Staatstoezicht op de Mijnen
Ministerie van Economische Zaken en Klimaat

Toekomstbeelden van de energietransitie

Staatstoezicht op de Mijnen

Toekomstbeelden van de energietransitie

28 december 2018

© 2018 Staatstoezicht op de Mijnen
www.sodm.nl

Inhoudsopgave

1. Inleiding 5

2. Van scenario's naar toekomstbeelden 7

Scenario's uit de studie Net voor de Toekomst 7

Kenmerken van de vier scenario's 7

Doel van de scenario's 8

De uitgewerkte toekomstbeelden 9

Aard van de uitwerking 9

3. Toekomstbeeld behorend bij het scenario 'Generieke sturing' 11

Kenmerk van het scenario 11

Visualisatie van het toekomstbeeld 11

Kenmerkende energiedragers 12

Dominante energieketens 12

Kenmerkende componenten 13

4. Toekomstbeeld behorend bij het scenario 'Regie internationaal' 15

Kenmerk van het scenario 15

Visualisatie van het toekomstbeeld 15

Kenmerkende energiedragers 16

Dominante energieketens 16

Kenmerkende componenten 17

5. Toekomstbeeld behorend bij het scenario 'Regie Nationaal' 19

Kenmerk van het scenario 19

Visualisatie van het toekomstbeeld 19

Kenmerkende energiedragers 20

Dominante energieketens 20

Kenmerkende componenten 21

6. Toekomstbeeld behorend bij het scenario 'Regie Regionaal' 23

Kenmerk van het scenario 23

Visualisatie van het toekomstbeeld 23

Kenmerkende energiedragers 24

Dominante energieketens 24

Kenmerkende componenten 25

Bijlage 1. De scenario's uit de studie *Net voor de Toekomst* 27

De studie Net voor de Toekomst 27

Scenario 'Generieke sturing' 27

Scenario 'Regie internationaal' 29

Scenario 'Regie nationaal' 32

Scenario 'Regie regionaal' 35

Bijlage 2. Visualisaties van de toekomstbeelden **37**

Bijlage 3. Technische uitwerking van de systeemcomponenten **43**

Bijstookketel op waterstof 44
Biomassa opslagdepots 45
Biomassatransport 46
CO_2-net 47
CO_2-opslag 48
Elektriciteitsopslag (accu's) 49
Elektriciteitsopslag (perslucht) 50
Elektrolyse (grootschalig) 51
Elektrolyse (regionaal) 52
Gascentrale 53
Gasopslag (ondergronds) 54
Geothermie 55
Hogedruk gasnet (transport van aardgas, biogas en waterstof) 56
Hoogspanningsnetten 57
Laagspanningsnetten 58
Middenspanningsnetten 59
Olieopslag (ondergronds) 60
Olieopslag (in opslagtanks) 61
Raffinaderij (aardolie) 62
Raffinaderij (biobrandstoffen) 63
Regionale gasnet (distributie van aardgas, biogas en waterstof) 64
Restwarmte 65
Vergassing biowaterstof 66
Vergassing groen gas 67
Vergisting groen gas 68
Warmtenetten 69
Warmte/koude-opslag 70
Warmteopslag (hoge temperatuur) 71
Warmtepompen (grootschalig) 72
Waterstofopslag (ondergronds) 73
Wind op land 74
Wind op zee 75
Zon PV (zon op dak) 76
Zon PV (zonnepark) 77

1. Inleiding

Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) is de toezichthouder op de delfstoffen- en energiewinning in Nederland. Dit toezicht omvat de veiligheid en milieubescherming bij mijnbouwactiviteiten, het gasnetwerk en wind op zee.

De taken van SodM zijn onder andere vastgelegd in de Mijnbouwwet (§8.1) en de Gaswet. Naast de eigen taken vanuit de Mijnbouwwet en de Gaswet houdt SodM namens de minister van Sociale Zaken en Werkgelegenheid toezicht op de arbeidsomstandighedenwet, het Besluit risico's zware ongevallen (Brzo), de arbeidstijdenwet op mijnbouwwerken en op windparken op zee. Voor de minister van Infrastructuur en Waterstaat houdt SodM toezicht op de milieu- en bouwwetgeving betreffende mijnbouwwerken en windparken op zee.

De energievoorziening is volop in ontwikkeling. Door de energietransitie, de toenemende inzet van energie op basis van duurzame energiebronnen en inpassing van nieuwe energiedragers zal het energiesysteem over een aantal jaren op fundamentele punten verschillen van het huidige. Niet alleen de productiemethoden en bedrijfsvoering van de energienetten zullen hierdoor veranderen, maar ook de inrichting van de energiesystemen bij producenten en energiegebruikers.

Om op adequate wijze invulling te kunnen blijven geven aan zijn toezichtstaak wil SodM meer inzicht hebben op de impact van de energietransitie op het energiesysteem. Hiertoe heeft SodM een aantal toekomstbeelden nader uitgewerkt, waarbij de focus ligt op hoe de infrastructuur zich kan ontwikkelen. Op basis hiervan wil SodM in overleg met andere toezichthouders nagaan in hoeverre adequaat toezicht kan worden gehouden op de energietransitie.

Omdat de uitwerking van de toekomstbeelden ook nuttig kan zijn voor andere partijen en voor andere doelen heeft SodM besloten om deze afzonderlijk te publiceren. Dit gebeurt in het voorliggende document.

De indeling is als volgt. In hoofdstuk 2 wordt de opzet van de studie nader toegelicht alsmede de achtergrond van de scenario's. In de hoofdstukken 3 tot en met 6 worden vier toekomstbeelden geschetst (voor het jaar 2050) en uitgewerkt. De vier scenario's die aan de toekomstbeelden ten grondslag liggen, zijn afkomstig uit de studie *Net voor de Toekomst 2.0* van CE Delft. Een samenvatting van de uitgangspunten en kenmerken van de verschillende scenario's is in bijlage 1 opgenomen. Deze bijlage is opgesteld door CE Delft. Bijlage 2 bevat de visualisaties van de vier toekomstbeelden (zoals die in kleinere vorm ook in de hoofdtekst zijn opgenomen). Bijlage 3 geeft ten slotte een nadere technische uitwerking van de componenten in de vier toekomstbeelden. Deze uitwerking is opgesteld door ECN part of TNO in opdracht van SodM, op basis van de scenario's van CE Delft.

2. Van scenario's naar toekomstbeelden

Scenario's uit de studie *Net voor de Toekomst*

In 2017 heeft Netbeheer Nederland de studie *Net voor de Toekomst* een aantal scenario's gepresenteerd voor de energievoorziening in 2050.[1] Het uitgangspunt van de scenario's was dat de energievoorziening (in 2050) CO2-neutraal wordt.

In dit onderzoek zijn vier maatschappijbeelden uitgewerkt. Daarbij is doorgerekend wat politieke en maatschappelijke keuzes betekenen voor de energievoorziening in 2050. De maatschappijbeelden verschillen in hoe regie wordt gevoerd over de transitie, op welk schaalniveau er wordt gestuurd, en in de mate van zelfvoorzienendheid. Deze scenario's zeggen niets over de waarschijnlijkheid dat de geschetste toekomst wordt gerealiseerd, maar bieden wel inzicht in de gevolgen van politieke en maatschappelijke keuzes.

Er zijn in de studie *Net voor de Toekomst* vier scenario's uitgewerkt:

- ✓ **Scenario Generieke sturing**
  In dit scenario komt de toekomstige energievoorziening via een organisch proces tot stand, deels gestuurd door een CO_2-prijs, maar zonder verdere regie van de overheid. De energievoorziening is een mix van lokale en internationale opties.
- ✓ **Scenario Internationaal**
  In dit scenario is Nederland een mondiaal georiënteerd land dat verschillende vormen van hernieuwbare energie importeert (en daarmee voor de energievoorziening sterk afhankelijk blijft van het buitenland).
- ✓ **Scenario Regie Nationaal**
  In dit scenario neemt de rijksoverheid de regie en stuurt op energie-autonomie voor Nederland via een mix van vooral centrale energiebronnen, met name wind op zee.
- ✓ **Scenario Regie Regionaal**
  In dit scenario hebben provincies en gemeenten veel regie. Er wordt ingezet op zoveel mogelijk productie van elektriciteit als energiedrager. Verder wordt veel warmte benut uit lokale energiebronnen, zoals zon, wind, biomassa en geothermie.

Kenmerken van de vier scenario's

Elk van de vier scenario's is gebaseerd op andersoortige (dominante) energieketens. Tabel 1 geeft hiervan een overzicht. Een uitgebreide beschrijvingis opgenomen in bijlage 1.

[1] De studie is te downloaden op https://www.netbeheernederland.nl/nieuws/resultaten-onderzoek-net-voor-de-toekomst-1204 en https://www.ce.nl/publicaties/2030/net-voor-de-toekomst. De betreffende studie *Net voor de Toekomst* is in november 2017 uitgebracht en vormt een vervolg op een eerdere studie met dezelfde naam uit 2010.

Tabel 1. Overzicht van de meest relevante kenmerken van elk scenario (bron: CE Delft, *Net voor de Toekomst*).

Opwekkingsmix en inpassing (GWe)

	Regie Regionaal	Regie Nationaal	Internationaal	Generieke sturing
Kracht en Licht	25% besparing basisvraag door zuiniger apparaten. Daarnaast een sterke elektrificatie industrie		25% besparing door zuiniger apparaten	25% besparing door zuiniger apparaten
Lage temperatuur warmte*	Veel warmtenetten en *all-electric*. (Beperkingen op groen gas, geen H_2 distributie). Besparing 23%	Veel hybride warmtepompen op H_2 (en groen gas) (Beperkingen op groen gas). Besparing 16%	Veel hybride warmtepompen op groen gas en waterstof (milde beperkingen op groen gas) Besparing 12%	Mix van individuele opties (geen groot collectief, geen andere beperkingen) Besparing 17%
Hoge temperatuur & feedstock industrie**	Circulaire industrie en ambitieuze procesinnovatie: 60% besparing; 55% elektrificatie; CO_2-emissie -97%.		Biomassa-gebaseerde industrie en CCS: 55% besparing; 35% biomassa; 14% elektrificatie; CO_2-emissie -95%	Geleidelijke ontwikkeling, business as usual en CCS: 20% besparing; 12% elektrificatie; CO_2-emissie -85%
Personenvervoer	100% elektrisch	75% elektrisch, 25% H_2 brandstofcel	50% elektrisch; 25% groen gas; 25% H_2	50% elektrisch; 25% groen gas; 25% H_2
Goederenvervoer	50% groen gas; 50% H_2		25% biobrandstof; 25% groen gas; 50% H_2	
Hernieuwbare opwek in NL	84 GW zon 16 GW wind op land 26 GW wind op zee	34 GW zon 14 GW wind land 53 GW wind zee	16 GW zon 5 GW wind land 6 GW wind zee	18 GW zon 5 GW wind land 5 GW wind zee
Conversie en opslag in NL	75 GW elektrolyse 60 GW accu-opslag 9 bcm gasbuffer	60 GW elektrolyse 50 GW accu-opslag 11 bcm gasbuffer	2 GW elektrolyse 5 GW accu-opslag 10 bcm gasbuffer	0 GW elektrolyse 2 GW accu-opslag 10 bcm gasbuffer

* Uitkomsten kosteneffectieve opties met het CEGOIA model doorgerekend.** Toekomstbeelden voor de industrie van het Wuppertal Institut.

Doel van de scenario's

Geen van de geschetste scenario's is realistisch, in de zin dat het energiesysteem in 2050 precies zoals geschetst zal zijn gerealiseerd. De scenario's hebben als doel om de rol en impact van bepaalde technische ontwikkelingen inzichtelijk te maken door een energiesysteem te schetsen waarin de genoemde ontwikkeling wordt 'uitvergroot'. Vermoedelijk zal het energiesysteem in 2050 een mix vormen van de geschetste scenario's, al dan niet aangevuld met (elementen van) nog andere beelden die niet in de studie aan bod zijn gekomen. In die zin schetsen de scenario's extremen en vormen deze dus vooral een discussiestuk, om de randvoorwaarden en gevolgen hiervan inzichtelijk te maken.

Per scenario is geschetst hoe wordt voorzien in de energievraag voor kracht en licht, lage temperatuur warmte, industrie en transport, en wat de uitdagingen zijn voor de verschillende infrastructuren, en tevens wat de benodigde capaciteiten en de kosten hiervan zijn (in het totaal van de kosten van de energievoorziening). In de volgende hoofdstukken worden de

vier scenario's kort beschreven en qua infrastructuur nader uitgewerkt. In bijlage A is een meer uitgebreide beschrijving van elk van de scenario's opgenomen, in de vorm van een samenvatting op hoofdlijnen van het rapport *Net voor de Toekomst*.

De uitgewerkte toekomstbeelden

Voor elk van de scenario's is in het rapport *Net voor de Toekomst* uitgewerkt hoe het energiesysteem er globaal uitziet. Dat houdt in dat, uitgaande van de verwachte energievraag, de energiebronnen en -conversies in kaart zijn gebracht om hierin te voorzien. Specifiek gaat het hierbij om onder andere de opwekkingsmix, de energiestromen in de vorm van een Sankey-diagram, de effecten op de (net)infrastructuur en een inschatting voor de kosten.

Het rapport *Net voor de Toekomst* geeft evenwel beperkte informatie over de technische voorzieningen die nodig zijn om de scenario's te implementeren. Hierbij moet dan gedacht worden aan de soort technologie die nodig is voor de productie, de conversie, het transport en eventuele opslag van de betreffende energiedragers. Om meer inzicht te krijgen in hoe het energiesysteem er daadwerkelijk uit zal zien, uitgaande van de vier scenario's, is een nadere uitwerking nodig. Deze uitwerking moet een concreter beeld geven van de verschillende componenten in het energiesysteem, zowel naar hun aard, hun aantal als hun geografische aanwezigheid. Deze uitwerking wordt in het voorliggende rapport geboden.

Aard van de uitwerking

In de volgende hoofdstukken wordt elk scenario voor het energielandschap in 2015, zoals beschreven in het rapport *Net voor de Toekomst*, allereerst kort geschetst en vervolgens nader uitgewerkt. Deze uitwerking bestaat uit de volgende onderdelen:

- ✓ **Visualisatie van het scenario**
  Allereerst wordt een grafische impressie van het betreffende scenario gegeven. Dit gebeurt in de vorm van een visualisatie, geprojecteerd op de kaart van Nederland. De belangrijkste energieketens zijn hierop inzichtelijk gemaakt, alsmede (een indicatie van) de geografische component.
- ✓ **Meest relevante energiestromen**
  Vervolgens worden de meest relevante energiestromen in het betreffende scenario in kaart gebracht. Dit wordt gevisualiseerd door de betreffende energiestromen in de Sankey-diagrammen die bij het scenario horen, uit te lichten. In elk scenario zijn twee energiestromen voor uitwerking geïdentificeerd.[2]
- ✓ **Enkele kenmerkende energieketens**
  De geïdentificeerde energiestromen zijn uitgewerkt in 'energieketens'. Een energieketen is een samenstel van technische componenten dat nodig is om de betreffende energiestroom (zoals beoogd in het scenario) vorm te kunnen geven.[3]
- ✓ **Uitwerking van de technische componenten**
  Ten slotte worden de verschillende technische componenten in de energieketen nader uitgewerkt. Dit gebeurt deels in het betreffende hoofdstuk en uitgebreid in bijlage 3.[4] De uitwerking betreft niet alleen de plaats in het energiesysteem maar ook enkele typische componentkenmerken (eenheidsgrootte, bedrijfstijd, etc.). Hierbij wordt een inschatting gegeven van (een orde van grootte van) het aantal van deze componenten dat nodig is om het scenario te realiseren alsmede de geografische distributie hiervan over Nederland.[5]

---

[2] Het uitlichten van specifieke energiestromen in een scenario wil niet zeggen dat deze energiestromen in andere scenario's geen rol spelen. Wel zijn de energiestromen zo gekozen dat deze in zekere mate (door hun aard en/of hun omvang) karakterstiek zijn voor het betreffende scenario. De energiestromen zijn verder zo gekozen dat in de vier scenario's acht verschillende energiestromen aan bod komen.

[3] Verschillende energieketens komen voor in meer (of alle) scenario's. Omdat SodM de verschillende energieketens in beeld wil brengen (om op basis hiervan een risicoanalyse uit te voeren), is ervoor gekozen om voor elk toekomstbeeld twee andere energieketens uit te werken. Bijlage 3 maakt inzichtelijk of dezelfde component (en dus energieketen) in meer toekomstbeelden terugkomt.

[4] Omdat de tabellen in bijlage 3 een beschrijving geven van generieke kenmerken van de verschillende technische componenten van het energiesysteem, zijn deze geldig voor alle scenario's. Wel is de uitwerking (naar aantal, geografische spreiding, etc.) anders voor elk van de vier scenario's. Waar relevant worden deze karakteristieken dan benoemd voor elk scenario afzonderlijk.

[5] De kenmerken van de systeemcomponenten zijn samengesteld op basis van expert-kennis bij TNO, kentallen in het CE-Delft rapport en diverse literatuurbronnen. De weergegeven getallen zijn bedoeld om een globaal idee te geven over het aantal en de omvang. Hierbij is uitgegaan van de huidig beschikbare technologie, of technologie zoals die zich voorzienbaar de komende jaren zal ontwikkelen. Vanzelfsprelend is het mogelijk dat voor een of meer componenten in de komende decennia een technologische innovatie of doorbraak het daglicht ziet, die impact zal hebben op het energiesysteem. Hiermee is (vanzelfsprekend) nog geen rekening gehouden.

3. Toekomstbeeld behorend bij het scenario 'Generieke sturing'

Kenmerk van het scenario

In dit scenario komt de energievoorziening via een organisch proces tot stand, gestuurd door een stevig CO_2-prijssignaal, maar zonder verdere regie van de overheid. De energievoorziening is een mix van lokale en internationale opties. Collectieve opties en maatregelen zoals isolatie blijven uit of worden pas laat in het transitieproces uitgevoerd. Netbeheerders investeren extra in dit scenario om de verschillende ontwikkelingen wel te kunnen accommoderen.

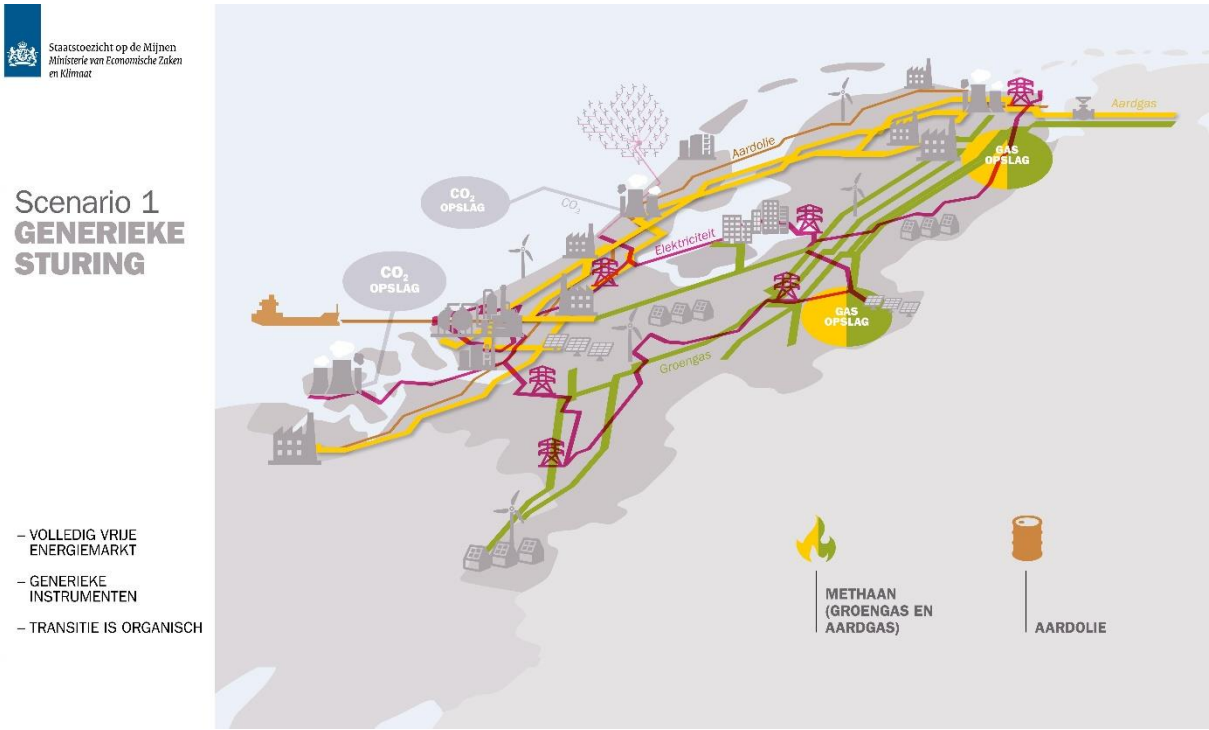
- ✓ Import waterstof, biomassa en groen gas
- ✓ Beperkt wind/zon
- ✓ Industrie BBT & CCS
- ✓ Vervoer: elektrisch, H_2 en biofuels
- ✓ Individuele warmteopties

In dit scenario worden veel energiedragers geïmporteerd, zoals waterstof, biomassa en groen gas. Er wordt tevens in windenergie en zonne-energie geïnvesteerd, maar veel minder dan in de andere scenario's. Als energiedrager voor mobiliteit wordt een mix gehanteerd van elektriciteit, waterstof en biofuels. De industrie maakt gebruik van fossiele energiebronnen, in combinatie met het afvangen van CO_2 (CCS) om die ondergronds op te slaan. Verder worden lokale warmtebronnen benut, vooral in de vorm van warmtepompen.

Visualisatie van het toekomstbeeld

Het scenario 'Generieke sturing' vormt het resultaat van een beleid waarin niet gericht wordt gestuurd op een specifiek energiesysteem. Als gevolg van de marktwerking blijft Nederland afhankelijk van geïmporteerde energiedragers. Er zijn ontwikkelingen naar het gebruik van meer windenergie en zonne-energie, maar overall zijn er de veranderingen ten opzichte van het huidige energiesysteem relatief beperkt.

De belangrijkste energieketens in het scenario 'Generieke sturing' zijn gevisualiseerd in Figuur 1. Kenmerkend is de rol die aardolie als grondstof blijft spelen alsmede de belangrijke rol van methaan, zowel in de vorm van aardgas als groen gas. Deze energiedragers worden in dit scenario voor het grootste deel geïmporteerd.

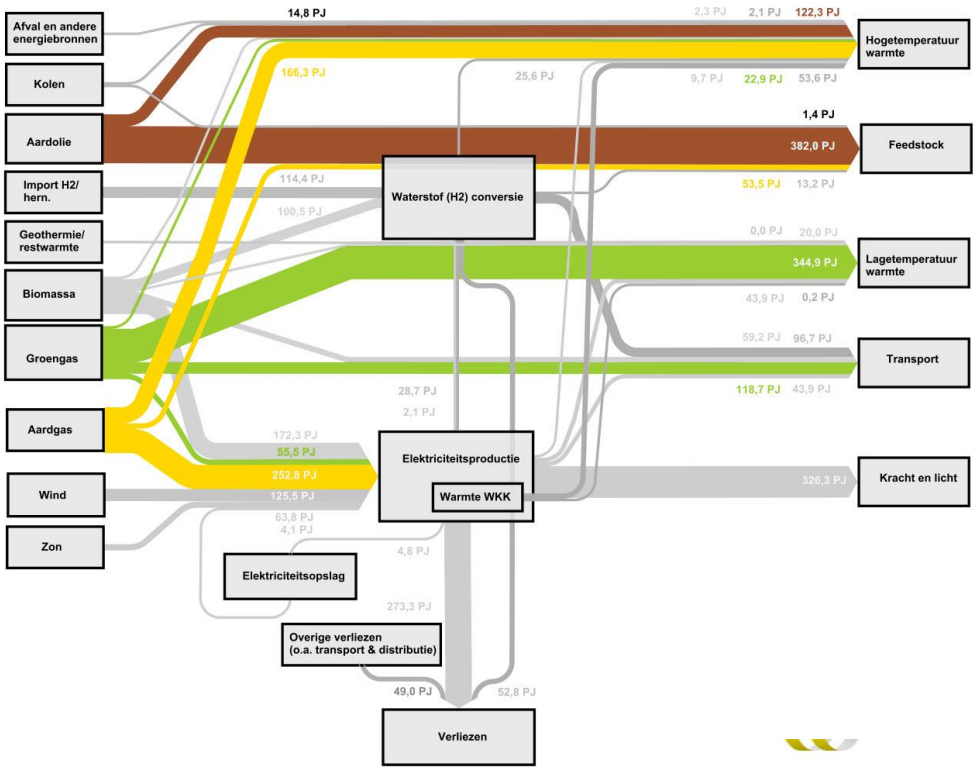


Figuur 1. Visualisatie van het scenario 'Generieke sturing' (bron: ECN part of TNO in opdracht van SodM, op basis van de scenario's van CE Delft).

Kenmerkende energiedragers

In het scenario 'Generieke sturing' ligt de focus op de inzet van aardolie en methaangas (zowel biogas als gewoon gas), die beide afhankelijk zijn van import. Nederland is in dit scenario dus niet 'energieneutraal', maar voor zijn energiebehoefte afhankelijk van het buitenland.

Deze energiedragers zijn uitgelicht in het Sankey-diagram dat bij dit scenario hoort (Figuur 2). Ook andere energiebronnen worden benut; die energieketens worden onder dit scenario niet nader uitgewerkt.

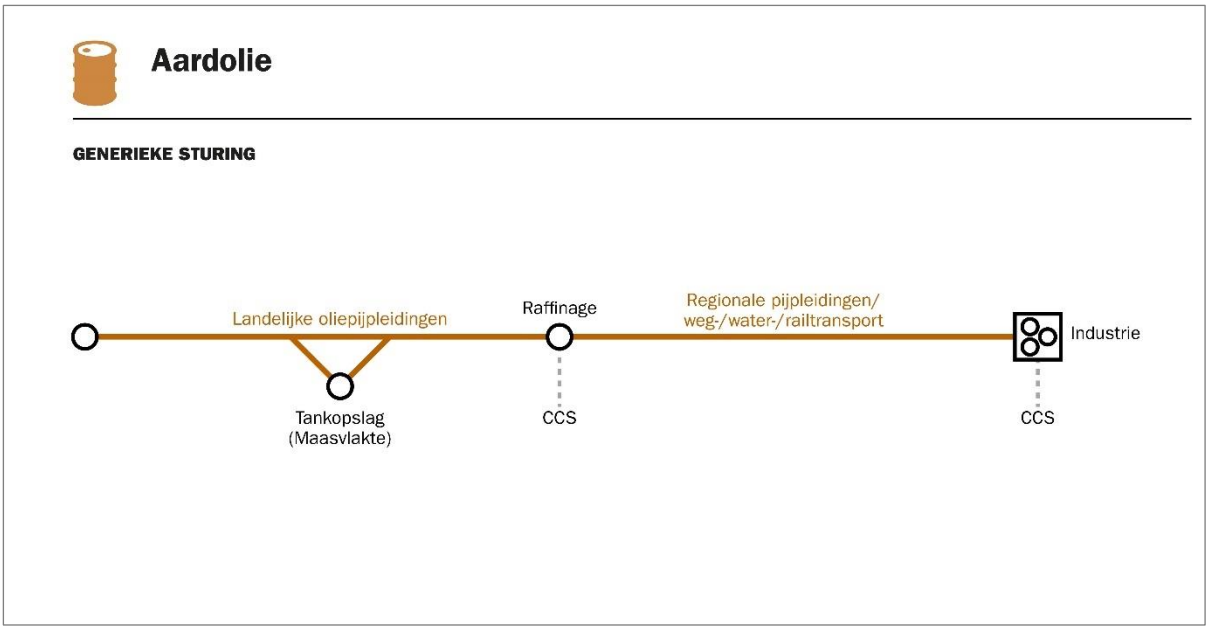


Figuur 2. Sankey-diagram van de dominante energiestromen in het scenario 'Generieke sturing' (bron: CE Delft).

