

# SMART. MULTI. COMMODITY. GRID\_

DE ZUID-HOLLANDSE  
ENERGIE-INFRASTRUCTUUR  
IN KAART



**FABRICations.**

kamangir   
dream • develop • do

# SMART. MULTI. COMMODITY. GRID\_

DE ZUID-HOLLANDSE  
ENERGIE-INFRASTRUCTUUR  
IN KAART

Mei 2018

FABRICations.

kamangir   
dream • develop • do



Energy Innovation Board  
Zuid Holland





## VOORWOORD

In Zuid-Holland werken we volop aan de energietransitie. En dat is ook nodig. De ambitie ligt hoog en het zal stevig aanpoten zijn op alle vlakken. De resultaten willen we de komende jaren tastbaar maken in de manier waarop huizen verwarmd worden, auto's rondrijden en nieuwe, duurzame energieproducten en -diensten in de provincie toegepast, ontwikkeld en opgeschaald worden. Hierin trekken wij op met andere overheden, bedrijven, bewoners, en kennisinstellingen. De Energy Innovation Board Zuid-Holland fungeert hierbij als ijsbreker en aanjager rond een groot aantal energie-innovaties.

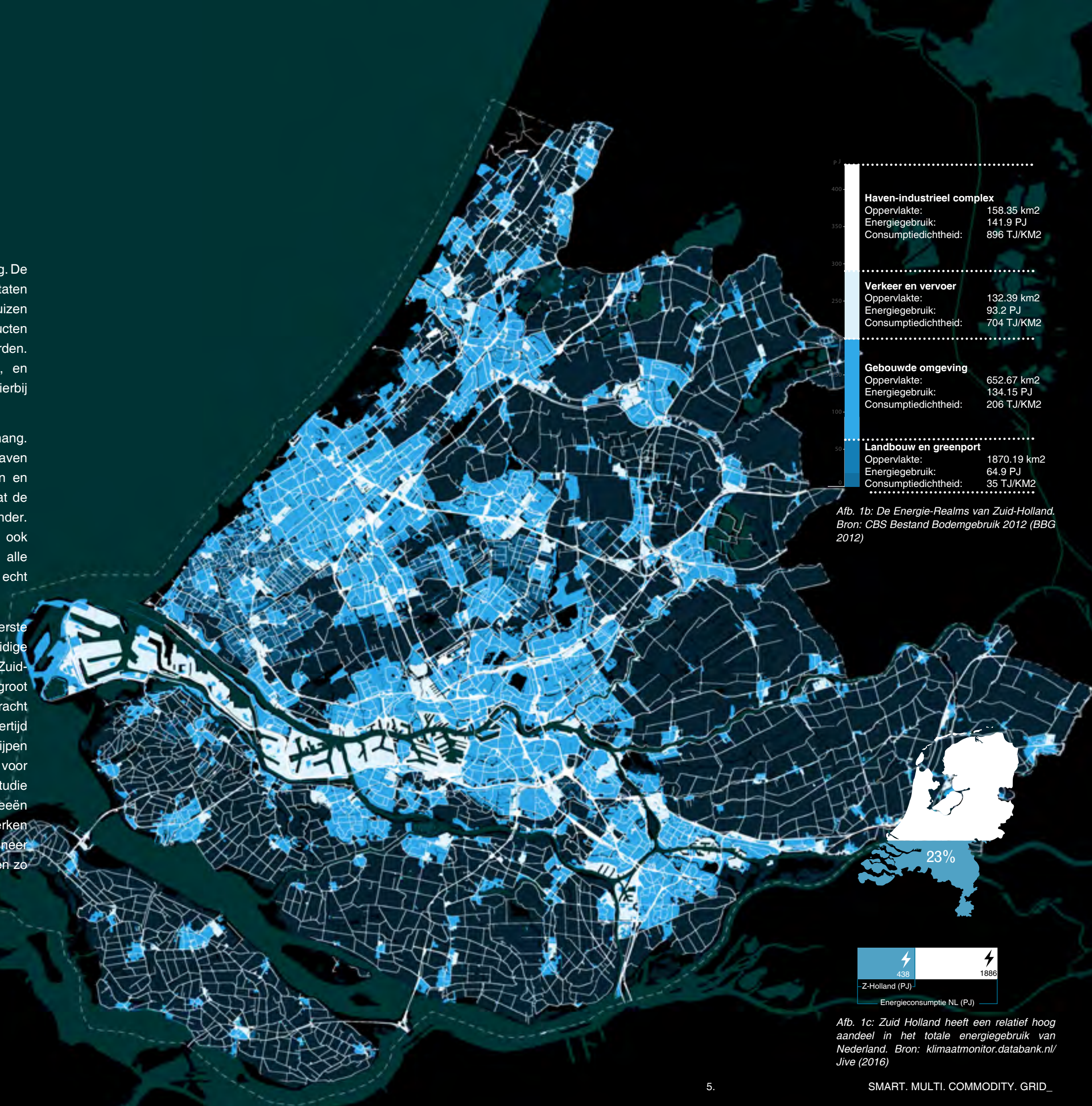
De Energy Innovation Board zet nadrukkelijk in op het belang van samenhang. Samenhang tussen de acties van verschillende partijen, tussen de opgaven in verschillende gebieden en sectoren en tussen individuele projecten en technieken. Alleen zo krijgen we vaart en richting en voorkomen we dat de oplossing van de één leidt tot onnodige kosten en problemen voor de ander. Met het Smart Multi-Commodity Grid (SMCG) richten we ons daarom ook op samenhang: tussen de netwerken, opslag en marktmodellen die alle afzonderlijke veranderingen verbinden en cruciaal zijn voor bijna elke echt duurzame business case.

De studie van Kamangir en FABRICations die hier voor u ligt laat de eerste stap zien in het ruimtelijk ontwerp van het SMCG. De studie brengt de huidige staat van onze verschillende energienetwerken in beeld, en stelt dat in Zuid-Holland de economische impact en kansen van een SMCG minstens zo groot zijn als de productie van duurzame energie. Er is letterlijk in kaart gebracht waar de provincie op dit onderwerp anno 2018 staat, en biedt u tegelijkertijd een daarbij passend begrippenkader. Deze studie helpt om beter te begrijpen waar we de komende jaren en decennia naartoe gaan en vormt de basis voor de ontwikkeling van nieuwe scenario's. Ik wil u dan ook vragen deze studie te lezen met in uw achterhoofd de vraag: wat betekent dit voor mijn ideeën en plannen op korte en lange termijn? En: hoe kan ik daarin samenwerken met anderen? Ruimtelijk ontwerp dient immers niet om een blauwdruk neer te leggen, maar om in dialoog beter te begrijpen wat er aan de hand is en zo betere besluiten te nemen.

Han Weber

Energy Innovation Board Zuid-Holland en gedeputeerde Energie

Afb. 1a: De gemiddelde energiegebruiksdichtheid in Zuid-Holland uitgesplitst per realm.



Afb. 1b: De Energie-Realms van Zuid-Holland. Bron: CBS Bestand Bodemgebruik 2012 (BBG 2012)

Afb. 1c: Zuid Holland heeft een relatief hoog aandeel in het totale energiegebruik van Nederland. Bron: klimaatmonitor.databank.nl/ Jive (2016)



## INHOUD

	Samenvatting	8
	Summary	10
1.	Inleiding	12
2.	Het SMCG	14
3.	De Legenda	22
	Moleculen: de huidige backbone	27
	Elektronen: de veelzijdige en snelle drager	35
	Warmte: het onderbenutte potentieel	43
4.	Strategische Overwegingen	50
5.	De Energie Realms	54
6.	Conclusies en aanbevelingen	62
7.	Slotwoord	65

## SAMENVATTING

Zuid-Holland is bijzonder belangrijk voor de Nederlandse en - rond mobiliteit en chemie - zelfs West-Europese infrastructuur. In Zuid-Holland is bijna elke denkbare vorm van energieopwekking, -transport en -gebruik present, veelal met een hoge mate van intensiteit, gevoed door een tot in de haarvaten uitgewerkte infrastructuur die 1,6 miljoen panden, tientallen grootschalige industriële gebruikers, honderden agri-ondernemers en meer dan honderdduizend mkb-ers verbindt. Het ligt dan ook voor de hand dat deze regio een leidende rol oppakt in de ontwikkeling van een duurzame energie-infrastructuur. Daarom werken overheden, kennispartijen en bedrijfsleven samen aan een innovatieve, daadkrachtige en gecoördineerde aanpak onder de noemer Smart Multi Commodity Grid. Doel is om in verbinding met elkaar te komen tot een post-transitie energielandschap met de hoogst mogelijke maatschappelijke baten. Een energie-infrastructuur die resiliënt is, robuust, veilig. Voorzienend in de behoeften van een bijzonder breed palet aan gebruikers en aanbieders, en klaar om 100% uit schone, hernieuwbare bronnen afkomstige energie in verschillende vormen precies op de behoefte van een grote diversiteit aan gebruikers aan te sluiten.

De Zuid-Hollandse energie-infrastructuur speelt een centrale rol bij het realiseren van de energietransitie. De fysieke infrastructuur (netten en opslag) en haar aansturing (markten, regelgeving en rollen) vormen de bloedvaten en het zenuwstelsel van het energiesysteem. Deze infrastructuur zal fundamenteel veranderen. Bovendien beïnvloeden keuzes rond infrastructuur tientallen jaren lang de opties voor verduurzaming van opwek en gebruik.

**Smart** draait om flexibiliteit: het slim sturen en balanceren van vraag en aanbod via nieuwe marktstructuren op basis van IT. Dit zorgt voor betere benutting van de capaciteit van infrastructuur en bronnen en voorkomt miljarden aan energiekosten. **Multi**

**Commodity** betekent het inzetten op drie onderling verbonden en duurzaam geproduceerde energiedragers: moleculen (energie die verplaatst wordt door een energiedragend molecuul te verplaatsen – gas, vloeistof), elektronen (energie die verplaatst wordt door deze van -veelal koper- molecuul tot molecuul door te geven in een kabel) en warmte (waarbij de mate van trilling van een molecuul de hoeveelheid verplaatste energie bepaalt). Iedere energiedrager heeft zijn eigen sterke en zwakke punten en deze kunnen elkaar daardoor goed aanvullen.

Dit rapport beschrijft de huidige topologie van het energiesysteem in Zuid-Holland vanuit een SMCG-perspectief aan de hand van een zich steeds verder ontwikkelend vocabulaire en een daarbij behorende nieuwe kaartenset met legenda. Deze kaartenset toont langs de drie energiedragers (moleculen, elektronen en warmte) (1) de bronnen/import, (2) transport en opslag en (3)

gebruik en conversies tussen energiedragers. Daarnaast biedt het rapport een overzicht van de rol van het SMCG en de lopende innovatieprojecten binnen de verschillende realms (domeinen) in Zuid-Holland: het haven-industrieel cluster, mobiliteit, gebouwde omgeving, tuinbouw en buitengebied.

Een aantal eerste inzichten op basis van deze beschrijving zijn:

- Het huidige haven-industrieel cluster moet niet alleen gezien worden als energieproducent en CO<sub>2</sub>-uitstoter, maar ook als flexibiliteitsmachine voor Zuid-Holland en ver daarbuiten vanwege de grootschalige opslag van,geconcentreerde energiedragers en de conversie daarvan in andere vormen;
- Het fysiek invullen van flexibiliteit op een lager schaalniveau zoals in de gebouwde omgeving voorkomt een deel van de extra benodigde infrastructuurkosten, maar heeft waarschijnlijk een veel grotere ruimtelijke impact dan de huidige vormen van opslag. Belangrijk is om op de verschillende schaalniveaus (wijk, regionaal, nationaal) de mogelijkheid te ontwerpen om energieconversies, opslag en flexibiliteit in het energiesysteem te passen. In feite moet elke gebruiker vanwege het ontwerp van de hem beschikbare infrastructuur in staat zijn zelf te kiezen voor de energiebronnen, energiedragers en flexibiliteitsoplossingen die deze gebruiker optimaal van dienst zijn;
- Hoe robuuster wij onze infrastructuur willen ontwikkelen, hoe grootschaliger oplossingen gebouwd moeten worden voor het kunnen verenigen van vraag en aanbod op landelijk-, regionaal- en op wijkniveau. Met andere woorden: Als wij net zo goed in onze momentane behoefte aan energie willen voorzien als wij nu gewend zijn zal de infrastructuur (veel) duurder worden;
- Door opslag en conversie op locaties met grote pieken in vraag of aanbod in te zetten, kan de infrastructuur het meest ontlast worden;
- Naar alle waarschijnlijkheid zullen allerlei energiefuncties, zoals het balanceren van het net en opslag niet alleen meer grootschalig, maar ook kleinschalig, oftewel gedistribueerd, bestaan;
- Vanwege dit gedistribueerde karakter, de hoge kosten voor fysieke infrastructuur en de fundamentele onzekerheden rond de energietransitie ligt een smart-first digitaliseringsstrategie voor de hand.

Dit overzicht vormt het een basisbestandsdeel voor een volgende fase in de ontwikkeling van het SMCG: het identificeren van kansrijke interventies, ontwikkelen van scenario's, en een kennis- en actieagenda.

### Het haven-industrieel cluster werkt als flexibiliteitsmachine voor Zuid-Holland en ver daarbuiten

## SUMMARY

One of the primary issues in the worldwide energy transition is to design and create the grids, IT and market structures that form the blood vessels and neural system to serve a sustainable, renewables-based, highly resilient and digitalized energy economy. This economy is best described as an Internet of Energy (IoE). The Dutch province of South Holland steps up to take a lead.

South Holland is a major local and international energy hub. The port of Rotterdam has some of Europe's largest international energy flows, refineries and chemical industries and is situated next right to major greenhouse industries and cities. This results in opportunities to link different energy realms through new physical infrastructure (grids, energy storage, energy conversions) and institutional infrastructure (markets, roles, IT). Currently, CO2 and hydrogen pipelines, an open heat network for residual heat from industry and geothermal sources and first smart grids are in place and extended. In addition, the region is a home to pro-active DSO's and TSO's, leading international industries and knowledge institutes, local energy tech startups and neighbourhood initiatives.

All of these parties are now working together to create an important first step towards the IoE: a **Smart Multi Commodity Grid**.

The SMCG is designed to be **Smart** in order to create flexibility and to ensure optimal utilization of energy assets. Thus preventing billions worth of grid investments. **Multi Commodity** refers to the integrated approach to three energy carriers: molecules, electrons and heat. Each with its own interconnecting **Grid**. Finally we anticipate on the development of interoperability between various resources and carriers, each complemented with their own storage options in order to ensure the highest level of reliability, resilience, future-proofness and sustainability.

**In our energy system, the physical infrastructure can be compared with blood vessels, while the complex of markets, regulations and roles can be seen as the neural system**

This study lays down the current topology of the energy system in South Holland with a legend and vocabulary especially developed to describe the key elements of the SMCG. It does so for each energy carrier, from import/primary sources via transportation and storage all the way to use and conversion to other energy carriers. Furthermore this study describes the role of the SMCG and lists current innovative projects in various energy domains. As such it forms a basis for the future exploration of different SMCG designs.

Some of the first insights are that the current port-industrial cluster should not be regarded primarily as a site of energy production with its high carbon emissions, but as a flexibility machine through its disposition to convert and store energy at a tremendous scale. Secondly, it ranks different storage options though their energy densities and relates storage to demand side management and

grid capacity, raising questions about optimal siting of storage options. Thirdly, it discusses the likely increasing distributed nature of energy functions beyond prosumerism to such functions as net balancing, energy conversion and energy flexibility and commodity trade. Lastly, it

proposes a smart-first digitalization approach in order to create a future-proof, resilient, reliable and affordable SMCG.

**The harbor-industrial activities serve as a flexibility machine for Zuid-Holland and far beyond**

# 1. INLEIDING

De energietransitie is meer dan een transitie van fossiele bronnen naar duurzame bronnen (zie afbeelding 2). Het is ook de transitie van geconcentreerde energieopslag in kolenbergen en tank terminals naar meer verspreide batterijen, boilers en waterstoftanks en ondergrondse warmteopslag die tezamen een veel grotere oppervlakte innemen. Van gas- en olieleidingen naar waterstof-, warmte- en elektriciteitsnetwerken. En van vraaggestuurde, centrale, levering naar intelligente, deels aanbodgedreven, gedistribueerde netwerken en marktmodellen. Opslag en nieuwe netwerken vragen grote investeringen. Bovendien ligt daar, vanwege het hoge energiegebruik en de huidige, sterke infrastructuur een natuurlijke opgave voor de provincie Zuid-Holland.



Afb. 2: Er wordt al lang gesproken over 'Peak Oil' - het moment dat de productie van fossiele brandstoffen een piek bereikt. Wanneer dit schema op millenniumschaal geplaatst wordt, zal het verbruik van fossiele grondstoffen op lange termijn een anomalie in de geschiedenis van de moderne mens zullen zijn geweest. (Bron: Rocky Mountain Institute, 2011)

De verduurzamingsopgave is onverminderd groot, maar bedrijven, bewoners en bestuurders doen er goed aan zich daar niet blind op te staren. Wanneer Zuid Holland erin slaagt om alle elektriciteit voor huishoudens lokaal, duurzaam op te wekken wordt daarmee slechts 1% van het Zuid-Hollandse energiegebruik verduurzaamd<sup>1</sup>. En om de huidige industrie op biomassa te laten draaien is een landbouwoppervlak van 10 tot 20x de provincie nodig<sup>1</sup>. Veel duurzame energie zal dus van buiten de provincie komen. De veranderingen in de energie-infrastructuur zijn misschien minder direct zichtbaar, maar gaan een enorme impact hebben.

Zuid-Holland was van oudsher -en is met diens energie-infrastructuur nog steeds- een sterpseler in het slim verbinden van energievraag en -aanbod. Het is één van de grootste (inter-) nationale knooppunten voor handel, opslag, conversie en distributie van energie. Zeker voor chemie, mobiliteit en transport. Dit spat van je netvlies op het moment dat je over de A15 door het havengebied tientallen kilometers rijdt langs grote opslagtanks, dikke pijpleidingen, raffinaderijen en elektriciteitscentrales. Deze infrastructuur vormt, samen

**Wanneer Zuid Holland alle elektriciteit voor huishoudens lokaal, duurzaam opwekt, wordt slechts 1% van het Zuid-Hollandse energieverbruik verduurzaamd**

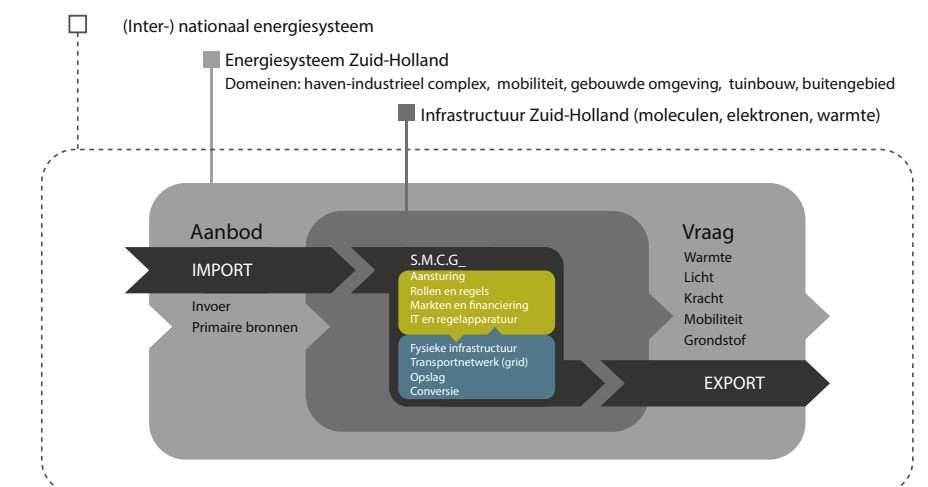
<sup>1</sup> Uit het rapport "Van Volume naar Waarde", Kamangir, 2017. Databron: Quintel Intelligence, Energietransitiemodel.nl

met die in de gebouwde omgeving, mobiliteit, tuinbouw en de Zuid-Hollandse buitenruimte de bloedvaten en het zenuwstelsel van onze energievoorziening.

We kennen hierbij drie elementen:

1. De fysieke netwerken van kabels, buizen, batterijen en wegen die vraag en aanbod geografisch koppelen, de opslag via onder meer tanks, batterijen, de bodem, en de conversie (omzetting) tussen verschillende energiedragers die vraag en aanbod in de tijd koppelen;
2. De aansturing van vraag, aanbod, transport en opslag via markten, regelgeving en rollen;
3. Het daadwerkelijke gebruik van de infrastructuur, oftewel het continue spel tussen vraag en aanbod die over het fysieke netwerk verenigd worden.

Tot nu toe kon de 4,4% (2016) duurzame energie eenvoudig ingepast worden in de bestaande energie-infrastructuur<sup>1</sup>. De bloedvaten (de netwerken en opslag) en zenuwbanen (de aansturing) konden hetzelfde blijven. Maar dat gaat ingrijpend veranderen en zal grote invloed hebben op de snelheid, kosten en richting van de energietransitie. Als bedrijven en overheden, industrie en huishoudens dit actief en integraal aanpakken, liggen hier kansen. Dat vraagt om een gezamenlijk denkkader en startpunt, dat tot nu toe ontbrak: het Smart Multi Commodity Grid.



