verdichting zullen de verkeersstromen toenemen, wat druk kan uitoefenen op de kwaliteit van leven. Geluidhinder, fijnstof en congestie worden zoveel mogelijk voorkomen door in te zetten op lopen, fietsen, openbaar vervoer en deelauto's. Deze uitgangspunten uit de omgevingsvisie worden uitgewerkt in regelgeving, het bestemmingsplan (straks omgevingsplan) en grondexploitaties/aanbestedingen. De parkeernorm in dit gebied is bijvoorbeeld lager in dit gebied ten opzichte van de rest van Utrecht. En marktpartijen worden in aanbestedingen uitgedaagd om nieuwe woonconcepten inclusief duurzame mobiliteit aan te bieden.

In de omgevingsvisie kunnen het Rijk, provincies en gemeenten, in samenspraak met de samenleving, bijvoorbeeld aangeven waar ruimte is om duurzame energie op te wekken en hoe in een duurzame warmtevoorziening wordt voorzien.

De provincies kunnen eventuele zoekgebieden voor warmtenetten en opwekking van duurzame energie vervolgens verder uitwerken in de provinciale omgevingsverordening (zie verderop in dit hoofdstuk) en hiermee een instructie voor lokale regelgeving opleggen aan gemeenten.

AFWEGINGSKADER IN OMGEVINGSVISIE

In de omgevingsvisie van de provincie Overijssel komt de energietransitie terug als een van de prominente thema's. Middels zogenaamde energie-efficiënte ruimtelijke ordening wordt de energietransitie een belangrijk uitgangspunt in brede ruimtelijke afwegingen. Bij energie-efficiënte ruimtelijke ordening kun je denken aan:

- het afstemmen van ruimtelijk-economische ontwikkelingen op mobiliteitsnetwerken en -knooppunten (bijvoorbeeld concentratie van scholen en publieke gebouwen bij openbaarvervoerknooppunten);
- het bij elkaar brengen van vraag en aanbod van (rest)energie, bijvoorbeeld door locaties voor opwekking van hernieuwbare energie zo te kiezen dat er optimaal gebruik van gemaakt kan worden, en andersom, door locaties van bedrijven, woningen en maatschappelijke functies zo te kiezen dat er optimaal gebruik gemaakt kan worden van aanwezige energie;
- het ruimtelijk ordenen van warme en koude bronnen van bodemenergiesystemen.

OMGEVINGSWAARDEN EN PROGRAMMA'S

Met een omgevingswaarde kan de overheid een concrete doelstelling (bijvoorbeeld energieneutraal, of % afname CO₂-uitstoot) stellen voor haar gebied. Het Rijk kan omgevingswaarden vaststellen in het Besluit Kwaliteit Leefomgeving (BKL), de provincie in een omgevingsverordening en de gemeente in een omgevingsplan. Een omgevingswaarde hoeft niet opgenomen te zijn in een omgevingsvisie, maar het is voor de hand liggend dat er een wisselwerking is tussen de instrumenten en dat de omgevingswaarde aansluit op de ambities uit de omgevingsvisie. Als een overheid een omgevingswaarde heeft vastgesteld, is zij verplicht om te meten en te beoordelen of aan die waarde wordt voldaan. Wanneer deze overheid nog niet aan de waarde voldoet, is zij verplicht

om een programma op te stellen waarin zij beschrijft hoe deze waarde te bereiken. In een omgevingsprogramma kan een overheid samen met stakeholders die een bijdrage kunnen leveren aan de omgevingswaarde samenwerken om die omgevingswaarde te bereiken. Omgevingswaarden gelden in de eerste plaats voor de overheid die ze vaststelt². Het vaststellen van omgevingswaarden geeft dus verplichtingen. In de gemeente Den Haag wordt nu overwogen om voor een aantal wijken omgevingswaarden vast te stellen ten aanzien van milieuaspecten. Het opstellen van omgevingswaarden wordt daar nu onder andere aangepakt om het integraal werken binnen de gemeentelijke organisatie te verbeteren.

OMGEVINGSPLAN

In het omgevingsplan werkt de gemeente de energieambitie in samenhang met de andere ambities en ontwikkelingen met ruimtelijke impact verder uit en geeft het aan op welke wijze, in welk tempo en met welke instrumenten de verduurzaming vorm krijgt. Een omgevingsplan is integraal en geldt voor de gehele gemeente maar kan specifieke regels opnemen per gebied en kan in sommige gevallen aanvullende eisen opnemen bovenop bestaande regelgeving van Rijk en provincie. Zo kan een gemeente straks in haar omgevingsplan bijvoorbeeld (voor een bepaald gebied) strengere eisen stellen ten aanzien van de Energie Prestatie Coëfficiënt (EPC) en kan een gemeente eisen stellen aan nieuwbouw zoals bijvoorbeeld Nul op de Meter (NOM). Het ligt voor de hand dat een omgevingsvisie en een omgevingsplan met elkaar interacteren en dat uitgangspunten voor strengere eisen worden gevonden in de omgevingsvisie, noodzakelijk is dit echter niet. Sectorale plannen, zoals de warmteplannen die nu veel worden opgesteld, kunnen straks onderdeel vormen van het omgevingsplan. Hierin kan een gemeente bijvoorbeeld vaststellen wanneer de verschillende wijken van het aardgas worden afgesloten³. Door (delen van) sectorale plannen in samenhang op te nemen

in het omgevingsplan ontstaat een integrale uitwerking van de (energie)ambitie.

WARMTENET IN PURMEREND

In het milieubeleidsplan heeft de gemeente de ambitie verwoord om woningen en bedrijven in nieuwe wijken aan te sluiten op het warmtenet. In het warmteplan worden ontwikkelaars verplicht om woningen in de nieuwbouwwijk Kop West aan te sluiten op het warmtenet. Alleen wanneer de ontwikkelaars een qua energie- en milieuprestatie gelijkwaardige oplossingen hebben gevonden, kan worden afgezien van deze verplichting.

OMGEVINGSVERGUNNING

De omgevingsvergunning is de verzamelnaam voor een aantal vergunningen op het gebied van wonen, ruimte en milieu.

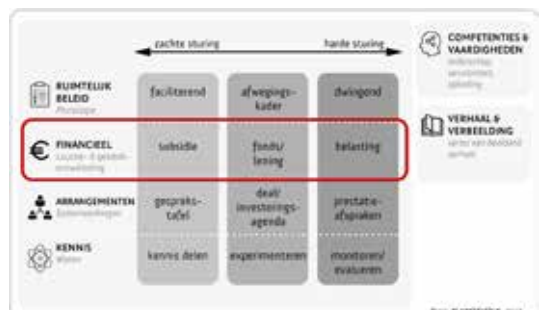
STUREN OP DUURZAAMHEID BIJ VERGUNNINGSAANVRAGEN: HAAKJE IN VISIE NOODZAAK

Onlangs heeft de commissie MER een advies uitgebracht over het ontwerpbestemmingsplan van de tweede Maasvlakte in Rotterdam. De Commissie maakt uit dit plan op dat de gemeente via het bestemmingsplan geen concrete voorwaarden op het gebied van duurzaamheid wil stellen bij de vestiging van bedrijven. Dit betekent dat er geen duurzaamheidsmaatregelen opgelegd kunnen worden bij vergunningsaanvragen. Aangezien een vergunning meestal 20 jaar geldt, zou dit betekenen dat bedrijven in dit deel van de Rotterdamse haven tot ongeveer 2040 niet verplicht kunnen worden om bij te dragen aan de doelstelling om energieneutraal te zijn in 2050. Uiteraard heeft de Commissie hier geadviseerd om dwingendere (doel)voorschriften in het bestemmingsplan of in vergunningen op te nemen. De vraag is of de gemeente Rotterdam dwingende eisen wil stellen aan bedrijven die overwegen om zich te vestigen in de haven.

Voor veel bedrijfsactiviteiten is geen vergunning meer nodig en wordt volstaan met het stellen van algemene regels. Voor bedrijven die hoge temperatuur warmte nodig hebben voor hun bedrijfsprocessen is vaak wel een omgevingsvergunning noodzakelijk aangezien dit gepaard gaat met een hoge milieubelasting. Om deze bedrijven te motiveren of te verplichten om energiebesparende maatregelen te nemen, is het van belang dat de vergunningverlenende instantie⁴ kan verwijzen naar voorwaarden die een gemeente of provincie stelt in zijn omgevingsvisie of omgevingsplan ten aanzien van energiebesparing of gebruik van duurzame energie.

OMGEVINGSVERORDENING

De omgevingsverordening is een juridisch instrument dat zorgt dat de uitgangspunten van de provinciale omgevingsvisie doorwerken in plannen van andere overheden. Het geeft onder meer regels voor gemeenten en waterschappen. De omgevingsverordening kan worden gebruikt voor doorwerking van provinciale beleidskeuzes in gemeentelijke omgevingsvisies en ruimtelijke plannen van waterschappen. Zo heeft de provincie Gelderland in haar huidige provinciale verordening (vergelijkbaar met de toekomstige omgevingsverordening) locaties aangewezen waar het plaatsten van windturbines mogelijk is. Uit het voorbeeld hieronder blijkt het belang van regionale afstemming bij het aanwijzen van deze locaties.



PROVINCIALE VERORDENING: DOORZETTINGSKRACHT NUTTIG OF WENSELIJK?

Een initiatiefnemer van een windmolenpark in Zaltbommel krijgt van de gemeente geen vergunning aangezien het niet past in het vigerend bestemmingsplan. De gemeente staat niet achter dit plan en is niet bereid om medewerking te verlenen aan dit initiatief. De initiatiefnemer stapt vervolgens naar de provincie die genoodzaakt is een inpassingsplan te maken, aangezien het initiatief aansluit bij de aanwijsgebieden in de provinciale verordening. Aangezien de zoekgebieden zijn aangewezen in de provinciale verordening kan de provincie niet anders dan de gemeente passeren en is lokaal draagvlak dus ver te zoeken. Op dit moment wordt in Gelderland in het kader van de Gelderse Energieakkoord nauw samengewerkt met veel partijen om gezamenlijk tot een aanpak te komen voor een klimaatneutraal Gelderland 2050.

legeskorting. Veel gemeenten, waaronder de gemeente Utrecht, geven korting op de leges bij verbouwingen van huizen die bijdragen aan een meer energiezuinige woning.

STIMULERENDE FINANCIËLE INSTRUMENTEN

Er zijn ook financiële instrumenten die, in plaats van een faciliterende, een meer stimulerende werking hebben. Zo beveelt het PBL⁶ het Rijk aan om een revolverend fonds op te richten waaruit ontwikkelkosten voor windparken van gemeenten worden voorgefinancierd. In het voorbereidingstraject voor met name windprojecten maken gemeenten vaak hoge kosten (zoals voor het maken van een Notitie van Reikwijdte en Detailniveau en een milieueffectrapportage en het organiseren van inspraak). Als het project doorgaat, kan deze voorinvestering in veel gevallen grotendeels worden verhaald op de ontwikkelaar. Het probleem is echter dat een deel van de projecten nooit van de grond komt. Dit kan leiden tot risicomijdend gedrag bij gemeenten en een revolverend fonds kan hier een oplossing voor bieden.

FINANCIEEL INSTRUMENTARIUM: LOCATIE EN GEBIEDSONTWIKKELING

Subsidies, fondsen, leningen, aanbestedingen, belastingen en grondexploitaties. Dat zijn de voornaamste financiële instrumenten met een ruimtelijke impact. Het vaststellen van een reële CO₂-prijs is geen ruimtelijk instrument, maar zal wel grote ruimtelijke gevolgen hebben en is cruciaal om de energietransitie in beweging te zetten: 'Zo kan de overheid de onzichtbare hand van de markt ertoe bewegen om groene handschoenen aan te trekken⁵.' In de instrumentenkoffer is een overzicht opgenomen van financieel-ruimtelijke instrumenten die meer stimulerend werken (zachte sturing) en financiële instrumenten die een meer dwingende uitwerking (harde sturing) hebben.

ZACHTE FINANCIËLE INSTRUMENTEN

Het faciliteren van de energietransitie kan met financiële instrumenten die investeringen in energiebesparende maatregelen vergemakkelijken, zoals subsidies en

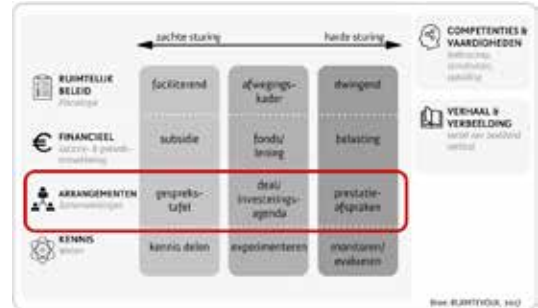
STUREN OP RESULTAAT

De financiële instrumenten om meer harde sturing te bereiken zijn onder andere grondexploitaties, aanbestedingen en belastingen. Zo wordt in aanbestedingen energieprestatiecoëfficiënten (EPC) of bouwprestatierichtlijnen (GPR) opgenomen om bij ontwikkelingen energie en duurzaamheid een belangrijk onderdeel te laten zijn van locatie- en gebiedsontwikkelingen. Om het draagvlak van omwonenden voor met name windenergieprojecten te bevorderen, streven gemeenten er soms naar dat hun inwoners via aandelen of obligaties kunnen participeren in energieprojecten of dat ze via een omgevingsfonds financieel worden gecompenseerd. Indien een gemeente grondeigenaar is, kan deze wens worden opgenomen in het formuleren van EMVI-criteria⁷ bij het aanbesteden van gebieds- en gebouwontwikkelingen. Ook zijn er overheden die een gebiedsfonds oprichten om omwonenden tegemoet te komen voor de overlast die windparken kunnen geven. Zo heeft de provincie Groningen dergelijk beleid, waarbij het gebiedsfonds gevoed wordt uit een door de provincie verplicht gestelde bijdrage van de ontwikkelaar van het windpark.

ARRANGEMENTEN VOOR DE ENERGIETRANSITIE

Het werken aan energietransitie vraagt om structurele wijzigingen in de samenwerking tussen partijen, verdeling van verantwoordelijkheden en middelen én werkwijzen. Nieuwe samenwerkingen zijn nodig om een gewenste versnelling op gang te brengen. Dwars door de overheidslagen, bedrijfsleven en de samenleving heen. In den lande wordt op dit moment al geëxperimenteerd met diverse nieuwe vormen van (interbestuurlijke) samenwerking, vaak in de vorm van deals. De Regiodeal is zo'n voorbeeld van een arrangement waarin een regio afspraken wil maken met de Rijksoverheid.⁸ In het kader hieronder staat een voorbeeld waarin verschillende partijen samenwerken aan de

totstandkoming van een windmolenpark langs de A16 waarin ontwikkelaars worden verplicht om de lokale samenleving financieel te laten participeren.



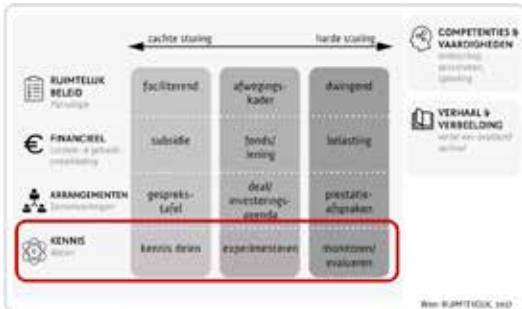
GREEN DEAL BRABANT A16

De Provincie Noord-Brabant en de gemeenten Drimmelen, Moerdijk en Zundert hebben een Green Deal gesloten met een aantal ontwikkelaars over het ontwikkelen van 30 tot 40 windmolens langs de A16. De gemeenten en de provincie hebben voorkeurslocaties kenbaar gemaakt en randvoorwaarden meegegeven voor de ontwikkeling van de windmolens. De provincie heeft de regie in dit project omdat het project voor de gemeenten te groot is en harmonisering van het proces wordt nastreeft. De provincie maakt een inpassingsplan (wat straks in het kader van de Omgevingswet een projectbesluit zal zijn). Voor dit 100 megawatt-project zijn participatieregelingen getroffen waarin is afgesproken dat 25 % van de exploitatierechten beschikbaar worden gesteld voor lokale maatschappelijke invulling. Een lokale energiestichting zal bepalen aan welke lokale duurzame doelstellingen of maatschappelijke opgaven het geld wordt besteedt. Uitgangspunt van de provincie en de gemeenten is dat ontwikkelaars die deze Green Deal niet ondertekenen, niet in aanmerking komen voor toewijzing van een ontwikkellocatie.

KENNIS: WETEN WAAR WE STAAN EN WETEN WAT WERKT

Kennis van de energietransitie bij alle belanghebbenden is cruciaal voor het slagen

ervan. Kennisdeling, ruimte voor experiment en monitoren van de stand van zaken zijn dan ook nodig om te weten wat werkt en te weten waar we staan met de energietransitie. Daarvoor zijn diverse kennisinstrumenten in te zetten.



LEEREXPERIMENTEN

Op tal van plekken in het land wordt nu geëxperimenteerd met het werken aan de inbedding van de energietransitie in de fysieke leefomgeving. Van lokale experimenten tot landelijke kennisprogramma's. Van een lokale ondernemer zoals Robin Berg (LomboXnet) die het energienet van een woonwijk in Utrecht laat draaien op de accu's van elektrische auto's tot de recente pilots regionale energiestrategieën waarin is geleerd hoe het maken van een regionale energiestrategie werkt en wat hierin de succesfactoren zijn.

KENNISPORTAAL EN -COMMUNITY

Elke keer het wiel opnieuw uitvinden is zonde, zeker bij een opgave die zo omvangrijk en

urgent is als de energietransitie. Het ontsluiten van kennis is essentieel. Dit kan bijvoorbeeld via een landelijk kennisportaal waarop kennis, instrumenten en handelingsperspectieven overzichtelijk worden gepresenteerd. Een voorbeeld van een dergelijk kennisportaal is dat van het Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie: www.ruimtelijkeadaptatie.nl. Ook kan (praktijk) kennis worden gedeeld in een community. Zowel kennis over de opgave als kennis over hoe aan de slag te kunnen gaan.

MONITORING EN EVALUATIE

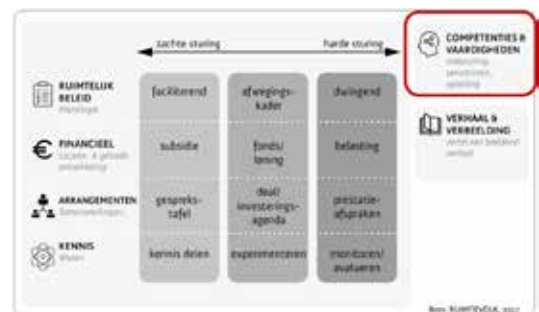
Om te weten welke ingrepen nog nodig zijn om een klimaatneutraal Nederland te bereiken, moeten we weten waar we nu staan. Landelijke monitoring kan hier aan bijdragen. In Nederland brengen ECN/PBL jaarlijks een nationale energieverkenning (NEV) uit, waarin de voortgang van de resultaten van het energiebeleid worden gemonitord. De NEV biedt echter geen inzicht in de regionaal specifieke bijdrage aan de transitie.

COMPETENTIES EN VAARDIGHEDEN

Zoals eerder benoemd, vraagt het werken aan de energietransitie om structurele wijzigingen in de samenwerking tussen partijen, verdeling van verantwoordelijkheden en middelen én werkwijzen. Een nieuwe manier van werken vraagt om andere competenties en vaardigheden om de energietransitie te doen slagen.

PRAKTIJKPROGRAMMA ENERGIE & RUIMTE

In het praktijkprogramma Energie & Ruimte van het IPO wordt toegewerkt naar een community of practice (CoP) waarin kennisuitwisseling centraal staat. Een lerend netwerk waar kennisuitwisseling plaatsvindt over de energieopgave, energieambitie en energiestrategie. Naast de uitwisseling van kennis staat het uitwisselen van competenties en vaardigheden centraal. Zo leert de community over hoe de energietransitie onderdeel wordt van brede ruimtelijke afwegingen en hoe collega's kunnen worden geënthousiasmeerd voor de energietransitie.



Leiderschap en visie zijn nodig vanuit alle partijen: bedrijfsleven, de overheden, en bovendien vanuit de buurt met haar bewoners en consumenten. Zij kunnen de energietransitie

op verschillende niveaus en verschillende plekken een duw geven, en samenwerking ontwikkelen.

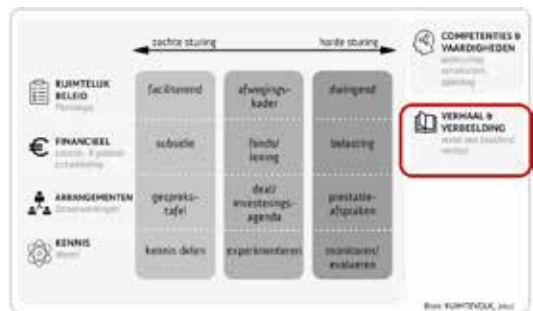
EXPERIMENTEREN IN BREDA: KWESTIE VAN DEREGULEREN EN EEN ANDERE HOUDING

De gemeente Breda heeft een deel van het plangebied van Breda Bloeit (onderdeel Bredase Spoorzone) aangewezen als experimenteergebied. Plannen die niet passen binnen het vigerende bestemmingsplan worden voornamelijk getoetst op veiligheid. Zolang veiligheid niet in het geding is, wordt in beginsel geen toezicht gehouden en/of gehandhaafd. Initiatiefnemers dragen zelf de verantwoordelijkheid om eventuele klachten te voorkomen en/of op te lossen. Tevens moeten initiatiefnemers zelf het beheer en organisatie van het terrein gezamenlijk regelen. Dit wordt in overeenkomsten vastgelegd (gemeente is eigenaar van de grond). Naast dereguleren gaat dit ook om houding en gedrag: de overheid durft los te laten bij het vraaggericht werken, initiatiefnemers nemen verantwoordelijkheid en creëren zelf draagvlak. Het is een traject waarin partijen en overheid experimenteren om te komen tot andere samenwerking.

VERHAAL EN VERBEELDING

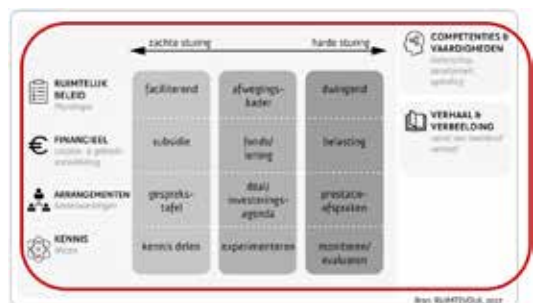
Om de urgentie en noodzaak van de energietransitie bij iedereen meer op de kaart te zetten, moet het verhaal van de energietransitie verteld worden. Verbeelding, ruimtelijk ontwerp en een communicatiestrategie op alle schaalniveaus helpen daarbij.

Ondanks dat de energietransitie grote ruimtelijke implicaties heeft, is de rol van ontwerpers nog niet altijd vanzelfsprekend. De energietransitie is niet louter een technische opgave, maar gaat juist ook over opvattingen over landschap en beleving en het zoeken naar slimme ruimtelijke oplossingen. Ruimtelijk ontwerpers kunnen helpen om de technische opgave te vertalen naar concrete ruimtelijke oplossingen en hierover een dialoog aanwakkeren.



STRATEGIEËN: SAMENSPEL VAN INSTRUMENTEN EN SCHAALNIVEAUS

De energietransitie in Nederland wordt bepaald door de optelsom en samenhang van keuzes die worden gemaakt door de Rijksoverheid, provincies, regio's, gemeenten, waterschappen, projectontwikkelaars, woningcorporaties, energieleveranciers, netbeheerders, energiecoöperaties, belangenorganisaties, de samenleving, nieuwe partners en vele anderen. Een veelheid aan partijen die allemaal door hun eigen bril en vanaf een eigen schaalniveau naar de energietransitie kijken. Kortom, hoe kom je tot een energiestrategie waarin overheden en anderen samenwerken en meerdere instrumenten worden gebruikt? Een strategie bestaat uit de toepassing van meerdere instrumenten. In deze paragraaf gebruiken we het voorbeeld van het Deltaprogramma om later aanbevelingen te geven voor een samenhangende ruimtelijke aanpak.



