

# Beelden van een CO<sub>2</sub>-arme Nederlandse samenleving in 2050

Verkenning voor  
de Raad voor de leefomgeving en infrastructuur

20 augustus 2015

Dr. Ir. John Kerkhoven & Dr. Alexander Wirtz & Dr. Chael Kruij  
Quintel Intelligence



# Inhoud

Voorwoord	3
1. Een CO2-arme samenleving in 2050	5
2. Ontwikkeling van de (voor)beelden voor 2050	6
3. Belangrijke vragen die de beelden oproepen	8
4. Op weg naar het gebouw zonder energierekening	16
5. Richting 100% elektrisch (deel)vervoer	17
6. Wat voor industrie in 2050?	18
7. Energieleverende kassen, energieneutrale boerderijen en plantaardiger eten?	19
8. Kosten voor de B.V. Nederland	20
9. Nederland draait op wind, zon, omgevingswarmte & biomassa	21
Literatuurlijst	23
Bijlage 1: Aannames en bronnen exogene variabelen	24
Bijlage 2: Beelden ten behoeve van deze studie inclusief links naar ETM beeld	32
Bijlage 3: Impact van innovaties op de (voor)beelden in dit rapport	33
Bijlage 4: Vertaling primaire energie en CO2 per sector naar functionaliteiten	36



## Voorwoord

*De Raad voor de leefomgeving en infrastructuur heeft Quintel Intelligence gevraagd om met het Energietransitiemodel beelden te ontwikkelen van de energievoorziening in Nederland in 2050. Dit in het kader van de vraag hoe de energievoorziening in 2050 CO<sub>2</sub>-arm gemaakt kan worden. De toekomstbeelden schetsen een mogelijke energietoekomst waarin een energetische CO<sub>2</sub>-reductie van 80% - 95% door middel van een andere energievoorziening wordt gerealiseerd.*

*Een rapport met aannames over een toekomst 35 jaar van nu roept intellectueel altijd vragen op. Het rapport frustrert, omdat men het wellicht niet eens is met een aanname, terwijl de rest van de tekst en de berekeningen wel gebaseerd zijn op die aanname. En als dat niet één keer gebeurt, maar iedere keer opnieuw bij iedere aanname, dan vraagt het intellect: "Klopt dat wel?"*

*De leesbaarheid van het rapport neemt verder af, omdat het saai wordt van de cijfers. Het duizelt de lezer na een tijd en het echte beeld raakt verloren in de details.*

*De lezer van dit rapport wordt opgeroepen om dit rapport juist niet (als eerste) te lezen, maar online aan de slag te gaan met de beelden in het Energietransitiemodel. Hier kan de lezer alle aannames zelf aanpassen en de gevolgen van deze aanpassingen onmiddellijk zien. Daarna zullen het rapport en de dilemma's rond onze energievoorziening ook veel begrijpelijker zijn, omdat men zelf een gevoel heeft ontwikkeld voor de samenhang van ons energiesysteem en welke aannames veel of weinig invloed hebben op de beelden voor 2050.*

*Wij hebben in deze exercitie voor de Rli geprobeerd om (voor)beelden te maken voor 2050. Er zijn meerdere manieren waarop je een CO<sub>2</sub>-arme samenleving kunt vormgeven. Veel plezier met dit rapport en het "spelenderwijs" verkennen van voorbeelden van de Nederlandse energietoekomst voor 2050.*

### **(Voor)beelden.**

Door op onderstaande links te klikken<sup>1</sup> komt men terecht in het (voor)beeld '80% CO<sub>2</sub>-reductie' of het (voor)beeld '95% CO<sub>2</sub>-reductie' in het Energietransitiemodel. Ter referentie staat hier ook een link vermeld naar een beeld van het SER Energieakkoord voor Duurzame Groei in 2023.

**(Voor)beeld Energieakkoord 2023**

**(Voor)beeld '80% CO<sub>2</sub>-reductie' in 2050 in Nederland**

**(Voor)beeld '95% CO<sub>2</sub>-reductie' in 2050 in Nederland**

*Dit rapport stelt - na het verkennen van de beelden - diverse vragen over de beelden voor 2050 en geeft overwegingen bij de beantwoording van die vragen. Vragen die onvermijdelijk aan bod komen als we de verbouwing van Nederland doorzetten van iets meer dan 4% duurzame energie naar een volledig duurzame of CO<sub>2</sub>-arme energiehuishouding. Deze vragen komen aan bod in hoofdstuk 3. De hoofdstukken 4 - 9 schetsen vervolgens een beeld per sector.*

*De volgende vragen komen aan bod in hoofdstuk 3:*

- 1. Zijn de kosten van onderdelen van het energiesysteem in 2050 van invloed op de keuze van het beeld voor 2050?*
- 2. Hoe verschuiven de kostenrisico's tussen nu en 2050?*

---

<sup>1</sup> Lezers met een papieren versie kunnen onderstaande links intypen:  
[energietransitiemodel.nl/rli/ser-scenario-2023](http://energietransitiemodel.nl/rli/ser-scenario-2023)  
[energietransitiemodel.nl/rli/80-procent-co2-reductiescenario-2050](http://energietransitiemodel.nl/rli/80-procent-co2-reductiescenario-2050)  
[energietransitiemodel.nl/rli/95-procent-co2-reductiescenario-2050](http://energietransitiemodel.nl/rli/95-procent-co2-reductiescenario-2050)

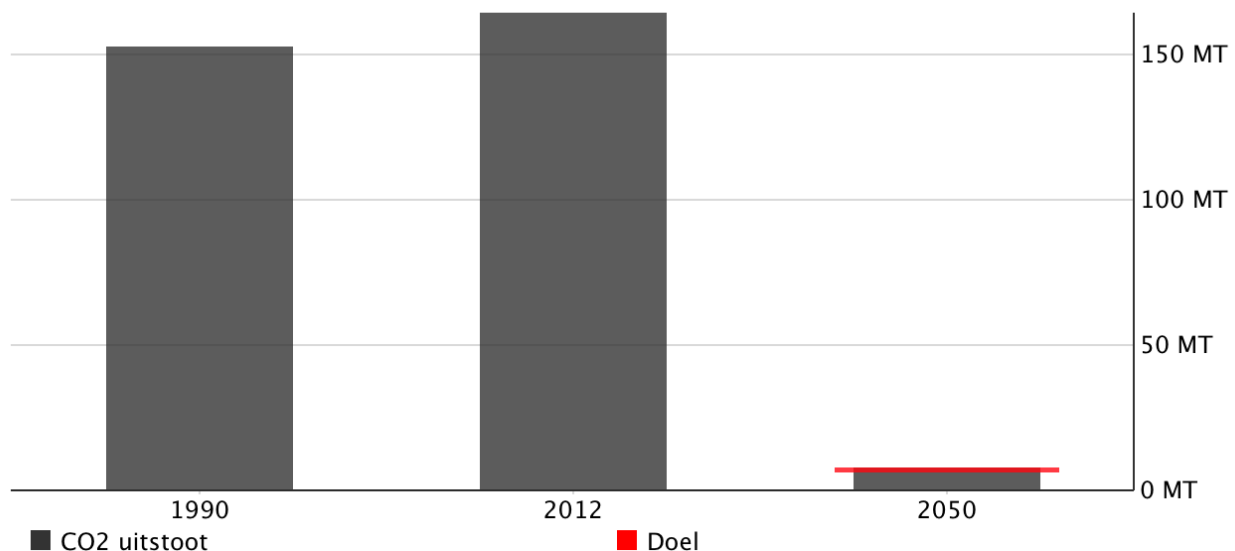
3. *Verschuiven de kosten van variabele brandstofkosten naar vaste investeringskosten?*
4. *In welke verhoudingen gaan we zon- en windvermogen bouwen?*
5. *Worden verbrandingstechnologieën massaal vervangen door elektrische technologieën?*
6. *Is er een rol weggelegd voor conventionele kerncentrales in de (voor)beelden in 2050?*
7. *Is er een rol weggelegd voor fossiele centrales met CCS in de (voor)beelden in 2050?*
8. *Blijft het aandeel van de industrie in de totale energievraag stijgen?*
9. *Gaan we de energie-intensieve industrie afbouwen ten faveure van minder energie-intensieve industrie?*
10. *Moeten we voor opslag en vraagsturing investeren in een aantal extra apparaten of komt opslag als onderdeel van de apparaten die we toch al inzetten in de beelden voor 2050?*
11. *Kan de energetische piekvraag in de winter (verwarming van huizen bij strenge vorst en harde wind) dalen in de (voor)beelden voor 2050, zodat het issue van seizoensopslag verdwijnt of kleiner wordt?*
12. *Hoe voorkomen we lokale “blackouts”?*
13. *Gaat een nieuwe energietechnologie het beeld nog geheel veranderen?*
14. *Gaan de ons omringende landen dezelfde ontwikkeling doormaken en in hetzelfde tempo?*
15. *Importeren we energie uit de EU of uit de rest van de wereld?*
16. *Hoe zit het met de energie voor internationale zeescheepvaart en luchtvaart?*
17. *Welke inzet van biomassa voor energie is nog acceptabel in het 2050 beeld?*
18. *Welke inzet van biomassa voor feedstock is nog acceptabel in het 2050 beeld?*

*Dit rapport behandelt zeker niet alle vragen die gesteld kunnen worden. Maar door bovenstaande vragen te stellen, de dilemma's te schetsen en een kwantitatieve onderbouwing te geven voor mogelijke antwoorden kan de lezer wel een idee ontwikkelen voor welke enorme opgave onze samenleving staat als we willen komen tot 80% of 95% CO<sub>2</sub> reductie in 2050 en welke oplossingen daar meer of minder aan bij gaan dragen.*

# 1. Een CO<sub>2</sub>-arme samenleving in 2050

De Raad voor de leefomgeving en infrastructuur (Rli) heeft Quintel gevraagd om met behulp van het Energietransitiemodel (ETM) (voor)beelden te creëren van een 'CO<sub>2</sub>-arme' Nederlandse energiehuishouding in 2050. Quintel hanteert voor 'CO<sub>2</sub>-arm' de definitie van **80% - 95% energetische CO<sub>2</sub>-reductie**. Dit aangezien in de Europese Unie de reductiedoelstelling geldt voor broeikasemissies van 80 - 95% in 2050. Dit onder aanname dat een evenredig deel van deze reducties afkomstig moet zijn van een reductie in energetische CO<sub>2</sub>-emissies<sup>2</sup>.

Energetische CO<sub>2</sub>-emissies zijn emissies die een rechtstreeks gevolg zijn van het gebruik en de verbranding van fossiele brandstoffen en derhalve nauw verband houden met het energiegebruik. Een 80% - 95% energetische CO<sub>2</sub>-reductie in 35 jaar is een revolutie in een samenleving die tot op heden nog nauwelijks zijn energetische CO<sub>2</sub>-emissies heeft kunnen laten dalen, met uitzondering van een enkel jaar als gevolg van een recessie of een zachte winter. Tot op heden stoten we in Nederland nog steeds meer energetische CO<sub>2</sub> uit dan in 1990. In het '95% CO<sub>2</sub>-reductie' (voor)beeld is er nog ruimte voor ongeveer 8 megaton energetische CO<sub>2</sub>-emissie' (zie figuur 1) in het beeld met 80% reductie is er nog ruimte voor ongeveer 31 megaton uitstoot.



**Figuur 1:** Energetische CO<sub>2</sub>-uitstoot in 1990, 2012 en in het (voor)beeld 95% CO<sub>2</sub>-reductie in 2050.

## 1.1 Op basis van de (voor)beelden voor 2050 kan men terugredeneren naar een tijdstip op de middellange termijn

Uitgaande van één of meer toekomstbeelden van het energiesysteem in 2050 wordt het mogelijk terug te redeneren naar één of meerdere tijdstippen in de toekomst tussen 2015 en 2050. Door deze redenatie kunnen transitiepaden worden gevonden.

Het is duidelijk dat de (voor)beelden geen eenduidig wensbeeld kunnen zijn, noch de samenleving mogen opsluiten in een tunnelvisie. Ze moeten juist een wenkend perspectief bieden dat zoveel mogelijk kwantitatief kan worden onderbouwd en een schoon, betrouwbaar en betaalbaar energiesysteem opleveren. De beelden die we gemaakt hebben voor dit rapport voldoen aan deze voorwaarden.

<sup>2</sup> Quintel is zich ervan bewust dat in het debat vaak gesteld wordt dat in de energievoorziening een grotere reductie behaald moet worden om in de hele samenleving 80% - 95% broeikasemissies te halen.

## 1.2 Het bepalen van de grenzen van de (voor)beelden

Wij hebben ons op verzoek van de Rli gericht op het creëren van twee verschillende CO<sub>2</sub>-reductie beelden, met 80% en 95% energetische CO<sub>2</sub>-reductie. Zonder daarbij expliciet te kijken naar de hoeveelheid duurzame energie in deze beelden.