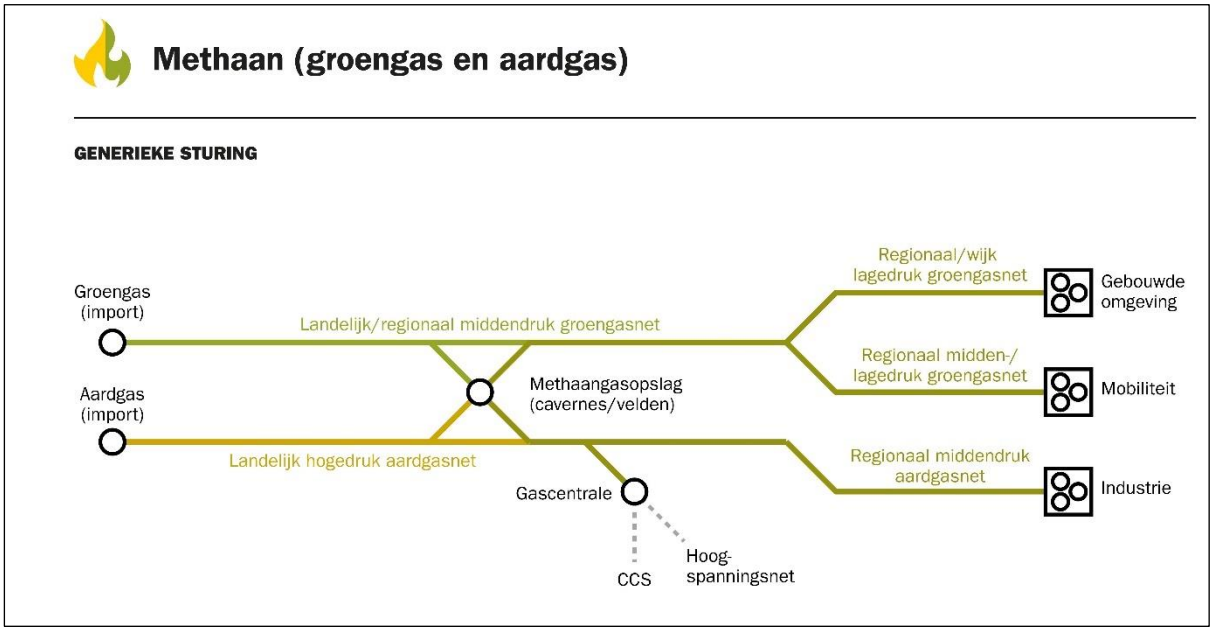
Dominante energieketens

In het scenario 'Generieke sturing' blijft aardolie een belangrijke rol spelen, in ieder geval om te voorzien in *feedstock* voor de industrie, en deels ook als energiebron voor het produceren van hoge temperatuur warmte. De energieketen is weergegeven in Figuur 3. Na import is transport (via naftapijpleidingen) nodig, alsmede opslag, raffinage en distributie via pijpleidingen en wegtransport. De verbrandingsproducten (met name CO_2) worden opgevangen. Omdat alle scenario's CO_2 neutraal zijn, wordt de geproduceerde CO_2 opgeslagen. Hierbij is gekozen voor opslag op zee, omdat het creëren van opslaglocaties op land vooralsnog niet mogelijk is gebleken.

Behalve aardolie speelt ook methaan in het scenario 'Generieke sturing' een belangrijke rol (zie Figuur 4). Het grootste deel hiervan wordt geïmporteerd (in de vorm van aardgas of in de vorm van groen gas). Dit transport vindt plaats via het landelijk aardgasnet. Het gas wordt gebruikt voor het produceren van lage temperatuur warmte (vooral ruimteverwarming) en voor de elektriciteitsproductie (in gascentrales). Ook hier wordt de geproduceerde CO2 opgevangen en opgeslagen in lege gasvelden en zoutcavernes.



Figuur 3. Diagram van de componenten in de energieketen 'aardolie', zoals die zich ontwikkelt in het toekomstbeeld 'Generieke sturing'.



Figuur 4. Diagram van de componenten in de energieketen 'methaan', zoals die zich ontwikkelt in het toekomstbeeld 'Generieke sturing'.

Kenmerkende componenten

In Tabel 2 worden een aantal kenmerkende componenten weergegeven voor het toekomstbeeld 'Generieke sturing' met een indicatie van het benodigde aantal hiervan. Een uitgebreide beschrijving van deze componenten in opgenomen in bijlage 3.

In het scenario's 'Generieke sturing' wordt veel ingezet op gas (aardgas en groen gas). Voor de productie van elektriciteit zijn naar schatting 40 gascentrales benodigd. Daarnaast is er ondergrondse opslag voor gas nodig, om de flexibiliteit in de gaslevering te borgen. Importen van gas zijn vaak constant van omvang, maar het verbruik varieert in de tijd. Door gas tijdelijk op te slaan, kan de vraag met het aanbod worden gematcht.

Om CO_2 neutraal te worden wordt CO_2 afgevangen op locaties waar dat efficiënt kan, dus bij elektriciteitsproductie en (grootschalige) industriële processen. Er zijn naar schatting circa 20 putten om voldoende CO_2 te kunnen injecteren voor het realiseren van de CO_2-neutraliteit.

Tabel 2. Overzicht van enkele technische componenten in het toekomstbeeld 'Generieke sturing'.

COMPONENT	EENHEIDSGROOTTE	AANTAL BENODIGD	LOKATIE	OPMERKING
Gasopslag (ondergronds)	1-5 bcm in een typisch gasveld.	9 bcm voor opslag van groen gas.	Beschikbare zout-cavernes en lege gasvelden.	Opslag in zoutcavernes is typisch kortcyclisch (10-20 dagen); seizoenopslag in gasvelden.
Gascentrale	400 MW_e	Circa 40 centrales nodig.	Verspreid over Nederland.	Gascentrales benodigd voor basislast en pieklast.
CCS	1 Mton per put per jaar.	Circa 20 putten	Lege offshore gasvelden.	
Raffinaderij (aardolie)	10 miljoen ton crude per jaar.	4 à 5 (overeenkomende met het huidige aantal).	Haven-industriegebieden.	Veel raffinaderijen produceren nu ook voor de export.

4. Toekomstbeeld behorend bij het scenario 'Regie internationaal'

Kenmerk van het scenario

Nederland is in dit scenario een mondiaal georiënteerd land dat verschillende vormen van hernieuwbare energie importeert, zoals waterstof. Er is een internationale productie en handel in waterstof uit klimaatneutrale bronnen, import van groen gas en import van biomassa, dat ook een belangrijke bron voor de industrie is. CCS wordt toegepast op fossiele én op biogene emissies.

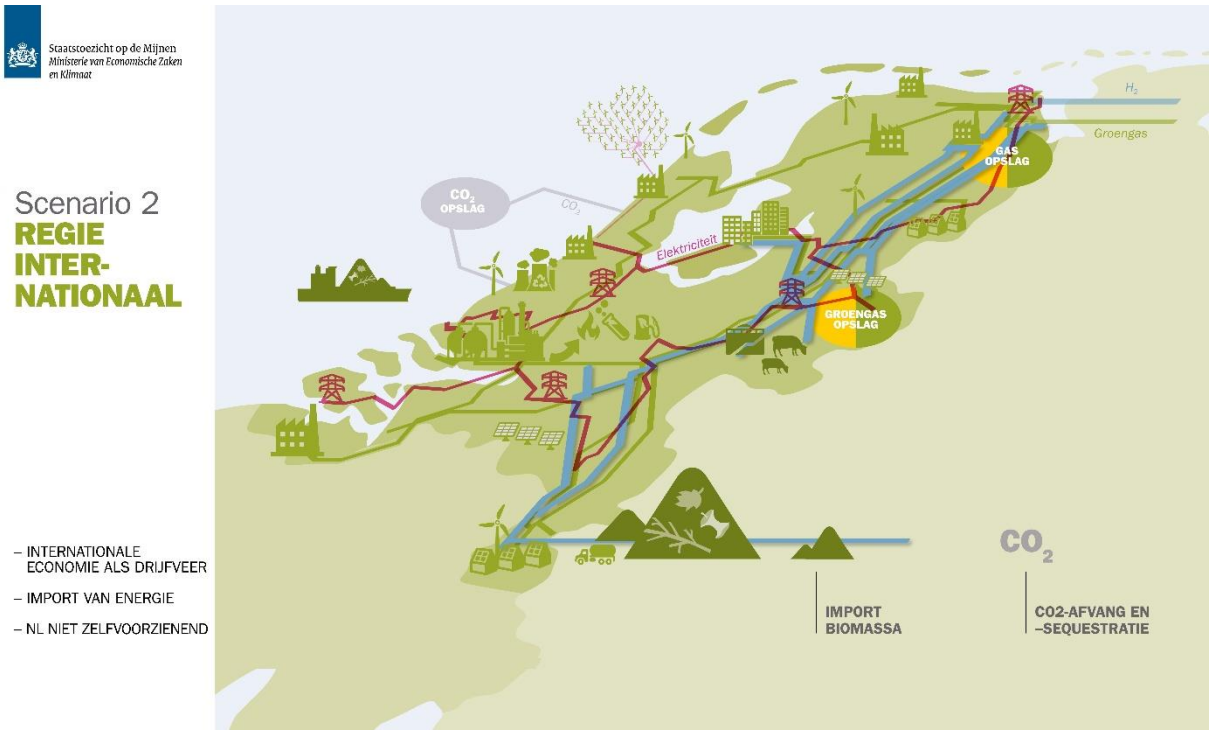
Ook in dit scenario is er een relatief beperkte ontwikkeling van windenergie en zonne-energie (in vergelijking met de scenario's 'Regie nationaal' en 'Regie regionaal'). De industrie schakelt deels over naar *biobased* grondstoffen. Voor mobiliteit worden elektriciteit, waterstof en biofuels ingezet. Voor de productie van lage temperatuurwarmte (ruimteverwarming) worden warmtepompen ingezet op basis van waterstof en groen gas.

- ✓ Import waterstof, biomassa en groen gas
- ✓ Beperkt wind/zon
- ✓ Industrie biobased & CCS
- ✓ Vervoer: elektrisch, H_2 en biofuels
- ✓ Hybride warmtepompen (groen gas)

Visualisatie van het toekomstbeeld

De belangrijkste energieketens in het scenario 'Regie internationaal' zijn gevisualiseerd in Figuur 5. Er is aangenomen dat Nederland zich ontwikkelt binnen de bredere Europese economie, en dat er veel energie-uitwisseling blijft.

In het scenario 'Regie internationaal' wordt ingezet op waterstof en biomassa als belangrijke energiedragers. Beide worden vooral geïmporteerd. Het bestaande aardgasnet wordt benut voor de transporten. Ook in dit scenario is Nederland niet 'energieneutraal', maar voor zijn energiebehoefte afhankelijk van importen vanuit het buitenland.

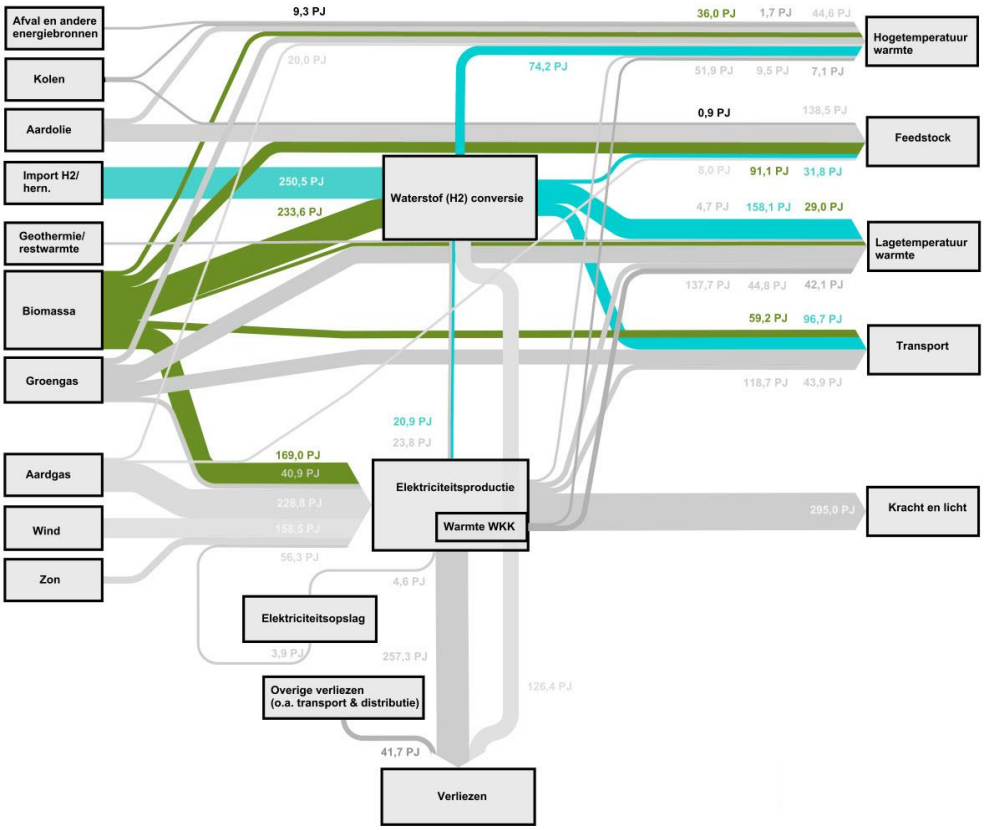


Figuur 5. Visualisatie van het scenario 'Regie internationaal' (bron: ECN part of TNO in opdracht van SodM, op basis van de scenario's van CE Delft).

Kenmerkende energiedragers

In het scenario 'Regie internationaal' is vooral de rol van waterstof en biomassa van belang. Waterstof wordt ook gebruikt in de gebouwde omgeving, zodat hiervoor transport en distributienetten nodig zijn. De biomassa is voor een deel afkomstig vanuit reststromen, maar het meeste wordt geïmporteerd. Beide energiedragers zijn uitgelicht in het Sankey-diagram in Figuur 6.

Ook in dit scenario wordt gebruik gemaakt van ondergrondse CO_2-opslag om CO_2-neutraal te worden. Doordat ook CO_2 wordt opgeslagen die vrijkomt bij verbranding van biomassa, is sprake van 'BE-CCS' (*Bio-Energy with Carbon Capture Storage*). De CO_2 die door bomen en planten tijdens de groei uit de atmosfeer wordt gehaald, wordt bij verbranding afgevangen en opgeslagen. Hierdoor wordt een negatieve CO_2-emissie gerealiseerd.

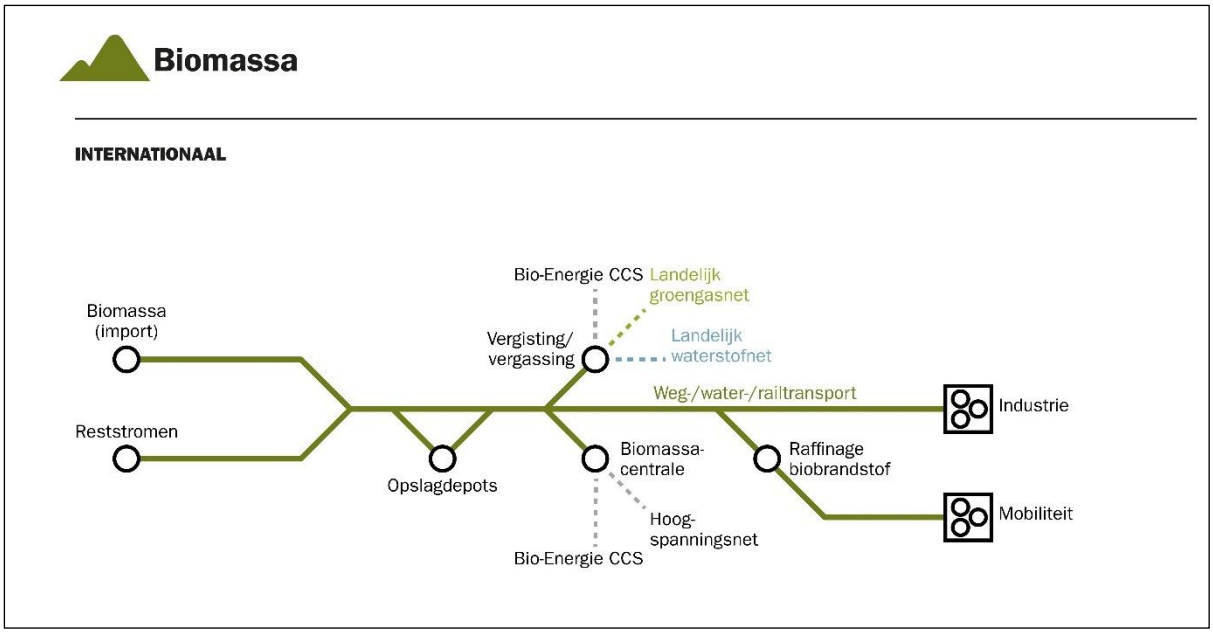


Figuur 6. Sankey-diagram van de dominante energiestromen in het scenario 'Regie internationaal' (bron: CE Delft).

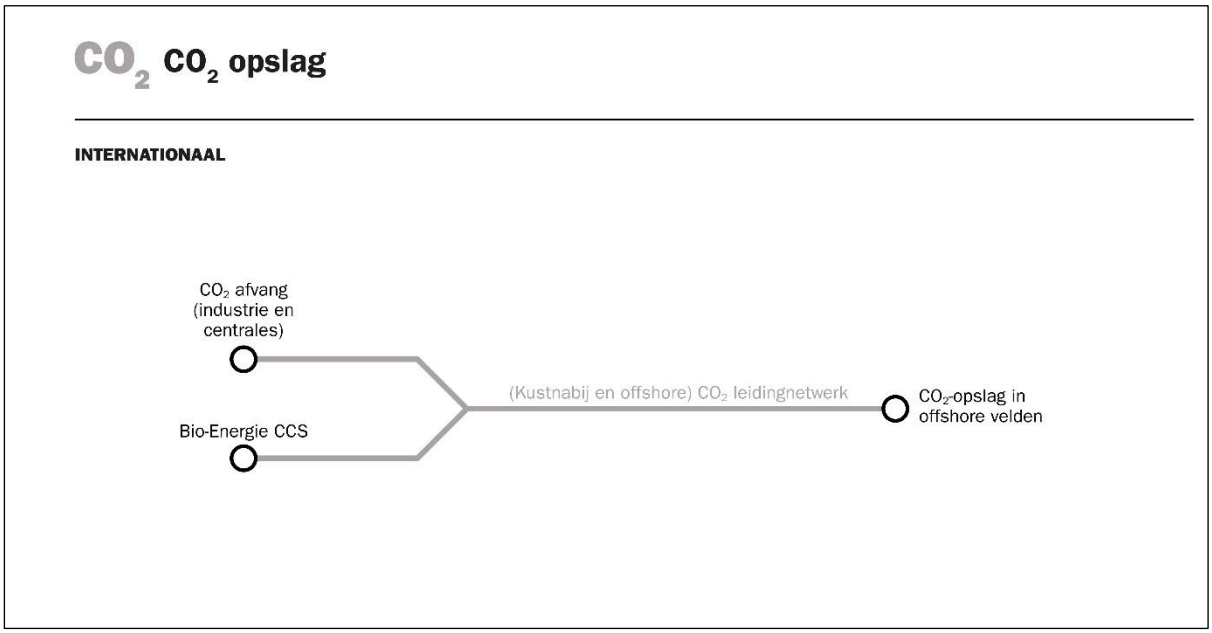
Dominante energieketens

Zoals gezegd speelt biomassa in het scenario 'Regie internationaal' een belangrijke rol. Een deel is afkomstig uit reststromen, maar een ander deel wordt (per schip) geïmporteerd. Dit betekent dat ook opslagdepots en transport nodig zijn om de biomassa daar te krijgen waar deze wordt benut: in elektriciteitscentrales (voor de omzetting naar elektriciteit) en in vergistings- en vergassingsinstallaties (voor de omzetting naar groen gas en eventueel ook waterstof). Ook wordt biomassa als *feedstock* ingezet. Deze energieketen is weergegeven in Figuur 7.

De CO_2-afvang is weergegeven in Figuur 8. De CO_2 wordt vooral daar afgevangen waar dit grootschalig kan, dus in de industrie, bij elektriciteitsproductie en bij industriële processen. Via een pijpleiding wordt de CO_2 naar een locatie op zee gebracht, waar deze vervolgens in een leeg gasveld of een zoutcaverne wordt geïnjecteerd.



Figuur 7. Diagram van de componenten in de energieketen 'biomassa', zoals die zich ontwikkelt in het toekomstbeeld 'Regie internationaal'.



Figuur 8. Diagram van de componenten in de energieketen 'CO_2 opslag', zoals die zich ontwikkelt in het toekomstbeeld 'Regie internationaal'.

Kenmerkende componenten

In Tabel 3 worden een aantal kenmerkende componenten weergegeven voor het toekomstbeeld 'Generieke sturing' met een indicatie van het benodigde aantal hiervan. Een uitgebreide beschrijving van deze componenten in opgenomen in bijlage 3.

In het scenario 'Regie internationaal' speelt biomassa een belangrijke rol, dat omgezet wordt in groen gas of biofuels. Het overgrote deel van deze biomassa moet worden geïmporteerd. Een klein deel hiervan komt uit Nederland (maar het is niet mogelijk om alle biomassa in Nederland te produceren). Biomassa kan goed worden opgeslagen. Dit gebeurt in de havens (waar de biomassa per schip binnenkomt) en in de regio (waar biomassa wordt ingezet, bijvoorbeeld in vergassings- of vergistingsinstallaties).

De raffinaderijen draaien in dit scenario op biomassa (en produceren biofuels). Om voldoende brandstoffen te leveren zijn circa 25 grote raffinaderijen nodig. Geproduceerde CO_2 wordt ondergronds opgeslagen. Omdat biomassa zelf al CO_2-neutraal is, draagt het afvangen van CO_2 bij verbranding van biomassa (en afgeleide producten als biofuels en groen gas) extra bij aan het realiseren van CO_2-neutraliteit. Er zijn ongeveer 7 putten nodig om dit te bereiken.

Tabel 3. Overzicht van enkele technische componenten in het toekomstbeeld 'Regie internationaal'.

COMPONENT	EENHEIDSGROOTTE	AANTAL BENODIGD	LOKATIE	OPMERKING
Opslag van biomassa	0,25 Mton	Circa 40.	Bij havens.	Ook regionale opslag nodig; lokale opslaggrootte: ca. 1000 ton.
Vergassing van biomassa	Output ca. 8.000 Nm^3/uur.	Onduidelijk; aanname is dat het merendeel van het groene gas wordt geïmporteerd.	Verspreid over Nederland.	Naast vergassing ook vergisting mogelijk. Eenheidsgrootte dan circa 600 Nm^3/uur.
Raffinaderij (biofuels)	Circa 5 PJ/jaar (input van biomassa).	Circa 25 grote raffinaderijen.	Met name in havens en grotere industriegebieden.	
CCS	1 Mton per put per jaar.	Circa 7 putten.	Lege offshore gasvelden.	1 Mton per put per jaar.

5. Toekomstbeeld behorend bij het scenario 'Regie Nationaal'

Kenmerk van het scenario

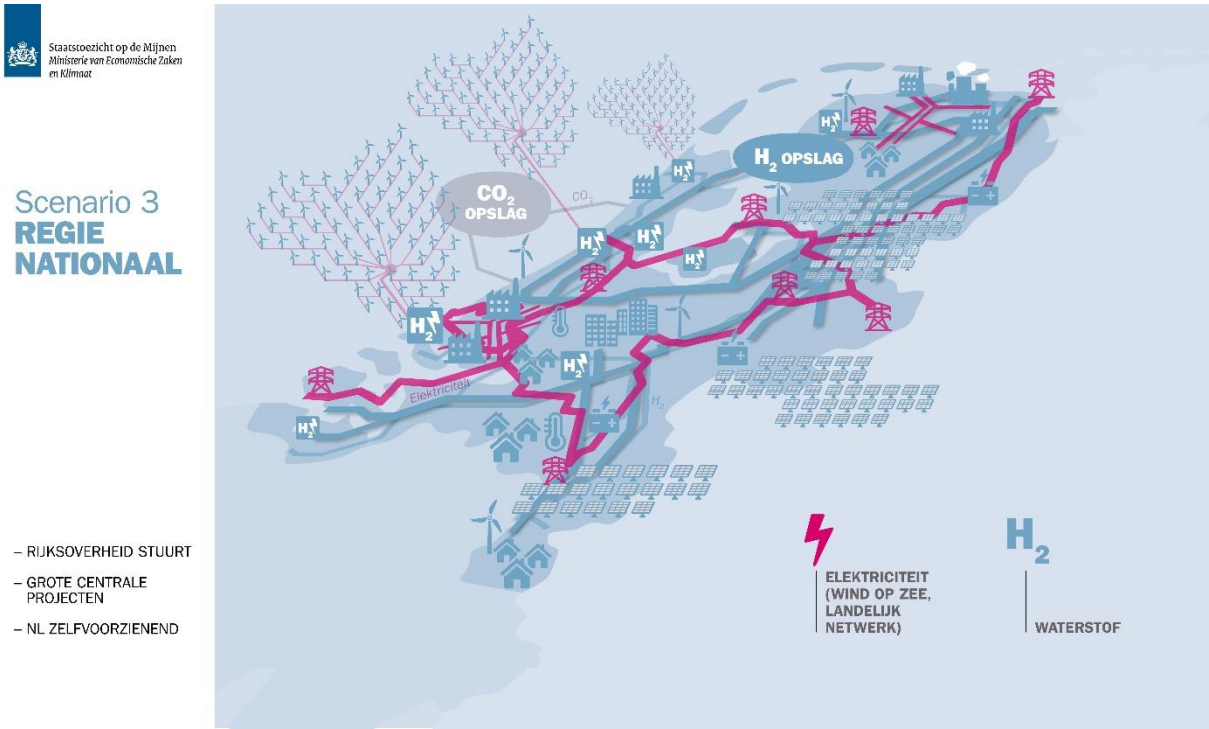
De rijksoverheid heeft in dit scenario de regie en stuurt op energie-autonomie op de schaal van Nederland via een mix van vooral centrale energiebronnen. Wind op zee levert hierbij de grootste bijdrage. Er is dus geen import van energie nodig. Wel is er behoefte aan (veel) opslag omdat vraag en aanbod niet gelijk plaatsvinden. Het medium hiervoor is waterstof. Omzetting van elektriciteit naar waterstof gebeurt aan de kust of zelfs op zee.

- ✓ Noordzee als energiebron
- ✓ Centrale opslag H_2
- ✓ Circulaire industrie
- ✓ Vervoer elektrisch en H_2
- ✓ Hybride warmtepompen (op H_2 en groen gas)

Windenergie wordt niet alleen gebruikt om te voorzien in het grootste deel van de behoefte aan elektriciteit, maar ook in het produceren van waterstof. In de energiebehoefte van mobiliteit wordt voorzien door waterstof, elektriciteit en biofuels. Industriële processen schakelen voor een deel over naar waterstof als *feedstock*.

Visualisatie van het toekomstbeeld

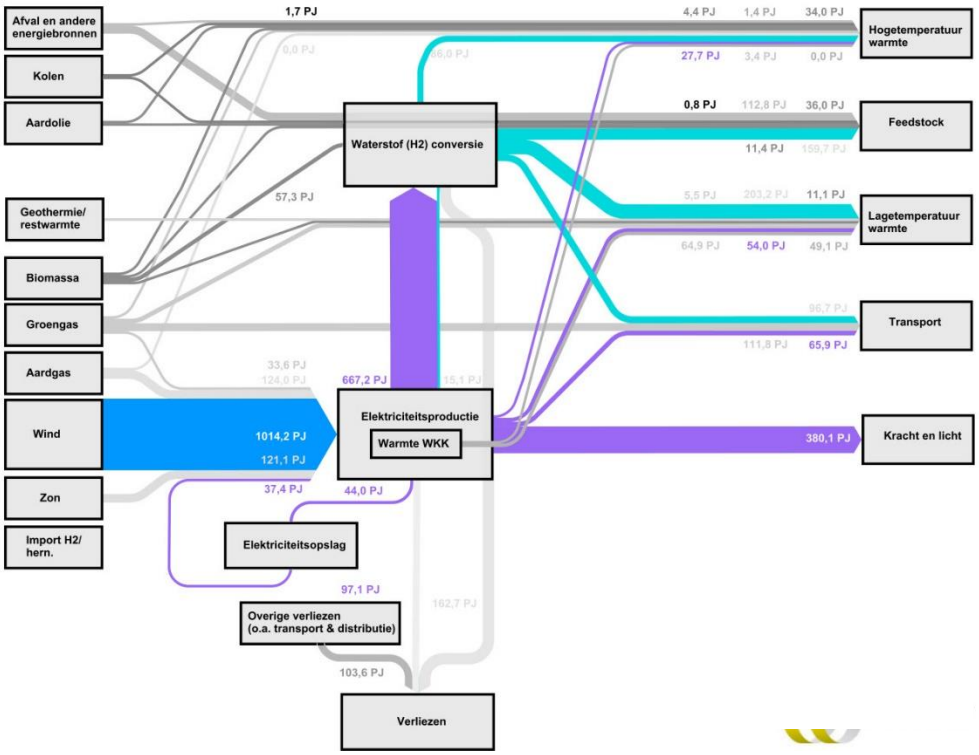
Het scenario 'Regie nationaal' wordt gevisualiseerd in Figuur 9. Hier valt met name de grote hoeveelheid offshore wind op alsmede de (verzwaarde) elektriciteitstransportnetten om de geproduceerde elektriciteit naar de eindgebruikers te brengen. Verder wordt op grote schaal waterstof geproduceerd, vooral op basis van elektriciteit. De elektrolysers zijn vooral langs de kust gesitueerd (vanwege het grote ruimtebeslag).