DELTAPROGRAMMA

In het Deltaprogramma committeren de Rijksoverheid, provincies, gemeenten en waterschappen zich gezamenlijk aan de doelstelling om in 2050 de waterveiligheid, de zoetwatervoorziening en de ruimtelijke inrichting van Nederland klimaatbestendig en waterrobuust te maken. Een grote, complexe opgave die qua complexiteit vergelijkbaar is met de CO₂ doelstellingen die gesteld zijn voor de klimaat- en energietransitie. Het Deltaprogramma is een programma-aanpak met verschillende schaalniveaus. Sectorale programma's, zes landsdelen (interprovinciaal), een landsdekkende structuur van regio's en een nationale organisatie waar al deze schaalniveaus samenkomen en partijen. Op elk schaalniveau zijn interbestuurlijke stuurgroepen ingericht die gezamenlijk bepalen hoe zij invulling willen geven aan de nationale doelstelling. Deze strategieën worden jaarlijks in een iteratief proces, op basis van voortschrijdend inzicht en nieuwe ontwikkelingen (zoals innovaties) in afstemming met elkaar bijgesteld. Op deze manier ontstaat een aanpak waarbinnen plannen die lokaal/regionaal worden opgesteld daadwerkelijk samen optellen tot de nationale doelstelling, waar regionaal invulling wordt gegeven aan de nationale doelstelling en waar samenhangende keuzes tussen de schaalniveaus worden gemaakt. Aan de basis van het Deltaprogramma staan het Deltafonds en de Deltawet. Bij het Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie spelen ook veel niet-overheden een belangrijke rol om te komen tot een waterbestendige en klimaatbestendige ruimtelijke inrichting. Van grootschalige initiatiefnemers zoals projectontwikkelaars tot lokale particuliere initiatieven van bewoners. Bij de energietransitie is de hoeveelheid niet-overheden die betrokken mogelijk nog omvangrijker en meer diffuus.

04 / INSTRUMENTEN/ GOVERNANCE

4.3 RELATIE NATIONAAL EN REGIONAAL

De hardste noot van de energietransitie is hoe het samenspel wordt georganiseerd: een governancevraagstuk. Het werken aan de energietransitie vraagt om structurele wijzigingen in de samenwerking tussen partijen, verdeling van verantwoordelijkheden en middelen én werkwijzen. Deze omschakeling moet op ieder schaalniveau gebeuren, van het individuele huis tot en met de wereldschaal. Maar wie doet wat? Wie leidt, coördineert, monitort of regelt alle afzonderlijke acties en wie brengt ze met elkaar in verband? Kortom, hoe kom je tot een energiestrategie waarin overheden en anderen samenwerken en de instrumenten in hun samenspel effectief worden gebruikt?

De sleutel tot succes van de inbedding van de energietransitie in de samenleving ligt bij het samenspel tussen instrumenten, schaalniveaus en partijen. Hierdoor ontstaan gemeenschappelijke doelen, kunnen oplossingen elkaar versterken, gaan de verschillende partijen van elkaar leren en komt een gewenste systeemverandering op gang.

AANBEVOLEN ELEMENTEN VOOR EEN TOEKOMSTIGE AANPAK

In deze paragraaf staan aanbevelingen voor mogelijke toekomstige aanpakken voor de energietransitie. Deze aanbevelingen zijn deels gebaseerd op de lessen uit de regionale energiestrategieën, het Deltaprogramma (deze strategieën zijn kort in het vorig hoofdstuk beschreven) en dit ontwerpend onderzoek.

Aanbevelingen richting een ruimtelijke aanpak van de klimaat- en energietransitie:

HORIZONTALE EN VERTICALE AFSTEMMING VAN DE OPGAVE EN DE STRATEGIE

Om grip te hebben op de optelsom en samenhang van alle lokale, regionale, nationale en programmatische (bijvoorbeeld voor de functionaliteiten) energiestrategieën is een gecoördineerde aanpak op nationale schaal aan te bevelen. Daarnaast vereisen grootschalige ingrepen in het energienetwerk (voor warmte en elektriciteit) een goede coördinatie en kan een centrale sturing nodig zijn. In een nationale aanpak kunnen de verschillende strategieën (regionaal, lokaal en thematisch) in een iteratief proces met elkaar worden geconfronteerd en afgestemd. Deze nationale aanpak is dan dus niet een Rijksaanpak maar een samenwerking tussen de overheidslagen en mét de andere stakeholders.

MONITORING VAN DE ENERGIETRANSITIE

Om inzichtelijk te krijgen waar we staan, is landelijke monitoring nodig. Dit gebeurt op dit moment in de NEV maar hierin is het niet regionaal specifiek. Het is van belang om voor de verschillende schaalniveaus deze monitoring te standaardiseren waardoor de stand van zaken per schaalniveau (thema en gebied) onderling vergelijkbaar zijn. Dit zou bijvoorbeeld kunnen door voor elk gebied, functionaliteit en sector inzichtelijk te maken hoe groot het aandeel van de energievraag (in PJ) is dat duurzaam is opgewekt, hoe groot het aandeel energiebesparing van de totale energievraag is (in PJ), inzichtelijk te maken hoeveel energie (in PJ) van elders is geïmporteerd en om hier ruimte te laten voor inzicht het bereiken van aanvullende doelen of benutten van meekoppelkansen (zoals circulaire economie, klimaatadaptatie, etc.). Belangrijk hiervoor is betrouwbare, bestendige en beschikbare data.

PILOTS REGIONALE ENERGIESTRATEGIEËN

Op 22 mei 2016 is de Deal Pilots Regionale Energie-strategie ondertekend. Deze deal heeft geresulteerd in het Programma Regionale Energiestrategieën. Met dit programma willen de dealpartijen (drie ministeries (Economische Zaken, Infrastructuur en Milieu en Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties) en drie koepelorganisaties (de Vereniging Nederlandse gemeenten, de Unie van Waterschappen en het Interprovinciaal Overleg)) ervaring opdoen met een aanpak waarmee nu in vijf pilotregio's en twee 'goed op weg'-regio's is gewerkt aan een regionale energiestrategie. Daarnaast wordt ook in andere regio's zelfstandig gewerkt aan regionale energiestrategieën. De regionale energiestrategieën die daaruit voort zijn komen kunnen (nog) niet opgevat worden als formele plannen, het zijn vooral mogelijke strategieën die bestaan uit de inzet van meerdere instrumenten uit de instrumentenkoffer voor de energietransitie. In ontwerpateliers is er met behulp van ontwerpend onderzoek inzicht verkregen in de energieopgaven en zijn mogelijke strategieën opgesteld. Voor de pilots was geld beschikbaar voor een procesmanager en deelnemers van de pilots deelden ervaringen in Communities of Practice en een Lerend netwerk. Voor het totaal aan lessen uit de regionale energiestrategieën zie de publicatie 'Slim Schakelen'¹⁰. De processen en kwantitatieve inzichten uit de regionale energiestrategieën helpen enorm om de energie transitie te agenderen, kennis en inzichten te verspreiden onder stakeholders in de regio, wenkende perspectieven te schetsen en mensen aan te zetten tot actie. Enkele van de lessen die uit de pilots regionale energiestrategie volgen worden hier kort toegelicht¹¹.

Aanbevelingen richting een ruimtelijke aanpak van de klimaat- en energietransitie:

DE SCHAAL VAN DE REGIO ALS DENK-, EXPERIMENTEER- EN SAMENWERKINGSRUIMTE

Het schaalniveau van de regio is een interessante aanliegroute voor de

energietransitie. Een regio is groot genoeg voor serieuze investeringen, terwijl bedrijven en bewoners het toch als een overzichtelijke herkenbare eenheid voelen. De lokale en regionale schaal is een aggregatieniveau waarop ruimtelijke aspecten zichtbaar zijn en ruimtelijk samenhang ontstaat met andere opgaven in een regio. Daarnaast is het zinvol om met verschillende partijen op regionale schaal de energieopgave en ruimtelijke mogelijkheden inzichtelijk te maken en te experimenteren hoe die kan worden ingevuld. Dat maakt de urgentie en het belang van de opgave inzichtelijk en partijen zijn zich meer bewust van afwegingen die gemaakt moeten worden in het gebruik van de ruimte. De regionale schaal bevordert, juist door het ontbreken van een formele status, de creativiteit en ruimte voor experimenteren en nieuwe samenwerkingsverbanden.

DOORWERKING IN FORMELE INSTRUMENTEN OP VERSCHILLENDE SCHAALNIVEAUS

De regionale energiestrategieën zijn nog geen formele plannen, maar kunnen de basis vormen voor gemeentelijke en provinciale omgevingsvisies waarmee formele doorwerking mogelijk is en duidelijkheid wordt geboden aan (markt)partijen die ermee aan de slag willen.

GEZAMENLIJKE DOELSTELLING, GEZAMENLIJK VERKENNEN EN STRATEGIE BEPALEN

Bij de energietransitie is een groot aantal verschillende partijen betrokken. Het krachtenveld is omvangrijk, soms diffuus en wisselend per schaalniveau. In de pilots regionale energiestrategieën zijn er tijdens de ontwerpateliers met verschillende stakeholders uit de regio gesproken over de opgave en mogelijke strategieën. Dat helpt om de urgentie van de opgave bij veel partijen te agenderen en een gezamenlijk idee te krijgen van de ontwikkelrichting voor een regio. Het is van belang dat op verschillende schaalniveaus betrokken partijen gezamenlijk doelstellingen formuleren en zich gezamenlijk committeren aan een aanpak. Dat kan worden geformaliseerd

door het sluiten van deals en akkoorden en samen te werken in programma's.

MEEKOPPELKANSEN BENUTTEN

De energieopgave staat niet op zichzelf en moet integraal bekeken worden. Door het koppelen van de energieopgave aan andere opgaven zoals de transities op het platteland, leegstand, gebiedsontwikkeling, wijkontwikkeling, de wateropgave of natuurontwikkeling ontstaan kansen zoals het efficiënt omgaan met de beschikbare ruimte, realiseren van hogere kwaliteit, op elkaar afstemmen van planningen, nieuwe verdienmodellen. De doelstelling van een aanpak voor de energietransitie zou meervoudig kunnen zijn, namelijk het realiseren van een CO₂-neutrale energievoorziening en het bijdragen aan een verbetering van de leefomgeving en benutten van meekoppelkansen.

KENNIS NOODZAKELIJK

Kennis en expertise met betrekking tot energie en ruimte zijn momenteel erg gefragmenteerd. Bij lagere overheden is vaak onvoldoende kennis aanwezig over de ruimtelijke kant van de transitie naar duurzame energie om tot de juiste afweging te komen. Kennis over de opgave ontbreekt, soms ontbreekt het urgentiebesef, maar ook de kennis met betrekking tot de verschillende technieken en mogelijke (ruimtelijke) strategieën is beperkt, met name als de ambities heel groot zijn. Het bundelen en beschikbaar maken van de kennis kan een rol van de gezamenlijke overheden zijn, door kennisvragen te formuleren, te experimenteren, kennis op te bouwen door gezamenlijk onderzoek te doen zijn belangrijke onderdelen daarvan.

COMMUNICATIESTRATEGIE NODIG

De energieopgave is zo abstract en ongrijpbaar dat het voor veel partijen moeilijk te beseffen is waarom het van belang is om met spoed werk te maken van de energietransitie. Om dit te doorbreken en energietransitie bij iedereen meer op de kaart te zetten is missiewerk

nodig. Communicatie is dan ook een belangrijk element van een energiestrategie, op elk schaalniveau. Een communicatiestrategie is nodig omdat veel partijen een rol hebben en lang niet iedereen zich daarvan bewust is. Het is dan ook van belang om verschillende doelgroepen te onderscheiden per schaalniveau. Zoals burgers (consumenten en prosumenten), woningeigenaren en huurders, ambtenaren (onder andere ruimtelijke ordenaars, economen, omgevingsjuristen), energieprofessionals, bestuurders, grondeigenaren, ontwikkelaars en andere ondernemers.

Een belangrijk deel van een communicatiestrategie moet gaan over het behapbaar maken van de energieopgave. Anders verliezen partijen zich in de grootte en de complexiteit ervan en wordt het proces vertraagd, terwijl versnelling van de aanpak nodig is.

SCHAAL IS VAN BELANG

Het verschil in afmeting tussen een regio als Fryslân en Drechtsteden is een goed voorbeeld van de bandbreedte waarin de energiestrategieën zijn vormgegeven. Uit de pilots Regionale Energiestrategieën lijkt er een optimale bandbreedte te zijn van het studiegebied waarbij de aanpak concrete resultaten kan opleveren. Grofweg tussen de 500-1500 km² levert een regio op die op zich groot genoeg is om in zijn eigen energievoorziening te voorzien (los van beleidskeuzes en ruimtelijke scenario's) en toch behapbaar genoeg is om in concrete uitwerkingen te bestuderen. Te groot is wat dat betreft te abstract om in een uitwerking genoeg diepgang te vinden. Grote regio's (zoals bv Fryslân) zouden wellicht in kleinere deelregio's verdeeld kunnen worden. Een te beperkt oppervlak is daarentegen ook minder bruikbaar aangezien het in de regel niet mogelijk zal zijn om de energievraag 'in de regio' op te lossen. Dit vereist een grote mate van samenwerking tussen regio's, of zij dienen voor het maken van een energiestrategie gezamenlijk te worden benaderd.

ENERGIEPRODUCENT VS ENERGIECONSUMENT

Niet elke stad of regio in Nederland kan voorzien in zijn eigen energiebehoefte. Er zijn plekken waar de ruimtelijke mogelijkheden te beperkt zijn of de energievraag simpelweg te groot is. Te denken valt aan dicht bebouwde binnensteden of grote industriële complexen. Dit betekent dat sommige regio's geschikt kunnen zijn als energieproducent en dat andere regio's netto verbruiker zijn en dus meer energie gebruiken dan dat zij potentieel kunnen opwekken.

DOELSTELLINGEN OMHOOG

Energieneutraliteit als doel is in regio's waar relatief veel capaciteit/potentie voor hernieuwbare energie ligt eigenlijk te mager. Als elke regio op zich energieneutraal als doelstelling heeft zal op de schaal van Nederland in totaal een tekort ontstaan. Het is dan ook noodzakelijk dat over de grenzen van de regio wordt gekeken in het geval van over- of onderproductie.

WIND OP ZEE = GEEN VRIJBRIEF

Een reëel gevaar dat in de regionale energiestrategieën naar voren komt is dat een restopgave wordt afgeschoven naar 'wind op zee'. Naast het feit dat dit waarschijnlijk een veel beperktere output oplevert dan verwacht, is het verschuiven van deze opwekking het uitstellen van een door regio's als ingewikkelde of moeilijk bespreekbare kwestie. Het 'over de schutting gooien' van opwekking is dan ook zeer sterk af te raden voor het bepalen van een bruikbare en realistische energiestrategie.

UITGANGSPUNTEN GELIJK

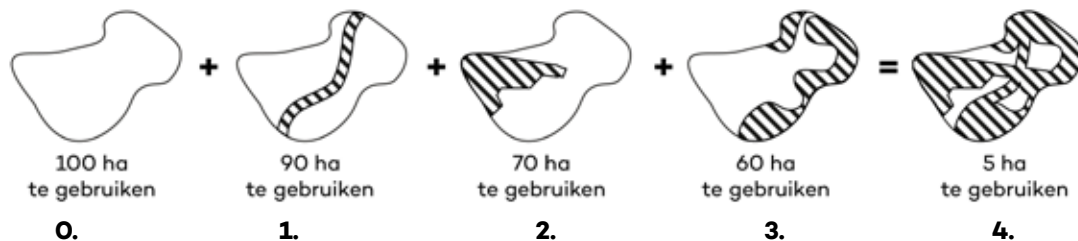
Naast het consistent gebruik van dezelfde technische kengetallen, is het belangrijk om gelijke uitgangspunten voor de rekenmethodiek te hanteren. Dat heeft met de beschikbare bronnen en datasets te maken.

TECHNOLOGISCHE INNOVATIE

Sommige regio's beargumenteerden dat 2050 voor veel betrokkenen als 'te ver in de toekomst' werd ervaren, vooral door de vele onzekerheden die in de technologische mogelijkheden schuilen. De huidige technologie zal in de toekomst verouderd zijn of in elk geval efficiënter gemaakt kunnen worden, maar in welke mate dat gebeurt kunnen we niet met zekerheid voorspellen. Het rekenen met huidige technologieën is hierin dan in elk geval aan de 'veilige' kant.

HARDE & ZACHTE RESTRICTIES

Het is van belang de 'harde' restricties (t.a.v. veiligheid, milieu etc.) te inventariseren die in de regio bestaan ten aanzien van plaatsing van opwekking voor hernieuwbare energie (wind, zon, biomassa, geothermie, etc.). Het is aan te bevelen zoveel mogelijk 'zachte' restricties in eerste instantie buiten beschouwing te laten omdat dat specifieke onderwerpen van discussie kunnen zijn. De keuze om een restrictie als 'hard' of 'zacht' te bestempelen is essentieel voor het ambitieniveau en het uiteindelijke resultaat.



Figuur 156. Beschikbare ruimte en mogelijke restricties (natuur, milieu, veiligheid, geografie, ecologie)

BESPARING

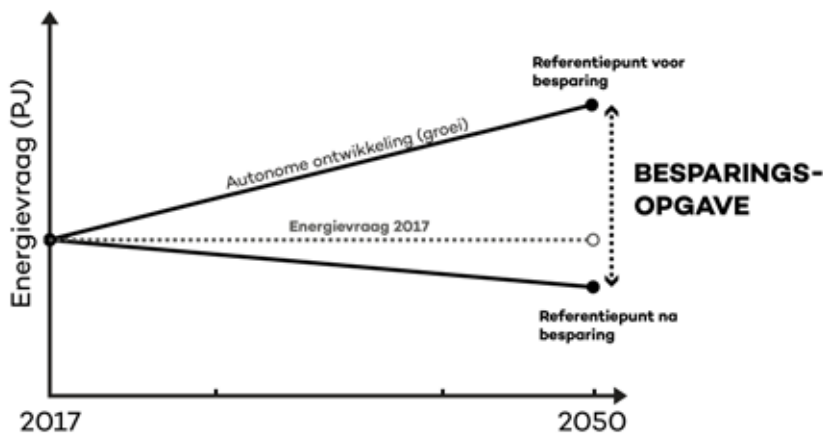
Verreweg het meest onderschatte probleem in het bepalen van de energiestrategie is het vaststellen van het geprojecteerde energieverbruik na besparing in bijvoorbeeld 2050. Meer nog dan ruimtelijke restricties voor opwekking zijn de variabelen veeltalig en de bandbreedtes groot. Het inzichtelijk beargumenteren van de meegenomen besparingsmaatregelen is essentieel. Verduurzaming van woningen wordt in veel gevallen als gegeven beschouwd. Terwijl het opwaarderen van bestaande woningen naar bijvoorbeeld energielabel A grote investeringen met zich meebrengt die ook nog eens afhankelijk zijn van het bouwjaar, de typologie en inpassing in stedelijke of landelijke context. De verduurzamingsopgave van woningen is enorm (van 7.000 energie neutrale woningen tot ca. 2-3 miljoen in 2030) en is ook nog eens voor een groot deel afhankelijk van particuliere huiseigenaren.

GROEI- EN KRIMP

Een regio kan te maken krijgen met groei of krimp van de bevolking, dit heeft invloed op het energiegebruik over 30 jaar en de mogelijkheden voor energiebesparing. Het is hiervoor essentieel dat er een autonome referentie wordt opgesteld met een geprojecteerde stijging (of daling) van het energieverbruik. Door de besparing uit te drukken ten opzichte van dit referentiescenario kan er echt iets worden gezegd over de mate van besparen en de inspanning die dit vergt.

VERGEZICHT VS KORTE TERMIJN

Tevens is het hanteren van zowel een energetische 'vergezicht', als concrete projecten die in een actieprogramma kunnen worden omgezet aan te raden. Hierdoor wordt de energietransitie tastbaar voor partners in de regio en kunnen er mensen praktisch mee aan de slag. Tegelijkertijd waarborgt het vergezicht dat deze kortetermijnmaatregelen of projecten de doelen op lange termijn niet in de weg staan.



Figuur 157.

Ontwikkeling energievraag naar 2050 i.r.t. autonome groei en besparingsopgave

KORTE TERMIJN ACTIEPROGRAMMA

Om de uitkomsten 'tastbaar' te maken en ook op de kortere termijn concrete doelstellingen te formuleren is aan te raden om de strategie gefaseerd op te bouwen. Welke projecten kunnen worden geformuleerd die op een korte termijn uitgevoerd kunnen worden? Een gefaseerde projectenagenda helpt om de uiteindelijke strategie concreet vorm te geven en vervolgstappen te kunnen zetten en actief stakeholders te betrekken.

HANDBOEK ENERGIESTRATEGIE

De conclusies, aanbevelingen en noties die voortgekomen zijn uit de kwantitatieve en kwalitatieve vergelijking van de zeven pilotregio's maken duidelijk dat er behoefte is aan zuivere spelregels voor het maken van een energiestrategie. Processen, aanpakken en bestuurlijke constellaties zullen veel verschillende vormen aannemen in de uitwerking van de energie-ambities per regio. Het is daarom belangrijk dat er een generieke kwantitatieve en kwalitatieve basis komt op basis waarvan regio's hun energiestrategieën kunnen ontwikkelen.

Het gaat dan om vaste uitgangspunten, parameters, bronnen en datasets maar ook om heldere en navolgbare rekenmethodes die met een gewijzigde input redelijk eenvoudig een nieuw resultaat moeten kunnen opleveren. Samen met de conclusies en aanbevelingen vanuit de reflectie op het proces verdient het aanbeveling dit om te zetten in een gedegen 'handboek' of instructiebrochure voor regio's die met de energietransitie aan de slag gaan. Dit handboek voorkomt dat regio's 'vanaf nul' moeten beginnen en mits de spelregels worden gevolgd een vergelijkbare, inhoudelijk steekhoudende energiestrategie voor elke regio en daarmee voor Nederland als geheel.

Dit handboek zou in twee delen kunnen worden opgezet. Een eerste set richtlijnen, parameters en uitgangspunten met betrekking tot de inhoud en de te hanteren rekenmethode en een

tweede gedeelte over proces, de aanpak van ateliersessies en het inzetten van ontwerp- en onderzoek en procesbegeleiding.

05 / ADAPTIVITEIT

NOODZAAK VOOR ADAPTIVITEIT EN ADAPTIEF PROGRAMMEREN

De energietransitie is een enorme opgave, die gepaard gaat met grote onzekerheden. Dat in 2050 de CO₂-uitstoot sterk verminderd moet zijn om de temperatuurstijging op aarde te beperken is zeker en ook dat de reductie van de uitstoot moet worden opgebracht door het verduurzamen van het hele energiesysteem en alle energiefunctaliteiten.

Hoe groot de vraag naar energie in 2050 precies zal zijn, is echter onzeker. De demografische en economische ontwikkeling staan niet vast. De impact van isolatie en gedrag op de vraag is onbekend.

Evenmin weten we hoeveel nieuwe technologieën bij gaan dragen aan de verduurzaming. Denk aan de impact van innovatie en besparingsmogelijkheden, de conversieverliezen van duurzame technologieën, de acceptatie van verschillende technologieën (nuclear, CCS, windturbines), en de veranderingen in mix van elektriciteit, warmte en brandstof/grondstof voor verschillende functionaliteiten.

Door deze onzekerheden bestaat er een risico op over- of onderinvestering. Als de energievraag hoger uitvalt dan nu verwacht, bestaat het risico dat er onvoldoende klimaatneutrale energie opgewekt wordt. Ondanks alle inspanningen is vorig jaar de uitstoot door de economische ontwikkeling immers toch gegroeid.

Tegelijkertijd bestaat er het risico dat er teveel wordt geïnvesteerd in de verkeerde technieken of te veel infrastructuur wordt aangelegd. Grote investeringen in de elektriciteitsinfrastructuur kunnen deels voorkomen worden als technieken om elektriciteit op te slaan bijvoorbeeld succesvol zijn. Er zijn dan minder moeilijke keuzes nodig bij het verdelen van schaarse ruimte en middelen.

Zonder rekening te houden met deze onzekerheden en zonder tussentijdse bijsturing is de kans klein dat het doel precies in 2050 bereikt wordt en de kans groot dat de investeringen te hoog zijn of meer ruimte wordt gebruikt dan nodig is.

INSPLEN OP (KERN)ONZEKERHEDEN

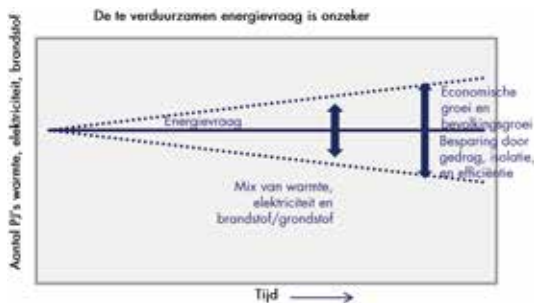
Het is dus verstandig om in te spelen op deze onzekerheden. Een handige verdeling die kan worden gebruikt om onzekerheden te onderscheiden, is:

- Toekomstonzekerheden (vraag, aanbod: afwachten en met hele bandbreedte rekening houden),
- Kennisonzekerheden (techniek, gedrag: onderzoeken/pilots),
- Bestuurlijke onzekerheden (NL, EU, rest wereld: afspraken maken, in gesprek gaan),
- Resource onzekerheden (€, ruimte, fte: reserveren, zekerstellen, aantrekken, onderwijs).

Het risico van de drie laatste typen onzekerheden kun je beïnvloeden, door onderzoek te doen, een verzekering af te sluiten of bijvoorbeeld ruimte te reserveren. Bij alle type onzekerheden kun je afwachten wat er gebeurt en rekening houden met de hele mogelijke bandbreedte en uitkomsten, en starten met no regret maatregelen. No regret maatregelen zijn maatregelen die altijd, dus binnen de hele bandbreedte aantrekkelijk zijn. Risico's worden dan beperkt door bijvoorbeeld uitstel-, en faseringsopties in te bouwen voor maatregelen die niet no regret zijn.

