



## Beoordeling van systeemconcepten voor duurzame gebieden

EOS LT 07051, taak 3.4

Datum Augustus 2012

Ernst-Jan Bakker (TNO) en Gerrit Jan Ruijg (ECN)

in opdracht van Agentschap NL (nu Rijksdienst voor  
Ondernemend Nederland)

[www.rvo.nl](http://www.rvo.nl)



# Rapportage Taak 3.4 van het EOS-LT project TRANSEP-DGO

Auteurs: Ernst-Jan Bakker (TNO) en Gerrit Jan Ruijg (ECN / zelfstandig consultant)

Augustus 2012

## 3.4.1 Inleiding

In deze rapportage worden ecologische, economische en sociale aspecten geëvalueerd van de technische concepten die zijn ontwikkeld in WP3 van het TRANSEP-DGO project [1]. Hiertoe wordt een methodiek voor de beoordeling van nieuwe systeemconcepten gehanteerd die in 2006 door het PBL (toen nog MNP) is ontwikkeld voor de evaluatie van transitiepaden die in het kader van het 4<sup>e</sup> Nationale Milieubeleidsplan van het Ministerie van VROM in 2005 zijn opgesteld [2]. De methode maakt gebruik van duurzaamheidsindicatoren, voor zowel effecten binnen Nederland als daarbuiten. Mogelijk voor deze evaluatie te hanteren indicatoren zijn samengevat in onderstaande tabel.

Tabel 1 Mogelijke duurzaamheidsindicatoren voor evaluatie van transitiepaden

	Sociaal	Economisch	Ecologisch
Nederland	Leveringszekerheid	BBP	Verzurende emissies
	Koopkrachtverschillen	Voorzieningszekerheid	Lokale luchtverontreiniging
	Veiligheid	Werkgelegenheid	Bodemverontreiniging
	Hinder	Lock-in	Geluidshinder Natuurwaarde/biodiversiteit Ruimtebeslag
Elders	Geopolitieke stabiliteit	Wereldhandel/BBP	Klimaat effecten
	Veiligheid	Werkgelegenheid	Natuurwaarde/biodiversiteit
		Beschikbaarheid van Zoetwater	Landgebruik(voetafdruk) Uitputting van grondstoffen

Op basis van deze indicatoren en wat men belangrijk vindt kan men bepalen welke optie(s) de meeste voordelen voor milieu en natuur opleveren.






















Hierna worden eerst per concept relevante indicatoren beoordeeld. Vervolgens worden de resultaten van de analyses met elkaar vergeleken, en worden conclusies getrokken.

### 3.4.2 Geohubs

Het hart van geohubs wordt gevormd door één of meer geothermische doubletten en het bijbehorende hoge temperatuur warmtedistributiesysteem. Door de hoge temperatuur is het systeem in staat rechtstreeks tapwater van 70°C te leveren. Zuidgerichte daken zijn voorzien van PV panelen. Het overschot aan elektriciteit kan worden benut voor het laden van elektrische auto's.

De energieneutraliteit van geohubs is geschat op te lopen van 96% in 2020 tot 165% in 2050. Als vervoer wordt meegeteld is dit respectievelijk 61% tot 96% [1].

Voor de beoordeling van de potentiële effecten van de systeemoptie geohubs wordt als referentie uitgegaan van doorontwikkelde conventionele technologie. Voor woon- en werkwijken zijn dit HR-ketels voor ruimteverwarming en tapwater, centrale elektriciteitsopwekking, en compressiekoelinstallaties. Voor personenvervoer zijn benzineauto's en dieselbussen de referentie, en dieselvracht- en bestelauto's voor goederenvervoer.

	Sociaal		Economisch		Ecologisch	
Nederland	Leveringszekerheid		BBP		Verzurende emissies	
	Koopkracht-verschillen		Voorzieningszekerheid		Lokale luchtverontreiniging	
	Veiligheid		Werkgelegenheid		Bodemverontreiniging	
			Lock-in			
Elders	Geopolitieke stabiliteit		Wereldhandel		Klimaat effecten	
	Veiligheid		Werkgelegenheid		Natuurwaarde/biodiversiteit	
		 slechter	 iets slechter	 neutraal	 iets beter	 beter

**Figuur 1** *Beoordeling van Geohubs aan de hand van een duurzaamheidsindicatorenset.*

#### Mogelijke sociale effecten in Nederland.

De voornaamste sociale effecten van de systeemoptie geohubs betreffen leveringszekerheid, koopkracht en veiligheid.

Leveringszekerheid is als neutraal beoordeeld, omdat de betrouwbaarheid van een warmtenet net zo hoog wordt geacht als die van een gasnet. Een warmtenet is weliswaar gevoelig voor storingen in de levering van elektriciteit, maar bij elektriciteitsuitval doen gasketels het ook niet meer.

De invloed van Geothermie op de koopkracht van huishoudens in vergelijking met de referentiesituatie is mede afhankelijk van de investeringskosten en energieprijzen. De aanvangsinvestering kan vrij hoog zijn, waardoor de vaste lasten een vrij groot aandeel van de bestedingen van lagere inkomens kunnen uitmaken. Daartegenover worden de energielasten minder afhankelijk van momentane energieprijzen. Koopkrachtverschillen zijn zodoende iets slechter beoordeeld, maar bij stijgende energieprijzen kan dit wel eens radicaal anders worden.

De veiligheid is iets verbeterd ten opzichte van de referentie beoordeeld vanwege de overgang van gas naar water als energiedistributiemiddel. Warmtedistributiesystemen kunnen gaan lekken met schade en verwondingen tot gevolg, maar de gevolgen van een gasexplosie ten gevolge van lekkages worden ernstiger ingeschat.

### **Mogelijke sociale effecten elders.**

Als voornaamste sociale effect elders is geopolitieke stabiliteit geïdentificeerd.

Een grote oorzaak van geopolitieke instabiliteit is de ongelijke verdeling van delf- en grondstoffen over de wereld. Alhoewel de winning van geothermische energie op slechts enkele plaatsen op de wereld makkelijk is, is het met wat meer moeite (zoals in Nederland) op vele plaatsen in de wereld winbaar, wat betekent dat er geen strijd over gevoerd hoeft te gaan worden. Ook door de vervanging van benzine- en dieselvevoer door elektrisch vervoer neemt de import van deze brandstoffen en daarmee de vraag naar ruwe olie af, dus ook geopolitieke problemen. De veiligheid neemt toe, omdat er minder (scheeps)transport nodig is om olie en gas te importeren.

### **Mogelijke economische effecten in Nederland**

De voornaamste economische effecten van de systeemoptie Geothermie betreffen bruto binnenlands product, voorzieningszekerheid en werkgelegenheid.

De vaste kosten voor het energiesysteem worden hoger voor burgers en bedrijven. Een groot deel van de kosten worden gemaakt voor de aanleg van het geothermisch systeem (ca. 1000 €/m diepte per boring, schuin boren is een factor 1.4 duurder [4] en de warmtedistributie. Dit geld wordt grotendeels in Nederland uitgegeven. Beide hebben zodoende een positieve uitwerking op het bruto binnenlands product.

De voorzieningszekerheid verbetert sterk omdat de onuitputtelijke bronnen aardwarmte en zon de inzet van aardgas vervangen. De temperatuur van een aardwarmtedoublet daalt weliswaar na enige tientallen jaren, maar kan met zonnewarmte worden geregenereerd, of er kan verderop een nieuw doublet worden geboord.

Effect op de werkgelegenheid kan moeilijk worden geschat. Enerzijds neemt de vraag naar onderhoudspersoneel voor ketels af, maar de vraag naar onderhoudspersoneel voor stadverwarming toe. Werkgelegenheid is zodoende als neutraal beoordeeld.