Verder is het van belang te vermelden dat we belastingen, subsidies, energiewetgeving en marktmodellen zien als instrumenten waarmee gestuurd kan worden in de ontwikkelingen om de 2050 (voor)beelden te realiseren. Ze zijn in eerste instantie niet bepalend voor de 2050 (voor)beelden zelf. Met andere woorden, we creëren ieder beeld met de insteek dat men pas daarna de vraag stelt hoe dit beeld het beste te realiseren is. Dit zijn dus onderwerpen die niet al in dit rapport uitgebreid aan de orde zullen komen.

## 2. Ontwikkeling van de (voor)beelden voor 2050

Het Energietransitiemodel, een gratis en Open Source online model, is in staat om beelden te schetsen voor 2050. Daartoe volgen we een gestructureerde aanpak.

*De eerste stap* in het ontwikkelen van de beelden is het vaststellen van alle exogene variabelen die invloed hebben op het eindbeeld. Bijvoorbeeld welke aanname we doen over de prijs van een windmolen, zonnepaneel of de prijs van aardolie in 2050. Het model rekent dus de prijs van een zonnepaneel of de prijs van aardolie niet uit in 2050, maar gebruikt deze exogene variabele als input in het model. Maar ook aannames over wat voor groei van de bevolking en de economie we veronderstellen zijn exogene variabelen. Hierbij baseren we ons waar mogelijk op bronnen van gerespecteerde externe instituten.

Eén ding weten we zeker: de toekomst zal zich anders ontwikkelen dan de aannames die we nu doen. Omdat we echter voor beide (voor)beelden dezelfde exogene variabelen hanteren, kunnen we de verschillende beelden wel enigszins met elkaar vergelijken.

In **bijlage 1** is een volledige lijst met alle aannames en bronnen te vinden, die we gebruikt hebben bij het creëren van de (voor)beelden.

Verder is het belangrijk te vermelden dat de onzekerheden in de aannames zeer groot zijn en dat de (voor)beelden eerder vage schetsen zijn dan scherpe foto's van onze toekomst. Alle getallen moeten derhalve met grote voorzichtigheid worden gehanteerd.

*De tweede stap* is het maken van de verschillende (voor)beelden. Normaal gesproken doet men dit handmatig door de "schuifjes" op de website van het Energietransitiemodel in te stellen. Om echter te voorkomen dat er een persoonlijke voorkeur in sluipt van degene die het beeld maakt, kiezen we ervoor om de eerste schets te maken met de hulp van een zoek-algoritme.

Het zoek-algoritme bevriest de bovengenoemde exogene variabelen en zoekt vervolgens naar een oplossing met het Energietransitiemodel waarbij de volgende doelen gehaald worden in het bepalen van de beelden:

### **(Voor)beeld '80% CO<sub>2</sub>-reductie'**

- 80% CO<sub>2</sub>-reductie
- 100% betrouwbare elektriciteitsvoorziening
- Kosten zoveel mogelijk beperken
- Inzet van biomassa beperken

### **(Voor)beeld '95% CO<sub>2</sub>-reductie'**

- 95% CO<sub>2</sub>-reductie
- 100% betrouwbare elektriciteitsvoorziening
- Kosten zoveel mogelijk beperken
- Inzet van biomassa beperken

Nadat de computer deze beelden heeft bepaald, zijn er handmatig varianten gemaakt waarin is onderzocht wat bijvoorbeeld de impact is van wel of geen kernenergie. Dit kan bijvoorbeeld gedaan worden door één of twee kerncentrales in het model te “bouwen” en een equivalent aantal fossiele centrales of duurzame energie opties te “schrappen”. Zo zijn ook andere varianten met bijvoorbeeld CCS in combinatie met elektriciteitsproductie, opslag en ‘demand side management’ onderzocht.

Het zoek-algoritme dat gebruikt is, vindt een beeld dat voldoet aan alle voorwaarden. Maar het kan zijn dat er (voor)beelden te maken zijn met het model, die bijvoorbeeld nog iets lagere kosten of inzet van biomassa leveren bij een bepaalde CO<sub>2</sub>-reductie doelstelling. Alhoewel het zoeken naar een optimum intellectueel interessant is, is het niet echt relevant omdat de onzekerheden in de aannames die we doen vele malen groter zijn dan de variaties die we vinden in de alternatieve beelden bij een bepaalde set aannames. Van belang zijn juist de grote verschillen tussen de (voor)beelden en vandaag de dag. Waarom verwarmen we nu met HR ketels en in de (voor)beelden voor 2050 niet of nauwelijks? Wat zijn de implicaties van elektrificatie van het personenvervoer voor de elektriciteitssector? Et cetera.

In de volgende hoofdstukken zetten we de belangrijkste bevindingen over de beelden voor 2050 op een rij.

### 3. Belangrijke vragen die de beelden oproepen

In dit hoofdstuk gaan we in op een aantal vragen die de beelden voor 2050 oproepen, zonder daarbij te pretenderen volledig te zijn. In de volgende hoofdstukken bespreken we de beelden per sector.

Als we de resultaten van de '80% CO<sub>2</sub>-reductie' en '95% CO<sub>2</sub>-reductie' beelden met elkaar en met de situatie van 2012 vergelijken roept dit een groot aantal vragen op:

#### 1. Zijn de kosten van onderdelen van het energiesysteem in 2050 van invloed op de keuze van het beeld voor 2050?

De kosten van het energiesysteem in 2050 verschillen ongeveer 10% tussen de (voor)beelden voor 2050. Je kunt natuurlijk met alle onzekerheden in de aannames niet zonder meer zeggen dat een '80% CO<sub>2</sub>-reductie' beeld duurder of goedkoper zal zijn dan een '95% CO<sub>2</sub>-reductie' beeld. Alhoewel goedkoper wel aannemelijk lijkt. De kosten van het energiesysteem in het '80% CO<sub>2</sub>-reductie' beeld worden berekend op 54 miljard euro per jaar. Het '95% CO<sub>2</sub>-reductie' beeld kost ongeveer 60 miljard euro per jaar. Dit zijn verschillen die niet significant zijn gegeven de onzekerheden in alle aannames. Ter vergelijking: het beeld van Nederland in 2023 als het Energieakkoord wordt uitgevoerd, komt op een kostenplaatje van meer dan 67 miljard euro met een CO<sub>2</sub>-reductie van slechts 9% en bijna 15% hernieuwbare energie. De energiekosten in het 2023 beeld zijn met name hoger dan in de 2050 beelden door de aangenomen hoge prijs van aardolie in 2023, terwijl de prijs van aardolie van veel minder belang is in de 2050 beelden.

#### 2. Hoe verschuiven de kostenrisico's tussen nu en 2050?

De risico's met betrekking tot de kosten in het 2023 beeld (SER Energieakkoord) liggen voornamelijk bij de onzekerheid over prijzen van fossiele brandstoffen. Ter illustratie: een prijsverdubbeling van de prijzen van aardolie en aardgas in het 2023 beeld (ten opzichte van de aannames die ECN en PBL hierover hebben gedaan in hun doorrekening van het Energieakkoord) doet de kosten exploderen van meer dan 67 miljard euro per jaar naar meer dan 100 miljard euro per jaar.

In het 2050 '95% CO<sub>2</sub>-reductie' beeld zijn de prijzen van aardgas en aardolie bijna irrelevant, maar zijn het juist de prijzen van biomassa, warmtepompen, windmolens en zonnepanelen die bepalend zijn. Een verdubbeling van die prijzen zou in dit beeld ook leiden tot een stijging naar meer dan 100 miljard euro per jaar.

De onzekerheid in de kosten in de 2050 beelden is echter wel anders van aard dan die in het 2023 beeld. In 2023 zelf kun je namelijk nog verrast worden door een plotselinge stijging of daling van de brandstofkosten, aangezien de energiemix nog grotendeels gebaseerd is op twee brandstoffen, namelijk aardgas en aardolie. In de 2050 beelden zijn de energiekosten in de jaren ervoor al grotendeels vastgelegd door middel van investeringen, omdat deze technologieën (met uitzondering van biomassa) geen of nauwelijks variabele kosten kennen. Omdat men ieder jaar investeert worden de risico's ook over de jaren heen gespreid en zijn korte termijn fluctuaties minder relevant.

#### 3. Verschuiven de kosten van variabele brandstofkosten naar vaste investeringskosten?

De investeringen in energie- en/of warmteproducerende apparaten gaan aanzienlijk omhoog. Ze worden ongeveer 3 maal zo hoog als nu. Een kenmerk van veel hernieuwbare en zuinigere technologieën op elektriciteit is namelijk dat de investeringskosten relatief hoog zijn en de variabele kosten relatief laag. Bij verbrandingstechnologieën is dit vaak net andersom, met alle problemen van voorspelbaarheid van dien.

De investeringswaarde van de energie- en/of warmteproducerende apparaten gaat omhoog



van 70 miljard euro nu naar 185 miljard euro in het '80% CO<sub>2</sub>-reductie' beeld en 200 miljard euro in het '95% CO<sub>2</sub>-reductie' beeld in 2050.

#### 4. In welke verhoudingen gaan we zon- en windvermogen bouwen?

Het zon- en windvermogen kan in ons klimaat in ongeveer dezelfde hoeveelheid piekvermogen worden gebouwd om te zorgen voor een zo evenwichtig mogelijke elektriciteitsproductie per maand over het gehele jaar (meer wind in de winter en meer zon in de zomer). Dit blijkt o.a. uit de huidige statistieken voor de Duitse zon- en windstroomproductie. Het is ook mogelijk om iets meer wind te bouwen en iets minder zon, om bijvoorbeeld de verwarmingsvraag (door elektrische warmtepompen) in de winter beter te kunnen voorzien. Daarmee reduceer je de noodzaak voor seizoensopslag. In het '80% CO<sub>2</sub>-reductie' beeld staat nu ruim 22 GW zonvermogen en 25 GW windvermogen. In het '95% CO<sub>2</sub>-reductie' beeld staat ruim 27 GW zonvermogen en 31 GW wind. Maar wat is wenselijk? De Duitsers hebben plannen om de zon- en windvermogens het komend decennium ongeveer evenredig uit te bouwen.

#### 5. Worden verbrandingstechnologieën massaal vervangen door elektrische technologieën?

Zowel aan de vraagzijde als aan de aanbodzijde van het energiesysteem worden apparaten gebaseerd op verbrandingstechnologie vervangen door elektrische technologieën. Aan de vraagzijde van het energiesysteem nemen warmtepompen de functie over van HR Combi ketels. Elektrische aandrijflijnen nemen de rol over van verbrandingsmotoren in het personenvervoer en een deel van het vrachtvervoer.

*Het ETM maakt voor transport nog geen gebruik van waterstoftechnologieën. Het is weliswaar efficiënter om elektriciteit direct toe te passen in een EV, maar zolang batterijtechnologie nog geen groter opslagvolume mogelijk maakt, heeft waterstoftechnologie ook een aantal voordelen die in sommige toepassingen compenseren voor de lagere efficiëntie. In beide gevallen zullen zowel voertuigen met batterijen als met waterstof-brandstofcellen worden aangedreven met elektromotoren in de 2050 beelden.*

Ook aan de productiezijde van het energiesysteem worden in toenemende mate verbrandingstechnologieën vervangen door hernieuwbare elektrische technologieën als zon- en wind, aangevuld met geothermie en biomassa.

#### 6. Is er een rol weggelegd voor conventionele kerncentrales in de (voor)beelden in 2050?

Het antwoord is nee. Je kunt wel beelden maken met kerncentrales maar erg logisch is het niet. Je zult namelijk veel uren per jaar volledig op zon- en windstroom draaien in de beelden en derhalve zal zo'n kerncentrale dan steeds volledig moeten worden stilgezet of zou je de wind- of zonnestroom verloren moeten laten gaan of opslaan. Kerncentrales zoals we ze nu kennen zijn niet ontworpen om steeds volledig aan en uit te gaan. Bovendien maakt een kerncentrale te weinig draaiuren in een dergelijk beeld om de relatief hoge investeringskosten terug te verdienen. Alhoewel de kerncentrales de biomassacentrales gedeeltelijk zouden vervangen op sommige momenten en de biomassavoetafdruk derhalve gunstig beïnvloeden, zou het aantal vollasturen van de kerncentrales rond de 4000 uur liggen in de beelden. In plaats van ongeveer 8000 uur indien deze op dit moment zouden worden ingezet. Met andere woorden: iedere kWh geproduceerd door een kerncentrale wordt hierdoor voor de B.V. Nederland in de (voor)beelden twee maal zo duur als nu.

Het toevoegen van een moderne 3e generatie kerncentrale van 1.600 MW elektrisch in het '80% CO<sub>2</sub>-reductie beeld' zou leiden tot een 0,4% lagere CO<sub>2</sub>-uitstoot en meer dan 100 miljoen euro extra kosten per jaar, ook als je daardoor een aantal biomassacentrales niet hoeft te bouwen.