Rekening houden met de gehele mogelijke bandbreedte van bijvoorbeeld vraag en aanbod, wordt als volgt gedaan:

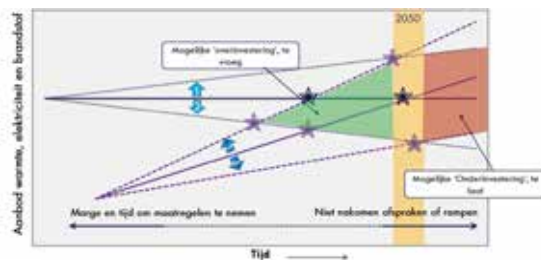
- Breng het verloop van de verwachte energievraag in kaart, en maak daarbij onderscheid in elektriciteit, warmte en brandstoffen/grondstoffen (zie Figuur 158). Houd rekening met de samenhang tussen de energiefunctionaliteiten
- Laat de minimale en maximale potentie van het aanbod zien en check of uitrolsnelheid in paden realistisch is (zie Figuur 159).
- Combineer beide grafieken en vergelijk de snijpunten (knikpunten) met de opgave (zie Figuur 160).



Figuur 158. Voorbeeld ontwikkeling bandbreedte energievraag



Figuur 159. Voorbeeld ontwikkeling bandbreedte CO₂-neutraal energieaanbod



Figuur 160. Voorbeeld mismatch opgave en invulling als niet met onzekerheid wordt gerekend

Het punt waarop het duurzame aanbod en de opgave elkaar snijden (of niet) varieert in de tijd en in aantal PJ's en kan voor of na 2050 liggen.

Wanneer uitrol voorspoediger verloopt dan verwacht en de energievraag valt mee (pijl 3 en 2 in Figuur 158), dan wordt een 100% klimaatneutraal en grotendeels hernieuwbaar energiesysteem voor 2050 bereikt. Eventueel kan de beleidsinzet worden verlaagd, als het

doel ook bij enkele tegenvallers nog steeds haalbaar is. Hiermee wordt overinvestering voorkomen. Wanneer uitrol tegenvalt of de te verduurzamen energievraag groter is dan verwacht (pijl 4 en 1 in Figuur 158), zou het doel veel te laat bereikt kunnen worden. De beleidsinzet moet worden vergroot en de uitrolsnelheid worden verhoogd om onderinvestering te voorkomen.

BOUWSTENEN ADAPTIEVE AANPAK

In het algemeen bestaat een adaptieve aanpak uit verschillende kwalitatieve en kwantitatieve analyses van een aantal bouwstenen (zie Figuur 159). Een deel van deze analyses is onderdeel van een reguliere kosten-batenanalyse, maar een ander deel is een uitbreiding daarvan. Naast deze bouwstenen voor een adaptieve aanpak is er ook adaptieve ruimte in proces en governance nodig. Dit wordt hier niet verder toegelicht.

Robuust en flexibel

De bouwstenen voor een adaptieve aanpak zijn gericht op de kansen die onzekere ontwikkelingen bieden en de mogelijkheden om de risico's van onzekerheden te beperken, bijvoorbeeld door fasering van een keuze. Met een adaptieve aanpak zoeken we specifiek

naar oplossingen die zowel robuust als flexibel zijn. Een robuuste strategie is zinvol bij zo veel mogelijk scenario's. Een flexibele oplossing maakt het gemakkelijk om later over te stappen naar andere strategieën als de werkelijke ontwikkelingen daarom vragen, en vereenvoudigt aanpassing van het uitvoeringtempo.

Flexibel draaiboek

Een adaptieve aanpak leidt tot een samengestelde strategie of set alternatieven met tussentijdse bijstellmogelijkheden. Dit is een soort draaiboek waarin misschien de eerste stappen vaststaan, maar in het vervolg flexibel wordt omgegaan met de onzekerheden.



Figuur 161. Bouwstenen voor een adaptieve aanpak

KARAKTERISTIEKE AANPAK BIJ VORMGEVEN ONTWIKKELPAD EN VOORKEURSSTRATEGIE

Vormgeving van een ontwikkelpad, de laatste inhoudelijke bouwsteen, wordt gedaan door vier verschillende 'brillen' op te zetten:

- Werken met beslisvolgordes en ontwikkelpaden in plaats van eindbeelden. Waarom? Omdat het niet altijd kostenefficiënt en nodig is om al op korte termijn maatregelen uit te voeren ten behoeve van een op lange termijn gewenste situatie. Bijvoorbeeld een gefaseerde aanpak van wind op zee om aan de energieopgave te voldoen. Afwachten heeft het voordeel van beter zicht op werkelijke behoefte, maar door af te wachten loopt men het risico te laat in beweging te komen;
- Verbinden van kortetermijnbeslissingen met langetermijnopgaven. Waarom? Omdat met relatief beperkte inspanning, in het op elkaar afstemmen van initiatieven, op korte termijn besparingen gerealiseerd kunnen worden of onnodige kostentoenamen in de verdere toekomst voorkomen kunnen worden. Bijvoorbeeld: het gasnet pas verwijderen als het niet een tweede leven krijgt met hernieuwbaar gas en alert zijn op investeringen in oplossingen die tijdelijk zijn;
- Zoeken naar en waarden van flexibiliteit in strategieën en maatregelen. Waarom? De mogelijkheid om te kunnen versnellen of vertragen of anders uit te voeren, biedt meer kansen om de realisatie van een strategie of maatregel af te stemmen op de daadwerkelijk optredende ontwikkelingen en kan over- of onderinvestering voorkomen. Bijvoorbeeld: grondreserveringen voor toekomstige zonneparken of warmtepijpen om latere uitrol mogelijk te houden en investeren in technieken die voor meerdere toepassingen interessant zijn;
- Het zoeken naar kansen om verschillende investeringsagenda's te verbinden. Waarom? Door agenda's te verbinden, kunnen synergievoordelen worden gerealiseerd in termen van maatschappelijke meerwaarde en kostenbesparing. Bijvoorbeeld: minder

kosten en overlast en meer synergie door de aanleg van weginfrastructuur te combineren met energie: warmtepijp en geluidschermen met zon-PV en productie van groen gas uit afvalwaterzuivering.

ADAPTIEVE AANPAK TRANSITIEPADEN

Een dergelijke aanpak geeft meer gezichtspunten en helpt om in de transitiepaden van de functionaliteiten alvast richting te geven aan besluiten die nu al genomen kunnen worden en besluiten die beter uitgesteld kunnen worden totdat meer onderzoek is gedaan of meer inzicht ontstaat over de optimale ontwikkelrichting. Het benodigde tempo wordt bovendien gedicteerd door de minimale en maximale afname van het realiseren van de opgave over tijd.

Adaptieve aanpak kracht en licht (incl. elektriciteitsproductie)

Voor de energiefunctiefunctionaliteit kracht en licht betekent een adaptieve aanpak dat er met een zeer ruime bandbreedte voor de verwachte vraag moet worden gerekend. Niet alleen is sprake van onzekerheid van de doorontwikkeling van het huidige gebruik van elektriciteit. Ook de wijze van elektriciteitsopwekking verandert (niet meer uit kolen, gas). Er komt een grote vraag bij vanuit elektrificering van andere functionaliteiten en behoefte aan klimaatneutrale brandstoffen die met elektriciteit worden geproduceerd (synthetisch gas, waterstof). Er zijn veel verschillende maatregelen die gebruikt kunnen worden om elektriciteit op te wekken. De vraag is of het totale potentieel voldoende is voor de maximumopgave.

energiedragers bekend zijn. Bovendien spelen nog veel governance vragen een rol.

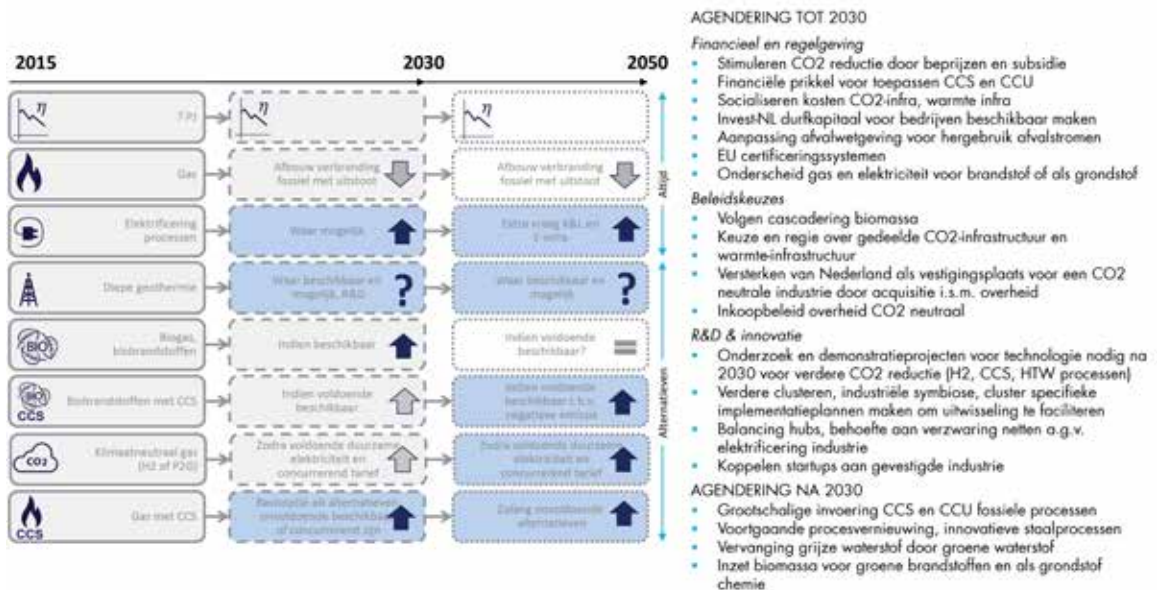
In de tussentijd is het niet verstandig te wachten totdat alle vragen beantwoord zijn en de onzekerheid verdwenen. Die zal nog vele jaren voortduren en ook dan zijn er onzekerheden zoals de vestigingskeuzes en de energievraag van bedrijven. Het lijkt verstandig om investeringen en keuzes uit te stellen voor industrieën die geen onderdeel zijn van een cluster met toegang tot diepe geothermie en/of veel elektriciteitsaanbod, totdat meer duidelijk is over nationale keuzes.

Een adaptieve ontwikkelstrategie wil op de

- Bestaande industrie.
- Voor zover mogelijk meekoppelen met andere ontwikkelingen en private initiatieven faciliteren tenzij ze conflicteren met andere plannen (lock-in/out).
- Verduurzamingsopgave per jaar afstemmen op min-max vraag in 2050.

Ter voorbereiding van keuzes op de middellange termijn liggen volgende stappen voor de hand;

- Onderzoek naar behoefte langere termijn;
- Reserveren ruimte in kansrijke gebieden;
- Mogelijkheden voor clustering en cascadering onderzoeken;
- Nieuwe technologieën onderzoeken:



Figuur 163. Transitiepad hoge temperatuur warmte, gebaseerd op 10-pager HTW, voor gebruik grondstof zie bijlage

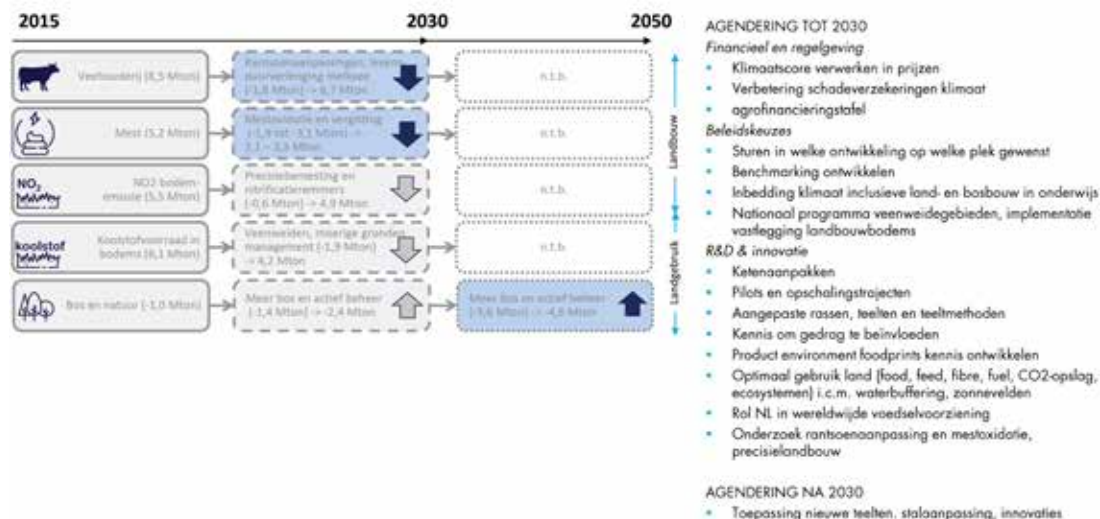
korte termijn kansen verzilveren en langere termijn keuzes voorbereiden. Dat wil zeggen:

- Aanwijzen en uitrollen no-regret gebieden voor industrieclusters; gebieden met kenmerken:
 - Aanbod elektriciteit, en/of aanbod geothermie;
 - Vraag naar/mogelijkheid voor opslag CO₂;
 - Vraag naar restwarmte in de omgeving;

- Geothermie beschikbaarheid
- Elektrificering processen
- Nieuwe lage temperatuurprocessen

Elke paar jaar dient de opgave herijkt te worden en tot bijstelling en aanvullende maatregelen te worden besloten.

Adaptieve aanpak voedsel en natuur



Figuur 164. Transitiepad voedsel en natuur, gebaseerd op 10-pager

Voor de functionaliteit voedsel en natuur is het reductiepotentieel relatief beperkt. De opgave is zoveel mogelijk uitstoot te verminderen. Voedselproducenten en terreinbeheerders zorgen voor een zo laag mogelijke uitstoot van niet-energetische broeikasgassen uit veehouderij en landbouwbodems, en voor vastlegging van koolstof en levering van biomassa. In 2030 kan zo een reductie van in totaal 8,8 Mton CO₂-uitstoot worden gerealiseerd. In 2050 leveren vastlegging van CO₂ en het voorkomen van uitstoot uit veenweiden en moerige gronden potentieel een aanvullende vermindering op van 4,2 Mton CO₂-uitstoot.

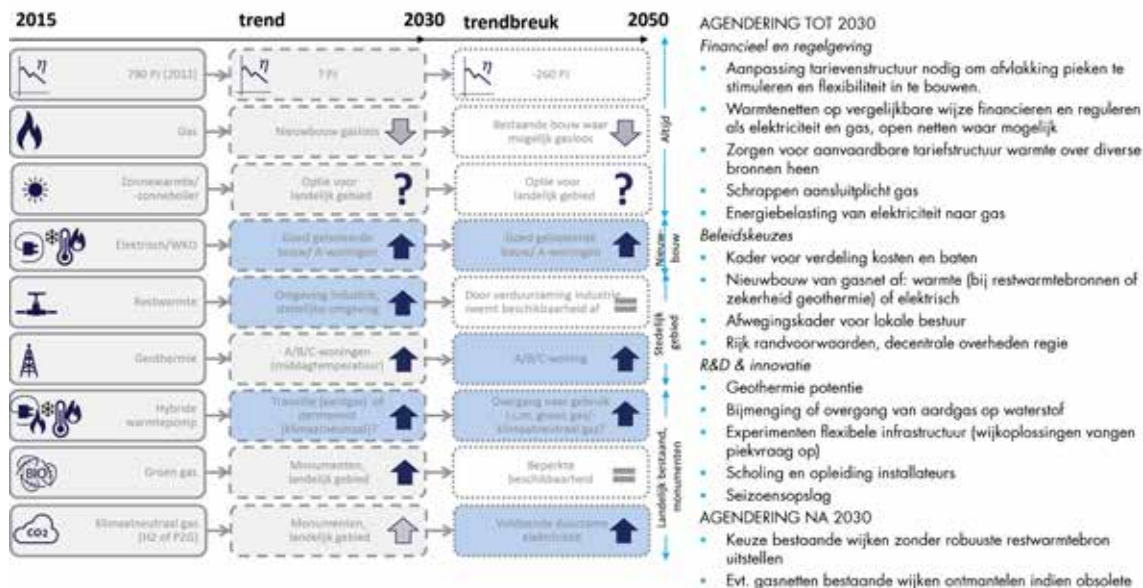
Adaptieve aanpak lage temperatuurwarmte

Ook voor lage temperatuurwarmte zijn er nog veel onzekerheden, zodat een nationale systeemkeuze nu niet mogelijk is. In deelgebieden lijken wel no-regret keuzes te bestaan. Nieuwbouwwijken hoeven niet meer op het aardgasnet te worden aangesloten, omdat er bij goed geïsoleerde woningen kosteneffectieve elektrische oplossingen

mogelijk zijn. Een collectief warmtenet lijkt interessant voor gebieden waar zowel geothermie, restwarmte als duurzame brandstoffen beschikbaar komen voor warmte in de wijk. Als de uitvoering afgestemd kan worden op verschillende warmtebronnen dan is sprake van een no-regret keuze. Afkoppeling van het gasnet dient pas te gebeuren wanneer zeker is dat leidingen niet hergebruikt kunnen worden voor klimaatneutrale gasen (waterstof, synthetisch of biogas).

Meekoppelkansen liggen op het gebied van stadsontwikkeling en renovatie van het gasnet. Belangrijke lock-out die moet worden voorkomen is het afsluiten van het gasnet in bestaande wijken voordat duidelijk is of het gasnet hergebruikt zal worden.

Een adaptieve ontwikkelstrategie leidt ertoe dat



Figuur 165. Transitiepad LTW, gebaseerd op 10-pager

eerst kansen verzilverd worden en de langere termijn keuzes voorbereid. Dat wil zeggen:

- Aanwijzen en uitrollen no-regret gebieden voor all electric (nieuwbouw)
- Aanwijzen en uitrollen no-regret gebieden voor collectieve warmte (no-regret wanneer meer dan één bron voor collectieve warmte mogelijk is: stedelijke restwarmte, geothermie, of duurzame gassen voor wijkvoorziening)
- Isoleren
- Voor zover mogelijk meekoppelen met stadsontwikkelingen, vervanging riolering
- Private initiatieven faciliteren tenzij ze conflicteren met andere oplossingen (lock-in/out individuele warmtepompen)
- Verduurzamingsopgave per jaar afstemmen op min-max vraag in 2050

Ter voorbereiding van keuzes op de middellange termijn liggen de volgende acties voor de hand:

- Onderzoek naar totale behoefte langere termijn
- Reserveren ruimte warmtepijp en warmtedistributienet waar deze nodig kunnen zijn;
- Mogelijkheden voor wijk-aanpak vs.

individuele aanpak onderzoeken. Wat is verstandiger?

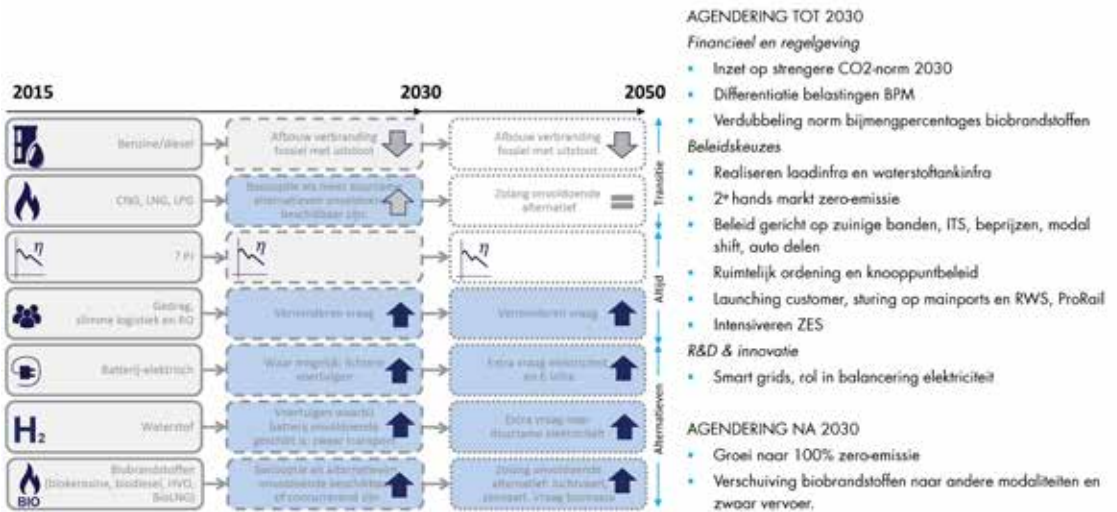
- Nieuwe technologieën onderzoeken:
 - Geothermiepotentie
 - Waterstof in gasnet/hybride pompen op waterstof

Elke paar jaar dient de opgave herijkt te worden en tot bijstelling en aanvullende maatregelen te worden besloten. Eenmaal gereserveerde ruimte kan weer vrijgegeven worden en aardgasnet kan ontmanteld worden als optie niet meer nodig blijkt.

Adaptieve aanpak transport en mobiliteit

Onzeker in het transitiepad mobiliteit is o.a. de verhouding tussen batterij-elektrische voertuigen en waterstofvoertuigen en in hoeverre het zware transport elektrisch wordt of op biobrandstoffen blijft rijden. Vandaar dat de basisinfrastructuur voor alle opties aangelegd dient te worden en de normen en regelgeving steeds zwaarder en gedetailleerder worden. Efficiëntieverbetering, en gedragsmaatregelen gelden nu al als zogenaamde no-regret maatregelen.

Een adaptieve ontwikkelstrategie voor mobiliteit



Figuur 166. Transitiepad transport en mobiliteit, gebaseerd op 10-pager

start met:

- Efficiëntieverbetering van voer- en vaartuigen stimuleren;
- Gedragaanpassingen die leiden tot modal shift en minder vervoersbehoefte bevorderen (resultaat ontstaat pas op langere termijn);
- Aanleg tank- en laad infrastructuur zero-emissie voertuigen daar waar voldoende vraag is;
- Verduurzamingsopgave per jaar afstemmen op min-max opgave in 2050;
- Bij achterblijven hierbij het beleid intensiveren.

Ter voorbereiding van keuzes op de middellange termijn valt te denken aan:

- Herijken invulling duurzame mobiliteit middellange termijn (hoeveel elektrisch, hoeveel waterstof, hoeveel biobrandstoffen etc.).
- Nieuwe technologieën onderzoeken en pilot productie opzetten:
 - Bio-LNG, biokerosine
 - Productie groene waterstof
- Voorbereiding opschalen 2e en 3e generatie biobrandstoffen, klimaatneutrale waterstof
- Diverse onderzoeken uitvoeren:
 - Impact snellere uitrol tank en laadinfra

- Impact milieuzones, strengere normen, balans wortel en stok
- Ruimtelijk ordening mogelijkheden en effecten
- Koppelkans balancering net en elektrische auto's

Elke paar jaar dient de opgave herijkt te worden en tot bijstelling en aanvullende maatregelen te worden besloten.

ADAPTIEVE VERTALING INTEGRALE DENKRICHTINGEN

In de integrale denkrichtingen in hoofdstuk 4 worden vier ontwikkelingen geschetst die beschrijven wat er gebeurt als een van de vier sturingsfilosofieën werkelijkheid wordt.

Ontwikkelpaden in plaats van eindbeelden

Elk van de integrale denkrichtingen beschrijft zo een ontwikkelpad, dat mogelijk opgevolgd moet worden door of gecombineerd met een ander perspectief om de totale opgave te realiseren. Door een dergelijke analyse kan vooraf al duidelijk worden dat men niet op één perspectief kan rekenen, maar waarschijnlijk al een combinatie van perspectieven moet gebruiken om de energieopgave te realiseren.

Wat het meest aantrekkelijk is, vraagt nadere analyse. Tegelijkertijd meerdere perspectieven uitrollen of eerst een perspectief volgen en als dat onvoldoende soelaas biedt, later een nieuw perspectief toevoegen.

Korte termijn verbinden met lange termijn

Door de korte en lange termijn te verbinden laat een adaptieve analyse zien dat de optie open gehouden moet worden om later tegen niet al te hoge kosten over te stappen. Bijvoorbeeld een beperkte licence to operate voor technieken die mogelijk geen lange toekomst gegeven is. Als je moet overstappen wil je immers geen hoge afkoopsommen kwijt zijn. Ook blijkt uit een vergelijking van de vier integrale denkrichtingen dat in alle vier een rol voor wind op zee is. Dit is daarom een no-regret keuze tot een bepaalde capaciteit, niet tot de maximumcapaciteit.

Zoeken naar en waarderen van flexibiliteit

De mogelijkheid openhouden om tussen perspectieven te switchen, betekent dat er ruimtelijke reserveringen gemaakt moeten worden voor toepassingen die misschien nodig zijn of opschaling vragen en dat de tijd tot 2050 verstandig gebruikt moet worden. Een geleidelijke uitrol is doorgaans kosteneffectiever dan wachten tot het laatste moment waarop er weinig keuzes over zijn. Voor technieken die nog veel ontwikkeling vragen, kan het juist wel verstandig zijn grote uitrol nog even uit te stellen om te kunnen profiteren van kennisontwikkeling en kostenreducties. De flexibiliteit is sowieso hoger en de risico's lager als er meerdere oplossingen per deelopgave gecreëerd worden.