### **Mogelijke economische effecten elders**

De wereldhandel neemt af doordat de permanente import van ruwe olie en in de toekomst wellicht ook aardgas afneemt. Dit effect wordt waarschijnlijk niet gecompenseerd door de import van PV panelen, omdat dit vooral éénmalig is.

De werkgelegenheid in de olie- en gasindustrie elders neemt af door de verminderde import, wat wellicht niet wordt gecompenseerd door de toenemende werkgelegenheid in de PV industrie.

### **Mogelijke ecologische effecten in Nederland**

De voornaamste ecologische effecten van de systeemoptie Geohubs liggen op het terrein van lokale luchtverontreiniging, verzurende emissies en bodemverontreiniging. Er zijn geen gegevens bekend over eventuele effecten op ondergrondse fauna.

Door de sterke afname van verbrandingsprocessen zijn verzurende emissies en lokale luchtverontreiniging gereduceerd.

Bodemverontreiniging is neutraal tot iets verslechterd beoordeeld. De geothermische bron wordt aangelegd als een doublet met de bedoeling dat water dat uit de ene put wordt onttrokken via de andere put weer wordt geïnjecteerd. Hierdoor vindt er geen lozing van zout en mineraalhoudend grondwater in riolen of het oppervlaktewater plaats, zolang er geen lekkages optreden.

### **Mogelijke ecologische effecten elders**

Mogelijke ecologische effecten elders betreffen voornamelijk klimaateffecten en natuurwaarde/biodiversiteit.

Welke relatieve verbetering wordt behaald, wordt voornamelijk bepaald door het aandeel duurzaam in het energieverbruik. In 2020 is dit al bijna 100%, wat op kan lopen tot meer dan 160% in 2050, wat betekent dat het gebied netto duurzame energie kan exporteren. Ook als vervoer wordt meegenomen is rond 2050 volledige energieneutraliteit mogelijk [1]. Door de vervanging van aardgas door aardwarmte en zonne-energie dalen de broeikasgasemissies sterk.

Het winnen van fossiele brandstoffen kan gepaard gaan met (bodem)verontreiniging en verwoesting van landschap, zoals bij de bruinkoolwinning in Duitsland of de teerzandwinning in Canada, of door ongelukken zoals de Deepwater Horizon in de golf van Mexico. Vanwege de daling van het gebruik van fossiele brandstoffen is ook natuurwaarde/biodiversiteit als beter beoordeeld.






















### 3.4.3 Biohubs

Het hart van Biohubs wordt meestal gevormd door een afvalverbrandingsinstallatie of een biomassacentrale. Bij deze installaties komt veel warmte vrij uit de rookgasreiniging op een temperatuur van 40 à 50°C. In tegenstelling tot warmteproductie door stoom uit de turbine af te tappen leidt gebruik van deze warmte niet tot een daling van het elektrisch rendement van de installatie. Gezien de temperatuur ligt het gebruik van een lage temperatuur warmtedistributiesysteem voor de hand. Voor moderne ruimteverwarmingssystemen is deze temperatuur voldoende hoog, maar niet om rechtstreeks tapwater van 60°C te leveren. Om het tapwater na te verwarmen worden bij de gebruikers individuele warmtepompen met warmtebuffer geplaatst [1]. Het elektriciteitsgebruik van deze warmtepompen betekent dat de mate van energieneutraliteit van Biohubs iets lager is dan die van Geohubs. Zuidgerichte daken zijn voorzien van PV panelen. Het overschot aan elektriciteit wordt benut voor het laden van elektrische auto's.

De energieneutraliteit van Biohubs is geschat op te lopen van 93% in 2020 tot 165% in 2050. Als vervoer wordt meegeteld is dit respectievelijk 60% tot 96% [1].

Voor de beoordeling van de potentiële effecten van de systeemoptie Biohubs wordt als referentie uitgegaan van doorontwikkelde conventionele technologie. Voor woon- en werkwijken zijn dit HR-ketels voor ruimteverwarming en tapwater, centrale elektriciteitsopwekking, en compressiekoelinstallaties. Voor personenvervoer zijn benzineauto's en dieselbussen de referentie, en dieselvracht- en bestelauto's voor goederenvervoer.

De resultaten van de analyse zijn samengevat in onderstaande Figuur 2.

	Sociaal		Economisch		Ecologisch	
Nederland	Leveringszekerheid		BBP		Verzurende emissies	
	Koopkracht-verschillen		Voorzieningszekerheid		Lokale luchtverontreiniging	
	Veiligheid		Werkgelegenheid		Bodemverontreiniging	
Elders	Geopolitieke stabiliteit		Wereldhandel		Klimaat effecten	
	Veiligheid		Werkgelegenheid		Landgebruik	
					Natuurwaarde/biodiversiteit	
		 slechter	 iets slechter	 neutraal	 iets beter	 beter

**Figuur 2** *Beoordeling van Biohubs aan de hand van een duurzaamheidsindicatorenset.*

#### Mogelijke sociale effecten in Nederland.

De voornaamste sociale effecten van de systeemoptie Biohubs betreffen leveringszekerheid, koopkracht en veiligheid.

Leveringszekerheid is als neutraal tot iets verslechterd beoordeeld. De betrouwbaarheid van een warmtenet wordt net zo hoog geacht als die van een gasnet. Een warmtenet is weliswaar gevoelig voor storingen in de levering van elektriciteit, maar bij elektriciteitsuitval leveren gasketels ook geen

warmte meer. De afval- of biomassacentrale kan uitvallen, ook al wordt er vanuit gegaan dat er voldoende aardgasgestookte hulpketels aanwezig zijn. Maar de tegenwoordige afvalcentrales laten hoge betrouwbaarheid zien.

De invloed van Biohubs op de koopkracht van huishoudens in vergelijking met de referentiesituatie is mede afhankelijk van de investeringskosten en energieprijzen. De aanvangsinvestering kan vrij hoog zijn, waardoor de vaste lasten een vrij groot aandeel van de bestedingen van lagere inkomens kunnen uitmaken. Door het hoge rendement zijn de variabele kosten echter lager, en worden de energielasten minder afhankelijk van momentane energieprijzen. Koopkrachtverschillen zijn zodoende iets slechter beoordeeld, maar bij stijgende energieprijzen kan dit wel eens radicaal anders worden.

De veiligheid is iets verbeterd ten opzichte van de referentie beoordeeld vanwege de overgang van gas naar water als energiedistributiemiddel. Warmtedistributiesystemen kunnen gaan lekken met schade en verwondingen tot gevolg, maar de gevolgen van een gasexplosie ten gevolge van lekkages worden ernstiger ingeschat.

### **Mogelijke sociale effecten elders.**

Als voornaamste sociale effect elders is geopolitieke stabiliteit geïdentificeerd, en daarnaast veiligheid elders.

Een grote oorzaak van geopolitieke instabiliteit is de ongelijke verdeling van delf- en grondstoffen over de wereld. Biohubs leiden tot vermindering van de vraag naar fossiele brandstoffen, en daarmee minder geopolitieke spanning. Zolang Biohubs werken met binnenlandse biomassa, zoals biologische afvalstromen, zal er geen extra geopolitieke spanning optreden. Maar als er biomassa geïmporteerd gaat worden kan dat wel tot geopolitieke spanningen leiden, zeker als de teelt van de biomassa concurreert met de voedselvoorziening.

Ook door de vervanging van benzine- en dieselvevoer door elektrisch vervoer neemt de import van deze brandstoffen en daarmee de vraag naar ruwe olie af, dus ook geopolitieke problemen. De veiligheid neemt toe, omdat er minder (scheeps)transport nodig is om olie en gas te importeren.

### **Mogelijke economische effecten in Nederland**

De voornaamste economische effecten van de systeemoptie Biohubs betreffen bruto binnenlands product, voorzieningszekerheid en werkgelegenheid.

