Ruimtelijke Strategie voor het Energiesysteem

Ruimtelijke en beleidsmatige gevolgen van keuzemogelijkheden rondom het energiesysteem

Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties

Maart 2021

GENERATION .ENERGY
Bright
GROEN LICHT

Inhoud

	Inleiding	3
01	**Vuistregels**	**4**
	Keuzemogelijkheden en gevolgen	5
02	**Energiesysteem ruimtelijk in beeld**	**13**
	Een schematisch energiesysteem	14
	Onderlinge afhankelijkheden	18
03	**Ruimtegebruik**	**23**
	Ruimtebeslag per onderdeel	24
04	**Ruimtelijke consequenties**	**32**
	Ruimtelijke effecten van een systeem	33
05	**Beleidsinstrumenten**	**58**
	Knoppen en beleidsinstrumenten	59
	Afwegingen systeem en ruimte	60
06	**Aanbevelingen**	**61**

Inleiding

Het maken van keuzes over de verdeling van vraag en aanbod in het energiesysteem heeft vergaande consequenties, en deze zijn niet altijd duidelijk in beeld. Door een specifieke vrager te koppelen aan een bepaalde bron worden andere vragers benadeeld. Dan wel bewust of onbewust. Het kiezen voor de meest geschikte gebruiker voor een specifieke bron, vraagt elders om alternatieven. Deze studie brengt in kaart wat de ruimtelijke consequenties zijn van deze alternatieven.

Het maken van goede afwegingen in de energietransitie vraagt om een brede systeemblik. Keuzes hebben immers onderlinge verbanden: een keuze kan een andere keuze mogelijk of juist onmogelijk maken. Om een brede systeemblik te ondersteunen, brengt deze studie eerst het energiesysteem schematisch in beeld. Deze schematische weergave geeft inzicht in de verschillende onderdelen van het energiesysteem. Daarbij geeft het weer hoe deze onderdelen zich tot elkaar verhouden. Het schema heeft als doel de bekende en wellicht minder bekende verbindingen te laten zien. Deze verbindingen kunnen namelijk wel grote ruimtelijke invloeden hebben.

Inzicht in ruimtelijke consequenties

Het doel van deze studie is het ontwikkelen van een systematiek die inzicht biedt in de ruimtelijke implicaties die volgen uit keuzes in het energiesysteem. Dit project heeft dus niet als doel een toetsingskader te leveren, het is geen blauwdruk voor een optimaal energiesysteem, en geeft geen set van ‘optimale’ keuzes. Wat het onderzoek wel brengt is inzicht in de ruimtelijke consequenties die optreden wanneer een actor een keuze maakt in het energiesysteem.

Drie stappen

De studie is uitgevoerd volgens drie iteraties, met elk dezelfde stappen maar een ander doeleinde. De eerste iteratie richt zich op het samenbrengen van sectorale data. In de tweede iteratie ligt de focus op het inzichtelijk maken verschillende afhankelijkheden in het systeem en daarmee de invloed die beslissingen op elkaar hebben. De laatste iteratie is een verdieping naar wat een aantal specifieke afhankelijkheden betekent door verschillende schalen heen.

Leeswijzer

Dit rapport volgt de volgende verhaallijn: allereerst worden vuistregels toegelicht, die naar voren komen door deze studie. Vervolgens wordt verteld hoe dit precies in detail zit. Eerst kijkt de studie naar het energiesysteem zelf. Wat is precies het energiesysteem? Uit welke elementen bestaat dit? En wat zijn onderlinge afhankelijkheden? Vervolgens wordt met een meer ingezoomde blik gekeken naar waar keuzes in het systeem liggen. Wat gebeurt er ruimtelijk bij een interventie binnen dit systeem? Hierna volgt een stap in hoe deze keuzes en consequenties te sturen zijn aan de hand van knoppen en beleidsinstrumenten. Daarbij wordt ook de afweging benoemd tussen ruimtelijk en niet-ruimtelijke keuzes. Ten slotte volgen er vragen voor nader onderzoek en vervolg.

01 Vuistregels

Keuzemogelijkheden in het energiesysteem hebben verschillende ruimtelijke gevolgen. Wat voor een ruimtelijke implicaties zijn dit precies?

Keuzemogelijkheden en gevolgen

Vuistregels

Op de volgende pagina's volgen 'vuistregels' van keuzemogelijkheden in het energiesysteem en de ruimtelijke gevolgen daarvan. De vuistregels zijn een visuele weergave hiervan en vertellen de essentie. Dit gaat over deze onderstaande voorbeelden:

- **Hoeveel huizen kun je verwarmen met 1 TWh warmte?**

Aanname: warmtevraag per huishouden

- **Hoeveel hernieuwbare energiebronnen zijn 1 TWh?**

- **Wat is het effect op de ondergrond?**

Aanname: gemiddeld energieverbruik huishouden en auto via thuisladen

- **Een warmtenet aansluiten of all-electric?**

Aanname: verbruik huishoudens elektriciteit, ruimteverwarming en tapwater

- **Hoeveel ruimte zijn verschillende warmtealternatieven?**

Aanname: warmtevraag huishouden, installatietechniek, efficiëntie energiedrager

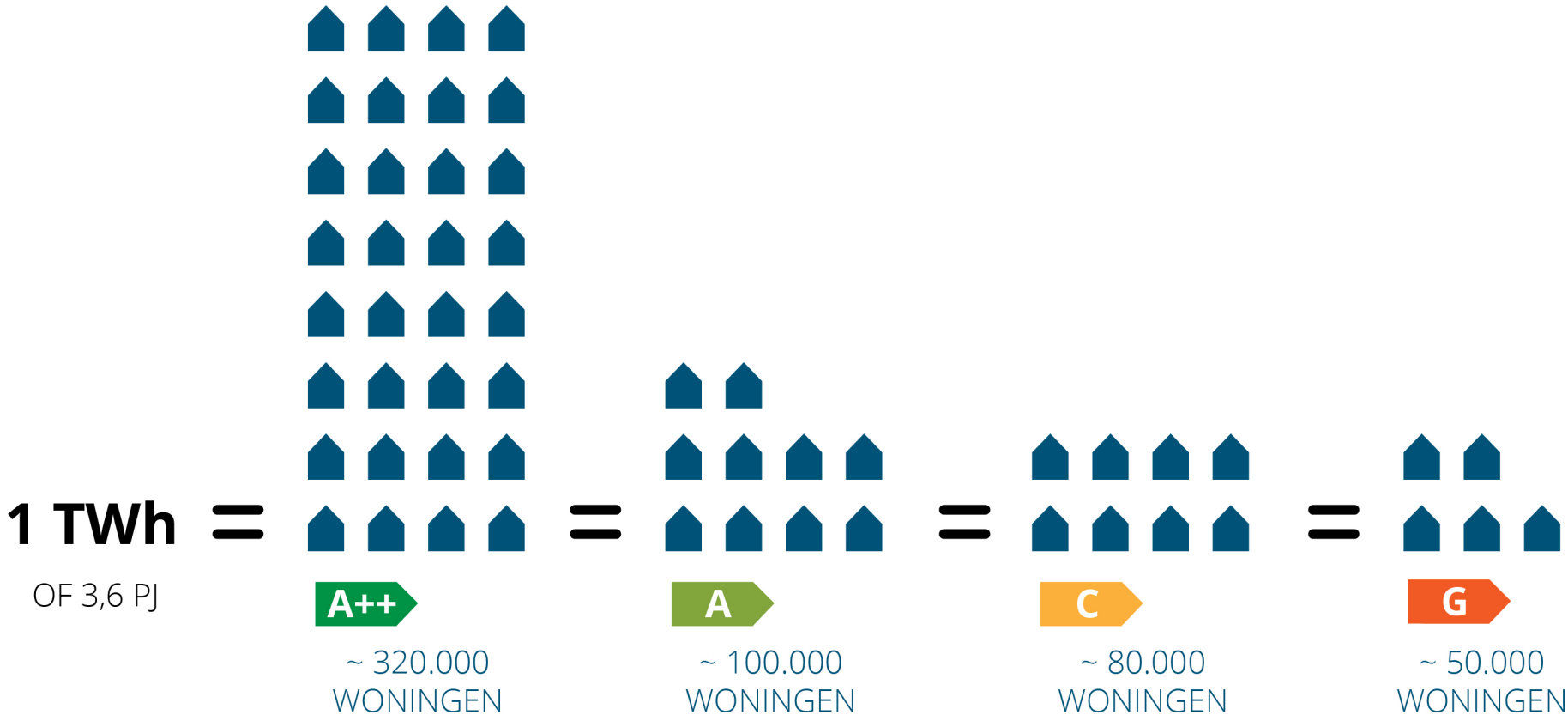
- **Hoeveel huizen kun je verwarmen per energiebron?**

Aanname: 1 TWh warmte, rendement warmtetechniek, ruimteverwarming huishoudens

- **Waterstofproductie op land of op zee?**

Aanname: rendement warmteverlies en warmtevraag huishoudens

Hoeveel huizen kun je verwarmen met 1 TWh warmte?

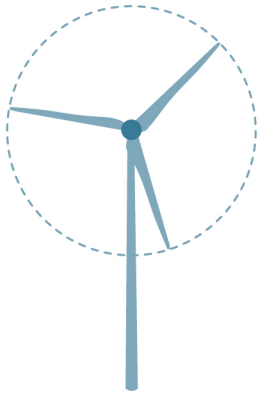


10.000 huishoudens

GENERATION .ENERGY Bright GROEN LICHT

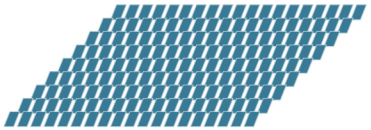
Hoeveel hernieuwbare energiebronnen zijn 1 TWh?

1 TWh =



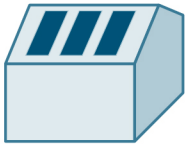
~ 56
WINDTURBINES
(5,6 MW)

=



~ 1000 - 1800
HA ZONNEVELD

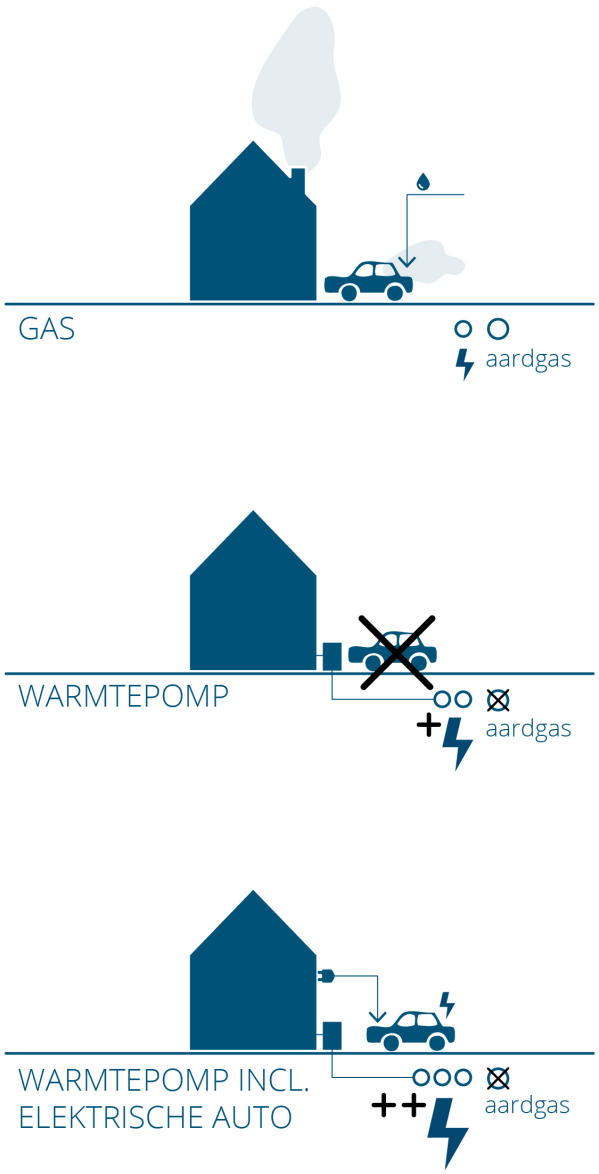
=



~ 350.000
WONINGEN MET
ZONNEDAKEN

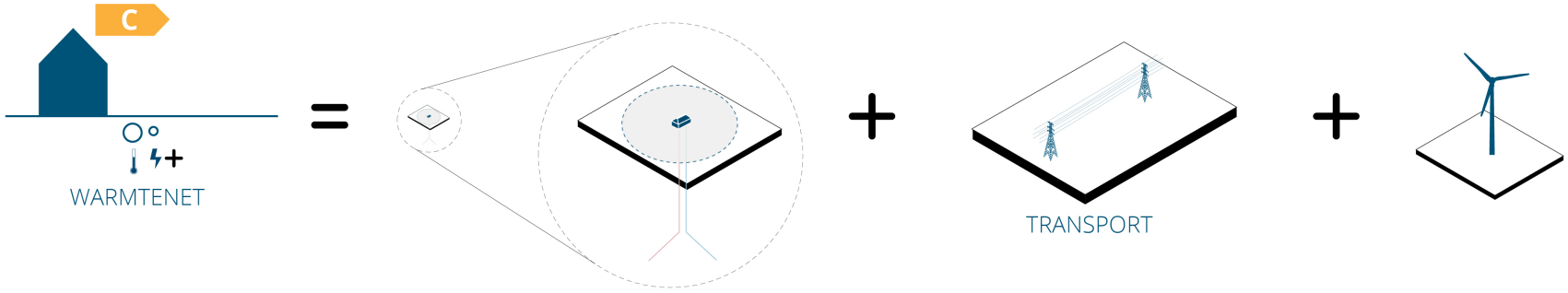
GENERATION .ENERGY Bright GROEN LICHT

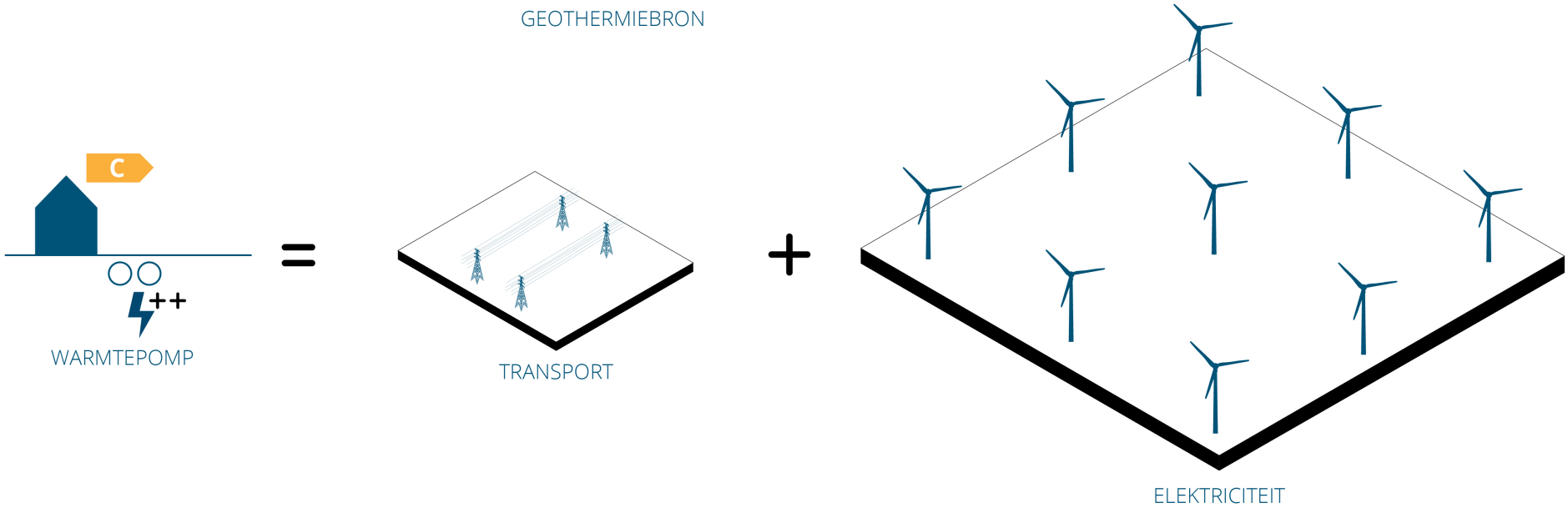
Wat is het effect op de ondergrond?



GENERATION .ENERGY Bright GROEN LICHT

Een warmtenet aansluiten of all-electric?