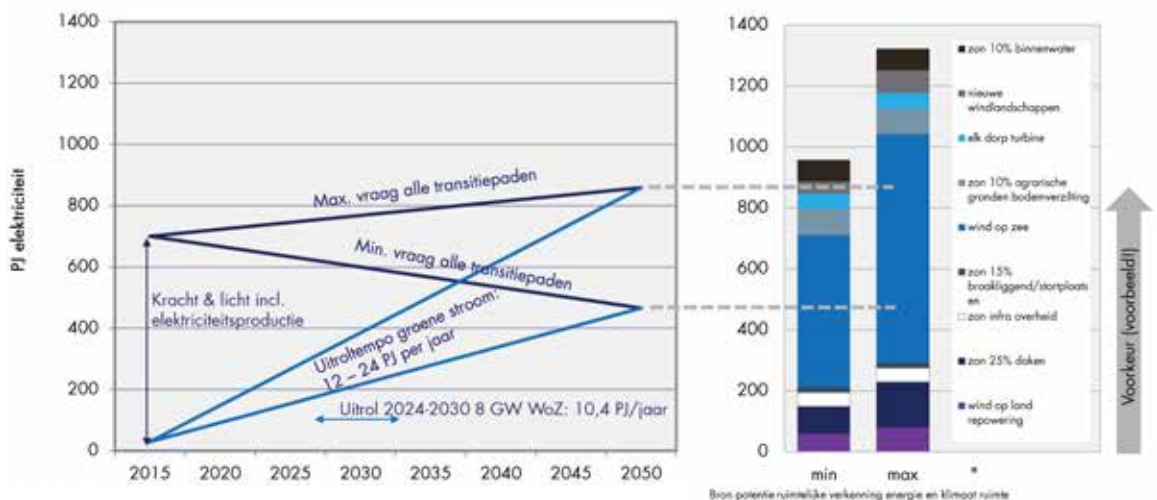
Zoeken naar koppelkansen en verbinding tussen agenda's

Het zoeken naar meekoppelkansen is iets dat vooral in het perspectief invoegen in het landschap wordt benoemd. Verbinding met andere agenda's en functies is voor alle toekomst noodzakelijk om de energieopgave ruimtelijk mogelijk te kunnen maken. Ook de invalshoek bottom-up/regionaliseren beschrijft een vorm van meekoppelen nl. met lokale en regionale initiatieven. Beide invullingen besparen kosten en leveren meer draagvlak op, tenzij ze andere ontwikkelingen in de wielen rijden.

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De algemene conclusies die uit de integrale denkrichtingen kunnen worden getrokken naar aanleiding van een adaptieve aanpak, zijn bijvoorbeeld:

- Een combinatie van perspectieven zal nodig zijn om de hele opgave te realiseren.
- In landschappen waar relatief weinig concurrerende functies en bottom-up initiatieven zijn, is een grootschalige superponerende aanpak kansrijk (bijv. enkele gebieden op de Noordzee).
- Initiatieven die bottom-up ontstaan en geen beperkingen opleveren voor andere oplossingen moeten worden gefaciliteerd (bijv. zonnepanelen langs infra en op daken): no-regret.
- Daar waar perspectieven conflicten opleveren, moeten besluiten bij voorkeur nog even uitgesteld worden, maar wel ruimte gereserveerd worden om alle opties open te houden en zal nader moeten onderzoek uitwijzen wat verstandig is. Pilots en demonstratieprojecten in regio's waar spijkosten het laagst zijn, zouden kennis op moeten leveren om vervolgkeuzes te maken.
- Deze no-regret-stappen moeten voldoende productiecapaciteit opleveren om de komende jaren minstens het minimale uitroltempo te realiseren. Zo niet, dan is het verstandig al wat 'minimale' spijtoplossingen uit te voeren.



Figuur 167. Voorbeeld van verdere uitwerking adaptieve analyse elektriciteit

Deze adaptieve aanpak dient verder uitgewerkt te worden. Hierbij is het belangrijk dat de verbindingen tussen de transitiepaden per energiedrager gelegd worden (elektriciteit, warmte, biobrandstof, fossiel, waterstof), zodat de maximale bandbreedte van vraag en aanbod zoals nu ingeschat en de regionale verdeling van vraag en aanbodpotentieel bekend is. Ook dient de minimale en maximale ruimtelijke impact en impact op de economie en andere indicatoren te worden bepaald, en de maximaal gewenste impact om een voorkeursstrategie te kunnen kiezen. Deze voorkeursstrategie zal vermoedelijk per specifiek gebied en wijk verschillen. Een gedetailleerde uitwerking van voorkeurstrategieën in de energietransitie zal veel tijd vragen. Een illustratie van een verdere uitwerking voor elektriciteit is te zien in Figuur 167. Deze figuur laat zien dat op basis van de huidige inzichten en rapportages er in principe voldoende potentieel is, maar dat het uitroltempo hoger zou moeten zijn, zeker omdat er ook tijd nodig is tussen besluit en de eerste productie. Ook blijkt dat er meerdere technieken nodig zijn om de opgave te realiseren. De volgorde die gekozen is, is nu illustratief, maar dient onderbouwd te worden met kosten en baten.

06 / BIJLAGEN

6.1 RUIMTELIJKE BIJSLUITER PBL/ECN

Ros, J. en B. Daniëls (2017), Verkenning van klimaatdoelen

Jasper Hugtenburg en Taco Kuijers

Reflectie op 'Realisatie van klimaatdoelen: van lange termijn beelden naar korte termijn actie'

INLEIDING

Om in Nederland in 2050 te voldoen aan de ambities van het klimaatakkoord in Parijs is een emissiereductie van 80% ontoereikend. De te bereiken emissiereductie zal in de orde van 95% moeten liggen.¹ Bij het schrijven van deze notitie zijn wij dan ook uitgegaan van de getallen behorende bij 95% emissiereductie.

In de door PBL/ECN ontwikkelde beelden voor 2050 zijn verschillende optiepakketten inzichtelijk gemaakt op basis van beschikbaarheid, eigenschappen en kosten. Hiervoor zijn in eerste instantie per maatregel bandbreedtes geschetst, maar het is niet zo dat deze bandbreedtes in alle opties bereikt worden. Ruimtelijke parameters worden slechts globaal meegenomen en er zijn geen optiepakketten ontwikkeld op basis van ruimtelijke optimalisaties. Het risico bestaat daarmee dat de optiepakketten in deze studie nu de enige realistische optiepakketten lijken te zijn en dat deze optiepakketten ook vanuit ruimtelijke aspecten de meest voor de hand liggende mogelijkheden vertegenwoordigen².

Dit hoeft niet het geval te zijn. Vanuit een ruimtelijke invalshoek kunnen ook overwegingen komen die tot andere invulling van de optiepakketten leiden. Zo wordt bijvoorbeeld op basis van kosteneffectiviteit de potentie voor geothermie laag ingeschat terwijl er technisch een veel groter potentieel aanwezig is en het vanuit de ruimtelijke inpassing geredeneerd goed voorstelbaar is dat dit potentieel beter wordt benut. Daarnaast wordt bij de maximale invulling van wind op zee voorbij gegaan aan de hier aanwezige ruimtelijke belemmeringen en claims en worden koppelingen met andere ruimtelijke opgaven niet meegenomen, waardoor eventueel baten en kostendragers vanuit andere functies zoals waterbeheer en natuur niet worden meegewogen. Dit laatste speelt met name bij maatregelen op het gebied van koolstofvastlegging door verandering van landgebruik.

Tot slot worden emissies uit landgebruik, landgebruiksverandering en bosbouw (LULUCF) niet in de modelberekeningen meegenomen. Ten opzichte van de huidige emissies uit andere sectoren zijn deze emissies weliswaar relatief laag, maar emissiereductie is hier relatief moeilijk (duur en ruimtelijk ingrijpend) te realiseren waardoor deze emissies naarmate de energietransitie vordert een relatief steeds belangrijkere rol zullen spelen. Voor emissie reducerende maatregelen en CO₂ vastlegging in bodem en vegetatie zijn wel aparte analyses uitgevoerd. Op basis van deze analyses wordt geconcludeerd dat het wel meenemen van deze maatregelen tot kleine verschuivingen in de beelden voor 2030 en 2050 oplevert. Hoe groot deze verschuivingen uiteindelijk zullen zijn is uiteraard afhankelijk van de gehanteerde aannamen. Zo levert een omzetting van 100.000 ha landbouwgrond in bosareaal (onderdeel van het "actieplan Bos en Hout") jaarlijks 1,7 Mton CO₂ vastlegging op plus 1 Mton emissiereductie van methaan en lachgas. Voor andere maatregelen worden de aannamen niet expliciet vermeld. De resulterende getallen liggen in ieder geval lager dan de binnen het Nationaal Perspectief Energie en Ruimte becijferde totale ruimtelijk potentie. Zoals hierboven opgemerkt zal het alleen vanuit de klimaat opgave moeilijk zijn om deze potentiële te realiseren, maar door deze opgaven te combineren met opgaven op het gebied van waterbeheer en natuurontwikkeling is wellicht meer mogelijk dan de in het rapport weergegeven getallen.

Doel van deze bijsluiter is om een ruimtelijk beeld te schetsen aan de hand van de bandbreedtes en de standaardvariant. Hiermee kan dan ook met een ruimtelijke bril naar de verschillende optiepakketten worden gekeken.

In deze ruimtelijke bijsluiter worden de ruimtelijke aspecten van de optiepakketten bij een 95% CO₂-reductie inzichtelijk gemaakt voor 2050. Dit inzicht geven we door eerst de randvoorwaarden van het model,

vervolgens de standaardvariant en uiteindelijk de bandbreedtes ten opzichte van de standaardvariant te voorzien van een ruimtelijke beschrijving.

RANDVOORWAARDEN OPERA MODEL

Voor het OPERA model zijn voor onderstaande variabelen randvoorwaarden³ gesteld. Voor sommige van onderstaande opties (*italic*) wordt niet gevarieerd binnen deze analyse. Binnen de bandbreedtes van deze variabelen is vervolgens gekomen tot de 12 model-varianten.

	Optie	Maximale inzet, minimaal	Maximale inzet, maximaal
1	Maximale CO₂ opslag	10 Mton	50 Mton
2	Maximale inzet biomassa	250 PJ	700 PJ
2a	Biomassa binnenland	143 PJ	143 PJ
2b	Biomassa buitenland	108 PJ	558 PJ
3	Maximale inzet wind op land	7 GW; 72 PJ (3MW)	14 GW; 144 PJ (3MW)
4	Maximale inzet wind op zee	40 GW; 576PJ (10MW)	80 GW; 1152 PJ (10MW)
5	Geothermie	Geen beperking	Geen beperking
6	Zon-PV	Geen beperking	Geen beperking
7	Besparing warmtevraag	400 PJ	400 PJ
8	Besparing elektriciteitsvraag	100 PJ	100 PJ

1. CCS, maximale CO₂ opslag
 CCS wordt in de studie gepresenteerd als een kostentechnisch voordelige maatregel. De combinatie met het stoken van biomassa (BECCS) komt prominent naar voren als mogelijkheid om negatieve emissies te genereren die kunnen dienen als compensatie voor emissies op andere terreinen. Hiervoor is echter veel ondergrondse ruimte nodig. Deze ruimte is beschikbaar in uitgeproduceerde olie- en gasvelden, maar zeker de relatief eenvoudig te realiseren mogelijkheden hebben uiteindelijk een beperkende capaciteit. Een eerdere verkenning naar de ondergronds ruimtevrage voor energie⁴ laat zien dat economisch potentieel voor

CCS op land 15 Mton bedraagt en op zee 45 Mton. Dit veronderstelt echter een vroeg ingezette coordinatie met gaswinning om de benodigde velden op tijd beschikbaar te krijgen én een brede maatschappelijke acceptatie van CCS. De uitdagingen op beide vlakken in ogenschouw nemend lijkt 50 Mton ruimtelijk wel mogelijk maar vanuit maatschappelijk perspectief een flinke uitdaging.

2. Maximale inzet biomassa

Biomassa in de studie van PBL/ECN wordt hoofdzakelijk ingezet om biobrandstoffen van te maken ofwel deze biomassa te vergassen (eventueel in combinatie met CCS). De feedstock voor de industrie (plastics/farmaceutisch/...) blijft in alle varianten fossiele grondstoffen zoals olie gebruiken. Aan de hand van het totale potentieel voor biomassa⁵ op aarde is op verschillende manieren gekeken naar welk deel van dit potentieel in Nederland gebruikt zou kunnen worden. De verkregen biomassa is hoofdzakelijk afkomstig van productie, reststromen en afval uit bossen, de landbouw en aquatische teelt.

Op basis van inwonertal en uitgaande van het midden en hoge scenario betekent dit een potentie voor biomassa naar ratio tussen de 280 en 760 PJ. Wanneer we naar BNP zouden kijken voor de verdeling is deze potentie naar ratio vele malen hoger (900 – 2400 PJ) en wanneer we naar oppervlakte van ons land kijken is deze potentie naar ratio slechts 50 – 125 PJ. Dit is lager dan de binnenlandse potentie zoals weergegeven in de tabel hierboven.

Bij biomassa is het vanwege de beperkte mondiale beschikbaarheid en de ingrijpende ruimtelijke en ecologische consequenties verstandig om onszelf hiermee niet rijk te rekenen. Wellicht zijn de bandbreedtes dus al aan de hoge kant.

Daarnaast wordt met de import van biomassa uit het buitenland het probleem niet opgelost maar afgewenteld. Het is maar

zeer de vraag of dit elders geaccepteerd zal worden en of weerstand in het buitenland op termijn niet beperkend zal worden voor de beschikbaarheid voor Nederland. Daarnaast moet het transport en de opslag van biomassa ruimtelijk gefaciliteerd worden. De import van 560PJ biomassa staat gelijk aan jaarlijks zo'n 1500 containerschepen⁶ met pellets/biokolen hetgeen aanleg van nieuwe infrastructuur met zich mee zal brengen. Het merendeel zal hoogstwaarschijnlijk in havens worden verwerkt tot gas of biobrandstoffen en vanuit daar verder getransporteerd. In het buitenland gebruiken wij als Nederland dan een gebied twee keer zo groot als ons eigen landoppervlak om in de benodigde biomassa te voorzien.

3. Maximale inzet wind op land

De PBL studie hanteert een bandbreedte voor windenergie op land van 72 en 144 PJ. Hoewel de behaalde energieopbrengst van alle op dit moment in Nederlands opgestelde windturbines met ongeveer 17 PJ nog relatief bescheiden is, worden hiermee wel onze reeds bestaande 'windenergielandschappen' gedefinieerd. Door optimalisatie van deze bestaande windlandschappen (repowering) kan de opbrengst verhoogd worden naar 60 tot 75 PJ⁷. Hiermee zou de onderkant van de bandbreedte dus net gehaald kunnen worden. Om de bovenkant van de bandbreedte te halen zullen ook nieuwe windenergielandschappen moeten worden gecreëerd op plekken waar nu nog geen windturbines staan. Ruimtelijk is dit mogelijk en het Nationaal Perspectief Energie en Ruimte toont aan dat dit ook goed kan worden ingepast in met name grootschalige, rationeel verkavelde landbouwgebieden en grote boscomplexen. Hiermee is een enorme ontwerpogave gemoeid, die tot grote verschillen in impact op het landschap kunnen leiden. Bijvoorbeeld enkele grootschalige energielandschappen versus op grote schaal gedecentraliseerde (en mogelijk versnipperde) landschappen.

De maatschappelijke weerstand tegen nieuwe windturbines is daarnaast fors waardoor de daadwerkelijk in 2050 gerealiseerde energieopbrengst uit windturbines op land weleens fors lager zou kunnen uitvallen maar ook de

4. Maximale inzet wind op zee

Gegeven de verschillende beschermde gebieden in zee en de andere ruimtelijke belangen zoals scheepvaartroutes zien wij dat de maximale inzet van wind op zee in de lage variant (40 GW) ruimtelijk ongeveer wel bereikt is.⁸ Gaan we richting de hoge variant (80GW) dan zal dit ten koste gaan van andere functies en belangen (natuur, ecologie scheepvaartroutes) op de Noordzee en het is maar zeer de vraag of deze gevestigde belangen altijd en overal zullen wijken voor de 'nieuwkomer' windenergie. Bovendien zou de Noordzee dan zó vol komen te staan met windturbines dat de hoeveelheid geproduceerde energie per windturbine sterk achteruit loopt. Daarnaast is de uitdaging bij wind op de Noordzee niet zozeer gelegen in het realiseren van veel opgesteld vermogen, maar veel meer het aan land brengen en het opslaan van de grote hoeveelheden elektriciteit. Dit is een niet te onderschatten beperkende factor, die op dit moment ruimtelijk nog niet goed in kaart gebracht is. Bij windparken boven de 10GW zijn additionele maatregelen in ons huidige elektriciteitsnetwerk nodig zoals internationale samenwerking, grensoverschrijdende verbindingen of vraagsturing. Wanneer echter de windparken veel groter zijn (zoals 40-80GW) betekent dit flinke uitbreiding van ons elektriciteitsnetwerk ofwel conversie naar waterstof inclusief de daarvoor benodigde infrastructuur.

5. Geothermie

Er wordt in deze studie geen maximum voor de potentie voor geothermie bepaald. Deze is vanwege kennislacunes betreffende de

diepe ondergrond ook erg onzeker en er wordt gesteld dat de bruikbaarheid van geothermie in de praktijk beperkt wordt door andere factoren zoals beschikbaarheid van geconcentreerde warmtevraag en kosten van infrastructuur. Wanneer naar de ruimtelijke potentie van de ondergrond wordt gekeken in combinatie met geconcentreerde warmtevraag is het mogelijk om ook voor geothermie een maximum potentie te bepalen. Geothermie is daarnaast ruimtelijk een zeer interessante optie aangezien op maaiveld slechts een beperkte impact bestaat. Wanneer de benodigde warmte via elektriciteit zou moeten worden opgewekt betekent dit namelijk automatisch een flinke toename in het aantal windturbines en zonnepanelen.

6. Zon-PV

De grootschalige toepassing van zon-PV op daken en in veldopstellingen vormen een grote ontwerpogave en hier zijn dan ook nog vele soorten PV-landschappen denkbaar. Voor zon-PV is geen maximum voor de potentie bepaald. De technische potentie voor de toepassing van zon-PV op daken is echter beperkt tot zo'n 120 PJ⁹, en we mogen er werkelijk niet vanuit gaan dat in 2050 elk geschikt dak bedekt is met een zonnepaneel. De overheid heeft hierover immers maar een beperkte zeggenschap. Strikt genomen is de technische potentie om op met name landbouwgrond zonnevelden aan te leggen daarentegen schier oneindig. Het ruimtegebruik hiervan concurreert echter met andere ruimtevragers en dubbel ruimtegebruik (bijvoorbeeld veeteelt onder zonnepanelen) wordt in de praktijk nu nog weinig toegepast. Daar komt bij dat er bij het op grote schaal uitrollen van zonnevelden een maatschappelijke weerstand verwacht kan worden die vergelijkbaar is meer die tegen windenergie. Voor windenergie wordt deze weerstand impliciet meegenomen in de randvoorwaarden, voor zonne-energie niet. Dit kan leiden tot een flinke overschatting

van het potentieel zon-PV.

7. Besparing warmtevraag

De maximale besparing op de warmtevraag van 400 PJ lijkt erg optimistisch. In het Nationaal Perspectief Energie en Ruimte zijn vooral de besparingsmogelijkheden in de gebouwde omgeving nader onderzocht en met 25% al aan de hoge kant. Deze mogelijkheden hebben zowel aan de binnen- als de buitenzijde van gebouwen grote effecten. Daarnaast heb je met een veelheid aan eigenaren te maken. Deze besparingsmogelijkheden blijken in de praktijk vooralsnog erg tegen te vallen. Ook in 2050 zal er nog veel hernieuwbare warmte nodig zijn.

8. Besparing elektriciteitsvraag

Ook de maximale besparing op de elektriciteitsvraag (100 PJ) lijkt optimistisch. Deze besparingen zijn weliswaar mogelijk, maar tegelijk zal een grotendeels op hernieuwbare bronnen gebaseerd energiesysteem ook leiden tot een elektrificatie van het energiegebruik. Met name elektrische mobiliteit en de elektriciteitsvraag voor de aandrijving van hernieuwbare warmtesystemen zullen de elektriciteitsvraag eerder doen toenemen dan doen afnemen. Daarnaast zal de elektriciteitsvraag door groei van aantal inwoners, economie en meer elektrische apparaten juist toenemen.

GEANALYSEERDE VARIANTEN

De twaalf geanalyseerde varianten geven allemaal een andere combinatie van inzet van energiemodaliteiten, binnen de hierboven beschreven en becommentarieerde bandbreedten.

Om de ruimtelijke kwesties inzichtelijk te maken is gekeken naar de standaardvariant en vervolgens is deze standaardvariant vergeleken met de maximale en eventueel de minimale stand van de variabelen.

STANDAARD-VARIANT (1861 PJ)

CCS (25 Mton)

Grofweg de helft van de CO₂ opslag lijkt gerealiseerd te worden bij productie van biobrandstoffen en de andere helft bij industriële processen. De eerste heeft flinke ruimtelijke impact die verder is uitgelegd bij de paragraaf over biomassa.

Biomassa (307 PJ, waarvan 258 hout)

Zoals hierboven reeds beschreven heeft de inzet van biomassa een zeer grote ruimtelijke impact. Uitgaande van houtige biomassa onder voor Nederland gangbare groeiomstandigheden levert 307 PJ energie uit biomassa een ruimtebeslag op dat vergelijkbaar is met het gehele Nederlandse landoppervlak. Bij inzet van reststromen is het oppervlak van het onttrekkingsgebied nog vele malen groter.

Bij de aldus benodigde import van biomassa is sprake van een afwenteling van met name de ruimtelijke kant van het vraagstuk naar andere landen en de introductie van een distributievraagstuk dat een flink beslag zal leggen op de Nederlandse haven- en transportcapaciteit.

Bij de maximale variant van biomassa zal import van biomassa 2 keer het Nederlandse landoppervlak beslaan benodigd voor de productie en de reststromen.

Aardgas (258 PJ)

Fossiel.

Kolen (3 PJ)

Fossiel.

Olie (133 PJ, energetisch)

Fossiel.

Omgevingswarmte (284 PJ) 0,25 elektr. en 0,75 water/lucht

Bij het opwaarderen van warmte uit de omgeving volgt automatisch een extra vraag voor de productie van elektriciteit. In dit geval zal bijna de gehele capaciteit van wind op land nodig zijn om de warmtepompen te laten draaien! Dat wil zeggen ongeveer 2.300 windturbines van 3 MW en meer dan de helft van het oppervlak van de provincie Utrecht. Daarnaast volgt uit de grootschalige toepassing van warmtepompen en buffervaten ook een nog onderbelicht lokaal inpassingsvraagstuk met in potentie een flinke impact op het (stedelijke) landschap. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de maat van een dubbele airco op ieder gebouw en aan de binnen- of buitenzijde van het gebouw een buffervat.

In de minimale variant voor omgevingswarmte leidt dit tot een toename van biomassa en aardgasgebruik. Wel zal de ruimtelijke impact van wind- en/of zonne-energie daarmee flink afnemen ten opzichte van de standaardvariant. In de maximale variant kunnen we bijna geheel van het aardgas af maar is daarmee wel meer wind- en zonne-energie nodig.

Geothermie (25 PJ)

- Utiliteit (2,5 PJ)
- Landbouw (8,5 PJ)
- Nieuwbouw (10 PJ; volgt uit anderen)
- Elektrisch (0)
- Industrie (3,6 PJ)

Hoewel er in de randvoorwaarden voor het model geen dus geen beperkingen worden meegegeven zijn er wel bandbreedtes te zien in de modelresultaten van de varianten, ofwel de optiepakketten. Bij die optiepakketten valt op dat er niet één variant tussen zit waar geothermie in vergelijking met omgevingswarmte een grote rol speelt. Vanuit ruimtelijk perspectief zou deze optie wel degelijk interessant zijn.

De ruimtelijke impact van geothermische installaties tijdens de exploitatiefase is beperkt. Deze installaties zijn immers relatief klein en kunnen goed worden ingepast in het landschap en in de gebouwde omgeving. Ten tijde van de boorfase is deze ruimtelijke impact een factor 5-25 keer groter. Dit komt omdat de boring een logistieke uitdaging blijkt in de gebouwde omgeving. Ondergronds is het benodigde ruimtegebruik vele malen groter. Het ondergronds ruimtebeslag van de voor geothermie in te zetten aquifers is in de standaard-variant vergelijkbaar met het wateroppervlak van het IJsselmeer. Daar zal het ruimtegebruik aan de oppervlakte echter weinig hinder van ondervinden. Dat geldt niet voor de aanleg van warmtenetwerken. Deze zullen weliswaar grotendeels onzichtbaar onder de weginfrastructuur geplaatst worden, maar de aanleg ervan is een complexe logistieke en ruimtelijke opgave, zeker ook gezien het feit dat in de ondergrond al heel veel netwerk ligt. De standaardvariant is bijna gelijk aan de minimale variant en de maximale variant betekent een ondergronds ruimtebeslag zo groot als de provincie Overijssel.