#### 7. Is er een rol weggelegd voor fossiele centrales met CCS in de (voor)beelden in 2050?

Het antwoord is eigenlijk ook nee. Je kunt de beelden met CCS wel maken, maar ook hier

geldt dat je een fossiele centrale zou bouwen die maar zelden draait en die duurder en ook minder efficiënt is dan een gewone fossiele centrale. In het '80% CO<sub>2</sub>-reductie beeld' zou een fossiele Gas STEG centrale met CCS maar 2000 per jaar draaien door de grote inzet van o.a. zon en wind. Ook kun je in de reductiebeelden eigenlijk altijd wel een betere alternatief vinden die dezelfde CO<sub>2</sub>-reductie oplevert voor de euro's die je investeert in CCS. Derhalve denken wij dat de enige logische plek voor CCS in de industrie is en dan meer in het bijzonder een CO<sub>2</sub>-intensieve industrie die (praktisch) continue draait, zoals de staalindustrie.

#### 8. Blijft het aandeel van de industrie in de totale energievraag stijgen?

In de energie-intensieve industrie blijft verbranding van fossiele brandstof of biomassa noodzakelijk om hoge temperaturen te halen. Het ETM maakt nog geen gebruik van hogetemperatuur warmtepompen of recompressie van processtoom die ook hier het beeld wellicht kunnen veranderen. Met dergelijke (of nog innovatievere) oplossingen zou juist een mogelijkheid gecreëerd worden voor nuttige inzet van stroomoverschotten van volatiele zon of windproductie.

Het Energietransitiemodel heeft ook geen mogelijkheid om CCS in te zetten in de industrie, terwijl dit wellicht nuttiger en effectiever is dan bij elektriciteitsproductie. Voor dat laatste zijn immers alternatieven zonder CO<sub>2</sub>-uitstoot ruimschoots aanwezig, terwijl dat voor veel industriële toepassingen niet zo is. Ook kan de CO<sub>2</sub>-intensieve industrie zinvoller rondom afvang worden geclusterd dan elektriciteitsproductie.

Al met al is er met name voor het beeld van de industrie van de toekomst veel onzekerheid over alternatieven. Het aandeel van de industrie in de Nederlandse finale energievraag groeit in de (voor)beelden van ongeveer 50% in 2012 naar 75% in het '95% CO<sub>2</sub>-reductie' beeld. Dit lijkt onwaarschijnlijk groot. Zeker omdat de zware industrie maar een klein deel van het BNP blijkt te leveren, namelijk 3% op dit moment (zie rapport "Doorbreek de 'lock-in' van het energiebeleid voor de zware industrie", dd. 15-07-2015, ECN).

#### 9. Gaan we de energie-intensieve industrie afbouwen ten faveure van minder energie-intensieve industrie?

De inrichting van de industrie in Nederland is zeer bepalend voor de opgave die er ligt om een duurzame energiehuishouding te creëren. Indien de petrochemie, basischemie en metaalsector geleidelijk zouden worden vervangen door andere sectoren die minder energie-intensief zijn dan veranderen de beelden aanzienlijk. Moeten we eigenlijk niet in deze beelden de potentiële bijdrage van nieuwe sectoren (zowel industrieel als niet industrieel) in kaart brengen in de beelden voor 2050? Voorbeelden van nieuwe sectoren die aan de vooravond van enorme groei lijken te staan zijn domotica en robotica. Een niet-industrieel voorbeeld is de sterk groeiende markt van studenten wereldwijd, die buiten hun eigen land hoogwaardige opleidingen willen volgen. Kunnen deze nieuwe markten kansen bieden op een andere inrichting van de werkgelegenheid in ons land?

In de beelden voor 2050 is er de aanname gedaan dat de industrie ieder jaar 1% groeit in de komende 35 jaar, maar ook ieder jaar 1% efficiënter wordt. Ter vergelijking hebben we hieronder de dashboard parameters uit het Energietransitiemodel voor een '95% CO<sub>2</sub>-reductie' beeld in **tabel 1** gezet. De cijfers in **tabel 2** betreffen een industrie die jaarlijks 2% minder energie gaat gebruiken. Dit door een verschuiving van energie-intensieve naar minder energie-intensieve industrie. Niet alleen neemt het primair energiegebruik tussen 2012 en 2050 dan af van ongeveer -30% naar -63%, maar ook de biovoetafdruk halveert bijna o.a. door de afname van de hogetemperatuur warmtevraag.

De impact van deze hypothetische geleidelijke verschuiving van zeer energie-intensieve industrie naar minder energie-intensieve industrie op import-afhankelijkheid, totale energiekosten en bio-voetafdruk in de (voor)beelden is zeer groot.

Energiegebruik	CO <sub>2</sub> uitstoot	Energie import	Kosten (mlrd)	Bio-voetafdruk	Hernieuwbaar
-29.9%	-95.0%	70.0%	€60.4	2.9xNL	91.1%

**Tabel 1:** Huidige industrie wordt ieder jaar 1% efficiënter en industrie groeit 1% per jaar. Totaal aandeel industrie in Nederlandse finale energievraag in 2050 is 75%.

Energiegebruik	CO <sub>2</sub> uitstoot	Energie import	Kosten (mlrd)	Bio-voetafdruk	Hernieuwbaar
-63.3%	-97.6%	44.2%	€44.8	1.5xNL	93.3%

**Tabel 2:** De huidige industrie (petrochemie, chemie en metaal) wordt jaarlijks 1% efficiënter en de totale industrie wordt jaarlijks 2% minder energie-intensief door verschuiving naar andere sectoren dan chemie en metaal. Totaal aandeel industrie in de Nederlandse energievraag 54% in 2050.

#### 10. Moeten we voor opslag en vraagsturing investeren in een aantal extra apparaten of komt opslag als onderdeel van de apparaten die we toch al inzetten in de beelden voor 2050?

Naarmate de hoeveelheid zon en wind toeneemt in de elektriciteitsproductiemix nemen de kansen voor opslag toe, omdat er op steeds meer momenten elektriciteitsoverschotten voorkomen. Echter in de '80% CO<sub>2</sub>-reductie' en '95% CO<sub>2</sub>-reductie' beelden is er voor gekozen om nog niet uit te gaan van opslag en demand side management maar de aanname te doen dat overschotten worden geëxporteerd (of vermeden door het uitzetten van windmolens of 'inverters' van zonnepanelen) en tekorten door eigen centrales (vaak op biomassa) kunnen worden opgevangen. Dit is natuurlijk veel te conservatief, maar geeft in ieder geval een 'worst case' realiseerbaar beeld.

Stroomoverschotten kunnen zeer waarschijnlijk deels worden opgevangen in accu's in het wagenpark dat in 2050 grotendeels uit elektrisch aangedreven auto's bestaat (mogelijkheid om later een deel van de elektriciteit terug te leveren aan het net). Ook is opslag voorhanden in de vorm van buffervaten die gebruikt worden bij de ingezette warmtepompen (vermijden elektriciteitsvraag op later moment). De kosten van opslag hoeven in dit geval o.i. niet apart of maar voor een klein deel toegerekend te worden aan de (voor)beelden omdat deze opties al integraal onderdeel zullen zijn van de in te zetten elektrische auto's en warmtepomp oplossingen. Maar je kunt in dit geval wel een aantal "backup" centrales schrappen uit de scenario's en derhalve worden de totale kosten van het energiesysteem waarschijnlijk lager dan nu is uitgewerkt in beide (voor)beelden.

Ook kun je door 'demand side management' mogelijk te maken naast opslag, de noodzaak voor opslag en "backup" centrales verder terugdringen. Demand side management zorgt ervoor dat gebruikers meer energie gebruiken op momenten met overschotten en minder op momenten met tekorten door prijsprikkels. Ook voorkom je zowel met opslag als demand side management pieken in de stroomvraag, waardoor je de elektriciteitsnetten minder hoeft te verzwaren en dus ook kosten verder worden bespaard.

Verder is het wellicht van belang te vermelden dat opslag van energie vooralsnog relatief duur kan zijn indien het als aparte optie wordt toegevoegd aan het energiesysteem. In dat geval dienen de investeringen in accu's (P2P), conversie naar gas (P2G) en buffervaten (P2H) te worden afgewogen tegen het uitzetten van inverters van zonnepanelen, stilzetten van windmolens of de reactie van de markt op de lage stroomprijzen die ontstaat bij overschotten (waarschijnlijk toename van de vraag). Het is te verwachten dat deze extra opslag-apparaten zich pas bij grote, regelmatige en langdurige overschotten van zon- en windstroom gaan terugverdienen.

#### 11. Kan de energetische piekvraag in de winter (verwarming van huizen bij strenge vorst en harde wind) dalen in de (voor)beelden voor 2050, zodat het issue van seizoensopslag verdwijnt of kleiner wordt?

De energetische piekvraag van alle moderne warmtepompen in de gebouwde omgeving is ongeveer een kwart van de energetische piekvraag van de gasgestookte HR Combi ketels. Dit omdat de warmtepompen ongeveer driekwart van de warmte uit de omgeving halen. Doordat de huizen veel beter geïsoleerd en kierdicht zijn in deze beelden voor 2050, is de uiteindelijke piekvraag nog maar ongeveer één-achtste (12,5%) van de huidige energetische piekvraag in de winter. Voorwaarde is dan natuurlijk wel dat we alle woningen in Nederland energetisch renoveren (RC waarde 1,0 m<sup>2</sup>K/W voor woningen gebouwd in de vorige eeuwen, nieuwe woningen brengen naar 3,0 m<sup>2</sup>K/W gemiddeld en kantoorgebouwen naar 2,0 m<sup>2</sup>K/W).

## 12. Hoe voorkomen we lokale “blackouts”?

De elektriciteitsnetten dienen aanzienlijk verzwakt te worden in beide (voor)beelden, maar gegeven de lange afschrijvingstermijn van de netten beïnvloedt dit de jaarlijkse kosten slechts beperkt. De netverzwaringen bedragen 19 miljard euro voor het ‘80% CO<sub>2</sub>-reductie’ beeld en 35 miljard euro voor het ‘95% CO<sub>2</sub>-reductie’ beeld.

De netverzwarkosten moeten, omdat het model rekent met gemiddelde netbelastingen op landelijk niveau eerder gezien worden als een ondergrens dan een bovengrens van de kosten. Bij deze inschatting is echter niet uitgegaan van demand side management via een ‘slim net’ waardoor kosten van netverzwaring weer deels vermeden zouden kunnen worden.

Naast netverzwaring is het onvermijdelijk dat gelijktijdigheid van grote stroomverbruikers in de 2050 beelden wordt verkleind, om te grote netverzwaringen te voorkomen. Dit zou bijvoorbeeld eenvoudig kunnen op huishoudelijk niveau door bij een daling van het spanningsniveau (teken van overbelasting van het net door te grote elektriciteitsvraag) warmtepompen en EV's zelf terug te laten regelen in opgenomen vermogen. Dit zou een volledig decentrale en robuuste oplossing kunnen zijn ter voorkoming van nog grotere investeringen in netverzwaring op laagspanningsniveau. Indien deze opties niet worden ingebouwd in deze apparaten is het onvermijdelijk dat in straten met meer dan 50% warmtepompen en 50% EV's er regelmatig problemen met de elektriciteitsvoorziening gaan ontstaan en we via een centraal sturingsmechanisme moeten gaan ingrijpen. Dit laatste is echter minder robuust dan een volledig decentrale, zelfregulerende oplossing. In sommige straten kunnen deze problemen zelfs al bij lagere percentages inzet van deze apparaten ontstaan. Idem kan men denken aan dergelijke oplossingen voor zonnestroom. In straten waar bijvoorbeeld meer dan 50% van de huizen zon PV hebben, kan men de inverters zichzelf laten uitschakelen indien het voltage teveel oploopt (teken van overbelasting van het net door teveel elektriciteitsaanbod).

## 13. Gaat een nieuwe energietechnologie het beeld nog geheel veranderen?

Wereldwijd vindt er veel onderzoek naar energietechnologieën plaats, maar het is onduidelijk in hoeverre deze vernieuwingen commercieel succesvol zullen worden. Wat commerciële inzet betreft zien we de laatste jaren vooral verbeteringen van al bekende technologieën en verbeteringen in hoe deze technologieën via slimme systemen worden benut. De *technische* verbeteringen aan windmolens, biomassa centrales, zonnepanelen, warmtepompen, EV's, etc. zijn meegenomen in de 2050 beelden in het Energietransitiemodel.

Innovaties die zullen leiden tot een totaal andere inrichting van het energiesysteem, alsook technologieën die nu nog niet commercieel beschikbaar zijn worden echter niet meegenomen in het ETM en dit maakt de beelden kwetsbaar voor kritiek. In **bijlage 3** gaan we uitgebreid in op de mogelijke innovaties die een impact kunnen hebben op de beelden. We vermoeden op basis van de tijd die het kost om een totaal nieuwe techniek in de markt te zetten, dat we in 2050 nog 70 - 85% van het beeld zullen invullen met technieken die we nu al kennen (bijvoorbeeld zonnepanelen, warmtepompen, verbrandingscentrales etc.). Het ligt wel voor de hand dat deze al bekende technieken (sterk) verbeterd zullen worden in de komende tijd. Daarnaast zal een belangrijk deel (15 - 30%) van het beeld ingevuld kunnen zijn door technieken die we nu nog niet kennen of in ieder geval nu nog niet te koop zijn.