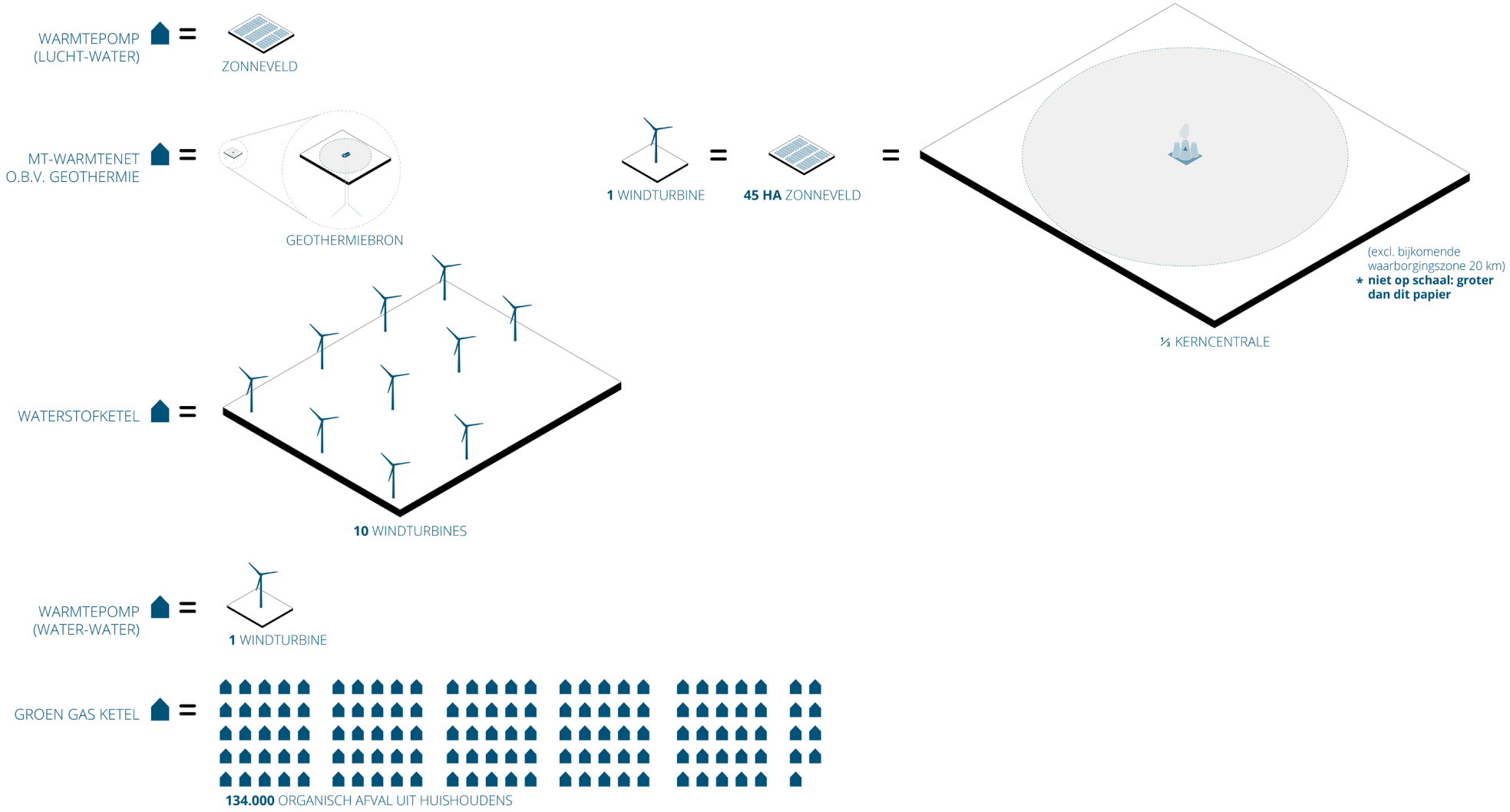




10.000 huishoudens

GENERATION .ENERGY Bright GROEN LICHT

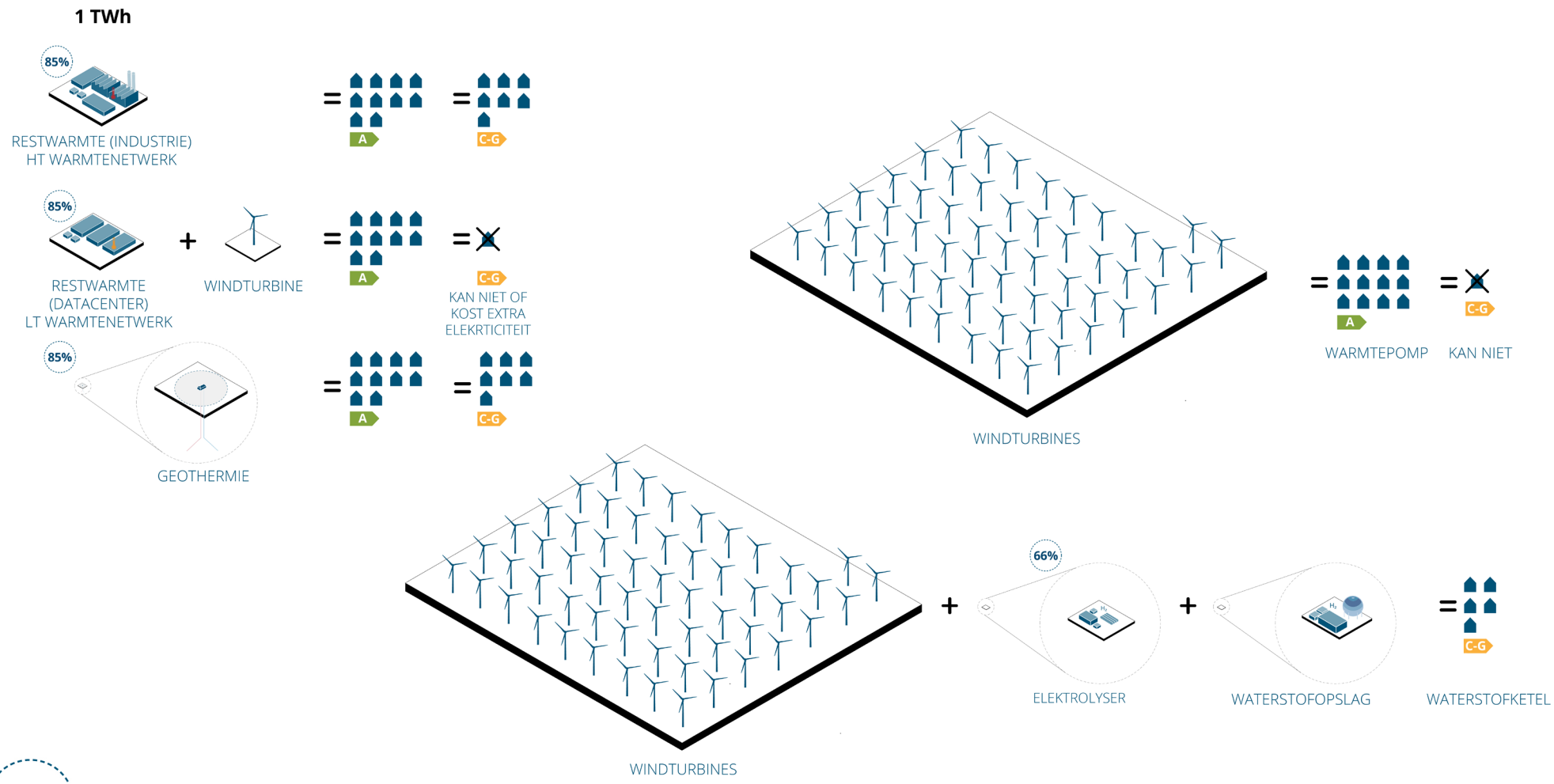
Hoeveel ruimte zijn verschillende warmtealternatieven?



10.000 huishoudens

GENERATION .ENERGY Bright GROEN LICHT

Hoeveel huizen kun je verwarmen per energiebron?



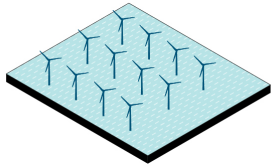
% rendement

10.000 huishoudens

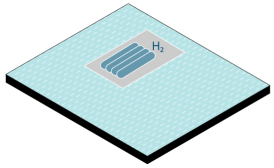
Waterstofproductie op land of op zee?

1 TWh

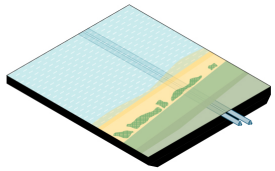
Waterstofproductie op zee



WINDTURBINES OP ZEE



WATERSTOFPRODUCTIE OP ZEE, GEBRUIK RESTWARMTE IN PRODUCTIEPROCES

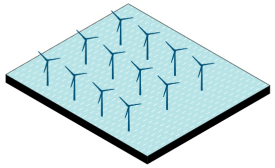


AANLANDING GAS

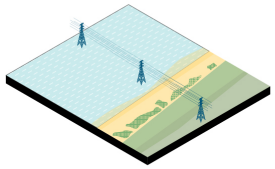
= ✕

GEEN RESTWARMTE VOOR WONINGVERWARMING

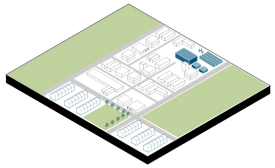
Waterstofproductie op land



WINDTURBINES OP ZEE



AANLANDING ELEKTRICITEIT



WATERSTOFPRODUCTIE OP LAND

= A

VERWARMEN MET RESTWARMTE ELEKTROLYSE

10.000 huishoudens

GENERATION .ENERGY Bright GROEN LICHT

02 Energiesysteem ruimtelijk in beeld

De verschillende onderdelen van het energiesysteem samengevoegd maken een schema, zoals weergegeven op de volgende pagina's. Het geeft de elementen weer, maar doet nog geen uitspraken over de onderlinge relatie of ruimtelijke kenmerken.

Het energiesysteem ruimtelijk in beeld is ook interactief te zien op de website www.ruimtevoorenergie.nl.

Een schematisch energiesysteem

Vraag en aanbod

Het energiesysteem heeft een aanbodkant. Via deze bronnen komt energie beschikbaar in de vorm van warmte, elektriciteit of beide. De symbolen in de illustratie geven de verschillende vormen van energieopwekking weer: geothermie, aquathermie, biomassa, windturbines, zonnepanelen, waterkracht, kernenergie of fossiele brandstoffen.

Anderzijds heeft het energiesysteem een vraagkant. Dit zijn de gebruikers die behoefte hebben aan warmte, elektriciteit of beide. Energie wordt gebruikt voor productie in industrie of andere bedrijvigheid, verblijf en comfort binnen bebouwing of mobiliteit.

Transport, opslag en conversie

De vraag en het aanbod worden verbonden via energie-infrastructuren. Elektronen via hoogspanningsleidingen en moleculen door gasleidingen en/of warmtenetten.

Binnen transport kan energie worden opgeslagen in verschillende vormen, die afhankelijk zijn van schaal en tijdsspanne. Voorbeelden zijn batterijen, gascavernes, WKO, waterstof of elektrische auto’s via bidirectioneel laden.

De conversie van energie geeft flexibiliteit aan het systeem. Waterstof, of andere vormen van Power-to-Gas (P2G), maar ook restwarmte en biomassa zorgen voor een uitwisseling van elektronen en moleculen.

Fig. 1 Vraag en aanbod

Het energiesysteem bestaan uit bronnen (aanbod) en gebruikers (vraag). Deze hebben beide een invloed op de ruimtelijke gevolgen. Dit zit namelijk zowel in de keuzes voor een bron, als de keuzes die we maken aan de vraagzijde.

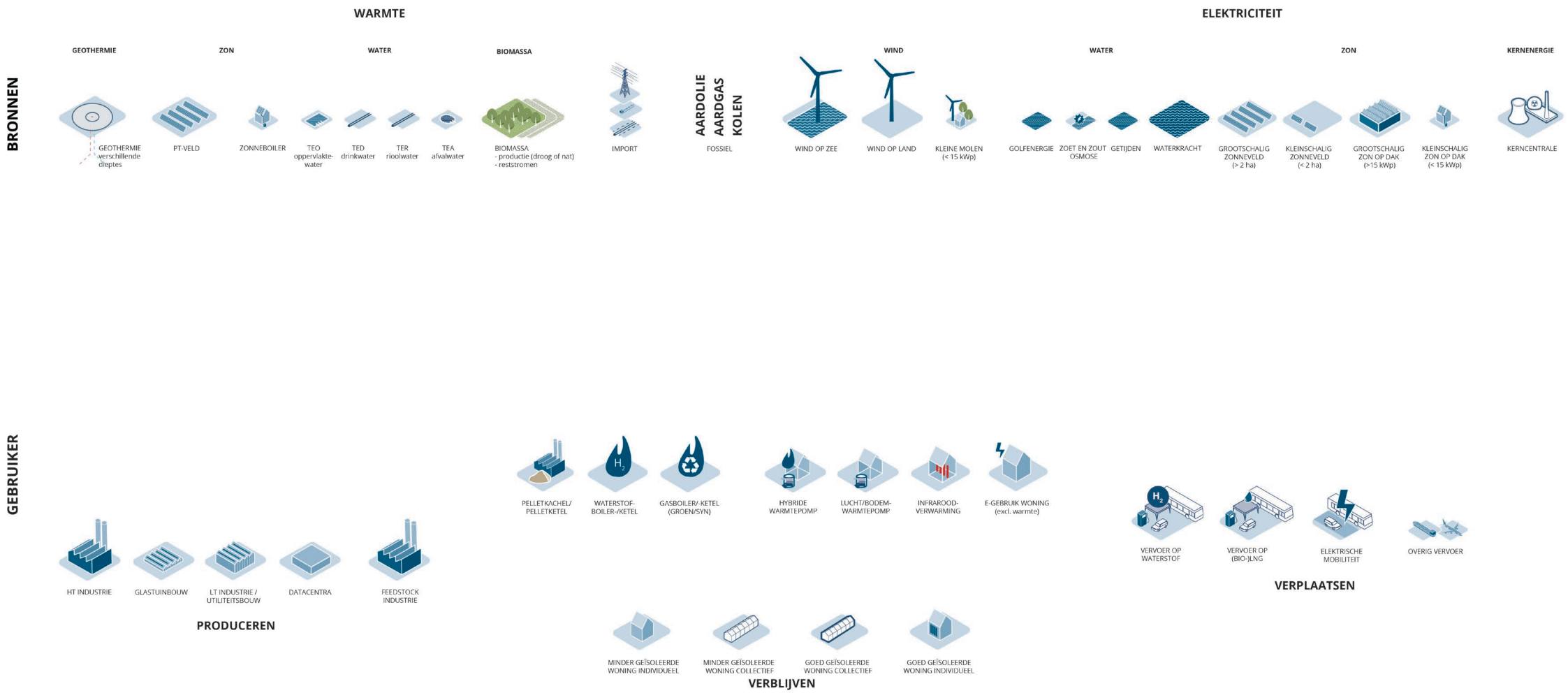


Fig. 2 Transport, opslag en conversie

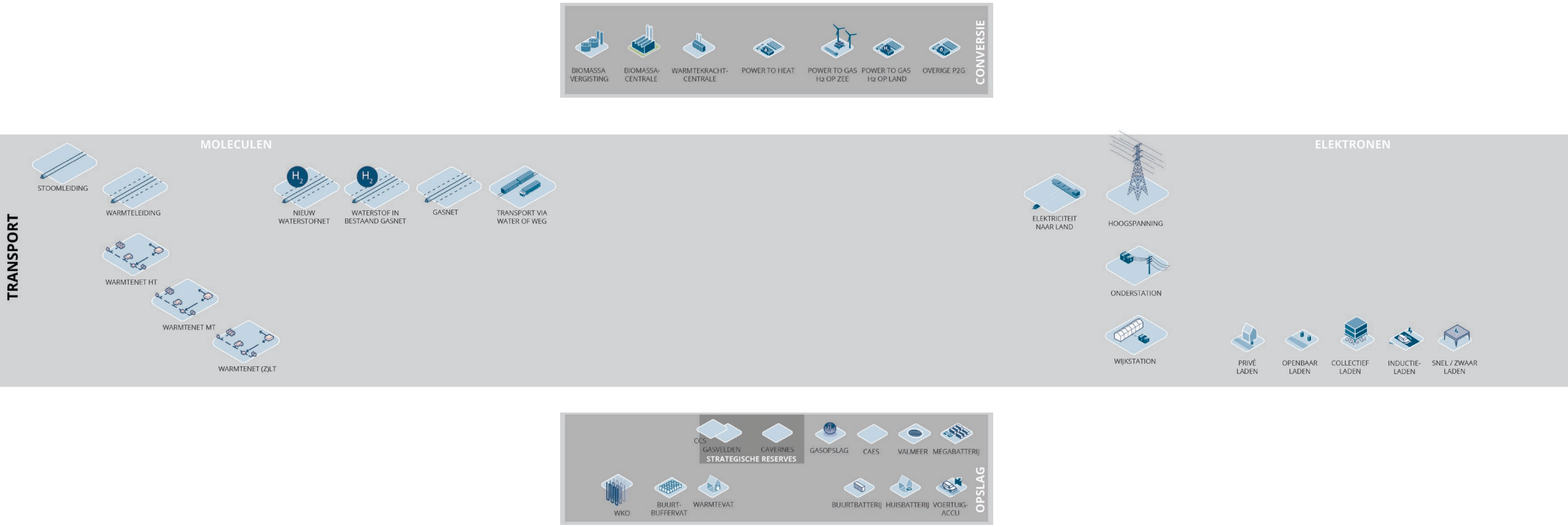
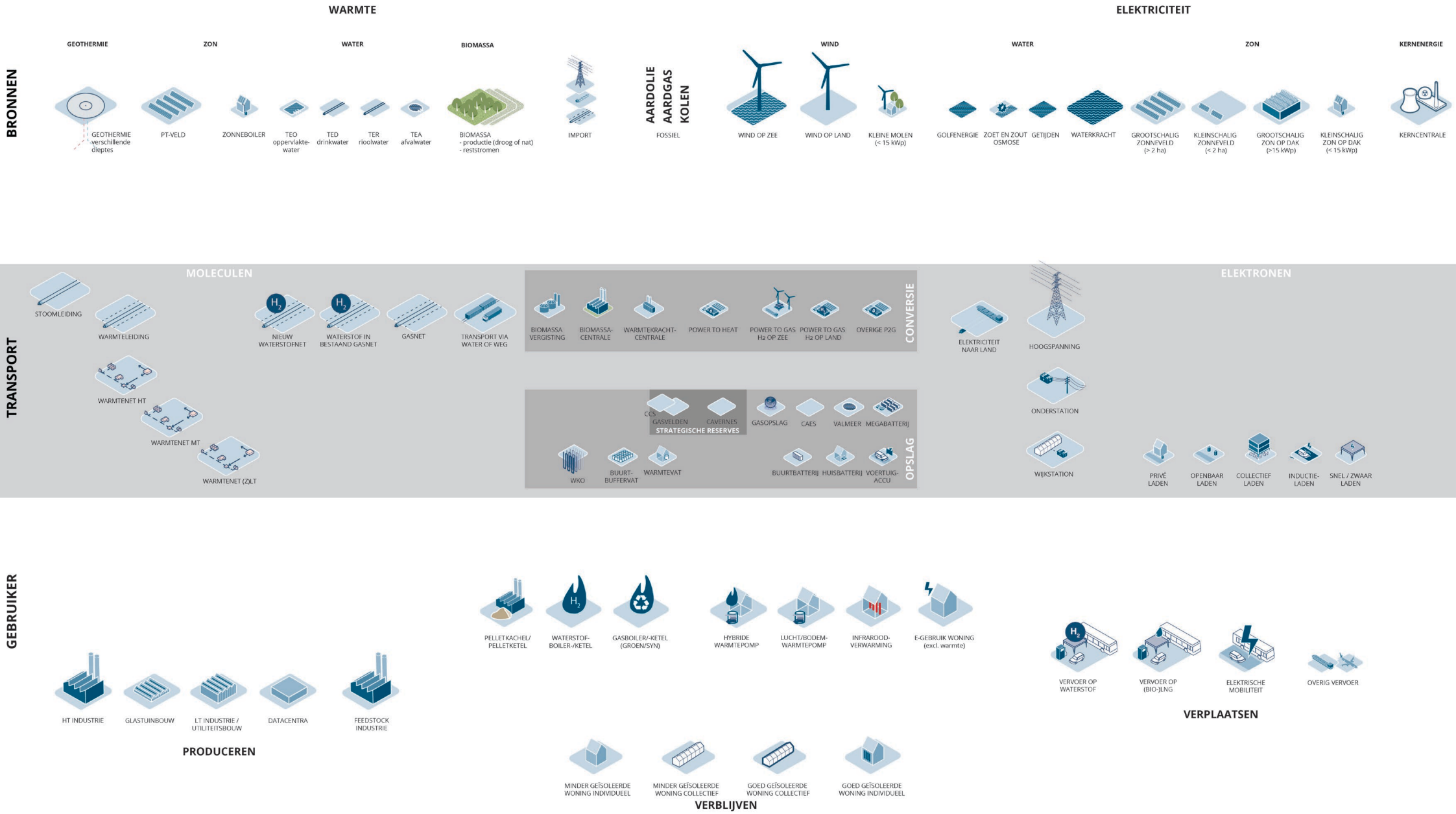


Fig. 3 Een schematisch energiesysteem



Onderlinge afhankelijkheden

Systematische verbindingen

Niet elke bron is met elke gebruiker te verbinden. Ook omgekeerd past niet elke vraag past bij elk aanbod. Sommige energiebehoeftes zijn alleen via specifieke bronnen te voorzien, en zo zijn sommige bronnen alleen geschikt voor bepaalde gebruikers. Zo ontstaan binnen het energiesysteem netwerken van onderlinge afhankelijkheden.

Geothermie

In het voorbeeld is dit uitgewerkt voor het netwerk rondom een geothermiebron. Geothermie is vooral geschikt voor ruimteverwarming en (industriële en agrarische) productie; er kan daarentegen geen auto rijden op geothermie. De afstand van het transport van warmte is beperkt. Ook vraagt het gebruik van warmte om aanpassingen bij de gebruikers. De achtervang, of het reservevermogen, of de opslag, is nodig omdat het niet eenvoudig schakelen is tussen meerdere soorten bronnen, en omdat geothermiebronnen lastig 'uit te schakelen' zijn op momenten van lage vraag: ze leveren continu warmte. De aanleg van open netten verbetert de flexibiliteit.

Wind op zee

Bij de uitwerking van de onderlinge afhankelijkheden bij windturbines op zee, valt op dat er een veel groter netwerk ontstaat in vergelijking met geothermie. Elektriciteit is flexibeler dan warmte. Dit komt door het proces van het omzetten van lage naar hoge spanning, wat voorlopig nog eenvoudiger is dan het omzetten van lage naar hoge temperatuur warmte. Het omzetten van hoge naar lage temperatuur warmte is juist simpel, maar vraagt veel extra energie.