Kernenergie (0)

Kernenergie is in 1 optie meegenomen, niet in de standaardvariant. In de maximale optie voor kernenergie leidt dit logischerwijs tot lagere hoeveelheden wind- en zonne-energie. Wel leidt inzet van kernenergie waarschijnlijk tot een aanzienlijke maatschappelijke weerstand.

Wind (686 PJ)

WOZ (~590 PJ)

Gegeven de verschillende beschermde gebieden in zee en de andere ruimtelijke belangen zoals scheepvaartroutes schatten wij dat de inzet van wind op zee in de standaard-variant het maximaal ruimtelijk haalbare benadert of wellicht zelfs overschrijdt. Een deel van de windturbines op zee zullen bij helder weer vanaf de kust goed zichtbaar zijn. Dit zal een grote impact hebben op de beleving

van de Noordzee. Daarnaast kunnen bij deze schaalgrootte andere functies op de Noordzee zoals scheepvaart, natuur en visserij onder druk komen te staan.

In de maximale variant zal de inpassing van windenergie andere functies en belangen (natuur, ecologie scheepvaartroutes) op de Noordzee verdrijven en het is maar zeer de vraag of deze gevestigde belangen altijd en overal zullen wijken voor de 'nieuwkomer' windenergie. De minimale variant lijkt sterk op de standaard.

WOL (~96 PJ)

Om de benodigde hoeveelheid windenergie in de standaard-variant te realiseren zullen naast repowering van bestaande windenergielandschappen ook nieuwe windenergielandschappen moeten worden gecreëerd, dus op plekken waar nu nog geen windturbines staan. Ontwerpend onderzoek laat zien dat dit ruimtelijk goed mogelijk is en dat dit ook landschappelijk goed kan worden ingepast. Dit neemt niet weg dat het plaatsen van windturbines met name op plekken waar nu nog geen windturbines zichtbaar zijn op een aanzienlijke maatschappelijke weerstand stuit.

Zon (190 PJ)

- particulier (50,3 PJ)
- Facade (0)
- HDO (85,2 PJ)
- Akkers (53,5 PJ)
- Industrie (1 PJ)

De technische potentie voor de toepassing van zon-PV op daken is beperkt tot zo'n 120 PJ10. De potentie in de standaard-variant is daarmee voor daken maximaal ingeschat (50 + 85 = 135 PJ) en dit betekent dan ook dat op bijna ieder dak wel zonnepanelen te zien zullen zijn. Ruimtelijk gezien ligt er in de integratie van zonne-energie in landbouwgebieden de grootste opgave. Het potentiële areaal is groot, en de ruimtelijke impact ook. Een deel van het landbouwareaal dat beschikbaar is door groei in efficiency, kan ingezet worden in 'nationale

energielandschappen': gebieden waar wind- en zonne-energie als gevolg van beleidsmatige keuzes het beeld bepalen. De manier waarop de opgave voor zonne-energie wordt ontworpen bepaalt in grote mate de uiteindelijke impact op het landschap. Zo leveren de grootschalige nationale energielandschappen bijvoorbeeld een heel ander ruimtelijk beeld op dan een versnipperde decentrale aanpak van kleinere zonne-akkers.

06 / BIJLAGEN

6.2

DEELNEMERS ATELIERS

BIJLAGE I: DEELNEMERS ATELIER 6/7/2017 (OCHTEND)**Organisatie**

Waddenvereniging
 Gemeente Drenthe
 Alliander
 BZK
 CE Delft
 EBN B.V.
 ECN
 ECN Policy Studies
 Friese Milieufederatie
 Gemeente Leiden
 Gemeente Leiden
 Gemeente Utrecht
 Havenbedrijf Rotterdam NV
 IPO
 Kadaster Ruimte en Advies
 LTO Nederland
 Metropoolregio Eindhoven
 Ministerie van EZ
 Ministerie van EZ
 Ministerie van IenM
 Ministerie van IenM
 Ministerie van IenM
 Ministerie van IenM
 Ministerie van IenM
 Netbeheer Nederland
 NV Rendo Holding
 NVDE
 OCW
 PBL
 Provincie Flevoland
 Provincie Noord-Holland
 RCE
 Regio West-Brabant
 Rijkswaterstaat
 Rijkswaterstaat
 Rijkswaterstaat
 RLI
 RVO
 RWS
 SHELL
 Stedin
 UVW

 Programmabureau Groene Hart

Naam

Arjan Berkhuisen
 Cipke Uri
 Marcel Doyer
 David van der Woude
 Nanda Naber
 Ewout Pikaar
 Matine Uyterline
 Eppe Luken
 Hans van der Werf
 F. Goedbloed
 Geert Boogert
 Manon van der Wiel
 Martijn Huijskes
 Frank Puijn
 Mark Obbink
 Menno Douma
 B. de Jong
 Erik ten Elshof
 Josefien vd Ven
 Jaap Stokking
 Gijsbert Borgman
 Robert Smaak
 Mariette van Empel
 Elien Wierenga
 Maurice Roovers
 Bastiaan Meijer ipv Eddy Veenstra
 Floor de Kleijn
 Frank Altenburg
 Anton van Hoorn
 Dennis Menting
 Bart Witteman
 Berthe Jongejan
 Paul Vermeulen
 Anita Baas
 Henk Looijen
 Sten Heijnis
 Luc Boot
 Stephan Hermens
 Gaston Gelissen
 Martijn Haarsma
 Lennard Seriese
 Reinier Romijn
 Joost Schrijnen
 Patricia Braaksma

BIJLAGE I: DEELNEMERS ATELIER 6/7/2017 (MIDDAG)**Organisatie**

College van Rijksadviseurs
 Commissie MER
 Gemeente Drenthe
 Gemeente Leeuwarden
 Gemeente Papendrecht
 Gemeente Utrecht
 HIER opgewekt
 Kadaster
 Ministerie van EZ
 Ministerie van IenM
 Ministerie van IenM
 Ministerie van IenM
 Ministerie van IenM
 Ministerie van IenM
 Natuur en Milieu Federaties
 NWEA
 Overmorgen
 PBL
 PBL
 Provincie Brabant
 Provincie Friesland
 Provincie Groningen
 Provincie Noord-Holland
 Regio Noord-Veluwe
 Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
 Rijkswaterstaat
 RVO
 RVO
 RVO
 SER
 TenneT
 Twijnstra Gudde
 VNG
 Wageningen University & Research
 Warmte Bedrijf Rotterdam
 Waterschap Friesland
 West Brabant

Naam

Miriam Ram
 Sjoerd Harkema
 Cipke Uri
 Lisa Adema
 Jantine Prins
 Marc Reniers
 Merian Koekkoek
 Meri Loeffen
 Josefien vd Ven
 Jaap Stokking
 Yvonne van Remmen
 Bart van Bleek
 Robert Smaak
 Elien Wierenga
 Annie van de Pas
 Rik Harmsen
 Jeroen Roeloffzen
 Anton van Hoorn
 Jan Ros
 Anneth van Bruchem
 Alice van Unen
 Sophie Jongeneel
 Gerda Dinkelman
 D. Neuteboom
 Els Romeijn
 Evrim Akar
 Marion Bakker
 Erik Jan van der Meer
 Lydia Dijkshoorn
 Rob Weterings
 Henk Sanders
 Roel Valkman
 Laura van Rossem
 Leonie B. Janssen-Jansen
 W. Verhoeven
 A. van den Hoogen
 Sjaan van den Heuvel

BIJLAGE I: DEELNEMERS ATELIER 12/9/2017**Organisatie**

Alliander
 Alliander
 Alliander
 Berenschot
 Berenschot
 Berenschot
 BKCC
 BVR adviseurs ruimtelijke ontwikkeling
 BVR adviseurs ruimtelijke ontwikkeling
 BZK
 BZK
 Commissie MER
 EBN B.V.
 ECN Policy Studies
 ECN Policy Studies
 Eneco Group
 Energie Nederland
 FABRICations
 Gastransport
 Gastransport
 Gemeente Amsterdam
 Gemeente Kaag en Braassem
 Gemeente Leeuwarden
 Gemeente Leeuwarden
 Gemeente Leiden
 Gemeente Utrecht
 H+N+S Landschapsarchitecten
 H+N+S Landschapsarchitecten
 Holland Rijnland
 Hoogzomer landschapsarchitectuur
 IPO
 IPO
 IPO
 IPO
 Kadaster
 Kadaster
 Kadaster Ruimte en Advies
 Kwadraat / NLVOW
 M3H Architecten
 Ministerie van Economische Zaken
 Ministerie van Economische Zaken
 Ministerie van Economische Zaken
 Ministerie van Economische Zaken
 Ministerie van Economische Zaken
 Ministerie van Economische Zaken
 Ministerie van Economische Zaken
 Ministerie van Economische Zaken

Naam

Karen de Klerk
 Marcel Doyer
 Mark Koelman
 Bram Brouwer
 Dieuwke Martens-Bakker
 Pieterjan Hulst
 Netty van de Kamp
 Jaap Duenk
 Danique Nuiten
 David van der Woude
 Gerben Roest
 Sjoerd Harkema
 Ewout Pikaar
 Eppe Luken
 Matine Uyterline
 Anne Melchers
 Michiel Hellebrekers
 Eric Frijters
 Diana van Winden
 Gerrit Renkema
 Juliane Kurschner
 Ariaan van der Vlugt
 Lisa Adema
 Gerk Jan Kuipers
 Fred Goedbloed
 Manon van der Wiel
 Dirk Sijmons
 Jasper Hugtenburg
 Xandra van Ginkel
 Edwin van der Hoeven
 Bastiaan Bretveld
 Mariëlle Hetem
 Richard Kleefman
 Johan Willemsen
 Geert Meeuwissen
 Meri Loeffen
 Mark Obbink
 Rob Rietveld
 Marc Reniers
 Erik ten Elshof
 Ermin Kloppenborg
 Harry Weijer
 Laura de Pundert
 Lennert Goemans
 Niek Hazendonk
 Peter Schmeitz
 Harry Weijer

BIJLAGE I: DEELNEMERS ATELIER 12/9/2017**Organisatie**

Ministerie van Infrastructuur en Milieu
 Ministerie van Infrastructuur en Milieu
 Ministerie van Infrastructuur en Milieu
 Ministerie van Infrastructuur en Milieu
 Ministerie van Infrastructuur en Milieu
 Ministerie van Infrastructuur en Milieu
 Ministerie van Infrastructuur en Milieu
 Ministerie van Infrastructuur en Milieu
 Ministerie van Infrastructuur en Milieu
 Ministerie van Infrastructuur en Milieu
 Ministerie van Infrastructuur en Milieu
 Ministerie van Infrastructuur en Milieu
 Ministerie van Infrastructuur en Milieu
 Ministerie van Infrastructuur en Milieu
 Ministerie van Infrastructuur en Milieu
 Netbeheer Nederland
 Netwerkstad Twente
 NRGLab / WUR
 Nuon
 NVDE
 NWEA
 PBL
 PBL
 Port of Rotterdam
 Posad Spatial Strategies
 Posad Spatial Strategies
 Programmabureau Groene Hart
 Provincie Brabant
 Provincie Drenthe
 Provincie Drenthe
 Provincie Drenthe
 Provincie Drenthe
 Provincie Groningen
 Provincie Noord Brabant
 Provincie Noord Holland
 Provincie Overijssel
 Provincie Overijssel
 Provincie Zuid-Holland
 Provincie Zuid-Holland
 Provincie Zuid-Holland
 RCE
 Regio West-Brabant
 Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
 Rijksoverheid
 RLI

Naam

Bart van Bleek
 Elien Wierenga
 Els de Wit
 Frank Stevens van Abbe
 Gerrie Fenten
 Hans ten Hoeve
 Irma Kemp
 Jaap Stokking
 Mirjam Post
 Nathalie de Koning
 Peter Kouwenhoven
 Peter Louwerse
 Robert Smaak
 Roel Teeuwen
 S. Pezjman Mortezaei
 Timo Lagarde
 Vera Pieterman
 Stephan de Vos
 Gert-Jan Meijer
 Dirk Oudes
 Stijn van den Heuvel
 Floor de Kleijn
 Rik Harmsen
 Anton van Hoorn
 Jan Ros
 Alan Dirks
 Boris Hocks
 Taco Kuijers
 Patricia Braaksma
 Anneth van Bruchem
 Boris Pents
 Cipke Uri
 Marice Wenker
 Saskia van Dijk
 Sophie Jongeneel
 Eltjo Kugel
 Geert Haenen
 Arnout Potze
 Martien Plaatsman
 Isolde Somsen
 Mariette Bilius
 Edwin Perdijk
 Berthe Jongejan
 Paul Vermeulen
 Els Romeijn
 Hans ten Velden
 Luc Boot

BIJLAGE I: DEELNEMERS ATELIER 12/9/2017**Organisatie**

Ruimtevolk
 RVO
 RVO
 RVO
 RWS
 RWS
 RWS
 RWS
 RWS
 RWS
 SHELL
 Stedin
 Stratelligence
 Studio Marco Vermeulen
 t Overwater Advies
 TenneT
 TenneT
 TenneT
 TNO
 TNO
 Twijnstra Gudde
 Twijnstra Gudde
 UVW
 VNG
 Wageningen University & Research
 Warmte Bedrijf Rotterdam
 Zelfstandiger
 Ziggo

Naam

Brechtje van Boxmeer
 Erik Jan van der Meer
 Lydia Dijkshoorn
 Stephan Hermens
 Anita Baas
 Anne Klein Starman
 Gaston Gelissen
 Inez 't Hart
 Martien Das
 Hans Gerritsen
 Martijn Haarsma
 Lennard Serieese
 Gigi van Rhee
 Bram Willemse
 Wilma Paalman-Vloedgraven
 Miriam Engelen
 Teun van Biert
 Thomas Aksan
 René Hooiveld
 Arjan van Diemen
 Maya Savelkoul
 Maya Savelkoul
 Reinier Romijn
 Laura van Rossem
 Leonie B. Janssen-Jansen
 Wouter Verhoeven
 Joost Schrijnen
 Annelies van Edmond

BIJLAGE I: GEINTERVIEWDE STAKEHOLDERS VOOR GOVERNANCE/INSTRUMENTARIUM**Organisatie**

Deltaprogramma
 Gemeente Utrecht
 Eenvoudig Beter
 DRIFT / EUR
 Prov. Overijssel
 NMF

 Ruud Schuurs
 Van Gastel & Schrijnen
 Com. M.E.R.
 Prov. Gelderland
 Prov. Brabant
 Gemeente Leiden

Naam

Hermen Borst
 Wim van Gelder
 Jeroen Huijben
 Matthijs Hisschemöller
 David de Jong
 Annie van de Pas
 Dirk Sijmons
 Ruud Schuurs
 Joost Schrijnen
 S. Harkema & G. Hoevenaars
 Mark Kemperman
 Eltjo Krugel
 Fred Goedbloed

06 / BIJLAGEN

6.3 AANZET VOOR EEN KENNISAGENDA

Brechtje van Boxmeer en Taco Kuijers

Welke benodigde kennis/data en kennisinfrastructuur is nodig?

De energietransitie is, ook voor het thema ruimte, omgeving met kansen, belemmeringen en onzekerheden. Uit het doorsnijdend thema ruimte komen de volgende kennis- en innovatievragen naar voren:

TECHNOLOGIE EN INPASBAARHEID VAN ENERGIEOPWEKKING

Wat is de potentie van geothermie en TEO/TEA?

Geothermie, energie uit oppervlaktewater (TEO) en energie uit afvalwater (TEA) zijn technieken met relatief weinig ruimtelijke impact. Ze zijn echter nog omgeven met veel onzekerheden. Hoe kansrijk zijn deze technieken, en onder welke voorwaarden?

Geothermie of biomassa voor hoge temperaturen?

Ook de toepassing van HT-maatregelen moeten prioriteren met betrekking tot ruimtelijke wenselijkheid. Het is bijvoorbeeld vanuit ruimtelijk perspectief mogelijk dat geothermie de voorkeur krijgt boven biomassa ten behoeve van hoge temperatuur processen, maar dit zou verder onderzocht en bevestigd moeten worden.

Welke innovaties zijn mogelijk in de ruimtelijke inpasbaarheid van energieopwekking?

Welke mogelijkheden zijn er om energieopwekking goed in te passen in landschap en gebouwde omgeving? Reeds bestaande voorbeelden: zonnecellen geïntegreerd in dakpannen waardoor geen losse panelen meer nodig zijn. Of: houten boerderijmolens die qua stijl en schaal aansluiten bij het bouwblok van een boerderij. Welke mogelijkheden zijn er nog meer?

ENERGIE-INFRASTRUCTUUR

Welke optimalisatiemogelijkheden zijn er in het gebruik van de huidige energie-infrastructuur?

Beter benutten van het bestaande net betekent minder ruimtelijke impact. In welke mate kunnen technologische ontwikkelingen bijdragen aan efficiënter gebruik van het bestaande elektriciteitsnetwerk? Hoeveel winst is te bepalen met zaken als smart charging, load balancing en peak shaving?

Welke mogelijkheden zijn er qua conversie en opslag van energie?

Conversie en opslag vergroten de flexibiliteit binnen het energiesysteem, en kunnen het net ontlasten op piekmomenten. Welke technieken zijn kansrijk, welke potenties hebben deze, en wat is de ruimtelijke impact ervan?

Welke infrastructuur moet worden aangepast/aangelegd voor de energietransitie?

Voor de energietransitie zal, ondanks opslag en conversie en efficiënter gebruik van het bestaande net, bestaande energie-infrastructuur aangepast en nieuwe aangelegd moeten worden, zowel op land als op zee, als in de aanlanding aan/bij de kust. Wat is de omvang van deze infrastructuur? Wat is de (ruimtelijke) impact?

COMBINATIEMOGELIJKHEDEN EN HOTSPOTS

Welke (ruimtelijke, juridische, financiële, beleidsmatige) condities zijn nodig voor de ontwikkeling van energie-hotspots?

Welke kansen en belemmeringen zijn er te onderscheiden in de ontwikkeling van energie-hotspots in zeehavens, corridors/knooppunten en dunbevolkte gebieden?

Welke combinatiemogelijkheden zijn er met andere (ruimtelijke) transities?

In deze 10-pager zijn enkele combinaties van de energietransitie en andere transitie uitgewerkt. Zijn er meer van deze kansrijke combinaties, en wat is er nodig om ze te kunnen benutten?

TOEKOMSTBESTENDIGHEID EN ADAPTIVITEIT

Welke mogelijke gamechangers zijn te onderscheiden?

Zijn er veelbelovende (mogelijk disruptieve) technieken waar we op moeten voorsorteren?

Hoe waarborgen we de adaptiviteit in de energietransitie?

De energietransitie beslaat een relatief lange termijn, en niet alle ontwikkelingen zijn op voorhand te voorzien. Het is daarom essentieel om gaandeweg te kunnen bijsturen. Hoe plannen we de energietransitie adaptief?

DATA EN MODELLEN

Hoe zorgen we voor de beschikbaarheid van de benodigde data en gegevens?

Veel gegevens die essentieel zijn voor energieontwikkeling zijn op dit moment niet voorhanden, niet gemakkelijk te raadplegen, of niet op voldoende detailniveau beschikbaar. Denk daarbij aan zaken als: de lokale capaciteit op het net, exacte geschiktheid ondergrond voor geothermie, etc. Hoe vergaren en ontsluiten we deze data?

Welke variabelen, modellen en rekenmethoden gebruiken we om de energietransitie te monitoren?

Wanneer regio's en een grote verantwoordelijkheid krijgen in de energietransitie, is een eenduidig monitoringssysteem niet vanzelfsprekend. Hoe zorgen we ervoor dat er op nationaal niveau een eenduidig beeld ontstaat van de voortgang van de transitie?

GOVERNANCE EN INSTRUMENTARIUM

- Hoe wordt in de praktijk gewerkt met de kerninstrumenten van de Omgevingswet in relatie tot de energietransitie?
Experimenteren en kennis uitwisselen over het gebruik van de instrumenten
- De Omgevingswet is nog niet in werking en de inzet van de verschillende kerninstrumenten van de wet in de energieopgave is nog niet helemaal

uitgekristalliseerd. Op dit moment wordt al volop geëxperimenteerd met het opstellen van omgevingsvisies. Maar zeker bij gemeentelijke omgevingsvisies vormt het thema energie nog niet vanzelfsprekend een onderdeel. Een kennisprogramma kan aandacht besteden aan het toepassen van en de interactie tussen de kerninstrumenten in de energieopgaven. Met name het instrument omgevingsprogramma en omgevingswaarden zijn nog onduidelijk, maar kunnen naar verwachting een belangrijke rol spelen in de aanpak van de energietransitie.

- Is het nodig om te stimuleren dat energie wordt opgenomen in een omgevingsvisie? Energie is een belangrijke aspect in ruimtelijke afwegingen. Hiervoor is het van belang dat het wordt opgenomen in ruimtelijke afwegingskaders en dus een plek heeft in de omgevingsvisies. De Omgevingswet verplicht het thema energie echter niet als een vast onderdeel van omgevingsvisies, -plannen en de andere instrumenten. Hierdoor kan de energietransitie mogelijk vertraagd worden. Het is aan te bevelen om te monitoren hoe gemeenten de komende jaren de instrumenten van de Omgevingswet gebruiken en na te gaan hoe zij eventueel kunnen worden gestimuleerd om energie op te nemen in hun omgevingsvisie.
- Helpen participatiestrategieën voor het creëren van draagvlak? Draagvlak voor grootschalige opwekking van duurzame energie vormt vaak een struikelblok, zeker bij windprojecten. Het verdient aanbeveling om te leren van de ervaringen die op dit moment worden opgedaan met allerlei participatiestrategieën.

06 / BIJLAGEN

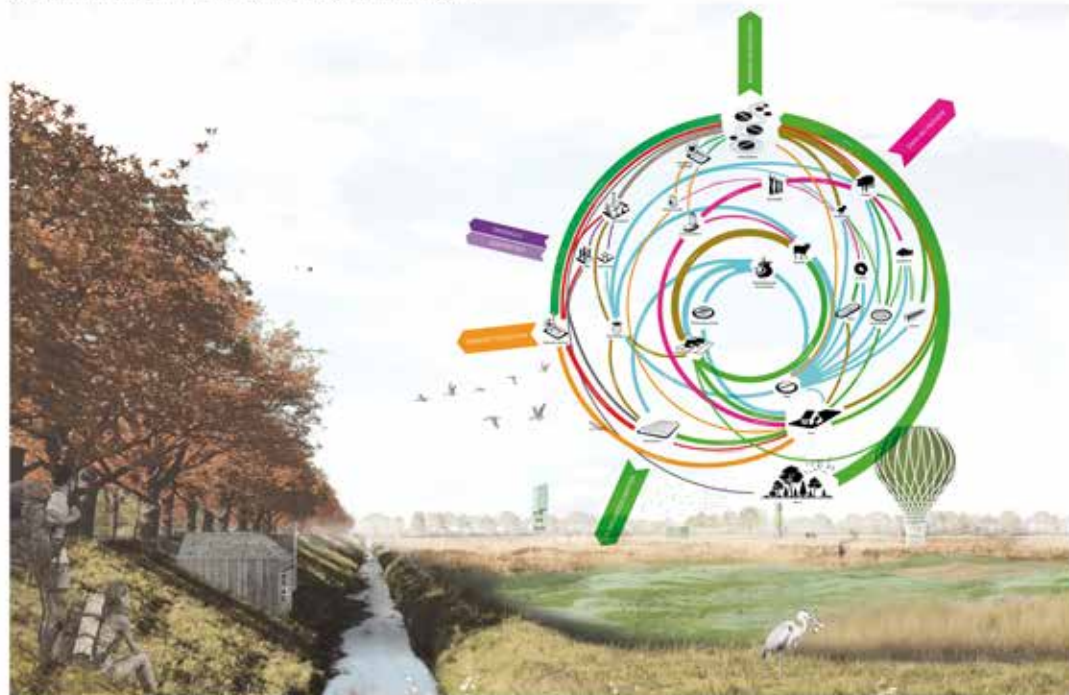
6.4 IMPRESSIE REGIONALE VERKENNINGEN ENERGIE EN RUIMTE

Voor een bijeenkomst op de Landschapstriënnale 2017, georganiseerd door de Vereniging Deltametropool i.s.m. de Provincie Noord Holland en het Ministerie van IenM zijn impressies gemaakt van achttien regionale verkenningen naar de ruimtelijke aspecten van de transitie naar duurzame energie.

In deze bijlage vindt u het overzicht daarvan. Geen van de verkenningen levert een eindbeeld op voor die regio, maar verkent de ruimtelijke kansen of mogelijke strategieën die passen bij de specifieke ruimtelijke kenmerken.