De vaste kosten voor het energiesysteem worden hoger voor burgers en bedrijven. Een groot deel van de investeringskosten wordt in Nederland uitgegeven. Biohubs hebben zodoende een positieve uitwerking op het bruto binnenlands product.

De voorzieningszekerheid verbetert sterk omdat de zon en de weliswaar beperkte maar onuitputtelijke bron biomassa de inzet van aardgas vervangen.

Het effect op de werkgelegenheid kan moeilijk worden ingeschat. Enerzijds neemt de vraag naar onderhoudspersoneel voor ketels af, maar de vraag naar onderhoudspersoneel voor stadverwarming en warmtepompen neemt toe. Werkgelegenheid is zodoende als neutraal tot iets beter beoordeeld.



### **Mogelijke economische effecten elders**

De wereldhandel neemt af doordat de permanente import van ruwe olie en in de toekomst wellicht ook aardgas afneemt. Dit effect wordt waarschijnlijk niet gecompenseerd door de import van PV panelen en warmtepompen, omdat dit vooral éénmalig is. De wereldhandel kan weer toenemen in geval van import van biomassa.

De werkgelegenheid in de olie- en gasindustrie elders neemt af door de verminderde import, wat wellicht niet wordt gecompenseerd door de toenemende werkgelegenheid in de PV- en warmtepompenindustrie.

### **Mogelijke ecologische effecten in Nederland**

De voornaamste ecologische effecten van de systeemoptie Biohubs liggen op het terrein van lokale luchtverontreiniging, verzurende emissies en bodemverontreiniging.

Door de sterke afname van verbrandingsprocessen in vervoer en de goede rookgasreiniging van de centrale zijn verzurende emissies en lokale luchtverontreiniging gereduceerd, al bevindt de overblijvende emissiebron zich wel dicht bij de wijken.

Bodemverontreiniging is neutraal tot iets verslechterd beoordeeld. Er is een kans op lekkages vanuit het afval of de biomassa in de afval- of biomassacentrale, of vanuit het verbrandingsproces, zoals teer, al wordt deze klein geacht.

### **Mogelijke ecologische effecten elders**

Mogelijke ecologische effecten elders betreffen voornamelijk broeikasgasemissies, maar mogelijk ook landgebruik en natuurwaarde/biodiversiteit.

Welke relatieve verbetering wordt behaald, wordt voornamelijk bepaald door het aandeel duurzaam in het energieverbruik. In 2020 is dit al bijna 100%, wat op kan lopen tot meer dan 160% in 2050, wat betekent dat het gebied netto duurzame energie kan exporteren. Ook als vervoer wordt meegenomen is rond 2050 volledige energieneutraliteit mogelijk [1]. Door de vervanging van aardgas door biomassa en zonne-energie dalen de broeikasgasemissies sterk.

Landgebruik is als neutraal tot iets slechter beoordeeld. Zolang er slechts afval en inlandse biomassa wordt gebruikt is er geen sprake van extra landgebruik, maar dit wordt anders als er biomassa van elders wordt geïmporteerd. Dit is ernstig als hierdoor concurrentie met de voedselvoorziening ontstaat of als de biomassa niet werkelijk duurzaam is (zie bijvoorbeeld de duurzaamheidscriteria in NTA 8080).

Het winnen van fossiele brandstoffen kan gepaard gaan met (bodem)verontreiniging en verwoesting van landschap, zoals bij de bruinkoolwinning in Duitsland of de teerzandwinning in Canada, of door ongelukken zoals de Deepwater Horizon in de golf van Mexico. De daling van het gebruik van fossiele brandstoffen leidt dan ook tot verbetering van natuurwaarde/biodiversiteit, al kan dit effect verminderen als het landgebruik voor biomassa toeneemt. Dit effect is daarom als iets beter beoordeeld.

### 3.4.4 Zonhubs

Het hart van Zonhubs wordt gevormd door een centrale warmteopslag met bijbehorend warmte-verzamel-distributiesysteem . Er zijn drie varianten mogelijk:























- 1) Hoge temperatuur warmteopslag bestaande uit één of meer geothermische doubletten en het bijbehorende hoge temperatuur bidirectioneel warmtedistributiesysteem. Door de hoge temperatuur is het systeem in staat rechtstreeks tapwater van 70°C te leveren.
- 2) Lage temperatuur warmteopslag in de ondiepe ondergrond of oppervlaktewater met een hoge temperatuur bidirectioneel warmtedistributiesysteem en centraal warmtepomp/organic rankine cycle (WP/ORC) systeem waarmee 's zomers elektriciteit wordt opgewekt op het temperatuurverschil tussen de zonnecollectoren en de warmteopslag, en 's winters met behulp van elektriciteit weer bruikbare warmte wordt opgewekt.
- 3) Lage temperatuur warmteopslag met een lage temperatuur bidirectioneel warmtedistributiesysteem en per gebouw een individueel WP/ORC systeem.

Zuidgerichte daken zijn voorzien van vacuümbuis zonnecollectoren die hoge temperaturen kunnen leveren, en PV panelen. Een overschot aan elektriciteit kan worden benut voor het laden van elektrische auto's.

De energieneutraliteit van Zonhubs is geschat op te lopen van 50% in 2020 tot 130% in 2050. Als vervoer wordt meegeteld is dit respectievelijk 30% tot 75% [1].

Voor de beoordeling van de potentiële effecten van de systeemoptie Zonhubs wordt als referentie uitgegaan van doorontwikkelde conventionele technologie. Voor woon- en werkwijken zijn dit HR-ketels voor ruimteverwarming en tapwater, centrale elektriciteitsopwekking, en compressiekoelinstallaties. Voor personenvervoer zijn benzineauto's en dieselbussen de referentie, en dieselvracht- en bestelauto's voor goederenvervoer.

De resultaten van de analyse zijn samengevat in onderstaande Figuur 3.

	Sociaal		Economisch		Ecologisch	
Nederland	Leveringszekerheid		BBP		Verzurende emissies	
	Koopkracht-verschillen		Voorzienings-zekerheid		Lokale lucht-verontreiniging	
	Veiligheid		Werkgelegenheid		Bodemverontreiniging	
			Lock-in effecten		Oppervlaktewater temperatuur	
					Ruimtebeslag	
Elders	Geopolitieke stabiliteit		Wereldhandel		Klimaat effecten	
	Veiligheid		Werkgelegenheid			
		 slechter	 iets slechter	 neutraal	 iets beter	 beter

**Figuur 3** *Beoordeling van Zonhubs aan de hand van een duurzaamheidsindicatorenset.*

Hieronder worden de resultaten van deze analyse toegelicht.

### **Mogelijke sociale effecten in Nederland.**

De voornaamste sociale effecten van de systeemoptie Zonhubs betreffen leveringszekerheid, koopkracht en veiligheid.

Leveringszekerheid is als neutraal beoordeeld, omdat de betrouwbaarheid van een warmtenet net zo hoog wordt geacht als die van een gasnet. Een warmtenet is weliswaar gevoelig voor storingen in de levering van elektriciteit, maar bij elektriciteitsuitval doen gasketels het ook niet meer.

De invloed van Zonhubs op de koopkracht van huishoudens in vergelijking met de referentiesituatie is mede afhankelijk van de investeringskosten en energieprijzen. De aanvangsinvestering zal behoorlijk hoog zijn, waardoor de vaste lasten een vrij groot aandeel van de bestedingen van lagere inkomens kunnen uitmaken. Daartegenover worden de energielasten minder afhankelijk van momentane energieprijzen. Koopkrachtverschillen zijn zodoende iets slechter beoordeeld, maar bij stijgende energieprijzen kan dit wel eens radicaal anders worden.