#### 14. Gaan de ons omringende landen dezelfde ontwikkeling doormaken en in hetzelfde tempo?

Het lijkt aannemelijk dat de ons omringende landen een vergelijkbare ontwikkeling gaan doormaken. Daarmee is de invloed van de omringende landen op de 2050 (voor)beelden ons inziens gering. Desondanks zou het goed zijn om een vergelijking te maken van de voor Nederland gecreëerde 2050 beelden met de beelden die ontwikkeld zijn of worden voor met name Duitsland en het Verenigd Koninkrijk.

Het is belangrijk op te merken dat de ons omringende landen een vergelijkbaar 2050 beeld lijken na te streven, maar de transitiepaden hier naar toe behoorlijk kunnen verschillen. Ook is het tempo waarin dit gebeurt zeker niet hetzelfde. Met name de invloed van de Duitse Energiewende op de Nederlandse transitiepaden in de periode 2015 - 2035 dient goed in kaart te worden gebracht. Belangrijk is ook de mate waarin de (Noord-West) Europese landen samen kunnen werken. Een echte gezamenlijke aanpak van de energietransitie is nu nog ver te zoeken. Mocht deze ooit een feit worden dan kunnen veranderingen sneller en goedkoper gerealiseerd worden.

#### 15. Importeren we energie uit de EU of uit de rest van de wereld?

In Nederland en de ons omringende landen zoals Engeland, Duitsland en België lopen de beschikbare voorraden olie, gas en kolen (voor zover ze al aanwezig zijn) snel terug in de periode 2015 - 2050. Ook voor de rest van de EU geldt deze dalende trend alhoewel daar de daling iets geleidelijker gaat. Indien er niets zou veranderen in de energiemix dan zou Nederland voor 95% afhankelijk worden van import (nu ongeveer 50%). In de '80% en 95% CO<sub>2</sub>-reductie' beelden is de importafhankelijkheid van Nederland ongeveer 70%.

De EU als geheel gaat in 2015 - 2050 van een importafhankelijkheid van 50% naar bijna 70% als er niets zou veranderen. Door echter meer in te zetten op efficiëntie en hernieuwbare elektriciteit kan dit teruglopen tot onder de 50%. In de beelden voor Nederland zou dus grofweg een derde van de primaire energie uit Nederland zelf komen, een derde zou import vanuit de EU zijn en ook een derde import van buiten de EU. De helft van deze import is biomassa. Als we ook de feedstock (olie en gas) voor de industrie vervangen door biomassa in het beeld, dan is praktisch alle import biomassa in het '95% CO<sub>2</sub>-reductie' beeld.

#### 16. Hoe zit het met de energie voor internationale zeescheepvaart en luchtvaart?

Het Energietransitiemodel neemt bunkers (transportbrandstoffen voor schepen en vliegtuigen) niet mee, maar al het energiegebruik binnen Nederlands grondgebied uiteraard wel. Bunkers worden door CBS en IEA als export gezien en niet tot het binnenlands gebruik gerekend.

	Brandstof	Vliegtuig-kerosine	Gasolie & lichte stookolie	Stookolie	Totaal energetisch
<b>Bunkers</b>					
<b>Internationale scheepvaart</b>			67	493	560
<b>Internationale luchtvaart</b>		141			141
<b>Totaal (PJ)</b>		<b>141</b>	<b>67</b>	<b>493</b>	<b>702</b>

**Tabel 3:** Overzicht bunkers uit IEA energiebalans voor Nederland 2012

De gegevens over bunkers uit de IEA energiebalans van Nederland voor 2012 zijn samengevat in **tabel 3**. Als we uitgaan van emissiefactoren zoals de IPCC die in haar guidelines<sup>3</sup> heeft gespecificeerd in 2006, betekent dit dat de Nederlandse economie in feite extra emissies met

<sup>3</sup> Via [deze link](#) te downloaden van IPCC website

zich meebrengt. Deze zijn in **tabel 4** samengevat.

Dit brandstofgebruik zou theoretisch door biobrandstoffen kunnen worden vervangen. Als we deze brandstofinzet door biomassa vervangen, zou dat ergens in de wereld een extra biovoetafdruk van nog eens ongeveer 2,5 tot 7 maal het Nederlands cultuurareaal<sup>4</sup> vergen, afhankelijk van de gekozen biobrandstof. Bijvoorbeeld: palmolie uit de tropen kost het minste areaal en biodiesel uit Europa het meeste. Teelt van palmolie is om milieugronden echter meer omstreden dan teelt van koolzaad. Al met al lijkt deze route niet de juiste en moeten we wellicht gaan nadenken over of we niet minder goederen en mensen over de wereld moeten gaan verplaatsen zolang we geen andere betrouwbare mogelijkheden hebben om vliegtuigen en zeeschepen voort te bewegen. Of in ieder geval op routes waar dat kan binnen Europa, dit meer met hogesnelheidstreinen gaan doen.

Brandstof	Vliegtuig-kerosine	Gasolie & lichte stookolie	Stookolie	Totaal energetisch
<b>Bunkers</b>				
<b>Internationale scheepvaart</b>		4.9	38.2	43.1
<b>Internationale luchtvaart</b>	10.1			10.1
<b>Totaal (MT)</b>	<b>10.1</b>	<b>4.9</b>	<b>38.2</b>	<b>53.3</b>

**Tabel 4:** Energetische CO<sub>2</sub>-emissies voor bunkers in Nederland 2012

#### 17. Welke inzet van biomassa voor energie is nog acceptabel in het 2050 beeld?

Naarmate het percentage CO<sub>2</sub>-reductie toeneemt in de beelden, stijgt ook de inzet van biomassa, omdat fossiele brandstof wordt vervangen door biomassa op die plekken waar elektrische technieken niet voorhanden zijn. Dit geldt (bij de huidige stand van de technologie) met name voor hogetemperatuur toepassingen in de industrie.

In het Energietransitiemodel rekenen we de verschillende vormen van biomassa terug naar de hoeveelheid grond die er nodig is voor de productie van die hoeveelheid biomassa. We drukken dit uit als een cijfer t.o.v. de Nederlandse cultuurgronden (CBS definitie). Voor de eenvoud van de discussie hanteren we hier de iets eenvoudiger te begrijpen term Nederlands landbouwareaal. Het ETM berekent de oppervlakte die we jaarlijks ergens in de wereld moeten inzetten, om voldoende biomassa te hebben voor onze energiebehoefte. Maar welke biovoetafdruk is nog acceptabel voor een klein dichtbevolkt hoog-industrieel land als Nederland?

De beelden komen uit op:

- 0,7 keer het Nederlandse landbouwareaal (SER 2023 Energieakkoord),
- 1,2 keer het Nederlandse landbouwareaal voor de '80% CO<sub>2</sub>-reductie' varianten,
- 2,9 keer het Nederlandse landbouwareaal voor de '95% CO<sub>2</sub>-reductie' varianten

*Hierbij dient te worden opgemerkt dat in deze beelden aardolieproducten nog steeds de feedstock voor de industrie en de brandstof voor zeescheepvaart en luchtvaart vormen. Zie ook de punten 16 en 18.*

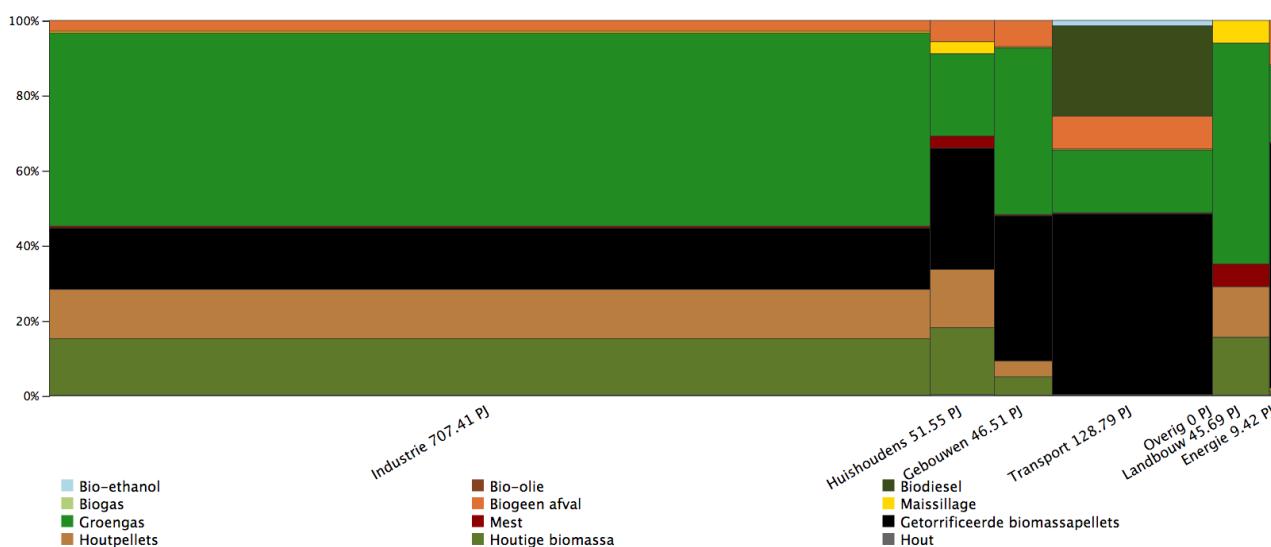
De oorsprong van de biomassa die we inzetten in deze (voor)beelden is divers. Zie **figuur 2**. Voor meer discussie over de herkomst van biomassa zie **bijlage 3**.

*Limitering van de inzet van biomassa in de beelden tot minder dan 1 keer het Nederlands landbouwareaal is mogelijk voor het '80% CO<sub>2</sub>-reductie' beeld, maar betekent dat er dan meer*

<sup>4</sup> Aannames dat het Nederlands cultuurareaal ongeveer 18.500 km<sup>2</sup> is en dat 1 km<sup>2</sup> ongeveer 5,3 TJ biodiesel oplevert. Een km<sup>2</sup> in de tropen levert ongeveer 15,5 TJ palmolie. Zie ook punt 18.

inzet van windstroom en zonnestroom in het model nodig is met meer opslag en veel meer 'demand side management'. Ook komen kleine fossiele backup centrales (met of zonder CCS) dan weer in beeld. Bij de huidige aannames zou een dergelijk beeld voor 2050 een aantal miljarden euro's duurder uitkomen dan de beelden die we hier gebruiken. Het '80% CO<sub>2</sub>-reductie' beeld is dan nog wel realiseerbaar met de technieken die beschikbaar zijn in het Energietransitiemodel, maar het '95% CO<sub>2</sub>-reductie' beeld zou dan onhaalbaar worden tenzij we de zware industrie afbouwen. Zie ook de punten 6, 7, 8, 9, 10, 11 en 18 in dit hoofdstuk over dit onderwerp en de discussie in **bijlage 3** over het industrieel energieverbruik.

### Primair gebruik van biobrandstoffen



**Figuur 2:** Primair energiegebruik van biobrandstoffen per sector en type in het in '95% CO<sub>2</sub>-reductie' beeld 2050

### 18. Welke inzet van biomassa voor feedstock is nog acceptabel in het 2050 beeld?

We hebben in alle beelden voor 2050 het niet-energetisch gebruik van brandstof (de feedstock) voor de industrie in de vorm van aardolie niet aangepast, omdat dit niet wordt meegeteld in termen van CO<sub>2</sub>-uitstoot of inzet van hernieuwbare energie. Echter indien we de volledige aardolie en aardgas feedstock zouden vervangen door biomassa dan zouden we nog eens 870 PJ aan aardolie en aardgas moeten substitueren. Dit komt neer op 3 - 9 maal het Nederlands landbouwareaal afhankelijk van welke vorm van op land geteelde biomassa we hiervoor inzetten<sup>5</sup>. Misschien moeten we de discussie over het gebruik van aardolie en aardgas in de vorm van producten die niet op de korte termijn CO<sub>2</sub> uitstoten daarom wel overwegen.

<sup>5</sup> Zie ook punt 16 over bunkers voor aannames over biobrandstoffen en landgebruik.

## 4. Op weg naar het gebouw zonder energierekening

1. **Tabel 5** toont de bevolkingsgroei in de gemaakte toekomstbeelden evenals die van het aantal huizen. Het aantal bewoners per huis daalt.