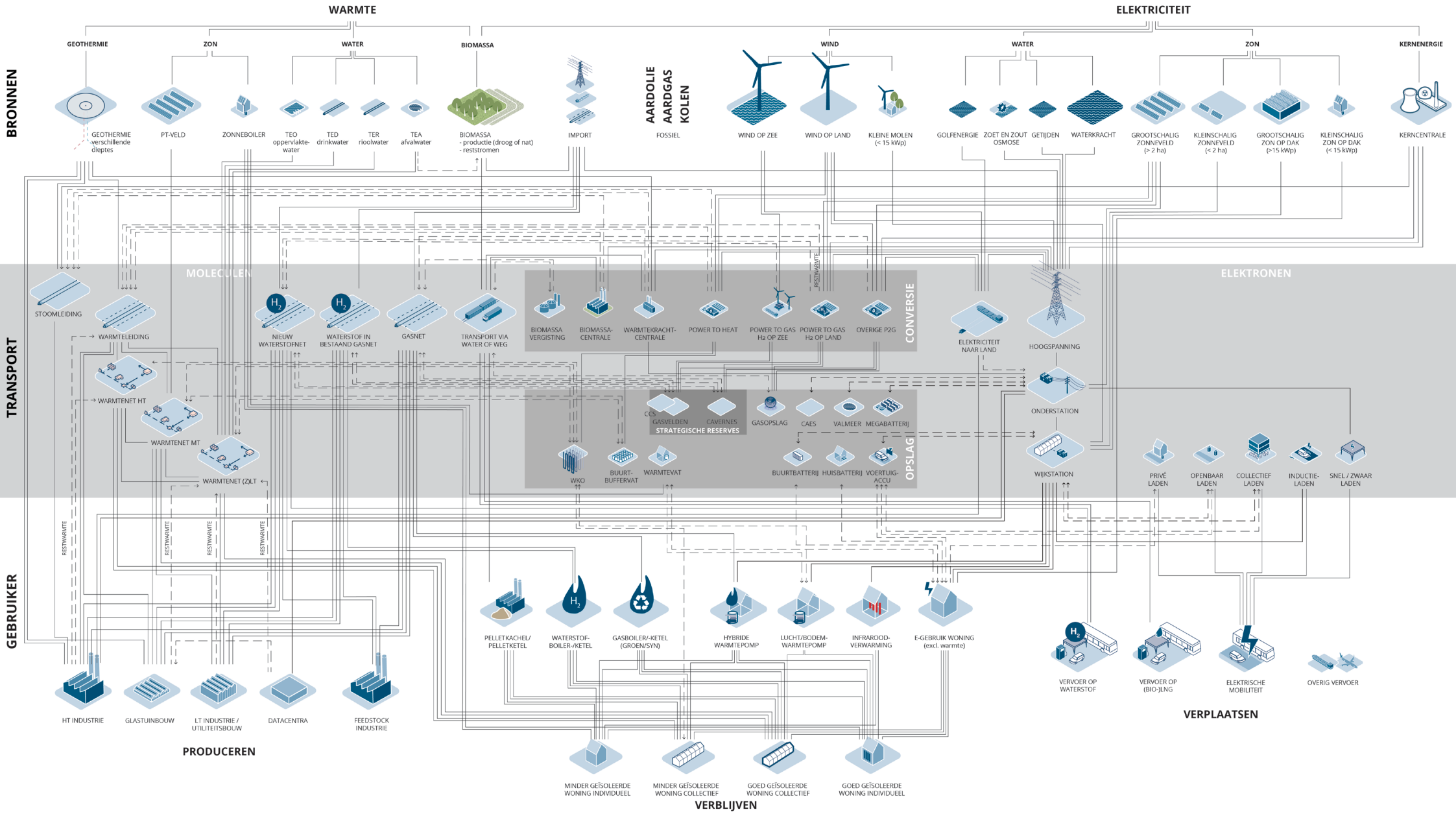
De elektriciteit uit productie door windmolens komt op hetzelfde netwerk uit als elektriciteit uit andere bronnen, en zo bij dezelfde gebruikers. Voor een gebruiker is er dus geen functioneel verschil tussen elektriciteit geproduceerd door een windmolen, een zonnepaneel of een kerncentrale. Dit maakt de toepassing eenvoudig.

Conversie van elektriciteit naar waterstof voegt flexibiliteit toe aan het systeem. Daardoor worden feedstock (gebruik van in dit geval waterstof als grondstof in de chemie) processen in de industrie die vragen om een hoge temperatuur en mobiliteit ook mogelijk. Deze omzetting heeft wel een relatief groot rendementsverlies, en dit leidt dan weer tot een grotere ruimtevraag voor de energieproductie.

Biomassa

Dit schema laat ook zien waarom biomassa gewild is: via vergisters en biomassacentrales is zowel warmte als elektriciteit te produceren. Conversie en opslag vergroten de flexibiliteit nog verder. Vrijwel alle soorten gebruikers zijn via biomassa van energie te voorzien.

Fig. 4 Onderlinge afhankelijkheden



Dit energiesysteem is ook interactief te bekijken op de website www.ruimtevoorenergie.nl

Fig. 5 Geothermie

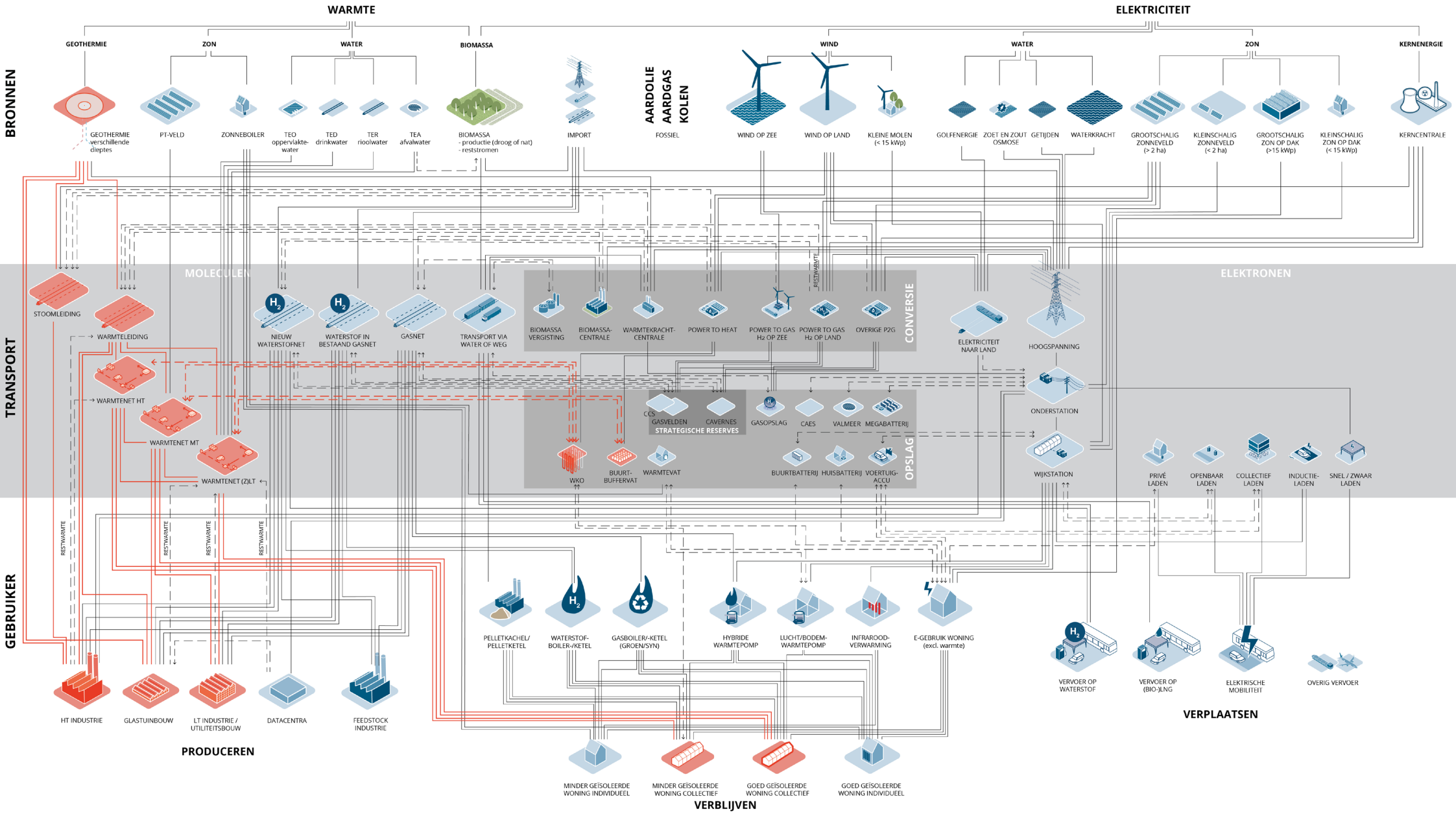


Fig. 6 Wind op zee

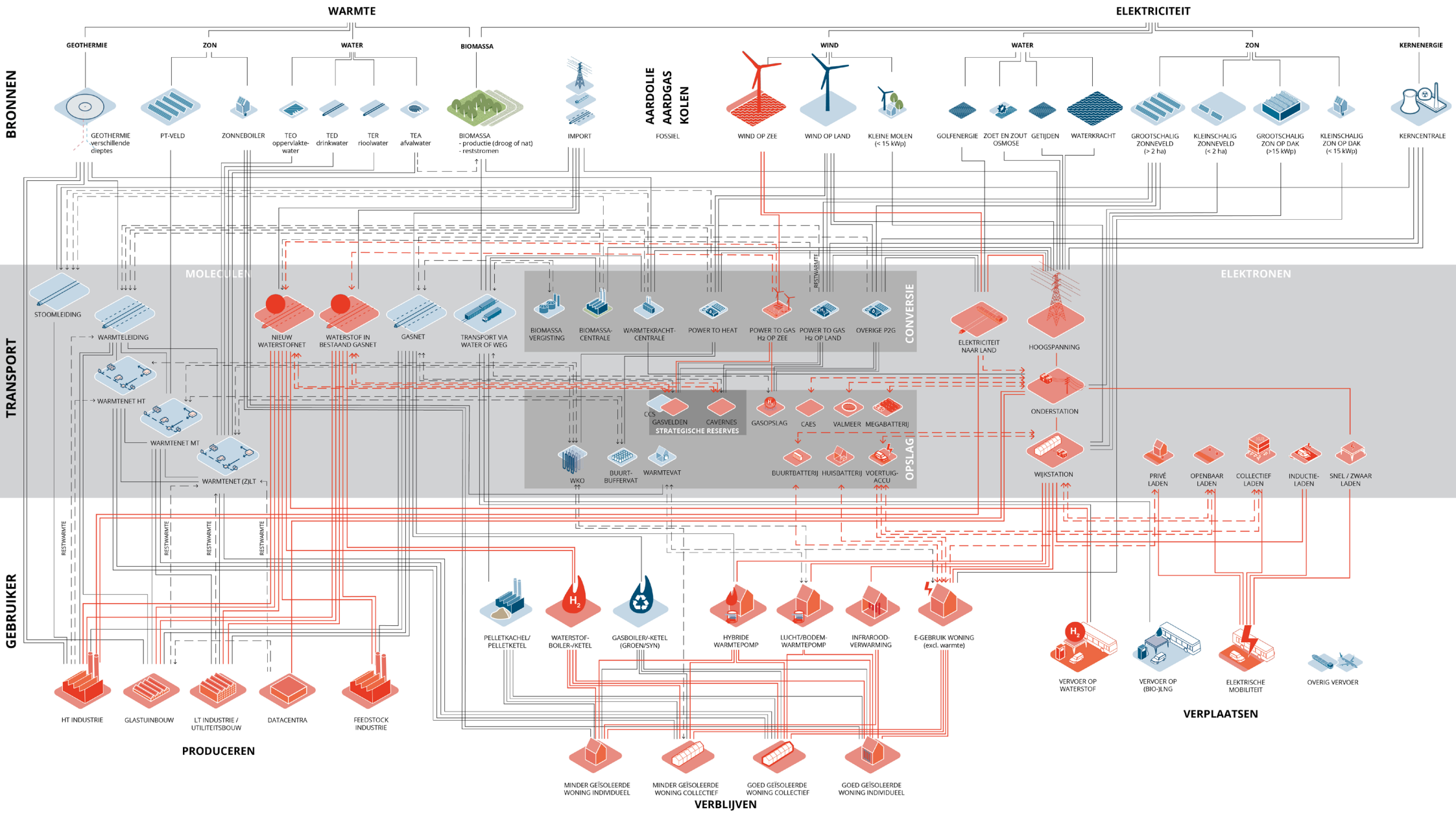
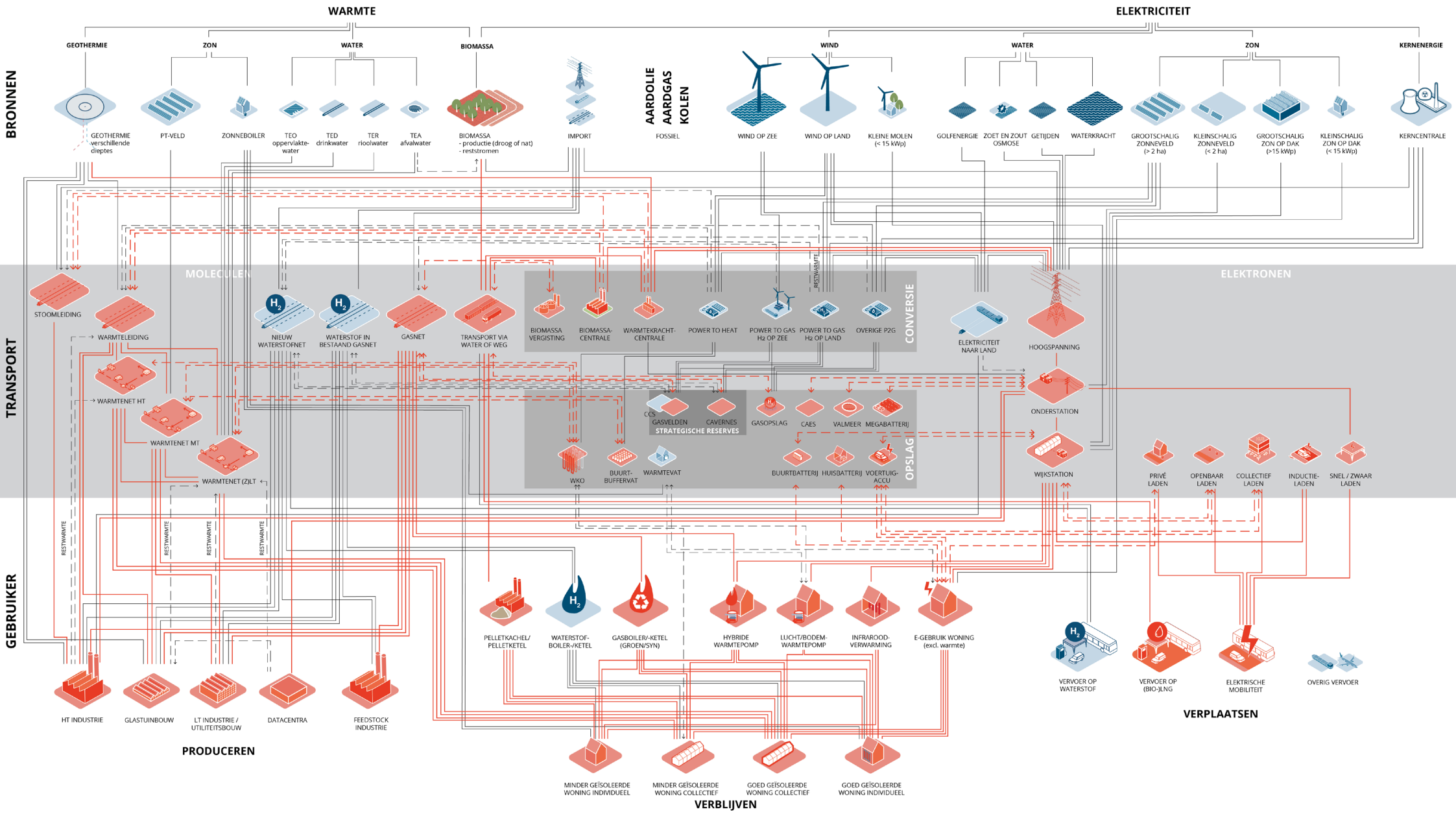


Fig. 7 Biomassa



03 Ruimtegebruik

Alle onderdelen van het energiesysteem kennen een eigen ruimtegebruik. Dit ruimtegebruik is onder te verdelen in direct en indirect.

Ruimtebeslag per onderdeel

Primair direct ruimtegebruik

Met direct ruimtegebruik worden de installaties en behuizingen bedoeld. Denk daarbij aan de pompinstallatie van een geothermiebron, de paneelopstelling van een zonnepark, de voet en rotor van een windmolen of de betonnen behuizing van een kerncentrale.

Primair indirect ruimtegebruik

Daarnaast hebben (vrijwel) alle elementen in het systeem ook een indirect ruimtegebruik. Dit is de ruimte waarop belemmeringen gelden door de aanwezigheid van het energiesysteem. Denk hierbij aan een hindercirkel rondom een omvormer door het geluid dat deze bij een zonneveld produceert. Of de gevarenzone rondom een windmolen, waar geen kwetsbare functies zoals woningen of wegen binnen mogen liggen. Ook interferentie tussen energiebronnen geeft ruimtelijke beperkingen. Wanneer windmolens en geothermiecentrales te dicht bij elkaar staan, dan vermindert dit de opbrengst.

Het indirecte ruimtegebruik is niet exclusief, want sommige vormen van ruimtegebruik zijn te combineren. Mogelijkheden zijn afhankelijk van de verschillende functies en het ontwerp. Zo is in de veiligheidszone rondom een windmolen, wat valt onder indirect ruimtegebruik, geen woningbouw toegestaan. Maar deze ruimte kan wel een agrarische functie hebben, of ruimte bieden aan een zonneveld.

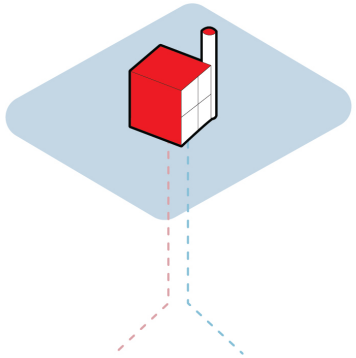
Secundair ruimtegebruik

Zowel bronnen als gebruikers hebben andere elementen van het energiesysteem nodig om te functioneren. In dit voorbeeld is dat uitgewerkt voor een geothermiecentrale. De geproduceerde warmte uit de centrale moet via een vorm van transport terecht komen bij een gebruiker. Dit kan via een warmtedistributienet in verschillende vormen: hoge temperatuur (HT), midden temperatuur (MT) en lage temperatuur (LT). De warmtebron is alleen zinvol als een gebruiker in de omgeving ligt, bijvoorbeeld in een glastuinbouwgebied of een woonwijk. Om dit deel van het energiesysteem te laten functioneren is ook een buffer nodig, om de pieken in vraag en aanbod op te vangen. Deze pieken en dalen in de vraag zijn seizoensafhankelijk, en in het aanbod door bijvoorbeeld werkzaamheden. Een reservevermogen, of een warmteopslag, of achtervang om deze schommelingen op te vangen vragen ook ruimte.