De veiligheid is iets verbeterd ten opzichte van de referentie beoordeeld vanwege de overgang van gas naar water als energiedistributiemiddel. Warmtedistributiesystemen kunnen gaan lekken met schade en verwondingen tot gevolg, maar de gevolgen van een gasexplosie ten gevolge van lekkages worden ernstiger ingeschat.

### **Mogelijke sociale effecten elders.**

Als voornaamste sociale effect elders zijn geopolitieke stabiliteit en veiligheid geïdentificeerd.

Een grote oorzaak van geopolitieke instabiliteit is de ongelijke verdeling van delf- en grondstoffen over de wereld. Zonthermische energie is vrijwel overal op de wereld winbaar, wat betekent dat er geen strijd over gevoerd hoeft te gaan worden. Ook door de vervanging van benzine- en dieselveervoer door elektrisch vervoer neemt de import van deze brandstoffen en daarmee de vraag naar ruwe olie af, dus ook geopolitieke problemen. De veiligheid neemt toe, omdat er minder (scheeps)transport nodig is om olie en gas te importeren.

### **Mogelijke economische effecten in Nederland**

De voornaamste economische effecten van de systeemoptie Zonhubs betreffen bruto binnenlands product, voorzieningszekerheid, werkgelegenheid en Lock-in.

De vaste kosten voor het energiesysteem worden hoger voor burgers en bedrijven. Een groot deel van de kosten worden gemaakt voor de aanleg van een geothermisch opslagsysteem (ca. 1000 €/m diepte per boring, schuin boren is een factor 1.4 duurder [4], de warmtedistributie en/of de WP/ORC('s)). Dit geld wordt grotendeels in Nederland uitgegeven. Beide hebben zodoende een positieve uitwerking op het bruto binnenlands product.

De voorzieningszekerheid verbetert omdat de onuitputtelijke bronnen zonnewarmte en zonnestroom de inzet van aardgas vervangen, maar niet sterk omdat deze optie met moeite aan de energievraag kan voldoen.

Effect op de werkgelegenheid kan moeilijk worden geschat. Enerzijds neemt de vraag naar CV onderhoudspersoneel af, maar de vraag naar onderhoudspersoneel voor stadverwarming neemt toe, evenals de vraag naar boorteam in geval van geothermische opslag. Werkgelegenheid is zodoende als neutraal tot iets verbeterd beoordeeld.

Lock-in is als iets slechter beoordeeld, omdat als er eenmaal een warmtenet is aangelegd men niet snel naar andere energiedragers dan warmte zal overstappen. Een warmtenet is duurder dan een gasnet, en zal over tientallen jaren terugverdiend moeten worden. Men zal hier daarom langer aan vasthouden dan aan een gasnet.

### **Mogelijke economische effecten elders**

De wereldhandel neemt af doordat de permanente import van ruwe olie en in de toekomst wellicht ook aardgas afneemt. Dit effect wordt waarschijnlijk niet gecompenseerd door de import van PV panelen en/of WP/ORC's, omdat dit vooral éénmalig is.

De werkgelegenheid in de olie- en gasindustrie elders neemt weliswaar af door de verminderde import, maar wordt wellicht meer dan gecompenseerd door de toenemende werkgelegenheid in de PV industrie, en de productie van warmtepomp/ORC systemen, die meest elders plaatsvinden.

### **Mogelijke ecologische effecten in Nederland**

De voornaamste ecologische effecten van de systeemoptie Zonhubs liggen op het terrein van lokale luchtverontreiniging, verzurende emissies, bodemverontreiniging, oppervlaktewatertemperatuur en ruimtebeslag.

Door de sterke afname van verbrandingsprocessen zijn verzurende emissies en lokale luchtverontreiniging gereduceerd.

Bodemverontreiniging is neutraal tot iets verslechterd beoordeeld. Geothermische opslag wordt aangelegd als een doublet met de bedoeling dat water dat uit de ene put wordt onttrokken via de andere put weer wordt geïnjecteerd. Hierdoor vindt er geen lozing van zout en mineraalhoudend grondwater in riolen of het oppervlaktewater plaats, zolang er geen lekkages optreden. Bij opslag in oppervlaktewater bestaat gevaar voor te hoge watertemperaturen als het watervolume te klein is voor de opslagbehoefte, wat consequenties voor het waterleven zou kunnen hebben.

Er is becijferd dat de daken van de woningen en gebouwen te weinig oppervlak hebben om met collectoren de totale warmtevraag en de warmteverliezen van het distributie/verzamelnet te dekken en met PV de totale elektriciteitsvraag. Er zou dan extra collectoroppervlak naast de gebouwen gezet kunnen worden. Vanwege dit mogelijke extra ruimtebeslag is deze indicator als iets slechter beoordeeld.

### **Mogelijke ecologische effecten elders**

Mogelijke ecologische effecten elders betreffen voornamelijk klimaat effecten. Welke relatieve verbetering wordt behaald, wordt voornamelijk bepaald door het aandeel duurzaam in het energieverbruik. In 2020 is dit al ongeveer 50%, wat op kan lopen tot meer dan 130% in 2050, wat betekent dat het gebied dan netto duurzame energie kan exporteren. Maar als vervoer wordt meegenomen is ook rond 2050 volledige energieneutraliteit niet mogelijk [1]. Maar door de toch minimaal gedeeltelijke vervanging van aardgas door zonnewarmte en duurzame elektriciteit dalen de broeikasgasemissies.




















### 3.4.5 All-electric

De systeemoptie All-Electric maakt gebruik van individuele elektrische warmtepompen. Zuidgerichte daken zijn voorzien van PV panelen, eventueel gecombineerd met zonnecollectoren. Een overschot aan elektriciteit kan worden benut voor het laden van elektrische auto's. Combinatie van zonnecollectoren met sorptiekoeling is buiten beschouwing gelaten omdat de elektrische warmtepompen al in staat zijn koeling te leveren.

De energieneutraliteit van de systeemoptie All-Electric is geschat op te lopen van ruim 70% in 2020 tot ruim 150% in 2050. Als vervoer wordt meegeteld is dit respectievelijk 45% tot 90% [1].

Voor de beoordeling van de potentiële effecten van de systeemoptie All-Electric wordt als referentie uitgegaan van doorontwikkelde conventionele technologie. Voor woon- en werkwijken zijn dit HR-ketels voor ruimteverwarming en tapwater, centrale elektriciteitsopwekking, en compressiekoelinstallaties. Voor personenvervoer zijn benzineauto's en dieselbussen de referentie, en dieselvracht- en bestelauto's voor goederenvervoer.

De resultaten van de analyse zijn samengevat in onderstaande Figuur 4.

	Sociaal		Economisch		Ecologisch	
Nederland	Leveringszekerheid		BBP		Verzurende emissies	
	Koopkracht-verschillen		Voorzienings-zekerheid		Lokale lucht-verontreiniging	
	Veiligheid		Werkgelegenheid		Bodemverontreiniging	
Elders	Geopolitieke stabiliteit		Wereldhandel		Klimaat effecten	
	Veiligheid		Werkgelegenheid			
		 slechter	 iets slechter	 neutraal	 iets beter	 beter

**Figuur 4** *Beoordeling van All-Electric aan de hand van een duurzaamheidsindicatorenset.*

Hieronder worden de resultaten van deze analyse toegelicht.

#### Mogelijke sociale effecten in Nederland.

De voornaamste sociale effecten van de systeemoptie All-Electric betreffen leveringszekerheid, koopkracht en veiligheid.

Leveringszekerheid is als iets beter beoordeeld, omdat de betrouwbaarheid van een warmtepomp hoger wordt geacht te kunnen zijn als die van een gasketelnet. Een warmtepomp is weliswaar gevoelig voor storingen in de levering van elektriciteit, maar bij elektriciteitsuitval doen gasketels het ook niet meer.