### Overzicht van populatie en huishoudens

	2012	2050
Aantal inwoners	16730348.0	17600000.0
Aantal huishoudens	7386743.0	8500001.0
Aantal inwoners per huishouden	2.3	2.1

**Tabel 5:** Overzicht van de groei van de bevolking en het aantal huishoudens in de toekomstbeelden

2. De gemiddelde temperatuur in Nederland loopt op met 2 °C (hetgeen gunstig is voor de verwarmingsvraag maar ongunstig voor de vraag naar koeling).
3. Oude en nieuwe huizen worden veel beter geïsoleerd en kierdicht gemaakt. Nieuwe huizen moeten liefst tot op 'passief-huis' niveau worden geïsoleerd en kierdicht gemaakt om de warmtevraag te beperken
4. De gasgestookte HR Combi ketel verdwijnt en wordt vervangen door verschillende typen elektrische en hybride warmtepompen, hr(-e) ketels op groengas, collectieve warmtenetten en een beperkte hoeveelheid hoge temperatuur hout-cv kachels,
5. In de CO<sub>2</sub>-reductie beelden verdienen stadsverwarming of collectieve warmtenetten extra aandacht. Stadsverwarming die nu gebaseerd wordt op restwarmte van de energie-intensieve industrie of fossiele centrales aan de rand van de stad zijn grotendeels verdwenen uit de (voor)beelden. Er zijn namelijk bijna geen grote centrales meer die continue draaien en de zware industrie gaat zelf zijn restwarmte benutten of verdwijnt misschien. De vraag is wat dan wel de warmte gaat leveren aan deze warmtenetten. De mogelijkheden van geothermie op grote schaal zijn nog relatief onbekend. Stadsverwarming komt dus nog wel voor in de (voor)beelden, maar in beperkte mate (15% - 21% voor verwarming van huishoudens).
6. Elektrische zonnepanelen (PV) en thermische zonnepanelen worden in toenemende mate (van '80% CO<sub>2</sub>-reductie' richting '95% CO<sub>2</sub>-reductie') toegepast. Met name na isolatie van de woningen kunnen thermische zonnepanelen ook een belangrijke rol spelen in de lage-temperatuur verwarming van de woning in het voor- en najaar en het produceren van warm tapwater in de zomer.
7. Koken vindt uitsluitend nog elektrisch plaats en in toenemende mate via inductie of vergelijkbare technologie. De lampen zijn in toenemende mate LED of van vergelijkbare efficiëntie. De in huizen en kantoren ingezette elektrische apparaten zijn allemaal A+++ en daarmee zo'n 30 - 70% energie-efficiënter dan onze huidige apparaten. Er zijn wel meer apparaten per gebouw.
8. Door de voortschrijdende mogelijkheden van domotica is er tegen 2050 geen noodzaak meer om mensen te vragen apparaten of lichten uit te doen of de verwarming lager te zetten als ze er niet zijn. Domotica regelt dit soort dingen automatisch.



## 5. Richting 100% elektrisch (deel)vervoer

1. In alle beelden neemt het aantal reizigerskilometers en het aantal vervoersbewegingen toe met 0,5% tot 1,2% per jaar.
2. Personenvervoer elektrificeert bijna volledig in het '95% CO<sub>2</sub>-reductie' beeld, maar in het '80% CO<sub>2</sub>-reductie' beeld is er nog wat meer ruimte voor auto's met verbrandingsmotoren. Ook het vrachtverkeer dient verder te elektrificeren in het '95% CO<sub>2</sub>-reductie' beeld. In deze beelden rijdt nog slechts een klein deel op biodiesel. Als alternatief kan aan waterstof gedacht worden. Er zijn ook varianten mogelijk met groen LNG gas maar die jagen de bio-voetafdruk verder omhoog.
3. Verder is het nog bijzonder te vermelden dat de experts verwachten dat auto's met verbrandingsmotoren sneller efficiënt worden dan de auto's met elektromotoren. De verwachting is dat auto's met verbrandingsmotoren gemiddeld de komende 35 jaar 2% per jaar efficiënter worden (ongeveer van 1 liter op 15 km naar 1 liter op 30 km) en auto's met elektromotoren maar 0,3% per jaar efficiënter worden. Dit heeft alles te maken met het feit dat elektrische aandrijving al zeer efficiënt is. Desondanks moeten in alle beelden de auto's met verbrandingstechnologie wijken voor de EV's. Proeven in verschillende steden lijken te duiden op een verschuiving van eigen EV's richting EV's waarop je een abonnement kan nemen.

## 6. Wat voor industrie in 2050?

1. Een economische groei van het productievolume van ongeveer 1% per jaar, 35 jaar lang en een efficiëntieverbetering van 1% per jaar, 35 jaar lang dempen elkaar uit in de beelden. Daarnaast kiest het model wel voor de meest efficiënt beschikbare technologie. Dat is meestal niet de technologie die momenteel wordt gebruikt in Nederland. Met name in de metaalindustrie neemt het percentage recycling sterk toe in de beelden voor 2050. Het is onwaarschijnlijk dat hiermee behalve de binnenlandse vraag, ook de vraag naar staal in het buitenland kan worden ingevuld. Het is de vraag of grote investeringen in nieuwe, energie-intensieve productiefaciliteiten in Nederland gedaan zullen worden, of juist daar waar de vraag naar staal, raffinage- of petrochemische producten het hoogst zal zijn.
2. Het is evident dat de industriesector allesbepalend zal zijn voor de energiebeelden in 2050. Zie ook de opmerkingen bij punt 8 en 9 in hoofdstuk 3. Daarbij is het model zeer gevoelig voor aannames m.b.t. groei van de industrie en efficiëntieverbetering. Een groei van 1% per jaar en een efficiëntieverbetering van 1% per jaar leveren in 2050 hetzelfde energiegebruik als in 2012, bij een 41% hogere omzet in 2050. Een groei van 0% per jaar met een efficiëntieverbetering van 2% per jaar levert echter een vergelijkbare omzet in 2050 bij een 51% lager energiegebruik in 2050.
3. Het verdient aanbeveling om verder te gaan dan de huidige exercitie om routekaarten te maken per industrie. Een industrie kan zelf niet eenvoudig een route uitzetten waarin deze van de kaart verdwijnt. Derhalve zijn routekaarten per industrie, gemaakt door de industrie zelf, maar beperkt nuttig in dit soort lange-termijn-exercities. Een overzichtskaart schetsen van de industrie als geheel in 2050 lijkt een zinvolle denkoefening. Hoe verhouden zich de huidige (energie-intensieve) industrieën t.o.v. andere (nieuwe) industrieën? En waar gaat Nederland zijn geld mee verdienen in 2050? De (voor)beelden voor 2050, die in het kader van dit rapport zijn gemaakt roepen bijvoorbeeld de vraag op wat de rol van een raffinaderij is als de personenauto's elektrisch worden.

## 7. Energieleverende kassen, energieneutrale boerderijen en plantaardiger eten?

1. Op dit moment is de kasbouw verantwoordelijk voor het leeuwendeel van de energievraag in de landbouw. Door de komst van een energiezuinige of zelfs energieleverende kas kan de tuinbouwsector energetisch worden omgevormd zonder te verdwijnen.
2. Op boerderijen kan men in toenemende mate met PV panelen op grote schuurdaken en biovergistings- en vergassingsinstallaties voorzien in de eigen energiebehoefte. Of dit betekent dat men loskoppelt van distributienetten of juist grote netverzwaringkosten veroorzaakt, is onzeker en sterk afhankelijk van voorhanden zijnde opslagmethoden.
3. Een belangrijke keuze die in dit gebied overblijft, is of de productiviteit van landbouwgronden niet vergroot moet worden door eiwit voor menselijke consumptie op basis van planten te telen, in plaats van met dieren. In het veenweidegebied kan dit niet, omdat daar alleen gras wil groeien en hier koeien een efficiënte vorm van eiwitproductie leveren. Op andere gronden is de koe of het varken juist veel minder efficiënt dan plantaardige gewassen.
4. Indien we op zand- en kleigronden uitsluitend gewassen voor menselijke consumptie gaan telen dan kunnen we een deel van die gronden vrijspelen (dankzij de hogere efficiëntie) voor biomassa. Dit vraagt echter wel een meer plantaardig eetpatroon dan het huidige eetpatroon.

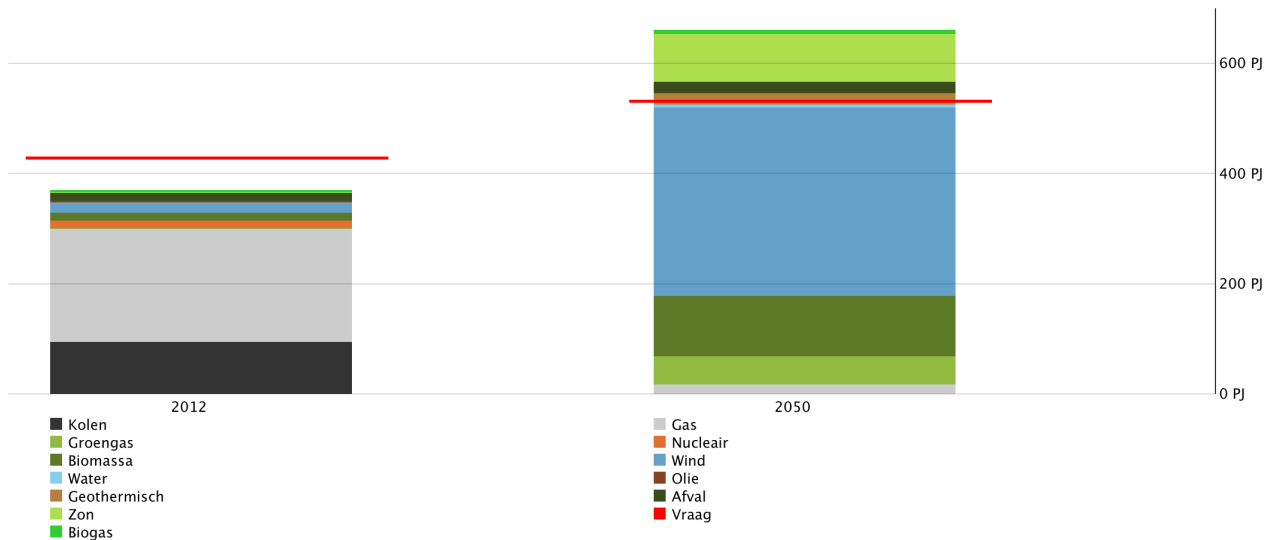
## 8. Kosten voor de B.V. Nederland

1. Kosten inschatten op een termijn van 35 jaar is eigenlijk niet mogelijk. Maar desondanks hebben verschillende instituten pogingen gedaan. Op basis van diverse bronnen die in **bijlage 1** te vinden zijn, hebben we een beste inschatting gemaakt voor de vergelijking van de verschillende beelden.
2. De aannames over de prijzen van brandstoffen in 2050 gaan uit van een stijging voor aardolie (+74%), aardgas (+38%) en kolen (+26%) en een gelijke prijs voor biomassa ten opzichte van begin 2015. Deze aannames zijn een gemiddelde van het gematigde 'New Policy' en extremere '450 ppm' scenario uit de World Energy Outlook 2014 voor 2040 van de International Energy Agency. Voor 2050 waren geen aannames voorhanden.
3. De prijzen voor investeringen in verbrandingscentrales worden geacht met in totaal 5% te dalen. Dit is in feite het gevolg van een geleidelijke efficiëntieverbetering voor thermische stroomproductie.
4. De systeemkosten van zonnepanelen dalen daarentegen met 80% (o.a. door integratie in gebouwdelen). De investeringskosten voor windmolens off-shore nemen af met 40% evenals de onderhoudskosten. Voor onshore wind is dit -12% en -25%.
5. Kerncentrales worden 10% duurder. Het uitgangspunt is dat eventuele incrementele efficiëntieverbeteringen wegvallen tegen extra kosten als gevolg van steeds strengere veiligheidseisen.
6. De CO<sub>2</sub>-prijs is voor 2050 op ruim 70 euro per ton gezet. Ook hier is sprake van het gemiddelde van de 'New Policy' en '450 ppm' scenario's uit de World Energy Outlook van de IEA. De invloed van de CO<sub>2</sub>-prijs in de beelden voor 2050 is gering omdat er weinig CO<sub>2</sub> meer wordt uitgestoten. De invloed van de CO<sub>2</sub> prijs is vooral van belang voor het *transitiepad* naar deze beelden.
7. De prijzen van warmtepompen dalen met 20% en de prijzen voor micro-wkk's en brandstofcellen met 60%. Dit zijn schattingen op basis van interviews met experts.

## 9. Nederland draait op wind, zon, omgevingswarmte & biomassa

- De vraag naar elektriciteit is fors hoger geworden in alle 2050 beelden en de vraag naar brandstoffen voor transport en warmte fors lager. Verder is de elektriciteitsproductie nu opgebouwd uit grotendeels wind met zon en biomassa met een overschot dat ingezet kan worden voor P2G of P2H of in batterijen (losstaand of in elektrische auto's).