Kwantitatief	Eenheid
Primaire ruimtelijke effecten Voorbeeld: turbine + betonnen voet	
Ruimtebeslag horizontaal	**m^2**
Ruimtebeslag verticaal	**m**
Ruimtebeslag ondergronds	**m^3**
Indirecte ruimtelijke effecten	**m^3**
Secundaire ruimtelijke effecten Voorbeeld: infrastructuur zoals uitbreiding stations, of juist de benodigde opwekking	
Ruimtebeslag horizontaal	**m^2**
Ruimtebeslag verticaal	**m**
Ruimtebeslag ondergronds	**m^3**
Indirecte ruimtelijke effecten	**m^3**

Fig. 8 Tabel ruimtegebruik

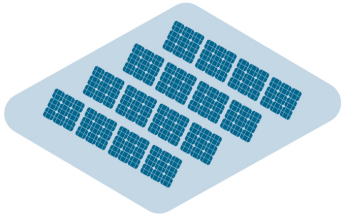
Fig. 9 Direct en indirect ruimtebeslag



geothermie centrale

direct ruimtegebruik
5.000 m2 voor 15 MWth

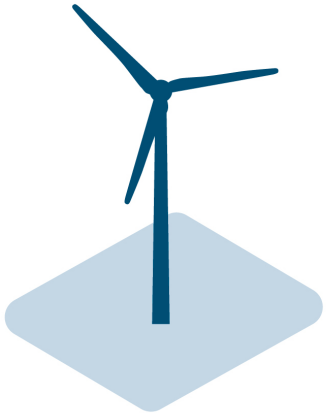
indirect ruimtegebruik
1,5 km straal
ondergrond ivm
interferentie en drinkwater



zonneveld

direct ruimtegebruik
10.000 m2 voor 1 MW

indirect ruimtegebruik
30 meter
ivm geluid omvormer



windturbine

direct ruimtegebruik
50 m2 voor 3-6 MW

indirect ruimtegebruik
½ rotordiameter (~45-60 meter)
tot 'beperkt kwetsbare objecten'
en rijkswegen

masthoogte + ½ rotordiameter
of de maximale werpafstand bij
nominaal toerental (~200 meter)
tot kwetsbare objecten, hoog-
spanningslijnen, buisleidingen

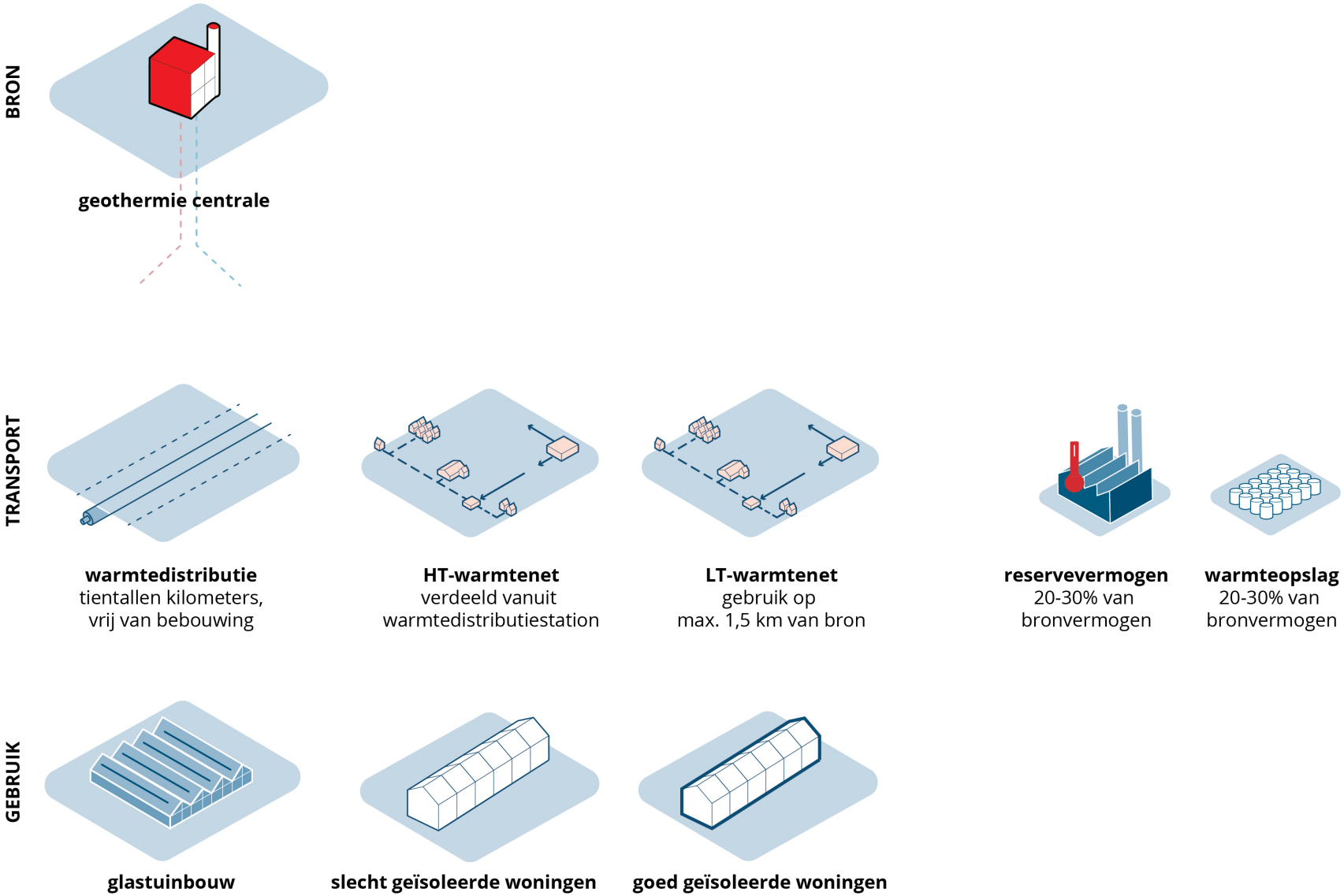
Maximale werpafstand bij
overtoeren (~600 meter)
tot industrie

kerncentrale

direct ruimtegebruik
300.000 m2 voor 485 MW

indirect ruimtegebruik
20 km straal
ivm waarborgingsbeleid

Fig. 10 Verschillende onderdelen: geothermie



Windturbine op land

Met dit voorbeeld, een windturbine op land, werkt dat zo:

PRIMAIR DIRECT

Het primaire, directe ruimtegebruik hiervan is de ruimte van de windturbine en de betonnen voet van de fundering. Dit is circa 50 m^2. Op deze plek is geen ander gebruik mogelijk.

PRIMAIR INDIRECT

Het primaire indirecte ruimtebeslag van een windturbine betreft de claim die zij op de omgeving legt. Binnen de verschillende veiligheidszones zijn sommige functies wel en andere niet toegestaan. Op een afstand van een halve rotordiameter (45 – 60 meter op basis van een 3MW turbine) mogen zich geen 'beperkte kwetsbare functies' bevinden, zoals Rijkswegen, losse woningen, restaurants, enzovoort. Binnen een afstand van een masthoogte en een halve rotordiameter (198 meter op basis van een 3 MW turbine) mogen geen 'kwetsbare functies' liggen; dit zijn woningen, kantoren, ziekenhuizen, enzovoort. Ook hoogspanningslijnen en buisleidingen mogen niet in deze zone liggen. Binnen een afstand van de maximale werpafstand, in andere woorden waar een rotor terecht kan komen in het geval dat deze los raakt, mag geen industrie liggen. Bepaalde functies binnen deze primaire indirecte ruimte zijn wel toegestaan, agrarische productie bijvoorbeeld.

SECUNDAIR DIRECT

Een windturbine heeft een aansluiting nodig op het elektriciteitsnetwerk. Dit netwerk kent ook een direct ruimtegebruik. Om een windturbine te verbinden met het net is een ondergrondse elektriciteitskabel nodig. Meerdere turbines samen vragen om een middenspanningsstation, een HS/MS-station en het hoogspanningsnet. De ruimte die voor deze onderdelen nodig is, kan niet of beperkt door andere functies worden gebruikt.

SECUNDAIR INDIRECT

Deze ondersteunende infrastructuur voor de windturbine kent elk ook secundaire indirecte ruimteclaims. Zo kan de ruimte boven een ondergrondse stroomkabel maar beperkt worden bebouwd. Ook mogen binnen 350 meter rondom een HS-MS-station geen kwetsbare functies liggen. Ook de zone van 50 tot 150 meter rondom hoogspanningslijnen, al is dit afhankelijk van het type, is niet geschikt voor woningen, bedrijven en andere soorten functies in verband met elektromagnetische straling.

Fig. 11 Windturbine op land: primair direct

Windturbine + betonnen voet

Fig. 12 Windturbine op land: primair indirect

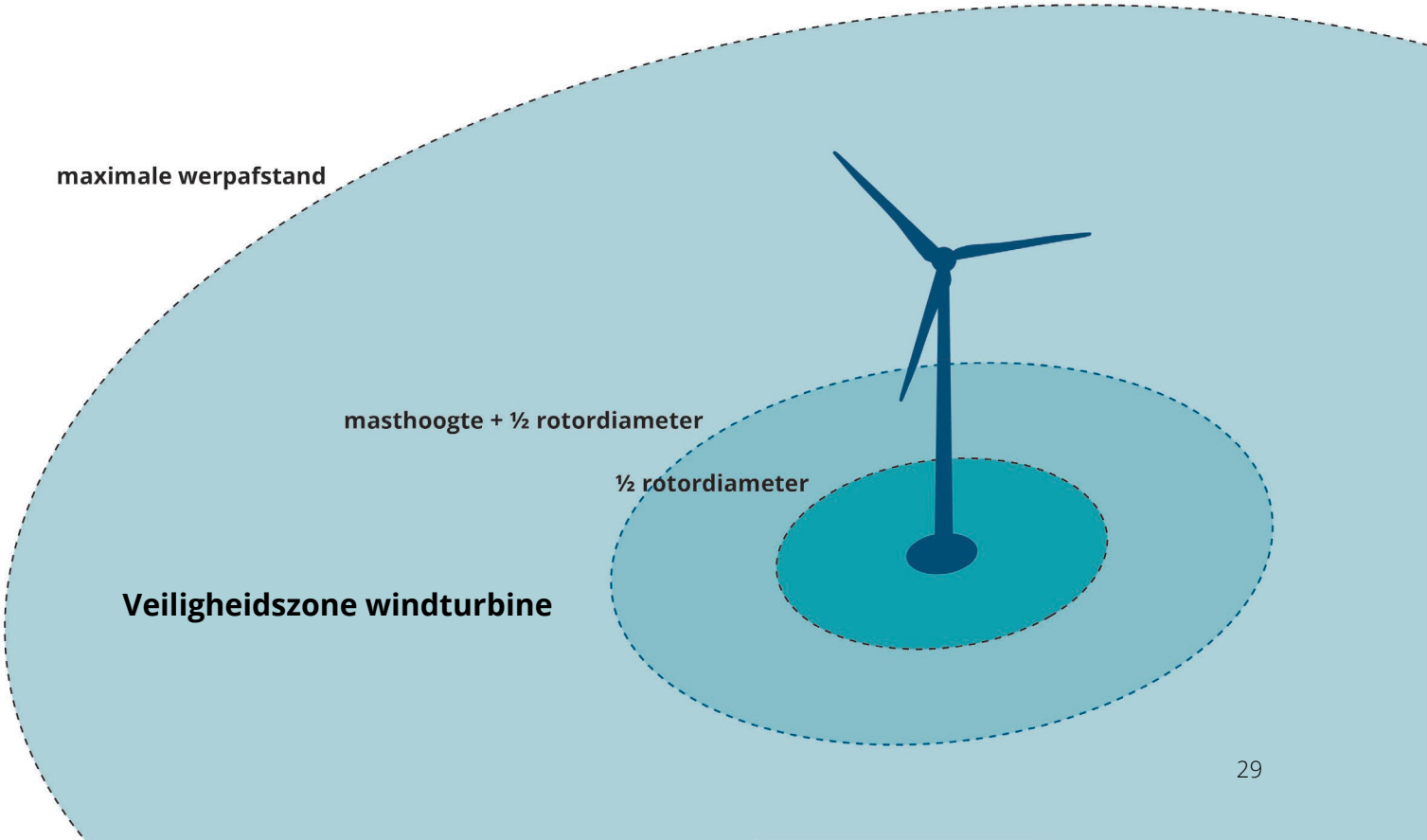
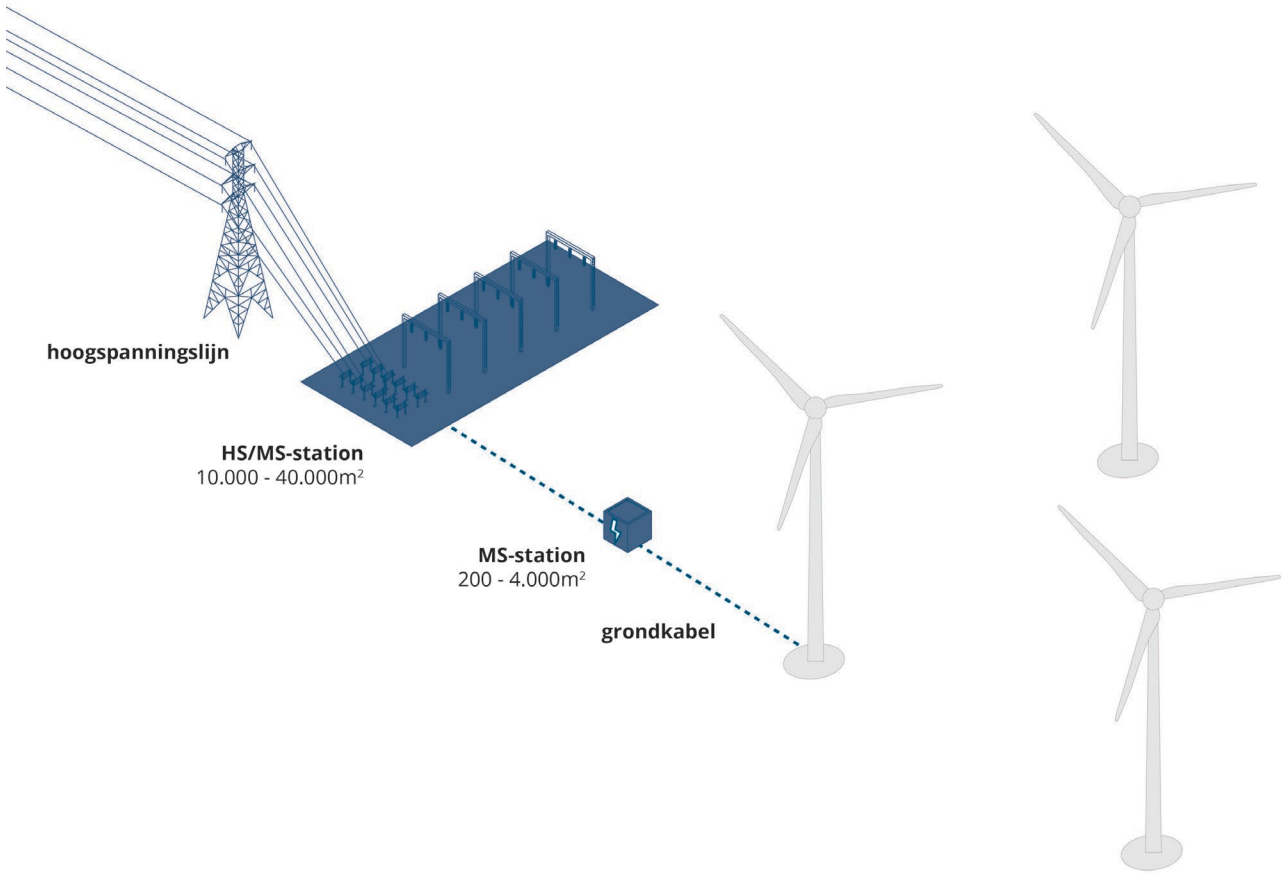
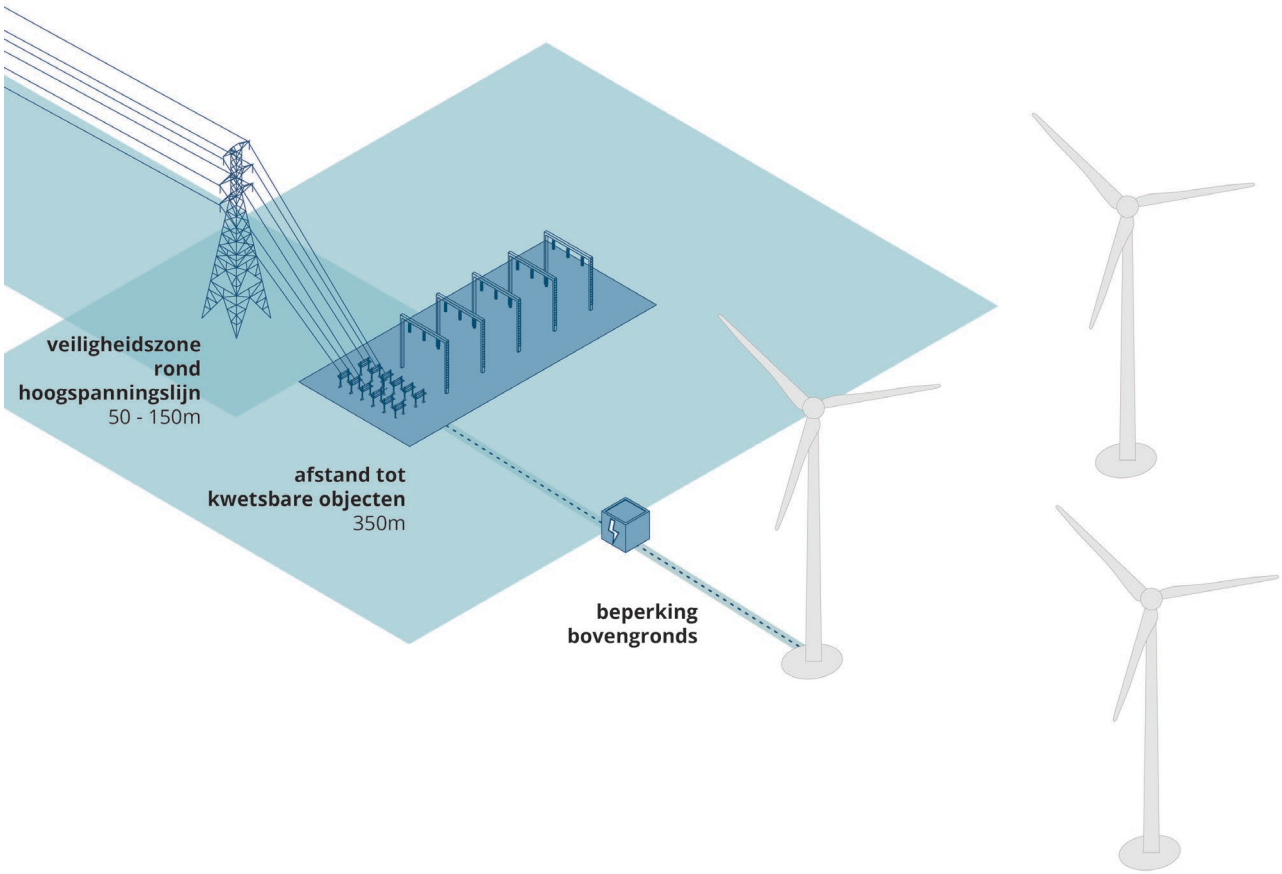


Fig. 13 Windturbine op land: secundair direct



Middenspanning + uitbreiding station

Fig. 14 Windturbine op land: secundair indirect



Restricties voor andere functies

04 Ruimtelijke consequenties

Onze leefomgeving is zo ingericht dat er rekening wordt gehouden met alle ruimtelijke eisen. Nieuwe onderdelen in het energiesysteem kennen eigen ruimtelijke eisen. In een transitie naar een nieuw energiesysteem moeten de afwegingen van ruimteclaims opnieuw worden gemaakt, en daarbij moet worden bekeken welke combinaties van ruimtegebruik mogelijk en wenselijk zijn.

Ruimtelijke effecten van een systeem

Infographics

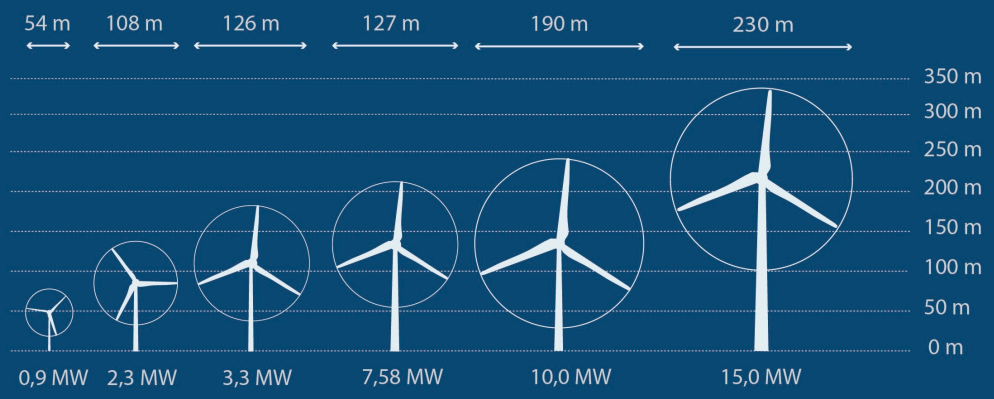
De navolgende reeks keuzes geeft de informatie over primair en secundair ruimtebeslag weer. Linksboven op de pagina staat het primaire ruimtebeslag, rechtsboven het secundaire ruimtebeslag. Onderaan staat altijd een profiel met informatie over de specifieke context, onder meer het indirect ruimtebeslag van de primaire functie(s). Vervolgens wordt bij iedere keuze ingegaan op het ruimtebeslag op uiteenlopende schaalniveaus. Deze zijn georganiseerd volgens de vier categorieën: primair direct ruimtebeslag, primair indirect ruimtebeslag, secundair direct ruimtebeslag en secundair indirect ruimtebeslag.