De invloed van deze systeemoptie op de koopkracht van huishoudens in vergelijking met de referentiesituatie is mede afhankelijk van de investeringskosten en energieprijzen. De aanvangsinvestering kan vrij hoog zijn, waardoor de vaste lasten een vrij groot aandeel van de

bestedingen van lagere inkomens kunnen uitmaken. Daartegenover worden de energielasten minder afhankelijk van momentane energieprijzen. Koopkrachtverschillen zijn zodoende enigszins slechter beoordeeld, maar bij stijgende energieprijzen kan dit wel eens radicaal anders worden.

De veiligheid is iets verbeterd ten opzichte van de referentie beoordeeld vanwege de overgang van gas naar elektriciteit als energiedistributiemiddel. Elektriciteitsdistributiesystemen kunnen door kortsluiting worden getroffen met schade en verwondingen tot gevolg, maar de gevolgen van een gasexplosie ten gevolge van lekkages worden ernstiger ingeschat.

### **Mogelijke sociale effecten elders.**

Als voornaamste sociale effect elders zijn geopolitieke stabiliteit en veiligheid geïdentificeerd.

Een grote oorzaak van geopolitieke instabiliteit is de ongelijke verdeling van delf- en grondstoffen over de wereld. Zonnestroom is vrijwel overal op de wereld winbaar, wat betekent dat er geen strijd over gevoerd hoeft te gaan worden. Verder kan internationale uitwisseling van elektriciteit tot wederzijdse afhankelijkheid leiden, wat de geopolitieke stabiliteit bevordert (geni.org). Geopolitieke stabiliteit is daardoor als verbeterd beoordeeld.

Ook door de vervanging van benzine- en dieselvevoer door elektrisch vervoer neemt de import van deze brandstoffen en daarmee de vraag naar ruwe olie af, dus ook geopolitieke problemen, en de veiligheid neemt toe, omdat er minder (scheeps)transport nodig is om olie en gas te importeren.

### **Mogelijke economische effecten in Nederland**

De voornaamste economische effecten van de systeemoptie All-Electric betreffen bruto binnenlands product, voorzieningszekerheid, werkgelegenheid en lock-in.

De vaste kosten voor het energiesysteem worden waarschijnlijk wat hoger voor burgers en bedrijven. Een groot deel van de kosten worden gemaakt voor de aanschaf en installatie van de warmtepompen en de PV. Dit geld wordt slechts ten dele in Nederland uitgegeven, want warmtepompen zowel als PV worden meest geïmporteerd. Ook blijft een gasnet achterwege, zodat ook de aardgasbaten lager zijn. Beide hebben een negatieve uitwerking op het bruto binnenlands product, zodat dit als iets slechter is beoordeeld.

De voorzieningszekerheid verbetert sterk omdat de onuitputtelijke bronnen zonnestroom en zonnewarmte eventueel aangevuld met duurzame elektriciteit van elders de inzet van aardgas vervangen.

Effect op de werkgelegenheid is als iets verbeterd ingeschat. Enerzijds neemt de vraag naar CV onderhoudspersoneel af, maar de vraag naar onderhoudspersoneel voor warmtepompen en bronsystemen neemt toe, evenals de vraag naar onderhouds- en installatiepersoneel voor PV en eventuele zonnecollectoren.

Lock-in is als iets verslechterd beoordeeld, omdat, als er in een nieuwbouwsituatie geen gasnet wordt aangelegd, het duurder is om het achteraf aan te leggen.

### **Mogelijke economische effecten elders**

De wereldhandel neemt af doordat de permanente import van ruwe olie en in de toekomst wellicht ook aardgas afneemt. Dit effect wordt waarschijnlijk niet gecompenseerd door de import van PV panelen en/of warmtepompen, omdat dit vooral éénmalig is.

De werkgelegenheid in de olie- en gasindustrie elders neemt weliswaar af door de verminderde import, maar omdat deze industrie een lage arbeidsintensiteit kent wordt dat wellicht meer dan gecompenseerd door de toenemende werkgelegenheid in de PV industrie, en de productie van warmtepompen, die meest elders plaatsvinden. Werkgelegenheid is zodoende als iets verbeterd beoordeeld.

### **Mogelijke ecologische effecten in Nederland**

De voornaamste ecologische effecten van de systeemoptie All-Electric liggen op het terrein van lokale luchtverontreiniging, verzurende emissies en bodemverontreiniging.

Door de vervanging van olie en gas door elektriciteit ontbreken verbrandingsprocessen en ontbreken verzurende emissies en lokale luchtverontreiniging.

Bodemverontreiniging is neutraal tot iets verslechterd beoordeeld omdat niet uit te sluiten is dat er in bodemwarmtewisselsystemen antivriesmiddelen gebruikt worden die kunnen weglekken. Het gebruik van antivriesmiddelen is echter strikt genomen niet nodig [3].

### **Mogelijke ecologische effecten elders**

Mogelijke ecologische effecten elders betreffen voornamelijk klimaat effecten. Welke relatieve verbetering wordt behaald, wordt voornamelijk bepaald door het aandeel duurzaam in het energieverbruik. In 2020 is dit al ongeveer 75%, wat op kan lopen tot meer dan 150% in 2050, wat betekent dat het gebied dan netto duurzame energie kan exporteren. Ook als vervoer wordt meegenomen is rond 2050 volledige energieneutraliteit vrijwel mogelijk [1].

### 3.4.6 Conventioneel met PV

De systeemoptie Conventionele Concepten met PV maakt gebruik van individuele gasketels. Zuidgerichte daken zijn voorzien van PV panelen, eventueel gecombineerd met zonnecollectoren, die op hun beurt weer kunnen worden gebruikt voor de aandrijving van kleine sorptiekoelers. Een overschot aan elektriciteit kan worden benut voor het laden van elektrische auto's. Eén van de doelen voor het uitwerken van deze optie is om in te kunnen schatten hoeveel verschil het toevoegen van PV, zonnecollectoren en sorptiekoeling maakt in de andere systeemopties.

De energieneutraliteit van de systeemoptie Conventionele Concepten met PV is geschat op te lopen van 36% in 2020 tot 112% in 2050. Als vervoer wordt meegeteld wordt dit respectievelijk 23% tot 65% [1]. Dit is duidelijk lager dan de mate van energieneutraliteit van andere systeemopties, wat betekent dat de mate van energieneutraliteit die daar wordt gescoord niet alleen het gevolg is van de toevoeging van zonne-energie.

Voor de beoordeling van de potentiële effecten van de systeemoptie Conventionele Concepten met PV wordt als referentie uitgegaan van doorontwikkelde conventionele technologie. Voor woon- en werkwijken zijn dit HR-ketels voor ruimteverwarming en tapwater, centrale elektriciteitsopwekking, en compressiekoelinstallaties. Voor personenvervoer zijn benzineauto's en dieselbussen de referentie, en dieselvracht- en bestelauto's voor goederenvervoer.

De resultaten van de analyse zijn samengevat in onderstaande Figuur 5.

	Sociaal		Economisch		Ecologisch	
Nederland	Leveringszekerheid		BBP		Verzurende emissies	
	Koopkracht-verschillen		Voorzienings-zekerheid		Lokale lucht-verontreiniging	
	Veiligheid		Werkgelegenheid			
			Lock-in effecten			
Elders	Geopolitieke stabiliteit		Wereldhandel		Klimaateffecten	
	Veiligheid		Werkgelegenheid			
		slechter	iets slechter	neutraal	iets beter	beter

**Figuur 5** *Beoordeling van Zonhubs aan de hand van een duurzaamheidsindicatorenset.*

Hieronder worden de resultaten van deze analyse toegelicht.

#### Mogelijke sociale effecten in Nederland.

De voornaamste sociale effecten van de systeemoptie Conventionele Concepten met PV betreffen leveringszekerheid, koopkracht en veiligheid.

Leveringszekerheid is als neutraal tot enigszins slechter beoordeeld, omdat grote hoeveelheden PV de kans op overbelasting van het elektriciteitsnet vergroten.



De invloed van deze systeemoptie op de koopkracht van huishoudens in vergelijking met de referentiesituatie is mede afhankelijk van de investeringskosten en energieprijzen. Er is een aanvangsinvestering nodig, waardoor de vaste lasten een vrij groot aandeel van de bestedingen van lagere inkomens kunnen uitmaken. Daartegenover worden de energielasten minder afhankelijk van momentane energieprijzen. Koopkrachtverschillen zijn zodoende neutraal tot enigszins slechter beoordeeld, maar bij stijgende energieprijzen kan dit wel eens radicaal anders worden.

De veiligheid is als neutraal ten opzichte van de referentie beoordeeld omdat er nog steeds van gas en elektriciteit gebruik wordt gemaakt.

### **Mogelijke sociale effecten elders.**

Als voornaamste sociale effect elders zijn geopolitieke stabiliteit en veiligheid geïdentificeerd.

Een grote oorzaak van geopolitieke instabiliteit is de ongelijke verdeling van delf- en grondstoffen over de wereld. Zonnestroom is vrijwel overal op de wereld winbaar, wat betekent dat er geen strijd over gevoerd hoeft te gaan worden. Verder kan internationale uitwisseling van elektriciteit tot wederzijdse afhankelijkheid leiden, wat de geopolitieke stabiliteit bevordert (geni.org). Doordat een deel van de energievraag door het eigen dak wordt geleverd is geopolitieke stabiliteit als iets verbeterd beoordeeld.

Ook door de vervanging van benzine- en dieselveervoer door elektrisch vervoer neemt de import van deze brandstoffen en daarmee de vraag naar ruwe olie af, dus ook geopolitieke problemen, en de veiligheid neemt ook iets toe, omdat er minder (scheeps)transport nodig is om olie en gas te importeren.

### **Mogelijke economische effecten in Nederland**

De voornaamste economische effecten van de systeemoptie Conventionele Concepten met PV betreffen bruto binnenlands product, voorzieningszekerheid, werkgelegenheid en lock-in.

De vaste kosten voor het energiesysteem worden waarschijnlijk wat hoger voor burgers en bedrijven. Een groot deel van de kosten worden gemaakt voor de aanschaf en installatie van de PV en de eventuele zonnecollectoren en sorptiekoeling. Dit geldt wordt slechts ten dele in Nederland uitgegeven, want PV, collectoren en koelers worden meest geïmporteerd. BBP is zodoende als neutraal tot iets verslechterd beoordeeld.

De voorzieningszekerheid verbetert iets omdat de onuitputtelijke bronnen zonnestroom en zonnearmte de inzet van aardgas verminderen, maar niet sterk omdat deze optie niet aan de gehele energievraag kan voldoen.

Effect op de werkgelegenheid is als iets verbeterd ingeschat omdat de vraag naar onderhouds- en installatiepersoneel voor PV en zonnecollectoren toeneemt.

Lock-in is als neutraal beoordeeld, omdat er een gasnet en een elektriciteitsnet aanwezig blijft.

### **Mogelijke economische effecten elders**

De wereldhandel neemt weliswaar iets af doordat de permanente import van ruwe olie en in de toekomst wellicht ook aardgas afneemt, maar dit effect wordt mogelijk meer dan gecompenseerd door de import van PV panelen en eventueel zonnecollectoren en sorptiekoelers. Daarom is

wereldhandel als neutraal tot iets verbeterd beoordeeld. Met dezelfde argumenten geldt dat ook voor de werkgelegenheid elders.

### **Mogelijke ecologische effecten in Nederland**

De voornaamste ecologische effecten van de systeemoptie Conventionele Concepten met PV liggen op het terrein van lokale luchtverontreiniging en verzurende emissies.

Als er zonnecollectoren worden toegepast wordt de gasvraag wat kleiner, en de opbrengst van de PV verkleint de uitstoot van elektriciteitscentrales. Daarom worden lokale luchtverontreiniging en verzurende emissies als iets beter beoordeeld. Als er zoveel elektriciteit wordt opgewekt dat er ook nog elektrische auto's kunnen worden geladen is het effect duidelijk groter.

### **Mogelijke ecologische effecten elders**

Mogelijke ecologische effecten elders betreffen voornamelijk klimaateffecten. Welke relatieve verbetering wordt behaald, wordt voornamelijk bepaald door het aandeel duurzaam in het energieverbruik. In 2020 is dit al ongeveer 40%, wat op kan lopen tot 112% in 2050, wat betekent dat het gebied dan netto duurzame energie kan exporteren. Als vervoer wordt meegenomen is volledige energieneutraliteit niet mogelijk, ook niet rond 2050 [1]. Klimaateffecten is daarom als iets verbeterd beoordeeld.























### 3.4.7 Waterstof

De systeemoptie Waterstof maakt gebruik van energieopslag in de vorm van waterstof, gecombineerd met brandstofcellen en individuele elektrische warmtepompen. Zuidgerichte daken zijn voorzien van PV panelen. Zonnecollectoren worden buiten beschouwing gelaten. Het overschot aan elektriciteit kan worden benut voor het laden van elektrische auto's, en de productie van waterstof, die wordt ingezet op momenten van elektriciteitstekort. De elektrische warmtepompen leveren de gevraagde koeling.

De energieneutraliteit van de systeemoptie Waterstof is geschat op te lopen van 15% in 2020 tot 115% in 2050. Als vervoer wordt meegeteld is dit respectievelijk 7% tot 54%. Dit is duidelijk slechter dan de overige opties, en wordt veroorzaakt door het slechte rendement van energieopslag in waterstof [1]. Dit betekent dat er veel energie van buiten de wijk moet worden toegevoerd, in de vorm van elektriciteit en/of waterstof. Door de vele apparatuur is het ook een dure optie.

Voor de beoordeling van de potentiële effecten van de systeemoptie Waterstof wordt als referentie uitgegaan van doorontwikkelde conventionele technologie. Voor woon- en werkwijken zijn dit HR-ketels voor ruimteverwarming en tapwater, centrale elektriciteitsopwekking, en compressiekoelinstallaties. Voor personenvervoer zijn benzineauto's en dieselbussen de referentie, en dieselvracht- en bestelauto's voor goederenvervoer.

De resultaten van de analyse zijn samengevat in onderstaande Figuur 6.

	Sociaal		Economisch		Ecologisch	
Nederland	Leveringszekerheid		BBP		Verzurende emissies	
	Koopkracht-verschillen		Voorzienings-zekerheid		Lokale lucht-verontreiniging	
	Veiligheid		Werkgelegenheid		Bodemverontreiniging	
			Lock-in effecten		Ruimtebeslag	
Elders	Geopolitieke stabiliteit		Wereldhandel		Klimaat effecten	
	Veiligheid		Werkgelegenheid		Ruimtebeslag	
		 slechter	 iets slechter	 neutraal	 iets beter	 beter

**Figuur 6** *Beoordeling van Waterstof aan de hand van een duurzaamheidsindicatorenset.*

Hieronder worden de resultaten van deze analyse toegelicht.

#### Mogelijke sociale effecten in Nederland.

De voornaamste sociale effecten van de systeemoptie Waterstof betreffen leveringszekerheid, koopkracht en veiligheid.

Leveringszekerheid is als beter beoordeeld, omdat de betrouwbaarheid van een warmtepomp hoger wordt geacht als die van een gasketel, en de brandstofcel en het elektriciteitsnet samen bijna absoluut betrouwbare levering van elektriciteit garanderen.

De invloed van deze systeemoptie op de koopkracht van huishoudens in vergelijking met de referentiesituatie is mede afhankelijk van de investeringskosten en energieprijzen. De aanvangsinvestering wordt erg hoog ingeschat, waardoor de vaste lasten een vrij groot aandeel van de bestedingen van lagere inkomens kunnen uitmaken. Doordat er nog heel lang netto import van energie nodig zal zijn blijven de energielasten deels afhankelijk van momentane energieprijzen. Koopkrachtverschillen zijn zodoende slechter beoordeeld, maar bij stijgende energieprijzen kan dit verbeteren.

De veiligheid is iets verslechterd ten opzichte van de referentie beoordeeld. Er zijn voldoende aanwijzingen dat distributie van waterstof via een gasnet op zich niet gevaarlijker is dan een aardgasnet, maar er moeten ook opslagfaciliteiten aan het systeem worden toegevoegd.

### **Mogelijke sociale effecten elders.**

Als voornaamste sociale effect elders zijn geopolitieke stabiliteit en veiligheid geïdentificeerd.

Een grote oorzaak van geopolitieke instabiliteit is de ongelijke verdeling van delf- en grondstoffen over de wereld. Zonnestroom is vrijwel overal op de wereld winbaar, en kan overal in waterstof worden opgeslagen, wat betekent dat er geen strijd over gevoerd hoeft te gaan worden. Verder kan internationale uitwisseling van waterstof en/of elektriciteit tot wederzijdse afhankelijkheid leiden, wat de geopolitieke stabiliteit bevordert (geni.org). Geopolitieke stabiliteit is daardoor als verbeterd beoordeeld.

Ook door de vervanging van benzine- en dieselveervoer door elektrisch vervoer neemt de import van deze brandstoffen en daarmee de vraag naar ruwe olie af, dus ook geopolitieke problemen, en de veiligheid neemt toe, omdat er minder (scheeps)transport nodig is om olie en gas te importeren. Transport van waterstof per schip of leiding heeft risico's, zodat de veiligheid als iets beter beoordeeld is.

### **Mogelijke economische effecten in Nederland**

De voornaamste economische effecten van de systeemoptie Waterstof betreffen bruto binnenlands product, voorzieningszekerheid, werkgelegenheid en lock-in.

De vaste kosten voor het energiesysteem worden hoger voor burgers en bedrijven. Een groot deel van de kosten worden gemaakt voor de aanschaf en installatie van de warmtepompen, brandstofcellen en PV. Dit geld wordt slechts ten dele in Nederland uitgegeven, want warmtepompen zowel als PV worden (vrijwel) allemaal geïmporteerd. Nederland heeft wél binnenlandse brandstofcelindustrie (Nedstack in Arnhem). De binnenlandse aardgasbaten vallen weg, en er wordt netto waterstof en/of elektriciteit geïmporteerd. Beide hebben een negatieve uitwerking op het bruto binnenlands product, zodat dit als slechter is beoordeeld.

De voorzieningszekerheid verbetert sterk omdat de onuitputtelijke bron zonnestroom van eigen dak en duurzame elektriciteit van elders, plus opslagcapaciteit van waterstof, de inzet van aardgas vervangen.

Effect op de werkgelegenheid is als verbeterd ingeschat. Enerzijds neemt de vraag naar CV onderhoudspersoneel af, maar de vraag naar onderhoudspersoneel voor warmtepompen en bronsystemen neemt toe, evenals de vraag naar onderhouds- en installatiepersoneel voor PV en brandstofcellen.

Lock-in is als iets verslechterd beoordeeld, omdat er als er in een nieuwbouwsituatie een waterstofnet wordt aangelegd dit eerst terugverdiend moet worden voordat men het afschaft.

### **Mogelijke economische effecten elders**

De wereldhandel neemt deels af doordat de permanente import van ruwe olie en de toekomst wellicht ook aardgas afneemt, maar dit effect wordt waarschijnlijk gecompenseerd door de import van PV panelen, warmtepompen en eventueel warmtepompen, en de import van waterstof en/of elektriciteit.

De werkgelegenheid in de olie- en gasindustrie elders neemt weliswaar af door de verminderde import, maar omdat deze industrie een lage arbeidsintensiteit kent wordt dat wellicht meer dan gecompenseerd door de toenemende werkgelegenheid in de PV industrie, en de productie van warmtepompen, die meest elders plaatsvinden, plus de productie van elektriciteit en/of waterstof elders. Werkgelegenheid is zodoende als verbeterd beoordeeld.

### **Mogelijke ecologische effecten in Nederland**

De voornaamste ecologische effecten van de systeemoptie Waterstof liggen op het terrein van lokale luchtverontreiniging, verzurende emissies, bodemverontreiniging en ruimtebeslag.

Door de vervanging van olie en gas door elektriciteit ontbreken verbrandingsprocessen en ontbreken verzurende emissies en lokale luchtverontreiniging.

Bodemverontreiniging is neutraal tot iets verslechterd beoordeeld omdat niet uit te sluiten is dat er in bodemwarmtewisselsystemen antivriesmiddelen gebruikt worden die kunnen weglekken. Het gebruik van antivriesmiddelen is echter strikt genomen niet nodig, bevriezing van de warmtewisselaar kan worden tegengegaan door de warmtepomp periodiek uit te zetten terwijl de bronpomp blijft draaien [3].

Ruimtebeslag is als iets verslechterd beoordeeld omdat de daken in de wijken niet voldoende oppervlak hebben om voldoende elektriciteit te leveren, en er lokaal of elders extra ruimte in beslag moet worden genomen om deze energie te kunnen aanvullen.

### **Mogelijke ecologische effecten elders**

Mogelijke ecologische effecten elders betreffen voornamelijk klimaateffecten. Welke relatieve verbetering wordt behaald, wordt voornamelijk bepaald door het aandeel duurzaam in het energieverbruik. In 2020 is dit ongeveer 15%, wat op zou kunnen lopen tot 115% in 2050, wat betekent dat het gebied misschien ooit netto duurzame energie kan exporteren. Als vervoer wordt meegenomen is volledige energieneutraliteit zo goed als onmogelijk [1]. Dit betekent dat er nog steeds fossiele brandstof nodig is, of dat er elders landoppervlak gebruikt moet worden voor energiewinning. Zodoende zijn klimaateffecten als iets verbeterd beoordeeld, en landgebruik elders als iets slechter.

### 3.4.8 Analyse en conclusies

Voor de beoordeling van de potentiële effecten van de diverse systeemopties zijn van alle opties de mate van energieneutraliteit ten opzichte van de referentie geanalyseerd alsmede de diagrammen waarin de resultaten van de duurzaamheidsindicatoren zijn samengevat. De mate van energieneutraliteit van de verschillende opties is samengevat in onderstaande tabel.

**Tabel 2 Energieneutraliteit van de verschillende opties in 2020 en 2050, met en zonder vervoer [1].**

Optie	Zonder vervoer		Met vervoer	
	2020	2050	2020	2050
Geohubs	96%	165%	61%	96%
Biohubs	93%	165%	60%	96%
Zonhubs	50%	130%	30%	75%
All-Electric	70%	150%	45%	90%
Conventioneel+PV	36%	112%	23%	65%
Waterstof	15%	115%	7%	54%

Hierbij wordt aangetekend dat Biohubs deze mate van energieneutraliteit alleen kunnen behalen wanneer er biomassa van buiten het beschouwde gebied wordt aangevoerd. Verder is er bij de bepaling vanuit gegaan dat PV en zonnecollectoren alleen op zuidgerichte en platte daken worden toegepast. Wordt er meer grondoppervlak gebruikt voor de opstelling van PV en collectoren, dan kan de energieneutraliteit van een optie hoger worden. In Almere is bijvoorbeeld een eiland naast een woonwijk gebruikt voor de opstelling van zonnecollectoren.

Zoals te verwachten is, ontlopen geo- en biohubs elkaar niet veel in energieneutraliteit. Als men alleen zon wil gebruiken behaalt men met zonnestroom (All-Electric) hogere energieneutraliteit dan met zonnewarmte (Zonhubs), terwijl het systeem van All-Electric eenvoudiger en flexibeler is. Systemen met waterstof zijn weliswaar zeer betrouwbaar en flexibel, maar behalen dankzij het lage rendement van opslag in waterstof nog zeer lange tijd een energieneutraliteit die lager is dan die van conventionele opties (HR-ketels) met voldaks PV.

Om de concepten op de andere aspecten dan energieneutraliteit te kunnen vergelijken zijn de diagrammen naast elkaar gezet. Opvallende zaken zijn:

- Het enige aspect dat als (veel) slechter is beoordeeld is koopkrachtverschillen bij het Waterstofconcept. Dit komt doordat Waterstof hoge investeringen paart aan vrij slecht rendement. Om een concept mogelijk te maken zijn vaak grote investeringen nodig, die voor lage inkomens moeilijker op te brengen zijn dan voor hogere. Het waterstofconcept is echter superieur op het punt leveringszekerheid, en ook de voorzieningszekerheid is goed. Koopkrachtverschillen zijn het minst voor conventioneel met PV, die de laagste meerinvestering kent die ook goed in gedeeltes gepleegd kan worden, gevolgd door All-Electric.
- De leveringszekerheid verbetert het meest bij Waterstof omdat de betrouwbaarheid van het elektriciteitsnet versterkt wordt door de brandstofcellen. All-Electric heeft baat bij de noodzaak van internationale uitwisseling, omdat daarmee de seizoensfluctuaties moeten worden opgevangen. De overige concepten zijn neutraal tot iets verslechterd beoordeeld, vanwege de iets toegenomen instabiliteit als PV massaal teruglevert.

**Tabel 3 Samenvatting van de beoordeelde indicatoren voor de 6 systeemopties**

			Geo-hubs	Bio-hubs	Zon-hubs	All-Electric	Conv +PV	H2
Sociaal	NL	Leveringszekerheid	neutraal	iets slechter	neutraal	iets beter	iets slechter	beter
		Koopkracht-verschillen	iets slechter	iets slechter	iets slechter	iets slechter	iets slechter	slechter
		Veiligheid	iets beter	neutraal	iets beter	iets beter	neutraal	iets slechter
	Elders	Geopolitieke stabiliteit	beter	beter	beter	beter	iets beter	beter
		Veiligheid	iets beter	iets beter	iets beter	beter	iets beter	iets beter
Economisch	NL	BBP	iets beter	iets beter	iets beter	iets slechter	iets slechter	iets slechter
		Voorzieningszekerheid	beter	beter	iets beter	beter	neutraal	beter
		Werkgelegenheid	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal	neutraal	iets beter
		Lock-in effecten	iets slechter	iets slechter	iets slechter	iets slechter	neutraal	iets slechter
	Elders	Wereldhandel	iets slechter	iets slechter	iets slechter	iets slechter	neutraal	neutraal
		Werkgelegenheid	iets slechter	iets slechter	neutraal	neutraal	neutraal	beter
Ecologisch	NL	Verzurende emissies	beter	iets beter	iets beter	beter	iets beter	beter
		Lokale luchtverontreiniging	beter	iets beter	iets beter	beter	iets beter	beter
		Bodemverontreiniging	iets slechter	iets slechter	iets slechter	iets slechter		iets slechter
		Oppervlaktewater temperatuur			iets slechter			
					iets slechter			iets slechter
	Elders	Klimaateffecten	beter	beter	iets beter	beter	iets beter	iets beter
		Ruimtebeslag		iets slechter				iets slechter
Natuurwaarde/biodiversiteit		beter	iets beter	iets beter	beter	iets beter	iets beter	

slechter    
  iets slechter    
  neutraal    
  iets beter    
  beter

- Waar de leveringszekerheid bij toepassing van duurzame energie kan verslechteren omdat het aanbod wel eens niet kan aansluiten bij de vraag, is de voorzieningszekerheid, die gaat over beschikbaarheid op de lange termijn, bij alle concepten verbeterd doordat duurzame bronnen niet uitgeput raken.
- De veiligheid is bij alle concepten neutraal tot iets verbeterd beoordeeld, behalve bij Waterstof, vanwege de noodzaak van decentrale opslag.
- Bij alle concepten neemt Geopolitieke stabiliteit toe, en Veiligheid Elders ook, vanwege het verminderd gebruik van fossiele brandstoffen, het minst bij conventionele concepten omdat daar het restgebruik fossiel het hoogst is.
- Dat duurzame energie tot meer werkgelegenheid leidt is die zien aan binnenlandse werkgelegenheid die bij alle concepten neutraal tot iets verbeterd is.
- De Lock-in effecten zijn het sterkst bij de warmtehubs. Als er eenmaal in een warmtenet is geïnvesteerd moeten deze investeringen eerst worden terugverdiend voordat men bereid is op een andere energiesysteem over te gaan.
- Door het verminderde gebruik van fossiele brandstoffen daalt de wereldhandel en daarmee ook de werkgelegenheid elders. De verschillen worden veroorzaakt door de mate waarin de benodigde apparatuur in het buitenland worden gekocht. Dit is ook een voorname oorzaak voor verschillen in BBP.
- Ook de verbetering van verzurende emissies en lokale luchtverontreiniging hangt samen met de vermindering van het fossiele brandstofverbruik. Alleen bij Biohubs blijven emissies over wegens de decentrale verbrandingsprocessen.
- De kans op lokale bodemverontreiniging neemt wel toe ten opzichte van fossiele concepten vanwege de kans op lekkages, maar door de verminderde winning van fossiele brandstoffen vermindert de daarmee samenhangende milieuschade en verwoesting van landschap, zodat natuurwaarde/biodiversiteit elders (sterk) verbeteren.

- Vanwege de lagere rendementen van Zonhubs en Waterstof moet er extra landoppervlak gebruikt worden voor energieopwekking. Als er ten behoeve van Biohubs extra biomassa geteeld moet worden zal dit extra landgebruik vooral elders zijn.

Welke aspecten men het belangrijkste vindt, kan een kwestie van persoonlijke voorkeur zijn. Het lijkt er echter wel op dat naarmate een concept een hogere energieneutraliteit behaalt meer aspecten positievere uitkomsten laten zien. Wellicht is het goed daarom de energieneutraliteit als belangrijkste keuzecriterium te kiezen.

Afhankelijk van de lokale omstandigheden en beschikbaarheid zijn Geohubs en Biohubs goede opties. Als de mogelijkheden van geothermie en/of biomassa uitgeput zijn kan een dergelijk systeem worden omgebouwd tot Zonhub. Als er geen mogelijkheden voor geothermie en/of biomassa zijn is All-Electric de beste keus. Het is goed mogelijk deze optie uit te bouwen vanuit een bestaand conventioneel concept.

Vanwege de hoge kosten en tegenvallend rendement lijkt Waterstof de minst goede keus, tenzij leveringszekerheid zeer belangrijk wordt gevonden, want daarin is deze optie superieur, net als in werkgelegenheid.

## Literatuur

- [1] B. Jablonska et al., *Innovatieve energieconcepten en pilots voor de energieneutrale gebiedsontwikkeling in 2050*, ECN rapport E--10-071, februari 2011.
- [2] J.P.M. Ros, G.J. van den Born, H.E. Elzenga, J.A. Montfoort, D. Nagelhout, M.A. Reudink, G.A. Rood, H. van Zeijts: *Transitieprocessen en de rol van het beleid; Evaluatie op basis van zes systeemopties*. MNP Rapport 500083008/2006.
- [3] J.W. Klein Horsman. Mondelinge mededelingen tijdens warmtepompseminar juni 2007.
- [4] R. Furlan, *Onderzoeksrapport Diepe Geothermie*, Grontmij, 2008.