Figuur 9. Visualisatie van het scenario 'Regie nationaal' (bron: ECN part of TNO in opdracht van SodM, op basis van de scenario's van CE Delft).

Kenmerkende energiedragers

Zoals gezegd zijn de kenmerkende energiedragers in het scenario 'Regie nationaal' elektriciteit en waterstof. Beide energieketens zijn in het Sankey-diagram in Figuur 9 uitgelicht.

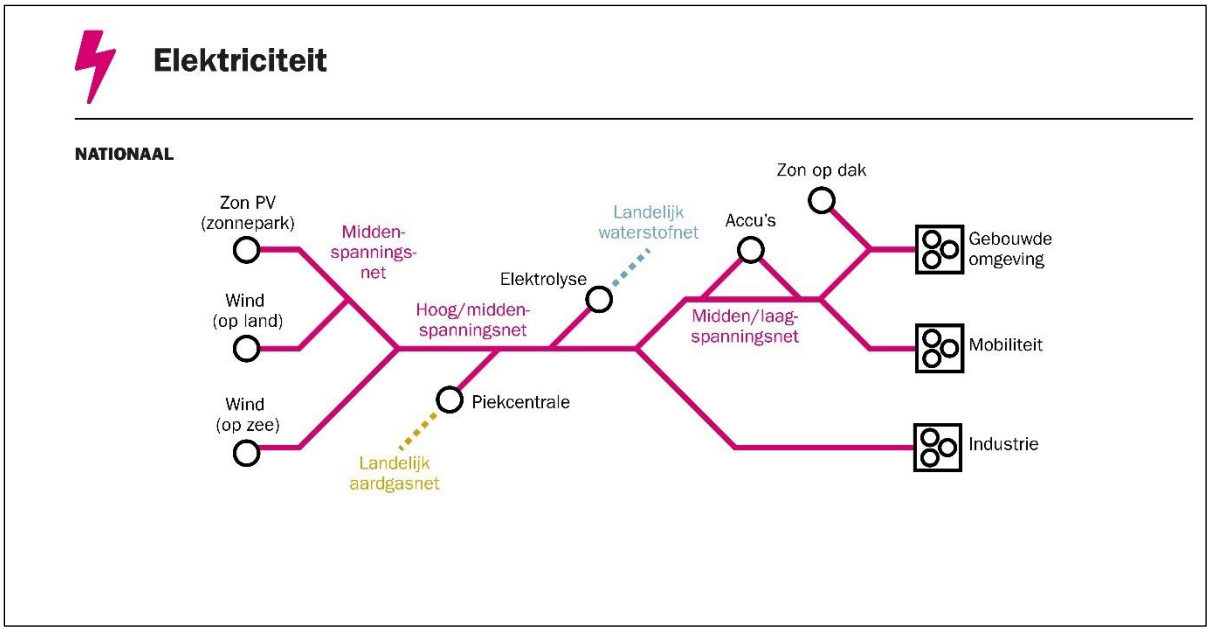


Figuur 10. Sankey-diagram van de dominante energiestromen in het scenario 'Regie nationaal' (bron: CE Delft).

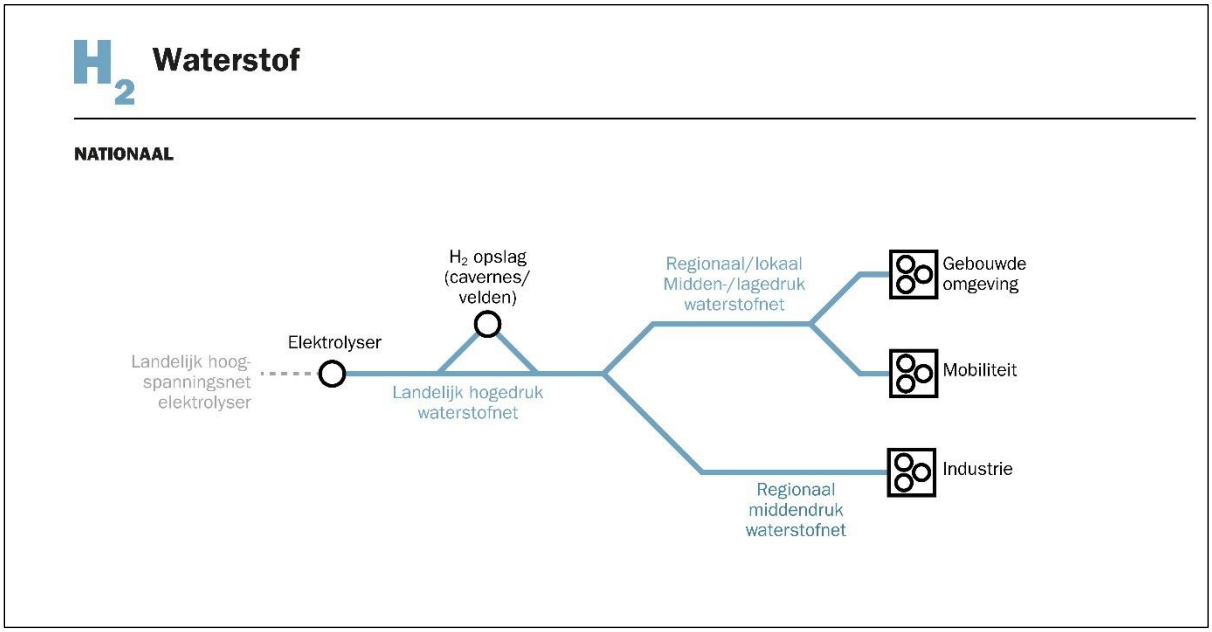
Dominante energieketens

De energieketen voor elektriciteit is weergegeven in Figuur 11. Elektriciteit wordt vooral geproduceerd in windparken (op land en op zee) alsmede in grootschalige zonneparken. Het elektriciteitstransportnet moet worden verzwaard om alle elektriciteit te kunnen transporteren. Een overschot aan elektriciteit wordt opgeslagen in accu's (voor korte termijn) of wordt in waterstof omgezet en zo grootschalig opgeslagen (ook voor langere termijn). Een tekort aan instantaan geproduceerde elektriciteit wordt aangevuld met elektriciteitsproductie uit piekcentrales. Deze draaien op waterstof of (voor een klein deel) aardgas.

De energieketen voor waterstof is weergegeven in Figuur 12. Waterstof wordt geproduceerd uit elektrolyse van water (waarvoor elektriciteit nodig is). Transport vindt plaats via het waterstofnet. Hier kan mogelijk deels het bestaande gasnet worden gebruikt, maar dit moet wel worden aangepast omdat de gasstroom niet langer van noord naar zuid is, maar eerder van west naar oost. De waterstof wordt vervolgens gedistribueerd naar de eindgebruikers: als *feedstock* en voor hoge temperatuur warmte in de industrie maar ook als lage termperatuur warmte voor huishoudens en zakelijke afnemers. Het bestaande gasdistributienet wordt hiervoor gebruikt.



Figuur 11. Diagram van de componenten in de energieketen 'elektriciteit', zoals die zich ontwikkelt in het toekomstbeeld 'Regie nationaal'.



Figuur 12. Diagram van de componenten in de energieketen 'waterstof', zoals die zich ontwikkelt in het toekomstbeeld 'Regie nationaal'.

Kenmerkende componenten

In Tabel 4 worden een aantal kenmerkende componenten weergegeven voor het toekomstbeeld 'Generieke sturing' met een indicatie van het benodigde aantal hiervan. Een uitgebreide beschrijving van deze componenten is opgenomen in bijlage 3.

Het scenario 'Regie nationaal' is elektriciteit de belangrijkste energiedrager. Deze wordt grootschalig opgewekt in windparken op land – goed voor 5 % van het landoppervlak – en zonneparken – goed voor 2 % van het grasland. Het grootste deel wordt in windparken op zee geproduceerd. Voor dit laatste is een oppervlak van ongeveer 13 % van de Noordzee benodigd.

Om vraag en aanbod van elektriciteit met elkaar in evenwicht te brengen, is opslag nodig. Deels gebeurt dit in accu's maar omdat dit onvoldoende capaciteit biedt, is omvorming in waterstof nodig. Deze conversie vindt plaats in elektrolysers.

Hiervoor is relatief veel oppervlak nodig, indicatief circa 50 km². Het realiseren van een dergelijke oppervlak op zee vraagt om kunstmatige eilanden (wat een dure optie vormt). Een alternatief is om de elektriciteit via stroomkabels aan land te brengen en de elektrolysers aan de kust te plaatsen. Ook hier is het onduidelijk waar de benodigde ruimte hiervoor gesitueerd kan worden.

Tabel 4. Overzicht van enkele technische componenten in het toekomstbeeld 'Regie nationaal'.

COMPONENT	EENHEIDSGROOTTE	AANTAL BENODIGD	LOKATIE	OPMERKING
Wind op land	3 MW_e	Circa 4.500 turbines.	Door heel Nederland.	Het ruimtebeslag is ca. 2.000 km² (dus ca. 5 % van het landoppervlak).
Wind op zee	8 MW_e	Circa 6.500 turbines.	Offshore.	Het ruimtebeslag is ca. 7.500 km2 (dus ca. 13 % van de Noorzee oppervlakte).
Zon PV (zonnepark)	5 MW_e	34 GW_e	Door heel Nederland.	Het ruimtebeslag is ca. 180 km² (dus ca. 2 % van het grasland).
Accu's (elektriciteits opslag)	100 MW_e	500 accusystemen.	Door heel Nederland.	Het ruimtebeslag is ca. 3 km².
Elektrolyser	100 – 1000 MW_e	50 – 500 installaties.	Aan de kust (bij aanlandingspunt elektriciteitskabels van offshore windparken).	Het ruimtebeslag is ca. 50 km² (vermoedelijk teveel om offshore te realiseren).
Waterstofopslag	0,5 PJ per caverne.	Circa 200 cavernes.	Zoutcavernes in Noorden en Oosten van het land.	Het is nog onduidelijk of waterstof ook in lege gasvelden kan worden opgeslagen.

6. Toekomstbeeld behorend bij het scenario 'Regie Regionaal'

Kenmerk van het scenario

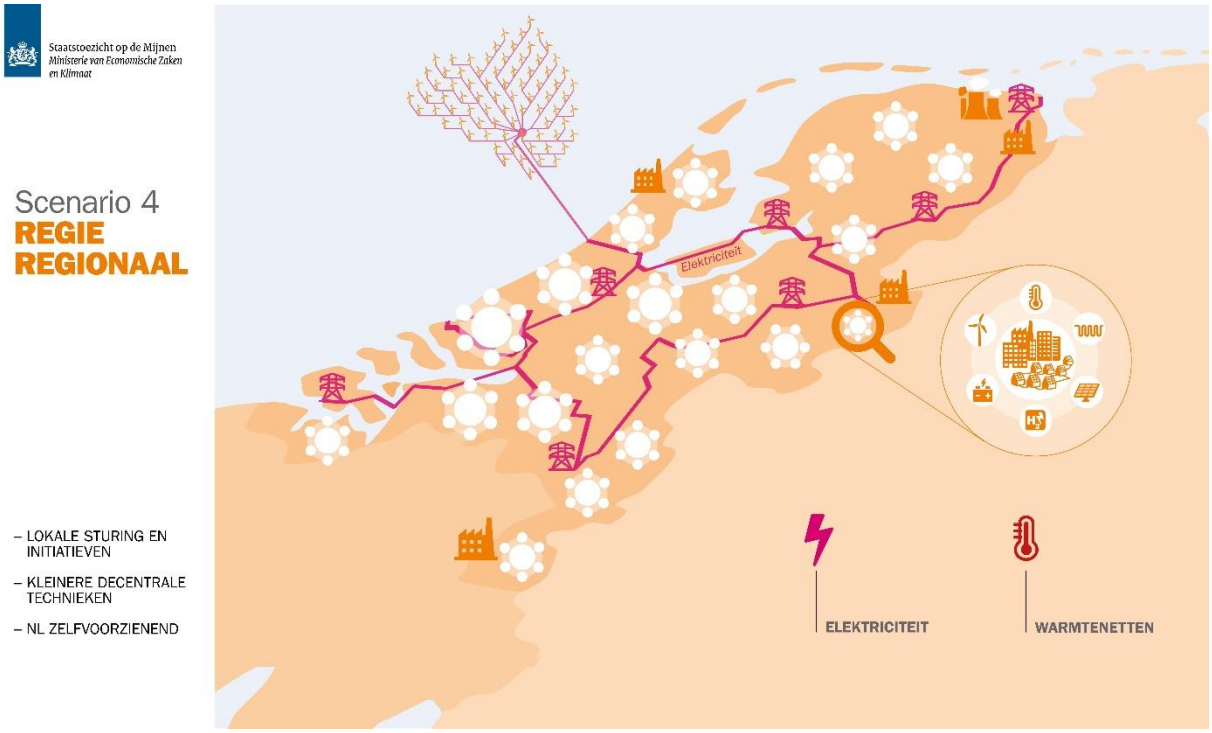
In dit scenario nemen provincies en gemeenten de regie. Zij sturen daarbij op zoveel mogelijk regionale oplossingen. Dat betekent dat veel energie voor de productie van elektriciteit en warmte uit lokale energiebronnen komt, zoals zon, wind, biomassa en geothermie. Grootschalige productie blijft overigens nodig, bijvoorbeeld in de vorm van windenergie op de Noordzee.

- ✓ Maximaal zon PV en wind op land
- ✓ Regionale opslag
- ✓ Circulaire industrie
- ✓ Vervoer: elektrisch
- ✓ Warmtenetten (geothermie), all electric

Door de aard van de regionale initiatieven zullen de energie-oplossingen in elke regio anders uitvallen. Waar mogelijk worden warmtenetten aangelegd om bronnen (geothermie, bodemwarmte) te verbinden met afnemers. Vanwege de focus op windenergie en zonne-energie is ook tijdelijke energieopslag nodig. Ook hiervoor worden lokaal opties gezocht. Voor een deel vindt deze opslag plaats in de vorm van waterstof. Ook in dit scenario wordt veel op zee geproduceerde elektriciteit in waterstof omgezet, die vervolgens in de industrie wordt ingezet.

Visualisatie van het toekomstbeeld

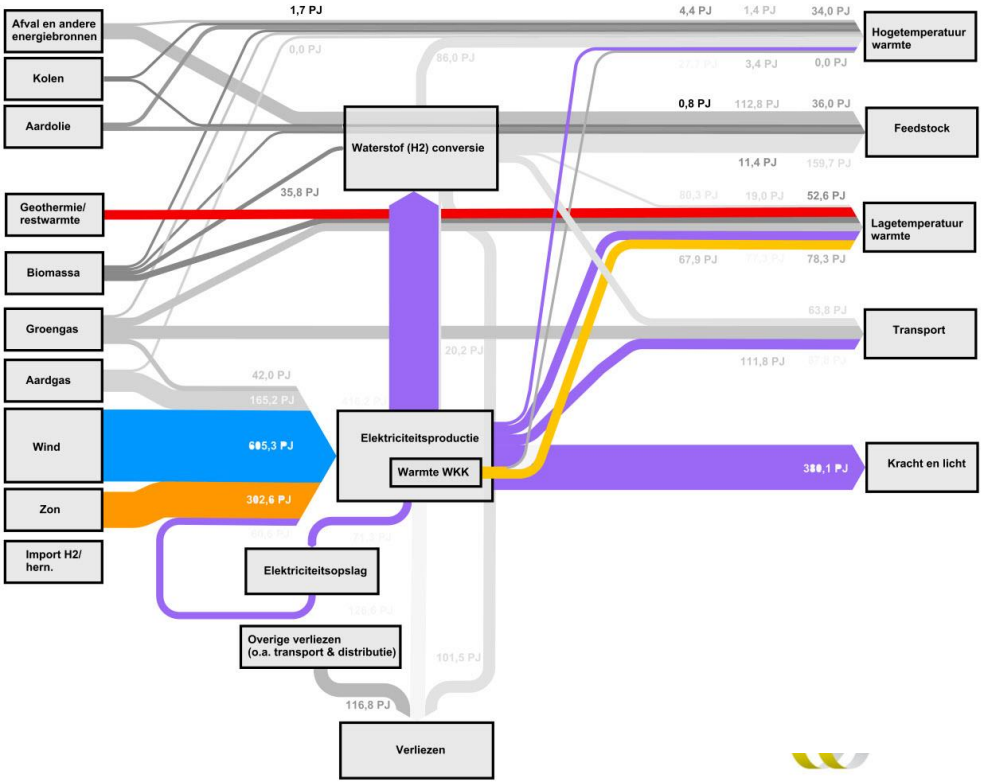
Het scenario 'Regie regionaal' is gevisualiseerd in Figuur 13. Hierin is weergegeven dat er voor elke regio een verschillende mix zal worden gevonden, waarin lokale elektricteitsproductie, waterstof als energiedrager, opslag (elektriciteit in accu's, warmte in buffers en eventueel ook waterstof) en lokale warmtebronnen elk voorzien in een deel van de energievraag. De omvang van deze regio's is overigens nog niet duidelijk. Mogelijk zullen er 20 tot 100 van zulke regio's in Nederland kunnen ontstaan.



Figuur 13. Visualisatie van het scenario 'Regie regionaal (bron: ECN part of TNO in opdracht van SodM, op basis van de scenario's van CE Delft).

Kenmerkende energiedragers

De kenmerkende energiedragers in het scenario 'Regie regionaal' zijn elektriciteit (maar anders dan in het scenario 'Regie nationaal') en warmtenetten. De bijbehorende energiestromen zijn in het Sankey-diagram van Figuur 14 uitgelicht.

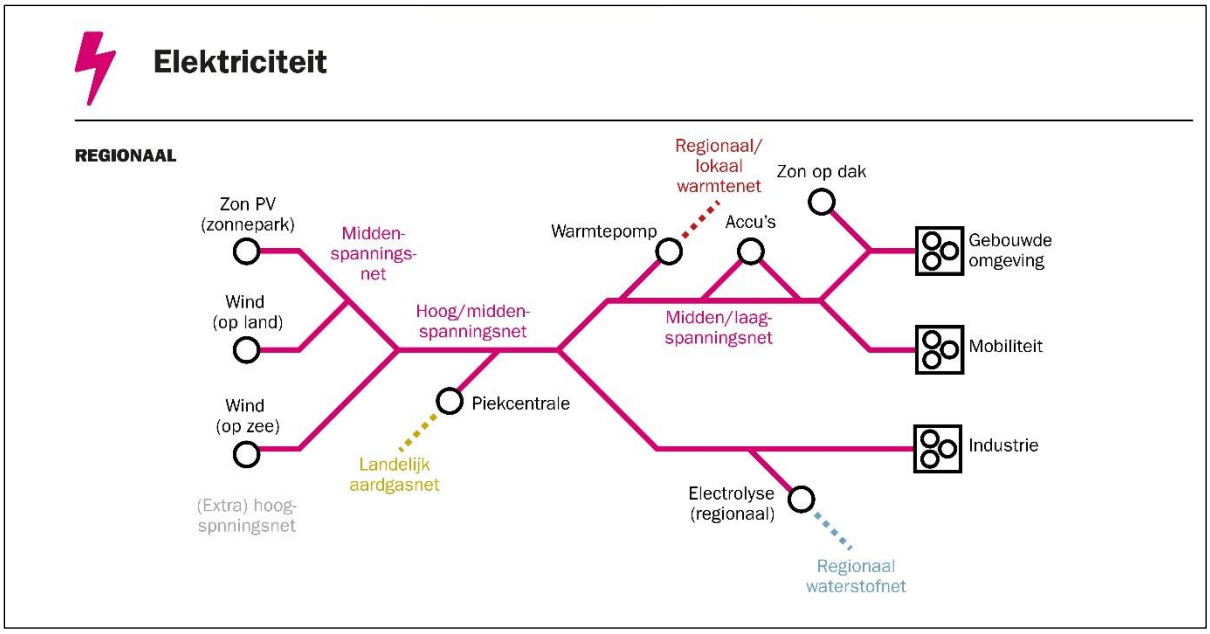


Figuur 14. Sankey-diagram van de dominante energiestromen in het scenario 'Regie regionaal' (bron: CE Delft).

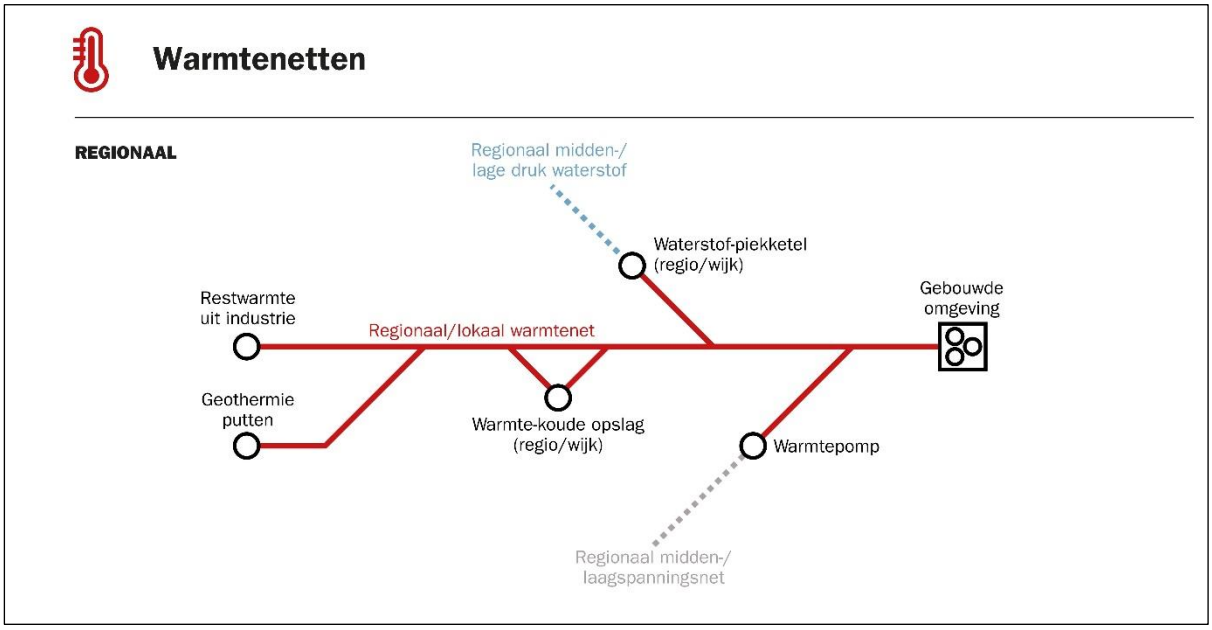
Dominante energieketens

De energieketen van elektriciteit is weergegeven in Figuur 15. Elektriciteit wordt deels grootschalig in offshore windparken geproduceerd maar voor een heel groot deel ook lokaal, via kleine energiesystemen zoals zonnepanelen en onshore windparken. Elektriciteit wordt ook gebruikt voor de productie van lage temperatuurwarmte door de inzet van (elektrische) warmtepompen. Verder wordt waterstof als *feedstock* voor de industrie gebruikt, waarvoor conversie via elektrolyse nodig is. Doordat elektriciteit veel meer lokaal wordt geproduceerd dan in het scenario 'Regie nationaal' is er minder behoefte aan een heel zwaar elektriciteitstransportnet.

In Figuur 16 wordt de energieketen voor warmte(netten) weergegeven. Warmtebronnen zijn lokale restwarmte uit de industrie en geothermie. Via warmtenetten wordt dit naar de afnemers gebracht. Vanwege de afstandsbeperkingen bij het transport van warmte hebben zulke warmtenetten een regionaal en lokaal karakter. Verder wordt er warmte opgeslagen in ondergrondse warmte/koudeopslag (om de seizoenfluctuaties op te vangen). Ten slotte zijn piekketels op waterstof beschikbaar om in de piekvraag naar warmte te voorzien.



Figuur 15. Diagram van de componenten in de energieketen 'elektriciteit', zoals die zich ontwikkelt in het toekomstbeeld 'Regie regionaal'.



Figuur 16. Diagram van de componenten in de energieketen 'warmtenetten', zoals die zich ontwikkelt in het toekomstbeeld 'Regie regionaal'.

Kenmerkende componenten

In Tabel 5 worden een aantal kenmerkende componenten weergegeven voor het toekomstbeeld 'Generieke sturing' met een indicatie van het benodigde aantal hiervan. Een uitgebreide beschrijving van deze componenten in opgenomen in bijlage 3.

In het scenario 'Regie regionaal' zet elke regio in op het realiseren van een eigen energiemix die aansluit bij de lokale mogelijkheden en behoeften. Ook in dit scenario vormt elektriciteit de belangrijkste energiedrager. Deze wordt zoveel mogelijk lokaal geproduceerd, op de daken van gebouwen (100 % van het dakoppervlak wordt benut), door windparken en door middel van zonneweides.

Waar mogelijk worden warmtenetten aangelegd voor de levering van lage temperatuur warmte. De warmtelevering geschiedt daarmee met warmtepompen: deels in de vorm van kleine systemen bij afnemers, deels in de vorm van grote

industriële installaties (die invoeden op het warmtenet). Van deze laatste zijn er dan 400 tot 1000 nodig, die (vanwege de aard van de installaties) vooral op industrieterreinen geplaatst worden.

Tabel 5. Overzicht van enkele technische componenten in het toekomstbeeld 'Regie regionaal'.

COMPONENT	EENHEIDSGROOTTE	AANTAL BENODIGD	LOKATIE	OPMERKING
Zon PV (zon op dak)	3 kW_e	Circa 30 miljoen eenheden (84 GW_e).	Door heel Nederland.	400 km^2 (100 % van dakoppervlakte).
Zon PV (zonnepark)	5 MW_e	84 GW_e	Door heel Nederland.	Het ruimtebeslag is ca. 500 km^2 (dus ca. 5 % van het grasland).
Wind op land	3 MW_e	Circa 6.300 turbines.	Door heel Nederland.	Het ruimtebeslag is ca. 2.400 km^2 (dus ca. 6 % van het landoppervlak).
Warmtepomp (grootschalig)	10-25 MW_{th}	Voor 10 GW_{th} circa 400-1000 (industriële) warmtepompen nodig.	Door heel Nederland; plaatsing in industriële zones.	Aanvullend kleinschalige warmtepompen nodig.
Warmte/koude-opslag	4 PJ warmtelevering (en 2 PJ koudelevering) per eenheid.	Circa 2.000.	Door heel Nederland, met accent op stedelijke gebieden.	

Bijlage 1. De scenario's uit de studie *Net voor de Toekomst*

De vier in dit rapport geschetste toekomstbeelden zijn gebaseerd op de de vier scenario's uit de studie *Net voor de Toekomst* van Netbeheer Nederland en CE Delft. Om een vollediger beeld te geven van deze vier scenario's bevat deze bijlage een nadere beschrijving hiervan en toelichting hierop.

De beschrijving van de scenario's hieronder gebeurt op hoofdlijnen. Hierbij wordt steeds eerst het in het scenario veronderstelde maatschappijbeeld geschetst. Vervolgens wordt het daarbij behorende energiesysteem beschrteven met de nieuwe en veranderde elementen daarin. Ten slotte wordt gemeld hoe dit doorwerkt op de infrastructuren.

De studie Net voor de Toekomst

De studie *Net voor de Toekomst* is in 2017 uitgevoerd door een werkgroep van Netbeheer Nederland, ondersteund door CE Delft, met als doel om te laten zien hoe de opgave voor Nederland en voor de netbeheerders eruit kan zien in een viertal zeer verschillende maar wel voorstelbare toekomstbeelden. Tevens maakt de studie inzichtelijk op welke wijze een klimaatneutraal energiesysteem samenhangt met fundamentele maatschappelijke en politieke invullingskeuzes, alsmede met de keuzes die de netbeheerders maken bij het aanleggen van infrastructuur.

Voor meer informatie over de studie *Net voor de Toekomst*, de conclusies die Netbeheer Nederland daaraan heeft verbonden en de resultaten van de doorrekening die is uitgevoerd, wordt verwezen naar de onderstaande websites waar het hoofdrapport van Netbeheer Nederland en het achtergrondrapport van CE Delft zijn te downloaden:

- ✓ https://www.ce.nl/publicaties/2030/net-voor-de-toekomst.
- ✓ https://www.netbeheernederland.nl/nieuws/resultaten-onderzoek-net-voor-de-toekomst-1204.

Scenario 'Generieke sturing'

Maatschappij en besluitvorming in scenario 'Generieke sturing'

In het scenario 'Generieke sturing' wordt verondersteld dat de Nederlandse overheden stevig op CO_2-reductie sturen, maar alleen via generieke instrumenten, en niet via inhoudelijke keuzes voor specifieke oplossingen. De ingezette instrumenten zijn bijvoorbeeld een algemene emissieheffing of een CO_2-taks. Burgers en bedrijven accepteren niet dat de overheid bepaalde energie-oplossingen stimuleert (of remt), dus alle technieken krijgen een kans. Om de investeringen die burgers en bedrijven doen in klimaatneutrale technieken veilig te stellen, liggen de milieuheffingen vast en is het beleid voorspelbaar. De heffingen zijn in de aanvang nog betrekkelijk laag, maar stijgen in de loop naar 2050 snel, tot vele honderden euro's per ton CO_2.

Het tempo van de veranderingen ligt relatief laag omdat burgers en bedrijven de transitie vormgegeven via een groot aantal stapsgewijze (her)investeringen, waarbij de toenemende klimaatkosten er geleidelijk voor zorgen dat steeds meer voor duurzame energie-oplossingen wordt gekozen. Oplossingen met een onrendabele top, ook na CO_2-beprijzing, vallen daarmee af.

Burgers en bedrijven hebben geen grote problemen met CCS, waardoor dit een grote rol in de bestaande industrie kan krijgen. Industriële vernieuwing is beperkt omdat Nederland geen strategische vestigingslocatie is. De overblijvende industrie past – gestuurd door emissieheffingen – de best beschikbare technologie toe, waardoor de energie-efficiëntie in de bestaande industrietakken met 20 tot 30 % is verbeterd.

Het energiesysteem in scenario 'Generieke sturing'

Het energiesysteem is voor een groot deel CO_2-neutraal. Dit komt via kleinere stapjes zonder grote, schoksgewijze veranderingen tot stand. Het energiesysteem bestaat uit een mix van decentrale, nationale, en internationale energiebronnen. Het lijkt in bepaalde opzichten op een doorgeëvolueerde kopie van huidig energiesysteem, waarbij installaties bij huishoudens en bedrijven klimaatneutraal en zuiniger zijn.

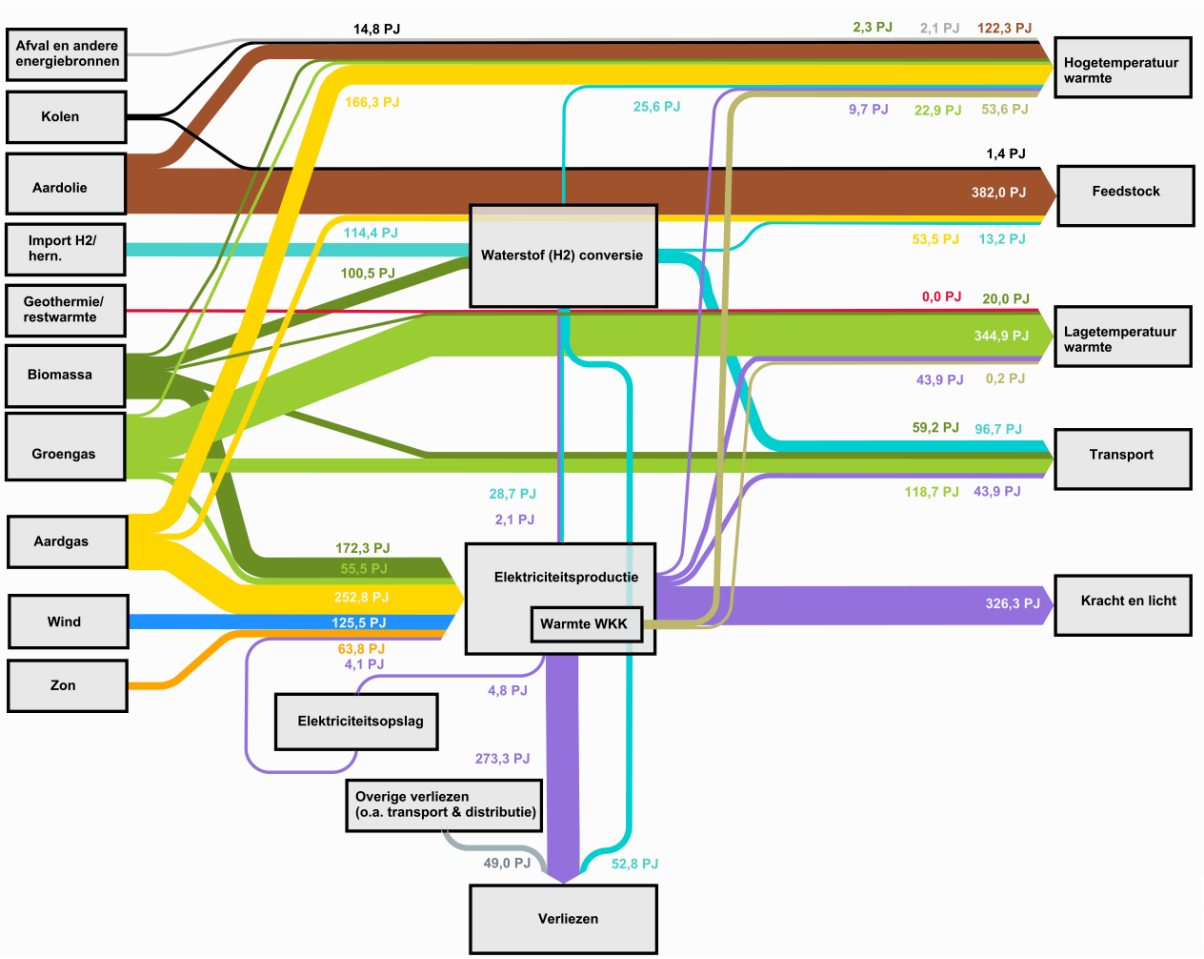
De volgende ontwikkelingen kunnen worden geïdentificeerd:

- ✓ Bij **kracht en licht** daalt de vraag door efficiëntere apparaten en zuiniger processen. Daarnaast is er extra elektriciteitsvraag in de warmtevoorziening en voor elektrisch transport.
- ✓ Voor de **lage temperatuur warmtevoorziening** kan Nederland energiebronnen importeren, bijvoorbeeld in de vorm van vaste biomassa voor pellet-ketels, of in de vorm van gasvormige dragers (**groen gas**). De beschikbaarheid van

biomassa en groen gas, tegen relatief beperkte kosten, zorgt ervoordat vooral voor individuele oplossingen wordt gekozen, zoals de hybride warmtepomp op groen gas, de HR-ketel op groen gas, of de pelletketel op vaste biomassa. Warmtenetten komen in dit scenario niet voor (omdat die geen keuzevrijheid inhouden).

- ✓ De **industrie** maakt voor een belangrijk deel gebruik van 'conventionele' fossiele bronnen met CCS. De petrochemische industrie blijft voor een belangrijk deel bestaan, en ook het deel van de raffinaderijen die zijn geïntegreerd met een petrochemisch cluster.
- ✓ Het **transport** van goederen gaat voor de 50 % op waterstof (door de inzet van brandstofcellen), voor 25 % op groengas en voor 25 % op vloeibare biobrandstoffen. Het personenvervoer gaat voor 50 % elektrisch worden (batterij-elektrische aandrijving), voor 25 % op groengas en voor 25 % op waterstof.

Figuur 17 schetst de energiestromen naar de verschillende onderdelen van het energiesysteem. In totaal is de energievraag in 2050 ongeveer 25 % lager dan in 2016.



Figuur 17. Energiestromen in het scenario 'Generieke sturing'.

Fluctuerende energiebronnen, zoals zon en wind, leveren een bijdrage van circa 8 % aan de totale energiemix, slechts weinig meer dan het huidige niveau. De rest komt van geïmporteerde hernieuwbare (**biomassa** en **groen gas**) en fossiele bronnen, waaronder ook **aardolie** voor de petrochemische industrie. De totale jaarlijkse vraag naar elektriciteit is in essentie dezelfde als de huidige vraag. In de opwekkingsmix voor elektriciteit nemen regelbare centrales een dominante plaats in. **Aardgas** in combinatie met CCS is belangrijk. Waterstof (geïmporteerd en afkomstig uit vergassing van biomassa) vormt een belangrijke energiedrager voor transport. Elektrolyse heeft een gering aandeel.

De totale hoeveelheid biogene bronnen in dit scenario bedraagt 900 PJ, waarmee Nederland een mogelijk onevenredig groot beslag legt op de wereldwijde duurzame beschikbaarheid hiervan.

De energie-infrastructuur in scenario 'Generieke sturing'

Lokaal en regionaal wordt beperkt elektriciteit geproduceerd, maar door de onzekerheid wat burgers en bedrijven op basis van de CO_2-prikkel daadwerkelijk gaan doen, moeten netbeheerders in aanloop naar 2050 rekening houden met veel eigen opwekking op lokaal niveau. Daarvoor is verzwaring van de **elektriciteitsnetten** op alle niveaus nodig (voor laagspanningsnetten en middenspanningsnetten een verzwaring met een factor twee). Vanwege de gedeeltelijke elektrificatie van het personenvervoer is ook een net van laadpunten ontstaan.

Het regionale en landelijke gasnet zijn geschikt gemaakt voor zowel **groengas** als **waterstof**, omdat het zeer goed mogelijk is dat er veel waterstof wordt geïmporteerd. In woonwijken wordt groengas gedistribueerd via het bestaande gasnet. Warmtenetten met lokale warmtebronnen, zoals geothermie en restwarmte, komen slechts sporadisch voor – alleen als ze duidelijk goedkoper zijn dan verwarmen met groengas en overduidelijke voordelen bieden voor de deelnemers.

Vanwege het organische maar ongericht gestuurde verloop van het transitieproces in dit scenario, moeten netbeheerders in aanloop naar 2050 in de infrastructuur rekening houden met verschillende mogelijke uitkomsten. Pas over een jaar of 15 wordt duidelijk in welke richting de transitie gaat. Een deel van de netten heeft dan mogelijk meer capaciteit dan nodig is, maar welk deel is niet vooraf te voorspellen.

Kernpunten van het scenario 'Generieke sturing'

- ✓ Duidelijke en sterke generieke instrumenten die sturen op CO_2-reductie.
- ✓ De transitie richting 2050 verloopt relatief langzaam; er is onzekerheid dat de CO_2-ambities op tijd worden bereikt.
- ✓ Beperkte aanpassing van het aardgasnet tot netten voor transport en distributie van waterstof en biosyngas en een grote rol voor groen gas.
- ✓ CCS is onderdeel van de oplossing.
- ✓ De variabele kosten van het totale energiesysteem representeren een groot aandeel in de totale kosten.

Scenario 'Regie internationaal'

Maatschappij en besluitvorming in scenario 'Regie internationaal'

Het scenario 'Regie internationaal' veronderstelt Nederland in 2050 als een welvarend, sterk internationaal (mondiaal) georiënteerd land, ook op het gebied van de energievoorziening. Nederland wil geen CO_2 uitstoten en wil aan haar internationale verplichtingen voldoen. Burgers accepteren de lasten echter niet die het met zich meebrengt om dit binnen het bescheiden grondgebied van Nederland voor elkaar te krijgen. Nederland heeft daardoor een hoge euro-waardering voor buitenlandse hernieuwbare energie, waardoor er significante energie-importen plaatsvinden. De te importeren energiedragers zijn grotendeels hernieuwbaar, niet alleen biomassa maar bijvoorbeeld ook waterstof en afgeleide producten zoals ammoniak en hernieuwbare koolwaterstoffen.

De Nederlandse economie is innovatief en de handelsbalans gezond. Bedrijven hanteren geheel nieuwe productie-processen, passend bij de te importeren hernieuwbare energiestromen. Door de omvangrijke import van groene dragers ligt er geen hoge nadruk op het sluiten van koolstofkringlopen; groene en biomassa-grondstoffen zijn de basis voor de chemische industrie. De petrochemie en raffinagecomplexen zijn door de overschakeling op biomassa sterk veranderd.

Het energiesysteem in scenario 'Regie internationaal'

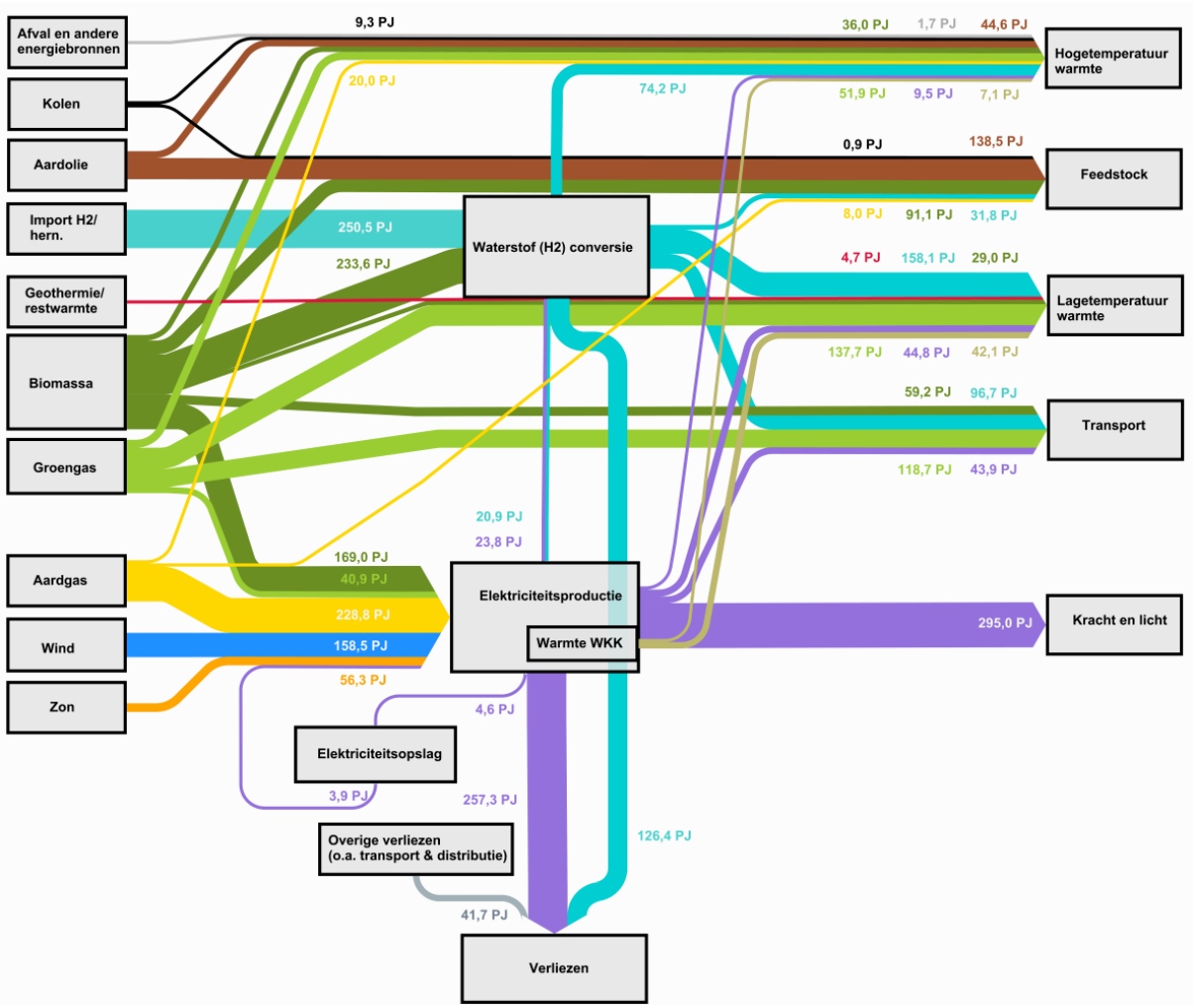
Het beeld van Nederland verandert: er is nog geen enorme toenames van windturbines op land of grote arealen met zonneweides, maar al wel veel zon-PV op daken. Installaties bij huishoudens en bedrijven zijn wel vervangen door klimaatneutrale, zuinige installaties. De gasinstallaties bij de huishoudens en bedrijven zijn geschikt voor waterstof of groengas, afhankelijk van de drager die in de wijk of stad gekozen is.

De volgende ontwikkelingen kunnen worden geïdentificeerd:

- ✓ Bij **kracht en licht** daalt de energievraag circa 25 % door efficiëntere apparaten en zuiniger processen. Daarnaast is er nog elektriciteitsvraag voor elektrolyse, elektrificatie in de warmtevoorziening en voor elektrisch transport.
- ✓ Voor de **lage temperatuur warmtevoorziening** worden veel klimaatneutrale energiebronnen geïmporteerd. Het kan gaan om vaste biomassa of om gasvormige dragers (groen gas en waterstof). De ruimere beschikbaarheid van biomassa en groen gas, tegen relatief lage kosten in vergelijking tot wanneer alleen Nederlandse bronnen gebruikt zouden kunnen worden, werkt sterk door op het soort oplossingen voor de lage temperatuur warmtevoorziening. Collectieve warmtesystemen op basis van restwarmte kunnen minder goed concurreren. De hybride warmtepomp wordt veel gebruikt, en ook oplossingen zonder warmtepomp, zoals de HR-ketel op waterstof.
- ✓ Het aandeel biogrondstoffen in de **industrie** bedraagt ongeveer 50 %. Naast biomassa speelt ook elektrificatie van de industriële warmtevraag een rol en worden waterstof en biosyngas als energiebron gebruikt. Fossiele energie wordt nog gebruikt maar beperkt; CO_2-emissies worden met CCS afgevangen indien een de emissie op een bepaalde locatie voldoende omvang daarvoor heeft.
- ✓ Het **transport** van goederen gaat voor de 50 % op waterstof (brandstofcel), voor 25 % op groengas en voor 25 % op vloeibare biobrandstoffen. Personenvervoer gaat voor 50 % elektrisch (batterij-elektrische aandrijving), voor 25 % op groengas en voor 25 % op waterstof.

Figuur 18 schetst de energiestromen naar de verschillende onderdelen van het energiesysteem. In totaal is de energievraag in 2050 ongeveer 40 % lager dan in 2016. Nederlandse fluctuerende energiebronnen, zoals zon en wind, leveren een bijdrage van ongeveer 10 % aan de totale energiemix. De rest komt van energiebronnen die voor het overgrote gedeelte worden geïmporteerd, zowel hernieuwbaar (biomassa en groen/hernieuwbaar gas) als fossiel (aardgas met CCS). In de opwekkingsmix voor elektriciteit zien we regelbare centrales voor de leveringszekerheid zorgen. Daardoor is er geen behoefte aan accu-elektriciteitsopslag of andere flexibiliteitsmaatregelen.

De totale hoeveelheid biogene bronnen in dit scenario bedraagt 900 PJ, waarmee Nederland een mogelijk onevenredig groot beslag legt op de wereldwijde duurzame beschikbaarheid hiervan. Waterstof (zowel geïmporteerd als afkomstig uit biomassavergassing) is een belangrijke energiedrager; elektrolyse in Nederland is niet belangrijk.



Figuur 18. Energiestromen in het scenario 'Regie internationaal'.

De energie-infrastructuur in scenario 'Regie internationaal'

Elektriciteit wordt lokaal en regionaal slechts in beperkte mate geproduceerd; de transporten kunnen via het huidige net worden geaccommodeerd. Met het terugregelen van centrales en flexibiliteitsmaatregelen in de vraag kunnen de beperkte hoeveelheden zon en wind goed worden ingepast. De totale jaarlijkse vraag naar elektriciteit is niet veel anders dan de huidige. De **elektriciteitsnetten** behoeven wel aanpassing, maar verzwaring is beperkt. De laadinfrastructuur voor elektrische auto's is in dit scenario nog relatief beperkt van omvang.

Het regionale en landelijke **gasnet** zijn geschikt gemaakt voor **waterstof** dat in een deel van de woonwijken en in de transportsector worden gebruikt. In een ander deel van de woonwijken wordt het aardgasnet gebruikt voor **groengas**. Warmtenetten gevoed door lokale warmtebronnen, zowel geothermie als restwarmte van bedrijven en de industrie, kennen een bescheiden aandeel.

Vanuit het oogpunt van voorzieningszekerheid is er in dit maatschappijbeeld wel opslag van geïmporteerde gasvormige dragers verondersteld. Ook in de (zee-)havens zullen er talrijke op- en overslagmogelijkheden voor biomassa nodig blijken.

Kernpunten van het scenario 'Regie internationaal'

- ✓ Internationale markt voor duurzame energiegrondstoffen,
- ✓ Gedeeltelijke aanpassing van het aardgasnet tot netten voor transport en distributie van waterstof en bio-syngas, naast groen gas,
- ✓ Elektrificatie in vervoer, industrie en lage temperatuur warmte (hybride warmtepompen),
- ✓ Verzwaarde elektriciteitsnetten t.b.v. elektrificatie (o.a. van de industrie),
- ✓ Groot aandeel variabele kosten in het totale energiesysteem.

Scenario 'Regie nationaal'

Maatschappij en besluitvorming in scenario 'Regie nationaal'

In het scenario 'Regie nationaal' staan burgers en bedrijven de rijksoverheid toe om de regie te nemen. Het Rijk organiseert grote projecten gericht op de energie-autonomie voor Nederland. Hieronder valt ook een zeer omvangrijke uitrol van wind op zee, inclusief energie-eilanden in de Noordzee of andere grote projecten om de inpassing van wind op zee te verbeteren. De snelle uitrol van wind op zee biedt in dit maatschappijbeeld tevens perspectief op een grote bijdrage van de Noordzeeregio aan de decarbonisatie van het Europese energiesysteem. Grote projecten met hoge aanloopkosten en financiële risico's komen tot stand, ook als ze geruime tijd verlieslatend zijn.

Ook decentrale overheden dragen bij. Regio's maken actief keuzes, bijvoorbeeld in het tot stand brengen van grote warmtenetten en in het al dan niet realiseren van hernieuwbare opwek om hun gebied energieneutraal te maken. Met innovatieve energieoplossingen is een sterk circulaire industrie met veel recycling opgezet, omdat de energiedragers van nu niet meer mogelijk zijn. Bedrijven nemen meer risico's om deze industriële ketens vorm te geven. Overheden dekken bepaalde risico's af met subsidies, innovatiepremies, gerichte juridische sturing of andere instrumenten.

Het energiesysteem in scenario 'Regie nationaal'

Het beeld van Nederland is veranderd: er zijn veel grote windturbines zichtbaar en op veel daken prijkt zon-PV. De productie van elektriciteit en waterstof vindt vooral nationaal plaats, met wind op zee als dominante energiebron. Alle installaties bij huishoudens en bedrijven zijn vervangen door klimaatneutrale, zuinige installaties. In woonwijken zijn de elektriciteitsnetten geschikt gemaakt voor veel elektrische toepassingen, zoals elektrisch vervoer, elektrische warmtepompen en zon-PV. Een fijnmazig net van laadpunten voor het personenvervoer functioneert deels als buffersysteem.

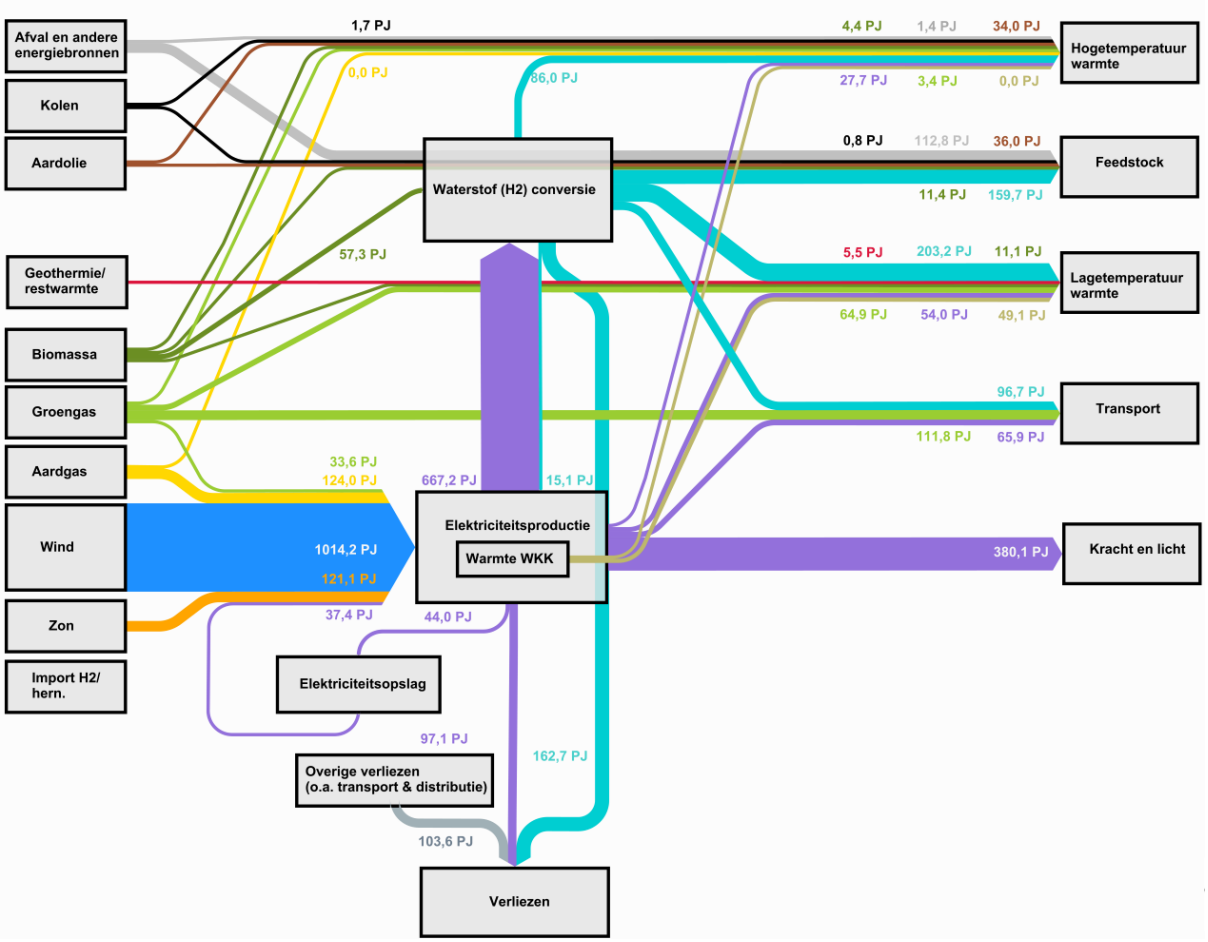
De volgende ontwikkelingen kunnen worden geïdentificeerd:

- ✓ Bij **kracht en licht** worden efficiëntere apparaten gebruikt (wat tot een besparing van 25 % leidt), maar daar staat tegenover dat bedrijven en de industrie meer elektriciteit vragen.
- ✓ Voor de **lage temperatuur warmtevoorziening** worden de bronnen gebruikt die in Nederland beschikbaar zijn. Oplossingen met **waterstof** blijken populair: grootschalig en centraal geproduceerd en gebufferd waterstof wordt in onder andere de gebouwde omgeving gebruikt voor zowel collectieve als individuele oplossingen (**hybride warmtepompen**). All-electric-aansluitingen komen minder vaak voor vanwege de relatief hogere kosten. Het aandeel warmtenetten is in dit scenario gering vanwege de lagere kosten van individuele oplossingen met hernieuwbaar gas.
- ✓ De circulaire **industrie** combineert recycling met het gebruik van hernieuwbare waterstof en de productie van kunststof uit methanol. Waterstof wordt in Nederland geproduceerd uit windenergie en zonne-energie, waarvoor grootschalige elektrolyse en conversiecapaciteit nodig is.
- ✓ Het **transport** van goederen gaat deels op groengas (verbrandingsmotor) en deels op waterstof (brandstofcel-elektrische aandrijving). Personenvervoer gaat voor 75 % batterij-elektrisch en voor 25 % op waterstof.

Figuur 19 schetst de energiestromen naar de verschillende onderdelen van het energiesysteem. In totaal is de energievraag in 2050 ongeveer 40% lager dan in 2016. Elektriciteit wordt als energiedrager veel belangrijker dan nu het geval is, voor alle energiefuncties. In totaal gaat het om circa 1.200 PJ elektriciteit en circa 500 PJ voor warmte, transport, kracht & licht. Daarnaast wordt circa 700 PJ elektriciteit omgezet naar waterstof.

In dit scenario is Nederland energie-zelfvoorzienend. Een grote hoeveelheid aan fluctuerende energiebronnen, zoals zon-PV, wind op zee en wind op land, vormen de basis van het energiesysteem. Opgesteld staan 53 GW wind op zee, 34 GW zon-PV en 14 GW wind op land (dus voor 80% centrale bronnen). Er verschijnen grote clusters van windparken in alle delen van de Noordzee, inclusief de Doggersbank. De opgave voor wind op land is ook extreem groot: meer dan het dubbele van de huidige opgave. Voor zon-PV is benutting nodig van een groot deel van alle geschikte dakoppervlakken, inclusief utiliteitsbouw. Daarnaast verschijnen er ook zonneweides in het landschap.

Om de balans tussen vraag en aanbod te bewaken en ervoor te zorgen dat er ook energie is op momenten dat de zon niet schijnt en de wind niet waait, is ook een grote hoeveelheid aan regelbare vraag en opslag nodig. Dat gebeurt onder andere door de inzet van waterstof. Waterstof op basis van elektrolyse is daarmee een belangrijke nieuwe energiedrager. Conversie naar waterstof zal voor offshore-wind grotendeels aan de kust plaatsvinden, of eventueel op zogenaamde power-hubs, kleine eilanden op de Noordzee nabij clusters van windparken. Bovendien heeft elk huishouden met zon-PV een batterij van circa 4 kW (8 kWh) voor korte-termijn-opslag van elektriciteit uit zon en wind.



Figuur 19. Energiestromen in het scenario 'Regie nationaal'.

De energie-infrastructuur in scenario 'Regie nationaal'

De seizoensopslag in de vorm van waterstof kan in de vorm van zoutcavernes in het noorden en oosten van Nederland worden gesitueerd. Resterende waterstofelektrolyse vraagt vooral capaciteit op de hoogspanningsnetten en middenspanningsnetten. Een verzwaring van de **elektriciteitsnetten** is dan ook op alle niveaus nodig: op laagspanning en middenspanning met een factor 3, op hoogspanning met een factor 2. Daarnaast is behoefte aan extra offshore transportcapaciteit voor 53 GW, om he transport van windparken op zee naar de kust en power-hubs te faciliteren. Voor de netverzwaring is veel ruimte nodig voor transformatoren, extra kabels en hoogspanningslijnen.

Het gastransportnet en het **gasnet** in woonwijken is geschikt gemaakt voor de distributie van **waterstof**. Voor een klein deel worden deze vervangen door warmtenetten op basis van geothermie en restwarmte of door all electric-oplossingen. Ook de gasinstallaties bij huishoudens en bedrijven zijn geschikt gemaakt voor waterstof. De industrie gebruikt waterstof voornamelijk als feedstock.

Kernpunten van het scenario 'Regie nationaal'

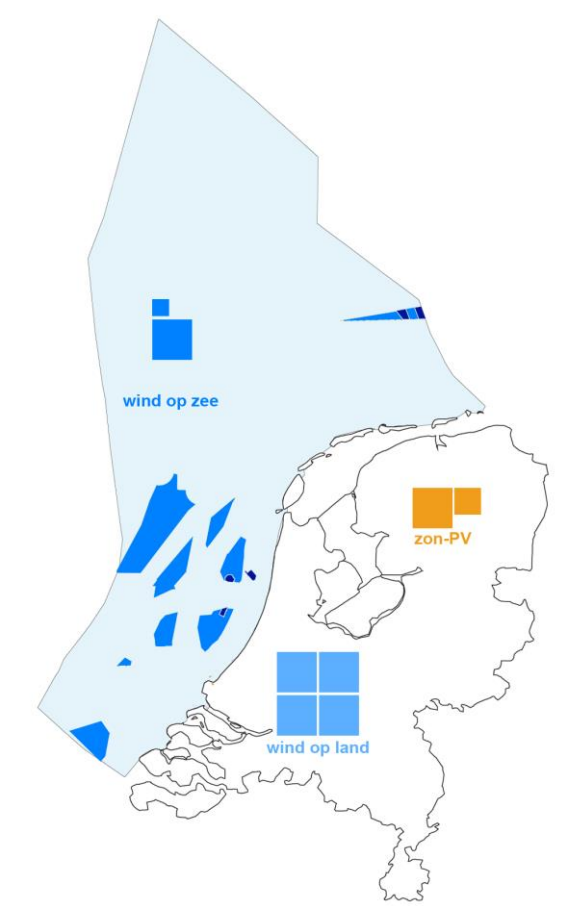
- ✓ Grote investeringsopgave in wind op zee en de bijbehorende infrastructuur en opslagsystemen.
- ✓ Elektrificatie van grote delen van de energievraag.
- ✓ Zwaardere elektriciteitsnetten op alle spanningsniveaus.
- ✓ Gedeeltelijke aanpassing van het aardgasnet voor transport en distributie van waterstof.
- ✓ Veel conversie- en opslagsystemen: waterstofelektrolyse, gasbuffers.

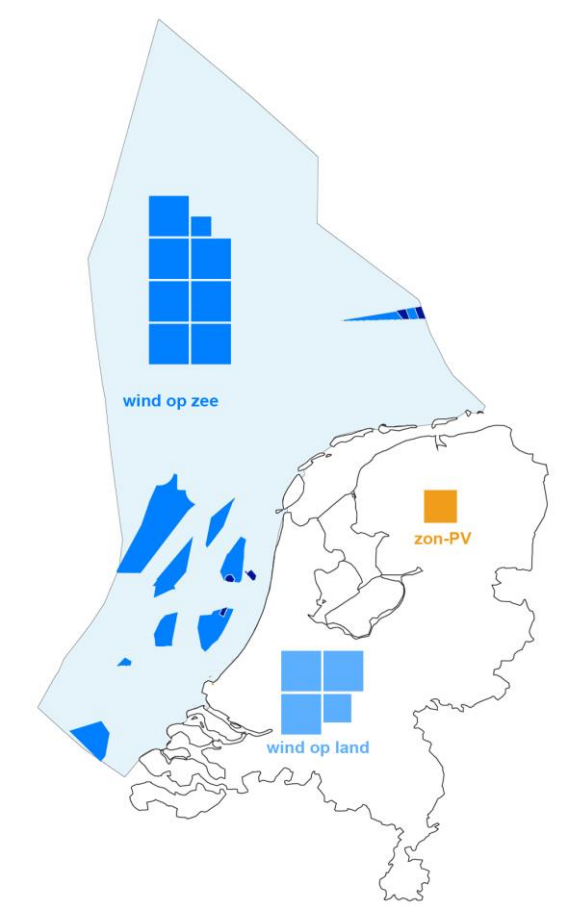
Ruimtebeslag van hernieuwbare opwekking in zelfvoorzienende scenario's

Energie-zelfvoorziening op de schaal van Nederland is, gegeven de omvang van het gebruik van energie, een uitdaging die ook nogal wat vergt van landschap en ruimte. Voor de scenario's 'regie regionaal' en 'regie nationaal', is het ruimtebeslag van de windparken en zonnedaken en zonneweides gevisualiseerd in de onderstaande figuren (links 'regie regionaal', rechts 'regie nationaal'). Ieder grootformaat blokje stelt een gebied van 24*24 km (± 600 km²) voor.

Conclusies:

- ✓ Zon-PV kan niet met uitsluitend de daken van gebouwen worden gerealiseerd. Circa de helft moet met veldopstellingen (zonneweiden) worden bereikt.
- ✓ Wind op land betreft weliswaar een meervoudig landgebruik, maar bij de opgestelde hoeveelheden zijn windmolens alom aanwezig in de landschappen, eigenlijk ook op alle plaatsen waar ze momenteel nog niet te zien zijn.
- ✓ De beschikbare zoekgebieden voor wind op zee worden allemaal gebruikt, daarnaast moeten er aanvullende locaties worden gezocht en benut, bijvoorbeeld de Doggersbank.





Scenario 'Regie regionaal'

De maatschappij en besluitvorming in scenario 'Regie regionaal'

In het scenario 'Regie regionaal' hebben provincies en gemeenten veel regie en sturen ze sterk op decentrale energie opwekking en -gebruik. De energietransitie heeft veel landschappelijke en ruimtelijke impact, dus sturing is nodig om dit goed in te passen. De rijksoverheid laat dit aan decentrale overheden over, vanuit een strikt beginsel van subsidiariteit. Het Rijk stuurt alleen op nationaal niveau als dit meerwaarde biedt.

De regionale overheden nemen veel initiatieven om het regionale potentieel maximaal te benutten. Burgers ontplooien ook veel initiatief en helpen elkaar. Decentrale overheden faciliteren hen door te bemiddelen en oplossingen aan te dragen als er conflicterende belangen zijn. Burgers, bedrijven en decentrale overheden vervullen een actieve rol in het vormgeven van energieoplossingen, bijvoorbeeld collectieve en individuele zon-PV oplossingen, kleinschalige collectieve warmtenetten, wind op land. Omdat burgers betrokken zijn bij de energievoorziening, is er sneller draagvlak voor nieuwe technieken en decentrale oplossingen. Een sterk circulaire industrie bouwt voort op het besef dat energie schaars is.

Het energiesysteem in scenario 'Regie regionaal'

Het beeld van Nederland is drastisch veranderd: er zijn veel grote windturbines, alle daken worden maximaal volgelegd met zonnepanelen en er zijn veel zonneweides en opslagsystemen. Alle installaties bij huishoudens en bedrijven zijn vervangen door klimaatneutrale, zuinige installaties. Bovendien heeft elk huishouden met zonnepanelen ook een batterij van circa 8 kWh voor kortetermijn elektriciteitsopslag. Een fijnmazig net van laadpunten voor het personenvervoer functioneert ook deels als buffersysteem. De gasinstallaties bij de bedrijven zijn geschikt gemaakt voor waterstof.

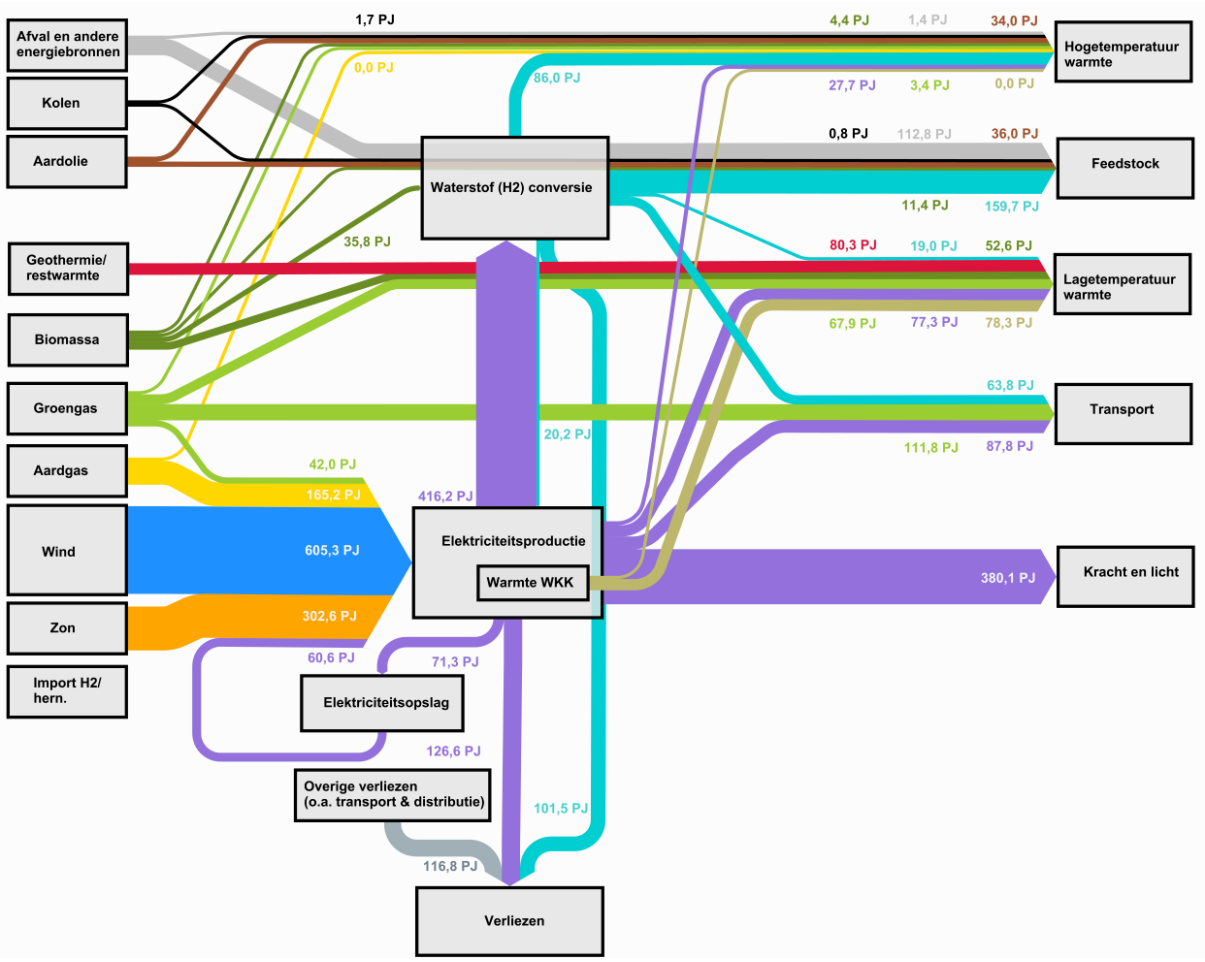
Belangrijke ontwikkelingen in de energiefuncties (finaal gebruik):

- ✓ Bij **kracht en licht** worden efficiëntere apparaten gebruikt (met een besparing van 25%), maar daar staat tegenover dat bedrijven en de industrie meer elektriciteit vragen.
- ✓ Voor de **lage temperatuur warmtevoorziening** worden zo veel mogelijk de regionaal beschikbare bronnen gebruikt die er zijn. All electric-oplossingen komen vaak voor. Daarvoor zijn veel aanpassingen aan gebouwen nodig en verzwaring van de elektriciteitsinfrastructuur. Het aandeel collectieve opties is ongeveer even groot, maar wordt beperkt door de beschikbaarheid van **geothermie en duurzame restwarmte**. De hybride warmtepomp op groen gas is in ongeveer 20 % van de gevallen de oplossing.
- ✓ De circulaire **industrie** combineert recycling met het gebruik van hernieuwbare **waterstof** en de productie van kunststof uit methanol. Het waterstof wordt in Nederland geproduceerd uit wind en zon, waardoor grootschalige elektrolyse en conversiecapaciteit nodig is.
- ✓ Het **transport** van goederen gaat voor 50 % op groengas (verbrandingsmotor) en voor 50 % op waterstof (brandstofcel-elektrische aandrijving). Personenvervoer gaat volledig elektrisch (batterij-elektrische aandrijving).

Figuur 20 schetst de energiestromen naar de bovenstaande energiefuncties en de bronnen en conversiestappen die daarbij horen. In totaal is de energievraag in 2050 ongeveer 40 % lager dan in 2016. **Elektriciteit** als drager wordt veel belangrijker dan nu het geval is, voor alle energiefuncties. In totaal gaat het om ongeveer 1.000 PJ elektriciteit en 600 PJ voor warmte, transport, kracht & licht. Daarnaast wordt circa 400 PJ elektriciteit omgezet naar waterstof.

De energiebronnen zijn in dit scenario alle afkomstig uit Nederland. Fluctuerende energiebronnen, zoals **zon-PV** en **wind**, vormen de basis van het energiesysteem, waarbij decentrale bronnen voor 50 % bijdragen aan het totaal. Het opgesteld vermogen van fluctuerende bronnen bestaat uit bijna 90 GW zon-PV, 26 GW wind op zee en 16 GW wind op land. De opgave voor wind op land is zeer fors: meer dan driemaal het huidige geplande opgestelde vermogen. Voor zon-PV is de opgave een volledige benutting van alle geschikte dakoppervlakken, een groot aantal zonneweides en zon op water.

Om de balans tussen vraag en aanbod te bewaken en ervoor te zorgen dat er ook energie is op momenten dat de zon niet schijnt en de wind niet waait, is ook een grote hoeveelheid aan flexibiliteit nodig: regelbare vraag en opslag. Voor de korte termijn gebeurt dit met accu's en **power-to-heat**, voor de lange termijn (opslag gedurende een aantal maanden) met waterstof. Waterstof op basis van elektrolyse is daarmee een belangrijke nieuwe energiedrager.



Figuur 20. Energiestromen in het scenario 'Regie regionaal'.

De energie-infrastructuur in scenario 'Regie regionaal'

Een verzwaring van de **elektriciteitsnetten** op alle niveaus is nodig: voor laagspanning met een factor 3, voor middenspanning met een factor 5 en voor hoogspanning met een factor 2. Daarnaast moeten de netten geschikt worden gemaakt voor invoeding van 26 GW wind op zee. De elektriciteit stroomt een deel van de tijd van lokaal naar nationaal: lokaal en regionaal geproduceerde elektriciteit gaat dan via de laag- en middenspanningsnetten naar opslagsystemen en gebruikers op het hoogspanningsnet.

Het regionale en landelijke **gasnet** is geschikt gemaakt voor waterstof. In woonwijken heeft een groot deel van het **gasnet** plaatsgemaakt voor zware elektriciteitsnetten of **warmtenetten** gevoed door lokale bronnen, waaronder geothermie en restwarmte van bedrijven/industrie.

Kernpunten van het scenario 'Regie regionaal'

- ✓ Grote investeringsopgave in infrastructuur en productiemiddelen.
- ✓ Grote ruimtelijke impacts van zon-PV, wind, conversie- en opslagsystemen, en stations.
- ✓ Elektrificatie van grote delen van de energievraag.
- ✓ Zwaardere elektriciteitsnetten op alle niveaus.
- ✓ Gedeeltelijke aanpassing van het aardgasnet voor transport en distributie van waterstof.
- ✓ Transitie van de warmtevoorziening om ook warmtenetten te realiseren.

Bijlage 2. Visualisaties van de toekomstbeelden

Deze bijlage bevat grotere versies van de opgestelde visualisaties van de vier toekomstbeelden, zoals die (in kleinere vorm) ook zijn opgenomen in de hoofdstukken 3, 4, 5 en 6. De visualisaties zijn opgesteld door TNO/ECN in opdracht van SodM, op basis van de scenario's van CE Delft.

Staatstoezicht op de Mijnen
Ministerie van Economische Zaken en Klimaat

Scenario 1
GENERIEKE STURING

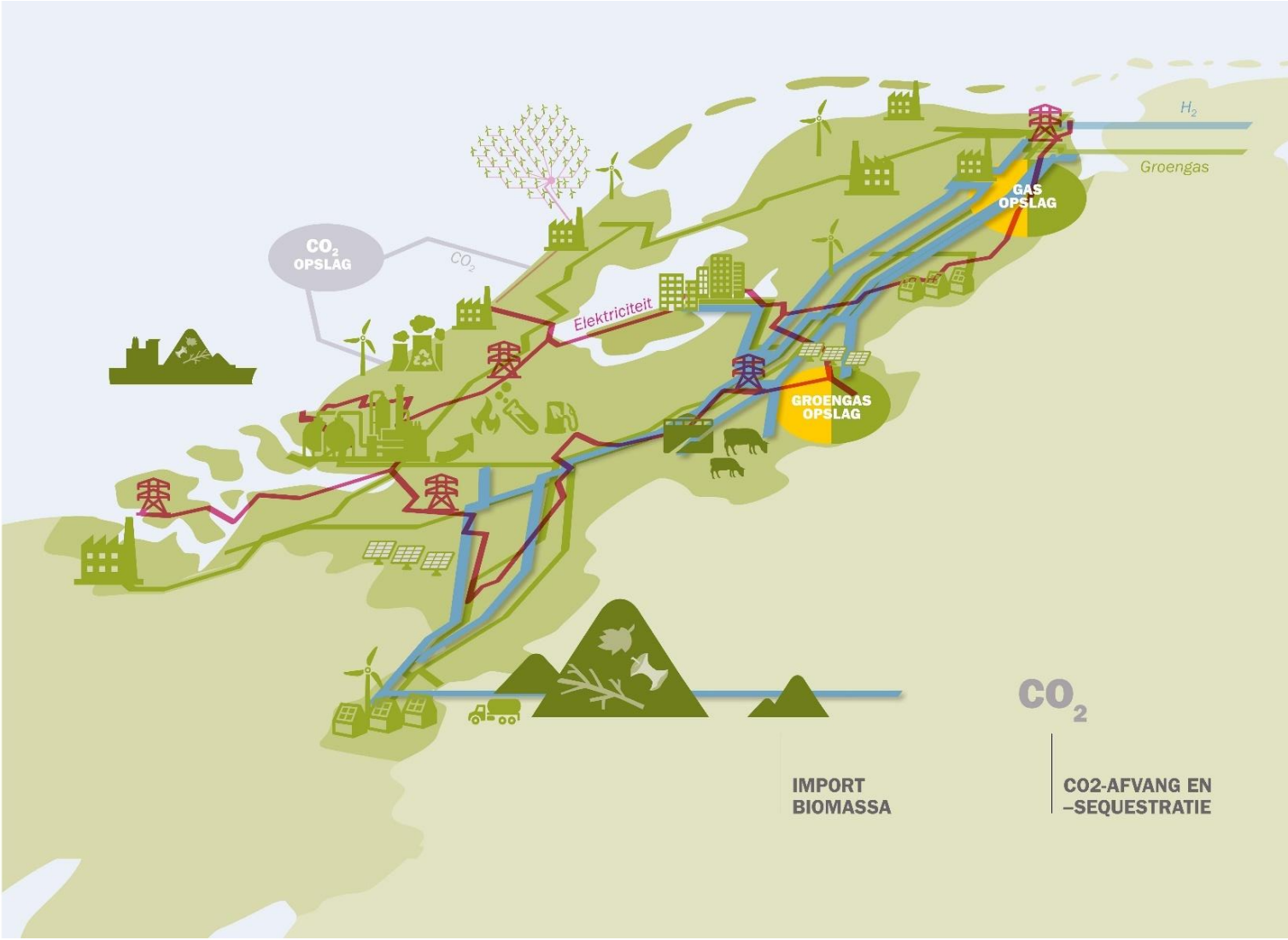
- VOLLEDIG VRIJE ENERGIEMARKT
- GENERIEKE INSTRUMENTEN
- TRANSITIE IS ORGANISCH

Bron: ECN part of TNO in opdracht van SodM, op basis van de scenario's van CE Delft.

Staatstoezicht op de Mijnen
Ministerie van Economische Zaken en Klimaat

Scenario 2
REGIE INTER-NATIONAAL

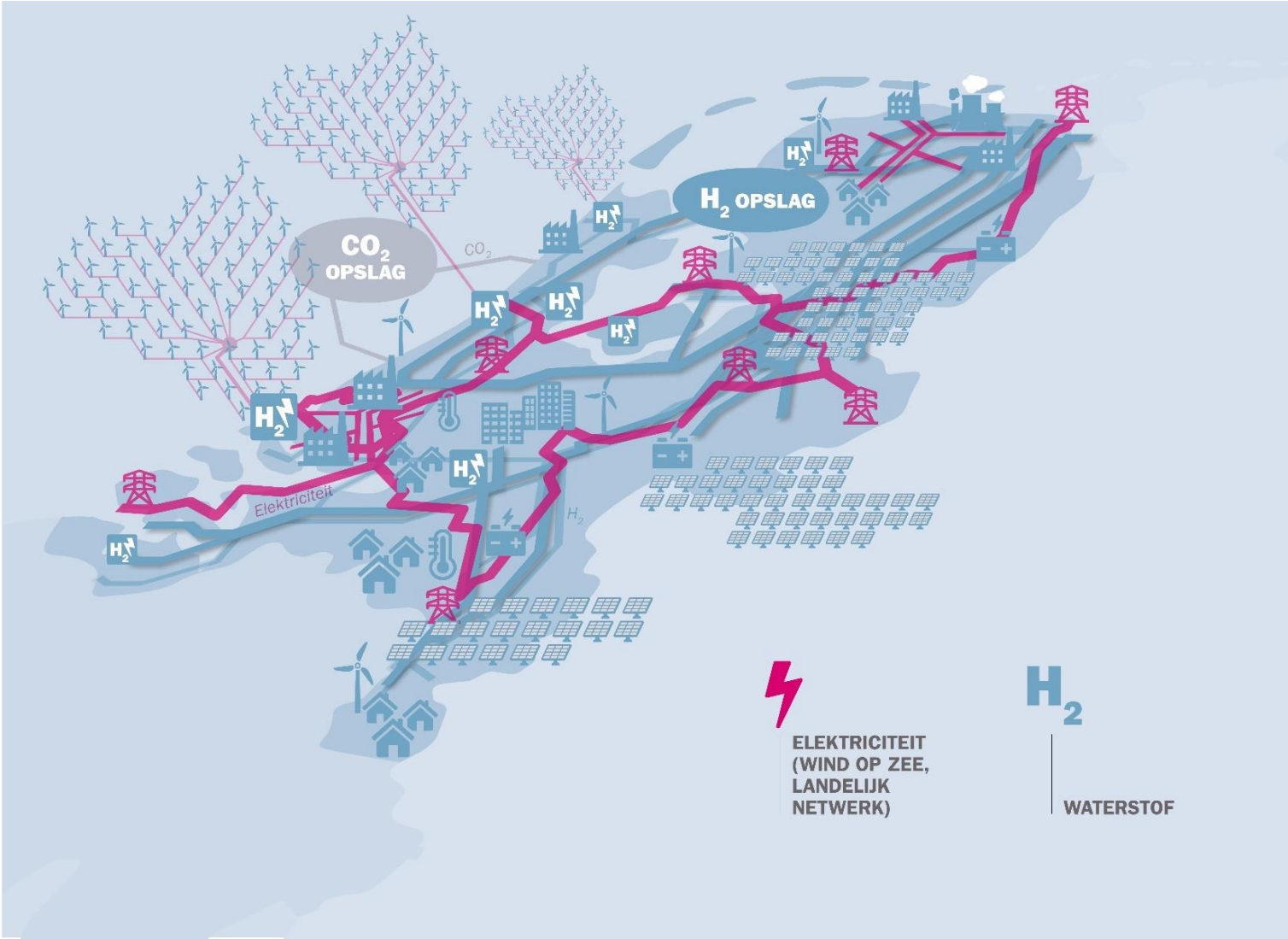
- INTERNATIONALE ECONOMIE ALS DRIJFVEER
- IMPORT VAN ENERGIE
- NL NIET ZELFVOORZIENEND



Bron: ECN part of TNO in opdracht van SodM, op basis van de scenario's van CE Delft.

Staatstoezicht op de Mijnen
Ministerie van Economische Zaken en Klimaat

Scenario 3
REGIE NATIONAAL



– RIJKSOVERHEID STUURT

– GROTE CENTRALE PROJECTEN

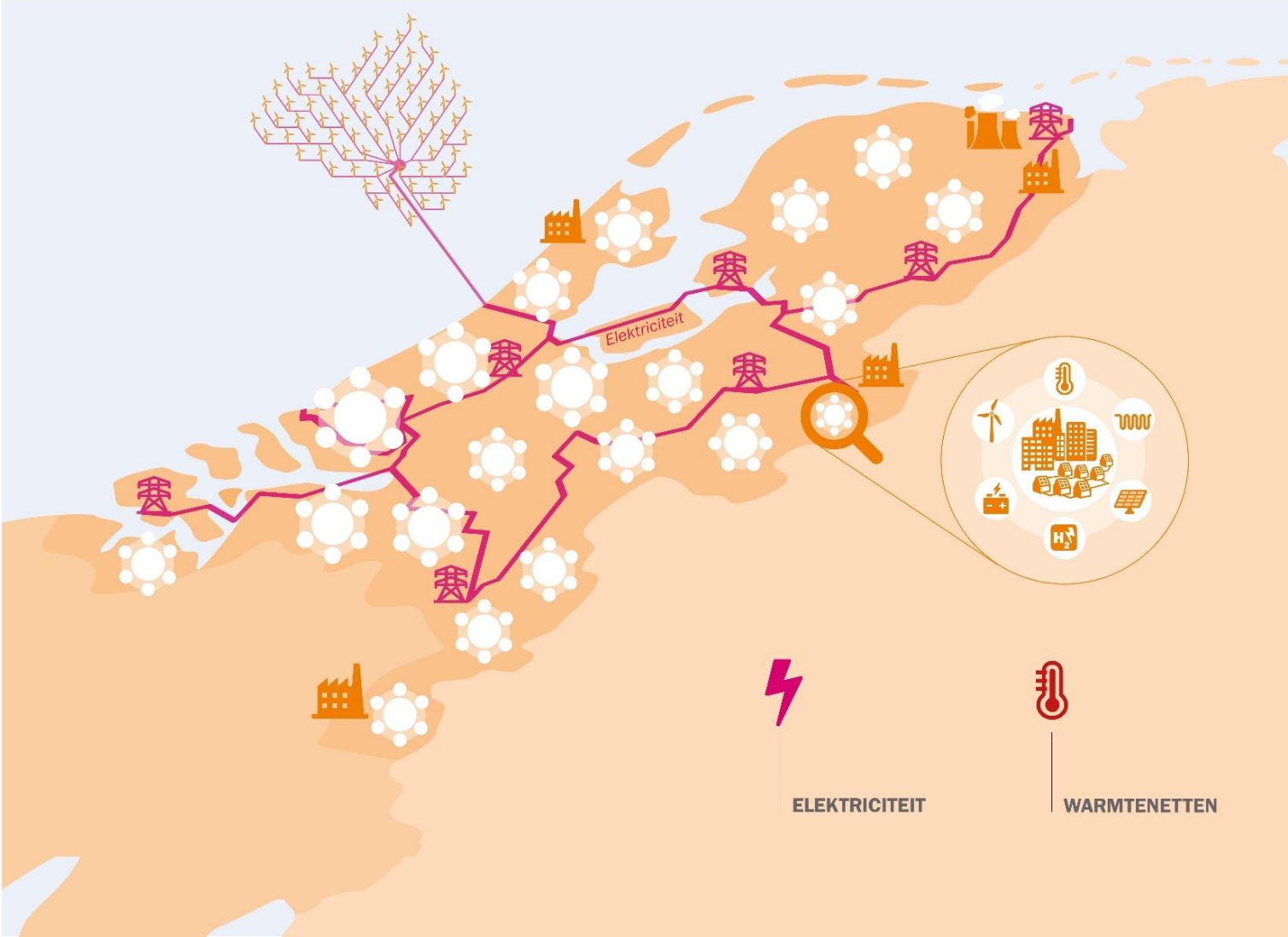
– NL ZELFVOORZIENEND

Bron: ECN part of TNO in opdracht van SodM, op basis van de scenario's van CE Delft.

Staatstoezicht op de Mijnen
Ministerie van Economische Zaken en Klimaat

Scenario 4
REGIE REGIONAAL

- LOKALE STURING EN INITIATIEVEN
- KLEINERE DECENTRALE TECHNIEKEN
- NL ZELFVOORZIENEND



Bron: ECN part of TNO in opdracht van SodM, op basis van de scenario's van CE Delft.

Bijlage 3. Technische uitwerking van de systeemcomponenten

In deze bijlage wordt een nadere technische uitwerking gegeven van de in de energieketens geïdentificeerde componenten van het energiesystem. Deze uitwerking is anders voor elk scenario, hoewel dezelfde componenten in meer scenario's kunnen voorkomen. Afhankelijk van het scenario treden bepaalde energieketens meer of minder op de voorgrond, vindt productie, conversie en opslag op andere geografische locaties plaats en is de betreffende technologie in een andere omvang of een ander aantal aanwezig. In deze bijlage wordt geprobeerd om hiervoor een grove indicatie te geven.

De tabellen zijn opgesteld door ECN part of TNO in opdracht van SodM en op basis van de energetische waarden (energie, vermogen en capaciteit) zoals die in de scenario's van CE-Delft voor de verschillende scenario's zijn aangegeven. In de praktijk zal hieraan door een veelheid van technologieën invulling worden gegeven (en vormen de genoemde waarden een aggregatie van verschillende componenten in het energiesysteem). Om toch enig 'gevoel' te krijgen bij de impact op het technische energiesysteem is ervoor gekozen om de geschetste energetische waarden toch zoveel mogelijk één op één om te rekenen naar aantallen installaties, ruimtegebruik, etc. voor een specifieke technologie.

Alle waarden in de opgenomen tabellen vormen grove inschattingen en moeten derhalve als zeer indicatief worden beschouwd. De waarden zijn in veel gevallen bepaald door de totale energiewaarde (zoals opgenomen in het rapport *Net voor de Toekomst* van CE Delft) te delen op een typische eenheidsgrootte. De resulterende aantallen kunnen de indruk geven van een grotere nauwkeurigheid dan beoogd. In de werkelijkheid zullen in de praktijk installaties van verschillende grootte worden toegepast en zal er tevens sprake zijn van een verschillende soorten technologie.

Ten slotte moet opgemerkt worden dat voor grootschalige elektriciteitsproductie enkel gascentrales zijn opgenomen, en niet bijvoorbeeld kolencentrales of kerncentrales. Dit is een gevolg van de keuze om bij de uitwerking van de toekomstbeelden uit te gaan van de scenario's van de CE Delft (zonder nadere aanpassing), waarin deze technologieën niet zijn opgenomen. Hoewel niet alle mogelijke technologieën in de uitwerking zijn meegenomen, is de berekening wel illustratief voor de omvang van de benodigde productie, conversie, opslag en transportcapaciteit voor de verschillende energiedragers in elk scenario.

Bijstookketel op waterstof

Bijstookketel op waterstof	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Warmteproductie op basis van waterstof			
Plaats in het energiesysteem:	Conversie			
Energie-input + bron:	Waterstof uit elektrolyse, Steam methane reforming, Biovergassing H2			
Energie-output + doel:	LT en HT warmtetoepassingen			
Typische eenheidsgrootte:	Ca. 10 MW (indicatief)			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	Ca. 2500 uren/jaar (indicatief)			
Interactie met componenten:	Waterstof net, waterstofopslag (tanks, cavernes)			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron: CE-Delft: - H2 naar HT warmte: 86 PJ / jaar - H2 naar LT warmte: 19 PJ / jaar - ca. 955 H2-ketels voor HT warmte	Bron: CE-Delft: - H2 naar HT warmte: 86 PJ / jaar - H2 naar LT warmte: 203,2 PJ / jaar - ca. 955 H2-ketels voor HT warmte	Bron: CE-Delft: - H2 naar HT warmte: 74,2 PJ / jaar - H2 naar LT warmte: 158,1 PJ / jaar - ca. 824 H2-ketels voor HT warmte	Bron: CE-Delft: - H2 naar HT warmte: 25,6 PJ / jaar - H2 naar LT warmte: 0 PJ / jaar - ca. 284 H2-ketels voor HT warmte
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Heel NL	Heel NL	Heel NL	Heel NL
Kenmerken net:	N.v.t.			
Kenmerken opslag:	N.v.t.			
Opmerkingen:	Hier alleen industriele ketels beschouwd (voor HT warmte)			

Biomassa opslagdepots

Biomassa opslagdepots	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Opslag van biomassa op overdekte terreinen / in silo's			
Plaats in het energiesysteem:	Opslag (tijdelijk/buffering)			
Energie-input + bron:	Biomassa (aanvoer per schip/rail/weg)			
Energie-output + doel:	Biomassa (afvoer per schip/rail/weg)			
Typische eenheidsgrootte:	TNO: Typische opslag 1 tot 4 weken voorraad, algemeen uitgangspunt dat opslag in de regel ca. 20% van totale verbruik omvat: [bron: Port of Rotterdam] - Lokale opslag en installaties ca. 2.000 m3 of 100 - 2500 ton (rekenwaarde 1.000 ton) - Bij zeehavens/bulk services ca. 40.000 m3 - 400.000 m3 (bulk services, havens): rekenwaarde 0,25 Mton - Bron: www.eubia.org: ca. 650 kg/m3 (geperste biomassa)			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	8760 uur			
Interactie met componenten:	Biomassa transport en aanvoer (weg, water, rail) Biomassainstallaties (vergisting, vergassing, bio-H2 en bioraffinage)			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron: CE-Delft: - tot. biomassa 104 PJ = ca. 8 Mton / jaar - 20% opslag = ca. 21 PJ (1,6 Mton) - Bij zeehavens: ca. 6 opslagen - ca. 1500 biomassa installaties (vergassing, vergisting, bio-H2, bio-raffinage): 100-2.500 ton/installatie	Bron: CE-Delft: - tot. biomassa 84 PJ = ca. 6,5 Mton / jaar - 20% opslag = ca. 16,8 PJ (1,3 Mton) - Bij zeehavens: ca. 5 opslagen - ca. 1500 biomassa installaties (vergassing, vergisting, bio-H2, bio-raffinage): 100-2.500 ton/installatie	Bron: CE-Delft: - tot. biomassa 618 PJ = ca. 47,5 Mton / jaar - 20% opslag = ca. 124 PJ (9,5 Mton) - Bij zeehavens: ca. 38 opslagen - enkele honderden biomassa installaties (vergassing, vergisting, bio-H2, bio-raffinage): 100-2.500 ton/installatie	Bron: CE-Delft: - tot. biomassa 354 PJ = ca. 27,2 Mton / jaar - 20% opslag = ca. 28 PJ (5,4 Mton) - Bij zeehavens: ca. 22 opslagen - enkele honderden biomassa installaties (vergassing, vergisting, bio-H2, bio-raffinage): 100-2.500 ton/installatie
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	In principe heel NL, vaak nabij waterwegen voor aan/afvoer. Grootschalige opslag/overslag/verwerking in havengebieden	In principe heel NL, vaak nabij waterwegen voor aan/afvoer. Grootschalige opslag/overslag/verwerking in havengebieden	In principe heel NL, vaak nabij waterwegen voor aan/afvoer. Grootschalige opslag/overslag/verwerking in havengebieden	In principe heel NL, vaak nabij waterwegen voor aan/afvoer. Grootschalige opslag/overslag/verwerking in havengebieden
Kenmerken net:	N.v.t.			
Kenmerken opslag:	Opslag kan plaatsvinden op open/overdekte terreinen of in grote silo's.			
Opmerkingen:	Aanvoer via water kan mogelijk voor langere perioden (enkele weken) worden belemmerd omdat waterwegen niet bevaarbaar zijn (te lage waterstand, ijsvorming). Dit is o.a. bepalend voor de benodigde omvang van opslagen Een deel van de opslagcapaciteit van biomassa is gedefineerd in scheepsladingen die voor de kust liggen (wachtend op lossen)			

Biomassatransport

Biomassa transport (weg, water, rail)	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Transport van biomassa per schip, trein of vrachtverkeer (* zie opmerking bijzondere kenmerken)			
Plaats in het energiesysteem:	Transport (distributie)			
Energie-input + bron:	Biomassa (aanvoer bij havens per zeeschip)			
Energie-output + doel:	Biomassa (toelevering naar afnemers)			
Typische eenheidsgrootte:	Bron: Port Of Rotterdam: Schepen: 50.000 - 80.000 DWT (dead weight tonnes) LHV van ruwe biomassa varieert sterk met type biomassa en vochtgraad (5 GJ/ton - 17 GJ/ton, Bron: Quaak et al, 1999: Energy from biomass). Hier is ca. 13 GJ/ton aangenomen Hieruit volgt ca. 0,65 - 1,04 PJ aan biomassa per schiptransport			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	8760 uur			
Interactie met componenten:	Biomassa opslag, Biomassa raffinaderij, Energiecentrales op biomassa, Biomassa vergisters/vergassers			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron: CE-Delft: - tot. biomassa 104 PJ = ca. 8 Mton / jaar - ca. 100 tot 160 scheepstransporten / jaar	Bron: CE-Delft: - tot. biomassa 84 PJ = ca. 6,5 Mton / jaar - ca. 81 tot 129 scheepstransporten / jaar	Bron: CE-Delft: - tot. biomassa 618 PJ = ca. 47,5 Mton / jaar - ca. 594 tot 951 scheepstransporten / jaar	Bron: CE-Delft: - tot. biomassa 354 PJ = ca. 27,2 Mton / jaar - ca. 340 tot 545 scheepstransporten / jaar
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Heel NL, m.n. verbindingen tussen havens en verwerkende industrie/energiecentrales	Heel NL, m.n. verbindingen tussen havens en verwerkende industrie/energiecentrales	Heel NL, m.n. verbindingen tussen havens en verwerkende industrie/energiecentrales	Heel NL, m.n. verbindingen tussen havens en verwerkende industrie/energiecentrales
Kenmerken net:	Betreft vaste en vloeibare biomassa			
Kenmerken opslag:	Vaak maken schepen die voor de kust liggen ook onderdeel uit van opslag (cf. aardolie).			
Opmerkingen:	In de tabel is ervan uitgegaan dat alle biomassa in het systeem per zeeschip wordt aangevoerd. Over binnenlandse distributie is weinig bekend. Een groot deel van biomassa zal in kustnabije industrie/energieopwekking worden gebruikt Transport (per schip) kan worden belemmerd. Opslag moet hierop berekend zijn.			

CO_2-net

CO2-net	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Transport van CO2 van bron (afvang) naar ondergrondse opslag			
Plaats in het energiesysteem:	Transport (centraal)			
Energie-input + bron:	CO2 (residu energieopwekking/conversie)			
Energie-output + doel:	CO2 naar leeg gasveld voor permanente opslag			
Typische eenheidsgrootte:	5 Mt / jaar (korte afstand, enkele tientallen km's), 30 Mt / jaar (lange afstand, > 100km) [bron: EBN/GasUnie 2018] Concept: trunk lines vanaf kustnabije CO2-bronnen (Maasvlakte, IJmuiden, Eemshaven) naar offshore hubs; vandaar distributie naar offshore opslaglokaties; typisch tussen 1 en 10 Mt/jaar doorzet per trunk line.			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	Ca. 8000 uur			
Interactie met componenten:	CO2-bronnen (energiecentrales, industrie met intensieve CO2 uitstoot) en CO2-opslagen (gasvelden offshore)			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron CE-Delft: - 3,4 Mt / jaar - 500 km	Bron CE-Delft: - 2,6 MT / jaar - 500 km	Bron CE-Delft: - 7,3 Mt / jaar - 1000 km	Bron CE-Delft: - 19,5 Mt / jaar - 2000 km
	Bron: EBN/GasUnie 2018: - Low-case: ca. 14 Mt / jaar, cumulatief ca. 480 Mt in 2060, 30 km lokale leiding (onshore) en 380 km hoofdleiding (offshore), nieuwe leiding: 70 km - High-case: ca. 30 Mt / jaar, cumulatief ca. 1000 Mt in 2060, 70 km lokale leiding (onshore) en 675 km hoofdleiding (offshore), nieuwe leiding: 385 km			
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Offshore Nederland, vanuit kustnabije CO2 puntbronnen, m.n. richting gasvelden in P/Q blokken en K/L blokken	Offshore Nederland, vanuit kustnabije CO2 puntbronnen, m.n. richting gasvelden in P/Q blokken en K/L blokken	Offshore Nederland, vanuit kustnabije CO2 puntbronnen, m.n. richting gasvelden in P/Q blokken en K/L blokken	Offshore Nederland, vanuit kustnabije CO2 puntbronnen, m.n. richting gasvelden in P/Q blokken en K/L blokken
Kenmerken net:	Hergebruik bestaande offshore gasinfrastructuur waar mogelijk, anders aanleg nieuwe infrastructuur (leidingen, platforms) Uitgangspunt is aanleg van offshore CO2 net met kleine afstanden voor onshore transport (CO2 bron > compressor) gezien kustnabije ligging van meeste grote bronnen Offshore transport: >80 bar druk (bron EBN/GasUnie 2018) ; OCAP leiding (land) ca. 20 bar			
Kenmerken opslag:	N.v.t.			
Opmerkingen:	Bron: EBN/GasUnie 2018: een compressiestation voor 7-8 Mt CO2 heeft ca. 5-7 hectare nodig			

CO_2-opslag

CO2-opslag	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Permanente opslag energie-residu			
Plaats in het energiesysteem:	Opslag (permanent)			
Energie-input + bron:	CO2 (residu energieopwekking/conversie)			
Energie-output + doel:	N.v.t.			
Typische eenheidsgrootte:	Bron TNO: - Typisch 1 Mt CO2 per put per jaar - Offshore capaciteit (praktisch): ca. 1.678 Mt CO2 in 104 lege gasvelden			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	Ca. 8000 uur			
Interactie met componenten:	CO2 transport			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron: CE-Delft: 3,4 Mt/jaar	Bron: CE-Delft: 2,6 Mt/jaar	Bron: CE-Delft: 7,3 Mt/jaar	Bron: CE-Delft: 19,5 Mt/jaar
	Bron: EBN/GasUnie 2018: - Low-case: 14 Mt / jaar, cumulatief ca. 480 Mt in 2060 - Hig-case: 30 Mt / jaar, cumulatief ca. 1000 Mt in 2060			
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Bron: Routekaart CCS + EBN/GasUnie 2018: - kustnabije opslag-lokaties	Bron: Routekaart CCS + EBN/GasUnie 2018: - kustnabije opslag-lokaties	Bron: Routekaart CCS + EBN/GasUnie 2018: - offshore lege gasvelden: zuidelijke en centrale Noordzee	Bron: Routekaart CCS + EBN/GasUnie 2018: - offshore lege gasvelden: zuidelijke en centrale Noordzee
Kenmerken net:	N.v.t.			
Kenmerken opslag:	Permanente opslag			
Opmerkingen:	Bron: Routekaart CCS + EBN/GasUnie 2018: timing van vraag en aanbod van ondergrondse CO2-opslag in de energie-transitie is belangrijk vanwege (kosten) instandhouden offshore gas-infra. Het jaar 2050 is slechts een momentopname: belangrijk is de ontwikkeling van CCS in de tijd (voor en na 2050)			

Elektriciteitsopslag (accu's)

Grootschalige accu's	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Grootschalige batterijsystemen verbonden met centrale stroomnet of distributienet (HS, MS, LS)			
Plaats in het energiesysteem:	Opslag (tijdelijk/buffering)			
Energie-input + bron:	Elektriciteit (E)HS en MS net			
Energie-output + doel:	Elektriciteit (E)HS en MS net			
Typische eenheidsgrootte:	Ca. 5 MWe (tot ca. 100 MWe) Bron Eneco: huidig grootste accu EU (Jardelund, DE) = 48 MWe, oppervlakte 3000m2			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	Ca. 2000 uren/jaar (range 1500 - 2500)			
Interactie met componenten:	(E)HS en MS systeem, lokale grids, eindgebruikers			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron: CE-Delft: - 60 GWe accuopslag - ca. 600 accu's van 100 MWe - ruimtebeslag ca, 4 km2 (obv Jardelund)	Bron: CE-Delft: - 50 GWe accuopslag - ca. 500 accu's van 100 MWe - ruimtebeslag ca, 3 km2 (obv Jardelund)	Bron: CE-Delft: - 5 GWe accuopslag - ca. 50 accu's van 100 MWe - ruimtebeslag ca, 0,3 km2 (obv Jardelund)	Bron: CE-Delft: - 2 GWe accuopslag - ca. 20 accu's van 100 MWe - ruimtebeslag ca. 0,1 km2 (obv Jardelund)
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Heel NL	Heel NL	Heel NL	Heel NL
Kenmerken net:	N.v.t.			
Kenmerken opslag:	Elektro-chemische opslag			
Opmerkingen:	Betreft grootschalige accu's, niet de huisbatterijen voor gebouwde omgeving!			

Elektriciteitsopslag (perslucht)

Persluchtopslag (CAES)	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Omzetting van elektrische energie in gecomprimeerde lucht die ondergronds wordt opgeslagen in zoutcavernes. Bij grote vraag wordt met de perslucht weer gebruikt om elektriciteit op te wekken (turbines). Daarbij wordt aardgas, H2 of opgeslagen warmte gebruikt om de expanderende luchtstroom te verhitten			
Plaats in het energiesysteem:	Opslag (tijdelijk/buffering)			
Energie-input + bron:	Bron: ESTMAP 2016: Elektriciteit, m.n. variabele bronnen als wind, zon. Bij de bestaande vorm wordt gas (aardgas, H2) verbrand om de luchtstroom te verhitten voor opwekking elektriciteit. Voor 1 KWh uitzend ca. 0,63KWh elektriciteit en 1,27KWh aardgas input. Totale opslagefficientie ca. 42 - 60%			
Energie-output + doel:	Bron: Crotogino 2010, ESTMAP 2016: Elektriciteit, een caverne systeem (1 a 2 cavernes) levert ca. 600 - 3000 MWh per in/uit cycle. Verhouding in/uit zie boven. Ca. 100 a 400 cycles per jaar			
Typische eenheidsgrootte:	Bron: ESTMAP, 2016 - input: ca. 50 - 70 MWe output: ca. 150 - 300 MWe - caverne volumes ca. 150.000 m3 (Huntorf) tot 540.000 m3 (McIntosh)			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	Ca. 100 a 400 cycles per jaar. Full cycle ca. 16 uur tot 72 uur			
Interactie met componenten:	Direct verbonden met elektriciteitsnet. Mogelijk gekoppeld met hoge temperatuur opslag (bovengronds tot ca. 600°C) voor adiabatic CAES. Conventional diabatic CAES verbonden met aardgas/H2 voor verwarmen expanderende luchtstroom			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron: CE-Delft: - Totaal 58 GWe elektrisch opslag vermogen = ca. 200 CAES systemen. - Totaal 60 PJ E-opslag = ca. 5.500 CAES systemen	Bron: CE-Delft: - Totaal 46 GWe elektrisch opslag vermogen = ca. 150 CAES systemen. - Totaal 37 PJ E-opslag = ca. 3.500 CAES systemen	Bron: CE-Delft: - Totaal 5 GWe elektrisch opslag vermogen = ca. 16 CAES systemen. - Totaal 4 PJ E-opslag = ca. 370 CAES systemen	Bron: CE-Delft: - Totaal 2 GWe elektrisch opslag vermogen = ca. 6 CAES systemen. - Totaal 4 PJ E-opslag = ca. 370 CAES systemen
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Bron TNO 2018: Nationaal en regionaal. In zoutcavernes in FR, GR, DR, OV	Bron TNO 2018: Nationaal en regionaal. In zoutcavernes in FR, GR, DR, OV	Bron TNO 2018: Nationaal en regionaal. In zoutcavernes in FR, GR, DR, OV	Bron TNO 2018: Nationaal en regionaal. In zoutcavernes in FR, GR, DR, OV
Kenmerken net:	N.v.t.			
Kenmerken opslag:	Energiedrager: mechanisch (geperste lucht), opslagcyclus typisch 1 dag, varierend tot max. enkele dagen.			
Opmerkingen:	Het CE-Delft rapport geeft geen onderverdeling naar verschillende vormen van elektrische opslag (batterijen, pompaccumulatie, perslucht, etc.). In deze tabel is aangenomen dat alle genoemde accu-opslag via perslucht gaat. In de werkelijkheid zal dit ws. een combinatie van technieken betreffen. Diabatische CAES = perslucht plus bijbranden gas (H2/aardgas/groengas) Adiabatische CAES = perslucht met opslag/hergebruik compressiewarmte			

Elektrolyse (grootschalig)

Elektrolyse (grootschalig)	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Waterstof productie uit elektriciteit			
Plaats in het energiesysteem:	Conversie			
Energie-input + bron:	Elektriciteit (surplus hernieuwbare productie)			
Energie-output + doel:	Pure (high-grade) waterstof > transport, feedstock, H2 WKK gascentrale, HT warmte industrie			
Typische eenheidsgrootte:	Ca. 100 - 1000 Mwe			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	TNO schatting: 5500 uren/jaar (range 4500 - 6500) Bron CE-Delft: Ca. 3500 uren in 2020 en 4000 - 6000 uren in 2050			
Interactie met componenten:	HS-net, Waterstof net, waterstofopslag (tanks, cavernes), filling stations			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron: CE-Delft: - aandeel electrolyse groot (HS) 40% - ca. 167 PJ / 30 GWe - ca. 30 - 300 installaties - geschat ruimtebeslag 60 km2	Bron: CE-Delft: - aandeel electrolyse groot (HS) 80% - ca. 534 PJ / 49 GWe - ca. 49 - 490 installaties - geschat ruimtebeslag 50 km2	Bron: CE-Delft: - aandeel electrolyse groot (HS) 80% - ca. 19 PJ / 1,8 GWe - ca. 2 - 18 installaties - geschat ruimtebeslag 2 km2	Bron: CE-Delft: - aandeel electrolyse groot (HS) 80% - ca. 1,7 - 2,1 PJ / 0,2 GWe - ca. 1 - 2 installaties
	Bron: TKI-Energie Routekaart Waterstof: huidige productie H2 (uit aardgas) bedraagt ca. 10 miljard m3 (ca,108 PJ) op basis van 10% totaal NL aardgasgebruik			
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Heel NL, meest waarschijnlijk nabij aanlandingspunten elektriciteit uit wind op zee, evt. offshore	Heel NL, meest waarschijnlijk nabij aanlandingspunten elektriciteit uit wind op zee, evt. offshore	Heel NL, meest waarschijnlijk nabij aanlandingspunten elektriciteit uit wind op zee, evt. offshore	Heel NL, meest waarschijnlijk nabij aanlandingspunten elektriciteit uit wind op zee, evt. offshore
Kenmerken net:	N.v.t.			
Kenmerken opslag:	N.v.t.			
Opmerkingen:	In scenario "Internationaal" en "Generieke sturing" komt waterstof voornamelijk uit import			

Elektrolyse (regionaal)

Elektrolyse (regionaal)	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Waterstof productie uit elektriciteit			
Plaats in het energiesysteem:	Conversie			
Energie-input + bron:	Elektriciteit (surplus hernieuwbare productie)			
Energie-output + doel:	Pure (high-grade) waterstof > transport, feedstock, H2 WKK gascentrale, HT warmte industrie			
Typische eenheidsgrootte:	Ca. 5 - 20 Mwe			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	TNO schatting: Ca. 2500 uren/jaar (range 2000 - 3000)			
Interactie met componenten:	MS net, Waterstof net, waterstofopslag (tanks, cavernes), filling stations			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron: CE-Delft: - aandeel elektrolyse regionaal (MS) 60% - ca. 250 PJe / 45 GWe - ca. 2250 - 9.000 installaties	Bron: CE-Delft: - aandeel elektrolyse regionaal (MS) 20% - ca. 133 PJe / 12 GWe - ca. 600 - 2.400 installaties	Bron: CE-Delft: - aandeel elektrolyse regionaal (MS) 20% - ca. 119 PJe / 0,4 GWe - ca. 20 - 80 installaties	Bron: CE-Delft: - aandeel elektrolyse regionaal (MS) zeer laag (<0,1 GWe). Maximaal enkele installaties
	Bron: TKI-Energie Routekaart Waterstof: huidige productie H2 (uit aardgas) bedraagt ca. 10 miljard m3 (ca,108 PJ) op basis van 10% totaal NL aardgasgebruik			
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Heel NL	Heel NL	Heel NL	Heel NL
Kenmerken net:	N.v.t.			
Kenmerken opslag:	N.v.t.			
Opmerkingen:	In scenario "Internationaal" en "Generieke sturing" komt waterstof voornamelijk uit import			

Gascentrale

Gascentrale	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Elektriciteit uit gas, levering basislast en pieklast vermogen			
Plaats in het energiesysteem:	Conversie			
Energie-input + bron:	Methaan (aardgas, groen gas)			
Energie-output + doel:	Elektriciteit naar (E)HS-netwerk en Warmte (WKK)			
Typische eenheidsgrootte:	Rekenwaarde 400 MWe, range ca. 25 - 650 MWe (Clauscentrale 2 units van 640 MWe) Bron www.epa.gov: typisch effectief elektrisch rendement WKK tussen 50% en 70%			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	Pieklast ca. 2000 - 4000 uren ; basislast ca. - 8000 uren (warmte levering ivm warmte kracht)			
	M.n. pieklast (hoog aandeel wind) Bron: CE-Delft: - Centr. Groen/Hern. gas: 500 uren - Centr. WKK aardgas+CCS: 2000 uren - Decentr. WKK groen/hern.: 500 uren	M.n. pieklast (hoog aandeel wind) Bron: CE-Delft: - Centr. WKK aardgas+CCS: 2000 uren - Decentr. WKK groen/hern.: 500 uren	Pieklast en basislast Bron: CE-Delft: - Centr. Groen/Hern. gas: 500 uren - Centr. Aardgas+CCS: 1500 uren - Centr. WKK aardgas+CCS: 3000 uren - Decentr. WKK groen/hern.: 2000 uren	M.n. basislast (laag aandeel wind) Bron: CE-Delft: - Centr. Groen/Hern. gas: 2900 uren - Centr. Aardgas+CCS: 3000 uren - Centr. WKK aardgas+CCS: 2500 uren - Decentr. WKK groen/hern.: 2000 uren
Interactie met componenten:	Gas transportnet, regionaal gasdistributie net, gasopslag/LNG, HS-net			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron: CE-Delft: - 207,2 PJe groen/aardgas > elektriciteit - 30 GWe vermogen groen/aardgas - ca. 75 centrales	Bron: CE-Delft: - 157,6 PJ groen-aardgas > elektriciteit - 23 GWe vermogen groen/aardgas - ca. 58 centrales	Bron: CE-Delft: - 269,7 PJ groen-aardgas > elektriciteit - 15 GWe vermogen groen/aardgas - ca. 38 centrales	Bron: CE-Delft: - 308,3 PJ groen-aardgas > elektriciteit - 15 GWe vermogen groen/aardgas - ca. 43 centrales
	Bron Wise en CBS: - Momenteel ca. 40 gascentrales in Nederland, waarvan een deel (tijdelijk) inactief - totale productie elektriciteit uit aardgas: ca. 108 - 137 PJ / jaar tussen 2013 en 2016			
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Heel NL, bestaande centrales	Heel NL, bestaande centrales	Heel NL, bestaande centrales	Heel NL, bestaande centrales
Kenmerken net:	N.v.t.			
Kenmerken opslag:	N.v.t.			
Opmerkingen:	Mogelijke ombouw van gascentrales naar H2 als brandstof Inzet van pieklast centrales vanaf ongeveer 8 GWe windenergie (flex-functie). Een centrale van 10 PJe heeft ca. 16,7 PJ input uit aardgas/groengas (60% elektrische efficientie)			

Gasopslag (ondergronds)

Ondergrondse aardgasopslag	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Injectie en productie van aardgas/groengas in/uit zoutcavernes en gasvelden			
Plaats in het energiesysteem:	Opslag (tijdelijk/buffering)			
Energie-input + bron:	Aardgas, groen gas (uit HP gasnet)			
Energie-output + doel:	Aardgas, groen gas (naar HP gasnet)			
Typische eenheidsgrootte:	Bron: TNO, 2018: - ca. 2,5 PJ werkgas in 1 caverne (werkgasvolume 60 mln m3). n.b. Zuidwending = 5 cavernes - ca. 40 - 200 PJ in een typisch gasveld (1 - 5 bcm). - productie ca. 1-5 mln m3/put/dag. Dit staat gelijk aan ca. 500 - 2500 MW(th)			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	Zuidwending volledige laad/ontlaadcyclus ca. 12dgn / 7dgn. Dus max. ca. 18 cycles per jaar. Norg/Grijpskerk/Bergermeer hebben gemiddeld een laad/ontlaadcyclus van ca. 150/70 uur (1 cyclus per jaar)			
Interactie met componenten:	Verbonden met aardgas net (centraal, HP)			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron: CE-Delft: - 2 bcm groengas. - cf. huidige opslag in Grijpskerk, Bergermeer of Norg - ruimtebeslag 0,5 - 1 km2	Bron: CE-Delft: - 1 bcm groengas. - cf. huidige opslag in Grijpskerk, Bergermeer of Norg - ruimtebeslag 0,5 - 1 km2	Bron: CE-Delft: - 2,9 bcm groengas. - cf. huidige opslag in Bergermeer of Norg - ruimtebeslag 0,5 - 1 km2	Bron: CE-Delft: - 8,9 bcm groengas. - vf. huidige 5 opslagen in Bergermeer, Norg, Grijpskerk, Alkmaar, Zuidwending - ruimtebeslag 0,5 - 1 km2 per locatie
	TNO 2018: Huidig opslagvolume ondergronds + LNG Gate Terminal = 12,9 bcm (ca. 500 PJ)			
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Nationaal en regionaal. Zoutcavernes in FR, GR, DR, OV, gasvelden in FR, GR, DR, NH, ZH	Nationaal en regionaal. Zoutcavernes in FR, GR, DR, OV, gasvelden in FR, GR, DR, NH, ZH	Nationaal en regionaal. Zoutcavernes in FR, GR, DR, OV, gasvelden in FR, GR, DR, NH, ZH	Nationaal en regionaal. Zoutcavernes in FR, GR, DR, OV, gasvelden in FR, GR, DR, NH, ZH
Kenmerken net:	N.v.t.			
Kenmerken opslag:	Energiedrager: methaan In zoutcavernes typisch kort-cyclisch tot ca. 10 a 20 dgn (afhankelijk van productiecapaciteit). In gasvelden m.n. seizoensgebonden			
Opmerkingen:	Tijdelijke opslag, kan gemengd met aardgas/groengas en zelfs evt. met waterstof			

Geothermie

Geothermie	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Geothermische systemen (warm water productie, koud water injectie) waarmee aardwarmte wordt gewonnen uit aquifers op ca. 2-3 km diepte (doubletten, tripletten, etc.). In de toekomst worden mogelijk diepere systemen voor winning hogere temperaturen aangelegd waarbij het gesteente wordt gestimuleerd (bijv. fracking)			
Plaats in het energiesysteem:	Opwekking (primair)			
Energie-input + bron:	Aardwarmte, (warm formatiewater uit ondergrondse aquifers tot ca. 70 a 90°C)			
Energie-output + doel:	Lage temperatuur warmte (gebouwde omgeving, utiliteit, glastuinbouw)			
Typische eenheidsgrootte:	Ca. 7 - 35 MW(th) >> ca. 100- 900 TJ per doublet per jaar			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	Ca. 4000 (district) - 7000 uur (glastuinbouw) (bron: SDE)			
Interactie met componenten:	Mogelijke aansluiting op lokale warmtenetten met meerdere bronnen en eindgebruikers. Deze netten bieden ook optie tot buffering van geothermische warmte Combinatie met HTO mogelijk indien eindgebruiker slechts over een deel van het jaar warmte gebruikt (= seizoensgebonden).			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron: CE-Delft: - ca. 50 PJ / jaar (80 PJ voor geothermie + restwarmte) - tientallen tot mogelijk honderden doubletten	Bron: CE-Delft: - ca. 2,8 PJ / jaar (5,5 PJ voor geothermie + restwarmte) - lichte stijging van huidige 23 doubletten (waarvan 13 actief): Bron TNO 2018	Bron: CE-Delft: - ca. 2,4 PJ / jaar (4,7 PJ voor geothermie + restwarmte) - lichte stijging van huidige 23 doubletten (waarvan 13 actief): Bron TNO 2018	Bron: CE-Delft: - 0 PJ - beperkt tot uitproduceren huidige systemen
	Bron: Masterplan Geothermie: - 175 doubletten in 2030 (20 PJ) - 700 doubletten in 2050 (135 PJ) - 20 tot 25 nieuwe doubletten per jaar			
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Lokale netwerken, meteen bij gebruiker tot straal van enkele km's (warmtenetten). Potentie m.n. in N-NL, NH, ZH en NB. Overige delen van NL worden nu onderzocht op potentie	Lokale netwerken, meteen bij gebruiker tot straal van enkele km's (warmtenetten). Potentie m.n. in N-NL, NH, ZH en NB. Overige delen van NL worden nu onderzocht op potentie	Lokale netwerken, meteen bij gebruiker tot straal van enkele km's (warmtenetten). Potentie m.n. in N-NL, NH, ZH en NB. Overige delen van NL worden nu onderzocht op potentie	Lokale netwerken, meteen bij gebruiker tot straal van enkele km's (warmtenetten). Potentie m.n. in N-NL, NH, ZH en NB. Overige delen van NL worden nu onderzocht op potentie
Kenmerken net:	N.v.t.			
Kenmerken opslag:	In toekomst is er mogelijk ook de optie om ook doubletten (tijdelijk) te om te keren waarbij warmte wordt geinjecteerd (geothermie en opslag in één)			
Opmerkingen:	Geothermie als opwekker voor hoge temperatuur warmte (industrie) en elektriciteit niet benoemd in CE-Delft. Potentie wordt onderzocht in NL CE-Delft aggregeert energie uit restwarmte en geothermie. De onderverdeling is hier bepaald op basis van de verhouding restwarmte/geothermie die wordt gegeven bij de grafiek voor WEQ (aantallen woningequivalenten)			

Hogedruk gasnet (transport van aardgas, biogas en waterstof)

Hogedruk gasnet (transport)	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Transport van aardgas, groen gas en waterstofgas			
Plaats in het energiesysteem:	Transport (centraal)			
Energie-input + bron:	Aardgas, groen gas, en/of waterstof gas (gaswinning, import, elektroyse en conversie)			
Energie-output + doel:	Aardgas, groen gas, en/of waterstof gas (export, elektriciteitopwekking, gasdistributienet)			
Typische eenheidsgrootte:	Huidig HP-gasnet kan ca 90 bcm/jaar aardgas transporteren. Bij calorische waarde van 40 MJ/m3 is dat 3600 PJ/jaar; in overeenstemming met opgave Gasunie van doorvoer van 960 TWh per jaar. Waterstof heeft ca 4 maal minder energie per m3 dan aardgas. Het huidig HP gasnet zou dus met waterstof ca 240 TWh (865 PJ) per jaar kunnen transporteren. Mocht er een scheiding nodig zijn tussen het H-gas net en het G-gas net (voor waterstof), dan is de doorzet ca 120 TWh (432 PJ) per jaar via waterstof.			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	8760 uren			
Interactie met componenten:	Gasbronnen (aardgaswinning/import, groen gas uit conversie, waterstof uit conversie) naar distributienet, grootverbruikers van gas, export en gasbuffers			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron: CE-Delft: - totale doorvoer per jaar (165 PJ aardgas, 225 PJ groengas, 349 PJ H2): totaal ca. 42 bcm gas - ruimtebeslag 30 km2	Bron: CE-Delft: - totale doorvoer per jaar (124 PJ aardgas, 214 PJ groengas, 560 PJ H2): totaal ca. 60 bcm gas - ruimtebeslag 30 km2	Bron: CE-Delft: - totale doorvoer per jaar (257 PJ aardgas, 349 PJ groengas, 272 PJ H2): totaal ca. 41 bcm gas - ruimtebeslag 30 km2	Bron: CE-Delft: - totale doorvoer per jaar (473 PJ aardgas, 542 PJ groengas, 143 PJ H2): totaal ca. 39 bcm gas - ruimtebeslag 30 km2
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Bestaand transportnet; nationale schaal (onshore)	Bestaand transportnet; nationale schaal (onshore)	Bestaand transportnet; nationale schaal (onshore)	Bestaand transportnet; nationale schaal (onshore)
Kenmerken net:	Aanname: huidig HP-gasnet blijft in stand en is geschikt (te maken) voor (simultaan) transport van ardgas, groen gas en waterstof CE-Delft stelt, dat het huidige gasnetwerk, qua capaciteit, (ruim) voldoende is om waterstof te transporteren in elk van de vier onderzochte scenario´s.			
Kenmerken opslag:	N.v.t.			
Opmerkingen:	Afnemers van zuive waterstof (feedstock, fuel cells, ..) zullen een dediated H2-netwerk nodig hebben, gekoppeld aan lokale H2 generatie. Het kan zijn dat de integriteit van de buisleidingen vereist, dat op lagere druk wordt getransporteerd dan de aardgas transpotdruk; dat zou ten koste gaan van de waterstof-transportcapaciteit, zie verder de KIWA-studie hierover.			

Hoogspanningsnetten

Hoogspanningsnet	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Landelijke hoogspanningsnetten voor elektriciteit (centraal net)			
Plaats in het energiesysteem:	Transport (centraal)			
Energie-input + bron:	Electriciteitsproductie (wind, gascentrale)			
Energie-output + doel:	Elektriciteit (HS) naar MS			
Typische eenheidsgrootte:	Hoogspanning: kVA - MVA 150 kV - 400 kV			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	8760 uren			
Interactie met componenten:	Opwekking elektriciteit, opslag elektriciteit, conversie naar H2, MS- en LS-netten			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron: CE-Delft: - afname HS productie 20 > 13 GW - toename HS vraag 5 > 36 GW - toename wind-op-zee: 1 > 26 GW - ruimtebeslag HS: 30 km2	Bron: CE-Delft: - afname HS productie 20 > 12 GW - toename HS vraag 5 > 57 GW - toename wind-op-zee: 1 > 53 GW - ruimtebeslag HS: 30 km2	Bron: CE-Delft: - afname HS productie 20 > 18 GW - gelijke HS vraag 5 GW - toename wind-op-zee: 1 > 6 GW - ruimtebeslag HS: 15 km2	Bron: CE-Delft: - gelijke HS productie 20 GW - toename HS vraag 5 > 10 GW - toename wind-op-zee: 1 > 5 GW - ruimtebeslag HS: 15 km2
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Heel NL, ringnet	Heel NL, ringnet	Heel NL, ringnet	Heel NL, ringnet
Kenmerken net:	Landelijk hoofdnetwerk			
Kenmerken opslag:	N.v.t.			
Opmerkingen:				

Laagspanningsnetten

Laagspanningsnet	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Lokale laagspanningsnetten voor elektriciteitsdistributie			
Plaats in het energiesysteem:	Transport / Distributie			
Energie-input + bron:	Elektriciteit vanuit MS, lokale opwek met zon PV			
Energie-output + doel:	Elektriciteit (LS) voor eindverbruikers			
Typische eenheidsgrootte:	Laagspanning: kVA - A 230 V - 400 V			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	8760 uren			
Interactie met componenten:	Opwekking elektriciteit, afnemers elektriciteit, opslag elektriciteit, HS- en MS-netten			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron: CE-Delft: - toename LS productie 0 > 24 GW - toename LS vraag 11 > 16 GW - ruimtebeslag hoof/distributiestations: 9 km2	Bron: CE-Delft: - toename LS productie 0 > 9 GW - toename LS vraag 11 > 13 GW - ruimtebeslag hoof/distributiestations: 9 km2	Bron: CE-Delft: - toename LS productie 0 > 6 GW - gelijke LS vraag 11 GW - ruimtebeslag hoof/distributiestations: 4 km2	Bron: CE-Delft: - toename LS productie 0 > 17 GW - toename LS vraag 11 > 15 GW - ruimtebeslag hoof/distributiestations: 7 km2
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Heel NL, distributie, smart grids	Heel NL, distributie, smart grids	Heel NL, distributie, smart grids	Heel NL, distributie, smart grids
Kenmerken net:	Distributie binnen regio's			
Kenmerken opslag:	N.v.t.			
Opmerkingen:				

Middenspanningsnetten

Middenspannings net	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Regionale middenspanningsnetten voor elektriciteitsdistributie			
Plaats in het energiesysteem:	Transport (centraal)			
Energie-input + bron:	Elektriciteit vanuit HS, productie uit wind, zonneparken, regionale centrales			
Energie-output + doel:	Elektriciteit (MS) naar LS, grootverbruikers			
Typische eenheidsgrootte:	Middenspanning: kVA 0,4 kV - 150 kV			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	8760 uren			
Interactie met componenten:	Opwekking elektriciteit, opslag elektriciteit, conversie naar H2, HS- en LS-netten			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron: CE-Delft: - toename MS productie 6 > 37 GW - toename MS vraag 10 > 53 GW - ruimtebeslag hoof/distributiestations: 9 km2	Bron: CE-Delft: - toename MS productie 6 > 19 GW - toename MS vraag 10 > 22 GW - ruimtebeslag hoof/distributiestations: 9 km2	Bron: CE-Delft: - gelijke MS productie 6 GW - gelijke MS vraag 10 GW - ruimtebeslag hoof/distributiestations: 4 km2	Bron: CE-Delft: - toename MS productie 6 > 20 GW - toename MS vraag 10 > 20 GW - ruimtebeslag hoof/distributiestations: 7 km2
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Heel NL, regionale distributie	Heel NL, regionale distributie	Heel NL, regionale distributie	Heel NL, regionale distributie
Kenmerken net:	Verdeling naar regio's			
Kenmerken opslag:	N.v.t.			
Opmerkingen:				

Olieopslag (ondergronds)

Olieopslag (ondergronds)	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Injectie en productie van dieselolie in zoutcavernes			
Plaats in het energiesysteem:	Opslag (tijdelijk/buffering)			
Energie-input + bron:	Gasolie / Diesel (uit raffinage en import)			
Energie-output + doel:	Gasolie/diesel, inzet voor strategische (kritische) doelen tijdens crises			
Typische eenheidsgrootte:	Huidige situatie: - gasolie/diesel, 250.000 m3 = 9 PJ (bron: Akzo-Nobel) - aanname LHV Diesel: 36 GJ/m3 (bron: www.engineeringtoolbox.com) - bron: www.twekkelo.nl: vulling met ca. 30 tankwagens per dag			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	Bron: Akzo-Nobel: de opslag is strategisch en zal iedere 5 jaar worden ververst. Minimaal 10 jaar in opslag			
Interactie met componenten:	Aanvoer met tankwagens vanuit een dieseloverslagstation			
Totale behoefte (jaarlijks):	Wettelijk bepaalde strategische voorraad gelijk aan verbruik gedurende 90 dagen (bedoeld voor evt. oliecrisis). In totaal zijn er twee ondergrondse cavernes (250.000 m3) in Twente	Wettelijk bepaalde strategische voorraad gelijk aan verbruik gedurende 90 dagen (bedoeld voor evt. oliecrisis). In totaal zijn er twee ondergrondse cavernes (250.000 m3) in Twente	Wettelijk bepaalde strategische voorraad gelijk aan verbruik gedurende 90 dagen (bedoeld voor evt. oliecrisis). In totaal zijn er twee ondergrondse cavernes (250.000 m3) in Twente	Wettelijk bepaalde strategische voorraad gelijk aan verbruik gedurende 90 dagen (bedoeld voor evt. oliecrisis). In totaal zijn er twee ondergrondse cavernes (250.000 m3) in Twente
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Overijssel, 1 locatie	Overijssel, 1 locatie	Overijssel, 1 locatie	Overijssel, 1 locatie
Kenmerken net:	N.v.t.			
Kenmerken opslag:	Gasolie/diesel, 5-10 jaar opslag			
Opmerkingen:	Kunnen ook worden gebruikt voor opslag van bio-diesel Uit de scenario's van CE-Delft volgen geen verdere indicaties van benodigde olieopslag			

Olieopslag (in opslagtanks)

Olieopslag (in tanks)	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Opslag / overslag van olieproduction in bovengrondse tanks			
Plaats in het energiesysteem:	Opslag (tijdelijk/buffering)			
Energie-input + bron:	ruwe olie, aardolieproducten, bio-diesel (uit import, winning, raffinage)			
Energie-output + doel:	ruwe olie, aardolieproducten, bio-diesel (naar export en eindgebruik in feedstock, HT, transport)			
Typische eenheidsgrootte:	Bron: Port of Rotterdam: - Tank capaciteit range 500 m3 - 70.000 m3			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	8760 uren			
Interactie met componenten:	Aanvoer met tankwagens vanuit een dieseloverslagstation			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron: Port of Rotterdam: Huidige situatie in Rotterdam havengebied: - totaal 593 opslag tanks - totale capaciteit: ruim 9 miljoen m3 - totale oppervlakte: 3.842.000 m2	Bron: Port of Rotterdam: Huidige situatie in Rotterdam havengebied: - totaal 593 opslag tanks - totale capaciteit: ruim 9 miljoen m3 - totale oppervlakte: 3.842.000 m2	Bron: Port of Rotterdam: Huidige situatie in Rotterdam havengebied: - totaal 593 opslag tanks - totale capaciteit: ruim 9 miljoen m3 - totale oppervlakte: 3.842.000 m2	Bron: Port of Rotterdam: Huidige situatie in Rotterdam havengebied: - totaal 593 opslag tanks - totale capaciteit: ruim 9 miljoen m3 - totale oppervlakte: 3.842.000 m2
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Havengebieden: Rotterdam, Amsterdam, Eemshaven	Havengebieden: Rotterdam, Amsterdam, Eemshaven	Havengebieden: Rotterdam, Amsterdam, Eemshaven	Havengebieden: Rotterdam, Amsterdam, Eemshaven
Kenmerken net:	N.v.t.			
Kenmerken opslag:	Een deel van de opslag van aardolie zit ook in schepen (tankers) die voor de kust liggen			
Opmerkingen:	Uit de scenario's van CE-Delft volgen geen verdere indicaties van benodigde olieopslag			

Raffinaderij (aardolie)

Raffinaderij (aardolie)	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Raffinage van crude (aardolie) in olieproducten/brandstof			
Plaats in het energiesysteem:	Conversie			
Energie-input + bron:	Crude/aardolie (oliewinning, import)			
Energie-output + doel:	Olieproducten, brandstof (transport, industrie feedstock)			
Typische eenheidsgrootte:	Ca. 10 miljoen ton crude/jaar (range 7 - 20 miljoen ton) Bron: TNO jaarboek delfstoffen/aardwarmte: calorische waarde crude 42,7 GJ/Ton			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	Ca. 8400 uren/jaar, (range 8000 - 8760)			
Interactie met componenten:	Olieleiding, schiptransport, gasolieopslag			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron CE-Delft: - 36 PJ / jaar naar feedstock - 34 PJ jaar naar HT - 1 raffinaderij voor vraag NL	Bron CE-Delft: - 36 PJ / jaar naar feedstock - 34 PJ jaar naar HT - 1 raffinaderij voor vraag NL	Bron CE-Delft: - 138,5 PJ / jaar naar feedstock - 44,6 PJ jaar naar HT - ca. 2-3 raffinaderijen voor vraag NL	Bron CE-Delft: - 382 PJ / jaar naar feedstock - 122,3 PJ jaar naar HT - gelijk aan de huidige 4-5 raffinaderijen
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Haven-industriegebieden	Haven-industriegebieden	Haven-industriegebieden	Haven-industriegebieden
Kenmerken net:	Olieleidingen, schiptransport			
Kenmerken opslag:	Aardolie opslagtanks, ondergrondse gasolie/diesel opslag			
Opmerkingen:	Veel raffinaderijen zijn ook gericht op producten voor export. CE-Delft kijkt naar de binnenlandse vraag. Afhankelijk van de vraag vanuit buitenland (export), kan het aantal raffinaderijen hoger liggen.			

Raffinaderij (biobrandstoffen)

Raffinaderij (biobrandstoffen)	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Raffinage van biomassa (vloeistoffen) tot biobrandstoffen/grondstoffen			
Plaats in het energiesysteem:	Conversie			
Energie-input + bron:	Biomassa, warmte, elektriciteit LHV van ruwe biomassa varieert sterk met type biomassa en vochtgraad (5 GJ/ton - 17 GJ/ton, Bron: Quaak et al, 1999: Energy from biomass). Hier is ca. 13 GJ/ton aangenomen			
Energie-output + doel:	Biobrandstoffen (ethanol, methanol, bio-diesel) en bio-feedstok (groene grondstoffen industrie) Bijproducten warmte (warmtenetten) en elektriciteit			
Typische eenheidsgrootte:	50-200 MW (biomassa input ca. 15 tot 60 ton/uur = ca. 1,5 PJ / jaar - 6,5 PJ / jaar)			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	8400 uren/jaar, (range 8000 - 8760)			
Interactie met componenten:	Biomassa opslagdepots, Biomassa transport (vloeibaar), transport voor bio-based producten/brandstof, distributiestations biobrandstof, opslag bio-brandstoffen			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron: CE-Delft: - 11,4 PJ biomassa naar feedstock - ca. 2 - 8 raffinaderijen	Bron: CE-Delft: - 11,4 PJ biomassa naar feedstock - ca. 2 - 8 raffinaderijen	Bron: CE-Delft: - 150,3 PJ biomassa naar transportbrandstof en feedstock - tot ca. 25 grotere raffinaderijen	Bron: CE-Delft: - 59,2 PJ biomassa naar transportbrandstof - tot ca. 9 grotere raffinaderijen
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Met name havengebieden en grotere industriegebieden	Met name havengebieden en grotere industriegebieden	Met name havengebieden en grotere industriegebieden	Met name havengebieden en grotere industriegebieden
Kenmerken net:	N.v.t.			
Kenmerken opslag:	Een bio-raffinaderij heeft een eigen opslagdepot voor biomassa om een constant productieproces te garanderen.			
Opmerkingen:	Een bio-raffinaderij produceert bio-brandstoffen/producten, warmte en elektriciteit. De input bestaat uit ruwe biomassa, elektriciteit en warmte (geproduceerd door brandstof 'X'). Voor de efficientie kan het gehele systeem worden beschouwd (inclusief invoer en afzet van warmte/elektriciteit) of alleen de productie van de bio-brandstoffen/producten. Aangezien het CE-Delft rapport geen differentiatie geeft van de elektriciteit en warmte die uit bio-raffinage wordt geproduceerd, is alleen de productie van bio-brandstoffen en bio-feedstock beschouwd (biomassa > transport). De efficientie varieert hierbij tussen 20% (ethanol) en 40% (methanol) (Bron: http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/local_162671.pdf). Bioraffinaderijen zijn over het algemeen kleinschaliger dan olieraffinaderijen (grondstof input ca. 0,5 miljoen ton/jaar bio vs. ca. 10 miljoen ton voor olieraffinage)			

Regionale gasnet (distributie van aardgas, biogas en waterstof)

Regionale gasnet (distributie)	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Distributie van aardgas en CO2-vrije gassen naar eindgebruikers (vnl. gebouwde omgeving)			
Plaats in het energiesysteem:	Transport (distributie)			
Energie-input + bron:	Aardgas, groengas, waterstof uit hogedruk gasnet			
Energie-output + doel:	Aardgas, groengas, waterstof naar eindgebruik (HT, LT, feedstock)			
Typische eenheidsgrootte:	Huidige doorvoer van het totale regionale gas distributienet ca. 12 bcm / jaar Voor totale behoeft in toekomstig energiesysteem: zie 'Totale behoefte (vraag op jaarbasis)' voor behoefte aan uitbreiding capaciteit regionaal netwerk.			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	8760 uren			
Interactie met componenten:	Van HP gasnet naar eindgebruikers, regionale opslagen (bijv. opslagtanks waterstof, groengas)			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron: CE-Delft: - totale doorvoer per jaar naar eindverbruik excl. elektriciteit: (0 PJ aardgas, 183 PJ groengas, 329 PJ H2): totaal ca. 35 bcm gas - ruimtebeslag 3 x huidig	Bron: CE-Delft: - totale doorvoer per jaar naar eindverbruik excl. elektriciteit: (0 PJ aardgas, 180 PJ groengas, 545 PJ H2): totaal ca. 55 bcm gas - ruimtebeslag 4 a 5 x huidig	Bron: CE-Delft: - totale doorvoer per jaar naar eindverbruik excl. elektriciteit: (28 PJ aardgas, 308 PJ groengas, 251 PJ H2): totaal ca. 32 bcm gas - ruimtebeslag 2 a 3 x huidig	Bron: CE-Delft: - totale doorvoer per jaar naar eindverbruik excl. elektriciteit: (220 PJ aardgas, 487 PJ groengas, 114 PJ H2): totaal ca. 27 bcm gas - ruimtebeslag 2 a 3 x huidig
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Distributie naar gebouwde omgeving (fijnmazig), landsbreed	Distributie naar gebouwde omgeving (fijnmazig), landsbreed	Distributie naar gebouwde omgeving (fijnmazig), landsbreed	Distributie naar gebouwde omgeving (fijnmazig), landsbreed
Kenmerken net:	Hergebruik (met beperkte aanpassingen) van huidig distributie-netwerk			
Kenmerken opslag:	N.v.t.			
Opmerkingen:	Onzeker is, of waterstof daadwerkelijk op grote schaal naar gebouwde omgeving zal gaan.			

Restwarmte

Restwarmte	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Restwarmte uit industriële processen en energieopwekking (o.a. afvalverbranding)			
Plaats in het energiesysteem:	Conversie			
Energie-input + bron:	Warmte uit industrie/afvalverbranding			
Energie-output + doel:	Warmte (warm water)			
Typische eenheidsgrootte:	Ca. 50-100 MW			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	Ca. 5900 uur			
Interactie met componenten:	Warmtenetten			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron: CE-Delft: - ca. 25 PJ / jaar (80 PJ voor geothermie + restwarmte) - ca. 12 tot 24 installaties	Bron: CE-Delft: - ca. 2,8 PJ / jaar (5,5 PJ voor geothermie + restwarmte) - ca. 2 tot 5 installaties	Bron: CE-Delft: - ca. 2,4 PJ / jaar (4,7 PJ voor geothermie + restwarmte) - ca. 2 tot 4 installaties	Bron: CE-Delft: - 0 PJ - geen nieuwe systemen
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Industriegebieden en locaties met energiecentrales	Industriegebieden en locaties met energiecentrales	Industriegebieden en locaties met energiecentrales	Industriegebieden en locaties met energiecentrales
Kenmerken net:	N.v.t.			
Kenmerken opslag:	N.v.t.			
Opmerkingen:	CE-Delft aggregeert energie uit restwarmte en geothermie. De onderverdeling is hier bepaald op basis van de verhouding restwarmte/geothermie die wordt gegeven bij de grafiek voor WEQ (aantallen woningequivalenten)			

Vergassing biowaterstof

Vergassing (biowaterstof)	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Waterstof uit biomassa (met CCS)			
Plaats in het energiesysteem:	Conversie			
Energie-input + bron:	Biomassa			
Energie-output + doel:	Waterstof (en CO2) > transport, feedstock, H2 WKK gascentrale, HT warmte industrie			
Typische eenheidsgrootte:	Ca. 4000 Nm3/uur Verbrandingswaarde waterstof: 10,79 MJ/Nm3 Bron: Cohce, Rosen, Dincer 2011: efficientie Biomassa > H2 vergassing 47% (energie-inhoud H2 / energie-inhoud biomassa op basis van LHV)			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	7500 uren/jaar			
Interactie met componenten:	Biomassa transport, Gas transportnet (ombouw naar H2), bestaand H2 net, regionaal gasdistributie net Via transport en gasnet verbonden met opslagdepots (biomassa), opslagtanks, opslag in zoutcavernes (H2)			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron: CE-Delft: 35,8 PJ biomassa naar H2 conversie ca. 52 installaties (obv 47% efficientie)	Bron: CE-Delft: 57,3 PJ biomassa naar H2 conversie ca. 84 installaties (obv 47% efficientie)	Bron: CE-Delft: 233,6 PJ biomassa naar H2 conversie ca. 343 installaties (obv 47% efficientie)	Bron: CE-Delft: 100,5 PJ biomassa naar H2 conversie ca. 148 installaties (obv 47% efficientie)
	Bron: TKI-Energie Routekaart Waterstof: huidige productie H2 (uit aardgas) bedraagt ca. 10 miljard m3 (ca,108 PJ) op basis van 10% totaal NL aardgasgebruik			
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Heel NL	Heel NL	Heel NL	Heel NL
Kenmerken net:	N.v.t.			
Kenmerken opslag:	N.v.t.			
Opmerkingen:				

Vergassing groen gas

Vergassing (groen gas)	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Groen gas uit vergassing			
Plaats in het energiesysteem:	Conversie			
Energie-input + bron:	Biomassa			
Energie-output + doel:	Groen gas / Methaan, HT/LT warmtevraag, transport, WKK gascentrale			
Typische eenheidsgrootte:	Ca. 7800 Nm3/uur (100 MW biomassa input, ca. 30 ton/uur) Verbrandingswaarde groen gas: 31,65 MJ/Nm3			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	Ca. 7500 uren/jaar			
Interactie met componenten:	Gas transportnet, lokaal gasnet Via transport verbonden met opslagdepots (biomassa), opslagtanks; via gasnet verbonden met aardgasopslagen			
Totale behoefte (jaarlijks):	Groen gas totaal 225 PJ / jaar uit vergisting en vergassing Indien 100% vergassing: 110 installaties In termen van energie: 68x huidig	Groen gas totaal 214 PJ / jaar uit vergisting en vergassing Indien 100% vergassing: 105 installaties In termen van energie: 68x huidig	Groen gas totaal 349 PJ / jaar Grotendeels uit import (geen uitbreiding van installaties)	Groen gas totaal 542 PJ / jaar Grotendeels uit import (geen uitbreiding van installaties)
	Bron CBS: Totale opwekking biogas (netto) 2017: 3,28 PJ			
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Heel NL	Heel NL	Heel NL	Heel NL
Kenmerken net:	N.v.t.			
Kenmerken opslag:	N.v.t.			
Opmerkingen:	CE-Delft benoemt geen onderverdeling naar vergisting/vergassing. Bij Internationaal en Generiek wordt uitgegaan van groengas import (dus geen uitbreiding binnenlandse vergisting/vergassing)			

Vergisting groen gas

Vergisting (groen gas)	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Groen gas uit vergisting			
Plaats in het energiesysteem:	Conversie			
Energie-input + bron:	Biomassa			
Energie-output + doel:	Groen gas / Methaan, HT/LT warmtevraag, transport, WKK gascentrale			
Typische eenheidsgrootte:	Ca. 600 Nm3/uur (range 40 - 600) Verbrandingswaarde groen gas: 31,65 MJ/Nm3			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	Ca. 8000 uren/jaar			
Interactie met componenten:	Gas transportnet, lokaal gasnet Via transport verbonden met opslagdepots (biomassa), opslagtanks			
Totale behoefte (jaarlijks):	Groen gas totaal 225 PJ / jaar uit vergisting en vergassing Indien 100% vergisting: 1480 installaties In termen van energie: 68x huidig	Groen gas totaal 214 PJ / jaar uit vergisting en vergassing Indien 100% vergisting: 1410 installaties In termen van energie 65x huidig	Groen gas totaal 349 PJ / jaar Grotendeels uit import (geen uitbreiding van installaties)	Groen gas totaal 542 PJ / jaar Grotendeels uit import (geen uitbreiding van installaties)
	Bron CBS: Totale opwekking biogas (netto) 2017: 3,28 PJ			
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Heel NL	Heel NL	Heel NL	Heel NL
Kenmerken net:	N.v.t.			
Kenmerken opslag:	N.v.t.			
Opmerkingen:	CE-Delft benoemt geen onderverdeling naar vergisting/vergassing. Bij Internationaal en Generiek wordt uitgegaan van groengas import (dus geen uitbreiding binnenlandse vergisting/vergassing)			

Warmtenetten

Warmtenetten	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Koppeling van meerdere warmtebronnen en afnemers in een lokaal warm/koud water leidingnet			
Plaats in het energiesysteem:	Transport (distributie)			
Energie-input + bron:	Warmte (warm water van industrie, huishoudens, geothermie)			
Energie-output + doel:	Warmte (warm water voor huishoudens/utiliteitsgebouwen)			
Typische eenheidsgrootte:	Bron: CE-Delft O.b.v. huidig 27 PJ warmtelevering via warmtenetten en ca. 10.000 netten: 2.700 GJ per warmtenet			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	8760 uren			
Interactie met componenten:	Aansluitingen: geothermie, restwarmte, WKO, HTO, huizen, utiliteit, glastuinbouw, industrie			
Totale behoefte (jaarlijks):	Er zijn momenteel 300 grootschalige warmtenetten en > 10.000 netten bij woningcooperaties, samen goed voor ca. 27 PJ warmtelevering. - PBL schat dat warmtenetten in 2050 zo'n 50% van warmte in gebouwde omgeving leveren (waarvan 100 PJ in woningen). - CE-Delft schat het technisch potentieel van warmtenetten op ca. 290 PJ. - Uitbreiding tot ca. 10x huidige omvang.	Er zijn momenteel 300 grootschalige warmtenetten en > 10.000 netten bij woningcooperaties, samen goed voor ca. 27 PJ warmtelevering. - PBL schat dat warmtenetten in 2050 zo'n 50% van warmte in gebouwde omgeving leveren (waarvan 100 PJ in woningen) - CE-Delft schat het technisch potentieel van warmtenetten op ca. 290 PJ	Er zijn momenteel 300 grootschalige warmtenetten en > 10.000 netten bij woningcooperaties, samen goed voor ca. 27 PJ warmtelevering. - PBL schat dat warmtenetten in 2050 zo'n 50% van warmte in gebouwde omgeving leveren (waarvan 100 PJ in woningen). - CE-Delft schat het technisch potentieel van warmtenetten op ca. 290 PJ.	Er zijn momenteel 300 grootschalige warmtenetten en > 10.000 netten bij woningcooperaties, samen goed voor ca. 27 PJ warmtelevering. - PBL schat dat warmtenetten in 2050 zo'n 50% van warmte in gebouwde omgeving leveren (waarvan 100 PJ in woningen). - CE-Delft schat het technisch potentieel van warmtenetten op ca. 290 PJ.
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Heel NL. De netten worden lokaal tot regionaal aangelegd (woonwijken/stedelijk gebied, mogelijke aansluiting op industrie)	Heel NL. De netten worden lokaal tot regionaal aangelegd (woonwijken/stedelijk gebied, mogelijke aansluiting op industrie)	Heel NL. De netten worden lokaal tot regionaal aangelegd (woonwijken/stedelijk gebied, mogelijke aansluiting op industrie)	Heel NL. De netten worden lokaal tot regionaal aangelegd (woonwijken/stedelijk gebied, mogelijke aansluiting op industrie)
Kenmerken net:	Er is onderscheid tussen LT en HT netten. Warmtenetten worden ontwikkeld door energiebedrijven en woningcoorporaties			
Kenmerken opslag:	N.v.t.			
Opmerkingen:				

Warmte/koude-opslag

Warmte/koude opslag (WKO)	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Injectie/productie van koud/warm water. Open systemen in ondiepe (tot ca. 250m) aquifers, of gesloten systemen in bodem			
Plaats in het energiesysteem:	Opslag (tijdelijk/buffering)			
Energie-input + bron:	Warm en koud water uit warmtenetten, huizen en uitiliteitsgebouwen			
Energie-output + doel:	Warm en koud water: huisverwarming, utiliteitsgebouwen, buffering warmtenetten 1 jaar warmtevraag huishouden = ca. 35 GJ			
Typische eenheidsgrootte:	Bron CE-Delft: In 2015 ca. 3,8 PJ aan warmtelevering en 2 PJ aan koudelevering in open en gesloten bodemsystemen Bron IF-2016: In 2015 ca. 1976 open en 812 gesloten systemen			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	Ca. 6000 uur/jaar (3000 W>K opslag, 3000 K>W opslag)			
Interactie met componenten:	Onderdeel van warmtenetten, of direct verbonden met eindgebruiker (district, utiliteit)			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron CE-Delft: - 2,6 PJ / jaar - 98.000 Woning Equivalenten (1 WEQ = 150 m2 woonoppervlak) - ca. 1800 a 2000 open/gesloten systemen	Bron CE-Delft: - 0,35 PJ / jaar - 13.000 Woning Equivalenten (1 WEQ = 150 m2 woonoppervlak) - ca. 200 - 300 open/gesloten systemen	Bron CE-Delft: - 0,35 PJ / jaar - 13.000 Woning Equivalenten (1 WEQ = 150 m2 woonoppervlak) - ca. 200 - 300 open/gesloten systemen	Bron CE-Delft: - 0,30 PJ / jaar - 11.000 Woning Equivalenten (1 WEQ = 150 m2 woonoppervlak) - ca. 200 - 300 open/gesloten systemen
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Heel NL (land), focus in stedelijke gebieden	Heel NL (land), focus in stedelijke gebieden	Heel NL (land), focus in stedelijke gebieden	Heel NL (land), focus in stedelijke gebieden
Kenmerken net:	Direct verbonden met bron of met warmtenet			
Kenmerken opslag:	Warm/koud water, typisch seizoensgebonden (koeling zomer, verwarming winter)			
Opmerkingen:	Bij de berekening totale behoefte is uitgegaan van alleen de warmtelevering			

Warmteopslag (hoge temperatuur)

Hoge Temperatuur opslag (HTO)	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Injectie/productie van warm water (50 - 80°C) in matig diepe (100m - 1500m) aquifers (open systemen) >> doubletten Opslag van warm water in ondergrondse geisoleerde opslagvaten			
Plaats in het energiesysteem:	Opslag (tijdelijk/buffering)			
Energie-input + bron:	Warm water uit LT/HT bron, geothermie, industrie, warmtenet			
Energie-output + doel:	Warm water, lage temperatuur warmtevraag (glastuinbouw, geboude omgeving). Ondergrondse systemen varieren van ca. 20.000 tot 300.000 GJ opslagcapaciteit 1 jaar warmtevraag huishouden = ca. 35 GJ			
Typische eenheidsgrootte:	Ondergrondse aquifers: 6 - 25 MW(th) TNO 2016: HTO Utrecht Uithof (inmidels inactief) ca. 21.000 GJ (TNO-2013). Bovengrens: 25 MW * 3500 uur = 315.000 GJ Een ondergronds geisoleerd opslagvat van 140m3 met delta-T = 60°C heeft ca. 35 GJ			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	Winbare uren maximaal ca. 3760 uur			
Interactie met componenten:	Onderdeel van warmtenetten, of direct verbonden met eindgebruiker (district, utiliteit)			
Totale behoefte (jaarlijks):	CE-Delft geeft geen indicaties voor HTO. TNO schat in dat er een potentieel bestaat voor enkele honderden systemen in Nederland	CE-Delft geeft geen indicaties voor HTO. TNO schat in dat er een potentieel bestaat voor enkele honderden systemen in Nederland	CE-Delft geeft geen indicaties voor HTO. TNO schat in dat er een potentieel bestaat voor enkele honderden systemen in Nederland	CE-Delft geeft geen indicaties voor HTO. TNO schat in dat er een potentieel bestaat voor enkele honderden systemen in Nederland
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Grootste deel van NL (m.u.v. Zeeland, Limburg) komen in aanmerking als potentie	Grootste deel van NL (m.u.v. Zeeland, Limburg) komen in aanmerking als potentie	Grootste deel van NL (m.u.v. Zeeland, Limburg) komen in aanmerking als potentie	Grootste deel van NL (m.u.v. Zeeland, Limburg) komen in aanmerking als potentie
Kenmerken net:	N.v.t.			
Kenmerken opslag:	Warm water, typisch seizoensgebonden, maar kan ook op kortere (dag-week) cycli worden ingezet			
Opmerkingen:	Restricties t.a.v. injectie van warm water (>25°C a 30°C) boven 500 meter. In praktijk wordt ook wel onderscheid gemaakt voor MTO (midden temperatuur opslag 30° - 60°C) Alternatieven: opslag van warmte in PCM (phase changing materials)			

Warmtepompen (grootschalig)

Warmtepompen (grootschalig)	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Opwekking van warmte uit elektriciteit en lage temperatuur bronnen. Grootschalige pompsystemen in warmtenetten			
Plaats in het energiesysteem:	Conversie			
Energie-input + bron:	Elektriciteit en lage temperatuur warmte			
Energie-output + doel:	Warmte (warm water) in warmtenetten			
Typische eenheidsgrootte:	Ca. 10-25 MW			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	Ca. 4500 - 6000 uren			
Interactie met componenten:	Warmtenetten, lage-temperatuur bronnen, elektriciteitsnet (LS)			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron: CE-Delft: - 10 GW Power2Heat industrie - ca. 2-3x huidig vermogen - gelijk aan ca. 400 - 1000 industriele warmtepompen	Bron: CE-Delft: - 10 GW Power2Heat industrie - ca. 2-3x huidig vermogen - gelijk aan ca. 400 - 1000 industriele warmtepompen	Bron: CE-Delft: - 3 GW Power2Heat industrie - ca. gelijk aan huidig vermogen - gelijk aan ca. 120 - 300 industriele warmtepompen	Bron: CE-Delft: - 2 GW Power2Heat industrie - ca. helft huidig vermogen - gelijk aan ca. 80 - 200 industriele warmtepompen
	Bron CBS: totaal aatal opgestelde warmtepompen 2017 bedraagt 448.769 stuks Totaal vermogen 2017: 4.400 MW(th) en 11,1 PJ bruto warmteproductie			
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Heel NL, industriegebieden	Heel NL, industriegebieden	Heel NL, industriegebieden	Heel NL, industriegebieden
Kenmerken net:	N.v.t.			
Kenmerken opslag:	N.v.t.			
Opmerkingen:	Dit omvat niet de kleinschalige warmtepompen in gebouwde omgeving!			

Waterstofopslag (ondergronds)

Waterstofopslag (ondergronds)	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Injectie en productie van waterstofgas in/uit zoutcavernes.			
Plaats in het energiesysteem:	Opslag (tijdelijk/buffering)			
Energie-input + bron:	Waterstof (HP gasnet)			
Energie-output + doel:	Waterstof (HP gasnet)			
Typische eenheidsgrootte:	Bron: TNO, 2018: ca. 0,53 PJ werkgas in 1 caverne (werkgasvolume H2 50 mln m3). n.b. Zuidwending = 5 cavernes			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	Zuidwending volledige laad/ontlaadcyclus ca. 12dgn / 7dgn. Dus max. ca. 18 cycles per jaar			
Interactie met componenten:	Verbonden met H2 net (centraal, HP)			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron: CE-Delft: - 6,8 bcm waterstofgas. - ca. 130 - 140 cavernes (26-28 x Zuidwending) - Totaal ruimtegebruik ca 2-4 km2	Bron: CE-Delft: - 9,8 bcm waterstofgas. - ca. 180 - 220 cavernes (36-44 x Zuidwending) - Totaal ruimtegebruik ca 3-6 km2	Bron: CE-Delft: - 7,4 bcm waterstofgas. - ca. 140 - 160 cavernes (28-32 x Zuidwending) - Totaal ruimtegebruik ca 2-5 km2	Bron: CE-Delft: - 1,4 bcm waterstofgas. - ca. 25 - 35 cavernes (5-7 x Zuidwending) - Totaal ruimtegebruik <1 km2
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Nationaal en regionaal. In zoutcavernes in FR, GR, DR, OV	Nationaal en regionaal. In zoutcavernes in FR, GR, DR, OV	Nationaal en regionaal. In zoutcavernes in FR, GR, DR, OV	Nationaal en regionaal. In zoutcavernes in FR, GR, DR, OV
Kenmerken net:	N.v.t.			
Kenmerken opslag:	Zoutcavernes zijn bewezen optie voor buffering H2 voor industrie (grondstof) > VS en UK (vergelijkbaar met gasopslagen in zout) Gasvelden nog te bewijzen als optie (afsluiting, kwaliteit H2, chemische reakties, productiesnelheid)			
Opmerkingen:	Tijdelijke opslag Waterstof kan mogelijk ook met grotere volumes worden gebufferd in lege gasvelden (ca. 1-5 bcm per gasveld). Haalbaarheid moet echter nog worden bewezen Bovengronds alternatief (bij eindgebruiker en binnen RND gasnet) zijn grote opslagtanks (cf. Kennedy Space Center = 3500 m3 vloeibaar H2 oftewel ca. 0,03 PJ) Er zijn nog kanttekeningen rond de benodigde productiesnelheid van H2 uit cavernes bij inzet voor energievoorziening (veel meer compressie nodig dan bij aardgas)			

Wind op land

Wind op land	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Windmolens op land (enkelen of kleine parken)			
Plaats in het energiesysteem:	Opwekking (primair)			
Energie-input + bron:	Windkracht			
Energie-output + doel:	Elektriciteit naar MS-netwerk			
Typische eenheidsgrootte:	Ca. 3 MWe (range 2 - 4 MWe)			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	Ca. 2350 uren/jaar (bij <7 m/s) - 3500 uren/jaar (bij >8 m/s) Aanname CE-Delft: 3000 uren			
Interactie met componenten:	(E)HS netwerk en elektriciteitsopslag, conversie naar waterstof (elektrolyse) plus offshore H2 transport, connectie met gelijkstroom Elektriciteisopslag via HS netwerk: Perslucht, Pomp Accumulatie, batterijen, Power 2 Gas			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron: CE-Delft: - totaal wind op land: 19 GWe (5-6x huidig) - totaal windenergie: 605,3 PJ - ruimtebeslag: ca. 2.400 km2 (6% van landoppervlakte) - ca. 6.330 turbines	Bron: CE-Delft: - totaal wind op land: 14 GWe (4-5x huidig) - totaal windenergie: 1.014,2 PJ - ruimtebeslag: ca. 2.000 km2 (5% van landoppervlakte) - ca. 4.670 turbines (4-5x huidig)	Bron: CE-Delft: - totaal wind op land: 5 GWe (1-2x huidig) - totaal windenergie: 158,5 PJ - ruimtebeslag: ca. 760 km2 (2% van landoppervlakte) - ca. 1.670 turbines	Bron: CE-Delft: - totaal wind op land: 5 GWe (1-2x huidig) - totaal windenergie: 125,5 PJ - ruimtebeslag: ca. 700 km2 (2% van landoppervlakte) - ca. 1.670 turbines
	Bron CBS: Opgesteld vermogen Wind op land 2017: 3.245 MWe			
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Heel NL (land)	Heel NL (land)	Heel NL (land)	Heel NL (land)
Kenmerken net:	N.v.t.			
Kenmerken opslag:	N.v.t.			
Opmerkingen:				

Wind op zee

Wind op zee	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Grootschalige windmolenparken op zee			
Plaats in het energiesysteem:	Opwekking (primair)			
Energie-input + bron:	Windkracht			
Energie-output + doel:	Elektriciteit naar (E)HS-netwerk			
Typische eenheidsgrootte:	Ca. 8 MWe (range 3 - 10 MWe)			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	Range 4000 - 4500 uren Aanname CE-Delft: 4500 uren			
Interactie met componenten:	(E)HS netwerk en elektriciteitsopslag, conversie naar waterstof (elektrolyse) plus offshore H2 transport, connectie met gelijkstroom Elektriciteisopslag via HS netwerk: Perslucht, Pomp Accumulatie, batterijen, Power 2 Gas			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron: CE-Delft: - totaal wind op zee: 26 GWe (26x huidig) - totaal windenergie: 605,3 PJ - ruimtebeslag: ca. 3.800 km2 (7% van NL Noordzeeoppervlakte) - ca. 3.250 turbines	Bron: CE-Delft: - totaal wind op zee: 53 GWe (53x huidig) - totaal windenergie: 1.104,2 PJ - ruimtebeslag: ca. 7.600 km2 (13% van NL Noordzeeoppervlakte) - ca. 6.625 turbines	Bron: CE-Delft: - totaal wind op zee: 6 GWe (6x huidig) - totaal windenergie: 158,5 PJ - ruimtebeslag: ca. 900 km2 (2% van NL Noordzeeoppervlakte) - ca. 750 turbines	Bron: CE-Delft: - totaal wind op zee: 5 GWe (5x huidig) - totaal windenergie: 125,5 PJ - ruimtebeslag: ca. 650 km2 (1% van NL Noordzeeoppervlakte) - ca. 625 turbines
	Bron CBS: Opgesteld vermogen Wind op zee 2017: 957 MWe			
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Offshore	Offshore	Offshore	Offshore
Kenmerken net:	N.v.t.			
Kenmerken opslag:	N.v.t.			
Opmerkingen:				

Zon PV (zon op dak)

Zon PV (zon op dak)	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Zonnepanelen op gebouwen			
Plaats in het energiesysteem:	Opwekking (primair)			
Energie-input + bron:	Elektriciteit (laagspanning)			
Energie-output + doel:	Elektriciteit (laagspanning)			
Typische eenheidsgrootte:	Ca. 3 KWe (range 1 - 1000 KWe)			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	Ca. 950 uren (range 700 - 1000) Aanname CE-Delft: 1000 uren			
Interactie met componenten:	LS-net, lokale opslagsystemen (thuisbatterijen)			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron: CE-Delft: - totaal zon PV: 84 GWe / 302,6 PJ - ruimtebeslag daken: ca. 400 km2 (100% van dakoppervlakte)	Bron: CE-Delft: - totaal zon PV: 34 GWe / 121,1 PJ - ruimtebeslag daken: ca. 180 km2 (44% van dakoppervlakte)	Bron: CE-Delft: - totaal zon PV: 16 GWe / 56,3 PJ - ruimtebeslag daken: ca. 80 km2 (20% van dakoppervlakte)	Bron: CE-Delft: - totaal zon PV: 18 GWe / 63,8 PJ - ruimtebeslag daken: ca. 90 km2 (23% van dakoppervlakte)
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Heel NL	Heel NL	Heel NL	Heel NL
Kenmerken net:	N.v.t.			
Kenmerken opslag:	N.v.t.			
Opmerkingen:	CE-Delft onderverdeling naar zonneweides en zon PV op daken alleen in termen van ruimtebeslag (niet in hoeveelheid vermogen/energie)			

Zon PV (zonnepark)

Zon PV (zonnepark)	**Regie regionaal**	**Regie nationaal**	**Regie internationaal**	**Generieke sturing**
Korte beschrijving:	Grote zonneparken en zonneweides op land			
Plaats in het energiesysteem:	Opwekking (primair)			
Energie-input + bron:	Zonnestraling			
Energie-output + doel:	Elektriciteit naar MS-netwerk			
Typische eenheidsgrootte:	Ca. 5 MWe (range 0,1 - 100 MWe)			
Typische bedrijfstijd op jaarbasis:	Ca. 950 uren (range 900 - 1000) Aanname CE-Delft: 1000 uren			
Interactie met componenten:	MS-netwerk, mogelijk gekoppeld aan lokale opslagsystemen of gecentraliseerde opslag (via centraal elektriciteitsnet)			
Totale behoefte (jaarlijks):	Bron: CE-Delft: - totaal zon PV: 84 GWe / 302,6 PJ - ruimtebeslag zonneweides ca. 500 km2 (5% van grasland)	Bron: CE-Delft: - totaal zon PV: 34 GWe / 121,1 PJ - ruimtebeslag zonneweides ca. 180 km2 (2% van grasland)	Bron: CE-Delft: - totaal zon PV: 16 GWe / 56,3 PJ - ruimtebeslag zonneweides ca. 80 km2 (1% van grasland)	Bron: CE-Delft: - totaal zon PV: 18 GWe / 63,8 PJ - ruimtebeslag zonneweides ca. 90 km2 (1% van grasland)
Technische kenmerken:				
Geografische scope:	Heel NL, open gebieden	Heel NL, open gebieden	Heel NL, open gebieden	Heel NL, open gebieden
Kenmerken net:	N.v.t.			
Kenmerken opslag:	N.v.t.			
Opmerkingen:	Bron: CE-Delft 2016: ca. 12 - 13 m2 grasland oppervlakte per KW CE-Delft onderverdeling naar zonneweides en zon PV op daken alleen in termen van ruimtebeslag (niet in hoeveelheid vermogen/energie)			

Staatstoezicht op de Mijnen
Henri Faasdreef 312 | Den Haag
Postbus 24037 | 2490 AA Den Haag
T 070 379 84 00
F 070 379 84 55
sodm@minez.nl
www.sodm.nl