### Elektriciteitsproductie

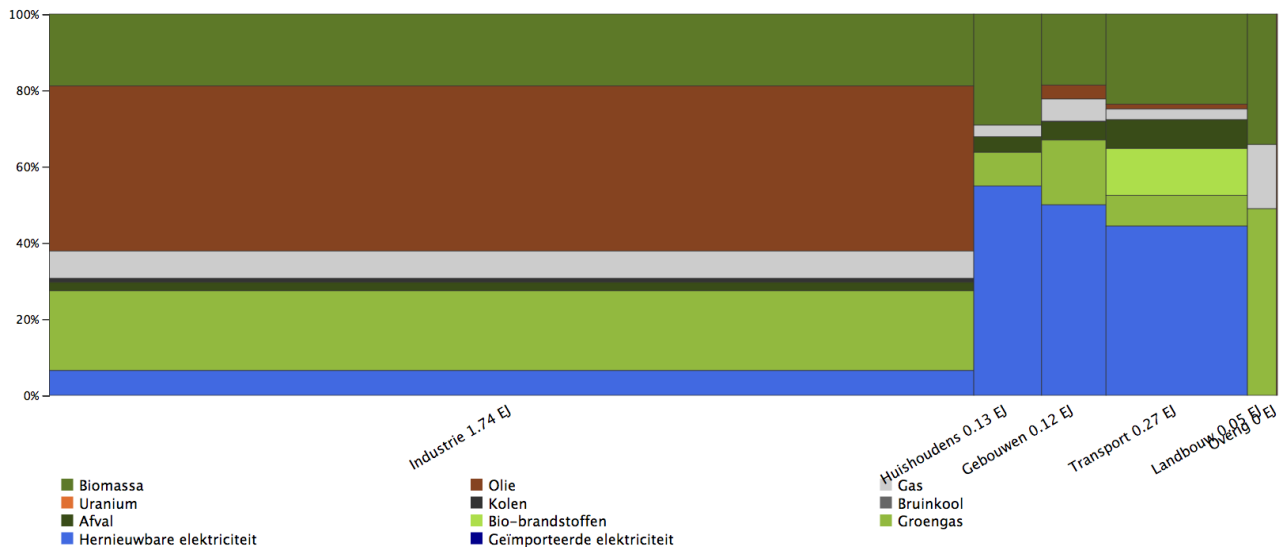


**Figuur 3:** Elektriciteitsproductie in het '95% CO<sub>2</sub>-reductie' 2050 beeld

**Figuur 3** geeft een overzicht van de verschillende vormen van elektriciteitsproductie. De rode lijn geeft de vraag naar elektriciteit aan. In 2012 importeerde Nederland stroom, vandaar dat de productiestaaf lager uitkomt dan de rode vraaglijn. Dit is in 2012 ingevuld met import van voornamelijk kolenstroom uit Duitsland. In 2050 is er echter een productieoverschot veroorzaakt door windstroom (blauw) en zonnestroom (lichtgroen). Dit overschot kan gebruikt worden voor export, opslag of een grotere vraag naar elektriciteit bij lagere prijzen op gang brengen waardoor de rode lijn gaat stijgen.

- De brandstoffen die gebruikt worden in de overgebleven kolencentrales, in het aardgasnet en voor transport bevatten biomassa. In het '80% CO<sub>2</sub>-reductie' beeld is dit 100% biokolen, 13% groen gas en 70% biodiesel. In het '95% CO<sub>2</sub>-reductie' beeld is dit 100% biokolen, 75% groen gas en 96% biodiesel. Daardoor loopt de biomassavoetafdruk van het 80% naar het 95% beeld dan ook snel op. De inzet van opslag en demand side management en stoomrecompressie maken het mogelijk om de biomassavoetafdruk weer te verlagen. Maar in de beelden waarin de elektrificatie verregaand is voortgeschreden wordt nog steeds het grootste deel van de primaire energie niet geleverd door hernieuwbare elektriciteit (zie **figuur 4**). Er is er dus nog steeds veel andere energie nodig. De uitgebreide biomassavoetafdruk zal dan ook maar deels gecompenseerd kunnen worden door opslag, demand side management en elektrische stoomrecompressie.

Primair energieverbruik



**Figuur 4:** Primair energiegebruik per sector en type in het in '95% CO<sub>2</sub>-reductie' beeld 2050

In deze beelden gaat het grootste deel van het energiegebruik naar de industrie. De industrie gebruikt als feedstock nog voornamelijk aardolie en aardgas. Voor zijn energie gebruikt het voornamelijk (groen)gas en hernieuwbare elektriciteit. De overige sectoren gebruiken voornamelijk hernieuwbare elektriciteit en voor een relatief klein deel (groen)gas, biobrandstoffen en biomassa.

## Literatuurlijst

1. PRIMES 2011 Reference scenario results: SUMMARY ENERGY BALANCE AND INDICATORS (A)
2. CBS Prognose huishoudens op 1 januari 2050; kerncijfers 2013-2060
3. [http://www.knmi.nl/klimaatverandering\\_en\\_broeikaseffect/klimaat\\_en\\_klimaatverandering/deel\\_8.html](http://www.knmi.nl/klimaatverandering_en_broeikaseffect/klimaat_en_klimaatverandering/deel_8.html)
4. PBL\_2011\_Naar een schone economie in 2050 - Routes verkend.pdf
5. PBL\_2013\_Demografische ontwikkelingen 2010-2040 - Achtergrondstudies.pdf
6. ECN\_201410\_Nationale Energieverkenning 2014.pdf
7. ECN\_201401\_Scenarios for energy carriers in the transport sector.pdf
8. ECN\_201504\_Informatie en bronnen voor Rli Energieadvies 2050.docx
9. CE Delft\_201504\_Input voor Rli Energievisie - deel Mobiliteit.docx
10. CE Delft\_201504\_Toekomstvisie warmte in de industrie 2030-2050.pdf
11. KIM\_201411\_Mobiliteitsbeeld 2014.pdf
12. IEA\_201106\_Technology Roadmap EV and PHEV.pdf
13. IEA\_2014\_World Energy Investment Outlook 2014 - Energy Efficiency Assumptions.xlsx
14. IEA\_2014\_World Energy Investment Outlook 2014 - Power Generation Assumptions.xlsx
15. IEA\_2014\_World Energy Outlook 2014.pdf
16. IEA\_201405\_Energy Technology Perspectives 2014.pdf
17. GWEC\_2014\_Global Wind Energy Outlook 2014.pdf
18. Fraunhofer ISE\_201502\_Current and Future Cost of PV.pdf
19. IF\_Ecofys\_TNO\_201103\_Diepe geothermie in 2050.pdf
20. PBL\_201411\_De rol van de elektrische warmtepomp in een klimaatneutrale woningvoorraad.pdf
21. DHPA\_201307\_Positioning paper Warmtepompen en economie.pdf
22. Verslagen expertsessies voor Rli

## Bijlage 1: Aannames en bronnen exogene variabelen

### Inleiding

Hieronder volgt een korte beschrijving van hoe wij tot de aannames en instellingen van exogene variabelen zijn gekomen. Lang niet alle aannames zijn gebaseerd op kwantitatieve bronnen. Voor alle aannames is wel goed gekeken of ze binnen de bandbreedtes liggen die geschetst worden in kwalitatieve bronnen zoals bijvoorbeeld de verslagen van de expert-sessies voor Rli. In onderstaande tabellen staat naast dergelijke aannames die niet op kwantitatieve bronnen zijn gebaseerd steeds de term 'schatting'. Het betreft hier met name aannames over 'autonome groei' van de vraag en isolatiegraad in de gebouwde omgeving en de ontwikkelingen in de industrie. Indien naast 'schatting' ook nog een bron vermeld staat, is sprake van een schatting met gebruik van een kwantitatieve bron.

Wat betreft de aannames over CO<sub>2</sub> en brandstofprijzen, hebben we ons gebaseerd op de World Energy Outlook (WEO) 2014 van het International Energy Agency. De prijsvoorspellingen van de WEO gaan niet verder dan 2040, dus hebben we deze aangenomen voor 2050. We gaan uit van een gemiddelde van de prijzen voor de New Policies 450 ppm scenario's. Dit wijkt af van de benadering van Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) die voor haar scenario's uitgaat van Current Policies prijzen. Aangezien het in deze exercitie gaat om een toekomstbeeld met verregaande CO<sub>2</sub>-reductie, lijken deze prijzen voor onderhavige denkoefening nauwelijks van toepassing. Het spreekt tot slot voor zich dat alle voorspellingen van prijzen een zeer grote onzekerheid kennen.

Quintel suggereert op geen enkele manier dat de gekozen instellingen voor exogene variabelen ook daadwerkelijk zo zullen uitkomen. We hebben echter gepoogd om deze zo in te stellen dat ze een goed beginpunt van de creatie van de 2050 beelden kunnen vormen. Uiteindelijk zou men eigenlijk in het ETM zelf de invloed van de aannames moeten bestuderen door deze aannames eens aan te passen.



Onderdeel	Sector	Sub	Onderwerp	Eenheid	Gebruikte instelling	Bronnen / Aannames
<b>Vraag</b>						
			<b>Huishoudens</b>			
			Welvaart			Geen
			Warm watervraag	%/jaar	0,0%	schatting
			Apparaten	%/jaar	0,3%	schatting
			Verlichting	%/jaar	0,3%	schatting
			Koken	%/jaar	0,0%	schatting
			Warmtevraag	%/jaar	0,0%	schatting
			Koude vraag	%/jaar	0,4%	schatting
			Bevolking			
			Aantal inwoners	mln	17,6	1,2
			Klimaat			
			Buitentemperatuur	C	2	3, +2°C wereld
			Constructie en isolatie			
			Huizen gebouwd vóór 1991	mln	5,1	restpost
			Huizen gebouwd na 1991	mln	3,4	schatting: 4, 5
			Isolatie waarde oude huizen	m2K/W	1,0	schatting: 22
			Isolatie waarde nieuwe huizen	m2K/W	3,0	schatting
			Apparaten			
			Label	letter	A+++	schatting
			Gedrag vs domotica			
			Apparaten uitzetten	%	Max	schatting
			Lichten uitzetten	%	Max	schatting
			Verwarming uitzetten	%	Max	schatting
			Wassen op lage temperatuur	%	Max	schatting

**Tabel 6a:** Aannames en bronnen voor exogene variabelen in onderdeel Huishoudens<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Zie literatuurlijst voor corresponderende bronnen bij nummers

Onderdeel	Sector	Sub	Onderwerp	Eenheid	Gebruikte instelling	Bronnen / Aannames
<b>Vraag</b>			<b>Gebouwen</b>			
			Groei van de vraag			Geen
			Aantal gebouwen	mln	0,2%	schatting, 6
			Elektriciteit per gebouw	%/jaar	0,2%	schatting
			Warmte per gebouw	%/jaar	0,0%	schatting
			Koeling per gebouw	%/jaar	0,0%	schatting
			<b>Isolatie</b>			
			Isolatiewaarde gebouwen	m2K/W	2,0	schatting
			<b>Apparaten</b>			
			Apparaten efficiëntie	%/jaar	1,0%	schatting
			<b>Verlichting</b>			
			Intelligente regeling: Bewegingsdetectie	%	100%	schatting
			Intelligente regeling: Daglicht afhankelijke regeling	%	100%	schatting
			<b>Transport</b>			7, 8, 23
			<b>Mobiliteitsgroei</b>			9, 11
			Auto's	%/jaar	0,5%	1, 7, 8, 9, 11
			Vrachtwagens	%/jaar	1,2%	1
			Treinen	%/jaar	1,2%	1
			Binnenvaart	%/jaar	1,1%	1
			Binnenlandse vluchten	%/jaar	2,1%	1
			<b>Efficientieverbeteringen</b>			
			Elektrische voertuigen	%/jaar	0,3%	schatting, 12
			Brandstof vrachtwagens	%/jaar	2,0%	schatting, 13
			Brandstof auto's	%/jaar	2,0%	schatting, 13
			Treinen	%/jaar	1,0%	schatting
			Schepen	%/jaar	1,0%	schatting
			Vliegtuigen	%/jaar	1,0%	schatting

**Tabel 6b:** Aannames en bronnen voor exogene variabelen in onderdelen Gebouwen en Transport<sup>7</sup><sup>7</sup> Zie literatuurlijst voor corresponderende bronnen bij nummers

Onderdeel	Sector	Sub	Onderwerp	Eenheid	Gebruikte instelling	Bronnen / Aannames
Vraag			<b>Industrie metaal</b>			
			Productievolume metaal			10, 22
			Staal	%/jaar	1,0%	schatting
			Aluminium	%/jaar	1,0%	schatting
			Overige metalen	%/jaar	0,0%	schatting
			Efficiëntieverb. overige metalen			
			Efficiëntie elektriciteit	%/jaar	1,0%	schatting
			Efficiëntie warmte	%/jaar	1,0%	schatting
			<b>Industrie Chemisch</b>			10, 22
			Groei van vraag	%/jaar	1,0%	schatting
			Elektriciteit	%/jaar	1,0%	schatting
			Warmte	%/jaar	1,0%	schatting
			Olie niet energetisch	%/jaar	1,0%	schatting
			Gas niet energetisch	%/jaar	1,0%	schatting
			Overig niet-energetisch	%/jaar	1,0%	schatting
			Efficiëntieverbeteringen			
			Elektriciteit	%/jaar	1,0%	schatting
			Warmte	%/jaar	1,0%	schatting
			<b>Industrie overig</b>			10, 22
			Groei van de vraag			
			Elektriciteit	%/jaar	1,0%	schatting
			Warmte	%/jaar	1,0%	schatting
			Olie niet energetisch	%/jaar	1,0%	schatting
			Overig niet-energetisch	%/jaar	1,0%	schatting
			Efficiëntieverbeteringen			
			Elektriciteit	%/jaar	1,0%	schatting
			Warmte uit brandstof	%/jaar	1,0%	schatting

**Tabel 6c:** Aannames en bronnen voor exogene variabelen in onderdeel Industrie<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Zie literatuurlijst voor corresponderende bronnen bij nummers

Onderdeel	Sector	Sub	Onderwerp	Eenheid	Gebruikte instelling	Bronnen / Aannames
<b>Vraag</b>			<b>Landbouw</b>			geen
			Groei van de vraag			
			Elektriciteit	%/jaar	0,0%	schatting
			Warmte	%/jaar	0,0%	schatting
			<b>Overig</b>			geen
			Elektriciteit	%/jaar	0,0%	schatting
			Warmte	%/jaar	0,0%	schatting
Niet-energetisch	%/jaar	0,0%	schatting			

**Tabel 6d:** Aannames en bronnen voor exogene variabelen in onderdelen Landbouw en Overig

Onderdeel	Sector	Sub	Onderwerp	Eenheid	Gebruikte instelling	Bronnen / Aannames
<b>Kosten</b>						
			<b>Brandstofprijzen</b>			Gemiddelde New policies en 450 scenario's
			Verbranding			
			<i>Aardgas</i>	<i>EUR/MWh</i>	<i>28,04</i>	
			Aardgas	% change	38%	15
			<i>Olie</i>	<i>\$/barrel</i>	<i>87,21</i>	
			Olie	% change	74%	15
			<i>Kolen</i>	<i>\$/tonne</i>	<i>71.09</i>	
			Kolen	% change	26%	15
			Biomassa	% change	0%	geen consensus
			Kercentrales			
			Uranium	%	0%	geen invloed
			<b>Kosten verbrandingscentrales</b>			
			Investerings			
			Gascentrale	%	-5%	14, 16
			Oliecentrale	%	-5%	14, 16
			Kolencentrale	%	-5%	14, 16
			Biomassacentrale	%	-5%	14, 16
			Afvalverbranding	%	-5%	14, 16
			Onderhoud en beheer			
			Gascentrale	%	-5%	14, 16
			Oliecentrale	%	-5%	14, 16
			Kolencentrale	%	-5%	14, 16
			Biomassacentrale	%	-5%	14, 16
			Afvalverbranding	%	-5%	14, 16
			<b>Kosten kerncentrale</b>			
			Investerings			
			Kerncentrale	%	10%	14, 16
			Onderhoud en beheer			
			Kerncentrale	%	10%	14, 16

**Tabel 6e:** Aannames en bronnen voor exogene variabelen in onderdeel Kosten<sup>9</sup>

<sup>9</sup> Zie literatuurlijst voor corresponderende bronnen bij nummers

Onderdeel	Sector	Sub	Onderwerp	Eenheid	Gebruikte instelling	Bronnen / Aannames
<b>Kosten</b>						
			<b>Kosten windstroom</b>			
			Investeringen			
			Op land	%	-12%	14, 17
			Op zee	%	-40%	14
			Onderhoud en beheer			
			Op land	%	-25%	14
			Op zee	%	-40%	14
			<b>Kosten waterkracht</b>			
			Investeringen			
			Rivier	%	0%	weinig invloed
			Onderhoud en beheer			
			Rivier	%	0%	weinig invloed
			<b>Kostenzonnestroom</b>			
			Zon PV	%	-80%	18 (14, 16)
			<b>Kosten geothermie</b>			
			Investeringen			Onduidelijk
			Stroom uit aardwarmte	%	-45%	14, 19
			Onderhoud en beheer			
			Stroom uit aardwarmte	%	0%	Alle afname op investeringen
			<b>Kosten CO<sub>2</sub>-uitstoot</b>			Gemiddelde
			Prijzen	EUR/ton	71,28	New policies en 450 scenario's
			CO <sub>2</sub> prijs	%	800%	15
			Vrije rechten	%	0%	Aanname
			CCS			
			CCS Investeringen	%	0%	14
			CCS Onderhoud & beheer	%	0%	14

**Tabel 6e:** Aannames en bronnen voor exogene variabelen in onderdeel Kosten (vervolg)<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Zie literatuurlijst voor corresponderende bronnen bij nummers

Onderdeel	Sector	Sub	Onderwerp	Eenheid	Gebruikte instelling	Bronnen / Aannames
			<b>Werkgelegenheid</b>			
			Productieaandeel	%	50%	niet aangepast
			Binnenlandse arbeid	%	20%	niet aangepast
			Economische multiplier	%	1	niet aangepast
			<b>Verwarmingstechnologie</b>			
			Micro-WKK	%	-60%	GasTerra
			Brandstofcel	%	-60%	14
			Elektrische warmtepompen	%	-20%	20, 21
			Gaswarmtepompen	%	-20%	aanname idem aan elektr. WP

**Tabel 6e:** Aannames en bronnen voor exogene variabelen in onderdeel Kosten (vervolg)<sup>11</sup>

Onderdeel	Sector	Sub	Onderwerp	Eenheid	Gebruikte instelling	Aanname
<b>Aanbod</b>						
			<b>Elektriciteit</b>			
			Kolencentrales			Deze centrales
			Kolen conventioneel	#	0,0	kunnen niet
			Gascentrales			ingezet worden
			Gas conventioneel	#	0,0	in de
			Oliecentrales			optimalisatie
			Oliecentrale	#	0,0	
			Kerncentrales			
			Kern conventioneel	#	0,0	

**Tabel 6f:** Aannames voor exogene variabelen in onderdeel Aanbod

<sup>11</sup> Zie literatuurlijst voor corresponderende bronnen bij nummers

## Bijlage 2: Beelden ten behoeve van deze studie inclusief links<sup>12</sup> naar ETM beeld

### Beeld Energieakkoord 2023

Energiegebruik	CO <sub>2</sub> uitstoot	Energie import	Kosten (mlrd)	Bio-voetafdruk	Hernieuwbaar
-6.8%	-9.0%	35.2%	€67.5	0.7xNL	14.6%

Link: [Energieakkoord 2023 \(voor\)beeld](#)

### (Voor)beeld '80% CO<sub>2</sub>-reductie' in 2050 in Nederland

Energiegebruik	CO <sub>2</sub> uitstoot	Energie import	Kosten (mlrd)	Bio-voetafdruk	Hernieuwbaar
-29.2%	-80.0%	73.9%	€54.6	1.2xNL	65.3%

Link: [\(Voor\)beeld '80% CO<sub>2</sub>-reductie' in 2050 in Nederland](#)

### (Voor)beeld '95% CO<sub>2</sub>-reductie' in 2050 in Nederland

Energiegebruik	CO <sub>2</sub> uitstoot	Energie import	Kosten (mlrd)	Bio-voetafdruk	Hernieuwbaar
-29.9%	-95.0%	70.0%	€60.4	2.9xNL	91.1%

Link: [\(Voor\)beeld '95% CO<sub>2</sub>-reductie' in 2050 in Nederland](#)

**N.B.:** Alle in dit rapport gebruikte grafieken zijn ook rechtstreeks oproepbaar binnen het desbetreffende 'scenario' in het Energietransitiemodel, te bereiken via bovenstaande links.

<sup>12</sup> Lezers met een papieren versie kunnen onderstaande links intypen:  
[energietransitiemodel.nl/rli/ser-scenario-2023](http://energietransitiemodel.nl/rli/ser-scenario-2023)  
[energietransitiemodel.nl/rli/80-procent-co2-reductiescenario-2050](http://energietransitiemodel.nl/rli/80-procent-co2-reductiescenario-2050)  
[energietransitiemodel.nl/rli/95-procent-co2-reductiescenario-2050](http://energietransitiemodel.nl/rli/95-procent-co2-reductiescenario-2050)



## Bijlage 3: Impact van innovaties op de (voor)beelden in dit rapport

RVO en Quintel Intelligence spraken elkaar op 1 juli 2015 over de vraag welke ontwikkelingen aan bestaande en/of nieuwe technologieën men bij RVO voorziet, die het energiesysteem in 2050 significant kunnen beïnvloeden (>1%).

Als belangrijkste opmerking kwam hieruit naar voren dat men bij RVO verwacht dat nog 70-85% van het energiegebruik en de energieproductie in 2050 geassocieerd zal zijn met technologieën die nu al commercieel beschikbaar zijn. Uiteraard verwacht men dat deze technologieën tot op zekere hoogte efficiënter en goedkoper zullen worden en met name dat deze beter worden ingepast in het systeem (denk aan volatiele hernieuwbare stroomproductie in combinatie met slim gestuurde vraag). Echt nieuwe technologieën hebben vaak een vrij lange tijd nodig, alvorens ze grootschalig commercieel ingezet worden. Het ETM kent alleen technologieën die nu al commercieel worden toegepast omdat daarvan objectief de kosten en opbrengsten kunnen worden vastgesteld. De geschetste beelden zullen dus een deel van het toekomstig energiegebruik en -productie niet goed meenemen. De beelden zijn in andere woorden te conservatief, omdat ze alleen van nu al bekende technologie uitgaan die wel steeds efficiënter wordt in de toekomst. Ook kan het ETM systeemverbeteringen als gevolg van slimmer samen laten werken van technologieën onvoldoende recht doen.

Verder werd in algemene zin benadrukt dat in toenemende mate het streven zal zijn om kringlopen van gebruikte energie en materiaal zoveel mogelijk lokaal te sluiten, om verspilling te minimaliseren. Het ETM gaat nog uit van een veel meer lineaire economie en onderschat dus mogelijk de besparingen die met name in de industrie te realiseren zijn. Als we hier een getal aan moeten hangen, schatten we dat de industriële vraag mogelijk kan halveren. Dit is met name zeer relevant voor de discussie over inzet van biomassa.

Hieronder worden de besproken ontwikkelingen nader beschreven.

### Nieuwe (en verwachte) ontwikkelingen - aanbod van energie

#### Biomassa

De verwachting is dat nieuwe vormen van biomassa met name kunnen leiden tot een potentieel grotere beschikbaarheid en diversiteit van biomassa en minder beslag op traditionele landbouw- of bosarealen. Het gaat hier bijvoorbeeld om:

- Aquatische biomassa (niet persé op zee, ook in of op gebouwen)
- Biomassa van genetisch gemanipuleerde micro-organismes: deze heeft bijvoorbeeld een specifieke chemische samenstelling, hierbij valt ook te denken aan zeer goedkope afvang van CO<sub>2</sub> uit de lucht.
- Biomassa-achtige toepassingen als kunstmatige fotosynthese (biosolar cells)

Eén van de dingen die veel van deze oplossingen gemeenschappelijk hebben is dat ze de potentie hebben om *lokale* productie van bijvoorbeeld biobrandstoffen of (bio)chemicaliën mogelijk maken. Daarmee neemt het potentieel voor biomassaproductie toe en wordt betere cascadering en specifiekere inzet van biomassa eenvoudiger daar waar het de meeste waarde oplevert. Ook zal dit minder transportbewegingen vragen.

Al met al hebben ontwikkelingen aan biomassa een grote impact op de geschetste toekomstbeelden, wat betreft de bio-voetafdruk. Het ETM zet momenteel alleen eerste generatie biomassa in. Deze gaan gepaard met veel landgebruik en zijn bijvoorbeeld nog niet in te zetten voor een efficiënte te cascade in de industrie. Het ETM kan dus geen beeld schetsen van de

industrie waar biomassa eerst wordt benut als grondstof voor hoogwaardiger toepassingen als farmacie en chemie, om vervolgens wat overblijft te verbranden. Dit kan echter veel impact hebben op het zowel het energetische als niet-energetische fossiele energiegebruik van de industrie. Zie ook de opmerkingen hierboven over het sluiten van kringlopen.

Wat deze ontwikkelingen betekenen voor de prijs is nog niet duidelijk. Daarover bestaat geen consensus onder de experts (in tegendeel). RVO merkt overigens op dat biomassatechnologie nu niet gestimuleerd wordt via topsector beleid o.i.d..

## Geothermie

De verwachting is dat geothermie als technologie volwassen wordt richting 2050. Over het potentieel van geothermie in Nederland bestaat nu nog grote onduidelijkheid, omdat dit zeer sterk afhangt van de locatie, zowel qua geologie als qua bovengrondse ruimtelijke inrichting. In 2015 begint een eerste project met diepe (5 km) geothermie. Complicerende factor voor geothermie: de ophef rondom 'fracking' en schaliegas kan geothermie nog wel eens parten spelen, omdat veel geothermie ook een beperkte mate van 'fracking' vereist.

## DC stroomnetten

Er wordt verwacht dat Europese landen steeds beter met elkaar verbonden worden en er zelfs 'HVDC super grids' zullen komen. Zo'n supergrid maakt uitwisseling van zon- en windstroom mogelijk tussen Noord en Zuid-Europa.

Een gelijkstroomnet heeft het voordeel t.o.v. een wisselstroomnet dat het eenvoudiger te managen is en beduidend minder koper vereist. Met name voor apparaatgebruik zijn grote transformatieverliezen te vermijden. Een (bijna) volledig DC *hoogspanningsnet* kan er alleen komen als er geen grote centrales meer zijn. Het is zeer de vraag of dit in 2050 al een feit is en daarmee zal de gerealiseerde besparing waarschijnlijk beperkt blijven tot apparaten. De geschetste beelden veronderstellen al een sterke besparing voor apparaatgebruik, dus het is de vraag in hoeverre deze ontwikkeling een verschil zou maken.

## Kernenergie

Vierde generatie kernenergie (thorium, gesmolten zout reactoren bijvoorbeeld) zou een rol kunnen spelen in de stroomproductie. Met name grote landen als China en India lijken geïnteresseerd te zijn in deze technologieën. Als deze technologieën daar ontwikkeld worden en als veilig te boek komen te staan zou de maatschappelijke acceptatie van kernenergie in NW Europa weer kunnen toenemen. Het is echter zeer de vraag of dit op tijd zou komen om veel impact te hebben op de stroomproductie. Hoe dan ook is dit afhankelijk van de manier waarop de stroommarkt hervormd wordt, aangezien dure basislast technologieën als kernenergie in de huidige marktstructuur niet eenvoudig in te passen zijn in energiesystemen met veel volatiele duurzame opwek.

De impact van deze ontwikkelingen schatten we klein in op de geschetste beelden.

## Infrastructuur

Men verwacht een verregaande verslimming van stroomnetten en de mogelijkheid om zoveel mogelijk op lokaal niveau de balans te handhaven. Dit zal het mogelijk maken om met veel minder backup- en opslagvermogen het net stabiel te houden. De ETM beelden schetsen maar in zeer beperkte mate de noodzaak van opslag. De impact van verslimming zou het mogelijk maken om nog minder 'schakelbaar' stroomproductievermogen in te zetten dan nu gebeurt.

## Bestaande ontwikkelingen - vraag naar energie

### Internet en data

Het stroomgebruik door datacentra en internetservern en de infrastructuur voor mobiel internet is al significant en groeit sterk. Dit deel van de vraag wordt daarmee steeds belangrijker in de toekomst. Het ETM bevat geen schuifjes om hierover aannames te doen. Dit gebruik valt in de diensten en gebouwen sector. Mogelijk onderschatten de geschetste beelden het stroomverbruik van internet gerelateerde diensten. Overigens bieden datacentra een aardige mogelijkheid voor flexibiliteit van stroomvraag door koeling. Daarmee wordt met name inpassing van zonne- en windstroom eenvoudiger.

### Watersector

Door toenemende verzilting bij stijgende zeeniveaus en uitputting of vervuiling van zoetwaterreservoirs zal ook het energiegebruik van de watersector naar alle waarschijnlijkheid toenemen. Het gaat hierbij zowel om zuivering en transport van het water naar locatie waar het nodig is. Dit gebruik is in het ETM nog niet te beïnvloeden.

### Industrie

Verregaande verandering van de structuur van de industrie (veel meer lokaal circulair georganiseerd) hebben de potentie om de vraag daar met 50% te reduceren. De impact van 3d printen is niet precies helder, maar past wel in het beeld dat de industrie haar kringlopen moet sluiten en meer lokaal zal produceren.

## Bestaande technologieën

### Zon PV

De verwachting is dat dit zowel efficiënter als goedkoper kan. Besparingen van 70 - 80% goedkoper ten opzichte van vandaag de dag lijken haalbaar. Installatiekosten zullen niet altijd de beperkende factor zijn, omdat zon PV in toenemende mate geïntegreerd zal zijn in de componenten van een gebouw (gevels, dakpannen, ramen, etc).

### Offshore wind

Hier verwacht men dat kosten tot ongeveer 50% kunnen dalen. In de beelden rekenen we met -40%.

### Warmtenetten

Voor warmtenetten voorziet men een kans op lock-in. Het gaat om grote investeringen die overwogen worden waar nu veel restwarmte beschikbaar is. Fossiele centrales zullen er op lange termijn steeds minder zijn, om deze warmte te leveren. Ook zal de restwarmte in de industrie minder voorhanden zijn (dankzij stoomrecompressie, hogetemperatuur warmtepompen e.d.). Het is de vraag of voldoende geothermievermogen beschikbaar zal zijn om warmtenetten te voeden.

## Bijlage 4: Vertaling primaire energie en CO<sub>2</sub> per sector naar functionaliteiten

Het Energietransitiemodel (ETM) hanteert net als de energiebalans gebruikssectoren. De Rli hanteert echter het begrip 'functionaliteiten' voor energie. Quintel heeft de sectorale getallen uit het ETM vertaald naar functionaliteiten. Om het vergelijk met andere rapporten<sup>13</sup> voor de Rli eenvoudiger te maken, hebben wij de onderstaande sectoren samengevoegd. Van deze samengevoegde sectoren hebben we het energetisch gebruik van brandstoffen verdeeld over de functionaliteiten.

Sector Energietransitiemodel	Samengevoegde sectoren
Huishoudens	Gebouwde omgeving en landbouw
Utiliteitsbouw / Gebouwen	
Landbouw	
Transport	Transport
Industrie	Industrie
Energie-industrie	

**Tabel 7:** Samenvoegen van sectoren in het Energietransitiemodel

Van bovengenoemde sectoren behoeft alleen de 'energie-industrie' wellicht enige uitleg. In deze sector vindt brandstofwinning, olieraffinage en elektriciteitsproductie plaats.

De gehanteerde functionaliteiten zijn hieronder opgesomd.

### Functionaliteiten:

- Licht en apparaten
- Transport en mobiliteit
- Hogetemperatuur warmte
- Lagetemperatuur warmte

Hierbij kan worden opgemerkt dat alleen de industriesector hogetemperatuur warmte gebruikt.

De **tabellen 8 t/m 13** geven de resultaten van de vertaalslag weer. Het energieverbruik en de CO<sub>2</sub>-uitstoot van Nederland wordt weergegeven voor 2012 en de twee toekomstbeelden voor 2050 (respectievelijk 80% en 95% CO<sub>2</sub>-reductie). Voor de analyses zijn enkele aannames gedaan. De belangrijkste aanname hebben wij overgenomen uit het rapport 'Verkenning functionele energievraag en CO<sub>2</sub>-emissies tot 2050' van CE Delft<sup>13</sup> waarin het 'Energy (R)evolution scenario' van Greenpeace en EREC en het '2 graden scenario' dat de IEA heeft ontwikkeld in haar 'Energy Technology Perspectives' worden doorgerekend. De overgenomen aanname is dat in 2012 **10% van de warmtevraag in de industrie lagetemperatuur warmte is**. Voor de 2050 uitkomsten hebben we aangenomen dat de industrie **geen primair energiegebruik voor de LT-warmtevraag** heeft, als gevolg van efficiënter hergebruik van warmte. HT-warmte wordt na gebruik dus ingezet om de LT-warmtebehoefte in te vullen.

*Verder is het belangrijk te vermelden dat in het ETM zowel met primair als finaal energiegebruik wordt gerekend en dat alhoewel de hoeveelheid benodigde primaire energie daalt in de 2050*

<sup>13</sup> Bijvoorbeeld: Verkenning functionele energievraag en CO<sub>2</sub>-emissies tot 2050. G.E.A. (Geert) Warringa, F.J. (Frans) Rooijers, Delft, CE Delft 2015

*scenario's t.o.v. 2012 , het finale elektriciteitsgebruik toeneemt. Dit heeft te maken met het feit dat voor windmolens en zon-PV doorgaans geen conversieverliezen worden gerekend en voor fossiele centrales wel. Kortom de efficiëntie van de elektriciteitsproductie neemt sterk toe van 2012 naar 2050.*

*Hier wordt verwezen in de tabellen naar de volgende scenario's uit het rapport.*

[\(Voor\)beeld 80% CO2 reductie in 2050 in Nederland](#)

[\(Voor\)beeld 95% CO2 reductie in 2050 in Nederland](#)

## Overzicht primaire energie per sector en per functionaliteit

De **tabellen 8 t/m 10** geven een overzicht van het primaire energieverbruik in 2012 en voor de twee toekomstbeelden voor 2050. Het valt op dat de twee toekomstscenario's niet sterk van elkaar verschillen voor totaal primair energieverbruik per sector of per functionaliteit.

De resultaten in **tabel 8** voor 2012, het beginjaar, zijn voor het primair energieverbruik goed te vergelijken met het hierboven genoemde rapport van CE Delft. Per sector en per functionaliteit zijn er wel kleine verschillen. Deze zijn te verklaren door verschillende aannames over efficiënties van warmte-krachtkoppelingen en raffinage van aardolie.

Sector	Transport	Industrie	Gebouwde omgeving en Landbouw	Totaal
Functionaliteit				
Licht & apparaten	0	279	457	736
Transport & mobiliteit	518	0	0	518
HT warmte	0	655	0	655
LT warmte	0	95	711	806
<b>Totaal</b>	<b>518</b>	<b>1.028</b>	<b>1.168</b>	<b>2.715</b>

**Tabel 8:** Primair energieverbruik in PJ per sector en functionaliteit in 2012

Sector	Transport	Industrie	Gebouwde omgeving en Landbouw	Totaal
Functionaliteit				
Licht & apparaten	0	222	206	428
Transport & mobiliteit	276	0	0	276
HT warmte	0	566	0	566
LT warmte	0	63	122	184
<b>Totaal</b>	<b>276</b>	<b>851</b>	<b>328</b>	<b>1.455</b>

**Tabel 9:** Primair energieverbruik in PJ per sector en functionaliteit in 2050: -80% CO2 emissie (voor)beeld

Sector	Transport	Industrie	Gebouwde omgeving en Landbouw	Totaal
Functionaliteit				
Licht & apparaten	0	220	212	432
Transport & mobiliteit	265	0	0	265
HT warmte	0	568	0	568
LT warmte	0	65	92	157
<b>Totaal</b>	<b>265</b>	<b>853</b>	<b>304</b>	<b>1.422</b>

**Tabel 10:** Primair energieverbruik in PJ per sector en functionaliteit in 2050: -95% CO2 emissie (voor)beeld

## Overzicht CO<sub>2</sub> per sector en per functionaliteit

De tabellen 11 t/m 13 geven een overzicht van de CO<sub>2</sub>-emissies voor het beginjaar en de twee toekomstbeelden. Hoewel de toekomstbeelden voor 80% en 95% energetische CO<sub>2</sub>-reductie in 2050 niet sterk verschillen in primair energiegebruik, verschillen de emissies uiteraard wel.

De emissies van het ETM voor 2012 liggen een kleine 4 MT lager dan de energetische emissies van CO<sub>2</sub> volgens 'Verkenning functionele energievraag en CO<sub>2</sub>-emissies tot 2050' van CE Delft. De belangrijkste verklaring is dat het ETM iets lagere emissiefactoren hanteert voor de energiedragers aardgas, aardolie en kolen. Dit heeft te maken met verschillende aannames over de herkomst van deze brandstoffen. Bijvoorbeeld: kolen uit Zuid Amerika geven per hoeveelheid energie andere emissies dan kolen uit Afrika of Australië.

Sector	Transport	Industrie	Gebouwde omgeving en Landbouw	Totaal
<b>Functionaliteit</b>				
Licht & apparaten	0,0	13,6	21,8	35,4
Transport & mobiliteit	37,7	0,0	0,0	37,7
HT warmte	0,0	43,9	0,0	43,9
LT warmte	0,0	6,0	38,6	44,6
<b>Totaal</b>	<b>37,7</b>	<b>63,5</b>	<b>60,4</b>	<b>161,6</b>

Tabel 11: Primair energetische CO<sub>2</sub>-emissies in MT per sector en functionaliteit in 2012

Sector	Transport	Industrie	Gebouwde omgeving en Landbouw	Totaal
<b>Functionaliteit</b>				
Licht & apparaten	0,0	1,1	1,9	3,0
Transport & mobiliteit	2,8	0,0	0,0	2,8
HT warmte	0,0	18,9	0,0	18,9
LT warmte	0,0	2,1	3,6	5,7
<b>Totaal</b>	<b>2,8</b>	<b>22,1</b>	<b>5,6</b>	<b>30,4</b>

Tabel 12: Primair energetische CO<sub>2</sub>-emissies in MT per sector en functionaliteit in 2050: -80% CO<sub>2</sub> (voor)beeld

Sector	Transport	Industrie	Gebouwde omgeving en Landbouw	Totaal
<b>Functionaliteit</b>				
Licht & apparaten	0,0	0,4	0,6	1,0
Transport & mobiliteit	0,5	0,0	0,0	0,5
HT warmte	0,0	4,7	0,0	4,7
LT warmte	0,0	0,5	0,9	1,4
<b>Totaal</b>	<b>0,5</b>	<b>5,6</b>	<b>1,5</b>	<b>7,6</b>

Tabel 13: Primair energetische CO<sub>2</sub>-emissies in MT per sector en functionaliteit in 2050: -95% CO<sub>2</sub> (voor)beeld