WINDTURBINES SPREIDEN OF CLUSTEREN

Het primaire ruimtebeslag van windturbines spreiden of clusteren,
en de secundaire ruimtelijke consequenties

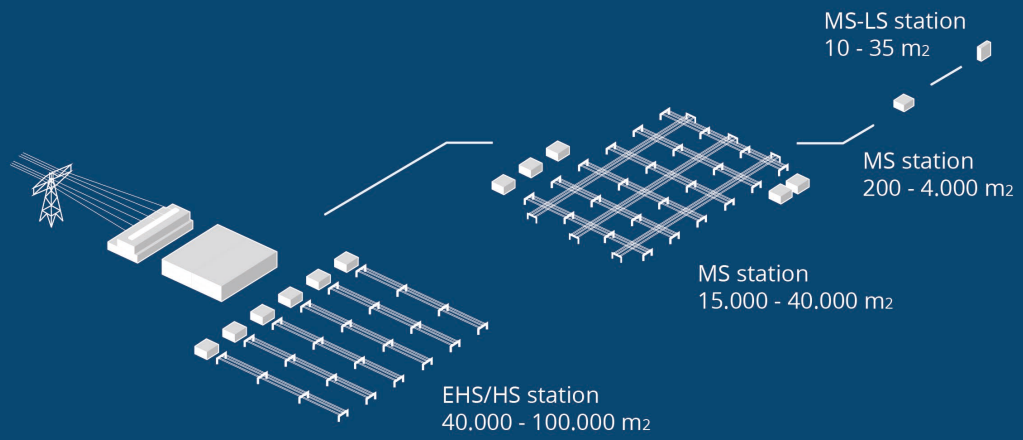
PRIMAIR

direct

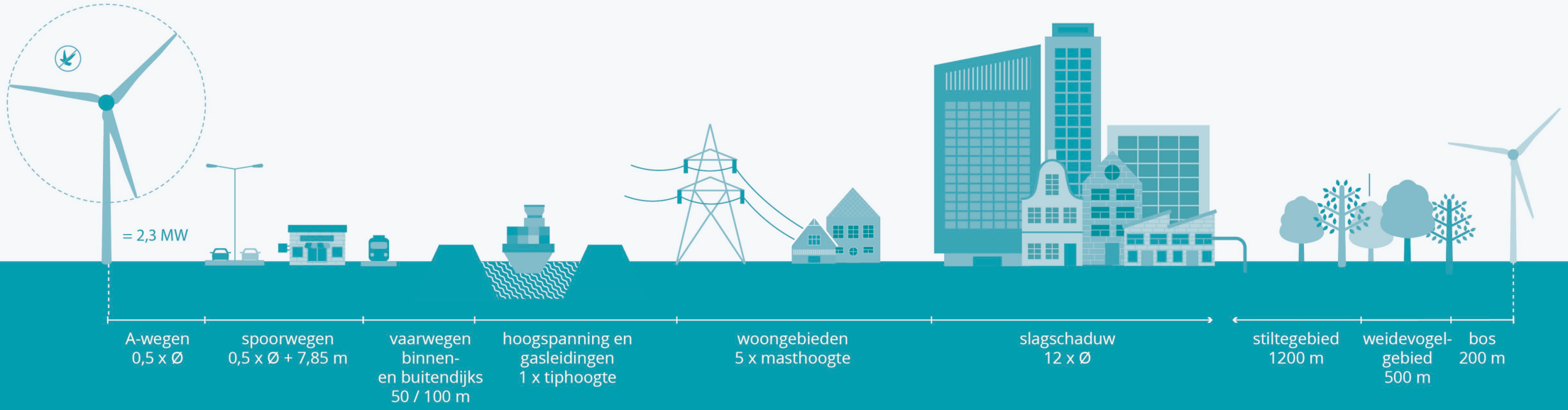


SECUNDAIR

direct



indirect



indirect

De keuze om windturbines te spreiden of te clusteren begint met inzicht in het ruimtebeslag.

Ruimtebeslag

PRIMAIR

De primaire ruimte in deze keuze betreft de grootte van de turbine zelf, het exacte formaat hiervan is afhankelijk van de type turbine. Met de daarbij behorende afstanden die gelden voor de verschillende soorten turbines, de afstand van turbine tot bebouwing of wegen bijvoorbeeld.

SECUNDAIR

Secundair ruimtebeslag zit onder meer in het netwerk dat nodig is om de turbines aan te sluiten op het stroomnet, en de diverse type stations die hiervoor nodig zijn. Logischerwijs is het ruimtebeslag van een hoogspanningsstations (HS) groter dan een middenspanningsstation (MS) en een laagspanningsstations (LS).

Consequenties

Maar de grote verschillen worden pas echt zichtbaar met een blik op de verschillende schaalniveaus. Het spreiden of juist clusteren leidt tot andere ruimtelijke claims op Nederland, de regio en de stedelijke omgeving.

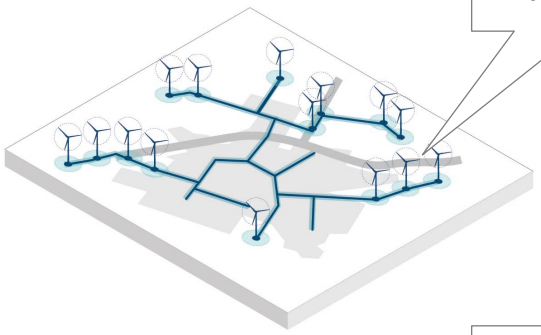
Spreiding leidt tot windturbines op meer verschillende plekken in Nederland en komt dus vaker voor in onze beleving van de omgeving. Bij spreiding van windturbines is het netwerk verder uitgebreid en vertakt om alle locaties van producties aan te sluiten. In vergelijking met het clusteren van turbines, is het secundaire ruimtebeslag dus minder dicht ‘geweven’. Daarmee zijn ook de kosten hoger.

Bij de keuze van clustering zijn de parken van windturbines op een aantal plekken in Nederland sterk bepalend voor de omgeving. Het vraagt ook om een zware, maar geconcentreerde infrastructuur. De kosten en het secundaire ruimtebeslag liggen dus lager dan bij een keuze voor spreiding van windturbines.

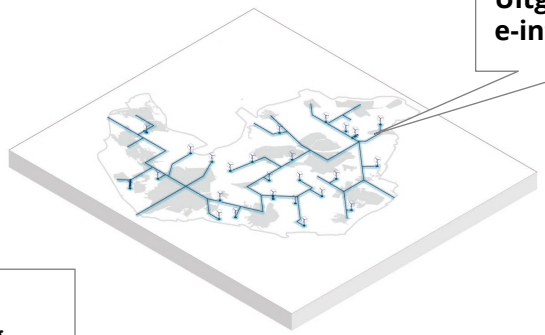
Clustering van windparken komt vaak voort uit een sterke sturing 'van bovenaf'. Spreiding ontstaat vaak door bottom-up sturing 'van onderaf'. Veel instrumenten, zoals de SDE, sturen niet op ruimtelijke configuraties. Wel zijn grote parken meestal financieel rendabeler.

direct
indirect
primair
secundair

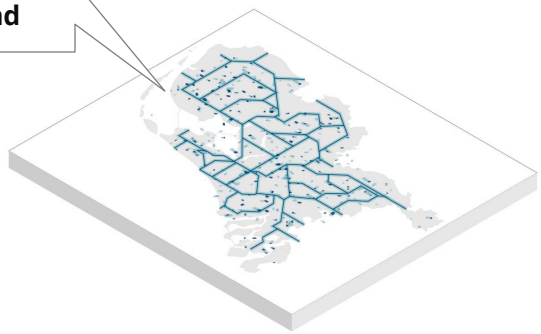
SPREIDEN VAN WINDTURBINES



Turbines overal in beleving

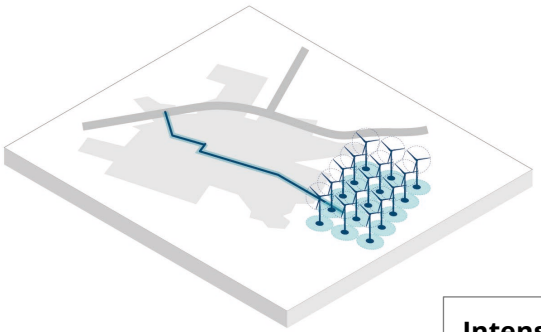


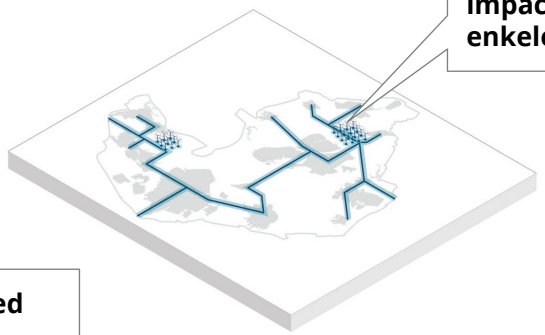
Uitgebreide e-infrastructuur



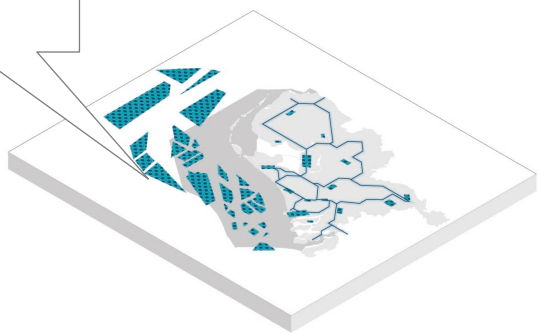
Sterke spreiding over Nederland

CLUSTEREN VAN WINDTURBINES





Intensieve impact op enkele locaties



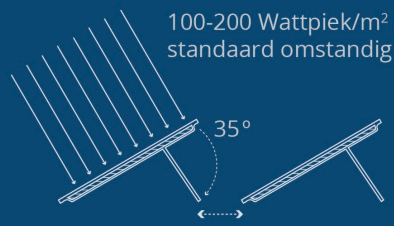
Grote invloed op infrastructuur op zee

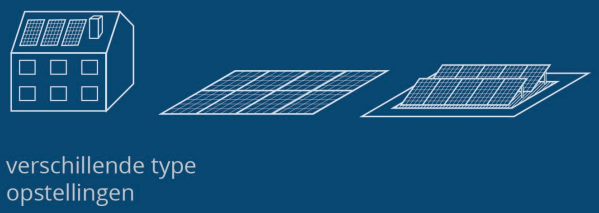
ZONNEPARKEN SPREIDEN OF CLUSTEREN

Het primaire ruimtebeslag van zonnepanelen spreiden of clusteren,
en de secundaire ruimtelijke consequenties

PRIMAIR

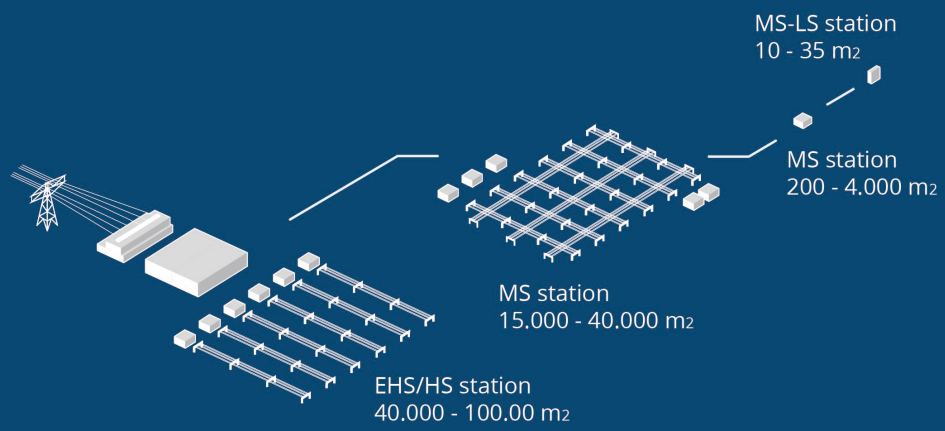
direct





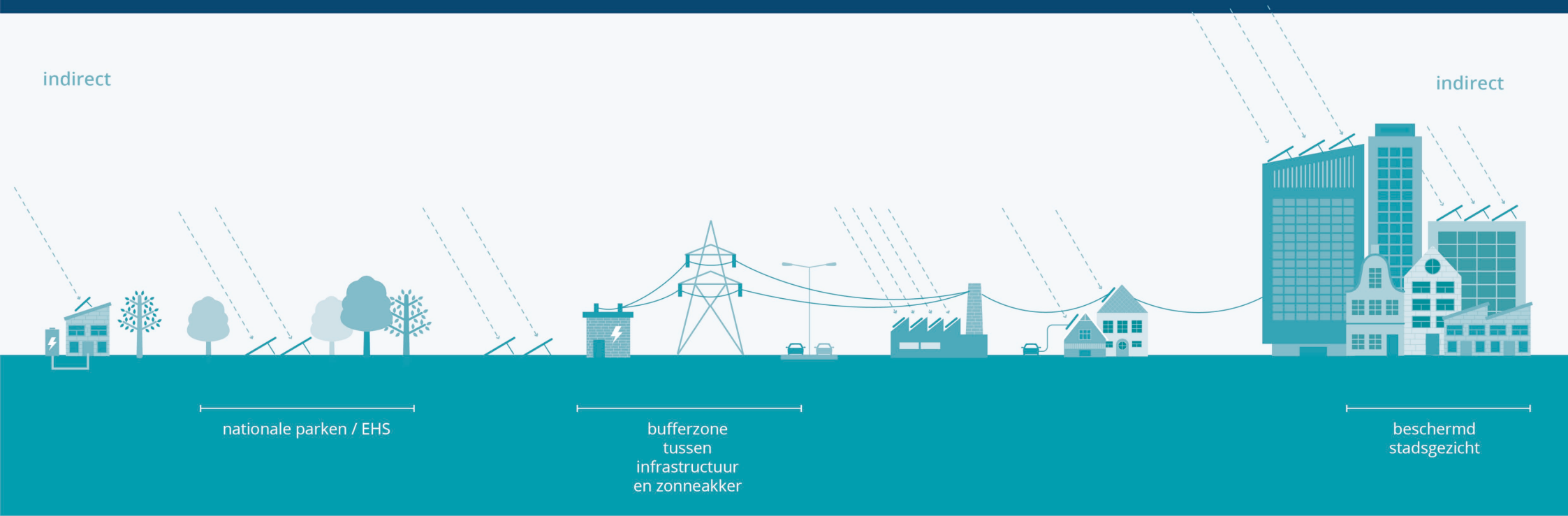
SECUNDAIR

direct



indirect

indirect



Ook bij de inpassing van zonnevelden ligt een keuze tussen spreiden of clusteren.

Ruimtebeslag

PRIMAIR

De opstelling van het paneel maakt uit voor het primaire ruimtebeslag. Het vormgeven van een zonnepark kan op intensieve of extensieve wijze. Extensieve plaatsing vraagt meer oppervlakte, maar biedt wel weer mogelijkheden voor het combineren met andere functies, zoals recreatie of landbouw.

SECUNDAIR

Daaraan verbonden is het elektriciteitsnet, met alle benodigde onderstations al naar gelang van de grootte van het zonneveld.

Consequenties

Ook voor zonnepanelen worden de verschillen van impact zichtbaar bekeken vanuit verschillende schaalniveaus. Het spreiden of clusteren leidt tot andere ruimtelijke claims op Nederland, de regio en de stedelijke omgeving.

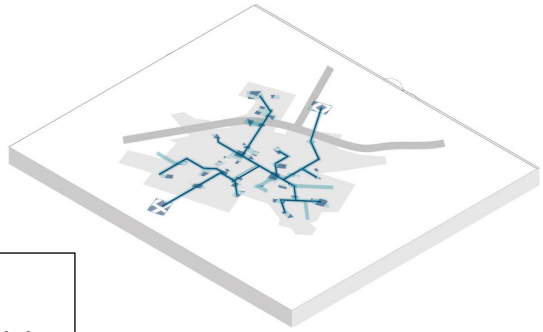
Kleinschalige en verspreide zonnepanelen liggen vaak dichtbij de gebruiker in de eigen leefomgeving. In hoeverre dit beleefd wordt is afhankelijk van of deze in het zicht liggen. Een verspreide structuur van zonnepanelen vraagt om een uitgebreid netwerk naar de verschillende opweklocaties. Het secundaire ruimtebeslag afhankelijk van de keuze voor spreiden of clusteren is dus dicht of minder dicht ‘geweven’. Daarmee zijn bij een uitgebreid netwerk dus ook de kosten hoger.

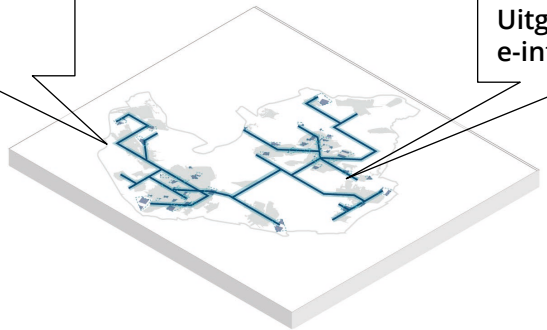
Bij de keuze van het grootschalig clusteren van zonnevelden op een aantal plekken in Nederland, is dit op enkele locaties sterk bepalend voor de omgeving. Het vraagt ook om een zware en geconcentreerde infrastructuur. De kosten en het secundaire ruimtebeslag liggen daardoor lager dan bij de keuze voor het spreiden van zonnepanelen.

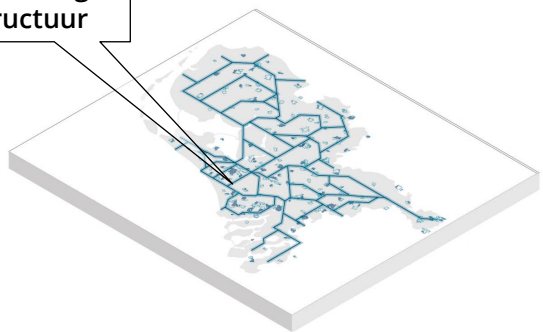
Ook hier geldt dat ten behoeve van de bestaande of wenselijke kwaliteiten, grootschalig clusteren van zonnepanelen gaat samen met sterke sturing vanuit een grote schaal. Terwijl spreiding kan ontstaan door een gebrek aan sturing, of door een niet ruimtelijke specifieke sturing zoals SDE.

direct
indirect
primair
secundair

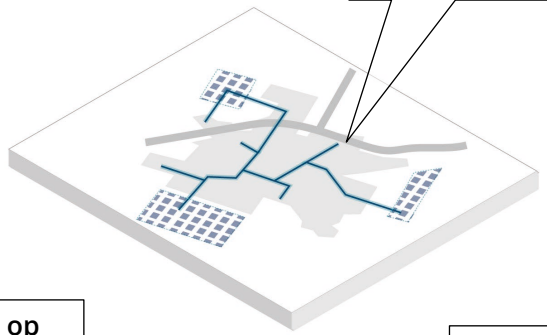
SPREIDEN VAN ZONNEPARKEN

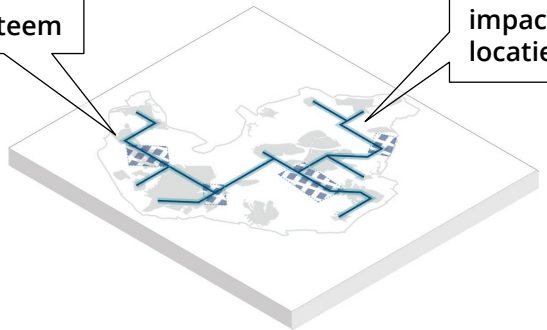


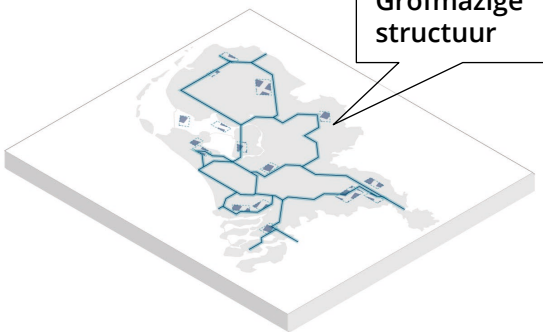




CLUSTEREN VAN ZONNEPARKEN





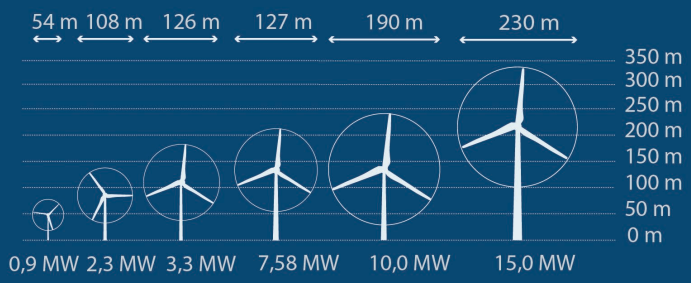


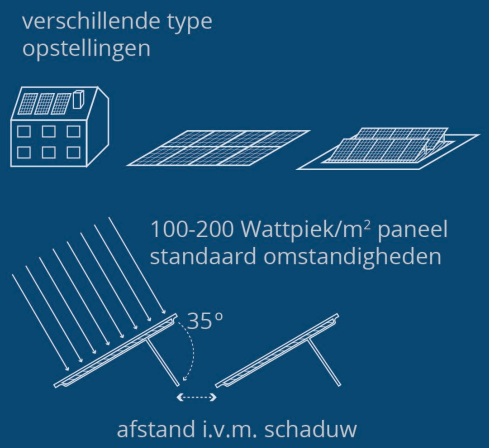
COMBINEREN VAN WINDTURBINES EN ZONNEPARKEN

Het primaire ruimtebeslag van het combineren van windturbines en zonnepanelen,
en de secundaire ruimtelijke consequenties