Afbeelding 3: Het SMCG bestaat uit de fysieke energie-infrastructuur waarin zowel transport als opslag plaats vindt. Een tweede hoofdcomponent is de aansturing. Zo worden vraag en aanbod op lokale, regionale en (inter)nationale schaal op elkaar afgestemd.

## 2. HET SMCG

### It's the grid, stupid!

Op dit moment bereikt Nederland een nieuwe fase van de energietransitie. We komen uit een fase met veel nadruk op (experimenten met) energiebesparing en decentrale duurzame energie bij individuele aansluitingen. Daar moet nog ongelooflijk veel gebeuren, maar conceptueel zijn grote delen van die puzzel gelegd. In de volgende fase wordt duurzame energie mainstream. Wanneer de productie van duurzame energie uit zon en wind een bepaalde drempel overschrijdt, krijgt deze grote invloed op de distributie, opslag en balancering van het energiesysteem. Deze fase draait daardoor in toenemende mate om de samenhang tussen alle elementen van het energiesysteem: om systeemintegratie. Systeemintegratie in het energiedomein is nog grotendeels onontgonnen terrein en draait om de infrastructuur<sup>III</sup>.

De rol van infrastructuur (netwerken, opslag, aansturing) hangt sterk samen met de manier waarop we in 2050 duurzaam in onze energiebehoefte zullen voorzien: regionaal decentraal duurzaam en zelfvoorzienend, of nationaal, met grootschalige import van duurzame energie uit het buitenland, of (en waarschijnlijk) met een mix van decentraal en kleinschalig enerzijds, en grootschalig en internationaal georiënteerd anderzijds. Vooral wanneer we kiezen voor veel duurzame energie uit Nederland (regionaal of nationaal, op land en in zee) zijn de gevolgen voor opslag en infrastructuur groot (zie ook afbeelding 4a, 4b, 4c):

- Er is veel opslag nodig. Hernieuwbare energieproducenten als zonnecellen en windmolens leveren hun energie op voorwaarde dat de zon schijnt en de wind waait. En dat is lang niet altijd op het moment dat het meeste energie gevraagd wordt.
- Naast het opslaan van energie zal ook de energievraag meer flexibel worden: wij zullen bijvoorbeeld onze elektrische auto's voordelig opladen op momenten dat er veel aanbod is van duurzame energie.

### Wat is het SMCG?

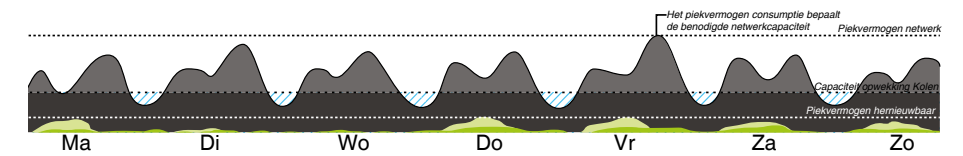
**SMART** draait om flexibiliteit: het slim aan laten sluiten van vraag en aanbod via nieuwe, IT enabled marktstructuren. Digitalisering speelt hierin een centrale rol.

**MULTI COMMODITY** draait om de samenhang tussen de drie belangrijkste energiedragers: warmte, moleculen en elektronen. Uitwisseling maakt dat bron en gebruiker minder afhankelijk van elkaar zijn.

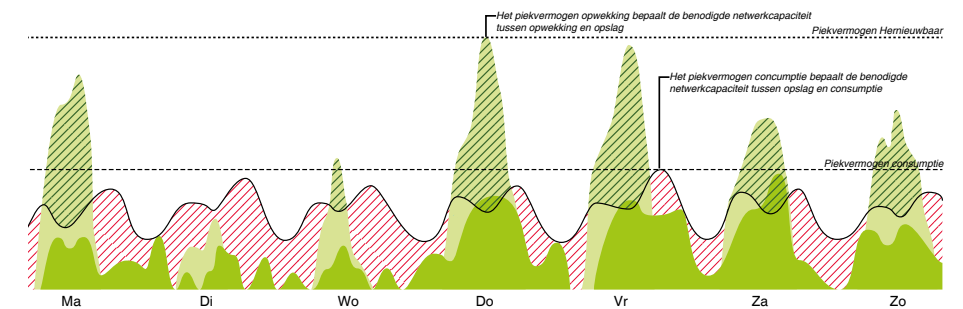
**GRID** de connectiviteit die het netwerk biedt om smart multi commodity te organiseren.

### Balans tussen vraag en aanbod in een duurzaam energiesysteem

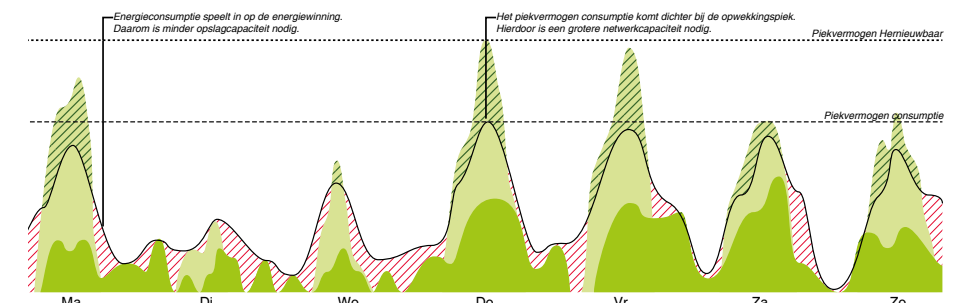
De productie van zonne- en windenergie volgt (in tegenstelling tot fossiel) niet de elektriciteitsvraag, maar de weersomstandigheden. Dus moeten aanbod en vraag naar elektriciteit op een andere manier afgestemd worden. Onderstaande figuren laten de samenhang tussen hernieuwbare energie, infrastructuur, opslag en flexibele vraag zien. Voor de redenering gaan we uit van een willekeurige week in een kleine wijk die volledig duurzaam en zelfvoorzienend wil worden. Overigens geldt in principe dezelfde redenering op de schaal van een stad, provincie of land.



Afb. 4a: De huidige situatie. De elektriciteitsvraag fluctueert gedurende de week en de infrastructuur moet ingericht zijn op de maximale momentane vraag naar elektriciteit: de piekvermogen consumptie. De elektriciteit wordt geleverd door een kolen- of gascentrale. De kolencentrale wordt vrijwel constant ingezet terwijl de gascentrale wordt ingezet om pieken in de elektriciteitsvraag op te vangen. Een tijdelijk overschot aan elektriciteit wordt geëxporteerd. Het kleine beetje duurzame energie uit zon of wind heeft nog weinig invloed.



Afb. 4b: Stel dat de wijk in kwestie een aantal windmolens plaatst die genoeg elektriciteit produceren om netto zelfvoorzienend te worden, terwijl de vraag hetzelfde blijft. Het beeld verandert nu volledig. Er is veel opslag (gearceerd oppervlak) nodig om aan de vraag te kunnen voldoen. Ook zijn er nu twee relevante pieken voor het netwerk: het benodigde piekvermogen van de consumptie en het piekvermogen van de hernieuwbare bron (de windmolens). Wanneer de opslag plaatsvindt bij de windmolens, kan het netwerk gedimensioneerd worden op de (lagere) consumptiepiek. Wanneer de accu's bij de woningen staan, is een zwaarder netwerk nodig om het piekvermogen hernieuwbaar op te kunnen vangen. Daarom is het aantrekkelijk om opslag te koppelen aan de opwekking.

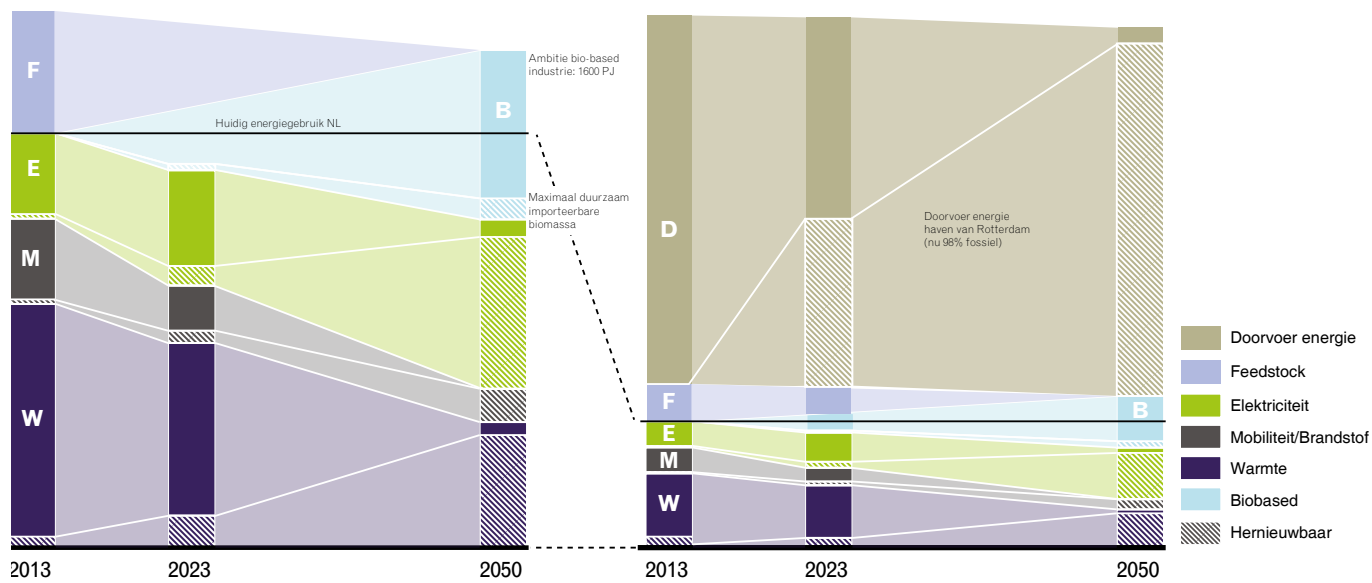


Afb. 4c: Een andere optie is om de energievraag flexibel te maken en af te stemmen op het aanbod. Bijvoorbeeld door water te verwarmen en auto's op te laden wanneer het hard waait en de zon stevig schijnt. Hierdoor is minder opslag nodig, maar komen de hernieuwbare piek en de consumptiepiek dichtbij elkaar te liggen. Het is daardoor minder belangrijk waar de energieopslag plaatsvindt.

### Legenda

- Hernieuwbare opwekking (wind)
- Hernieuwbare opwekking (zon)
- Import of aanvulling door Gas
- Opwekking Kolen
- Overschot hernieuwbare energie (opslagbehoefte)
- Tekort (opslagbehoefte)
- Overschot fossiele energie (naar de markt)
- Piekvermogen consumptie (transportbehoefte opslag-->gebruiker)
- ..... Piekvermogen opwekking (transportbehoefte opwekking -->opslag)
- Energiegebruik





Afb. 5: De belasting van het grid gaat enorm veranderen bij verduurzaming van het energiesysteem. De totale energievraag neemt in dit scenario af door efficiëntere processen, beprijzing en besparing, maar de balans van carriers helt steeds meer over naar elektronen en biomassa. En laten juist deze nu relatief duur zijn om te transporteren én een relatief lage energiedichtheid hebben.

de wereldwijde potentie. Dit terwijl wanneer de ambities van alle sectoren (energie en overige industrie) bij elkaar opgeteld worden, er al een vraag zal zijn van 1600 PJ equivalent. Met andere woorden: ook wanneer we stevig inzetten op biomassa is de vraag of we dan kunnen spreken van duurzaam en hernieuwbaar.

Door de transitie van de industrie naar bio-based gaan grondstoffenstromen daarnaast steeds meer concurreren en uitwisselen met energiestromen. Volgens onderzoek van het PBL kan Nederland in de toekomst maximaal 200 PJ equivalent biomassa importeren en/of zelf produceren wanneer we kijken naar

De rechter afbeelding toont hetzelfde beeld inclusief de doorvoer van energie in de Rotterdamse haven. Omdat ook de doorvoer gaat verduurzamen, geldt qua opslag en transport-infrastructuur eenzelfde opgave als voor het energiegebruik binnen de provincie.

Bronnen: Marco van Steekelenburg, PBL, Energy Transition Model

- Voor opslag, mobiliteit (waterstof en afgeleide brandstoffen) en de chemische industrie, zijn verschillende omzettingen (conversies) nodig om bijvoorbeeld duurzame elektriciteit en biomassa om te zetten in waterstof en andere energiedragers en vice versa. Conversie (net als transport en opslag) gaat altijd gepaard met energieverlies.
- Nieuwe en/of zwaardere netwerken moeten worden aangelegd. Denk aan het verzwaren van de elektriciteitsnetten voor duurzame elektriciteitsbronnen (zon en wind) en elektrische toepassingen (data, warmtepompen voor verwarming, elektrische voertuigen en chemie), uitbreiding van de warmtenetten en aanleg of aanpassing van netten voor CO<sub>2</sub> en waterstof.
- Tot slot vraagt de infrastructuuropgave om intelligente aansturing van de opwek, opslag, vraag, conversies en netwerken, zodat deze optimaal benut kunnen worden.

**In elk scenario zullen de kosten van het volledige energiesysteem in 2050 verdubbelen ten opzichte van nu**

1 Deze kosten zijn exclusief belastingen en subsidies en de kosten voor de industriële transitie, isoleren van huizen, en aanschaf van andere apparaten en voertuigen. De kosten zijn inclusief de hele energieketen van import tot verwarmingsinstallaties.

2 In het internationale en generieke scenario ontstaat een duurzame energievoorziening die vooral is gebaseerd op import van duurzame elektriciteit, waterstof en (gas uit) biomassa en het gebruik van olie en aardgas in combinatie met CO<sub>2</sub>-opslag. In deze scenario's verandert de energievoorziening -en ook de infrastructuur en opslag- een stuk minder. Alle vier de scenario's zijn uiteraard extreme mogelijkheden: het is zowel niet reëel om te verwachten dat Nederland zelfvoorzienend wordt, als dat er vanuit het buitenland, zeker als het gaat om biomassa, voldoende aanbod is. Een combinatie van scenario's is meer realistisch.

3 Wanneer we als vuistregel nemen dat de kosten voor Zuid-Holland evenredig zijn aan het energieverbruik (30% van de totale primaire energievraag in Nederland).

Een recente scenariostudie voor Netbeheer Nederland, de branchevereniging voor netbeheerders van gas en elektriciteit, geeft meer inzicht in de opties en kosten van een nieuwe energie-infrastructuur (tabel 1). Hierin zijn vier maatschappijbeelden (scenario's) doorgerekend waarbij de sturing regionaal, nationaal of internationaal is, dan wel in een mix hiervan. Voor ieder scenario is vervolgens een passende technologiemix opgesteld en zijn de totale kosten voor afschrijving en onderhoud van het hele energiesysteem (van bron/import tot eindgebruik) berekend exclusief belasting en subsidies. In elk scenario zullen de kosten van het volledige energiesysteem in 2050 verdubbelen ten opzichte van nu (van ongeveer 30 naar 60 miljard euro per jaar)<sup>1</sup>.

Kosten (miljard euro/jaar)	Scenario				
	Huidig	Regionaal	Nationaal	Internationaal	Generiek
Infrastructuur	3	13	11.3	6.1	7.1
Opslag	0	10.1	8.5	1.1	0.8
Bronnen en import	19	14.6	13.3	34.8	36
Conversies	5	12.4	12.8	6	6.1
Gebouwen en installaties	2	8	5.1	4.4	4.2
CO <sub>2</sub>	0.7	0.7	0.6	1	2.5

Tabel 1: Veranderende kosten van het energiesysteem, waarbij de kosten voor grotere infrastructuur en opslagmogelijkheden in alle scenario's veel groter zijn dan de opwekking.

De kosten van de vier scenario's zijn onderling vergelijkbaar. Het internationale en generieke scenario gaan uit van veel import van duurzame energie (vooral waterstof en biomassa) en gebruik van groen gas voor verwarming. In de nationaal en regionaal grotendeels zelfvoorzienende scenario's met veel elektriciteit, worden infrastructuur en opslag acht keer zo duur als nu<sup>2</sup>. In deze scenario's omvatten infrastructuur en opslag veertig procent van de totale kosten voor energievoorziening: veel meer dan de kosten voor import en Nederlandse opwekking van duurzame energie. Als we op de kosten voor de energietransitie willen sturen, dan is het dus belangrijk om nu slimme keuzes te maken voor infrastructuur en opslag.

Qua fysieke infrastructuur, conversies en opslag ontstaat zo een potentiële markt tot elf miljard euro per jaar voor Zuid-Holland<sup>3</sup>. Zeventien miljard voor de infrastructuur en opslag en vier miljard voor ondermeer de productie van waterstof en back-up centrales voor de elektriciteitsvoorziening. Dit getal kan ook lager worden. Wanneer Nederland vooral biomassa en duurzame elektriciteit uit het buitenland importeert, aangevuld met aardgas en olie met CCS, zijn de investeringen in infrastructuur en opslag lager, maar nog steeds het dubbele of drievoudige van nu. Het geld stroomt in dat geval voornamelijk naar het buitenland.

## Multi-Commodity Grids

Door in te zetten op de interoperabiliteit tussen meerdere, gekoppelde energiedragers (commodities) zijn minder zware netten en opslag nodig. Op dit moment kennen wij een centrale energievoorziening: grootschalige invoeding van energie die via steeds fijnmaziger netwerken naar kleine gebruikers gaat. Het omgekeerde: veel kleinschalige, bijna autonome systemen waarbij lokale duurzame energiebronnen en -gebruik met elkaar in evenwicht zijn, is een decentrale energievoorziening. Netten met zowel grootschalige als kleinschalige invoeding en gebruik betekent een gedistribueerde energievoorziening. Deze gedistribueerde energievoorziening biedt de beste mogelijkheden om netten en opslag te optimaliseren en zowel (inter-) nationale als lokale duurzame bronnen te exploiteren.

Om lock-in en suboptimalisatie te minimaliseren<sup>1</sup> is het zinvol om te sturen op bronafhankelijke (een aanbieder moet uit iedere beschikbare bron energie kunnen opwekken) infrastructuur en dragerafhankelijke (een gebruiker moet energie kunnen afnemen in iedere vorm die diens behoefte optimaal vervult) toepassingen. Dit leidt tot verdere integratie van de infrastructuur. De energievoorziening loopt nu grotendeels langs gescheiden lijnen: gasdistributienetten voor verwarming, tankstations en –wagens voor mobiliteit en elektrische distributienetten voor kracht en licht. Nu zijn, in tegenstelling tot het elektriciteitsnetwerk, de netwerken voor gas, brandstoffen en warmte te veel afhankelijk van één of enkele bronnen (resp. aardgas uit Slochteren, brandstoffen uit de raffinaderijen en warmte van afvalverwerkers en wkk's). Of de energiebron nu wind, zon, gas, aardwarmte of biomassa is, centraal of decentraal plaatsvindt, en welke drager ook gebruikt wordt: de netten moeten zo divers mogelijke invoeding mogelijk maken. Dragerafhankelijkheid betekent dat gebruikers gebruik kunnen maken van verschillende energiedragers. Bijvoorbeeld een industrie die zowel elektriciteit als waterstof kan gebruiken of produceren. Of waarbij voor een warme douche zowel restwarmte, verbranding van biobrandstoffen of elektriciteit omgezet ingezet kan worden. Het water is in alle gevallen comfortabel warm.

Op deze manier kan optimaal gebruik gemaakt worden van de voor- en nadelen van iedere infrastructuur en het fluctuerende aanbod en vraag van energie. Dit brengt de kosten omlaag en vergroot de leveringszekerheid.

**Het credo ter voorkoming van lock-in: investeer in een bronafhankelijke infrastructuur**

<sup>1</sup> Lock-in betekent dat eerdere investeringen en opgebouwde afhankelijkheden nieuwe, meer wenselijke ontwikkelingen tegenhouden. Dit is een veelvoorkomend verschijnsel, met als bekendste verschijnsel het QWERTY toetsenbord, waarover desalniettemin discussie kan ontstaan al naar gelang wat je als 'tegenhouden' en 'wenselijk' ziet. Zo zien sommigen CO2-afvang bij gascentrales als een fossiele lock-in, terwijl anderen het bijvoorbeeld zien als tussenstap richting biomassagebruik met negatieve emissies.

## Smart: intelligente energiemarkten

In een gedistribueerde en geïntegreerde energievoorziening zullen alle functies in het energiesysteem: zoals netbeheer, productie en handel ook decentraal plaatsvinden. We kenden al de prosumer, die zowel energie gebruikt als produceert. Bijvoorbeeld op de 51.000 adressen in Zuid-Holland die in 2015 zonnecellen op hun dak hadden. Maar met de uitrol van slimme energiemeters

**Naast de prosumer ontstaan in het nieuwe gedigitaliseerde energiesysteem nog meer rollen: de flexumer (die handig inkoopt bij overaanbod, de tradesumer (de lokale handelaar) en de conversumer (de energie-shapeshifter).**

en de veranderingen in regelgeving zullen daar steeds meer rollen bijkomen. Trekken we de woordspeling door, zou je ook kunnen spreken van flexumers, die met dank aan opslag energie inkopen en gebruiken op basis van variabele prijzen zoals easyEnergy sinds 2017 aanbiedt. De tradesumer handelt lokaal in energie met zijn burens zoals de bedrijven op de Ceuveel in Amsterdam doen met behulp van cryptocurrencies of energypeers, waarbij je duurzame elektriciteit van anderen overneemt.