Agro-as De Peel: op zoek naar een nieuwe balans

Metabolisch concept en impressie van het nieuwe productielandschap



Een weekend perspectief voor de circulaire productie van dierlijke en plantaardige eiwitten.

Mai 2017

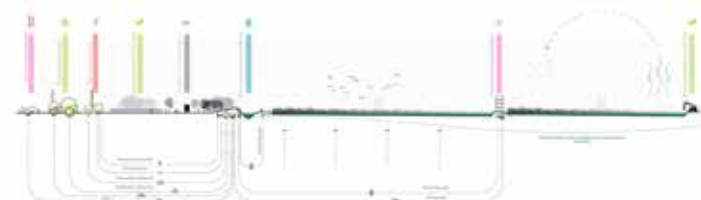
STUDIO MARCOVERMEULEN

In de volgende week de presentatie van een conceptplan voor de realisatie van een nieuw landbouw- en landbouwland. Het plan is ontwikkeld door de architectenbureau van de Peel in samenwerking met de gemeente De Peel en de provincie Limburg.

De Peel is een gebied met een rijk erfgoed en een unieke landschap. Het gebied is geschikt voor de realisatie van een nieuw landbouw- en landbouwland. Het plan is ontwikkeld door de architectenbureau van de Peel in samenwerking met de gemeente De Peel en de provincie Limburg.

Hierin worden de principes van de realisatie van een nieuw landbouw- en landbouwland. Het plan is ontwikkeld door de architectenbureau van de Peel in samenwerking met de gemeente De Peel en de provincie Limburg.

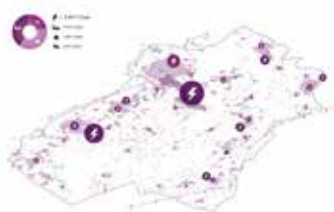
Principedoorname van het nieuwe productielandschap



Agro as de Peel: een landschappelijk ingepast productielandschap



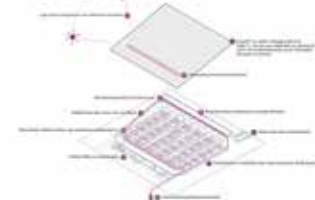
De elektriciteitsvraag: 5 PJ



De warmtevraag: 5,1 PJ



Emissieloze en energieleverende varkenshouderij



Verwachting van mest tot biobrandstof van de toekomst

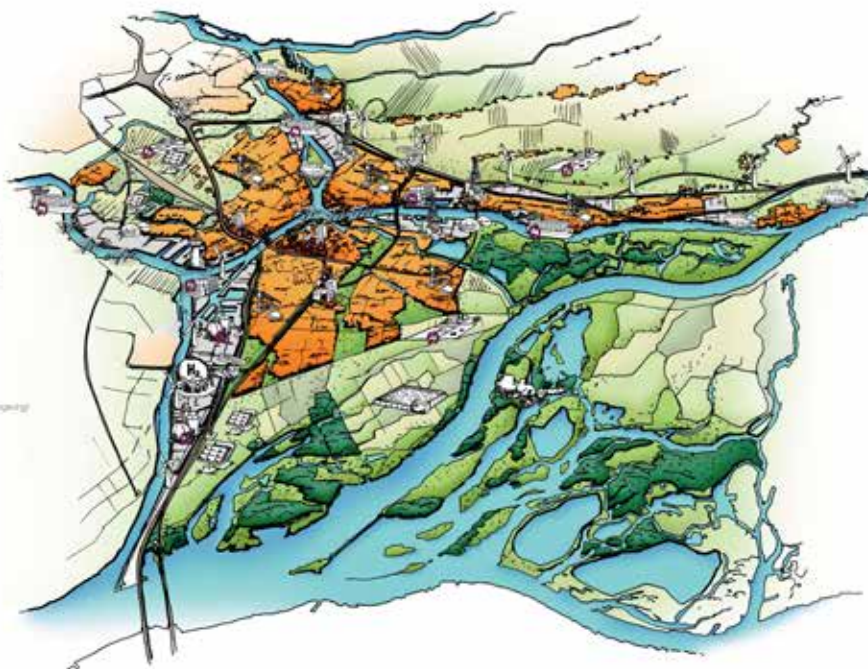


Nieuwe staltypologie voor de varkenshouderijsector



Regio Drechtsteden

Referentiescenario



Toekomstperspectief Drechtsteden energieneutraal 2050

Jul 2017



Drechtsteden Energiealliantie



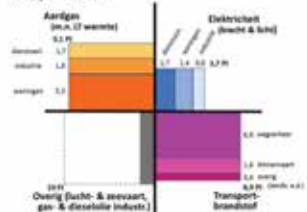
De Drechtsteden Energiealliantie heeft de ambitie om in 2050 energie-neutraal te zijn. Dit betekent dat de Drechtsteden in 2050 zoveel mogelijk duurzame energie produceren en verbruiken. Dit wordt mogelijk gemaakt door de inzet van innovatieve technologieën en samenwerking tussen overheid, bedrijfsleven en burgers.

De alliantie heeft een roadmap ontwikkeld die de stappen beschrijft die nodig zijn om deze ambitie te realiseren. Dit omvat onder andere de uitbouw van duurzame energieproductie, de verbetering van de energieefficiëntie en de inzet van smart grids.

De roadmap is gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

- De Drechtsteden zijn in 2050 energie-neutraal.
- De Drechtsteden produceren en verbruiken zoveel mogelijk duurzame energie.
- De Drechtsteden verbeteren de energieefficiëntie.
- De Drechtsteden inzetten op smart grids.

De opgave: 21,7 PJ



Overzicht van bouwstenen



Scenario 1: Gateway 2050



Scenario 2: Next Electric 2050



Scenario 3: Island 2050



Provincie Drenthe

'Landschap nabij Vries met ploegende boer' (Mesdag) als energielandschap



Energielandschappen Drenthe

April 2017

STUDIO MARCO VERMEULEN

H+N+S

Provincie Drenthe is de meest open landbouwprovincie van Nederland. Het gebied is rijk aan natuur en landschap. Dit gebied is nu echter steeds meer in aanraking met de uitdagingen van de energietransitie. Hoe kan de provincie de uitdagingen van de energietransitie op een verantwoorde manier aanpakken? Deze studie onderzoekt hoe de provincie de uitdagingen van de energietransitie kan aanpakken.

Provincie Drenthe is de meest open landbouwprovincie van Nederland. Het gebied is rijk aan natuur en landschap. Dit gebied is nu echter steeds meer in aanraking met de uitdagingen van de energietransitie. Hoe kan de provincie de uitdagingen van de energietransitie op een verantwoorde manier aanpakken? Deze studie onderzoekt hoe de provincie de uitdagingen van de energietransitie kan aanpakken.

Provincie Drenthe is de meest open landbouwprovincie van Nederland. Het gebied is rijk aan natuur en landschap. Dit gebied is nu echter steeds meer in aanraking met de uitdagingen van de energietransitie. Hoe kan de provincie de uitdagingen van de energietransitie op een verantwoorde manier aanpakken? Deze studie onderzoekt hoe de provincie de uitdagingen van de energietransitie kan aanpakken.

De opgave: 46,5 PJ in 2050



E (2050) = 46.500 Tj/jaar

22.000 Tj/jaar

15.000 Tj/jaar

9.500 Tj/jaar

Ontwerp van Drenthe (2016) (opdrachtgever: Provincie van Drenthe)

[H+N+S] Energielandschap: Veerkolonien



Ontwerp van Drenthe (2016) (opdrachtgever: Provincie van Drenthe)

[Marco Vermeulen] Energielandschap: Esdorperlandschap

Ontwerp van Esdorperlandschap



Ontwerp van Esdorperlandschap

Ontwerp van Esdorperlandschap

Ontwerp van Esdorperlandschap

Ontwerp van Esdorperlandschap

Ontwerp van Esdorperlandschap

Ontwerp van Esdorperlandschap

Ontwerp van Esdorperlandschap

Ontwerp van Esdorperlandschap

Ontwerp van Esdorperlandschap

Ontwerp van Esdorperlandschap

Ontwerp van Esdorperlandschap

Ontwerp van Esdorperlandschap

Ontwerp van Esdorperlandschap

Ontwerp van Esdorperlandschap

Ontwerp van Esdorperlandschap

Ontwerp van Esdorperlandschap

Ontwerp van Esdorperlandschap

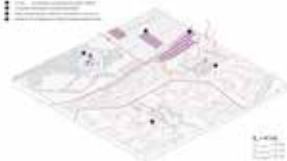
Ontwerp van Esdorperlandschap

Ontwerp van Esdorperlandschap

Ontwerp van Esdorperlandschap

[Marco Vermeulen] Energielandschap: Stedelijk landschap

Ontwerp van Stedelijk landschap



Ontwerp van Stedelijk landschap

Ontwerp van Stedelijk landschap

Ontwerp van Stedelijk landschap

Ontwerp van Stedelijk landschap

Ontwerp van Stedelijk landschap

Ontwerp van Stedelijk landschap

Ontwerp van Stedelijk landschap

Ontwerp van Stedelijk landschap

Ontwerp van Stedelijk landschap

Ontwerp van Stedelijk landschap

Ontwerp van Stedelijk landschap

Ontwerp van Stedelijk landschap

Ontwerp van Stedelijk landschap

Ontwerp van Stedelijk landschap

Ontwerp van Stedelijk landschap

Ontwerp van Stedelijk landschap

Ontwerp van Stedelijk landschap

Ontwerp van Stedelijk landschap

Ontwerp van Stedelijk landschap

Ontwerp van Stedelijk landschap

[H+N+S] Energielandschap: Windbos op Hondrug



Ontwerp van Drenthe (2016) (opdrachtgever: Provincie van Drenthe)

Ontwerp van Drenthe (2016) (opdrachtgever: Provincie van Drenthe)

Ontwerp van Drenthe (2016) (opdrachtgever: Provincie van Drenthe)

Ontwerp van Drenthe (2016) (opdrachtgever: Provincie van Drenthe)

Ontwerp van Drenthe (2016) (opdrachtgever: Provincie van Drenthe)

Ontwerp van Drenthe (2016) (opdrachtgever: Provincie van Drenthe)

Ontwerp van Drenthe (2016) (opdrachtgever: Provincie van Drenthe)

Ontwerp van Drenthe (2016) (opdrachtgever: Provincie van Drenthe)

Ontwerp van Drenthe (2016) (opdrachtgever: Provincie van Drenthe)

Ontwerp van Drenthe (2016) (opdrachtgever: Provincie van Drenthe)

Ontwerp van Drenthe (2016) (opdrachtgever: Provincie van Drenthe)

Ontwerp van Drenthe (2016) (opdrachtgever: Provincie van Drenthe)

Ontwerp van Drenthe (2016) (opdrachtgever: Provincie van Drenthe)

Ontwerp van Drenthe (2016) (opdrachtgever: Provincie van Drenthe)

Ontwerp van Drenthe (2016) (opdrachtgever: Provincie van Drenthe)

Ontwerp van Drenthe (2016) (opdrachtgever: Provincie van Drenthe)

Ontwerp van Drenthe (2016) (opdrachtgever: Provincie van Drenthe)

Ontwerp van Drenthe (2016) (opdrachtgever: Provincie van Drenthe)

Ontwerp van Drenthe (2016) (opdrachtgever: Provincie van Drenthe)

Ontwerp van Drenthe (2016) (opdrachtgever: Provincie van Drenthe)



Ontwerp van Drenthe (2016) (opdrachtgever: Provincie van Drenthe)



Ontwerp van Drenthe (2016) (opdrachtgever: Provincie van Drenthe)



Ontwerp van Drenthe (2016) (opdrachtgever: Provincie van Drenthe)

Energielinie

Overzichtskaat: Locaties & opgaven voor ontwerpvoorstellen Energielinie



Erfgoed in Transitie: Energielinie

April 2017

H-N-
S-+ ROMMO veldbouw
valholdingbreda*

Deze 'Erfgoed in Transitie' Energielinie is het resultaat van een proces van samenwerking tussen de verschillende partijen die betrokken zijn bij de realisatie van de Energielinie. Het proces is gericht op het ontwikkelen van een gezamenlijk beeld van de Energielinie en de rol van de verschillende partijen die betrokken zijn bij de realisatie van de Energielinie. Het proces is gericht op het ontwikkelen van een gezamenlijk beeld van de Energielinie en de rol van de verschillende partijen die betrokken zijn bij de realisatie van de Energielinie.

De Energielinie wordt ontwikkeld als een gebied met een hoge mate van openbaarheid en een hoge mate van openbaarheid. Het gebied wordt ontwikkeld als een gebied met een hoge mate van openbaarheid en een hoge mate van openbaarheid. Het gebied wordt ontwikkeld als een gebied met een hoge mate van openbaarheid en een hoge mate van openbaarheid.

De Energielinie wordt ontwikkeld als een gebied met een hoge mate van openbaarheid en een hoge mate van openbaarheid. Het gebied wordt ontwikkeld als een gebied met een hoge mate van openbaarheid en een hoge mate van openbaarheid. Het gebied wordt ontwikkeld als een gebied met een hoge mate van openbaarheid en een hoge mate van openbaarheid.

De Energielinie wordt ontwikkeld als een gebied met een hoge mate van openbaarheid en een hoge mate van openbaarheid. Het gebied wordt ontwikkeld als een gebied met een hoge mate van openbaarheid en een hoge mate van openbaarheid. Het gebied wordt ontwikkeld als een gebied met een hoge mate van openbaarheid en een hoge mate van openbaarheid.

Ontwerpvoorstel 1: Lege Noorden



Ontwerpvoorstel 2: Dynamische Duinzone



Ontwerpvoorstel 3: Haarlemmeerpolder



Ontwerpvoorstel 4: Veenweide- en Plassen gebied



Ontwerpvoorstel 5: Fortenvallei



Ontwerpvoorstel 6: Kommen en Waijen



Provincie Flevoland

Kaartbeeld van scenario 3: Ruimtelijk energieneutraal



Verkenning Energetisch Potentieel Flevoland 2050

Februari 2015

posod
Energy Research

De provincie van Flevoland heeft de ambitie om de provincie Flevoland in 2050 een energieneutraal gebied te maken. Dit betekent dat de provincie Flevoland in 2050 geen netto energie meer aan het net afgeeft. Het onderzoek naar het energetisch potentieel van Flevoland in 2050 is een eerste stap in de richting van een energieneutraal gebied.

De provincie van Flevoland, 2050 is een provincie die onder meer bestaat uit de volgende gebieden: de provincie Flevoland, de provincie Groningen, de provincie Drenthe, de provincie Overijssel, de provincie Gelderland, de provincie Utrecht, de provincie Noord-Holland, de provincie Zuid-Holland, de provincie Noord-Brabant, de provincie Limburg, de provincie Zeeland, de provincie Vlaanderen, de provincie Wallonië, de provincie Luxemburg, de provincie Nederland.

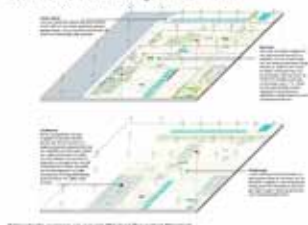
De provincie van Flevoland, 2050 is een provincie die onder meer bestaat uit de volgende gebieden: de provincie Flevoland, de provincie Groningen, de provincie Drenthe, de provincie Overijssel, de provincie Gelderland, de provincie Utrecht, de provincie Noord-Holland, de provincie Zuid-Holland, de provincie Noord-Brabant, de provincie Limburg, de provincie Zeeland, de provincie Vlaanderen, de provincie Wallonië, de provincie Luxemburg, de provincie Nederland.

De opgave: 51,43 PJ in 2050



Verkenning van de provincie Flevoland in 2050

Scenario 1: Maximaal Energetisch Potentieel



Verkenning van de provincie Flevoland in 2050

Scenario 2: Economisch Energieneutraal



Verkenning van de provincie Flevoland in 2050

Scenario 3: Ruimtelijk Energieneutraal



Verkenning van de provincie Flevoland in 2050



Kaartbeeld van scenario 3: Ruimtelijk energieneutraal. Dit is een kaartbeeld van de provincie Flevoland in 2050, dat de ruimtelijke verspreiding van de energieneutraliteit toont. De kaart is verdeeld in verschillende gebieden, die elk een specifiek energieneutraal gebied vertegenwoordigen.



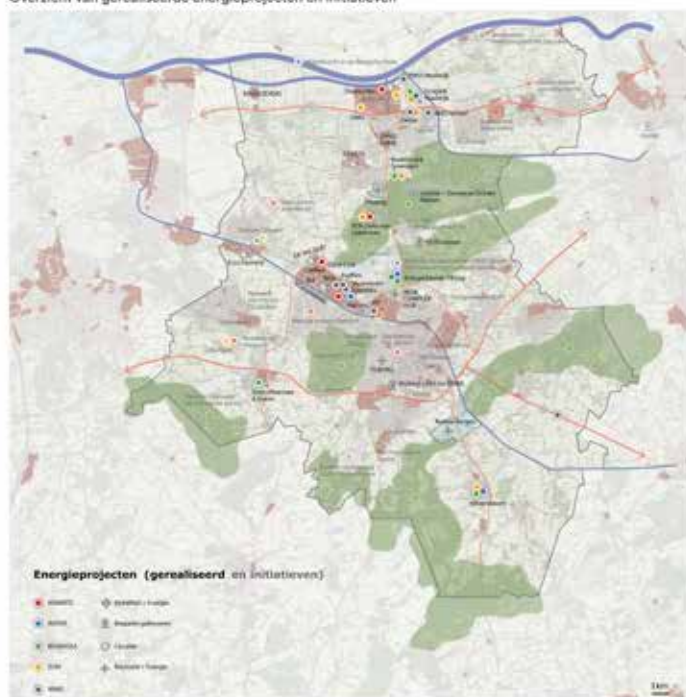
Kaartbeeld van scenario 2: Economisch energieneutraal. Dit is een kaartbeeld van de provincie Flevoland in 2050, dat de economische verspreiding van de energieneutraliteit toont. De kaart is verdeeld in verschillende gebieden, die elk een specifiek economisch energieneutraal gebied vertegenwoordigen.



Kaartbeeld van scenario 3: Ruimtelijk energieneutraal. Dit is een kaartbeeld van de provincie Flevoland in 2050, dat de ruimtelijke verspreiding van de energieneutraliteit toont. De kaart is verdeeld in verschillende gebieden, die elk een specifiek energieneutraal gebied vertegenwoordigen.

Regio Hart van Brabant (work in progress)

Overzicht van gerealiseerde energieprojecten en initiatieven



Regionale Energiestrategie - Concept

September 2007

KRUIJTWOK RUIJTE-ENERGIE.nl

De kaart die hier staat van Brabant is een samenvatting van de

Regionale Energiestrategie in het kader van de Regionale Energiestrategie

die is ontwikkeld door de Regio Hart van Brabant. De kaart is bedoeld om de

Regionale Energiestrategie te illustreren en de aandacht te vestigen op de

belangrijkste thema's van de Regionale Energiestrategie. De kaart is bedoeld om de

Regionale Energiestrategie te illustreren en de aandacht te vestigen op de

belangrijkste thema's van de Regionale Energiestrategie. De kaart is bedoeld om de

Regionale Energiestrategie te illustreren en de aandacht te vestigen op de

belangrijkste thema's van de Regionale Energiestrategie. De kaart is bedoeld om de

Regionale Energiestrategie te illustreren en de aandacht te vestigen op de

belangrijkste thema's van de Regionale Energiestrategie. De kaart is bedoeld om de

Regionale Energiestrategie te illustreren en de aandacht te vestigen op de

belangrijkste thema's van de Regionale Energiestrategie. De kaart is bedoeld om de

Regionale Energiestrategie te illustreren en de aandacht te vestigen op de

belangrijkste thema's van de Regionale Energiestrategie. De kaart is bedoeld om de

Regionale Energiestrategie te illustreren en de aandacht te vestigen op de

belangrijkste thema's van de Regionale Energiestrategie. De kaart is bedoeld om de

Regionale Energiestrategie te illustreren en de aandacht te vestigen op de

belangrijkste thema's van de Regionale Energiestrategie. De kaart is bedoeld om de

Regionale Energiestrategie te illustreren en de aandacht te vestigen op de

belangrijkste thema's van de Regionale Energiestrategie. De kaart is bedoeld om de

Regionale Energiestrategie te illustreren en de aandacht te vestigen op de

belangrijkste thema's van de Regionale Energiestrategie. De kaart is bedoeld om de

Regionale Energiestrategie te illustreren en de aandacht te vestigen op de

belangrijkste thema's van de Regionale Energiestrategie. De kaart is bedoeld om de

Regionale Energiestrategie te illustreren en de aandacht te vestigen op de

belangrijkste thema's van de Regionale Energiestrategie. De kaart is bedoeld om de

Regionale Energiestrategie te illustreren en de aandacht te vestigen op de

belangrijkste thema's van de Regionale Energiestrategie. De kaart is bedoeld om de

Regionale Energiestrategie te illustreren en de aandacht te vestigen op de

belangrijkste thema's van de Regionale Energiestrategie. De kaart is bedoeld om de

Regionale Energiestrategie te illustreren en de aandacht te vestigen op de

belangrijkste thema's van de Regionale Energiestrategie. De kaart is bedoeld om de

Regionale Energiestrategie te illustreren en de aandacht te vestigen op de

belangrijkste thema's van de Regionale Energiestrategie. De kaart is bedoeld om de

Regionale Energiestrategie te illustreren en de aandacht te vestigen op de

belangrijkste thema's van de Regionale Energiestrategie. De kaart is bedoeld om de

Regionale Energiestrategie te illustreren en de aandacht te vestigen op de

belangrijkste thema's van de Regionale Energiestrategie. De kaart is bedoeld om de

Regionale Energiestrategie te illustreren en de aandacht te vestigen op de

belangrijkste thema's van de Regionale Energiestrategie. De kaart is bedoeld om de

Regionale Energiestrategie te illustreren en de aandacht te vestigen op de

belangrijkste thema's van de Regionale Energiestrategie. De kaart is bedoeld om de

Regionale Energiestrategie te illustreren en de aandacht te vestigen op de

belangrijkste thema's van de Regionale Energiestrategie. De kaart is bedoeld om de

Regionale Energiestrategie te illustreren en de aandacht te vestigen op de

belangrijkste thema's van de Regionale Energiestrategie. De kaart is bedoeld om de

Regionale Energiestrategie te illustreren en de aandacht te vestigen op de

belangrijkste thema's van de Regionale Energiestrategie. De kaart is bedoeld om de

De opgave: 27,2 PJ in 2050

Scenario	2050	2050
Scenario 1	27,2 PJ	27,2 PJ
Scenario 2	27,2 PJ	27,2 PJ
Scenario 3	27,2 PJ	27,2 PJ
Scenario 4	27,2 PJ	27,2 PJ
Scenario 5	27,2 PJ	27,2 PJ
Scenario 6	27,2 PJ	27,2 PJ
Scenario 7	27,2 PJ	27,2 PJ
Scenario 8	27,2 PJ	27,2 PJ
Scenario 9	27,2 PJ	27,2 PJ
Scenario 10	27,2 PJ	27,2 PJ
Scenario 11	27,2 PJ	27,2 PJ
Scenario 12	27,2 PJ	27,2 PJ
Scenario 13	27,2 PJ	27,2 PJ
Scenario 14	27,2 PJ	27,2 PJ
Scenario 15	27,2 PJ	27,2 PJ
Scenario 16	27,2 PJ	27,2 PJ
Scenario 17	27,2 PJ	27,2 PJ
Scenario 18	27,2 PJ	27,2 PJ
Scenario 19	27,2 PJ	27,2 PJ
Scenario 20	27,2 PJ	27,2 PJ

De opgave: 27,2 PJ in 2050



Kansenkaart Leisure



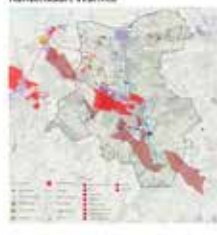
Proces richting 2050, zes strategieën



Kansenkaart Bedrijfssterreinen



Kansenkaart Warmte



Kansenkaart Water



Kansenkaart Mobiliteit



Regio Hart van Holland

Kaartbeeld van mix van energiebronnen en varianten



Hart van Holland Energieneutraal

December 2016

FABRIC **posad** **EVOLV**

De regio Hart van Holland wil in 2050 volledig energieneutraal zijn. Dit betekent dat de regio zelf voldoende duurzame energie kan opwekken om haar energievraag te dekken.

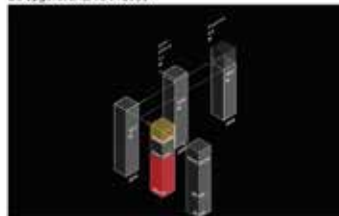
De regio Hart van Holland wil in 2050 volledig energieneutraal zijn. Dit betekent dat de regio zelf voldoende duurzame energie kan opwekken om haar energievraag te dekken.

De regio Hart van Holland wil in 2050 volledig energieneutraal zijn. Dit betekent dat de regio zelf voldoende duurzame energie kan opwekken om haar energievraag te dekken.

De regio Hart van Holland wil in 2050 volledig energieneutraal zijn. Dit betekent dat de regio zelf voldoende duurzame energie kan opwekken om haar energievraag te dekken.

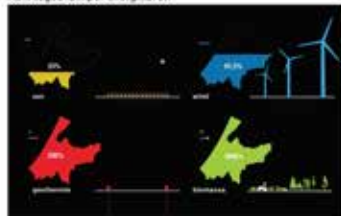
De regio Hart van Holland wil in 2050 volledig energieneutraal zijn. Dit betekent dat de regio zelf voldoende duurzame energie kan opwekken om haar energievraag te dekken.

De opgave: 24,6 PJ in 2050



De opgave is om in 2050 24,6 PJ duurzame energie op te wekken.

Ruimtegebruik per energiebron



De regio Hart van Holland wil in 2050 volledig energieneutraal zijn. Dit betekent dat de regio zelf voldoende duurzame energie kan opwekken om haar energievraag te dekken.

Thema 1: Windenergie



De regio Hart van Holland wil in 2050 volledig energieneutraal zijn. Dit betekent dat de regio zelf voldoende duurzame energie kan opwekken om haar energievraag te dekken.

Thema 2: Zonne-energie



De regio Hart van Holland wil in 2050 volledig energieneutraal zijn. Dit betekent dat de regio zelf voldoende duurzame energie kan opwekken om haar energievraag te dekken.

Thema 3: Bio-energie



De regio Hart van Holland wil in 2050 volledig energieneutraal zijn. Dit betekent dat de regio zelf voldoende duurzame energie kan opwekken om haar energievraag te dekken.

Thema 4: Warmte



De regio Hart van Holland wil in 2050 volledig energieneutraal zijn. Dit betekent dat de regio zelf voldoende duurzame energie kan opwekken om haar energievraag te dekken.

Impressie van thema 2



De regio Hart van Holland wil in 2050 volledig energieneutraal zijn. Dit betekent dat de regio zelf voldoende duurzame energie kan opwekken om haar energievraag te dekken.

Impressie van thema 3



De regio Hart van Holland wil in 2050 volledig energieneutraal zijn. Dit betekent dat de regio zelf voldoende duurzame energie kan opwekken om haar energievraag te dekken.

Metropoolregio Eindhoven

Overzichtkaart: Kansen voor energie

KERNEN / GEBOUWDE OMGEVING

- Kerngebied met hoge dichtheid van bebouwing, met name in de kern
- Kerngebied met hoge dichtheid van bebouwing, met name in de kern
- Kerngebied met hoge dichtheid van bebouwing, met name in de kern

ZONNE-ENERGIE

- Gebied met hoge potentie voor zonnepanelen op daken
- Gebied met hoge potentie voor zonnepanelen op daken
- Gebied met hoge potentie voor zonnepanelen op daken

WIND

- Gebied met hoge potentie voor windenergie
- Gebied met hoge potentie voor windenergie
- Gebied met hoge potentie voor windenergie

WARMTE & BIOMASSA

- Gebied met hoge potentie voor warmte en biomassa
- Gebied met hoge potentie voor warmte en biomassa
- Gebied met hoge potentie voor warmte en biomassa

OPELAAG

- Gebied met hoge potentie voor opwekking op de oelaag
- Gebied met hoge potentie voor opwekking op de oelaag
- Gebied met hoge potentie voor opwekking op de oelaag

INNOVATIE & KENNIS

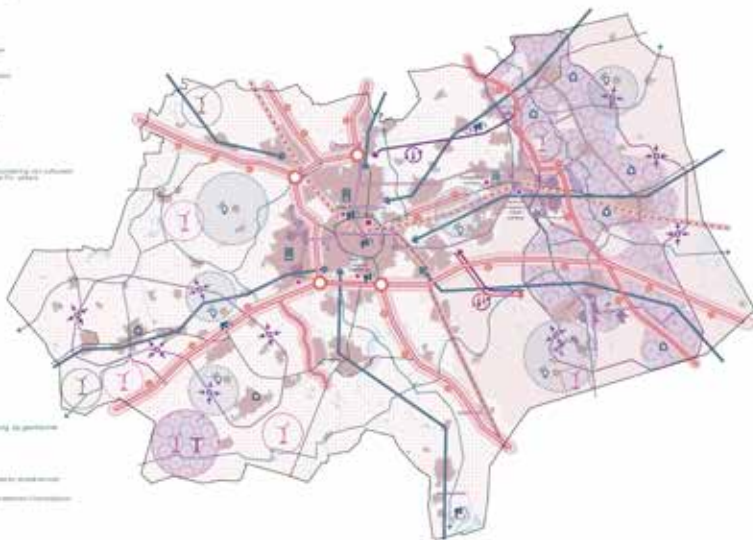
- Gebied met hoge potentie voor innovatie en kennis
- Gebied met hoge potentie voor innovatie en kennis
- Gebied met hoge potentie voor innovatie en kennis

MOBIELHEID

- Gebied met hoge potentie voor mobiliteit
- Gebied met hoge potentie voor mobiliteit
- Gebied met hoge potentie voor mobiliteit

UITWISSELING & SAMENWERKING

- Gebied met hoge potentie voor uitwisseling en samenwerking
- Gebied met hoge potentie voor uitwisseling en samenwerking
- Gebied met hoge potentie voor uitwisseling en samenwerking



Energiestrategie Zuid-oost Brabant

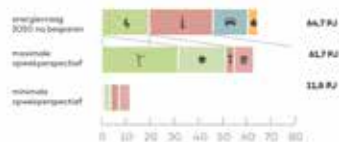
April 2007

posad

De energiestrategie Zuid-oost Brabant heeft tot doel de energievoorziening van de regio te verbeteren en de uitdagingen van de toekomst te anticiperen. Het document beschrijft de visie op de energievoorziening van de regio en de rol van de overheid, de markt en de burgers. Het document is bedoeld voor de politiek en de burgers van de regio.

De regio Zuid-oost Brabant is een regio met een hoge dichtheid van bebouwing en een hoge potentie voor innovatie en kennis. De regio heeft een hoge potentie voor windenergie en zonnepanelen op daken. De regio heeft ook een hoge potentie voor warmte en biomassa. De regio heeft een hoge potentie voor mobiliteit en uitwisseling en samenwerking.

De opgave: 84,4 PJ in 2050



Conceptschemas van de drie denkrichtingen



Denkrichting 1: Zelfvoorzienende kernen



Denkrichting 2: Energy Valleys



Denkrichting 3: Netwerk-regio



Metropoolregio Amsterdam

Kaartbeeld van het maximaal potentieel 2040 volgens energiemilieus



Ruimtelijke Verkenning Energietransitie MRA

April 2017

Samenwerkende organisaties: **posoed** **ECN**

Deze verkenning naar de ruimtelijke effecten van de energietransitie richt zich op de ruimtelijke impact van de energietransitie op de fysieke omgeving. Het doel is om inzicht te krijgen in de ruimtelijke impact van de energietransitie op de fysieke omgeving. Het doel is om inzicht te krijgen in de ruimtelijke impact van de energietransitie op de fysieke omgeving.

De verkenning richt zich op de ruimtelijke impact van de energietransitie op de fysieke omgeving. Het doel is om inzicht te krijgen in de ruimtelijke impact van de energietransitie op de fysieke omgeving. Het doel is om inzicht te krijgen in de ruimtelijke impact van de energietransitie op de fysieke omgeving.

Vaardigheden voor de toekomstige energietransitie. Het doel is om inzicht te krijgen in de ruimtelijke impact van de energietransitie op de fysieke omgeving. Het doel is om inzicht te krijgen in de ruimtelijke impact van de energietransitie op de fysieke omgeving.

De verkenning richt zich op de ruimtelijke impact van de energietransitie op de fysieke omgeving. Het doel is om inzicht te krijgen in de ruimtelijke impact van de energietransitie op de fysieke omgeving. Het doel is om inzicht te krijgen in de ruimtelijke impact van de energietransitie op de fysieke omgeving.

De opgave: 176 PJ in 2040



Bron: Posoed, ECN, Kennisatlas van de Nederlandse Energie



Perspectief 1: Grand Design



De energie wordt voornamelijk opgewekt in de stedelijke kern van de MRA.

Energienilieus: Wiedersprouwen, renovatie



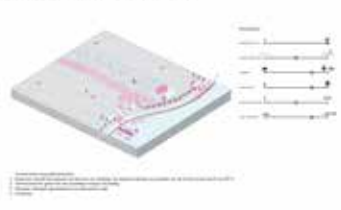
De energie wordt voornamelijk opgewekt in de stedelijke kern van de MRA.

Perspectief 2: Maximaal Decentraal



De energie wordt voornamelijk opgewekt in de stedelijke kern van de MRA.

Energienilieus: Veengolderlandschap



De energie wordt voornamelijk opgewekt in de stedelijke kern van de MRA.

Perspectief 3: Energie volgt Ruimte



De energie wordt voornamelijk opgewekt in de stedelijke kern van de MRA.

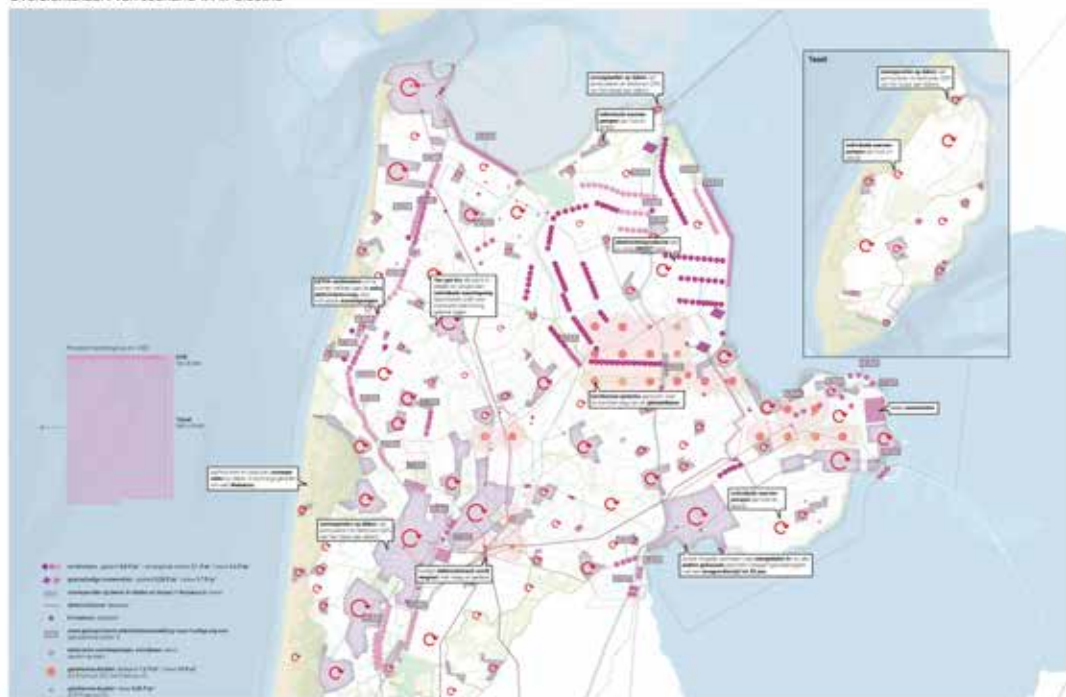
Relatie met andere thema's in de MRA



De energie wordt voornamelijk opgewekt in de stedelijke kern van de MRA.

Regio Noord-Holland Noord

Overzichtskaart van scenario 1: All-electric



Energie en Ruimte Noord-Holland Noord

Juli 2017

STUDIO MARCOVERMEULEN

In opdracht van de provincie Noord-Holland is een studie uitgevoerd naar de mogelijkheden om de energievraag van de regio Noord-Holland Noord te dekken met duurzame energie. De provincie Noord-Holland heeft een ambitieus doel om in 2050 volledig duurzaam te zijn. Dit betekent dat alle energie die wordt gebruikt in de regio uit duurzame bronnen moet komen. Dit document beschrijft de mogelijkheden om de energievraag van de regio te dekken met duurzame energie. Het document is bedoeld voor de provincie Noord-Holland en de gemeenten in de regio.

De provincie Noord-Holland heeft een ambitieus doel om in 2050 volledig duurzaam te zijn. Dit betekent dat alle energie die wordt gebruikt in de regio uit duurzame bronnen moet komen. Dit document beschrijft de mogelijkheden om de energievraag van de regio te dekken met duurzame energie. Het document is bedoeld voor de provincie Noord-Holland en de gemeenten in de regio.

Energievraag 2012



De provincie Noord-Holland heeft een ambitieus doel om in 2050 volledig duurzaam te zijn. Dit betekent dat alle energie die wordt gebruikt in de regio uit duurzame bronnen moet komen. Dit document beschrijft de mogelijkheden om de energievraag van de regio te dekken met duurzame energie. Het document is bedoeld voor de provincie Noord-Holland en de gemeenten in de regio.

Scenario 1: All-electric



In dit scenario wordt de energievraag van de regio Noord-Holland Noord volledig gedekt met duurzame energie. Dit betekent dat alle energie die wordt gebruikt in de regio uit duurzame bronnen moet komen. Dit document beschrijft de mogelijkheden om de energievraag van de regio te dekken met duurzame energie. Het document is bedoeld voor de provincie Noord-Holland en de gemeenten in de regio.

Scenario 2: Collectieve warmte



In dit scenario wordt de energievraag van de regio Noord-Holland Noord gedeeltelijk gedekt met duurzame energie. Dit betekent dat alle energie die wordt gebruikt in de regio uit duurzame bronnen moet komen. Dit document beschrijft de mogelijkheden om de energievraag van de regio te dekken met duurzame energie. Het document is bedoeld voor de provincie Noord-Holland en de gemeenten in de regio.

Scenario 3: Convertie



In dit scenario wordt de energievraag van de regio Noord-Holland Noord gedeeltelijk gedekt met duurzame energie. Dit betekent dat alle energie die wordt gebruikt in de regio uit duurzame bronnen moet komen. Dit document beschrijft de mogelijkheden om de energievraag van de regio te dekken met duurzame energie. Het document is bedoeld voor de provincie Noord-Holland en de gemeenten in de regio.



Illustratie van een woning met zonnepanelen en windmolens in de omgeving.



Overzichtskaart van scenario 1: All-electric



Overzichtskaart van scenario 2: Collectieve warmte

Figuur 1.	Zicht op 'Huntington beach' (Californie, ca 1930)	6
Figuur 2.	1 PJ = x windturbines, x zonneweide, x ha biomassateelt, x kolencentrale	11
Figuur 3.	Veel gebruikte eenheden en waarden	12
Figuur 4.	Omrekenregels	12
Figuur 5.	Vermenigvuldigingsfactoren	12
Figuur 6.	Afkortingen	13
Figuur 7.	Steenkool vs zon-PV kWh/m ²	14
Figuur 8.	Energiegebruik in 2050 (bron: Nationaal Perspectief Energie en Ruimte)	16
Figuur 9.	Stroomversnelling Tiwos Tilburg, Riesjard Schropp	21
Figuur 10.	Ruimtelijke consequenties elektrificatie gebouwde omgeving?	23
Figuur 11.	Energielabel woningen voor en na besparing	24
Figuur 12.	Ruimtelijke effecten besparing	27
Figuur 13.	Besparingspotentie woningbouw	29
Figuur 14.	Kosten besparing per woning	30
Figuur 15.	Percentage van de woningen geschikt voor een warmtepomp	31
Figuur 16.	Mogelijke besparingsopties in de utiliteitssector	32
Figuur 17.	Besparingspotentie in de utiliteitssector	33
Figuur 18.	Luchtfoto van de hoogovens in IJmuiden, Debot / CC-BY-SA-2.5-NL	35
Figuur 19.	Warmtevraag binnen industriële sector/ CO ₂ -emissies industrie	37
Figuur 20.	Indicatieve weergave industrieclusters en netinfrastructuur	39
Figuur 21.	Indicatieve weergave biomassa(import), doorvoer en industrieclusters	41
Figuur 22.	Indicatieve weergave pilots ultradiepe geothermie	43
Figuur 23.	Indicatieve weergave ondergrondse opslagmogelijkheden voor CCS	45
Figuur 24.	Indicatieve weergave zoekgebieden restwarmte in de industrie	47
Figuur 25.	Indicatieve weergave industriële clusters	49
Figuur 26.	Hoogspanningsmast in landelijk gebied, Tineke Dijkstra Fotografie	55
Figuur 27.	Windenergie Flevoland, Rob Poelenjee	58
Figuur 28.	Mogelijke (inter)nationale restricties voor windenergie op de Noordzee (Bron: Ministerie van I&M)	61
Figuur 29.	Energetic Odyssey (H+N+S)	62
Figuur 30.	Oppervlak, restricties en potentie windenergie op zee	64
Figuur 31.	Mogelijke locaties voor windenergie op zee tot 2030	65
Figuur 32.	Impressie windenergie in zeehavens (H+N+S)	66
Figuur 33.	Windenergie op land en ruimtelijke beperkingen	68
Figuur 34.	Impressie nieuwe windlandschappen (Posad)	69
Figuur 35.	Mogelijke beperkingen windenergie op land (2,3MW)	70
Figuur 36.	Mogelijke beperkingen windenergie op land: Natuur, cultuurhistorie en milieu	71
Figuur 37.	Mogelijke beperkingen windenergie op land: Hoogtebeperking en radar	71
Figuur 38.	Mogelijke beperkingen windenergie op land: Gebouwde omgeving	71
Figuur 39.	Mogelijke beperkingen windenergie op land: Infrastructuur	71
Figuur 40.	Windenergie op land buiten restrictiegebieden	72
Figuur 41.	Oppervlak, restricties en potentie windenergie op land	72
Figuur 42.	Windenergie op land op minimaal 500 meter tot alle losse bebouwing	73
Figuur 44.	Oppervlak, restricties en potentie windenergie op land, 500 m tot alle losse bebouwing	73
Figuur 45.	Oppervlak, restricties en potentie windenergie op land, 1.000 m tot alle losse bebouwing	73
Figuur 43.	Windenergie op land op minimaal 1.000 meter tot alle losse bebouwing	73
Figuur 46.	Indicatieve weergave zoekgebieden windbossen	75
Figuur 47.	Impressie windbos (H+N+S)	76
Figuur 48.	Indicatieve weergave zoekgebieden windakkers	78
Figuur 49.	Indicatieve weergave zoekgebieden windenergie langs infrastructuur	79
Figuur 50.	Impressie windenergie langs infrastructuur en op binnenwater (Posad)	80
Figuur 51.	Impressie windenergie op bedrijventerrein (H+N+S)	82
Figuur 52.	Indicatieve weergave zoekgebieden windenergie bij bedrijventerreinen	83
Figuur 53.	Indicatieve weergave windenergie bij ieder dorp in Nederland	84
Figuur 54.	Impressie dorpsmolens	85
Figuur 55.	Indicatieve weergave zoekgebieden windenergie op agrarische erven	86
Figuur 56.	Impressie erfturbine	87
Figuur 57.	Zonnepanelen bij ENGIE Nijmegen, Rob Poelenjee (bron: DGRW)	88
Figuur 58.	Oppervlak, restricties en potentie voor zonnedaken	90
Figuur 59.	Indicatieve weergave zonnedaken in stedelijk gebied	91
Figuur 60.	Impressie zonnedaken (H+N+S)	92
Figuur 61.	Oppervlakte en potentie voor 10% zonne-energie op agrarisch terrein	94
Figuur 62.	Oppervlakte en potentie voor 10% zonne-energie op agrarisch terrein, 500 m vanaf bebouwing	94
Figuur 63.	Oppervlakte en potentie voor 10% zonne-energie op agrarisch terrein, 1.000 m vanaf bebouwing	94
Figuur 64.	Indicatieve weergave zoekgebieden zonne-energie in energielandschappen (Bron: NPER)	95
Figuur 65.	Impressie zonnefolie op bollengrond (Posad)	96
Figuur 67.	Indicatieve weergave zoekgebieden zonne-energie op stortplaatsen	98
Figuur 66.	Oppervlakte en potentie voor zonne-energie op 15% stortplaatsen	98
Figuur 68.	Oppervlakte en potentie voor zonne-energie op 10% agrarisch terrein in gebieden bodemverzilting	99
Figuur 69.	Indicatieve weergave agrarische gronden gevoelig voor verzilting	99
Figuur 70.	Oppervlakte en potentie voor zonne-energie langs infrastructuur	100
Figuur 71.	De grammatica van de snelweg / A37 (Posad)	100

Figuur 72.	indicatieve weergave zoekgebieden zonne-energie langs infrastructuur	101
Figuur 73.	Impressie zonne-energie langs infrastructuur (Posad)	102
Figuur 74.	Oppervlakte en potentie voor zonne-energie op braakliggende terrein	104
Figuur 75.	Indicatieve weergave zoekgebieden zonne-energie op braakliggend terrein	105
Figuur 76.	Impressie zon in duinlandschap (FABRICations)	106
Figuur 77.	Indicatieve weergave zoekgebieden zonne-energie in duinenlandschap	107
Figuur 78.	Oppervlakte en potentie voor zonne-energie op binnenwater	108
Figuur 79.	Indicatieve weergave zoekgebieden zonne-energie op binnenwater	109
Figuur 80.	Impressie zon op binnenwater (Posad)	110
Figuur 81.	Impressie zon op binnenwater (Posad)	111
Figuur 82.	Indicatieve weergave zoekgebied zonne-energie op zee	113
Figuur 83.	Luchtfoto Oosterscheldekering, Thomas Fasting	114
Figuur 84.	Indicatieve weergave potentiële locaties stromingenegie	117
Figuur 85.	Oppervlakte en potentie voor energie uit getijdenverschil	118
Figuur 86.	Indicatieve weergave potentiële locaties voor energie uit getijdenverschil	119
Figuur 87.	Indicatieve weergave potentiële locaties energie uit golfslag	121
Figuur 88.	Indicatieve weergave potentie blue-energy (osmose)	123
Figuur 89.	Geothermische centrale IJsland	124
Figuur 90.	Oppervlak, restricties en potentie voor diepe geothermie	126
Figuur 91.	Indicatieve weergave technische potentie geothermie (Bron: ThermoGIS, 2km diep)	127
Figuur 92.	Kerncentrale Doel, MichelvGiersbergen / CC-BY-SA-4.0	128
Figuur 93.	Indicatieve weergave huidige- en mogelijke toekomstige kerncentrales	131
Figuur 94.	Hoogspanningsmasten, Rob Poelenjee	132
Figuur 95.	Piekvraag naar en piekproductie van duurzame energie (Studio Marco Vermeulen)	134
Figuur 96.	Schematische weergave huidig en gepland 380kV-ring	135
Figuur 97.	Elektriciteitsnetwerk (Studio Marco Vermeulen)	137
Figuur 98.	80MWh Powerpack Station Tesla, Southern California Edison. Bron: Tesla.	138
Figuur 99.	Opslagcapaciteit en duur per opslagtechniek; bron: NUON	139
Figuur 100.	Elektriciteitsopslag in batterijen	140
Figuur 101.	Indicatieve weergave zoekgebieden grootschalige opslag in batterijen	141
Figuur 102.	Impressie (redox) batterij in hal (Posad)	142
Figuur 103.	Impressie elektriciteitsopslag via vliegwiel (Posad)	144
Figuur 104.	Indicatieve weergave potentiële locaties opslag in vliegwielen	145
Figuur 105.	Indicatieve weergave potentiële locaties vloeibare luchttopslag	147
Figuur 106.	Impressie ruimtelijke invloed gecomprieeerde luchttopslag (Posad)	148
Figuur 107.	Indicatieve weergave potentiële locaties gecomprieeerde luchttopslag	149
Figuur 108.	Impressie valmeer opslag en gecomprieeerde luchttopslag (Posad)	150
Figuur 109.	Van windenergie naar waterstof, bron: www.siemens.com/press	152
Figuur 110.	Mogelijke omzettingen van en naar waterstof en daarbij behorende efficiëntie(s)	154
Figuur 111.	Indicatieve weergave potentiële locaties 'Power to Gas' (waterstof)	155
Figuur 112.	Indicatieve weergave potentiële locaties 'Power to Gas' (methaan)	157
Figuur 113.	De aanleg van een lage temperatuur afgiftesysteem, Stuttgart Airport, 2014.	163
Figuur 114.	Het toegenomen CO ₂ gehalte in de atmosfeer,	165
Figuur 115.	PV-productie in Bautou, China, vereist meer dan 50 gevaarlijke chemicaliën in haar productie	166
Figuur 116.	Bronnen van mondiale broeikasgas emissies, 2005	167
Figuur 117.	Benodigde temperatuur	168
Figuur 118.	Schommelingen in de energievraag voor lagere temperatuur warmte	169
Figuur 119.	Warmtebron: restwarmte	170
Figuur 120.	Energie-infrastructuur: warmtenetten	170
Figuur 121.	Afgiftesysteem: vloerverwarming	171
Figuur 122.	Reductie warmtevraag: schilisolatie	171
Figuur 123.	De aanleg van een lage temperatuur afgiftesysteem, Stuttgart Airport, 2014	176
Figuur 124.	Opbouw warmteverbruik per drager, Nederland 2015. (PBL, 2017)	177
Figuur 125.	Er is maatwerk vereist voor sommige warmtevragers. Hoe gaan we om met (UNESCO)erfgoed?	179
Figuur 126.	Individuele maatregelen kunnen voor verrommeling van het straatbeeld zorgen	186
Figuur 127.	Glastuinbouwgebied het Westland, Rob Poelenjee	192
Figuur 128.	Warmteopslag voor 14.000 woningen in Arnhem. Bron: Nuon/Jorrit Lousberg	200
Figuur 129.	Power-to-heat 10.000 m3 warmwateropslag, Neukölln, Duitsland	201
Figuur 130.	Schematische opbouw van een warmtesysteem gevoed door geothermie	217
Figuur 131.	A4 bij avond in de schemer, Tineke Dijkstra	219
Figuur 132.	De Trias Energetica voor mobiliteit	221
Figuur 133.	Logaritmische weergave van de ontwikkeling van gemiddelde afstanden voor iedere transportmodus	222
Figuur 134.	Stedenbouwkundige concepten als reactie op nieuwe vormen van mobiliteit	223
Figuur 135.	De kosten van elektrisch rijden per kilometer zijn vanaf ca. 2020 lager dan fossiel	225
Figuur 136.	wandel- en fietsverbinding richting station Den Haag CS, Bart van Vliet	228
Figuur 137.	Bij kortere afstanden wordt vaker voor de fiets gekozen	229
Figuur 138.	De relatie tussen energieverbruik in mobiliteit en stedelijke dichtheid	230
Figuur 139.	Maximale loopafstand en verzorgingsgebied van voorzieningen. Bron: Sijmons et. Al., 2014	231
Figuur 140.	Loopafstanden tot supermarkten gerelateerd aan dichtheid	232
Figuur 141.	Bestaande en toekomstige suburbane wijk met verdichting en herinrichting buitenruimte	233
Figuur 142.	Bestaande en toekomstige stedelijke wijk met verdichting en herinrichting van de buitenruimte	234

<i>Figuur 143.</i>	<i>Bestaande en toekomstige logistieke hubs (l), potentiële stedelijke hubs en distributienetwerken (r)</i>	<i>236</i>
<i>Figuur 144.</i>	<i>Stedelijke hubs voor uitwisseling van mensen en goederen zorgen voor een flexibeler mobiliteitsketen</i>	<i>236</i>
<i>Figuur 145.</i>	<i>Een nieuw netwerk van corridors en hubs, met laadstroken midden tussen de logistieke centra</i>	<i>237</i>
<i>Figuur 146.</i>	<i>Indicatie van de benodigde hoeveelheid energieopwekking voor diverse brandstofmixen</i>	<i>239</i>
<i>Figuur 147.</i>	<i>De snelweg als energiecridor, waarin het beeld en de functie van tankstations zal veranderen</i>	<i>240</i>
<i>Figuur 148.</i>	<i>Impressie 'duurzame stadswijk' (2020) (H+N+S)</i>	<i>245</i>
<i>Figuur 149.</i>	<i>Besproeiing gewassen, Oostwold, Ivo Vrancken</i>	<i>248</i>
<i>Figuur 150.</i>	<i>Landschap Wijde Wormer, Tineke Dijkstra</i>	<i>252</i>
<i>Figuur 151.</i>	<i>CO₂ productie</i>	<i>254</i>
<i>Figuur 152.</i>	<i>LULUCF landschap met CO₂ buffer als nevenfunctie</i>	<i>256</i>
<i>Figuur 153.</i>	<i>Impressie Rotterdam, daklandschap (H+N+S)</i>	<i>262</i>
<i>Figuur 154.</i>	<i>Impressie koppeling oplossingen klimaatopgave met water-, natuur- of landschapontwikkeling</i>	<i>264</i>
<i>Figuur 155.</i>	<i>Ruimtelijke instrumentenkoffer voor de energietransitie</i>	<i>305</i>
<i>Figuur 156.</i>	<i>Beschikbare ruimte en mogelijke restricties (natuur, milieu, veiligheid, geografie, ecologie)</i>	<i>318</i>
<i>Figuur 157.</i>	<i>Ontwikkeling energievraag naar 2050 i.r.t. autonome groei en besparingsopgave</i>	<i>319</i>
<i>Figuur 158.</i>	<i>Voorbeeld ontwikkeling bandbreedte energievraag</i>	<i>324</i>
<i>Figuur 159.</i>	<i>Voorbeeld ontwikkeling bandbreedte CO₂-neutraal energieaanbod</i>	<i>324</i>
<i>Figuur 160.</i>	<i>Voorbeeld mismatch opgave en invulling als niet met onzekerheid wordt gerekend</i>	<i>324</i>
<i>Figuur 161.</i>	<i>Bouwstenen voor een adaptieve aanpak</i>	<i>325</i>
<i>Figuur 162.</i>	<i>Transitiepad kracht en licht inclusief elektriciteitsopwekking, gebaseerd op 10-pager K&L</i>	<i>327</i>
<i>Figuur 163.</i>	<i>Transitiepad hoge temperatuur warmte, gebaseerd op 10-pager HTW</i>	<i>328</i>
<i>Figuur 164.</i>	<i>Transitiepad voedsel en natuur, gebaseerd op 10-pager</i>	<i>329</i>
<i>Figuur 165.</i>	<i>Transitiepad LTW, gebaseerd op 10-pager</i>	<i>330</i>
<i>Figuur 166.</i>	<i>Transitiepad transport en mobiliteit, gebaseerd op 10-pager</i>	<i>331</i>
<i>Figuur 167.</i>	<i>Voorbeeld van verdere uitwerking adaptieve analyse elektriciteit</i>	<i>334</i>

01. INLEIDING

1. De opdracht is gegeven onder het kabinet Rutte II.
2. Posad, Dirk Sijmons, H+N+S, FABRICations, Studio Marco Vermeulen, NRGlab/Wageningen Universiteit, Generation.Energy en Ruimtevolk
3. De NOVI is de visie van het Rijk op de fysieke leefomgeving. Hierin zullen uitspraken op strategisch niveau worden gedaan voor alle maatschappelijk opgaven met ruimtelijke impact. De NOVI zal sturend zijn voor een samenhangende uitvoering via regelgeving, besluitvorming over concrete initiatieven en de inzet van middelen.
4. Sijmons Et. Al., 2017. Energie en Ruimte: Een Nationaal Perspectief. Vereniging Deltametropool, NL (www.deltametropool.nl/nl/energie_en_ruimte)
5. Ros, J. en B. Daniëls (2017), Verkenning van klimaatdoelen, Den Haag: PBL Planbureau voor de Leefomgeving
6. 1 PJ is 1.000.000.000.000.000 joule.
7. Bij 2240-3200 vollasturen en een windturbine van 3MW
8. Bij panelen met een piekvermogen van 270-420 Wp en 850kwh/kwp. 2 rijen panelen onder een hoek van 35 graden en onderlinge afstand tussen 2 rijen 9 meter.
9. Sijmons Et. Al., 2017. Energie en Ruimte: Een Nationaal Perspectief. Vereniging Deltametropool, NL
10. Lester en Hart (2012)
11. Ros, J. (2011), Naar een schone economie in 2050: routes verkend, Den Haag: PBL Planbureau voor de Leefomgeving.

02. ANALYSE PER FUNCTIONALITEIT

1. RLI, 2015, Rijk zonder CO₂
2. Europese Commissie, 2016, LULUCF-verordening

BESPARING

1. De Europese Unie (EU) heeft doelen vastgesteld voor 2030: EU-ETS -43% en non EU-ETS -33% ten opzichte van 2005, op EU-niveau ten minste 27% hernieuwbare energie en een indicatief doel voor energiebesparing van -30% ten opzichte van 2005. (RLI, Naar een duurzame energievoorziening in 2050, p11)
2. Basisadministratie Adressen en Gebouwen (Kadaster)
3. Energie in de fysieke leefomgeving: Besparen, verkenning van een modelmatige aanpak voor het vinden van besparingskansen in de gebouwde omgeving, Posad iov Min BZK (2016)
4. Cijfers over wonen en bouwen, Min BZK (2012)
5. CBS buurtmonitor 2015
6. Energie in de fysieke leefomgeving: Besparen, verkenning van een modelmatige aanpak voor het vinden van besparingskansen in de gebouwde omgeving, Posad iov Min BZK (2016)
7. LISA database (2010) en Basisadministratie adressen en gebouwen
8. ECN ontwikkeling kentallen utiliteitsgebouwen (2016)

HOGE TEMPERATUUR WARMTE

1. In dit hoofdstuk zijn delen van de 10-pager voor het transitiepad hoge temperatuur warmte (versie 130917) overgenomen om de verschillende bouwstenen te duiden.
2. Decisions on the industrial energy transition (2017), Woerden: VEMW/McKinsey
3. Ros, J. en B. Daniëls (2017), Verkenning van klimaatdoelen, Den Haag: PBL Planbureau voor de Leefomgeving.
4. Decisions on the industrial energy transition (2017), Woerden: VEMW/McKinsey
5. Biomassa, wensen en grenzen (PBL)
6. Maximum bandbreedte PBL
7. Uitgaande van de grootste nu beschikbare containerschepen (ULCV) die nog door het Suez kanaal kunnen
8. <https://fd.nl/ondernemen/1220263/steeds-meer-grote-containerschepen-in-rotterdamse-haven>

9. <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2017/06/19/mogelijk-30-van-industriële-warmtevraag-door-ultradiepe-geothermie>
10. Stremke, Sven, Andy Van Den Dobbelsteen, and Jusuck Koh. 2011. "Exergy Landscapes: Exploration of Second-Law Thinking" *International Journal of Exergy* 8 (2): 148. doi:10.1504/IJEX.2011.038516.
16. Deltares, 2008, Water als bron van duurzame energie
17. Deltares, 2008, Water als bron van duurzame energie
18. Deltares, 2008, Water als bron van duurzame energie
19. IF, Ecofys, TNO, 2011, Diepe geothermie 2050
20. Bij 7.000 vollastuur

KRACHT EN LICHT (ELEKTRICITEIT)

1. Ros, J. en B. Daniëls (2017), Verkenning van klimaatdoelen, Den Haag: PBL Planbureau voor de Leefomgeving.
2. Bij huidig elektriciteitsverbruik van ongeveer 370 PJ.
3. Uitgangspunt is hier dat de 12 mijlszone zoveel mogelijk gevrijwaard blijft
4. Al het water binnen de Nederlandse basislijn, bijvoorbeeld ook het IJsselmeer en de Waddenzee.
5. <https://www.windstats.nl>
6. Dirk Sijmons (2017), Energie tekent het landschap
7. Sijmons Et. Al., 2017. Energie en Ruimte: Een Nationaal Perspectief. Vereniging Deltametropool, NL
8. Sijmons Et. Al., 2017. Energie en Ruimte: Een Nationaal Perspectief. Vereniging Deltametropool, NL
9. Sijmons Et. Al., 2017. Energie en Ruimte: Een Nationaal Perspectief. Vereniging Deltametropool, NL
10. CBS: Hernieuwbare elektriciteit; productie en vermogen
11. Spatial transition analysis, Oudes en Stremke, 2017
12. 90 PJ bij huidige efficiëntie van ongeveer 15% en 150 PJ bij 26%
13. Sijmons Et. Al., 2017. Energie en Ruimte: Een Nationaal Perspectief. Vereniging Deltametropool, NL
14. Ecofys, NWP, Blueconomy, 2014, Marktkansen en bijdrage aan verduurzaming van innovatieve technologie voor energie met water
15. Deltares, 2008, Water als bron van duurzame energie
21. Stichting Platform geothermie, 2012, Handboek Geothermie in de gebouwde omgeving
22. CBS Staline, energiebalans
23. Elektriciteitsdistributienetten, KluwerTechniek, EnergieNed
24. Ecofys, 2016, Waarde van congestiemanagement

LAGE TEMPERATUUR WARMTE

1. AGENTSCHAP NL, (2016) www.warmteatlas.nl
2. AGENTSCHAP NL & Ministerie EL&I (2015) Geothermie voor de industrie. Kosten per KW, vollasturen en Vermogensrange.
3. AGENTSCHAP NL & Ministerie EL&I (2014) Biogas-warmtekrachtkoppeling (WKK) voor een wijk
4. CE DELFT (2017) Socialiseren van netkosten van warmtenetten
5. DOBBELSTEEN, A.A.J.F. van den, TILLIE, N.J.M.D. (2011) Energetic Urban Planning, a novel approach to carbon-neutral cities. Delft University of Technology.
6. ECOFYS & GREENVIS (2016) Collectieve warmte naar lage temperatuur; een verkenning van mogelijkheden en routes
7. ECOFYS (2017) Energietransitie en Ruimtegebruik
8. HEYNEN, R. (2017) Nationaal Warmtenet Trendrapport 2017
9. PLANBUREAU VOOR DE LEEFOMGEVING (2017) Toekomstbeeld Klimaatneutrale warmtenetten in Nederland
10. PLANBUREAU VOOR DE LEEFOMGEVING (2016) Opties voor energie- en klimaatbeleid
11. PLANBUREAU VOOR DE LEEFOMGEVING (2014) Functioneel ontwerp VESTA 2.0
12. PLANBUREAU VOOR DE LEEFOMGEVING (2013) VESTA, Ruimtelijke Energiemodel voor de Gebouwde Omgeving, Uitbreiding en dataverificaties
13. MINISTERIE VAN I&M (2016) Energierapport Transitie naar duurzaam
14. UNIE VAN WATERSCHAPPEN (2016) Landelijke verkenning warmte en koude uit het watersysteem
15. VERENIGING DELTAMETROPOOL (2016) NOVI NU, 4 essays
16. VESTA (2015) Kosten secundaire warmtenetten per PCO4-gebied, November 2015)
17. VESTA (2015) Warmtevraag in GJ/jaar per PCO4-gebied, Oktober 2015)
18. VESTA (2015) GIS Puntbronnen restwarmte Nederland, November 2015)

TRANSPORT EN MOBILITEIT

1. Autorai, 2016. 10 feiten over het nederlands wegverkeer – CBS presenteert rapport 'Transport en Mobiliteit 2016'. <https://autorai.nl/nederlandse-verkeer-cijfers/>
2. Sijmons Et. Al., 2017. Energie en Ruimte: Een Nationaal Energie Perspectief. Vereniging Deltametropool, NL
3. CBS / CLO, 2016. Energiegebruik door verkeer en vervoer. <http://www.clo.nl/indicatoren/nl003024-energieverbruik-door-verkeer-en-vervoer>
4. Sijmons et. Al., 2014. Landschap en Energie. NAI010, NL
5. Ministerie van I & M, 2014. Een brandstofvisie met LEF.
6. Verbeek et. al., 2015. Energie- en milieu aspecten van elektrische personenvoertuigen. TNO, NL
7. Sijmons et. Al., 2014. Landschap en Energie. NAI010, NL
8. Bojada en Clerx, 2014. Het succes van RandstadRail in de regio Rotterdam: Zijn de vervoersprognoses uitgekomen? cVs, NL
9. Claudel and Ratti, 2015. Full speed ahead: how the driverless car could transform cities. McKinsey & company, US.
10. Inno-V, 2006, De deelauto in de binnenstad van Amsterdam
11. MIT,..?
12. Erich & Witteveen, 2017. Breakthrough of electric vehicle threatens European car industry. ING, NL
13. Wikipedia, Vehicle 2 grid. <https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle-to-grid>
14. Rijkswaterstaat, 2016. Verkenning dynamisch laden op rijkswegen.
15. CE Delft, 2014. CO₂ reductie door gedragsverandering in de verkeerssector
16. CBS, 2008. Fietsen naar het werk populair bij kleine afstanden
17. Hilbers et. Al; 1999. EVALUATIE MOBILITEITSGEDRAG BEWONERS VINEX-LOCATIES -Methodiekontwikkeling en toepassing. cVs, NL

18. Van den Boomen, 2017. Mobiliteit is de olifant in de kamer van energietransitie. Blauwe Kamer #3, p65, Blauwdruk, NL
19. Newman & Kenworthy, 1989. Cities and automobile dependence: an international sourcebook. Avebury Technical, GB
20. Newman & Kenworthy, 1989, Cities and automobile dependence: an international sourcebook. Avebury Technical, GB
21. Hilbers, Snellen, 2009. Mobiliteit beïnvloeden met ruimtelijk beleid, openbaarvervoeraanbod of prijsbeleid. Doen of niet doen? PBL, NL
22. Sijmons et. Al., 2014. Landschap en Energie. NAO10, NL
23. PBL, 2016. 'Transformatiepotentie: woningbouwmogelijkheden in de bestaande stad'.
24. Rijksoverheid, 2014. Aanpak bevolkingsdaling. <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/bevolkingskrimp/aanpak-bevolkingsdaling>
25. CPB / PBL, 2016. Regionale ontwikkelingen en verstedelijking.
26. PBL, 2016. Opties voor klimaatbeleid.
27. Jan Stroeken, 2015. Ligt de toekomst bij online boodschappen doen? Trouw, NL. <https://www.trouw.nl/home/licht-de-toekomst-bij-online-boodschappen-doen-~aa60fd65/>
28. Gemeente Rotterdam, 2014. Urban Metabolism - sustainable development of Rotterdam.
29. TNO & CE Delft, 2014. Factsheets voor brandstoffen voor het wegverkeer 2014
30. TNO, 2015. Energie- en milieu-aspecten van elektrische personenvoertuigen.
31. Birgen & Garcia, 2013. Liquefied Synthetic Natural Gas from Woody Biomass - Investigation of Cryogenic Technique for Gas Upgrading. Chalmers University of Technology, Gotenburg, SW
32. PBL, 2014. Bio-energie teelt, een onuitputtelijke bron
33. Let op: deze cijfers geven alleen een indicatie van de potentiële ruimtelijke verschillen, maar kunnen niet een op een in een breed rekenmodel gestopt worden omdat opslag, transport en conversieverliezen in andere transitiepaden ingecalculleerd worden.
34. Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport

VOEDSEL EN NATUUR

1. Tot 2025 zo'n 30.000 ha voor woningbouwopgave 600.000 woningen (NOVI startnota) bij gelijkblijvende woningdichtheid; tot 2027 zo'n 56.000 ha voor natuur (<http://www.ipo.nl/publicaties/realisatie-natuurnetwerk-nederland-op-schema>); stelpost 28.000 ha voor 50 PJ zonneweides (500 MW/ha, <http://edepot.wur.nl/336567>); 50.000 ha bos (zie maatregel 100.000 ha, deel al in 56.000 ha natuurnetwerk, deel niet op landbouwgrond).

04. INSTRUMENTEN EN GOVERNANCE

1. Provincies zijn verplicht om per 1-1-2021, als de Omgevingswet wordt ingevoerd, een vastgestelde omgevingsvisie te hebben. Gemeenten hebben een overgangsrecht tot 1-1-2024.
2. Het is echter mogelijk dat deze waarden doorwerken en zo gaan gelden voor (besluiten van) een decentraal bestuursorgaan. Het Rijk kan met instructieregels of beoordelingsregels voor omgevingsvergunningen ervoor zorgen dat omgevingswaarden ook gelden voor besluiten van gemeenten, provincies en waterschappen. Op haar beurt kan een provincie dat ook, zodat provinciale omgevingswaarden kunnen gelden voor een gemeente of waterschap
3. Dit kan alleen als de aansluitplicht voor bestaande woningen uit de Gaswet is vervangen door een breder aansluitrecht, zoals in de Energieagenda is beschreven. Daarnaast moet aan een paar voorwaarden zijn voldaan zoals dat er volwaardig alternatief moet zijn voor de wijk én inwoners mogen hierdoor financieel niet onevenredig zwaar worden getroffen. Dit betekent bijvoorbeeld dat de gemeente financiële instrumenten beschikbaar stelt om de energiematregelen voor inwoners mogelijk te maken. zie meer: <http://stroomversnelling.nl/omgevingswet/>
4. De omgevingsvergunning wordt opgesteld door de Gemeente, behalve als de wetgever in de AMvBs (Algemene Maatregelen van Bestuur) het waterschapsbestuur, het college van Gedeputeerde Staten of een minister als vergunningverlener aanwijst. Gemeenten hebben vergunningverlening vaak regionaal georganiseerd in een omgevingsdienst.
5. quote uit publicatie Energie & Ruimte.
6. PBL (2017), Het handelingsperspectief van gemeenten in de energietransitie naar een duurzame warmte- en elektriciteitsvoorziening: een onderzoek naar 10 stadswarmte- en 9 windenergiecasussen. Juli 2017. Den Haag: PBL.
7. Met de wijziging van de Aanbestedingswet 2012 is EMVI de overkoepelende term geworden voor alle gunningscriteria (Beste PKV, de laagste prijs en de laagste (levenscyclus) kosten).
8. Rutgers, J. & S. de Vries (2017), De belofte van de Regiodeal: waarom Rijk en regio's hun agenda's moeten koppelen. NL 1 (1), pp.10-13.
9. <http://www.regionale-energiestrategie.nl/Bestanden/Slim-Schakelen.pdf>
10. Posad (2017), Vergelijking pilot-regio's Regionale Energiestrategie

Copyrights instrumentenkoffer

Het auteursrecht voor de instrumentenkoffer berust bij RUIMTEVOLK. Hierbij geldt het creative commons-principe: naamsvermelding, niet-commercieel gebruik en gelijk delen. RUIMTEVOLK is niet aansprakelijk voor eventuele fouten of onvolledig opgenomen informatie, noch kunnen aan de inhoud van deze instrumentenkoffer rechten worden ontleend.

Copyrights icoontjes instrumentenkoffer

Symbool Ruimtelijk beleid: *Atif Arshad, AE, Office-6 Collection*

Symbool Financieel: *Agni, 2017*

Symbool Arrangementen: *Vectors Market, Discussion Glyph Icon Collection*

Symbool Kennis: *Juan Manjarrez, CO*

Symbool Competenties & Vaardigheden: *Tomas Knopp, CZ Business Collection*

Symbool Verhaal & Storytelling: *Arthur Shlain, IL*

06. BIJLAGEN

1. Zie ook p.4 Rapport PBL
2. Ook vanuit ruimtelijk perspectief worden op dit moment verschillende opties inzichtelijk gemaakt. (Posad, HNS, Fabric, SMV, Ruimtevolk, NRGlab)
3. Beperkingen rond maximaal in te zetten potentieel
4. H+N+S Landschapsarchitecten en Ecofys (2015)
5. Biomassa, wensen en grenzen (PBL)
6. Uitgaande van de grootste nu beschikbare containerschepen (ULCV) die nog door het Suez kanaal kunnen
7. Sijmons Et. Al., 2017. Energie en Ruimte: Een Nationaal Perspectief. Vereniging Deltametropool, NL
8. Zie ook de Energetic Odyssey (H+N+S Landschapsarchitecten, Ecofys en Tungsten Pro)
9. Nationaal Perspectief Energie en Ruimte
10. Nationaal Perspectief Energie en Ruimte
11. Posad (2017), Vergelijking pilot-regio's Regionale Energiestrategie

Posad Spatial Strategies / Generation.Energy

Taco Kuijers, Boris Hocks, Jaap Witte,
Francesca Becchi

FABRICations

Rens Wijnakker, Eric Frijters, Sam Zeif

H+N+S landschapsarchitecten

Jasper Hugtenburg, Joppe Veul, Arjen Meeuwse

Dirk Sijmons

Dirk Sijmons

Studio Marco Vermeulen

Marco Vermeulen, Bram Willemse

NRGLab / Wageningen Universiteit

Sven Stremke, Dirk Oudes

Ruimtevolk

Brechtje van Boxmeer, Robbin Knuivers,
Sjors de Vries

Opdrachtgevers:

Ministerie van IenM

Elien Wierenga, (elien.wierenga@minienm.nl)

Ministerie van EZ

Lennert Goemans (l.goemans@minez.nl)

Ministerie van BZK

David van der Woude
(davidbenjamin.woude@minbzk.nl)

Datum:

21-02-2018

ISBN:

978-90-828256-0-2

Tekst- en beeldverantwoording

Energiebesparing

Posad Spatial Strategies / Generation.Energy

Hoge temperatuur warmte

NRGLab / Wageningen Universiteit
kaarten (Posad Spatial Strategies)

Kracht en Licht (elektriciteit)

Posad Spatial Strategies / Generation.Energy
axonometrieën wind (H+N+S)
axonometrieën zon (FABRICations)

Lage temperatuur warmte

Studio Marco Vermeulen

Transport en Mobiliteit

FABRICations

Voedsel en Natuur

H+N+S landschapsarchitecten

Integrale denkrichtingen

Boris Hocks, Jasper Hugtenburg, Taco Kuijers,
Dirk Sijmons, Rens Wijnakker, Sven Stremke,
Marco Vermeulen

Instrumenten / governance

Ruimtevolk

Adaptiviteit

Gigi van Rhee (Stratelligence)

Projectleiding en redactie

Posad Spatial Strategies

Grafisch ontwerp

Posad Spatial Strategies

Beelden

De meeste beeldrechten zijn van de leden van het consortium. Voorzover dat niet het geval is hebben we geprobeerd de beeldmakers te achterhalen en de bron aangegeven bij de betreffende beelden.