PRIMAIR

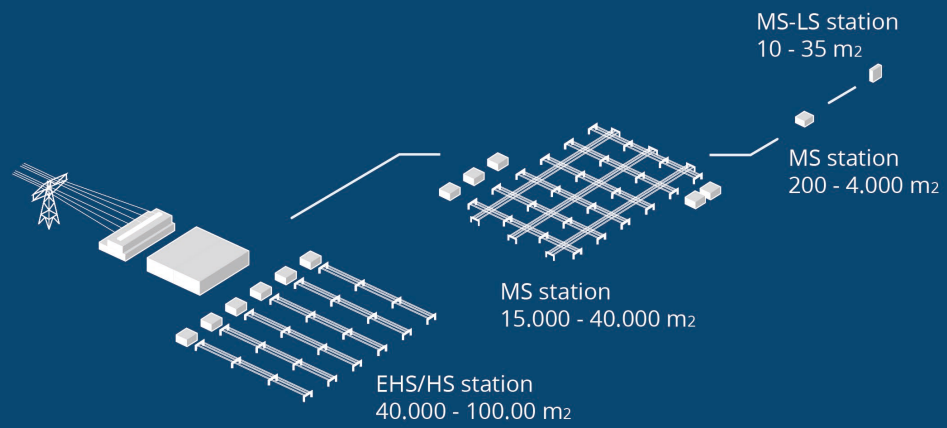
direct





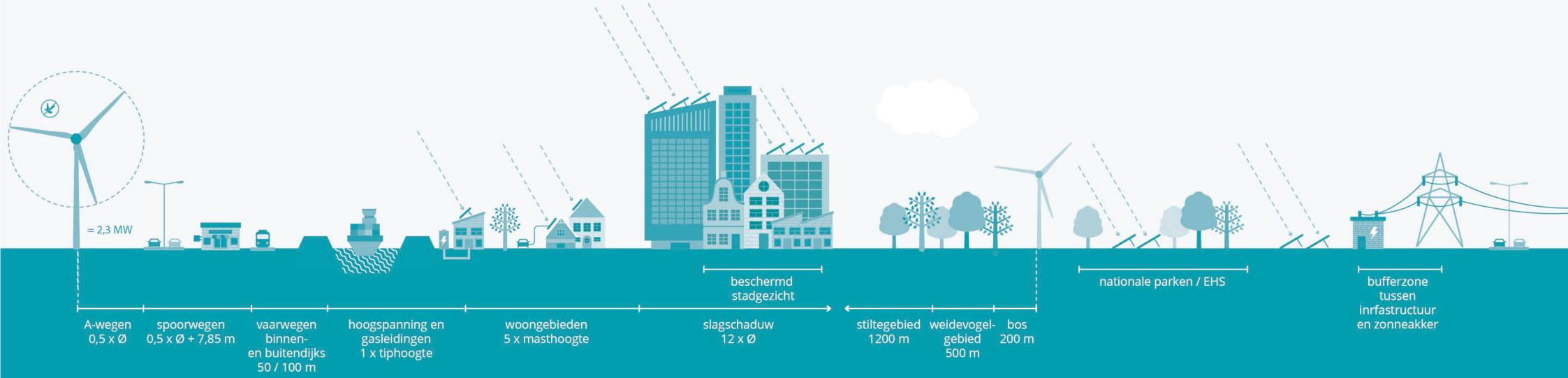
SECUNDAIR

direct



indirect

indirect



COMBINEREN VAN WINDTURBINES EN ZONNEPARKEN

De keuze tussen windturbines of zonnevelden is er bij uitstek één die gaat over ruimte. Het ruimtebeslag van de twee opties is namelijk bij het primaire ruimtebeslag erg verschillend. Naast het ruimtebeslag zijn er nog vele andere factoren die deze keuze beïnvloeden.

RUIMTEBESLAG

PRIMAIR

Zoals bij de vorige keuzes beschreven, het type opstelling of turbine maakt uit voor het primaire ruimtebeslag. Daaruit volgen de indirecte bijbehorende afstanden.

SECUNDAIR

Het secundaire ruimtebeslag betreft het elektriciteitsnetwerk dat nodig is, met daarbij de verschillende typen stations.

CONSEQUENTIES

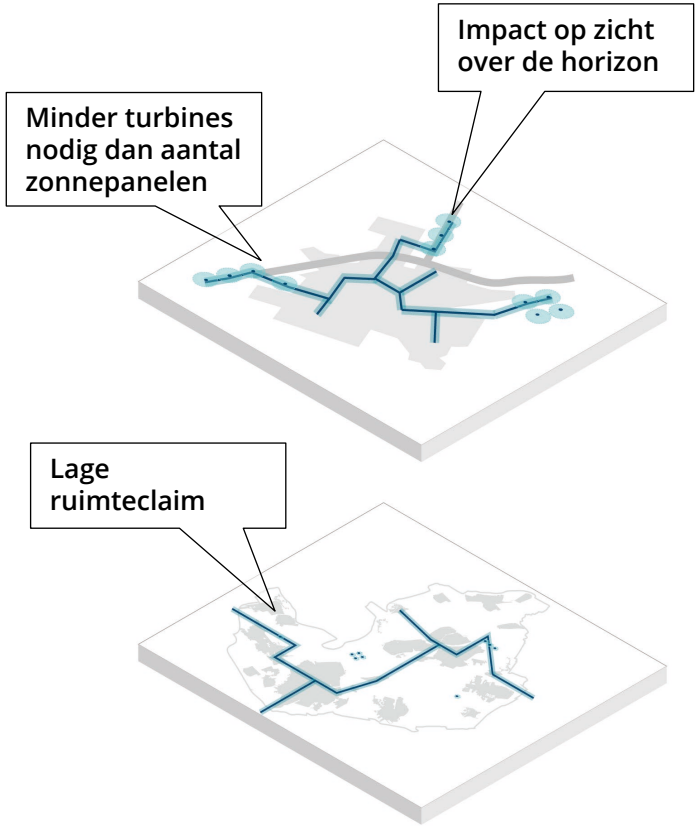
Op de kaarten is duidelijk af te lezen dat een windturbine een veel lager direct ruimtebeslag vraagt ten opzichte van zonnepanelen. Vooralsnog gelden voor turbines verscheidene buffers waardoor het indirecte ruimtebeslag in vergelijking veel groter is. Hierdoor zijn voor beide keuzes dan ook andere mogelijkheden te bedenken in de zin van meervoudig ruimtegebruik.

Kijkend vanuit het secundaire ruimtebeslag van de keuzes zien we grote verschillen. Bij een gelijke opwekkingscapaciteit is er voor de optie 100% zon aanzienlijk meer netwerk vereist, met een dito ruimtebeslag. Over het algemeen is het combineren van zon en wind op dezelfde locaties het meest efficiënt. Dit zowel in termen van netwerk, alsmede in de zin van ruimtebeslag.

direct
indirect
primair
secundair

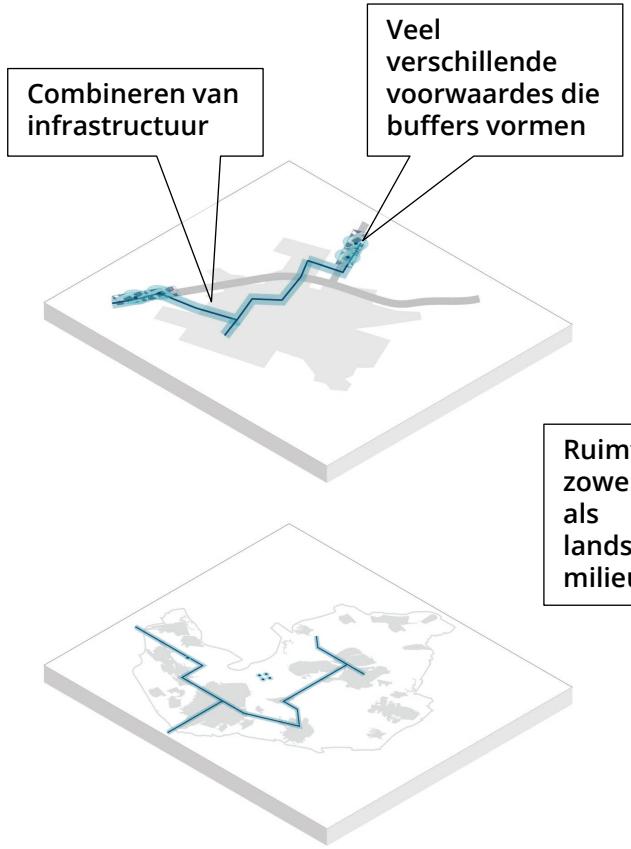
100% WINDTURBINES

1 TWh



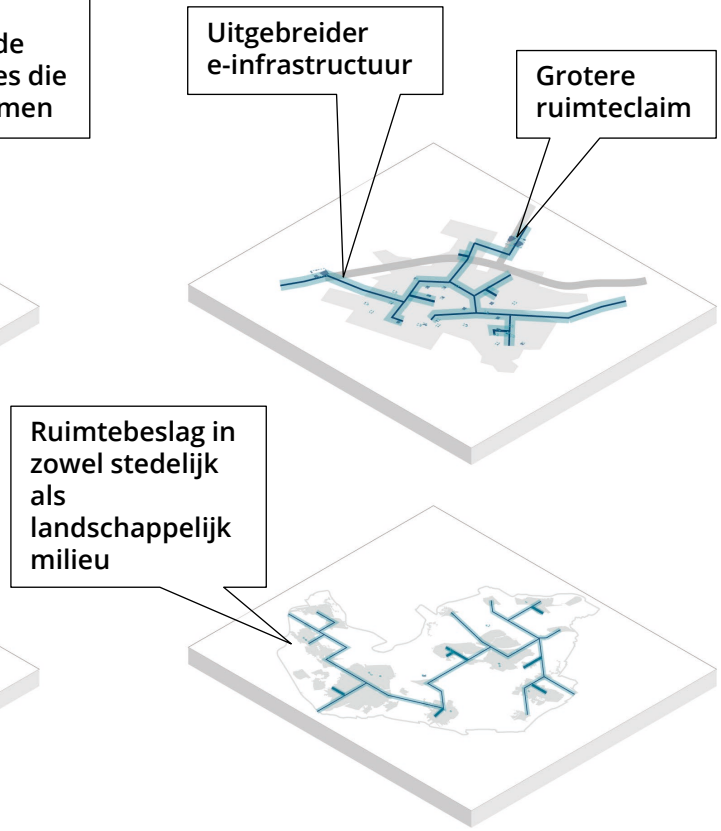
COMBINATIE WIND EN ZON

1 TWh



100% ZONNEPANELEN

1 TWh



AUTO FLEXIBEL IN HET SYSTEEM OF VOLGEND

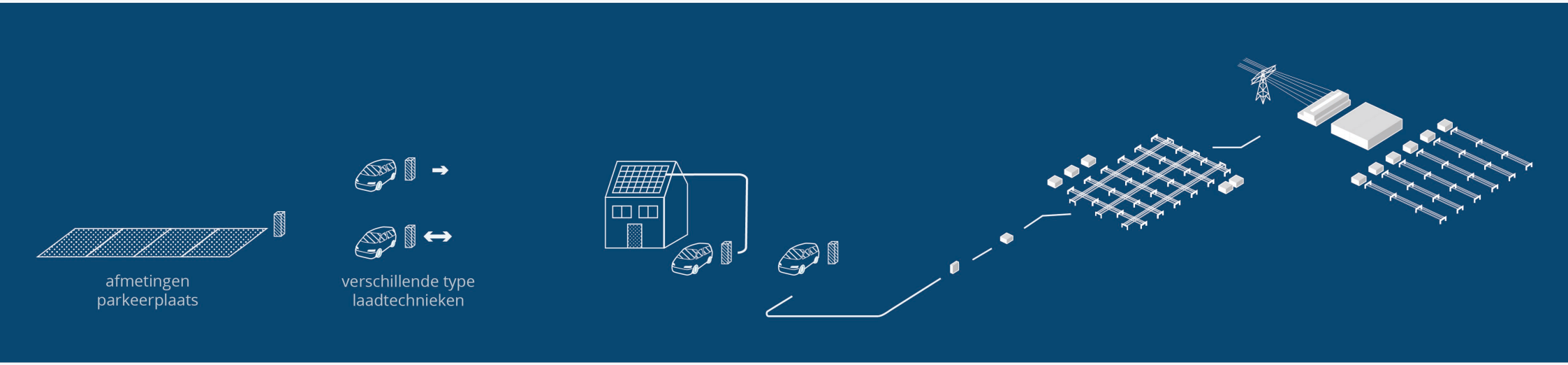
Het primaire ruimtebeslag van elektrische auto's flexibel in het systeem of volgend,
en de secundaire ruimtelijke consequenties

PRIMAIR

direct

SECUNDAIR

direct



indirect

indirect

AUTO FLEXIBEL IN HET SYSTEEM OF VOLGEND

De keuze rondom elektriciteit en mobiliteit is van meerdere factoren afhankelijk. Zo maakt het uit of de auto enkel oplaadt, of dat deze als accu dient en daarmee ook het netwerk kan voeden. In andere woorden, een auto met bidirectioneel laden. Ook hier liggen keuzes in hoeverre het systeem leidend of flexibel is.

RUIMTEBESLAG
PRIMAIR
Het primaire ruimtebeslag ligt in de afmetingen van parkeerplaatsen en de ruimte die laadpalen vragen.

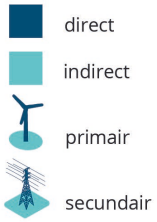
SECUNDAIR
De laadpalen zijn verbonden met het elektriciteitsnetwerk en de diverse typen station die daarvoor nodig zijn. Het ruimtebeslag van een hoogspanningsstation (HS) is logischerwijs groter dan een middenspanningsstation (MS) en een laagspanningsstation (LS).

CONSEQUENTIES
Wanneer de auto het systeem volgt, dan wordt in grote lijnen de wens van de gebruiker van het voertuig genegeerd. In plaats daarvan wordt binnen het bestaande energiesysteem gekeken waar aansluitcapaciteit op het elektriciteitsnet ligt en worden daar laadplaatsen aangeboden. Pas wanneer nieuwe netwerkcapaciteit wordt aangelegd, dan wordt de gebruiker ‘in overweging' genomen.

In het geval dat de auto flexibel in het systeem staat, wordt hier verondersteld dat de auto zelf een bijdrage kan leveren aan het netwerk. De auto laadt en ontlaadt aan het netwerk wanneer er vraag is, en er energie over is in de accu. Er wordt hier vanuit gegaan dat er wordt geladen op collectieve plekken. Dit betekent dus niet op individuele laadplaatsen thuis, maar op grote parkeervelden bij een kantoor of een supermarkt. Het liefst vindt laden plaats op plekken waar ook energieproductie dichtbij ligt, bijvoorbeeld via zonnepanelen op het dak van een kantoor.

Wanneer een auto flexibel in het systeem staat en wél privé laadt dan ontstaat een systeem met veel vrijheid, maar ook onzekerheid. Dit geval gaat er vanuit dat er thuis geladen wordt, met name als energie ook zelf opgewekt wordt op het dak. Hierdoor is de netbelasting beperkt en dient de auto ook als privé-batterij.

Een combinatie van systemen is uiteraard mogelijk. Bijvoorbeeld het laden van een auto op kantoor en deze als volle batterij weer richting huis meenemen. In dat geval laden we de auto misschien wel vooral op voor de elektriciteitsvraag van het eigen huishouden en minder om te gebruiken voor mobiliteit.



AUTO VOLGT SYSTEEM

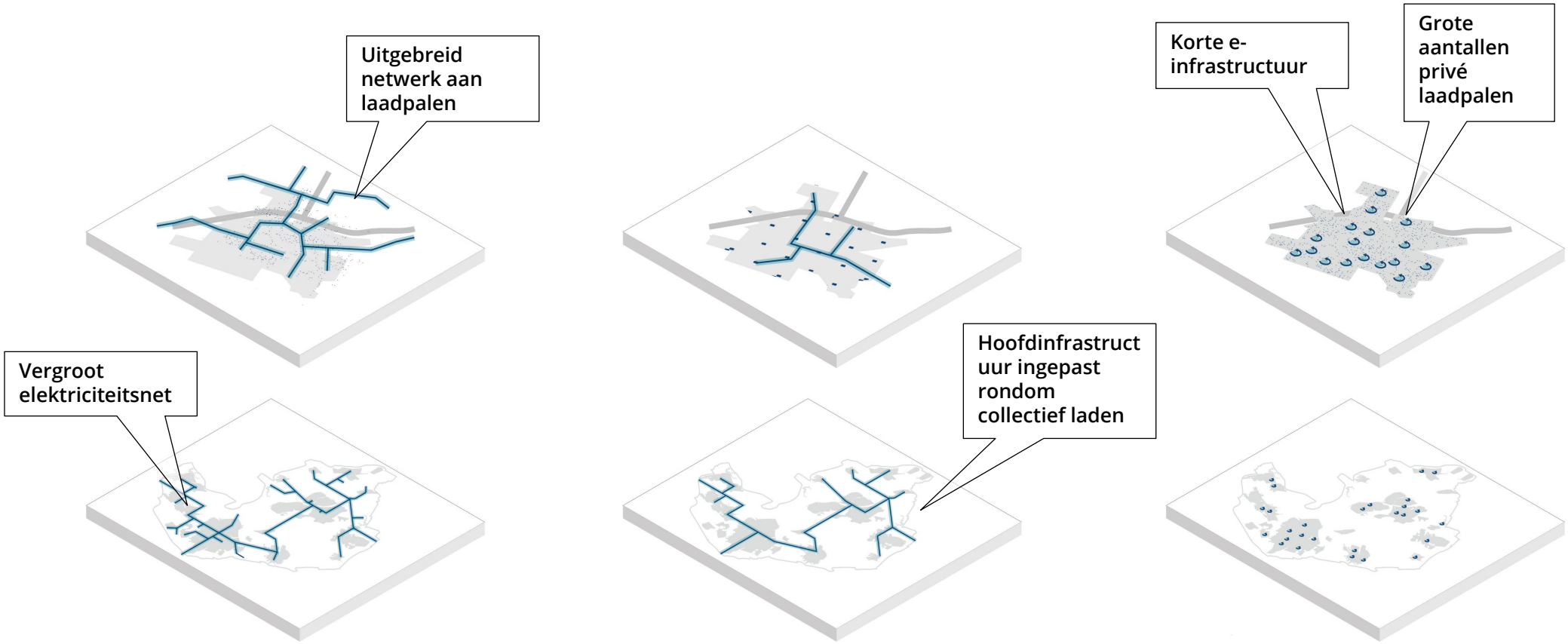
zonder bidirectioneel laden, op straat

AUTO FLEXIBEL IN HET SYSTEEM

bidirectioneel laden, collectief

AUTO FLEXIBEL IN HET SYSTEEM

bidirectioneel laden, privé



RESTWARMTE, GEOTHERMIE OF AQUATHERMIE MET WKO

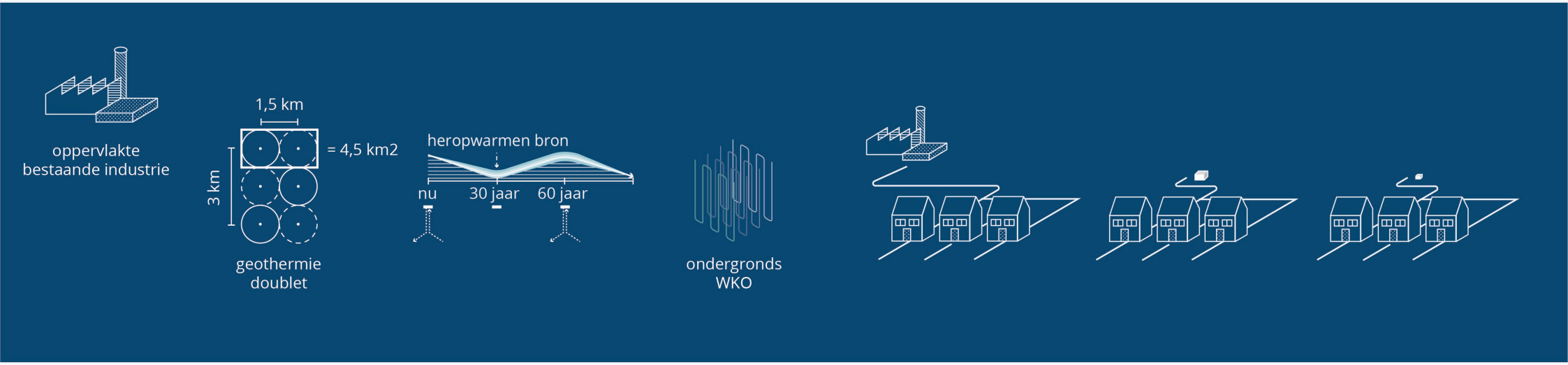
Het primaire ruimtebeslag van restwarmte, geothermie of aquathermie met wko,
en de secundaire ruimtelijke consequenties