De conversumer die via de ene infrastructuur energie afneemt en deze deels weer terug levert via andere energiedragers zoals de vele kassencomplexen met warmtekrachtkoppeling, een waterstofcentrale of waterstofauto die elektriciteit levert aan woningen. Daarbij zal echt niet ieder huishouden, bedrijf of industrie continu en actief beslissen wanneer het energie wil opslaan, handelen of omzetten. Dit zal voornamelijk automatisch gebeuren door apparaten en energiedienstverleners. Maar het traditionele onderscheid tussen partijen binnen het energiesysteem en hun afzonderlijke rollen en functies veranderen daarmee nog steeds.

Het vervullen van dit soort functies vergt marktmodellen en informatiestromen die daarop zijn toegerust. Bij de huidige netwerken gebeurt dit centraal en

**Het grootste voordeel van intelligente markten is dat alle hardware in het energiesysteem beter kan worden benut. Slimmere netten zijn goedkoper dan het verzwaren van netten.**

vraaggestuurd. De vraag wordt (afhankelijk van de transportsnelheid van het energienetwerk en variabiliteit van de vraag) van tevoren ingeschat en op markten ingekocht. Vaak op markten voor verschillende tijdsperiodes (bijvoorbeeld een jaar of een dag vooruit). In feite betekent dit dat een inkoper van energie met zijn inkoopopdracht een productieopdracht verleent aan een producent (of de markt in het algemeen) om gedurende de periode van zijn energievraag precies in diens aanbod te voorzien. Bij het elektriciteitsnet luistert dit zeer nauw. Zo leidde in maart 2018 een relatief kleine onbalans tussen Servië en Kosovo tot een minieme afwijking van de 50 Hz frequentie op het lichtnet. Met als resultaat dat alle digitale klokken die in Europa in het stopcontact zitten, uiteindelijk 6 minuten gingen achterlopen. Een knap staaltje voorspellingsvermogen aan zowel de gebruikers- als aan de aanbodzijde dus. In de huidige markt heet dit mechanisme allocatie en reconciliatie, waarbij de reconciliatie (de afrekening van het verschil tussen werkelijk verbruik en voorspeld verbruik) vaak wel twee jaar op zich laat wachten.



Informatiestromen via IT toepassingen zijn noodzakelijk om sneller, slimmer en door meer partijen vraag en aanbod te laten matchen. Denk aan slimme meters, algoritmes die elektrische auto's op het juiste moment opladen of blockchain oplossingen voor energiehandel binnen het distributienet. Ook de markten zijn op dit moment niet klaar. De kleinverbruikersmarkt werkt nu met vaste tarieven voor energie en aansluitingen geeft zo geen prikkel voor kleinverbruikers om op andere momenten stroom te gebruiken. De capaciteitsmarkt (hoe zwaar een infrastructuraansluiting moet zijn) is nu losgekoppeld van de energieverbruikersmarkt, waardoor de infrastructuurkosten niet goed meegenomen worden bij individuele investeringsbeslissingen. Het grootste voordeel van intelligente markten is dat alle hardware in het energiesysteem beter kan worden benut. Kostbare verzwaren van het netwerk zullen op lange termijn vaak niet te voorkomen zijn, maar op deze manier wel worden uitgesteld. Opslag en andere installaties kunnen in een intelligente markt kleiner worden uitgevoerd en een groter deel van de tijd gebruikt.



Afb. 6: Een mooie metafoor is de Newtonpendel – Dynamisch energietransport (het vallende balletje) leidt tot statisch energietransport (geleiding via de stilstaande balletjes) die weer leidt tot dynamisch energietransport op het einde van de pendel, en vice-versa. Een voorbeeld van bidirectionele energieoverdracht.

### Strategieën voor een SMCG

Zuid-Holland heeft een energie-infrastructuur nodig die dienstbaar is aan de gewenste duurzame energievoorziening. Tot nu toe kon duurzame energie ingepast worden in de bestaande, op oude realiteiten gebouwde netwerken, maar naar de toekomst toe is een pro-actieve benadering nodig. De beschikbare infrastructuur is immers bepalend voor de mogelijkheden tot energiegebruik en -opwek. De komst van een warmtenet in de straat ter vervanging van het bestaande gasnetwerk bepaalt welke verwarmingsinstallatie en kookplaat huishoudens aanschaffen.

	Niet - duurzaam robuust	Duurzaam robuust
Flexibel	1. Verduurzamen	4. Groeien
Niet-flexibel	2. Uitfaseren	3. Flexibiliseren

Tabel 2: De flexibiliteit en de robuustheid van bestaande energie-infrastructuur bepaalt de strategie voor transformatie naar een SMCG.

De beschikbaarheid van grote hoeveelheden waterstof, biomassa en elektriciteit beïnvloedt de keuze van industrieën om zich al dan niet te vestigen in Zuid- Holland. De infrastructuur vervult hierin een sturende rol bovendien, omdat investeringen in aanleg of verzwaren van netten kostbaar zijn en decennia lang invloed blijven hebben. Tegelijkertijd is het van groot belang om weloverwogen keuzes te maken voor een veerkrachtige infrastructuur omdat toekomstig gebruik en herkomst van energie nog deels onzeker zijn.

- Dat vraagt om een veerkrachtige strategie: een strategie die pro-actief kan omgaan met verstoringen en veranderingen. Veerkracht speelt op verschillende tijdschalen. Flexibiliteit op de schaal van seconden tot dagen om, vooral voor elektriciteit, vraag en aanbod in balans te houden. En ook flexibiliteit op de schaal van weken tot maanden om het ook tijdens koude winters warm te houden. En robuustheid op een schaal van jaren tot decennia, om mee te bewegen en sturing te geven aan de transitiedynamiek naar een duurzaam energiesysteem. Als we een inschatting maken van de bijdrage aan flexibiliteit en robuustheid van het huidige energiesysteem, komen we tot vier strategieën:
- Verduurzamen/retrofitting: ondermeer gascentrales, gasnetwerken en bovengrondse opslag van gassen en vloeistoffen in de haven zijn zeer geschikt voor flexibiliteit door hun relatief hoge energiedichtheid en lage (vaste) kosten, maar moeten geschikt gemaakt worden voor waterstof en biogas om bestaansrecht te houden. Warmtenetwerken worden zo ingericht dat ze duurzame warmtebronnen stimuleren.
- Uitfaseren: ondermeer kolencentrales, CV ketels, verbrandingsmotoren en raffinaderijen leveren weinig flexibiliteit en zijn niet duurzaam. Als vuistregel geldt: de fik eruit. Verbranden van fossiele energiedragers is een nalatenschap waar we vanaf moeten<sup>1</sup>. Nieuwe ontwikkelingen mogen niet afhangen van deze assets. Uitfasering heeft een helder tijdspad nodig zodat eigenaren en afhankelijke partijen op tijd kunnen overstappen op flexibele en duurzame alternatieven. Uiteraard moeten deze alternatieven beschikbaar en aantrekkelijk genoeg zijn om de uitfasering te realiseren.
- Flexibiliseren/optimaliseren: energiemarkten voor kleinverbruikers zijn nu vooral gebaseerd op vaste tarieven voor energie en aansluitingen en sturen daarmee niet in de richting van optimale verbinding tussen energievraag, energiebronnen, opslag en infrastructuur. Zon en wind zijn duurzaam, maar inherent inflexibel en vragen dus om aanvullende maatregelen.

### Energie volgt de ontwikkelijn van internet. Binnenkort zullen digitale internationale standaarden vrije energieuitwisseling tussen gebruikers mogelijk maken, onafhankelijk van locatie, energiebron of energievorm: het Internet of Energy

• Duurzaam groeien: Inzetten op bijvoorbeeld de groei van waterstof en elektrische auto's die bijdragen aan duurzaamheid en flexibiliteit, mits zij goed geïntegreerd zijn in het energiesysteem en duurzame bronnen stimuleren.

#### Ons voorland: het Internet of Energy

Energie volgt de ontwikkelijn van internet. Van centraal via decentraal naar gedistribueerd. Gecentraliseerde data- en kennisvoorziening (Winkler Prins) maakte met de introductie van www, HTTP, TCP/IP en HTML plaats

voor gedistribueerde datavoorziening (Wikipedia). Elke aangeslotene op het internet is niet langer kennis-consument, maar kennis-prosument. Opslag van informatie vindt gedistribueerd plaats, zowel op harde schijven als grote datacenters verbonden in de cloud. Compleet nieuwe business modellen en bedrijfstakken ontstonden door het slim combineren van data en het bieden van nieuwe diensten. Zo zal het nu ook kunnen met energie. Een veelheid aan bronnen, een veelheid aan dragers, en de mogelijkheid voor iedere aangeslotene om peer to peer energie met elkaar uit te wisselen in de vorm die hen het beste past.

<sup>1</sup> Overigens zit er mogelijk wel toekomst in het verbranden van biogas en waterstof.



### 3. DE LEGENDA

#### Het huidige energiesysteem in kaart

Op basis van een logische en toekomstbestendige legenda van ons energielandschap kunnen we de huidige stand in kaart brengen en nadenken over de energie-topologie van de toekomst. Deze legenda is meer dan een toelichting bij een kaart: het is een ordening van alle fysieke componenten die aan de basis liggen voor een SMCG.

In deze legenda, te zien op de pagina hiernaast, staan drie typen energiedragers met ieder hun eigen, deels complementaire eigenschappen centraal: moleculen, elektronen en warmte. Deze legenda richt zich op het fysieke energiesysteem (de bloedbanen). De aansturing (het zenuwstelsel) van data-uitwisseling, markten en rollen kunnen hierop geprojecteerd worden.

Bij iedere energiedrager zijn de primaire bronnen en de invoeding vanuit conversies (omzettingen waarbij energiedragers in elkaar worden omgezet), en tot slot transport, opslag en energiegebruik in kaart gebracht.

Daarbij maken we onderscheid tussen drie schaalniveaus: (inter-)nationaal, grootschalige, industriële schaal en tot slot de lokale schaal zoals wijken en tuinbouwcomplexen.

Met kleurcodes is voorts een inschatting gemaakt van de verschillende strategieën: ieder drager heeft een eigen kleur (fossiel: zwart/donkerblauw, elektronen: lichtblauw en warmte: paars) - hierbinnen worden hernieuwbare bronnen steeds in groen aangegeven.

De aansturing in de vorm van data speelt een speciale rol in het grid. Niet alleen vraagt de groeiende opslag en transport van data steeds meer energie maar data is ook cruciaal om het netwerk 'smart' te maken via monitoring, powermatching en saldering van vraag en aanbod. Dit vormt weer de basis voor nieuwe energiediensten.

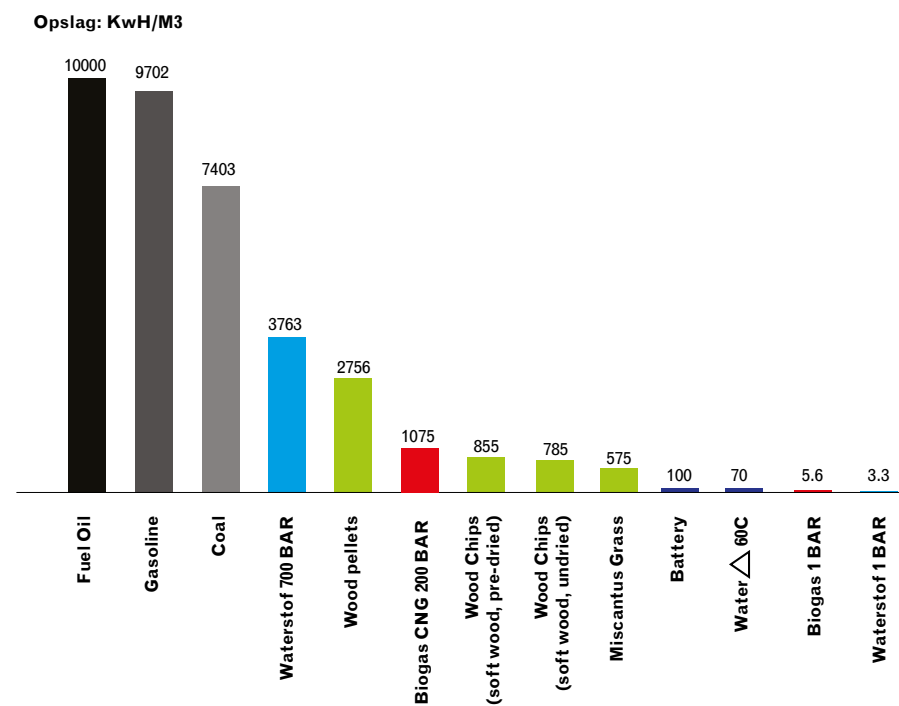
*Afb. 7: De bestaande energie-infrastructuur in Zuid Holland. De vijf 'energie realms' maken gebruik van dezelfde typen infra, maar deze manifesteert zich lokaal steeds op een andere manier.*



Tabel 3 (rechts): Overzicht van het Noord-Hollandse energiesysteem zoals op de komende pagina's in kaart gebracht, met duurzame/groeiende onderdelen van het systeem in groen. Door dit 'raamwerk' zijn lijnen te trekken van de route die energie aflegt door het systeem, met meerdere conversies tussen de primaire bron en het eindgebruik.

Niet alle elementen van het systeem zijn ruimtelijk, bijvoorbeeld opslag van elektriciteit in auto's. Zodoende is ook niet alles in kaart gebracht. Een speciale plek wordt ingenomen voor data, omdat hier op meerdere manieren uitwisseling met het netwerk plaatsvindt: als één van de vele energiegebruikers en restwarmteleveranciers, maar bovenal op de diverse schaalniveaus van het energiesysteem als instrument om het netwerk aan te sturen en te balanceren.

	Bovenregionaal buitenland, NL, Zee	Industriële schaal haven-industrieel complex	Lokale schaal wijk buurt blok gebouw
Moleculen	<b>Primaire bron</b> Import olie- en gasvelden Noordzee Aardgasveld in bedrijf Onontgonnen aardgasveld Aardolieveld in bedrijf Onontgonnen aardolieveld Boorplatform aardgas/aardolie Voedingsstations (entry-punten) Invoer olie- en gas Import LNG/CNG - 6,1 PJ Import olie - 2041,1 PJ Import kolen - 192,4 PJ Import biobrandstof - 1,6 PJ Boorpunten	<b>Primaire bron</b> Winning Aardgasveld in bedrijf Onontgonnen aardgasveld Aardgasveld buiten bedrijf Aardolieveld in bedrijf Onontgonnen aardolieveld Aardolieveld buiten bedrijf	
	<b>Secundaire bron</b> Geschikt maken geïmporteerd aardgas Installatie voor vloeibaar aardgas Stikstofinjectie Biomassapotentieel (GJ/Ha) 1,8 9,0	<b>Secundaire bron</b> P2L Power 2 Liquids LNG, mierenzuur, methanol, ammonia P2G Power 2 Gas Waterstofproductie uit elektrolyse H2O -> H2+O2 Waterstof uit industriële processen Methaan H2+CO2 -> H2O+CH4 Fabrikanten van biobrandstoffen	<b>Secundaire bron</b> P2G Power 2 Gas Waterstofcel (Elektrolyse, CO2 + H2O -> C6H10O5) Biovergisters
	<b>Transport</b> Doorvoer LNG/CNG - 127 PJ Doorvoer olie - 1619,5 PJ Buisleiding aardgas (zee) Buisleiding aardolie (zee) Compressorstation Mengstation	<b>Transport</b> Weg, rails en binnenvaart Hooftransportnet HC Gasontvangstation Co2 (OCAP) Waterstof Fossiele energiedragers Hooftransportnet Groningen gas (Aard)gas (Aard)olie Overige chemicaliën	<b>Transport</b> Brandstoftanks voertuigen Riolering (biomassa) Regionale gasnetten
	<b>Opslag</b>	<b>Opslag</b> Strategische reserve Leeg gasveld (CO2 opslag) Energieopslag in de Rotterdamse Haven Opslag Waterstof Opslag natte Bulk Opslag droge Bulk Biomassa-overslag en opslagfaciliteiten LNG Terminal Opslag droge Bulk	<b>Opslag</b> Waterstoftankstations Traditionele tankstations Brandstoftanks voertuigen,
	<b>Eindverbruik</b>	<b>Eindverbruik</b> Gas/olieverbruik (1000 m3 CO2 uitstoot) 7203760 0 Hernieuwbare bronnen Hernieuwbare energiebronnen Raffinaderijen voor eetbare oliën	<b>Eindverbruik</b> Omzetting in warmte (M2H) Aardgasverbruik per wijk (Wonen en bedrijven, 2014, M3) 2 000 100 000 Aardgasverbruik per wijk (Bedrijven 2014, M3) 11 000 000 - 1 500 000 000 Omzetting in beweging (mobiliteit) Voertuigen op wegennet Omzetting in Elektricititeit Brandstofcel
Elektronen	<b>Primaire bron</b> Windparken op zee Im- en export elektriciteit internationaal Windparken op zee (vergund)	<b>Primaire bron</b> Elektriciteitsopwekking per jaar (MWh) Opwekking Hernieuwbaar - Wind (incl. vergund)	<b>Primaire bron</b> Regionale wind en zonneparken (incl. vergund) Windturbines
	<b>Secundaire bron</b>	<b>Secundaire bron</b> Molecule 2 Power Hernieuwbaar - Biomassaverbranding Fossiel - Afvalverbranding Fossiel - Gasturbines Fossiel - Kolencentrales Heat 2 Power Diepe Geothermie	<b>Secundaire bron</b> Molecule 2 Power Hernieuwbaar - Elektricititeit uit biovergisters Gasmotoren Brandstofcellen
	<b>Transport</b> Hoogspanningsnetwerk 380kV bovengronds 380kV ondergronds	<b>Transport</b> Hoog- en middenspanning 150kV bovengronds 150kV ondergronds Windturbine Onderstation >10kV	<b>Transport</b> Distributienetten 50kV bovengronds 50kV ondergronds Transformatorhuisjes
	<b>Opslag</b> Waterreservoirs	<b>Opslag</b> Accu's (batterijparken)	<b>Opslag</b> Vehicle 2 Grid (voertuigen) Accu's (woning/buurtbatterij)
	<b>Eindverbruik</b>	<b>Eindverbruik</b> Elektriciteitsverbruik per wijk (Bedrijven 2014, MWh) 35 000 - 3 000 000 Grootverbruikers elektriciteit (MWh) > 2.500.000 200.000 - 430.000 430.000 - 2.500.000 < 200.000	<b>Eindverbruik</b> Elektriciteitsverbruik per wijk (Woningen + Bedrijven 2014, MWh) 0 35 000
Warmte	<b>Primaire bron</b> Warmtebronnen geothermie	<b>Primaire bron</b> Warmtebronnen geothermie zonnecollectoren	<b>Primaire bron</b> Warmtebronnen geothermie zonnecollectoren
	<b>Secundaire bron</b>	<b>Secundaire bron</b> Industriële restwarmte / Geothermie per jaar (MWh) <1.000.000 0 Restwarmte serverparken Gebruik industriële restwarmte	<b>Secundaire bron</b> restwarmte/WKK WKK WKO + Warmtepomp Lokale restwarmte servers (Nerdalize)
	<b>Transport</b>	<b>Transport</b> Warmtenetten naar brontype WKK restwarmte + WKK stoomnet geothermie restwarmte restwarmte (gepland) Booster stations	<b>Transport</b> Warmtenetten
	<b>Opslag</b>	<b>Opslag</b> WKO - Vergunde open bodemsystemen (m3/jaar, 2016) 2,5 - 9,1 miljoen 1 - 2,5 miljoen	<b>Opslag</b> WKO - Vergunde open bodemsystemen (m3/jaar, 2016) 500.000 - 1 miljoen 250.000 - 500.000 4.000 - 250.000
	<b>Eindverbruik</b>	<b>Eindverbruik</b> Geothermische warmte Tuinbouwbedrijven 470 Woningen industrie aan stoomnet	<b>Eindverbruik</b> Wijken aangesloten op warmtenet
Data	<b>Smart grid applicaties</b>	<b>Smart grid applicaties</b> Bits <-> Elektronen Aanbodgestuurde balancering	<b>Smart grid applicaties</b> Bits <-> Elektronen IoT - Aanbodgestuurde balancering Energy Dashboard Saldering Bits <-> Heat Slimme thermostaat
	<b>Transport</b> FTTN Glasvezel, SES Broadband	<b>Transport</b> FTTN/FTTC Glasvezel	<b>Transport</b> FTTB/FTTH Glasvezel, LAN UTP, LoRa, G4, G5 Sateliet internet
	<b>Opslag</b> Datacentra / serverparken	<b>Opslag</b> Datacentra / serverparken	<b>Opslag</b> HD / servers



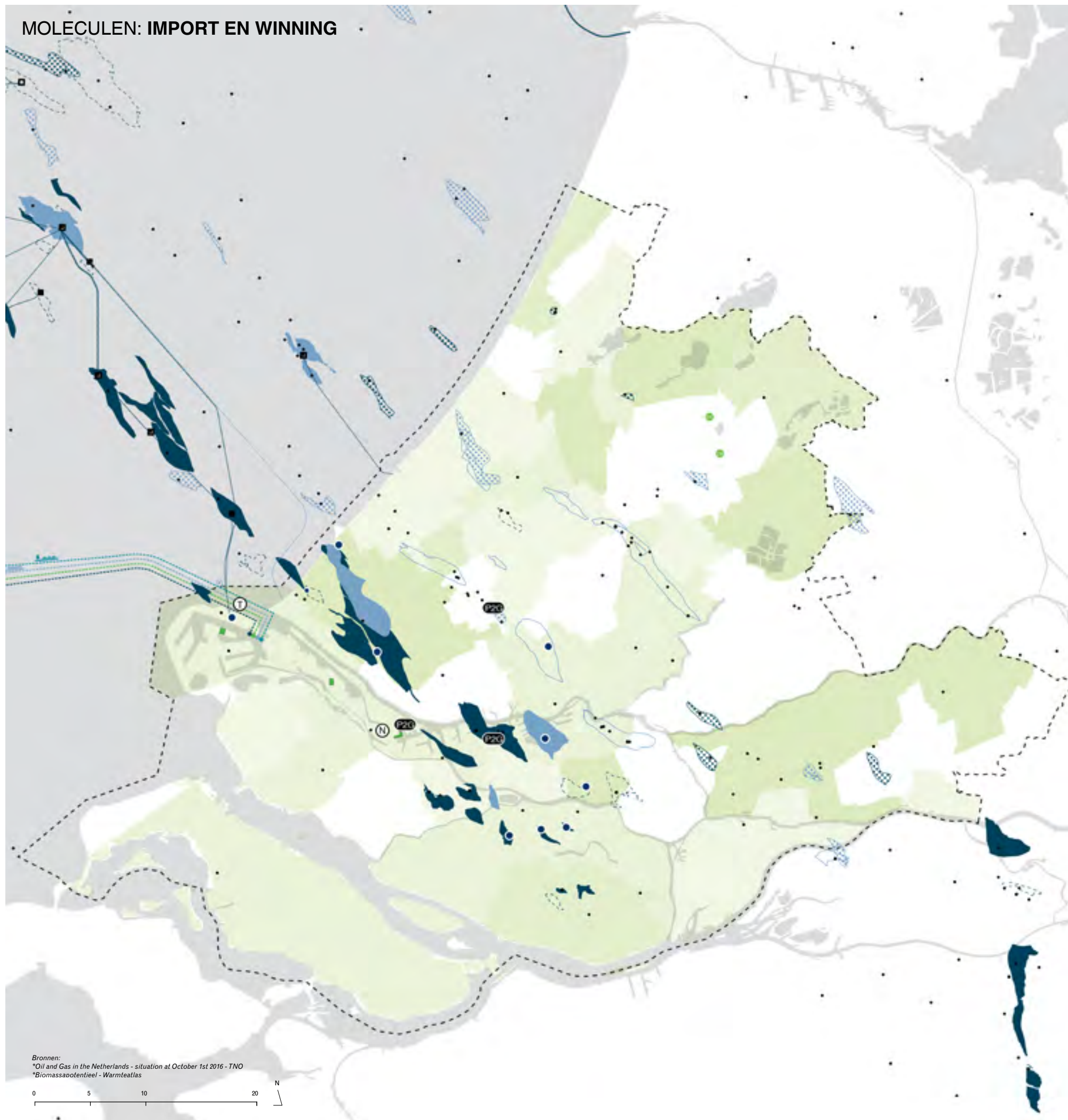
Afb. 8: Opslagdichtheid van verschillende energiedragers (KWh/M<sup>3</sup>)

### Moleculen: de backbone van het energiesysteem

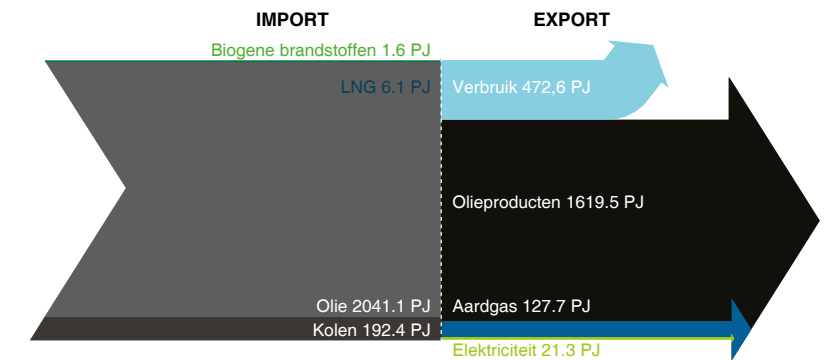
Gassen (waterstof, aardgas, biogas), vloeistoffen (ammonia, mierenzuur, methanol, brandstoffen) en vaste stoffen (kolen, biomassa, afval) geven hun chemische energie vrij wanneer ze, bijvoorbeeld door verbranding, in andere stoffen worden omgezet. Door de hoge energiedichtheid en simpele technologie is transport en opslag relatief goedkoop. Op het moment dat de huidige fossiele energievormen wegvallen, zijn nieuwe dragers nodig. Veel wordt verwacht van waterstof, dat ook nu al op grote schaal wordt geproduceerd voor de olieraffinage, en verder omgezet kan worden in energiedragers zoals ammonia, mierenzuur en methanol, die bij kamertemperatuur vloeibaar zijn. Deze voornoemde dragers kunnen worden geproduceerd met biomassa, afvalstromen of worden geconverteerd uit elektriciteit. Moleculaire energiedragers, zeker vaste stoffen en vloeistoffen, hebben een relatief hoge energiedichtheid en kunnen energie bijna onbeperkte tijd opslaan. Een deel van de energiedragers wordt als grondstof ingezet in de chemische industrie. CO<sub>2</sub> netwerken zijn weliswaar geen energienetwerken, maar zodanig verbonden met de energietransitie, dat deze ook meegenomen worden. Gassen, vloeistoffen en vaste energiedragers worden getransporteerd met buizen, per schip, trein of over de weg. Opslag vindt plaats in tanks en ondergrondse reservoirs.



# MOLECULEN: IMPORT EN WINNING



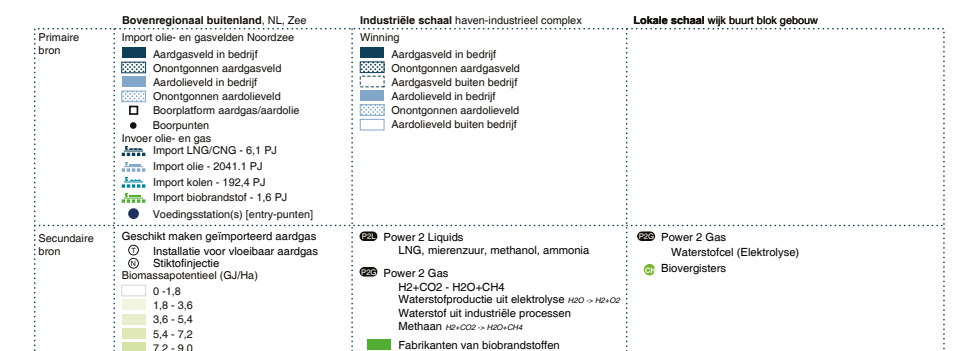
Bronnen:  
 \*Oil and Gas in the Netherlands - situation at October 1st 2016 - TNO  
 \*Biomassapotentieel - Warmteatlas



Afb. 9: in- en uitvoer van energiedragers in de Rotterdamse haven. Slechts een zeer klein deel is hernieuwbaar. (bron: Quintel Energy Transition Model)

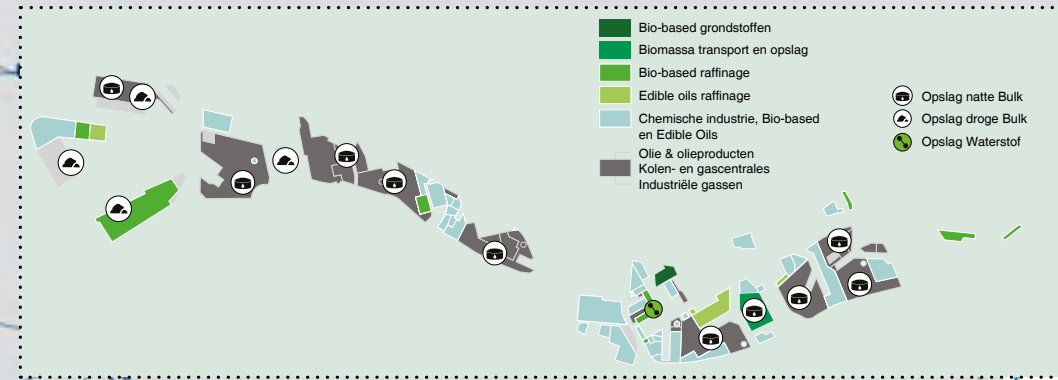
## Import en winning moleculen

Moleculaire bronnen worden - los van een kleine fractie biomassa - niet 'opgewekt' maar gewonnen of geïmporteerd. Nog altijd worden gas en olie gewonnen in Zuid-Holland, maar veruit het grootste deel is import, zoals aangegeven in afbeelding 8. Het potentieel van biomassa ligt met huidige methodes vooral in het buitengebied en bij afvalwaterzuiveringsinstallaties. In de toekomst kunnen stedelijke stromen en teelt op zee belangrijke bronnen worden. In een aantal industriële processen wordt gas gemaakt uit elektriciteit: Power to Gas. Bij enkele experimenten, zoals bij Green Village in Delft, wordt de toepassing hiervan voor de consumentenmarkt onderzocht.

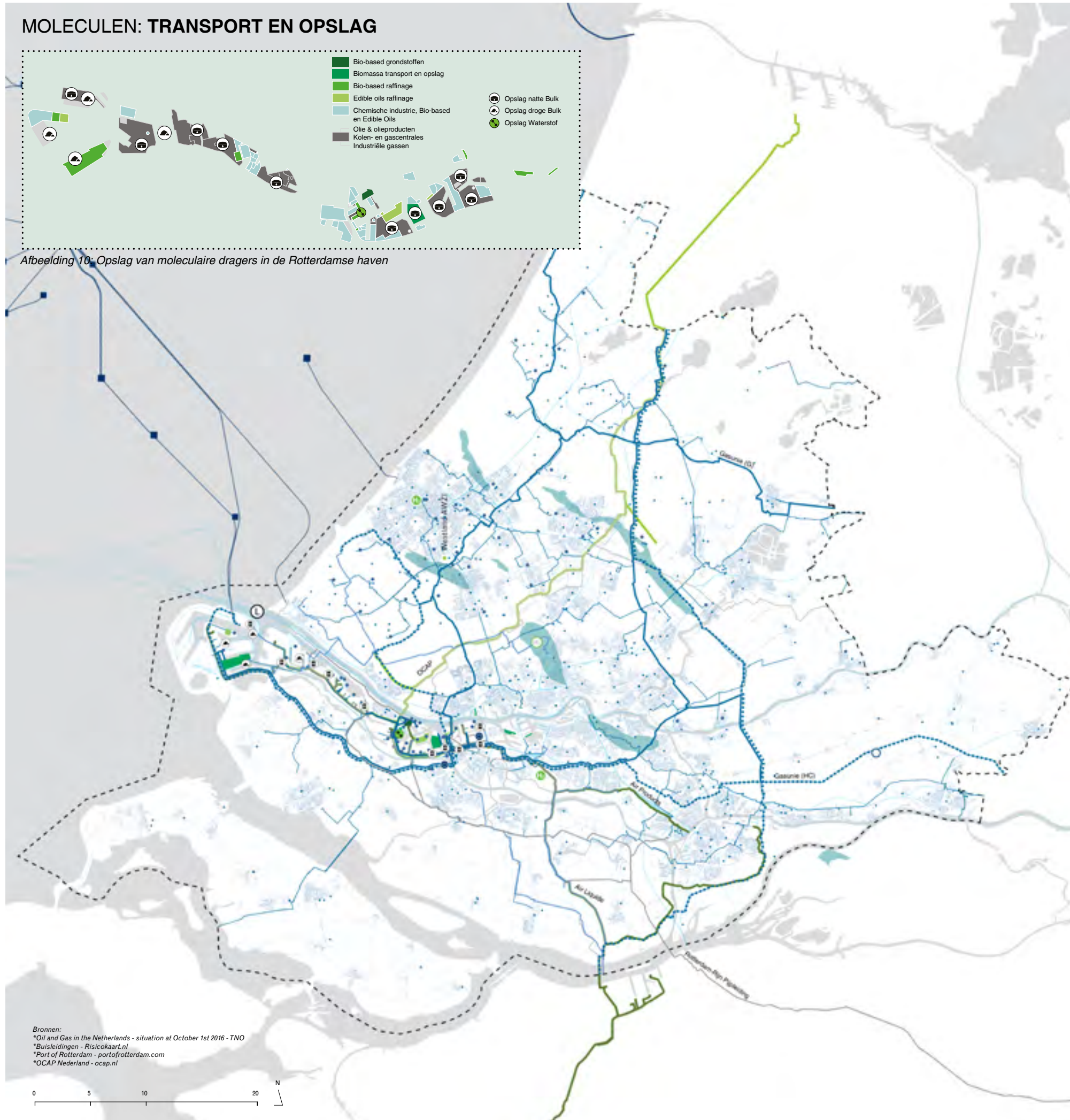




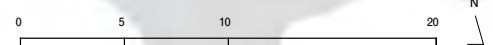
# MOLECULEN: TRANSPORT EN OPSLAG



Afbeelding 10: Opslag van moleculaire dragers in de Rotterdamse haven



Bronnen:  
 \*Oil and Gas in the Netherlands - situation at October 1st 2016 - TNO  
 \*Buisleidingen - RiscokaarL.nl  
 \*Port of Rotterdam - portofrotterdam.com  
 \*OCAP Nederland - ocap.nl



## Transport en opslag moleculen

De infrastructuur voor transport en opslag van moleculen is bijzonder uitgebreid: het gasnetwerk komt met haar haarvaten tot in iedere woning, maar ook op grotere schaalniveaus liggen overal leidingen en buizen. Dit betreft niet alleen aardgas en olie, maar een grote verscheidenheid aan chemische energiedragers zoals waterstof. Onderstaande tabel geeft hier een beeld van. Daarnaast wordt een groot deel van de moleculen dragers getransporteerd over spoor en wegen.

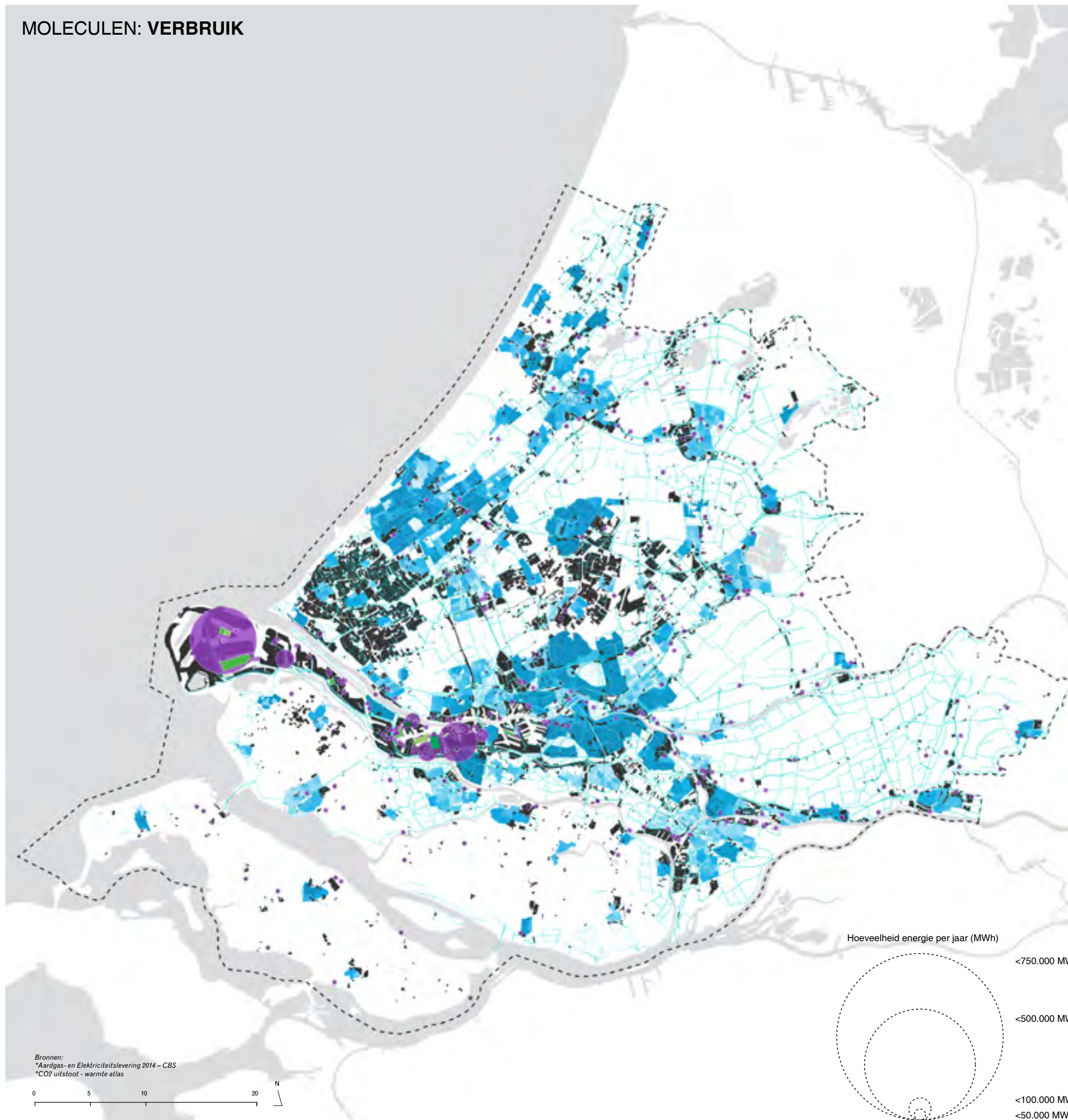
Voor dit netwerk staan grote veranderingen op stapel. Biogas en geïmporteerd gas hebben andere eigenschappen (calorische waarden en chemische samenstelling) dan Gronings gas. De investeringen om dit gas geschikt te maken voor onze fornuizen loopt in de honderden miljoenen. De link met eventuele injectie van waterstof in het netwerk is hier relevant: ons gasnetwerk en de apparatuur die er aan hangt zal geschikt gemaakt moeten worden voor meerdere typen gas.

Een groot oppervlak in de haven van Rotterdam wordt gebruikt voor opslag, inclusief de olietankers die voor de kust wachten. Dit is deels ter speculatie (schepen wachten vaak met aanmeren totdat de olieprijs een gewenst niveau heeft bereikt), maar bevat ook een strategische voorraad die Nederland 90 dagen van energie kan voorzien. Bij meer hernieuwbare energie is meer opslag nodig, die ook nog eens in een lagere dichtheid opgeslagen moet worden. Lege gasvelden kunnen in de toekomst wellicht dienen als opslag voor duurzame energie of CO<sup>2</sup>.

	Bovenregionaal buitenland, NL, Zee	Industriële schaal haven-industrieel complex	Lokale schaal wijk buurt blok gebouw
Transport	<ul style="list-style-type: none"> <li>Doorvoer LNG/CNG - 127 PJ</li> <li>Doorvoer olie - 1619,5 PJ</li> <li>Buisleiding aardgas (zee)</li> <li>Buisleiding aardolie (zee)</li> <li>Compressorstation</li> <li>Mengstation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gasontvangstation</li> <li>Co2/Waterstof Pipeline</li> <li>Waterstof</li> <li>Fossiele energiedragers (met gasdruiver)</li> <li>Hooftransportnet Groningen</li> <li>(Aard)gas</li> <li>(Aard)olie</li> <li>Overige chemicaliën</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Brandstoftanks voertuigen</li> <li>Riolering (biomassa)</li> <li>Regionale gasnetten</li> </ul>
Opslag	<ul style="list-style-type: none"> <li>LNG Terminal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Strategische reserve</li> <li>Leeg gasveld (CO<sub>2</sub> of gas)</li> <li>Energie opslag in de Rotterdamse Haven</li> <li>Opslag natte Bulk</li> <li>Opslag droge Bulk</li> <li>Opslag Waterstof</li> <li>Biomassa-overslag en opslagfaciliteiten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Waterstoftankstations</li> <li>Waterstoftankstations (realisatie begin 2019)</li> <li>Brandstoftanks voertuigen, Biovergisters</li> </ul>

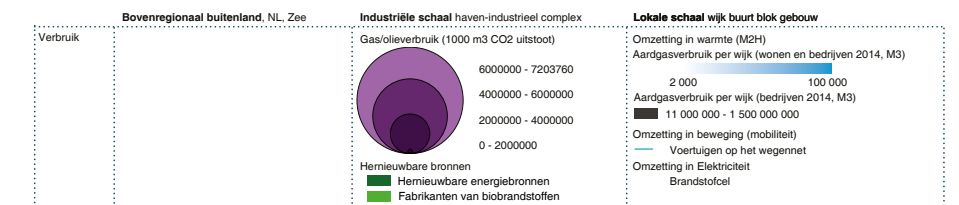


# MOLECULEN: VERBRUIK



## Verbruik moleculen

Moleculen worden in de praktijk vrijwel altijd via verbranding omgezet in warmte. Hoge temperatuur warmte voor industriële processen, en lage temperatuur warmte voor verwarming van woningen en kassen. Deze warmte wordt deels verder omgezet in elektriciteit of mobiliteit. De bio-based economy - het gebruik van hernieuwbare moleculen - is nog erg klein, maar neemt een behoorlijk deel van de haven in omdat deze dragers een lage energetische dichtheid kennen en bovendien gebruikt worden als grondstof voor diverse industrieën, zoals voedselproductie.

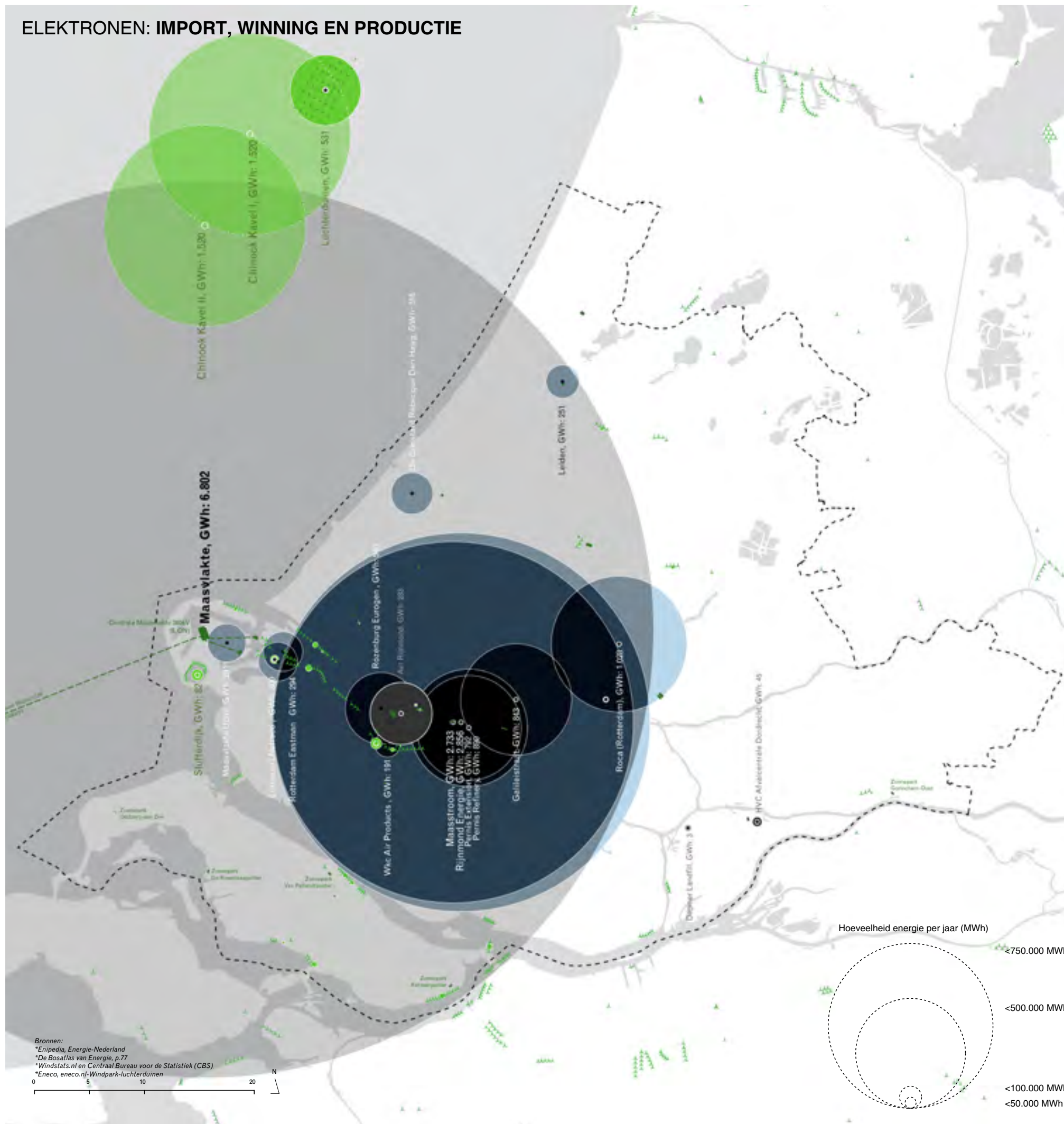


### **Elektronen: de veelzijdige en snelle drager**

Elektriciteit (wisselstroom of gelijkstroom) bestaat uit de verplaatsing van elektronen. Hierbij bewegen niet de moleculen, maar geven zij energie aan elkaar door. De elektronen zelf bewegen traag, maar de elektromagnetische golven kunnen de lichtsnelheid bereiken. Net zoals wanneer je een knikker in een buis gevuld met knikkers doet, en er aan de andere kant op datzelfde moment een andere knikker uit komt. Vraag en aanbod moet daardoor op de seconde nauwkeurig in balans worden gehouden. Elektriciteit is daarmee de snelste, en misschien ook wel de meest veelzijdige energiedrager. Transport vindt plaats via hoogspannings- en middenspanningsleidingen en distributienetten en opslag in accu's. Lange termijn opslag van elektriciteit is onmogelijk zonder conversies. In een batterij lekt elektriciteit mettertijd weg. Netten, aansturing, onderhoud en opslag zijn relatief duur.



# ELEKTRONEN: IMPORT, WINNING EN PRODUCTIE



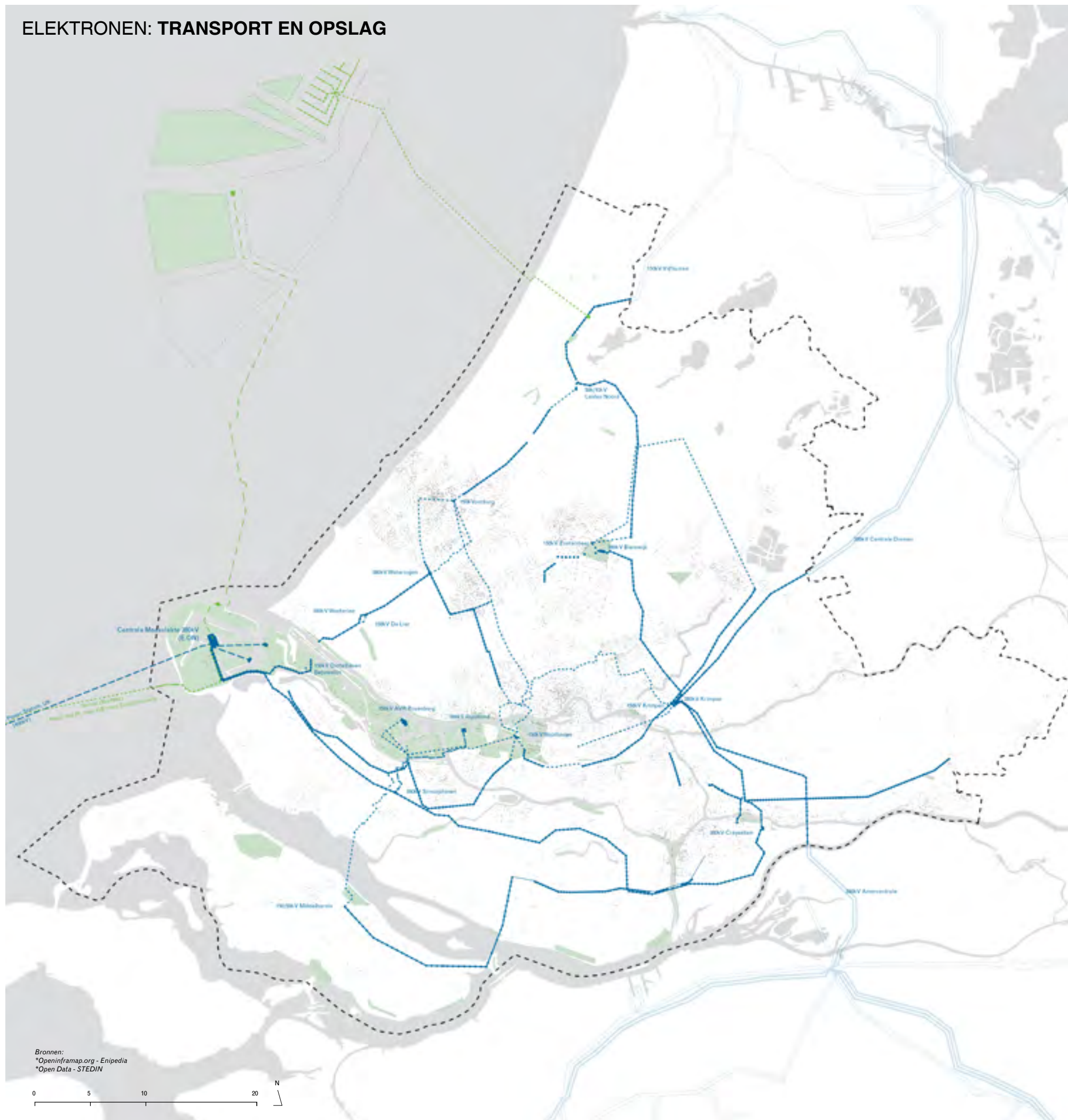
## Import en winning en productie van elektronen

In Zuid-Holland wordt erg veel elektriciteit geproduceerd. In zwart zijn de fossiele centrales aangeduid, in blauw zien we opwek uit (toenemende) hernieuwbare bronnen. Her en der zijn kleinere specifieke producenten te zien, zoals die van AVR in Rotterdam en een rioolwaterzuiveringsinstallatie in het Westland waar elektriciteit en warmte opgewekt worden. Tegelijkertijd wordt het enorme opwekkingsverschil tussen de kolencentrale op de Maasvlakte en de bestaande en nieuwe windparken op zee inzichtelijk. De kolencentrales kunnen maximaal 30%, vooral uit het buitenland geïmporteerde, biomassa bijstoken - dit proces is sterk afhankelijk van subsidies.

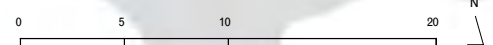
	Bovenregionaal buitenland, NL, Zee	Industriële schaal haven-industrieel complex	Lokale schaal wijk buurt blok gebouw
Primaire bron	<ul style="list-style-type: none"> <li>Windparken op zee</li> <li>Windparken - vergund</li> <li>Im- en export elektriciteit internationaal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elektriciteitsopwekking per jaar (MWh)</li> <li>Opwekking</li> <li>Wind</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zonnepark</li> <li>Regionale wind en zonneparken (ind. vergund)</li> <li>Windturbines</li> </ul>
Secundaire bron		<ul style="list-style-type: none"> <li>Molecule 2 Power</li> <li>Hernieuwbaar - Biomassaverbranding</li> <li>Fossiel - Afvalverbranding</li> <li>Fossiel - Gasturbines</li> <li>Fossiel - Kolencentrales</li> <li>Heat 2 Power</li> <li>Diepe Geothermie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Molecule 2 Power</li> <li>Hernieuwbaar - Elektriciteit uit biovergisters</li> <li>Gasmotoren</li> <li>Brandstofcellen</li> </ul>



# ELEKTRONEN: TRANSPORT EN OPSLAG



Bronnen:  
 \*Openframap.org - Enipedia  
 \*Open Data - STEDIN



## Transport en opslag elektronen

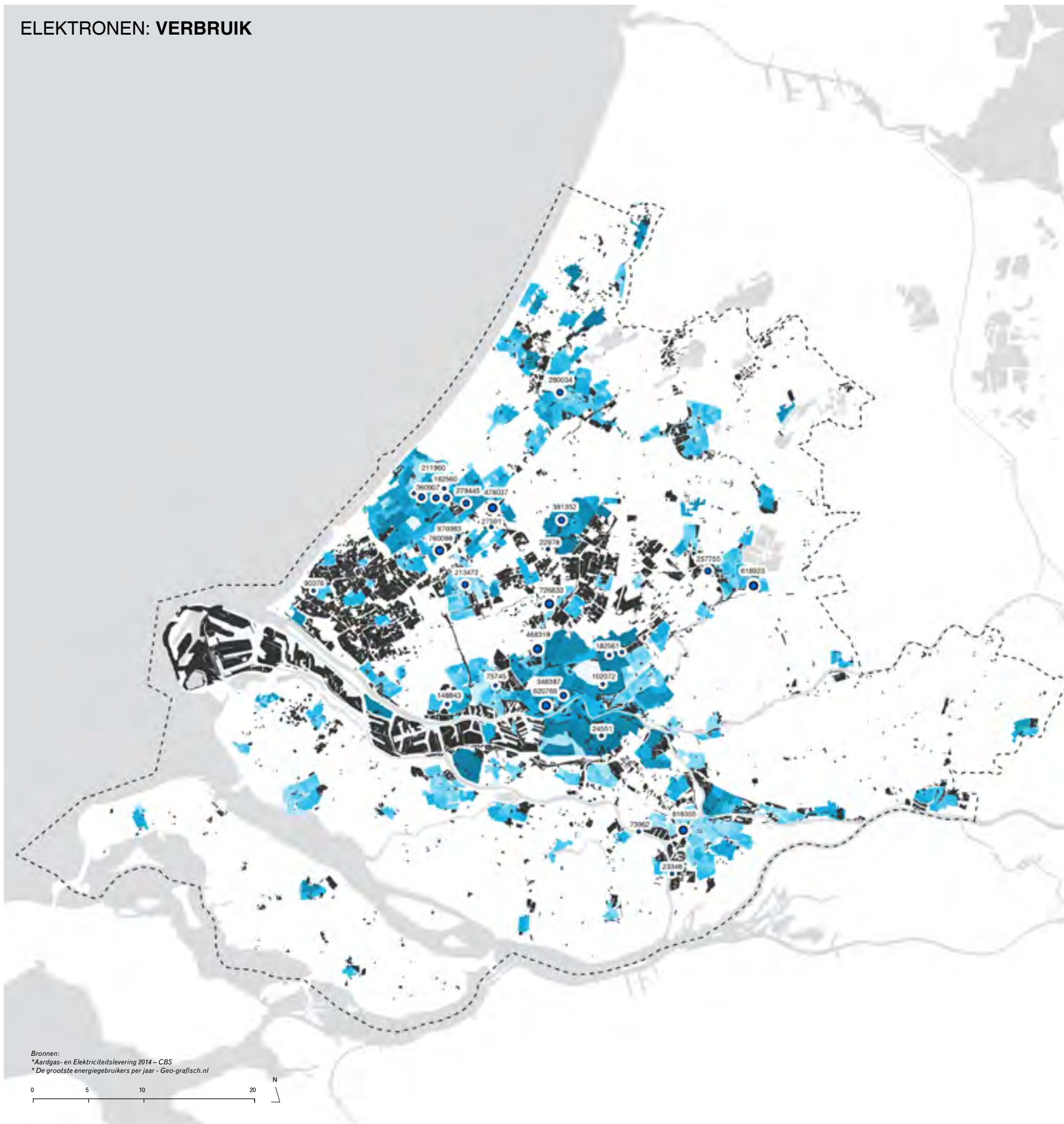
De infrastructuur voor elektronen in Zuid-Holland is vooral gericht op distributie door de rest van het land. Hernieuwbare energie heeft nog geen grote impact op het netwerk, maar dit zal gaan veranderen. In Duitsland komt het al voor dat elektriciteit in het buitenland gedumpt wordt om het netwerk te ontlasten, en ook in noord-Nederland dreigt het netwerk lokaal op momenten overbelast te raken waardoor de netspanning stijgt. Dit vooral vanwege de willekeurige plaatsing van zonneparken.

De opslag van elektriciteit heeft nog geen ruimtelijke impact, omdat de momentane productie met stuurbare bronnen zoals aardgas aangepast wordt aan de vraag. Door de opkomst niet stuurbare bronnen zoals elektriciteit uit zon en wind zal de behoefte aan opslag groeien. Op plekken met grootschalige import van elektriciteit, koppelingen met lagere netten of de aanlanding vanuit windparken op zee ontstaan mogelijk nieuwe installaties voor de conversie van elektriciteit naar moleculen voor opslag. Er zijn ideeën om grootschalige valmeren te bouwen die als batterij fungeren voor tijdelijke opslag van elektrische energie. En dan zijn er uiteraard nog batterijen. Aangezien de opslagdichtheid van elektriciteit in deze batterijen laag is, kan opslag een grote ruimtelijke opgave worden die niet meer op industriële locaties, maar overal in de leefomgeving zichtbaar wordt.

	Bovenregionaal buitenland, NL, Zee	Industriële schaal haven-industrieel complex	Lokale schaal wijk buurt blok gebouw
Transport	Hoogspanningsnetwerk 380kV bovengronds 380kV ondergronds Elektricitetskolom	Hoog- en middenspanning 150kV bovengronds 150kV ondergronds Windturbine Onderstation >10kV	Distributienetten (AC, DC) 50kV bovengronds 50kV ondergronds Transformatorhuisjes
Opslag	Waterservoirs	Accu's (batterijparken)	Vehicle 2 Grid (voertuigen) Accu's (woning/buurtbatterij)



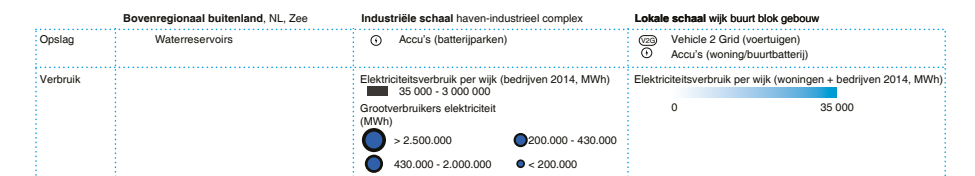
# ELEKTRONEN: VERBRUIK



Bronnen:  
 \*Aardgas- en Elektriciteitslevering 2014 – CBS  
 \*De grootste energiegebruikers per jaar - Geo-grafisch.nl

## Verbruik en conversie van elektronen

De verbruiksdichtheid is ook voor elektriciteit het hoogst in industriegebieden en de tuinbouwcomplexen. Als je naar individuele gebruikers kijkt valt op dat er enkele zeer grote gebruikers ook in de gebouwde omgeving zitten. Ook enkele zeer grote gebruikers in de gebouwde omgeving zitten.





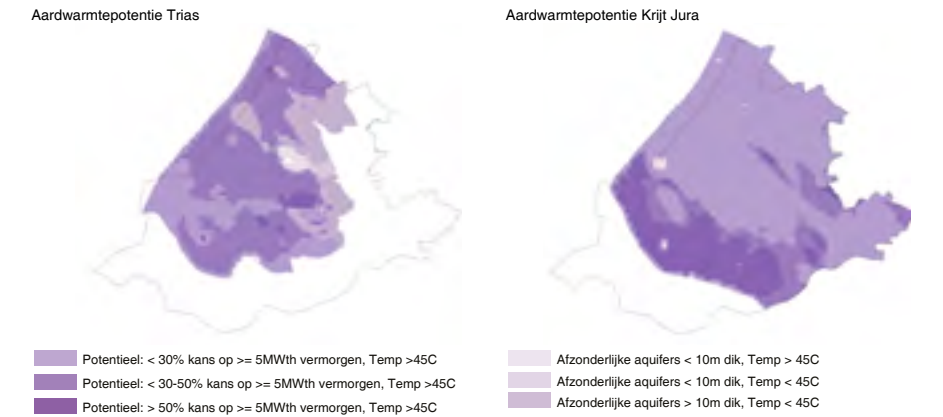
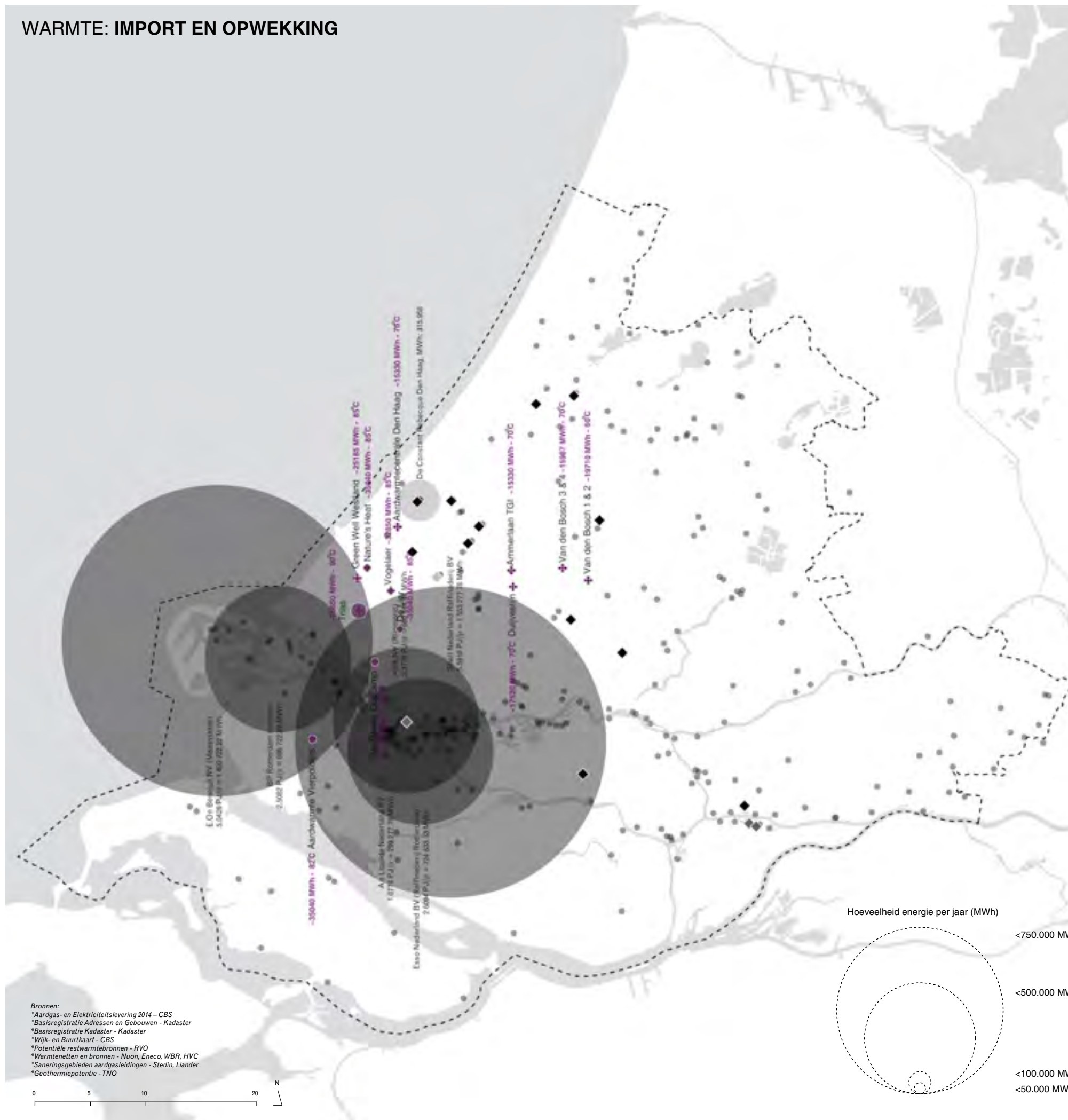
**150PJ**  
warmteverlies  
= 42 miljoen MWh

### **Warmte: het onderbenutte potentieel**

Warmte-energie is kinetische energie van moleculen, of om preciezer te zijn, het verschil in warmte van een molecuul met diens omgeving. De belangrijkste warmte- (of koude-) dragers zijn water (lage temperatuur) en stoom (hoge temperatuur), maar warmte kan ook in vaste materialen worden opgeslagen. Warmte is overal aanwezig in het temperatuurverschil tussen binnen en buiten, boven en onder de grond, land en water. Bij elk energetisch proces blijft bovendien warmte over, die nu vaak niet nuttig gebruikt wordt. Zo mogen bedrijven in de Rotterdamse haven nu 150 PJ restwarmte per jaar lozen (zie afbeelding 10), terwijl de warmtebehoefte van huishoudens 70 PJ isiv. Warmte wordt getransporteerd via buizen met water of stoom. Warmte leent zich om opgeslagen te worden in warmtebuffers zoals goed geïsoleerde vaten en onder de grond. Kenmerkend aan warmte is een lage energiedichtheid en het langzaam weglekken naar de omgeving. Daarom is weken of maandenlang (bovengronds) opslaan van warmte moeilijk.



# WARMTE: IMPORT EN OPWEKKING

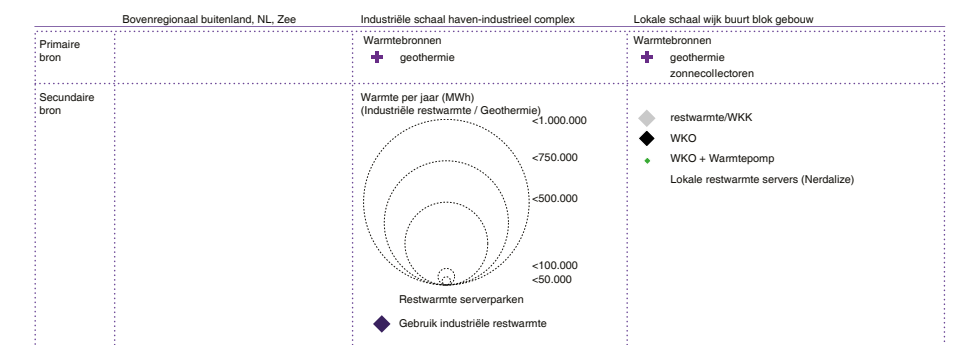


Afb. 12: Geothermische potentie van de Trias en de Krijt Jura laag (bron: warmteatlas.nl)

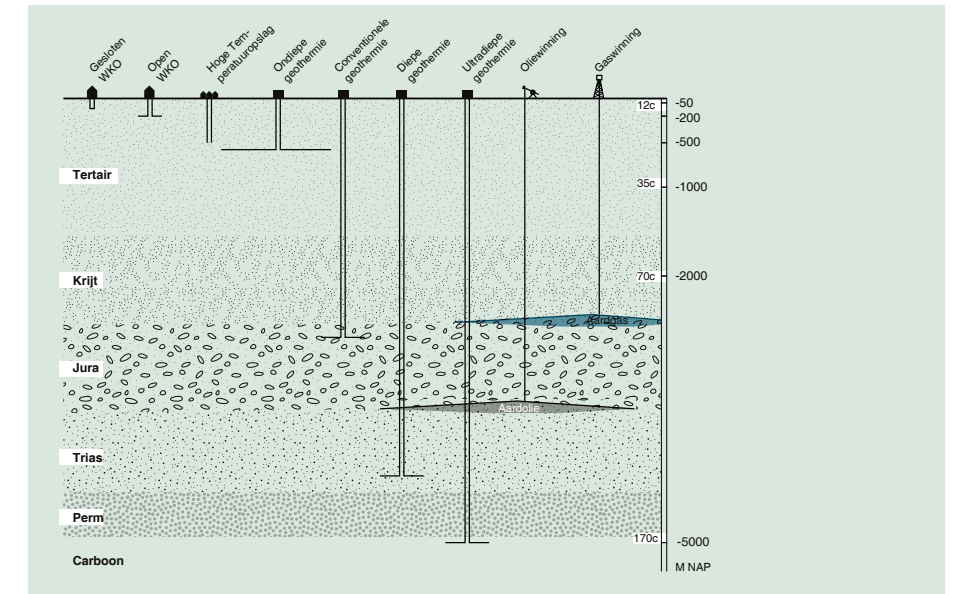
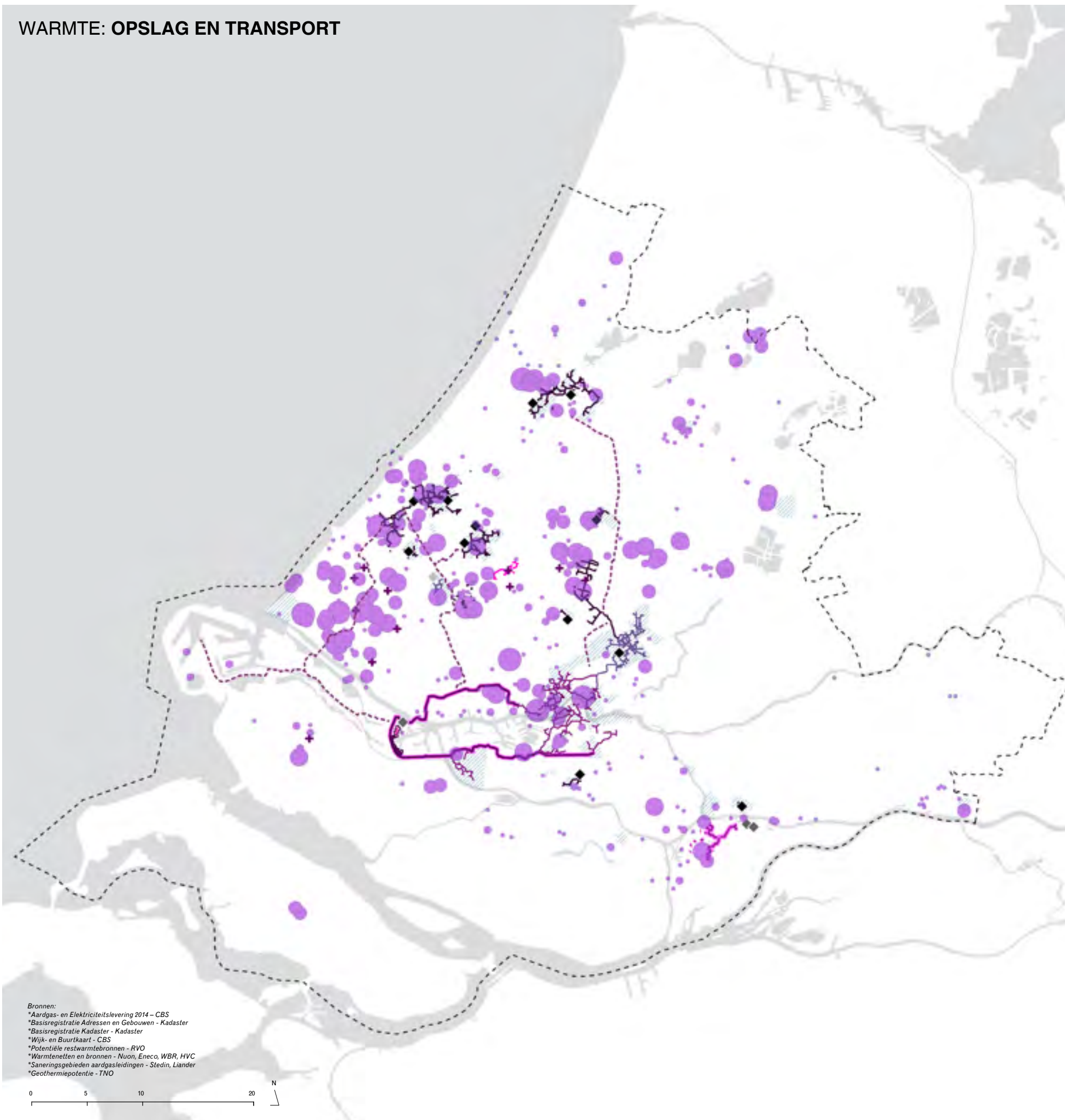
## Import en opwekking warmte

Tal van warmtebronnen (WKK's, aardwarmte en geothermie) voorzien kassengebieden van geothermische warmte. Daarnaast zijn er enkele grote WKK-centrales die de warmtenetwerken voeden.

De restwarmte van AVR (en later wellicht andere aanbieders in het haven-industrieel complex), bestaat naar schatting voor de helft uit organisch materiaal en wordt daardoor voor de helft gerekend als duurzame energie. Binnen een circulaire economie is het streven om zo min mogelijk stromen te verbranden (en dus ook geen organische stromen). Dat wil niet zeggen dat het gebruik van restwarmte onwenselijk is. Restwarmte zal ook vrijkomen bij groene, industriële bio-based processen en het warmtenetwerk kan later ook op andere manieren gevoed worden, bijvoorbeeld via geothermie. Daarom is investeren in een bron-onafhankelijk netwerk onontbeerlijk voor een toekomstbestendige energie-infrastructuur.



# WARMTE: OPSLAG EN TRANSPORT

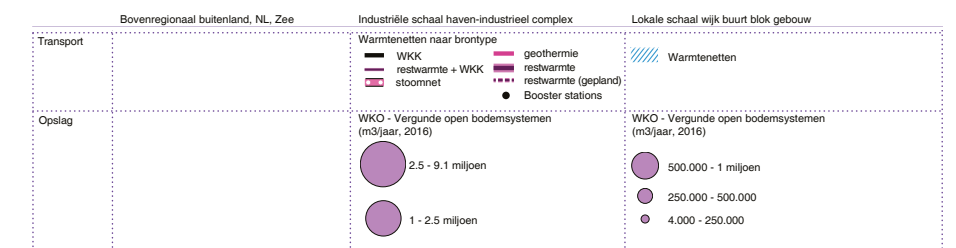


Afb. 13: Overzicht van de dieptes waarop opslag en winning van warmte en fossiele grondstoffen plaatsvindt. Bron: Innoforte

## Transport, balancerings en opslag warmte

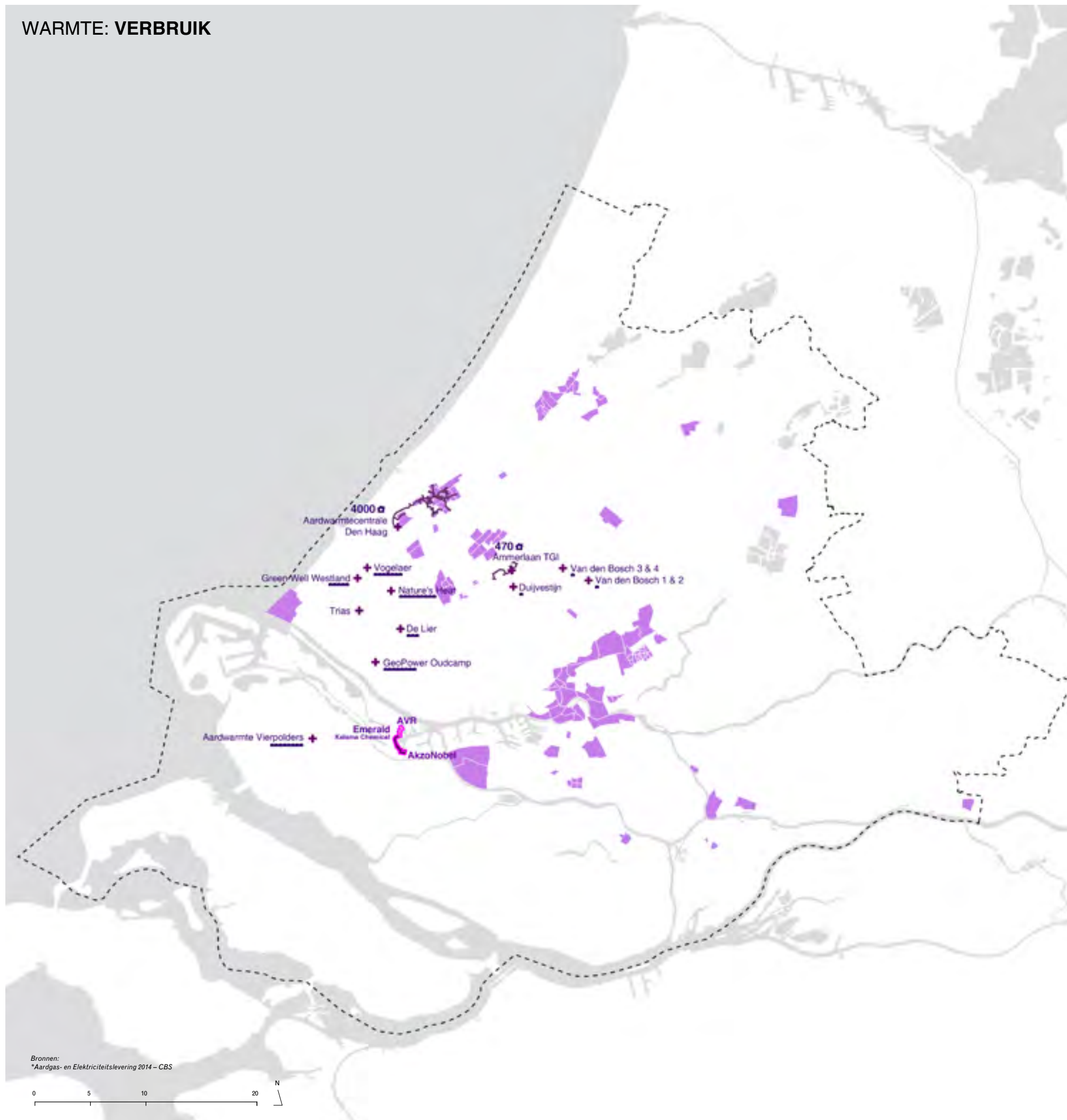
Warmtenetten zijn nu nog een mix van centraal georganiseerde wijknetten, gekoppeld aan een warmtekrachtkoppeling (WKK) of een industriële bron; een geothermische bron of een warmtepomp. Het koppelen van deze mix zal in de toekomst tot een slimmer en robuuster grid leiden.

Opslag van warmte gebeurt nu onder de grond of in oppervlaktewater door middel van warmte-koude opslag (WKO) in combinatie met warmtepompen. Opslag wordt deels ingezet om seizoensverschillen te overbruggen. In de winter is de warmtevraag van de gebouwde omgeving immers vele malen hoger dan in de zomermaanden –voorheen werd dit liefkozend de “gasbadkuip” genoemd-. Er worden hier steeds meer nieuwe opties voor ontwikkeld, waarbij ook hogere temperaturen opgeslagen kunnen worden voor industriële processen. Ook is het mogelijk steeds kleinere temperatuurverschillen te benutten voor het verwarmen van woningen.

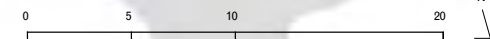




## WARMTE: VERBRUIK

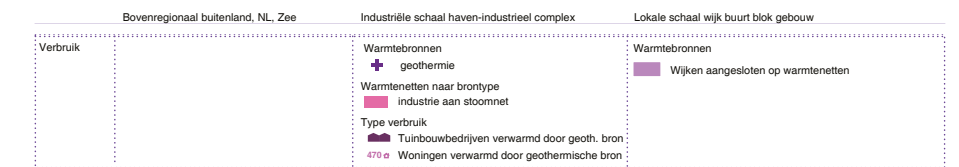


Bronnen:  
\*Aardgas- en Elektriciteitslevering 2014 – CBS



## Verbruik van warmte

Warmtegebruik vindt in feite vooral plaats door moleculen te verbranden. Direct (primair) warmtegebruik zal in de toekomst echter toenemen, voornamelijk vanwege de opkomst van geothermie en warmtepompen. Op dit moment gebruiken een aantal wijken restwarmte uit nabije industriële processen of uit kassengebieden, of wordt warmte opgewekt via een WKK-systeem.



## 4. STRATEGISCHE OVERWEGINGEN

### Ketenrendementen

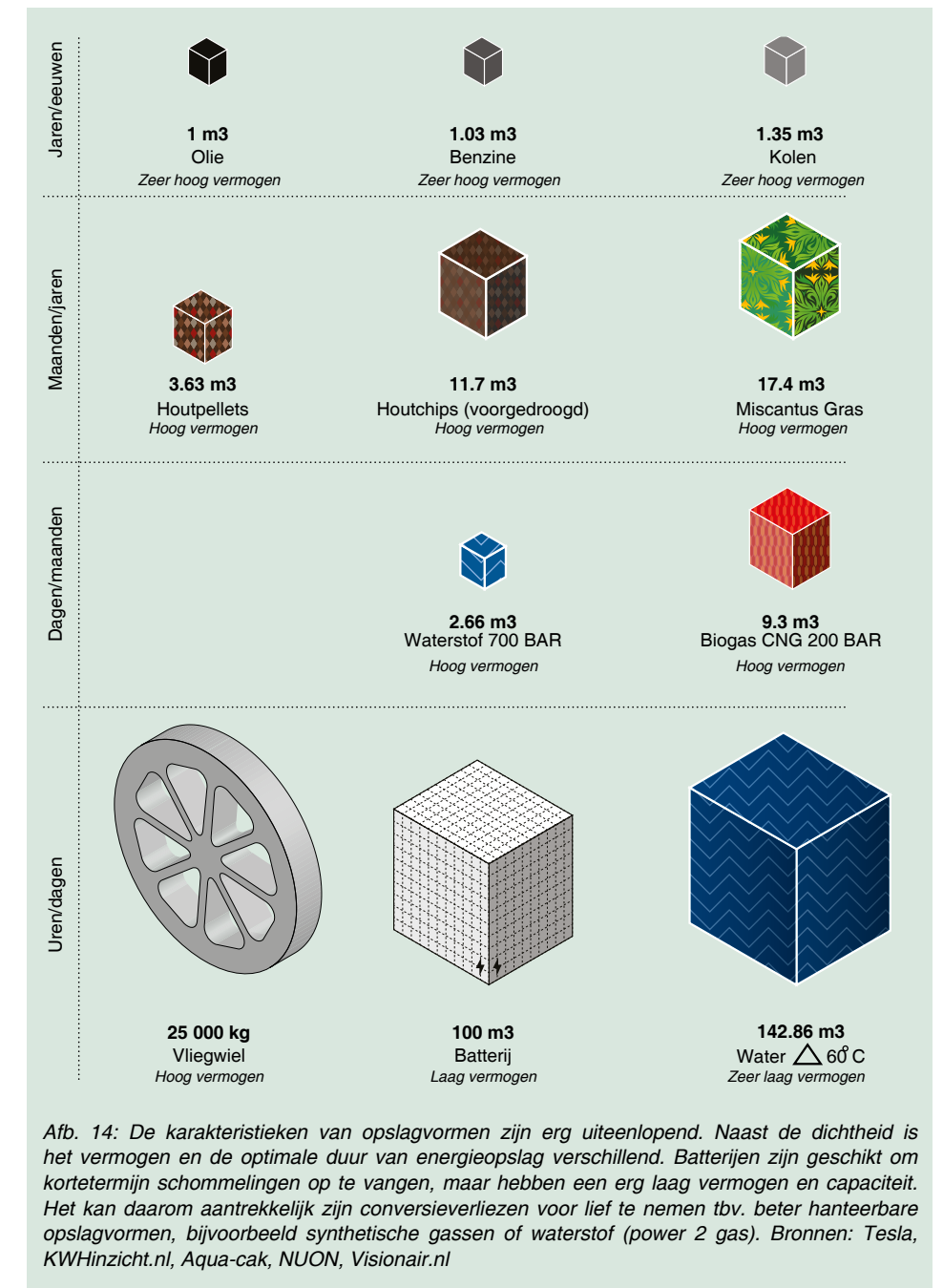
Opslag, conversie en transport van energie kost energie. Voor concurrerende energie-oplossingen en om de ruimtelijke impact van de energietransitie te beperken moet dus telkens gezocht worden naar de meest efficiënte ketens. Door energie met de meest efficiënte verbruikstechnieken zo dicht mogelijk bij de bron en met zo min mogelijk conversies in te zetten.

Op dit moment geldt de vuistregel dat 1 PJ besparen bij verbruik maar liefst 3 PJ bespaart aan het begin van de energieketen. Deze 2 PJ verlies komen meestal vrij in de vorm van restwarmte die meestal niet nuttig gebruikt wordt<sup>1</sup>. Soms omdat de restwarmte niet winbaar is doordat deze bijvoorbeeld op een te lage temperatuur vrijkomt. Soms omdat de infrastructuur en business case voor de vrijgekomen warmte ontbreekt. Hiervoor ontstaan tegenwoordig allerlei creatieve oplossingen. Zo willen de ondernemers achter de startup Nerdalize de warmte die vrijkomt van dataservers benutten door dataservers bij mensen thuis te plaatsen. Zo besparen zij kosten voor koeling en krijgen bewoners gratis warmte.

Denken in ketenrendementen biedt meer interessante inzichten. Zo richten aanbieders van zonne- en windenergie zich op de groeiende behoefte aan elektriciteit. Eén PJ aan zonne-energie spaart 2 PJ aan fossiele energie uit dat immers met een relatief laag rendement van 40-60% wordt omgezet in elektriciteit. Op het moment dat er veel elektriciteit uit zon of wind komt, is opslag nodig. Bijvoorbeeld door tijdelijke omzetting in waterstof. Daarmee gaat 2/3 van de energie verloren. Hierdoor spaart 1 PJ duurzame elektriciteit, opgeslagen via waterstof, nog maar 2/3 PJ fossiel uit. De CO<sub>2</sub> besparingen zijn dus drie keer zo klein als wanneer de uit hernieuwbare bron opgewekte energie direct benut wordt.

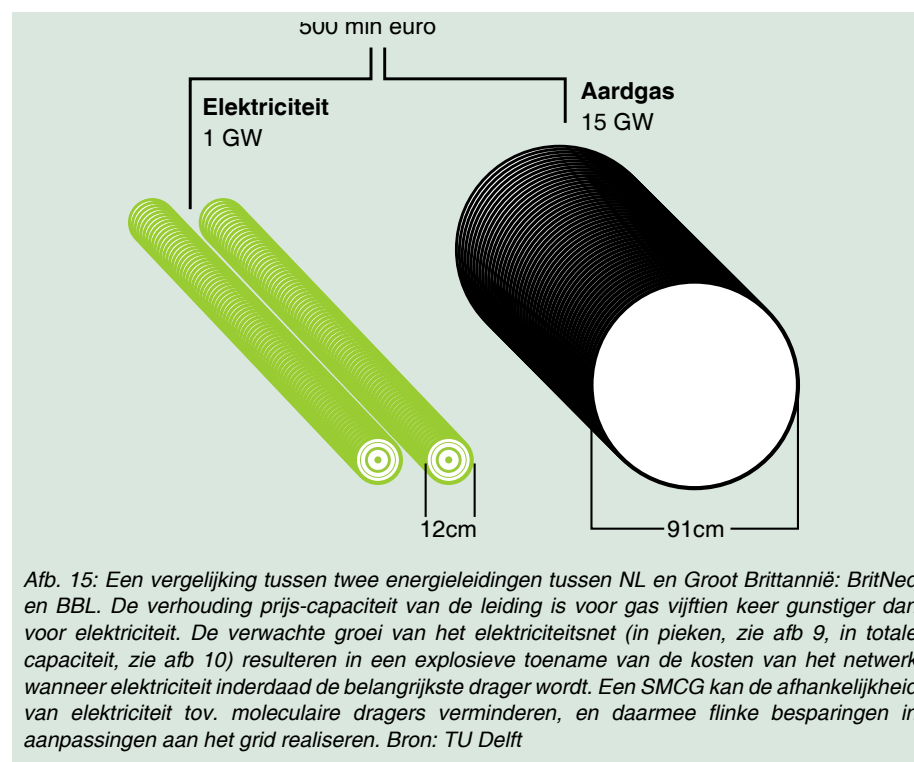
### Energiedichtheid

Bovenstaand voorbeeld laat zien dat het steeds belangrijker wordt om niet alleen te kijken naar hoeveel duurzame energie er geproduceerd wordt, maar vooral op welk moment. Hoe en waar energie opgeslagen wordt is daarom een essentiële vraag van het SMCG. Op dit moment bevindt de grootste energieopslag in Zuid Holland zich in het Haven Industrieel Cluster. In de grote bovengrondse reservoirs voor vloeistoffen en gassen, maar ook in de





vorm van kolenbergen en olietankers voor de kust. Daarnaast rijdt een deel van de energieopslag rond in de vorm van benzinetanks en tankwagens. Om de energie-infrastructuur te ontlasten en voor het optimaal benutten van de capaciteit van warmtepompen vindt steeds vaker opslag ook decentraal plaats. De energiedichtheid van verschillende opties voor opslag verschilt sterk. Opslag in decentrale accu's of warmtebuffers neemt 80 tot 100x zoveel plaats in als de fossiele opslag in het haven-industrieel cluster, gemeten naar energie-inhoud (zie afbeelding 14).



### Kosten van infrastructuur

Naast ketenrendementen en energiedichtheid is een derde belangrijke variabele de kosten voor infrastructuur. Deze hangen af van de dichtheid van de aansluitingen (hoe meer mensen gebruik maken van een kabel of buis, hoe lager de kosten) en het type drager. Elektriciteitsnetten zijn relatief kostbaar. Een studie van Ecofys op basis van data van netbeheerders becijfert de kosten voor verzwaren van het net op 1600 euro/kW in stedelijke

centra tot 4400 euro/kW in landelijk gebied<sup>1</sup>. Dit is nog zonder de kosten voor hoogspanningsleidingen mee te nemen. Warmtenetten zijn per kW goedkoper: van 1100 euro/kW in het centrum tot 2100 euro/kW in het landelijk gebied. Reken je ook de benodigde capaciteit mee, dan verdwijnt dit verschil grotendeels. Het is daarbij belangrijk om naar een groep panden te kijken, aangezien de pieken van verschillende gebruikers elkaar uitmiddelen. Een goed geïsoleerde groep huizen vraagt volgens dezelfde Ecofys studie 1-2 kW per woning voor een warmtepomp, maar 3-4 kW per woning voor een warmtenet (zonder buffer). Onze gasinfrastructuur is vele malen goedkoper en bovendien kunnen we blijven werken met het net dat er nu ligt, alhoewel dit wel aangepast moet worden wanneer het voor waterstof of biogas gebruikt wordt. De extra kosten door conversieverliezen voor de omzetting van elektriciteit in gasen zoals syngas of waterstof) komen hiermee in een ander daglicht te staan: wellicht is het uiteindelijk aantrekkelijker om deze verliezen voor lief te nemen en daarmee een enorme investeringsopgave in nieuwe netwerken en woningisolatie te voorkomen. Ook het lokale draagvlak en de organisatiecapaciteit van de netbeheerder spelen een rol in deze afweging.

<sup>1</sup> Ecofys (2015), De systeemkosten van warmte voor woningen

## 5. DE ENERGIE REALMS

Het Zuid-Hollandse energiesysteem bestaat uit verschillende realms of deelsystemen, ieder met hun eigen eigenschappen, spelers en kansen en opgaven. Binnen elk realm zijn de afgelopen jaren een aantal projecten opgestart die bijdragen aan de totstandkoming van het SMCG. Daarbij gaat het zowel om projecten rond de fysieke energie-infrastructuur (de bloedbanen), als projecten rond nieuwe aansturing via (digitale) markten en regelsystemen (het zenuwstelsel).

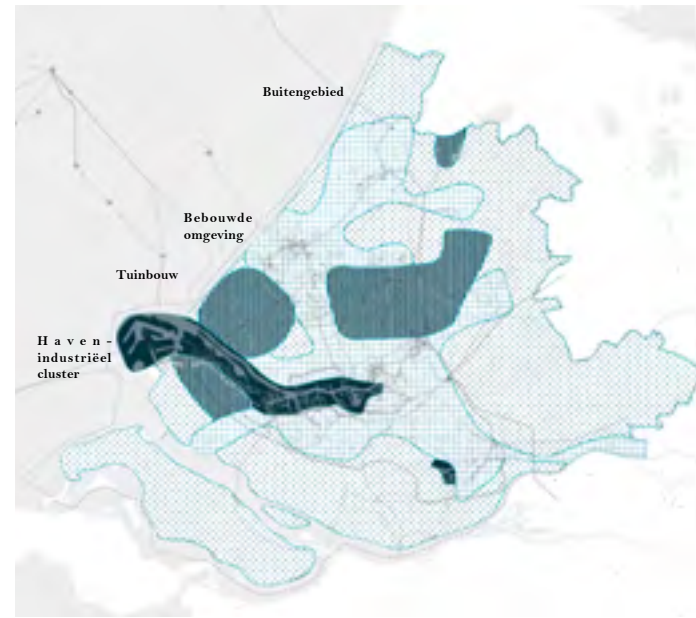
### 5.1 Het haven-industrieel cluster

Het haven-industrieel cluster opereert op een heel andere schaal dan de andere energiesystemen in Zuid-Holland. Zo heeft de grootste olie opslag (de Maasvlakte Oil Terminal) dezelfde capaciteit als de benzinetanks van 75 miljoen auto's tezamen (in Nederland zijn nu 10 miljoen motorvoertuigen geregistreerd). Vanwege de mainportfunctie is de grootste asset van het haven-industrieel cluster de betrouwbare aanvoer van grote hoeveelheden relatief goedkope energie. Dit cluster een van de grootste bovengrondse opslag-, transport en conversiepunten van Europa, met grote economische en energiebetekenis voor Zuid-Holland. Een industrieel SMCG betekent dat dit gebied deze functie kan behouden met 80 tot 95% minder CO<sub>2</sub> uitstoot, maar dit scenario vraagt om een grote transformatie.

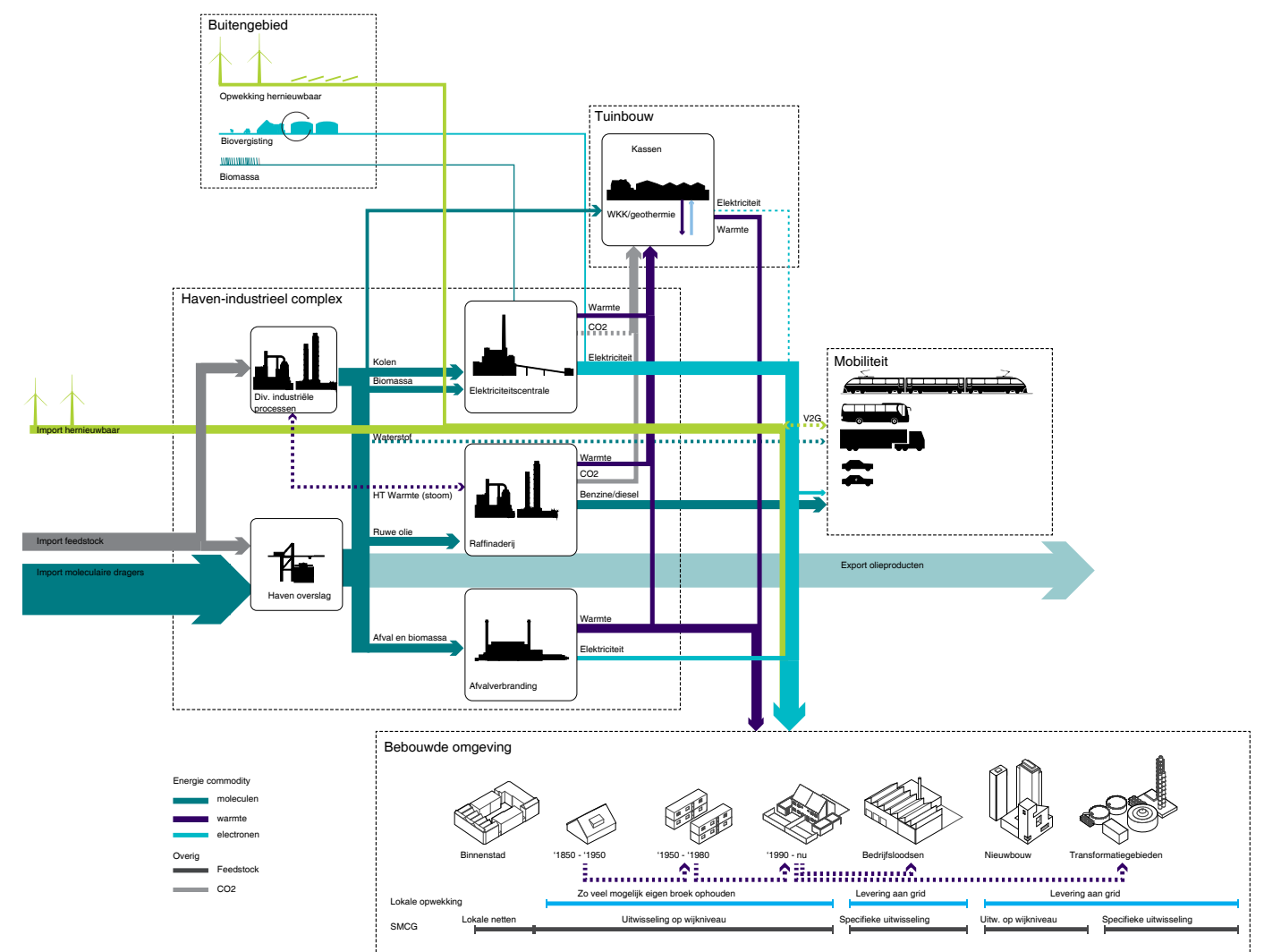
Een deel van de industriële activiteiten zoals raffinaderijen en kolencentrales, zal krimpen of verdwijnen. Een ander deel (zoals opslag en buizenverbindingen) kan aangepast worden voor nieuwe energiedragers. Nieuwe activiteiten zoals bio-based chemie, CCU (CO<sub>2</sub> afvang, opslag en gebruik) en recycling van organische afvalstromen bieden kansen<sup>VI</sup>.

Hoge temperatuur restwarmte wordt gedeeld door bedrijven en wanneer de temperatuur daalt, afgegeven aan een regionaal warmtenet.

Net als nu verbruiken de industrieën niet alleen energie, maar leveren ze dit ook aan elkaar. Al dan niet in dezelfde vorm waarin het gebruikt werd. Door meer restenergiestromen te leveren en gebruik te maken van een groot aantal bronnen en dragers, worden zij minder kwetsbaar voor verstoringen



Afb. 16: De Energie-Realms in Zuid-Holland (Gebaseerd op: Zuid-Holland op St(r)oom, 2014.)



Afb. 17: De huidige Energie-Realms kennen ieder een eigen netwerk van input, gebruik, uitwisseling en output. Op termijn zullen hier meer terugkoppelingen in komen zodat het energienetwerk meer circulair wordt (aangegeven als stippellijnen).



en verbetert hun business case. Bijvoorbeeld door waterstof voor industriële productieprocessen om te zetten in elektriciteit en te leveren op momenten met een hoge elektriciteitsprijs. Deze industriële symbiose vergroot de betrouwbaarheid, biedt economisch rendement en maakt het aantrekkelijk voor bestaande bedrijven om blijvend binnen dit cluster te investeren. Het gaat hierbij niet alleen om directe energieketens, maar ook om lange -liefst afvalvrije circulaire- productieketens waarbij energie wordt omgezet in materialen, die na verloop van tijd hun weg terugvinden naar het cluster waarbij de moleculen en resterende energie weer worden ingezet voor nieuwe energiedragers of materialen.

Intelligente, interoperabele infrastructures maken het mogelijk om meerdere bronnen en –dragers te gebruiken voor hetzelfde proces. Industrieën kunnen profiteren van het variabele aanbod van elektriciteit uit zon en wind. Door meer elektriciteit om te zetten in warmte, gas of materialen wanneer de elektriciteitsprijs laag is, en omgekeerd, fungeert de industrie als stabilisator voor het elektriciteitsnet. Daarmee worden investeringen in de opslag en transport van elektriciteit voorkomen.

Binnen het haven-industrieel cluster lopen al verschillende projecten. Vooral rond warmte (zie tabel). Zo heeft Stedin in 2013 een ruim twee kilometer lang stoomnetwerk in gebruik genomen dat stoom uit de afvalverwerkingsinstallatie in de Botlek transporteert naar chemiebedrijf Emerald Kalama Chemical. Op termijn kan dit stoomnetwerk uitgebreid worden en daarmee 400.000 ton CO<sub>2</sub> besparen, gelijk aan de directe CO<sub>2</sub> productie van 50.000 huishoudens.

	Fysiek	Aansturing
<b>Stoomproject Botlek/ Energyhub AVR (Deltaplan EI HbR)</b>	✓	
:stoompijp van AVR naar industrie ter voorkoming van eigen gasgestookte stoomopwekking		
<b>Voltachem, electrificatie van chemische industrie</b>	✓	
:electrificatie van de chemische industrie		
<b>verduurzamen energie-opslag in de haven (Vopak)</b>	✓	
:verduurzamen van opslag van energie en grondstoffen in de haven		
<b>Smart Grid HIC (Deltaplan EI HbR)</b>		✓
:pilot over demand-response tussen koelbedrijven		

Tabel 4: overzicht van SMCG-projecten binnen de realm 'Haven Industrieel Cluster'

**Door meer restenergiestromen te leveren en gebruik te maken van verschillende bronnen en dragers, worden industrieën minder kwetsbaar voor verstoringen en verbetert hun business case.**

## 5.2 Mobiliteit

Mobiliteit en transport kennen een eigen energieketen van bron tot tankstation, met alleen upstream (in de productieketen) overlap met andere sectoren (chemische industrie). De internationale scheepvaart en de luchtvaart zijn daarbij een grote bron van CO<sub>2</sub> uitstoot die veel te weinig meegenomen wordt in regionale en vaak zelfs internationale studies.

Op 's lands wegen begint het verhaal duidelijker te worden. Inmiddels rijden we al deels op biobrandstoffen en staan we regelmatig voor het stoplicht naast elektrische auto's. Over een paar jaar zullen elektrische auto's (zeker in gebruik) goedkoper zijn dan benzine- of dieselauto's en zullen ze bovendien langer meegaan, steeds intelligenter worden en mogelijk meer gedeeld worden. Ook waterstof zal waarschijnlijk zijn langverwachte intrede doen. Voor vliegtuigen, vrachtwagens en schepen worden andere oplossingen gezocht omdat deze grote hoeveelheden energie nodig hebben die weinig plek en gewicht innemen. Denk daarbij aan waterstof of synthetische (bio-) brandstoffen met een hoge energiedichtheid. Elektriciteit, waterstof en biofuels worden ook gebruikt voor warmte, licht, kracht of als grondstof. De mobiliteitstransitie is daarom niet alleen een verandering van energiedragers, maar ook een van integratie met andere onderdelen van het energiesysteem. Dit biedt interessante kansen.

Het meest duidelijk is dit bij elektrische- en waterstofvoertuigen. Deze tanken en parkeren in de wijk of op het werk en worden daarmee met stip de grootste elektrische, lokale powerhouses. Powerhouses die ook nog eens 95% van de tijd stil staan. In een huis slaan alle stoppen eruit wanneer voor 10kW aan apparaten aanstaan. Op straat vragen elektrische auto's bij het opladen tot twee keer zoveel vermogen. Batterijen van een Tesla auto hebben evenveel vermogen als 8 Tesla 'powerpacks' voor thuis. Daardoor kan één auto flexibiliteit leveren voor meerdere huishoudens, door op te laden op momenten waarbij er weinig vraag is en waar mogelijk elektriciteit te leveren wanneer er veel vraag is. Dit is mogelijk, mits zij intelligent gestuurd worden en marktmodellen hierop zijn aangepast. Een verdergaand scenario is dat (zelfrijdende) auto's onderdeel worden van het elektriciteitsnet door precies daar te (ont-) laden waar op dat moment een energietekort of -overschot bestaat. Naast het transport van personen bieden ze daarmee ook transport van energie.

	Fysiek	Aansturing
<b>EnergyHub BleiZo, Zoetermeer/Lansingerland</b>	✓	✓
:ontwikkeling van het gebied tussen Bleiswijk en Zoetermeer, rondom A12 - kansen voor aanleggen nieuw energienetwerk en ontwikkelen duurzame logistieke 'hub'		
<b>Greenpoint Holland Zeeland (GO)</b>	✓	
:mbv pv-panelen opgewekte elektriciteit omzetten in waterstof als brandstof voor vervoersmiddelen		
<b>EnergyHub Alpherium</b>	✓	✓
:naar zero-emission transport (wegtransport en binnenvaart, dmv biodiesel en/of waterstof)		
<b>Gelijkstroomweg N470</b>	✓	✓
:12 km provinciale weg uitvoeren als gelijkstroomweg, incl opwek en opslag en gebruik		
<b>AirLiquide waterstofvulpunt - Rhooon</b>	✓	
:bestaand waterstofvulpunt dat op dit moment aardgas (?) gebruikt als bron		

Tabel 5: overzicht van SMCG-projecten binnen de realm 'Mobiliteit'

Op het terrein van Green Village aan de TUDelft wordt daarmee geëxperimenteerd. In 2017 leverde een Hyundai op waterstof daar, samen met zonnecellen, twee weken lang de elektriciteit voor twee studentenwoningen. Deze 'Car as a Power Plant' wordt verder onderzocht in twee modi: V2H (Vehicle to household) en V2G (vehicle to grid).

### 5.3 De gebouwde omgeving

De energietransitie in de gebouwde omgeving wordt door veel bewoners, gemeenten en bedrijven enthousiast opgepakt, en om begrijpelijke redenen door velen ook niet. De kosten zijn hoog (zowel in absolute zin als in euro per vermeden ton CO2) en het raakt mensen persoonlijk. In hun energiegewoontes, woning, portemonnee en manier van koken. Het is dan ook niet alleen een economische of technische, maar vooral ook een politieke en maatschappelijke vraag. Het gaat over individuele vrijheid versus collectief belang. Centraal versus decentraal. Het verdelen van de kosten en baten. Individueel snel gaan of samen ver komen. Rond infrastructuur komen al deze keuzes samen. Ze bepalen hoe rendabel een zonnepaneel is, of mensen op een warmtenet kunnen of zelfs moeten, wie meebetaalt aan de elektriciteitsnetten die overbelast raken door de bezitters van elektrische auto's en warmtepompen.

De gebouwde omgeving vraagt om nieuwe (warmte-) of zwaardere (elektriciteits-) netwerken, om af te stappen van verwarming met aardgas. Ook bestaat de mogelijkheid dat er grote hoeveelheden biogas en waterstof uit landen met goedkope zonnestroom beschikbaar komen die via bestaande gasnetten gebruikt kunnen worden. Om in 2050 van aardgas los te zijn moeten jaarlijks 50.000 woningen geïsoleerd en aangepast worden in de provincie. In sommige gevallen zal biogas een oplossing zijn, in veel gevallen aansluiting op een warmtenet, verzwaarde elektriciteitsaansluitingen, zonneboilers, en warmtepompen. Deze keuze wordt ook beïnvloed door de leeftijd van de wijk (zie afb. 15). Huis voor huis gaat het proces te langzaam en de kosten voor nieuwe of zwaardere infrastructuur moeten over zoveel mogelijk mensen verdeeld worden. Dus zal dit wijk voor wijk, dorp voor dorp of stad voor stad plaatsvinden. Energieopslag helpt om de infrastructuur licht te houden en warmtepompen of zonnecellen optimaal te gebruiken.



Afb. 17: Smart Grid Rotterdam-Rijnmond (bron: Omnetric en Siemens)

**Van gas los is een onvermijdelijkheid, maar resulteert wel in een veel grotere elektriciteitsbehoefte bij huishoudens. Het is zaak om nu flink te investeren in meer schone en slimme elektriciteitsopwekking.**

	Fysiek	Aansturing
<ul style="list-style-type: none"> <li>TU Delft, energiecampus</li> <li>aanleggen van geothermieput voor de verwarming van gehele TU campus met meekoppelkansen voor woonwijk Delft - ook rol voor (seizoens)opslag van warmte</li> </ul>	✓	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Rijswijk Buiten</li> <li>woonwijk zonder gasaansluiting</li> </ul>	✓	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Mariahoeve, Next Generation Woonwijk</li> <li>kandidaat voor Next Generation Woonwijk, Green Deal 'aardgasvrije wijken'</li> </ul>	✓	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Merwe-Vierhavens / Smart Electricity Grid Rotterdam</li> <li>afstemmen van vraag en aanbod van elektriciteit met behulp van ICT en prijsprikkels. Mogelijkheid om lokale initiatieven te laten aansluiten op een grootschaliger energiesysteem</li> </ul>	✓	✓
<ul style="list-style-type: none"> <li>EnergyHub BleiZo, Zoetermeer/Lansingerland</li> <li>ontwikkeling van het gebied tussen Bleiswijk en Zoetermeer, rondom A12 - kansen voor aanleggen nieuw energienetwerk en ontwikkelen duurzame logistieke 'hub'</li> </ul>	✓	✓
<ul style="list-style-type: none"> <li>Palenstein, Next Generation Woonwijk</li> <li>kandidaat voor Next Generation Woonwijk, Green Deal 'aardgasvrije wijken'. De Goede Woning maakt 120 woningen NodM</li> </ul>	✓	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Geothermieput Leyenburg</li> <li>bestaande geothermieput in Leyenburg wordt gerevitaliseerd en gekoppeld aan 4000 woningen in de omgeving</li> </ul>	✓	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Nieuw Reijerwaard</li> <li>nieuw bedrijventerrein, inclusief slimme batterij</li> </ul>	✓	✓
<ul style="list-style-type: none"> <li>Warmtenet Dordrecht-Sliedrecht</li> <li>warmte van vuilverbrander wordt gebruikt voor verwarming van nabijgelegen wijk - warmtenet aangekoppeld</li> </ul>	✓	
<ul style="list-style-type: none"> <li>EnergieRijk</li> <li>Gemeente Den Haag en het Rijk werken aan een schone en betrouwbare energievoorziening, die prijsstabil, kosteneffectief en van voldoende capaciteit is voor het centrumgebied van Den Haag</li> </ul>		✓
<ul style="list-style-type: none"> <li>Open Smart Grid Platform, Leiden</li> <li>slim monitor en beheersysteem systeem voor objecten in de openbare ruimte</li> </ul>		✓
<ul style="list-style-type: none"> <li>Smart Grid Gorinchem</li> <li>nieuwbouwwijk voorzien van Tesla-powerwalls als oplossing voor energie-opslag in de gebouwde omgeving</li> </ul>	✓	✓
<ul style="list-style-type: none"> <li>Smart Grid Couperus Ypenburg</li> <li>288 woningen worden aangesloten op een warmtenet met aansluiting op warmte-koude opslag in de bodem</li> </ul>	✓	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Power to Gas - Rozenburg</li> <li>toevoegen van waterstof (gemaakt van duurzaam opgewekte elektriciteit) aan het bestaande aardgasnet</li> </ul>	✓	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Energiebox</li> <li>Een energie-box is een energie knooppunt dat de energievoorziening voor een groep woningen verzorgt door inkoop, verkoop, omzetting, opslag en balanceren van E en/of G en/of W.</li> </ul>		✓
<ul style="list-style-type: none"> <li>De Intelligente StooklijnRegeling (ISR)</li> <li>Energie besparen dankzij een innovatieve aansturingmethode voor verwarmingsketels. Dat is waar 'de Intelligente StooklijnRegeling (ISR)' zich op richt. De ontwikkelde methode zorgt voor fikse energiebesparing bij collectieve verwarmingssystemen. Daarnaast zorgt de ISR ook voor een Energie besparen dankzij een innovatieve aansturingmethode voor verwarmingsketels.</li> </ul>		✓
<ul style="list-style-type: none"> <li>Klappolder</li> <li>Met behulp van een Layered Energy System heeft Stedin klappolder als een pilotproject aangenomen.</li> </ul>		✓

Tabel 6: overzicht van SMCG-projecten binnen de realm 'Gebouwde Omgeving'



Door smart grids, prijsgestuurd gebruik en opslag kan gedurende de dag op slimme momenten energie geleverd en gebruikt worden. Vooral op het slim laden (en ontladen) van elektrische auto's en op het verwarmen van onze panden kan tientallen procenten bespaard worden op netverzwaring, wat neerkomt op 2 miljard euro per jaar in Nederland. In de gebouwde omgeving lopen veel projecten. Rotterdam heeft bijvoorbeeld aangekondigd een groot Smart Grid te willen bouwen voor 20.000 huishoudens (grootweg 8% van alle woningen in Rotterdam). Onderdeel van dit smart grid is een virtuele energiecentrale die energie uit wind en zon combineert om mee te kunnen draaien op de grootschalige markten voor flexibiliteit en elektriciteitshandel.

#### 5.4 Tuinbouw

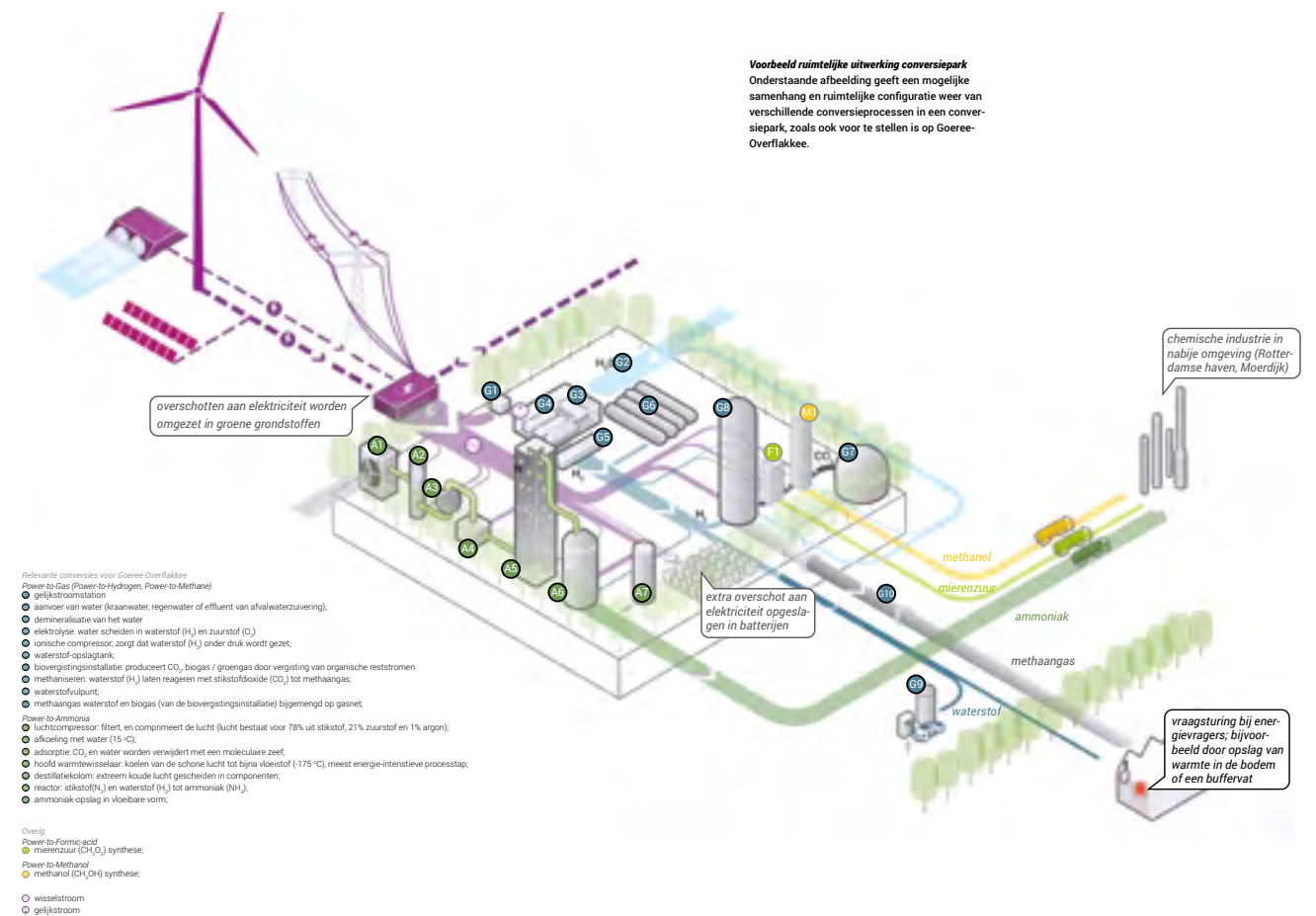
De tuinbouw heeft vooral warmte, CO<sub>2</sub> en licht nodig en is een energieverbruiker van formaat. Van oudsher wordt hiervoor veel gas gebruikt in gasmotoren en –turbines die, naast warmte, ook CO<sub>2</sub> en elektriciteit leveren. Je zou kunnen zeggen dat de tuinbouw nu al werkt als een fossiel multi-commodity grid, waar reststromen energie en emissies worden gebruikt en geleverd aan de tuinbouw en omgeving. Om over te stappen naar een duurzaam en smart infrastructuur wordt gebruik gemaakt van CO<sub>2</sub> uit de haven, geothermie, restwarmte en nieuwe kasconcepten.

Het Westland heeft daarbij ook een eigen netbeheerder: Westland Infra. Deze voert samen met anderen een aantal projecten uit om het lokale SMCG te verduurzamen. Onder de noemer Smart Grid Westland wordt ingezet op flexibele capaciteitsstarieven. Nu zijn de aansluitkosten nog gebaseerd op de maximale energie (capaciteits-)vraag in een jaar. Met flexibele capaciteitsstarieven worden lokale grootverbruikers gestimuleerd om hun energievraag te verleggen naar momenten waarop het net minder belast wordt. Ondermeer door elektriciteit

om te zetten in warmte op momenten met lage elektriciteitsprijzen, en door andere aansturing van de warmtekrachtkoppeling- (WKK-) installaties. Resultaat: lagere transporttarieven door betere benutting van het net. Ook wil de sector snellere uitrol van het warmtenet zodat geothermie en gebruik van restwarmte gestimuleerd wordt. De komende jaren kan dit 10PJ aan warmte opleveren en in combinatie met uitbreiding van het CO<sub>2</sub> netwerk de afhankelijkheid van aardgas verminderen.

#### 5.5 Buitengebied en op zee

In het buitengebied en op zee gaat energie een belangrijkere en meer zichtbare rol spelen. Zowel voor zon, wind en biomassa-bronnen als voor opslag en conversie. In de dichtbevolkte gebieden van Zuid-Holland is deze ruimte relatief beperkt, maar bijvoorbeeld op Goeree Overflakkee ligt de ambitie hoog: al in 2020 wil het eiland energieneutraal zijn en daarna netto energieproducerend. Doordat er bovendien een kV station ligt en de chemische industrie vlakbij is, worden de mogelijkheden verkend voor een conversiepark dat op momenten van een nationaal overschot aan elektriciteit, elektriciteit omzet in moleculen voor opslag, invoer in het gasnet en de chemie. Wanneer er een tekort is aan elektriciteit, kunnen de moleculen weer omgezet worden in elektriciteit. Vlakbij wordt een windpark gekoppeld aan batterijen (volgens de eerdere redenering dat opslag vooral efficiënt is vlakbij grote fluctuerende vraag en aanbod, zie afbeelding 17).



Afb. 19: Conversiepark Goeree Overflakkee (Bron: Studio Marco Vermeulen)

## 6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### 1. Ontwerp het SMCG langs meerdere scenario's

Infrastructuurontwikkeling vraagt een vooruitziende blik en er zijn verschillende ontwerpen van een SMCG mogelijk. Raadzaam is om een top-down ontwerp te ontwikkelen waarbij de fysieke infrastructuur buiten de haven en industrie minimaal verandert als gevolg van centrale opslag, waterstof en groengas-distributie via het gasnetwerk, etc. Ontwikkel ook een bottom-up ontwerp dat uitgaat van kleinschalige, locatie specifieke en integrale oplossingen (lokale opslag, conversie, markten, etc.), die weer eisen stellen aan bovenliggende infrastructuren. Dit geeft inzicht waar de grootste veranderingen idealiter plaatsvinden en welk realm leidend is in de vervulling van essentiële energietransitie-vraagstukken. Een andere optie is om ontwerpen te maken die zich telkens richten op maximale inzet op één type energiedrager (moleculen, elektronen of warmte) om de voor en nadelen te verkennen en te bezien waar en tot op welke hoogte integratie van de infrastructuren en commodities het meest zinvol is.

### 2. Focus op moleculen en warmte vs elektriciteitsnetten

Een centraal vraagstuk is: hoe groot zal de afhankelijkheid worden van elektriciteitsgebruik, indachtig bronnen die weersafhankelijk fluctueren? De hoge netverzwarrings- en opslagkosten van elektriciteit geven aanleiding om ook in te zetten op een meer flexibele elektriciteitsvraag en conversie van elektriciteit naar moleculen én warmte. Dit kan voordeliger zijn dan netverzwaring ondanks de conversieverliezen. Maar mogelijk ook veiliger vanwege de kwetsbaarheid van het elektriciteitsnet. Bovendien zijn de tussenproducten zoals waterstof en warmte interessant voor de industrie, mobiliteit en verwarming. Door conversies en opslag van elektriciteit slim te plaatsen kan voorkomen dat het volledige netwerk op deze piekcapaciteit ingericht hoeft te worden, of vaker faalt.

**Het vraagstuk rond balancerings-, infrastructuur en opslag is voor de hele wereld relevant**

### 3. Smart first

Op korte termijn lijkt een 'smart first' strategie verstandig. Smart energienetwerken (warmte, elektriciteit, moleculen) dragen bij aan het beter benutten van de netten en daarmee veel grotere investeringen in netverzwaring uit te stellen. Dit spaart kosten en vermindert onzekerheden. Daarom is het zinvol om deze projecten en investeringen zo veel mogelijk naar voren te halen. Bovendien gaan de ontwikkelingen internationaal

**Smart first: Welke route ook gevolgd wordt in deze energietransitie, decentraal en digitaal zijn de essentiële elementen**

snel. Voorsprong wordt op sommige onderwerpen in maanden gemeten in plaats van jaren. Zowel qua onderzoeks-infrastructuur (fieldlabs, Hague Security Delta, universiteiten etc.) als demo-projecten doet de provincie het relatief goed. Deze uitgangssituatie moet wel met kracht uitgebouwd worden, liefst gekoppeld aan de ontwikkeling van nieuwe marktmodellen waarbij kleingebruikers te maken krijgen met dynamische energie-, capaciteits- en flexibiliteitsprijzen. Met medewerking van de netbeheerder zijn microgrids en warmtenetwerken, maar ook grootschalige duurzame moleculen-opslag in de haven geschikt voor experimenten, met veel speelruimte voor partijen in Zuid-Holland. Onderdeel is het ontwikkelen van nieuwe standaarden en protocollen voor betrouwbare markten, interoperabiliteit, gegevensuitwisseling, etc6. Subsidies kunnen aanvullend werken. Duurzame energie had salderingsregelingen en SDE-subsidies nodig om op stoom te komen. Een vergelijkbare aanpak kan ook nodig zijn voor de totstandkoming van het SMCG. Hiervoor valt lering te trekken uit landen als Duitsland en Denemarken die hier al maatregelen voor formuleren.



## 7. SLOTWOORD

De inzet op de totstandkoming van een Smart Multi Commodity Grid lijkt een logische en noodzakelijke stap voor de Provincie Zuid-Holland. Interoperabiliteit, systeemintegratie, bron- en drageronafhankelijkheid, digitalisering en resiliëntie zijn hierbij de kernwoorden. De uitdaging is met name voor deze provincie enorm, gegeven de complexiteit en diversiteit van de bestaande energiebehoefte. De kans echter, zowel zakelijk als op gebied van kennis- en beleidsontwikkeling is even groot. De provincie Zuid-Holland beschikt over een bijzonder kansrijk palet aan energiebronnen, -gebruikers, -aanbieders en kennis die op dit ogenblik –samengebracht- als voorbeeld kunnen dienen voor de energietransitie in de rest van Nederland, Europa en de rest van de wereld. We zullen -mits wij nu de juiste stappen zetten- de komende jaren een enorme opleving zien van nieuwe en bestaande bedrijven, kennisinstellingen en overheidsinitiatieven om de transitie naar CO2-vrij en 100% hernieuwbaar te versnellen.

**Smart.  
Multi.  
Commodity.  
Grid\_**

Mei 2018



In opdracht van: Energy Innovation Board  
Provincie Zuid-Holland

## **FABRICations.**

Rens Wijnakker  
Eric Frijters  
Duong Bui  
Grazia Tona

Tussen de Bogen 18  
1013 JB Amsterdam  
020-5289484  
info@fabrications.nl



Arash Aazami  
Mattijs Taanman - Studio Wolfpack

Stationsplein 45 Unit A4.002  
3013AK Rotterdam  
aa@kamangir.eu

### Bronnen:

- I Kamangir, 2016. Van Volume naar Waarde
- II Klimaatmonitor
- III Sijmons Et. Al, 2017. essay Energie en Ruimte, p. 121. Stichting Deltametropool
- IV Kamangir 2016, van Volume naar Waarde
- V Sijmons Et. Al, 2017. essay Energie en Ruimte, p. 16 Stichting Deltametropool
- VI Wuppertal Institute, 2016. Decarbonization Pathways for the Industrial Cluster of the Port of Rotterdam
- VII Ecofys, 2016. De waarde van Congestie management

Bronnen bij de kaarten en afbeeldingen staan vermeld op of bij de afbeelding.