PRIMAIR

direct

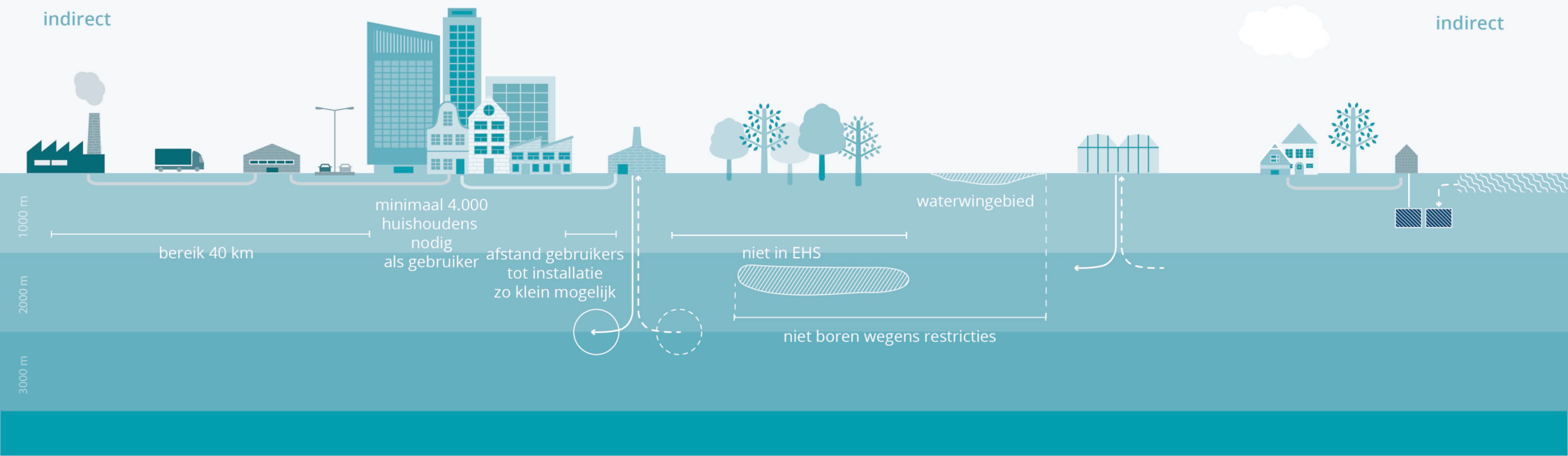
SECUNDAIR

direct



indirect

indirect



RESTWARMTE, GEOTHERMIE OF AQUATHERMIE MET WKO

De keuzes in de manier waarop stedelijk gebied aansluiting vindt met duurzame verwarmingsbronnen hebben veelal te maken met allerhande restricties en beperkende factoren.

RUIMTEBESLAG

PRIMAIR

Het primaire ruimtebeslag wordt bepaald door de omvang van bijvoorbeeld een industrieel cluster dat restwarmte levert, de aanwezigheid van een geothermie doublet, of veel kleinschaliger een WKO-installatie. Niet van elke vorm is overal een bron beschikbaar. Voor bijvoorbeeld geothermie of aquathermie is dit maar op diverse plekken in Nederland mogelijk.

SECUNDAIR

Daarnaast vraagt ook het netwerk om ruimte, om warmte te transporteren naar de gebruikers. Hier gelden beperkingen voor, bijvoorbeeld de maximale afstand die warmte kan afleggen. Een andere beperking ligt in de ondergrens van het aantal aansluitingen voor de realisatie van een net. Een geothermische bron produceert al snel 0,3 PJ. Om dat (rendabel) af te zetten zijn zo'n 2000 woningen nodig of een glastuinbouwcomplex dat de warmte afneemt.

CONSEQUENTIES

Restwarmte voegt in principe geen extra primair ruimtebeslag toe. De bron bestaat namelijk al, of dit nu een fabriek is of een afvalverbrandingscentrale. De ligging ervan laat zich alleen op termijn sturen, mits sturing weer bespreekbaar wordt, bijvoorbeeld middels vestigingsklimaat en de industriepolitiek, of door striktere regulering van restwarmtelozing.

Het secundaire ruimtegebruik van warmtedistributie en -transport netten ligt grotendeels ondergronds. Deze netten zijn dus veelal onzichtbaar, maar nemen ondergronds wel ruimte in beslag en zorgen ook voor beperkingen boven de grond voor het gebruik van deze ruimte. Bij een grote warmtebron past een groot warmtenet. Op één warmtenet zijn meerdere bronnen samen te brengen. Dit komt ook het robuustheid van het systeem ten goede. Het wegvallen van een bron, ofwel permanent of door regulier onderhoud, kan dan worden opgevangen. Dit verkleint de kans op een ‘lock-in’.

Geothermische bronnen zijn niet overal in gelijke mate beschikbaar. De keuze voor dit warmte alternatief is dus niet voor elke regio voorhanden.

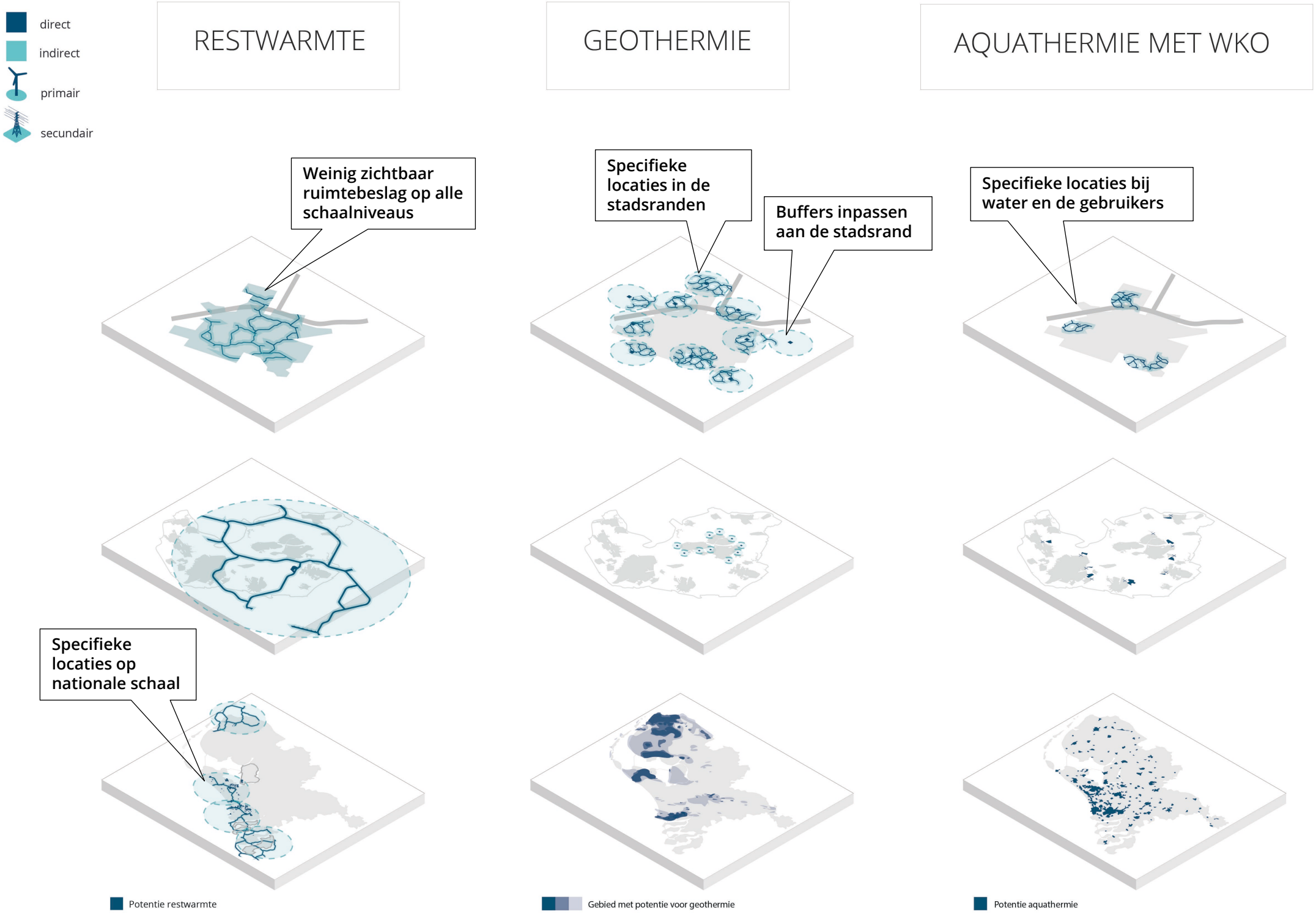
In gebieden waar de ondergrond voldoende warmte heeft, vraagt ook de precieze locatie van de bronnen om aandacht. Zij laten zich namelijk lastig combineren met andere stedelijke functies. Maar zij mogen ook weer niet te ver van gebruikers af liggen door beperkte mogelijkheden van transport. Daarmee komt het primaire ruimtegebruik dus terecht in de stadsranden, waar het concurreert met ruimte voor recreatieve functies en ook toekomstige uitbreidingsgebieden inperkt.

Het secundaire ruimtegebruik is, net als bij restwarmte, grotendeels onzichtbaar door ondergrondse warmtenetten. Hier is de capaciteit van de warmtebron ook bepalend voor de schaal of het bereik van het net. Uiteraard zijn meerdere bronnen te combineren tot een groter netwerk. Daarmee wordt ook de robuustheid van het systeem vergroot.

Nederland is een waterrijk land. De potentie van warmte die te winnen is uit oppervlakte-, riool- of drinkwater wordt steeds meer duidelijk.

Deze warmte heeft echter een veel lagere temperatuur dan industriële restwarmte of (diepe) geothermie. Dit stelt specifieke eisen aan het warmtenet voor lage temperatuur, maar ook aan de gebruikers. Hier is het van groter belang dat woningen een goede isolatie hebben en verdere aanpassingen voor het gebruik van lagetemperatuurwarmte. In veel gevallen zal de warmte moeten worden ‘opgewaardeerd’. Dit zorgt voor aanvullende secundaire ruimte voor de infrastructuur en bij de gebruikers.

Er is dus niet overal een bron beschikbaar voor elke keuze. Dit is afhankelijk van de lokaal aanwezige bronnen, maar ook andere beperkingen rondom inpassingen. Zo heeft dit allemaal gevolgen voor het netwerk en de opbouw ervan, met elk weer eigen ruimtebeslag.


direct
indirect
primair
secundair
RESTWARMTE
GEOTHERMIE
AQUATHERMIE MET WKO
Weinig zichtbaar ruimtebeslag op alle schaalniveaus
Specifieke locaties in de stadsranden
Buffers inpassen aan de stadsrand
Specifieke locaties bij water en de gebruikers
Specifieke locaties op nationale schaal
Potentie restwarmte
Gebied met potentie voor geothermie
Potentie aquathermie

ENERGIELABEL A OF BETER, B EN C, OF D EN SLECHTER

Het primaire ruimtebeslag van verschillende energielabels,
en de secundaire ruimtelijke consequenties

PRIMAIR

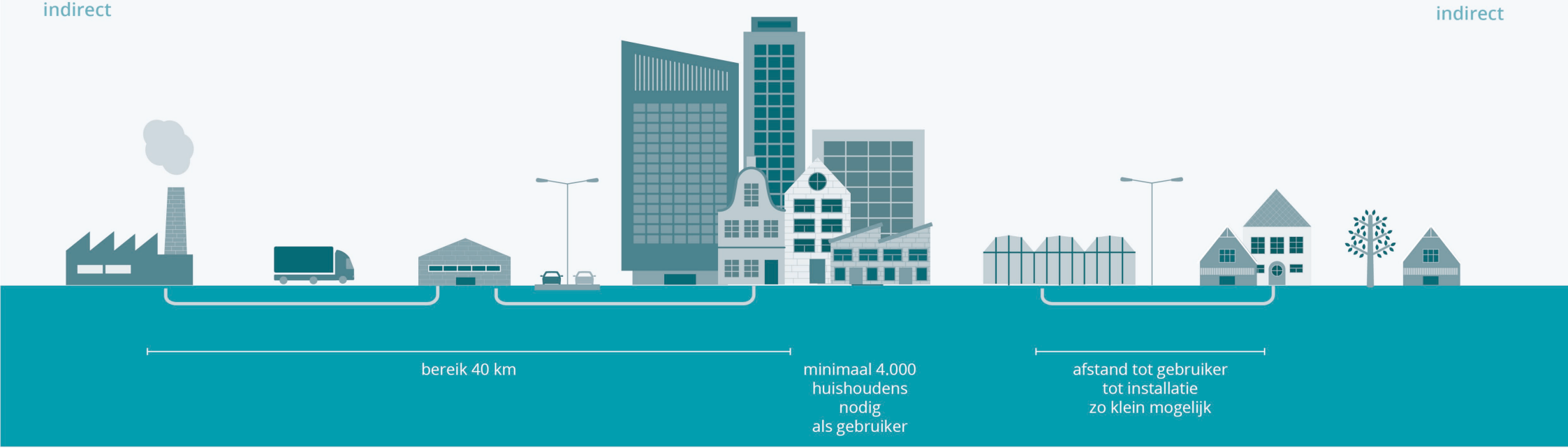
direct

SECUNDAIR

direct

indirect

indirect



ENERGIELABEL A EN BETER, B EN C, OF D EN SLECHTER

De keuze voor isolatiemaatregelen heeft een impact op ruimtebeslag elders.

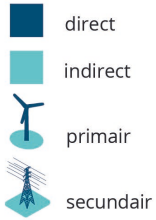
RUIMTEBESLAG
PRIMAIR
Bij het gebruik van bepaalde bronnen voor het verwarmen van huishoudens is het energielabel tot een zekere hoogte bepalend, ofwel de mate waarin een gebouw isolatie heeft.

SECUNDAIR
Over het algemeen kan worden gesteld dat nieuwbouw niet op hogetemperatuurnetwerken wordt aangesloten. Dit omdat de mate van isolatie van de bebouwing het toestaat om met lagere temperaturen een prettig binnenklimaat te bereiken. Dit betekent ook dat goed geïsoleerde gebouwen of wijken een ander netwerk vergen en dat dit veelal kleinschaliger kan worden opgezet en een lager ruimtebeslag heeft.

CONSEQUENTIES
Op regionaal en stadsniveau liggen verschillende keuzes. Bij een betere isolatie van bebouwing is het ruimtebeslag van het systeem kleiner en kunnen er meerdere soorten bronnen worden ingezet. In het geval van slechte isolatie zijn er minder bronnen geschikt om in te zetten en ook des te ingrijpender en groter zal het ruimtebeslag over het algemeen zijn.

Voor een woning met label A is zo goed als elke bron bruikbaar. Dus geothermie, oppervlaktewater, lucht-, water of warmtepompen zijn allemaal geschikt hiervoor. Daarmee is het ruimtelijke beslag relatief klein.

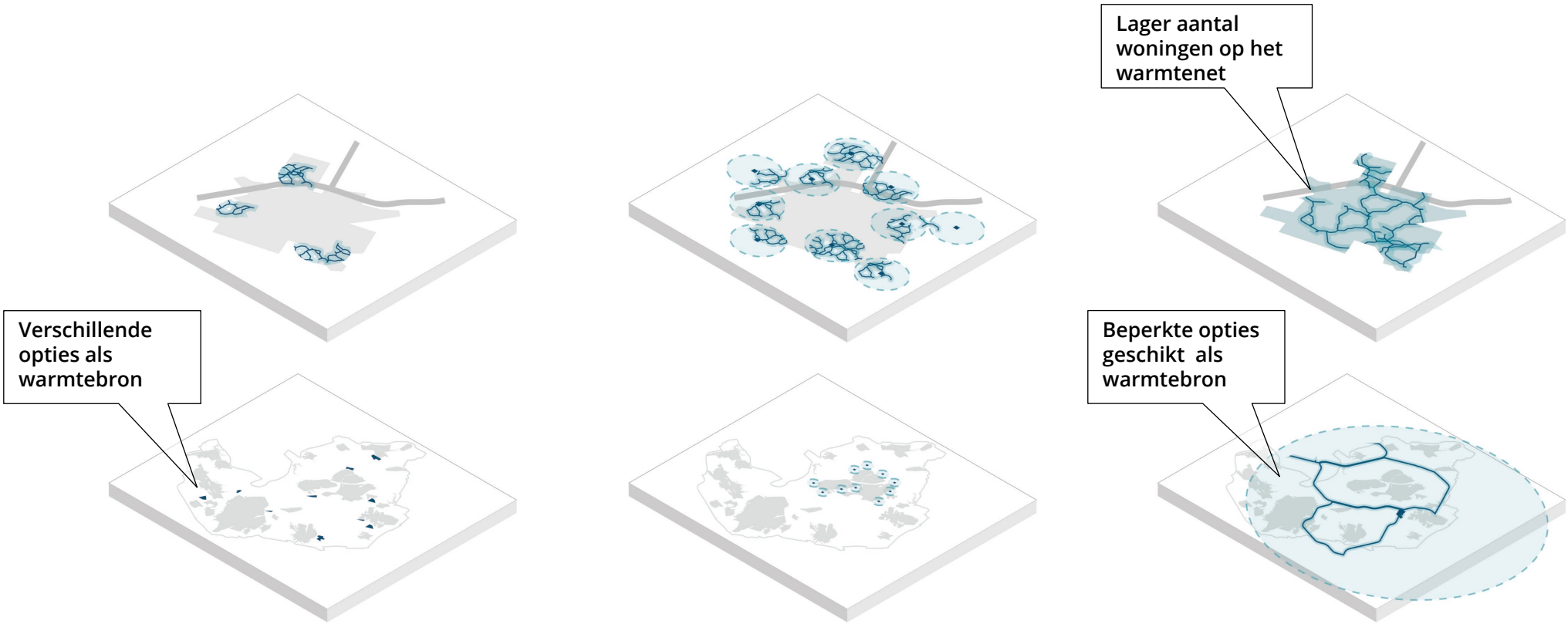
Een woning met label D of slechter, met aansluiting op een warmtenet, heeft altijd een systeem met hoge temperatuur, wat over het algemeen grootschaliger is en de warmte over grotere afstand transporteert. De ruimtelijke impact hiervan is groter.



LABEL A OF BETER

LABEL B EN C

LABEL D OF SLECHTER



WARMTEPOMP, (BIO)GAS OF RESTWARMTE

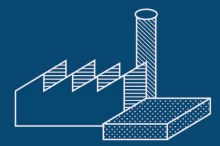
Het primaire ruimtebeslag van huizen verwarmen via warmtepomp, (bio)gas of restwarmte, en de secundaire ruimtelijke consequenties

PRIMAIR

direct

SECUNDAIR

direct



oppervlakte
bestaande industrie

250 m2 en 2000 m3
biovergister

max. 5 m2
installatie warmtepomp

indirect

indirect

HUIZEN VERWARMEN VIA WARMTEPOMP, (BIO)GAS OF RESTWARMTE

De beschikbare bron voor verwarming van gebouwen maakt uit, net als de mate van isolatie.

RUIMTEBESLAG
PRIMAIR
Primair heeft een industrieel cluster met restwarmte een groter ruimtebeslag dan een biomassavergistingsinstallatie. Maar zo een soort installatie is dan weer veel groter dan een warmtepomp.

SECUNDAIR
Ook ten aanzien van het secundaire ruimtebeslag bestaan grote verschillen. Zo staat een warmtepomp individueel in een huishouden en heeft dus geen collectieve voorzieningen nodig. Dit afgezien van het stroomnet waarop de pomp moeten worden aangesloten. Voor een biogasinstallatie en een netwerk voor restwarmte uit een industriecluster moeten er wel degelijk voorzieningen worden aangelegd.

CONSEQUENTIES
De verschillende keuzes leiden dan ook op andere schaalniveaus tot uiteenlopend ruimtebeslag.

Afhankelijk van het type woning en isolatieniveau is deze wel of niet geschikt voor de verschillende bronnen. Ook het type infrastructuur heeft een andere vorm – een elektriciteitsnetwerk bij een warmtepomp, of gasleidingen bij biogas, of warmtedistributie bij restwarmte – en kent dus een ander ruimtebeslag.

direct

indirect

primair

secundair

WARMTEPOMP

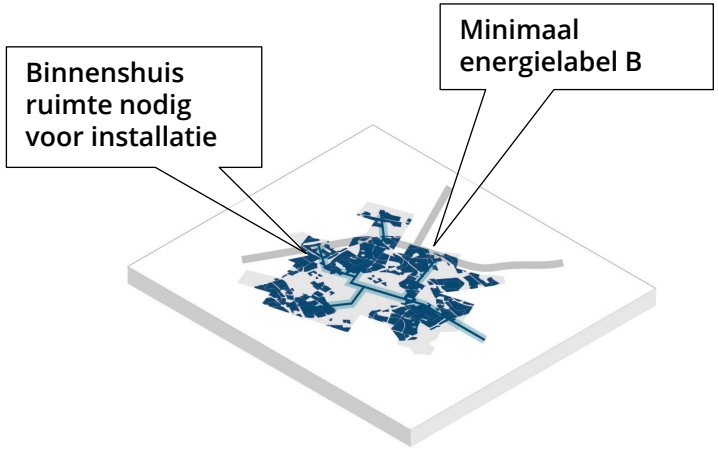
all-electric 1 TWh

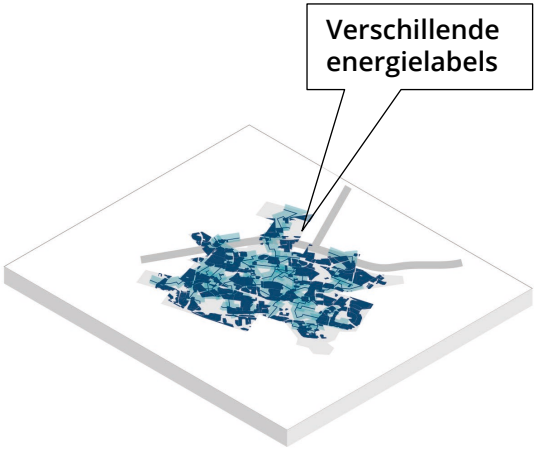
(BIO)GAS

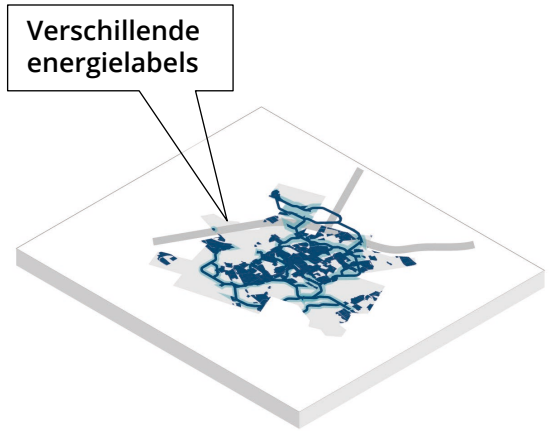
1 TWh

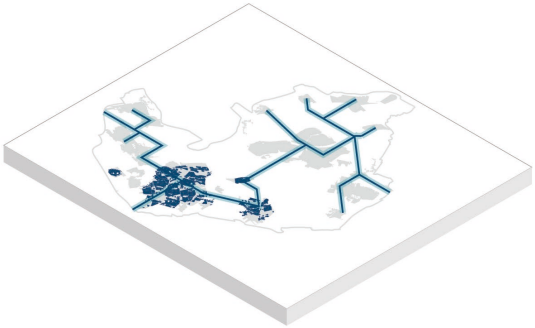
RESTWARMTE

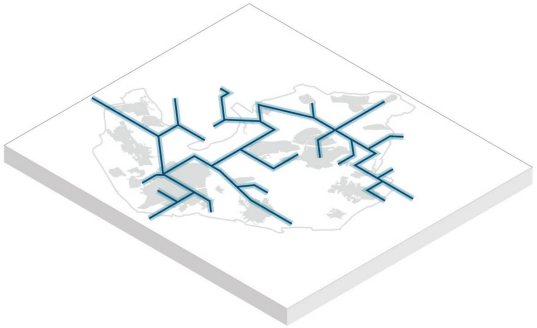
1 TWh

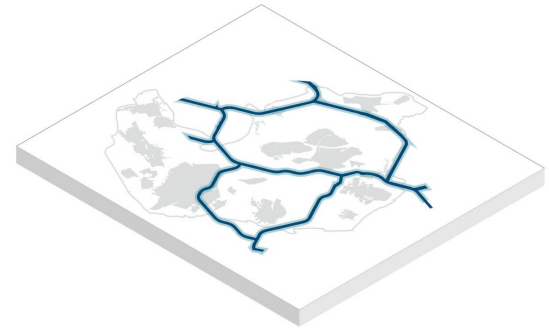












WATERSTOF OP ZEE OF LAND

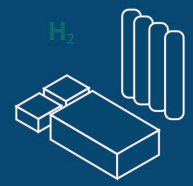
Het primaire ruimtebeslag van waterstof op zee of land,
en de secundaire ruimtelijke consequenties

PRIMAIR

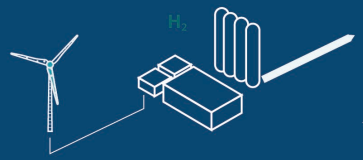
direct

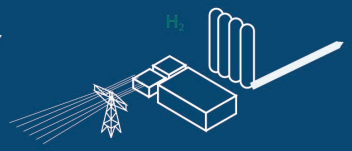
SECUNDAIR

direct

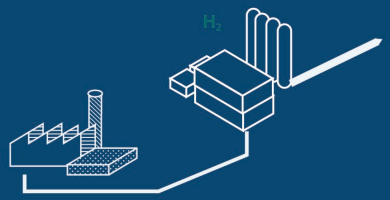


converter waterstof





elektriciteit naar waterstof



warmte uit waterstof
naar industrie

indirect

indirect

WATERSTOF OP ZEE OF OP LAND

Het produceren van waterstof vraagt om veel – duurzame – elektriciteit teneinde groene waterstof te maken. Deze keuze beschrijft het verschil tussen productie op land of op zee.

RUIMTEBESLAG
PRIMAIR
De ruimte die een elektrolyser inneemt is het primaire effect.

SECUNDAIR
Het ruimtebeslag secundair is het netwerk dat nodig is om de elektriciteit die de elektrolyser produceert te transporteren. Daarnaast kan een warmtenet nodig zijn voor het transport van restwarmte die vrijkomt in het proces.

CONSEQUENTIES
De productie van waterstof op zee betekent dat 'alle' energie afkomstig van de Noordzee in de vorm van waterstof aan land komt. Hiervoor kan een deel van het bestaande gasnetwerk benut worden. Hiermee is dan ook de aanlanding geregeld. De opslag van waterstof op land is voor deze keuze relevant, maar is voor nu niet meegenomen in deze afweging.

In het proces van waterstofproductie komt warmte vrij. Bij een offshore productie van waterstof op de Noordzee is deze warmte niet bruikbaar (behalve in het proces zelf) en gaat deze grotendeels verloren.

De waterstofproductie op land veronderstelt dat energie aanlandt in de vorm van stroom. Hiervoor worden bestaande en mogelijk ook nieuwe aanlandpunten voor hoogspanning gebruikt.

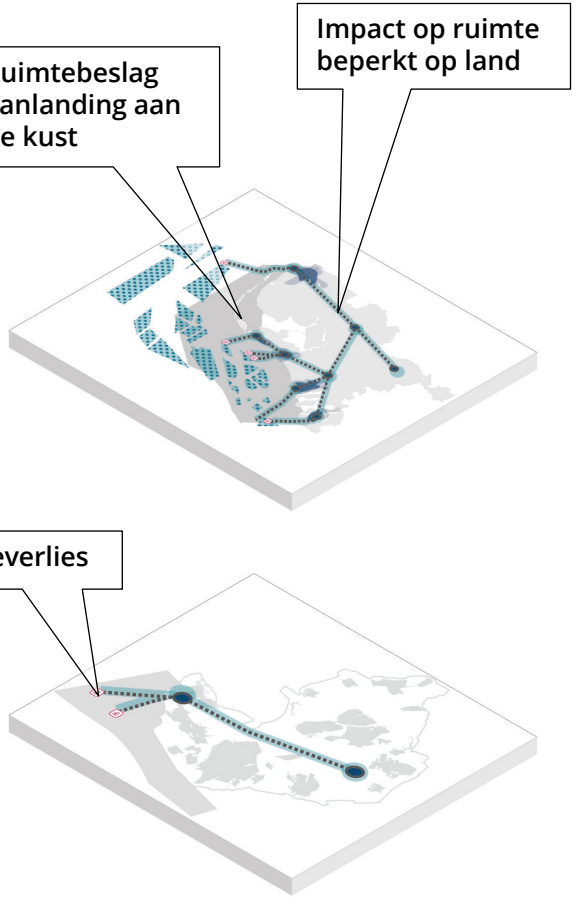
Deze keuze heeft mogelijk een grote ruimtelijke impact in het netwerk. De elektrolyser is verbonden met het hoogspanningsnet en dit vraagt dus om ruimte naast de plek van waterstofproductie. Deze optie gaat uit van productie op een locatie die zinvol is voor de industrie, maar wel ver weg van het stedelijke gebied. In dat geval gaat de warmte verloren die vrijkomt bij het produceren van waterstof, tenzij de industrie de warmte zelf kan benutten of er bijvoorbeeld een glastuinbouwcluster in de buurt ligt. Door het nuttig gebruik van de restwarmte is de totale energievraag van het systeem lager, hetgeen elders tot een kleiner ruimtebeslag voor energieproductie kan leiden.

De derde keuze laat het ruimtelijke effect zien van de productie van waterstof op land in industriële clusters bij stedelijk gebied. Door deze specifieke locaties is er een afzetmarkt voor de restwarmte, namelijk het verwarmen van huizen of gebouwen.

Elk van de keuzes levert een geheel ander hoofdsysteem op en dit heeft effecten op de gebruiker. Dit zijn met name de gebruikers die mogelijk voorzien kunnen worden door de secundaire kenmerken van de waterstofproductie.

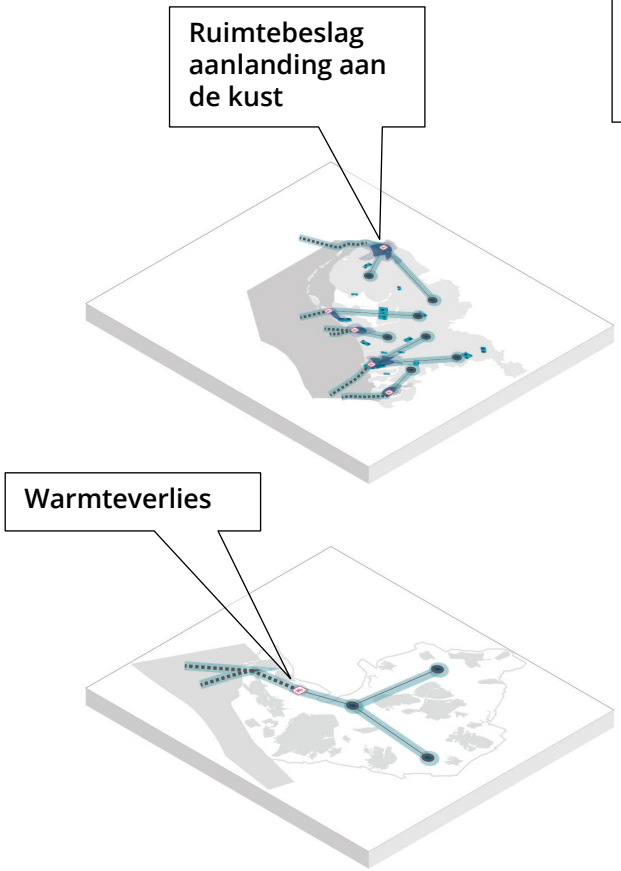
direct
indirect
primair
secundair

WATERSTOF OP ZEE



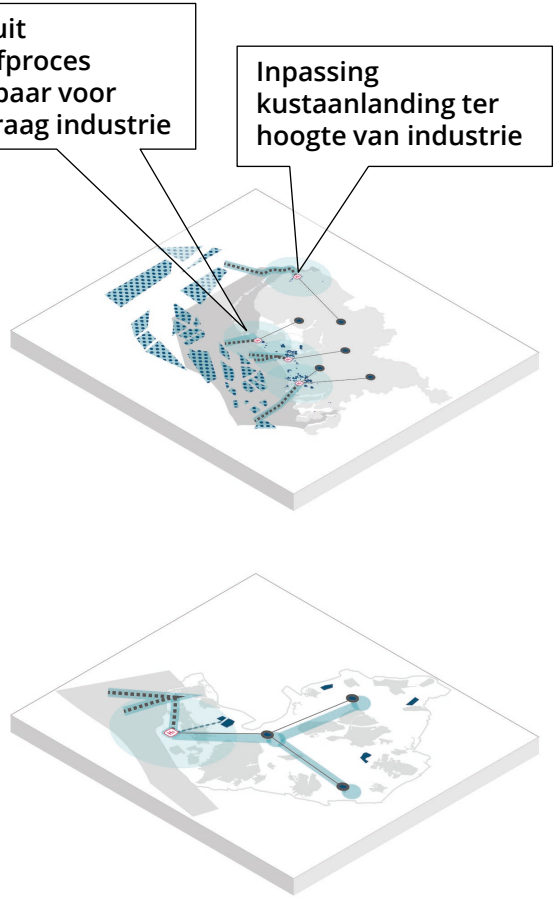
WATERSTOF OP LAND

buiten stedelijk gebied



WATERSTOF OP LAND

bij industrie



05 Beleidsinstrumenten

Met veel instrumenten worden keuzes gemaakt die ruimtelijke gevolgen hebben. Een deel hiervan betreft ruimtelijke instrumenten, zoals de NOVI, de omgevingsvisies, omgevingsplannen, verordeningen en andere omgevingsinstrumenten. Hier is het ruimtelijk gevolg vaak duidelijk. Maar ook met niet-ruimtelijke instrumenten wordt ruimtelijk gestuurd. Bijvoorbeeld met subsidies en fiscale regelingen. Niet door direct locaties aan te wijzen of kaarten te tekenen, maar wel omdat bepaalde technieken gestimuleerd worden en andere niet, of dat bepaalde locaties aantrekkelijker worden dan andere.

Knoppen en beleidsinstrumenten

Voorbeelden

Bij deze instrumenten zijn de ruimtelijke gevolgen vaak veel minder goed in beeld, terwijl deze beleidskeuzes wel grote ruimtelijke gevolgen kunnen hebben. Hier is ruimte soms een blinde vlek.

Bijvoorbeeld:

- Sommige gemeentelijke subsidies voor aardgasvrij stimuleren de facto de aanschaf van warmtepompen. Deze subsidies zijn doorgaans voor individuele huishoudens; een niveau waar de keuze voor een warmtenet geen optie is. Als veel mensen in een wijk gebruik maken van dergelijke regelingen, ontstaat een wijk met veel verschillende soorten warmteoplossingen. Dit brengt de (financiële) haalbaarheid van een warmtenet in die wijk in gevaar, aangezien die een groot aantal aansluitingen per strekkende meter warmtenet nodig heeft. Ook als een wijk in eerste instantie wel geschikt zou zijn, komt er dan dus waarschijnlijk geen warmtenet.
- De ISDE stimuleert individuele oplossingen, voornamelijk warmtepompen. De collectieve warmtenetten komen hiervoor niet in aanmerking. Ook hiermee wordt sterk gestuurd richting individuele oplossingen boven warmtenetten.
- Voor grotere warmtebedrijven is de Energie-investeringsaftrek (EIA) een bepalend instrument in het rondrekenen van de business case van warmtenetten. Wijzigingen in de EIA zijn daarmee dit ruimtelijk ook zeer relevant.
- De systematiek van de salderingsregeling zorgt enerzijds voor niet-volledig benutte daken, omdat het opwekken door deze regeling vooral gunstig is voor eigen gebruik. Benutting van kleine dakoppervlakken zou efficiënter kunnen met een gewijzigde systematiek. (Overigens heeft een sterke spreiding van zonnepanelen op woningen ook weer impact op het netwerk, met de bijbehorende ruimtelijke gevolgen.)
- Het Nationaal Energiebespaarfonds stimuleert energiebesparing en is daarmee ook ruimtelijk heel bepalend. Want alle energie die niet wordt verbruikt hoeft ook niet worden opgewekt.
- In 2017 stimuleerden de Gasunie en een Gronings energieloket de aanschaf van gasgestookte hybride warmtepompen. Deze woningen blijven dan afhankelijk van het aardgasnet, waarmee andere warmteoplossingen moeilijker in beeld komen.

Een opmerking bij deze voorbeelden: dit betekent niet dat deze instrumenten een ‘slecht idee’ of een 'goed idee' zijn, maar dat ruimtelijke effecten mogelijk nog impliciet blijven en geen expliciet onderdeel zijn van de afweging. Hierdoor kunnen er onvoorziene ruimtelijke consequenties optreden, die weer heel bepalen kunnen zijn voor het verloop van de energietransitie op deze plek.

Afwegingen systeem en ruimte

Afwegingscriteria

In deze studie staan ruimtelijke implicaties van keuzes in het energiesysteem centraal. Uiteraard is ruimte slechts één van de afwegingscriteria.

In de RES is hiervoor het bekende afwegingskader opgesteld met daarin vier afwegingscriteria: naast ruimte ook kwantiteit, energiesysteemefficiëntie en bestuurlijk en maatschappelijk draagvlak. In het kader van de NOVI is het Rad van de Leefomgeving opgesteld dat nog uitgebreider is.

Ruimte is een ingewikkeld kwadrant om af te wegen met andere belangen. Met name euro's zijn toch duidelijker. De bedoeling is dat het expliciet maken van direct en indirect, primair en secundair ruimtegebruik in deze studie helpt bij het maken van afwegingen die ook ruimtelijk verstandig zijn. Hiervoor hebben we ons in deze studie vooral gericht op de kwantitatieve ruimtelijke kenmerken. Ook dit is een beperking: ruimtelijke kwaliteit is – naast kwantitatief ruimtegebruik – ook zeker relevant, maar nog moeilijker af te wegen. 'Vierkante meters' rekenen makkelijker dan kwaliteiten en kenmerken. Ruimtelijke kwaliteit is ook sterk plaatsafhankelijk: dezelfde maatregel kan op de ene locatie kwaliteit toevoegen, en elders afbreuk doen aan de kwaliteit. Ruimtelijke kwaliteit vraagt om een gebiedsgerichte, locatiespecifieke aanpak.

06 Aanbevelingen

De *proof of the pudding is in the eating*: de ruimtelijke strategie is een abstract model en krijgt pas echt waarde bij gebruik in de praktijk. Verder, gezien de grote ruimtelijke impact van allerlei keuzes in het energiesysteem, zou het ook van waarde zijn om de effecten nog explicieter mee te wegen in het opstelling van allerlei instrumenten. Ook de financiële instrumenten. Een idee hiervoor is om dit te doen aan de hand van een 'ruimtetoets'.

De tool blijft in ontwikkeling met nieuwe kennis. Hierover een aanvulling delen? Contact ons via het e-mailadres op de interactieve website www.ruimtevoorenergie.nl.

Uitgevoerd door Generation.Energy, Bright & Groen Licht
In opdracht van het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties