

# Duurzame energievoorziening in 2050, met de kennis van nu

- hernieuwbare energie in drie bedrijven -



Utrecht Centrum voor Aarde en Duurzaamheid<sup>1</sup>

## Samenvatting

Met de kennis van nu mag worden verwacht dat in 2050 in de orde van 2/3 deel van de Nederlandse energievoorziening duurzaam kan zijn. Afhankelijk van de economische ontwikkeling, de ontwikkeling van technologie en institutionele arrangementen op Europees en mondiaal niveau, kan met vergaande energiebesparing het aandeel van hernieuwbare energie verder oplopen in de richting van 100 % van het finale energiegebruik in 2050.

Dat is de conclusie van het Utrecht Centrum voor Aarde en Duurzaamheid op basis van een 'meta-analyse' van een aantal bestaande studies en raadpleging van een grote groep Nederlandse energiedeskundigen. De inschattingen zijn primair gebaseerd op technisch inpasbare potentiële van momenteel bekende opties, zonder kosten en de vereiste beleidsinspanningen in beschouwing te nemen. Het onderzoek is uitgevoerd naar aanleiding van het burgerinitiatief '*Nederland krijgt nieuwe energie*' en beoogt met het in kaart brengen van de huidige inzichten de politieke discussie te ondersteunen.

---

<sup>1</sup> Bert de Vries, Erik Lysen, Herman Wijffels en Klaas van Egmond, met dank aan Robert Harmsen en Wina Graus (Energy & Resources, Dept. of Innovation and Environmental Sciences, UU)

## 1. Inleiding

Begin 2010 hebben de partijcommissies voor duurzame ontwikkeling van CDA, ChristenUnie, D66, GroenLinks, Partij van de Arbeid, SGP en VVD onder de titel Nederland krijgt nieuwe energie het initiatief genomen voor een partijoverstijgende aanpak voor een versnelde transitie naar hernieuwbare energiebronnen. Op basis van de inbreng van een groot aantal Nederlandse energiedeskundigen en een zestal intensieve discussies, is een gezamenlijk voorstel 'Nederland krijgt nieuwe energie' uitgebracht, dat nadien in 10 punten is samengevat in de 'Verklaring van Utrecht'. Het voorstel bepleit een volledige omschakeling naar hernieuwbare energie in 2050 en gaat er van uit dat dit mogelijk is indien er aanzienlijke inspanningen worden verricht op het gebied van energiebesparing en van investeringen in hernieuwbare energiesystemen en infrastructuur. Het voorstel werd op 16 maart 2010 aangeboden aan de fractievoorzitters van de deelnemende politieke partijen<sup>2</sup>.

Per december 2010 hebben meer dan 40.000 burgers hun steun betuigd aan het voorstel en daarmee is het oorspronkelijke initiatief een 'burgerinitiatief' geworden dat het parlement verplicht tot agendering en bespreking. Om de politieke discussie te voorzien van een breder gedeeld inzicht in de technische mogelijkheden voor een energievoorziening uit hernieuwbare bronnen heeft het Utrecht Centrum voor Aarde en Duurzaamheid (UCAD) aanvullend een beperkte 'meta-studie' verricht. Hierbij werden de resultaten van een aantal binnen- en buitenlandse studies met elkaar vergeleken. Na hernieuwde en intensieve raadpleging van een groot aantal Nederlandse energiedeskundigen (zie bijlage) werd de bandbreedte vastgesteld waarbinnen het technisch realiseerbare aandeel hernieuwbare energie naar verwachting zal liggen. Het verwachte aandeel is daarbij uitsluitend gebaseerd op inschattingen van de technologische ontwikkelingen

De realistische bandbreedte waarbinnen het aandeel hernieuwbaar in 2050 kan liggen wordt bepaald door:

- de ontwikkeling van het energiegebruik in de komende 40 jaar;
- de technisch haalbare productie van hernieuwbare energie in 2050.

Het aandeel hernieuwbare energie is dan het quotiënt van productie van hernieuwbare energie en totaal (finaal) energiegebruik. De onderkant van de bandbreedte wordt bepaald door de meer pessimistische inschatting van:

- de mogelijkheden om het energiegebruik efficiënter te maken,
- het tempo waarin en de schaal waarop hernieuwbare bronnen kunnen worden ingezet.

De bovenkant van de bandbreedte wordt bepaald door meer optimistische inschattingen aangaande technologische ontwikkeling, implementatie en Europese samenwerking.

## 2. Bestaande scenario's voor de Nederlandse energievoorziening

Er is gekeken naar een drietal baseline scenario's (ook wel BaU of referentieraming genoemd) voor het energiegebruik in Nederland:

- de Referentieraming 2010-2020 van ECN/PBL voor EZ/VROM (april 2010);

---

<sup>2</sup> Het onderliggend rapport en de Verklaring van Utrecht zijn ter inzage op de website [www.duurzaamheidsoverleg.nl/](http://www.duurzaamheidsoverleg.nl/)

- de PRIMES 2005-2030 baseline update-2007 van de Universiteit van Athene voor de Europese Commissie (2008) en
- de PRIMES 2005-2030 baseline update-2009 (2010).

De Referentieraming en PRIMES-2009 hebben gemeen dat in beide studies het meest recente Europese en nationale energie- en klimaatbeleid alsook de recente economische crisis is meegenomen. De vergelijking wordt helaas bemoeilijkt doordat de Referentieraming en de PRIMES baselines verschillende zichtjaren hebben: 2020 voor de eerste, 2030 voor de laatste. In aanvulling op deze twee studies is ook gekeken naar de resultaten van PRIMES-2007 omdat deze baseline als basis is gebruikt voor enkele potentieelstudies met betrekking tot energiebesparing en duurzame energie. In de scenario's wordt uitgegaan van een doorgaande exponentiële groei van het BNP van 1,1 %/jaar tot 2020 (ECN/PBL) en 1,4 %/jaar tot 2030 (PRIMES) respectievelijk.

Vervolgens zijn een aantal analyses bekeken van de mogelijkheden om het geraamde energiegebruik door middel van efficiëntieverbeteringen te verlagen en het resterend gebruik te voorzien door middel van hernieuwbare energiebronnen. De betreffende studies zijn:

- De BEEN studie voor SenterNovem (2010) waarin het potentieel voor energiebesparing voor 2020/2050 onderzocht is;
- De resultaten voor Nederland van een Europese energiebesparingsstudie voor de Europese Commissie (2009) en een studie naar de inzet van hernieuwbare bronnen (2010) door het Fraunhofer Instituut <sup>3</sup>;
- De Deense studie 'The case of Denmark in years 2030 and 2050'; Lund en Mathiesen (2009), Energy system analysis of 100% renewable energy systems.
- Het Optiedocument door ECN/PBL voor VROM/EZ (2007), een verkennende studie naar de mogelijkheden voor efficiënter energiegebruik en emissiereductie in Nederland <sup>4</sup>;
- SERPEC, een potentieelstudie voor CO<sub>2</sub>-emissiereductie in EU27 door Ecofys/Universiteit van Athene/IPTS (2009);
- De *Roadmap 2050 – A Practical Guide to a Prosperous Low-Carbon Europe*, een in opdracht van het European Climate Foundation (ECF) gedane studie naar een scenario voor Europa met 80% broeikasgas-emissiereductie – en zelfs (bijna) 100% emissiereductie door de elektriciteitssector – in 2050 ten opzichte van 1990 <sup>5</sup>;
- Green4Sure, een groen energieplan gemaakt door CE en anderen voor milieuorganisaties en vakbonden (2007).

In de Bijlagen zijn de belangrijkste uitgangspunten en resultaten van de drie baseline studies en de potentiële voor energie-efficiëntie opgenomen.

### 3. Het toekomstige energiegebruik in Nederland

Doorgaans wordt het toekomstig energiegebruik <sup>6</sup> geraamd door een veronderstelling van economische groei (%/jaar BNP-groei) te combineren met een veronderstelling aangaande de

<sup>3</sup> Fraunhofer IBP et al. (2010). Energiekonzept 2050 – Eine Vision für ein nachhaltiges Energiekonzept auf Basis von Energieeffizienz und 100% erneuerbaren Energien. [www.fvee.de](http://www.fvee.de)

<sup>4</sup> [http://www.pbl.nl/nl/publicaties/mnp/2006/Optiedocumentenergieemissies2010\\_2020.html](http://www.pbl.nl/nl/publicaties/mnp/2006/Optiedocumentenergieemissies2010_2020.html)

<sup>5</sup> *Roadmap 2050* (ECF (2010), *Roadmap 2050 – A practical guide to a prosperous, low-carbon Europe*. <http://www.roadmap2050.eu>.

<sup>6</sup> In economische analyses wordt doorgaans gesproken van energievraag en –aanbod. Omdat de vraag alleen bekend is in de vorm van gerealiseerde afzet, vallen vraag en gebruik samen.

energie-elasticiteit (%/jaar groei in primair energiegebruik per %/jaar BNP-groei). Door de BNP-groei uit te splitsen naar sectoren kan het effect van structurele verandering in de economie (i.e. de overgang naar diensten/informatie-economie) worden meegenomen. Dit leidt tot een schatting van sectoraal *finaal energiegebruik*, meestal uitgesplitst naar elektriciteit, laagwaardige warmte, hoogwaardige warmte en vervoer. Indien de omzettingsverliezen in de energie-industrie worden meegenomen, met name in de elektriciteitscentrales, wordt gesproken van *primair energiegebruik*<sup>7</sup>. In deze studie wordt uitsluitend naar *finaal energiegebruik* gekeken. Een vervolgstap in de ramingen van toekomstig energiegebruik is de mogelijke rol van de energieprij(sverandering) te beschouwen door middel van de prijselasticiteit (% vermindering in energiegebruik per % energieprij(sstijging)). Ook wordt in scenario's meestal een inschatting gemaakt van de rol van (overheids-)beleid, onder meer met betrekking tot prijs- en technologie-ontwikkeling. *Tabel 1* geeft de ramingen in de baseline scenario's van primair en *finaal energiegebruik* voor de periode tot 2040. Voor 2050 zijn geen ramingen beschikbaar.

*Tabel 1 Primair en finaal energiegebruik in drie baseline scenario's. De eenheid is PJ ofwel 10<sup>15</sup> J hetgeen overeenkomt met ongeveer 28,4 miljoen m<sup>3</sup> aardgas.*

Jaar:		2005	2008	2020	2030	2040
Primair (PJ)	ECN/PBL	3342 <sup>a)</sup>	3349	3283-3526	3226-3645	3244-3828
	PRIMES 2008	3390 <sup>b)</sup>			3837	
	PRIMES 2010	3453 <sup>c)</sup>		3243-3286	3118-3181	
Finaal (PJ)	ECN/PBL	2104	2099	2033-2206	1979-2320	2003-2448
	PRIMES 2008	2160			2498	
	PRIMES 2010	2162			1955-1992	

a) Inclusief feedstocks. 2741 PJ exclusief feedstocks.

b) Inclusief feedstocks. 2875 PJ exclusief feedstocks.

c) Inclusief feedstocks. 2908 PJ exclusief feedstocks.

In onderstaande *Figuur 1* is het geraamde *finaal energiegebruik* weergegeven voor het gemiddelde van het LT- en het ST-scenario uit de BEEN-studie, dwz. voor een scenario waarin een redelijk stringent beleid wordt gevoerd en een matig tot hoog innovatietempo plaatsvindt<sup>8</sup>. De verandering in het energiegebruik verschilt per sector, en de verhouding tussen warmte/brandstof- en elektriciteitsgebruik verandert fors, zoals ook vermeld wordt in *Nederland krijgt nieuwe energie*. De redenen zijn voornamelijk het grotere en goedkopere besparingspotentieel voor warmte en de veronderstelde grootschalige inzet van elektrische voertuigen en warmtepompen<sup>9</sup>. In de door het ECN/PBL opgestelde scenario's zijn dezelfde trends waarneembaar. De veranderingen in het energiegebruik in het scenario *Voorgenomen Schoon en Zuinig* (<http://monitweb.energie.nl/.aspx>) zijn vergelijkbaar met het gemiddelde LT-ST BEEN scenario (*Figuur 1*)<sup>10</sup>.

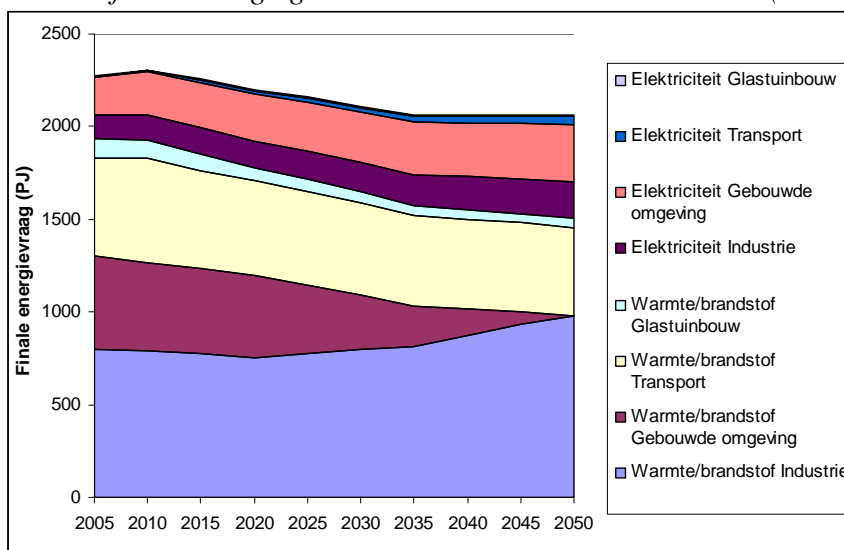
<sup>7</sup> Daarin wordt doorgaans het gebruik van energiedragers als grondstof (feedstocks) niet meegenomen. In deze studie blijft gebruik van fossiele brandstoffen als feedstock buiten beschouwing.

<sup>8</sup> Dit is exclusief landbouw en feedstocks.

<sup>9</sup> De verhouding verloopt van 89 naar 12 voor de transportsector, van 37 naar 6 voor de tuinbouw, van 6,2 naar 5 voor de industrie, en van 2,6 naar 0 in de gebouwde omgeving.

<sup>10</sup> De waarden zijn iets lager door verschillende berekeningswijzen ten aanzien van grondstoffen en omzettingsverliezen.

Figuur 1 Geraamde finale energiegebruik in het LT-ST BEEN scenario (excl. landbouw).



In het plan *Nederland krijgt nieuwe energie* wordt uitgegaan van een daling van het primair energiegebruik (excl. 713 PJ feedstock) van 2621 PJ in 2008 naar 1822 PJ in 2030, waarna het gebruik constant blijft tot het zichtjaar 2050. In de geanalyseerde baseline scenario's is sprake van een jaarlijkse vermindering van het finale energiegebruik tussen 2005 en 2040 van 0,15-0,48 %/jaar (ECN/PBL) of tussen 2005 en 2030 van 0,37-0,46 %/jaar (PRIMES 2010). Dit ligt beduidend beneden de 1,64 %/jaar in het plan. Dit kan alleen worden gerealiseerd door een minder groeiende en/of minder energie-intensieve economische activiteit of een stringenter (overheids-)beleid, of beide.

In dit document gaan wij uit van *een gelijkblijvend of licht dalend finaal energiegebruik* voor de periode 2010-2050 conform het BEEN scenario (Figuur 1). In het BEEN LT scenario stijgt het energiegebruik tussen 2005 en 2030 met 0,06 %/jaar en daarna met 0,32 %/jaar. In het BEEN ST scenario is sprake van een daling met 0,64 en 0,72 %/jaar respectievelijk. Het gemiddelde van beide BEEN scenario's (Figuur 1) ligt met 2112 PJ/jaar in 2030 en 2067 PJ/jaar in 2050 rondom de ondergrens van de baseline scenario's (Tabel 1). Het is ook in lijn met het baseline scenario in het rapport *Roadmap 2050*.

Er zijn steekhoudende redenen waarom het energiegebruik in absolute zin in de komende decennia en ook in de periode erna waarschijnlijk weinig of niet meer zal stijgen, waaronder afnemende mogelijkheden tot productiviteitsgroei en een waarschijnlijk dalende beroepsbevolking. Het is daarom verdedigbaar te veronderstellen, zoals in de baseline scenario's gebeurt, dat het gebruik van finale energiedragers over de periode 2010-2050 ruwweg gelijk zal blijven met een beleid dat niet ver afligt van het voorgenomen beleid.

**Samengevat:** in deze meta-analyse wordt uitgegaan van een finaal energiegebruik dat tussen 2008 en 2030 ongeveer gelijk blijft rond 2100 PJ (waarvan resp. 16% en 21% als elektriciteit), en daarna licht daalt tot 2067 in de periode tot 2050 (waarvan 25% als elektriciteit).

## 4. De bijdrage van hernieuwbare energie

Om een inschatting te maken van de vraag naar energie en het aanbod van hernieuwbare energie in 2050, zijn veronderstellingen nodig van ondermeer prijspaden van (fossiele) energiedragers, kostendalingen van relevante technologieën en effectiviteit van (overheids-) beleid. Tevens moet onderscheid worden gemaakt tussen een blauwdruk (snapshot) voor een ver verwijderd jaar in de toekomst en een mogelijk pad erheen. Terwijl het eerste gedaan kan worden zonder andere beperkingen dan de thans bekende technische mogelijkheden, vergt het laatste een oordeel over de haalbaarheid in brede zin <sup>11</sup>.

### Onderkant bandbreedte van het aanbod hernieuwbare energie

Om de onderkant van de bandbreedte te bepalen is het finaal energiegebruik ingedeeld naar de gebruikerscategorieën en vervolgens de mogelijke bijdrage van de diverse hernieuwbare bronnen daarbinnen geraamd. Daarbij is rekening gehouden met de thans door deskundigen aangegeven randvoorwaarden zoals ruimtebeslag, schaarste van essentiële grondstoffen en wisselwerking met voedselvoorziening.

*Bijlage 2* geeft de omvang van het energiegebruik in 2050 per sector en per energiedrager in het LT en het ST BEEN scenario. Deze zijn gehanteerd voor de raming van de bijdrage van hernieuwbare energie. Tevens zijn de potentiëlen voor hernieuwbare bronnen (op finaal energiegebruik waarde) aangegeven die worden gehanteerd in het plan *Nederland krijgt nieuwe energie*. Onderstaande Tabel 2 geeft de kerngetallen weer. *Bijlage 2* bevat ook nog enkele andere ramingen voor een 100% duurzame energievoorziening (Duitsland, Denemarken).

*Tabel 2 Ramingen finaal energiegebruik en aandeel hernieuwbare energiebronnen daarin voor 2030 en 2050. Eenheid is PJth voor warmte/brandstof W en PJe voor elektriciteit E.*

Scenario	BEEN LT 2030		BEEN ST 2030		BEEN LT 2050		BEEN ST 2050	
	W	E	W	E	W	E	W	E
Finaal energiegebruik (PJ)	1778	518	1520	407	1774	672	1243	445
uit hernieuwbaar (PJ)	520	171	400	177	970	475	790	340
Aandeel hernieuwbaar in finaal w-e-gebruik (%)	29	33	26	43	55	71	64	76
Aandeel hernieuwbaar in totaal finaal (%)	<b>30</b>		<b>30</b>		<b>59</b>		<b>67</b>	

Voor het finale energiegebruik (warmte en elektriciteit) in de sectoren is het volgende verondersteld:

Voor de *industrie* is het aandeel hoogwaardige (proces)warmte geraamd op ongeveer 2/3<sup>e</sup>. Er is van uitgegaan dat het WKK vermogen toeneemt en dat het hernieuwbare deel wordt opgewekt door biomassa en biogas, en door zon- en windgebaseerde brandstoffen, zoals waterstof <sup>12</sup>.

<sup>11</sup> In dit verband zijn enkele buitenlandse evaluaties van een '100% duurzaam toekomst' interessant, zoals de studie van Lund en Mathiesen (2009) voor Denemarken en van Fraunhofer et al. (2010) voor Duitsland.

<sup>12</sup> Overigens is hier van belang of om industriepolitieke redenen wordt gekozen voor handhaving/uitbreiding van enkele grootverbruikers van elektriciteit, in welk geval sprake is van een grote basislast aan elektrisch vermogen.

Voor de *gebouwde omgeving* (huishoudens, en diensten en overheid) is uitgegaan van een warmte/brandstofvraag die in 2050 volledig wordt gedekt door inzet van warmtepompen en door lokaal opgewekte zonne-energie en warmte-koude opslag. De resulterende externe warmtevraag is nul, maar de benodigde interne energiestromen zijn tussen [haken] weergegeven.

Bij *transport* is uitgegaan van een geleidelijke ingroei van elektrische voertuigen en van een stijgend aandeel van biomassa- en andere zongebaseerde brandstoffen. Er is vanuit gegaan dat het leeuwendeel hiervan geïmporteerd wordt.

In de sector [*land- en*] *tuinbouw* wordt een halvering van het warmte/brandstofgebruik verondersteld, bij een toename van elektriciteitsgebruik. Deze sector kan waarschijnlijk volledig draaien op hernieuwbare energie (w.o. warmteopslag van zonnewarmte en zon PV) en een bescheiden rol spelen in het decentraal opwekken van elektriciteit.

De *elektriciteitsvoorziening* is een cruciale sector voor de invoering van hernieuwbare energiebronnen in de (Europese) energievoorziening. In de scenario's is verondersteld dat een deel van het geraamde elektriciteitsgebruik wordt voorzien door middel van decentrale opwekking in warmte-kracht-eenheden. Een deel van het geraamde warmtegebruik wordt hiervoor ingezet. Vervolgens wordt de inzet van hernieuwbare bronnen op Nederlandse bodem geraamd, waarna een restant overblijft dat deels door importen (met de veronderstelling van 100% hernieuwbaar) en deels door inzet van aardgas-gestookte CC/gasturbine-eenheden wordt geleverd.

Voor het jaar 2030 kan de elektriciteitsvraag zonder al te grote problemen voor 1/3<sup>e</sup> door hernieuwbare bronnen (vnl. wind – in de orde van 12000 MWe opgesteld vermogen) en voor 1/3<sup>e</sup> door importen worden gedekt (Bijlage 3). Het voor Nederland te behalen aandeel hernieuwbaar zal daarom mede afhangen van de mate waarin de geïmporteerde elektriciteit uit hernieuwbare bronnen wordt verkregen. Uiteraard speelt hierbij de vraag in hoeverre de elektriciteit die door in aanbouw zijnde kolencentrales wordt gegenereerd, gerekend wordt tot binnenlands gebruik, dan wel daarbuiten wordt gehouden. Voor het jaar 2050 kan het aandeel decentraal wkk nog toenemen, maar is vooral verdere uitbouw van windvermogen en ander hernieuwbaar vermogen nodig. Als er geen vergaande efficiëntieverbetering en daarmee vraagvermindering wordt gerealiseerd, zoals in het BEEN LT scenario het geval is, zal zelfs het handhaven van een aandeel hernieuwbaar van 2/3<sup>e</sup> in de elektriciteitsvoorziening moeilijk zijn. Het is waarschijnlijk alleen haalbaar door middel van omvangrijke importen en het zal vergaande veranderingen van het (Europese) koppelnet vereisen.

In de *Roadmap 2050* zijn vrij gedetailleerde berekeningen gemaakt om te verkennen wat de mogelijkheden zijn voor een volledig CO<sub>2</sub>-neutrale elektriciteitsvoorziening door de inzet van 40, 60, 80 en zelfs 100% bijdrage uit hernieuwbare bronnen in de EU-27 in 2050, aangevuld met kernenergie en toepassing van CCS bij fossiele energiecentrales. Deze waarden zijn van de zelfde orde van grootte als die in bovengenoemde scenario's.

**Samengevat:** in deze analyse wordt de bijdrage van hernieuwbare energie voor het jaar 2030 geraamd op 30 %. Voor 2050 zijn de onzekerheden groter en komt de raming uit op een aandeel van 59-67%. Bij de te verwachten voortgang in technologie is een doelstelling van een hernieuwbare bijdrage van 2/3<sup>e</sup> deel van de finale energievraag in 2050 technisch haalbaar.

## Bovenkant bandbreedte

Het geraamde 2/3 aandeel van hernieuwbare energie in de netto totale energievraag van 2050 is gebaseerd op een extrapolatie van de huidige technologie en de ontwikkeling daarvan in de Nederlandse uitgangssituatie. Zoals aangegeven in figuur 1 wordt die gekenmerkt door een geleidelijke toename van de brandstofvraag van de industrie.

In de eerder genoemde buitenlandse studies wordt het aandeel hernieuwbaar geraamd in het bereik van 90 a 100 %. Het verschil met de hierboven genoemde studies en de daarop gebaseerde raming in de orde van 2/3, kan goeddeels worden verklaard door meer optimistische inschattingen van de volgende factoren:

- **Lager finaal eindgebruik** door verdere besparing van energie; in plaats van gelijk blijven of lichte daling wordt in de Deense en Duitse studies gerekend met meer dan halvering van het eindgebruik ten opzichte van 2005.
- Verandering van de **sectorstructuur**; in plaats van de eerder voor Nederland veronderstelde stijging van het aandeel van de zware / basis-industrie, wordt er van uitgegaan dat de verschuiving naar de minder energie-intensieve dienstensector doorgaat. Er zijn echter signalen dat de huidige trend naar regionalisering als reactie op een te ver doorgesloten globalisering er toe zal leiden dat de basis-industrie niet verder wordt uitgeplaatst of zelfs zal terugkeren in de westerse economieën. De betekenis daarvan voor de energievraag zou overigens weer verminderd kunnen worden door een eventuele verschuiving van materialenproductie (feed stocks) van fossiele naar biologische (bio-based) bronnen.
- **Biomassa** is in de Nederlandse, meer conservatieve raming maar voor een beperkt deel ingezet, gezien het grote ruimtebeslag en de risico's voor de voedselvoorziening in bestuurlijk kwetsbare ontwikkelingslanden. In die zin bestaat er spanning tussen hernieuwbaar en duurzaam. In de Roadmap, de Deense studie en in de Fraunhofer studie wordt een aanzienlijk aandeel biomassa ingezet. In de Nederlandse situatie zou de inzet hernieuwbaar hoger kunnen zijn dan de onderkant van de bandbreedte, door inzet van biomassa uit met name Oost-Europa, waar de Cramer-criteria voor duurzame biomassaproductie realiseerbaar zijn.
- **Infrastructuur en technologie**; in de genoemde Europese studies wordt een zeer sterke uitwisseling van energie verondersteld via 'super smart grids', waardoor het opslagprobleem van tijdelijk overtollige (zonne- of wind-)energie deels wordt ondervangen. In de Fraunhofer-studie wordt de opslag van energie ondervangen door grootscheepse electrolyse (waterstofproductie). De technieken maken het ook mogelijk om zonne-energie te importeren uit Noord-Afrika (zgn. Desertec-project). Uiteraard zullen nog niet voorziene of meegerekende technologische doorbraken het aandeel hernieuwbare energie van de genoemde 66 % (2/3) in de richting van de 100 % kunnen stuwen; zeker op een termijn van 2050 zijn technologische ontwikkelingen nu nog niet goed te overzien en kunnen positieve verrassingen optreden.



- **Institutionele arrangementen en beleid;** in het bijzonder financiële prikkels hebben een grote invloed hebben op energiegebruik en technologieontwikkeling. Verhoging van de energieprijzen bij een gelijktijdige verlaging van de (belasting op) arbeid is in het algemeen de belangrijkste prikkel voor energiebesparing en technologieontwikkeling. Overigens zijn ook in de basisvariant (met 2/3 hernieuwbaar) al vergaande inspanningen van beleid en maatschappelijke actoren nodig.

## 5. Conclusie

Het potentieel aan hernieuwbare energie in Nederland kan in 2050 59-66% van de geraamde finale energievraag van 1680-2445 PJ/jaar dekken. Op het pad erheen lijkt een aandeel van 1/3<sup>e</sup> in 2030 realiseerbaar. Met de te verwachten technologische vooruitgang en de noodzakelijke beleidsmaatregelen, ook in Europees verband, lijkt een aandeel van 2/3<sup>e</sup> in 2050 een realistische doelstelling.

Verschillende Europese studies zijn optimistischer over het technisch mogelijke aandeel hernieuwbare energie. Dit optimisme is terug te voeren op aanvullende veronderstellingen ten aanzien van de economische, technologische en institutionele ontwikkelingen. Tegen die achtergrond kunnen de grote onderlinge verschillen tussen de studies / scenario's worden verklaard uit de veronderstelde vermindering van de energievraag door besparing, de schaal waarop biomassa wordt ingezet en de uitwisseling van energie op grote geografische schaal middels smartgrids om de omvang van de benodigde seizoensopslag te beperken.

De bandbreedte van het geraamde aandeel hernieuwbare energie in 2050 komt daarmee uit op (2/3) 66 % - 100 %. Afgezien van mogelijke onverwachte technologische doorbraken zal de realisatie daarvan sterk afhangen van de politieke wil om de technische mogelijkheden volledig te benutten en de daarvoor vereiste fundamentele keuzes te maken.

## **Bijlage 1** Lijst van geraadpleegde energiedeskundigen

Voor deze beperkte meta-studie zijn de volgende energiedeskundigen geraadpleegd:

Ton van Dril	ECN
Marius Enthoven	Energieraad (voormalig lid)
Sander van Egmond	UU
Aart de Geus	TNO
Wina Graus	UU
Robert Harmsen	UU
Monique Hoogwijk	Ecofys
John Kerkhoven	Quintel
Wil Kling	TU-Eindhoven
Gert van der Lee	TenneT
Marc Londo	ECN
Mart van der Meijden	Tennet
Henk Moll	RUG
Pier Nabuurs	KEMA
Joop OudeLohuis	Ecofys
Frans Rooijers	CE-Delft
Jurriaan_Ruys	McKinsey
Wim Sinke	ECN
Wim Turkenburg	UU
Frits Verheij	KEMA
Ron Wit	Natuur en Milieu

De betreffende deskundigen zijn (in wisselende samenstelling) op 9 en op 26 november 2010 voor beraad bijeen geweest en hebben de betreffende stukken becommentarieerd. Uiteraard blijft de verantwoordelijkheid voor de uiteindelijke rapportage bij UCAD liggen, niet bij de geraadpleegde deskundigen.

## Bijlage 2 Sectorale ramingen van warmte- en elektriciteitsgebruik voor 2030 en 2050 volgens de BEEN LT en ST scenario's

De ramingen van de bijdragen van hernieuwbare energiebronnen zijn van de auteurs.

### RAMING E-GEBRUIK: BEEN LT SCENARIO

Jaar:	2030		2030		
	Finaal energiegebruik		Energie uit hernieuwbaar		
Deelmarkt	W PJth	E PJe	W PJth	E PJe	
<b>Industrie:</b>					
*(groot)verbruikers hoge-term proceswarmte	523		150		
*(groot)verbruikers lage-temp proceswarmte	352		100		
*grootverbruikers elektriciteit		110		45	
*overig electriciteit (MKB)		60		15	
<b>Gebouwde omgeving</b>					
*huishoudens warmte	202		40		
*huishoudens elektriciteit		156		55	
*kantoren warmte	97		25		
*kantoren elektriciteit		154		45	
<b>Transport</b>					
*brandstof-gebaseerd	541		170		
*elektrisch		30		7	
<b>Tuinbouw</b>					
*brandstof-gebaseerd	63		35		
*elektrisch		8		4	
<b>TOTAAL</b>	<b>1778</b>	<b>518</b>	<b>520</b>	<b>171</b>	
	<b>2296</b>		<b>691</b>		<b>30,1%</b>
	waarvan geleverd door:		geraamd potentieel:		
dec-wkk (tegen 4,5 MJth/kWhe)	[315]	115	20		
wind onshore als H2 en elek			20	16	
wind offshore H2 en elek				91	605
zon als warmte en elek			4	4	317
Biomassa/zon gebaseerde brandstoffen in NL			126	2	833
overig (vuilverbranding, zon, aardwarmte...)			30	10	106 W 90 E
Hernieuwbaar via import van biobrandstoffen en elektriciteit			320	48	[100%]
Hernieuwbaar in PJ en % in fin e-gebruik, incl. tot elek-import			520	171	<b>30,1%</b>

**RAMING E-GEbruik: BEEN ST SCENARIO**

Jaar: Deelmarkt	2030		2030		
	Finaal energiegebruik		Energie uit hernieuwbaar		
	W PJth	E PJe	W PJth	E PJe	
<b>Industrie:</b>					
*(groot)verbruikers hoge-term proceswarmte	443		120		
*(groot)verbruikers lage-temp proceswarmte	280		70		
*grootverbruikers elektriciteit		85		50	
*overig electriciteit (MKB)		55		30	
<b>Gebouwde omgeving</b>					
*huishoudens warmte	198		30		
*huishoudens elektriciteit		115		50	
*kantoren warmte	88		20		
*kantoren elektriciteit		117		35	
<b>Transport</b>					
*brandstof-gebaseerd	451		140		
*elektrisch		27		7	
<b>Tuinbouw</b>					
*brandstof-gebaseerd	60		20		
*elektrisch		8		5	
<b>TOTAAL</b>	<b>1520</b>	<b>407</b>	<b>400</b>	<b>177</b>	
	<b>1927</b>		<b>577</b>		<b>29,9%</b>
	waarvan geleverd door:		geraamd potentieel:		
dec-wkk (tegen 4,5 MJth/kWhe)	[225]	85			
wind onshore als H2 en elek			20	16	605
wind offshore H2 en elek				91	
zon als warmte en elek			4	4	317
Biomassa/zon gebaseerde brandstoffen in NL			96	2	833
overig (vuilverbranding, zon, aardwarmte...)			30	10	106 W 90 E
Hernieuwbaar via import van biobrandstoffen en elektriciteit			260	54	[100%]
Hernieuwbaar in PJ en % in fin e-gebruik, incl. tot elek-import			410	177	29,9%

**RAMING E-GEbruik: BEEN LT SCENARIO**

Jaar: Deelmarkt	2050		2050		
	Finaal energiegebruik		Energie uit hernieuwbaar		
	W PJth	E PJe	W PJth	E PJe	
<b>Industrie:</b>					
* (groot)verbruikers hoge-term proceswarmte	750		320		
* (groot)verbruikers lage-temp proceswarmte	408		210		
* grootverbruikers elektriciteit		150		100	
* overig electriciteit (MKB)		84		50	
<b>Gebouwde omgeving</b>					
* huishoudens warmte	[90]		[90]		
* huishoudens elektriciteit		204		150	
* kantoren warmte	[60]		[60]		
* kantoren elektriciteit		179		125	
<b>Transport</b>					
* brandstof-gebaseerd	563		400		
* elektrisch		46		40	
<b>Tuinbouw</b>					
* brandstof-gebaseerd	53		40		
* elektrisch		9		10	
<b>TOTAAL</b>	<b>1774</b>	<b>672</b>	<b>970</b>	<b>475</b>	
	<b>2446</b>		<b>1445</b>		<b>59,1%</b>
	waarvan geleverd door:		geraamd potentieel:		
dec-wkk (tegen 4,5 MJth/kWhe)	[405]	135	50		
wind onshore als H2 en elek			167	32	605
wind offshore H2 en elek				182	
zon als warmte en elek			50	20	317
Biomassa/zon gebaseerde brandstoffen in NL PJth			229	50	833
overig (vuilverbranding, zon, aardwarmte...)			154	40	106 W 90 E
Hernieuwbaar via import van biobrandstoffen en elektriciteit			320	151	[100%]
Hernieuwbaar in PJ en % in fin e-gebruik, incl. tot elek-import			970	475	59,1%

**RAMING E-GEbruik: BEEN LT SCENARIO**

Jaar:	2050		2050		
	Finaal energiegebruik		Energie uit hernieuwbaar		
	W PJth	E PJe	W PJth	E PJe	
<b>Industrie:</b>					
* (groot)verbruikers hoge-term proceswarmte	504		250		
* (groot)verbruikers lage-temp proceswarmte	300		200		
* grootverbruikers elektriciteit		100		70	
* overig electriciteit (MKB)		62		50	
<b>Gebouwde omgeving</b>					
* huishoudens warmte	[90]		[90]		
* huishoudens elektriciteit		123		100	
* kantoren warmte	[60]		[60]		
* kantoren elektriciteit		115		80	
<b>Transport</b>					
* brandstof-gebaseerd	383		300		
* elektrisch		36		30	
<b>Tuinbouw</b>					
* brandstof-gebaseerd	56		40		
* elektrisch		9		10	
<b>TOTAAL</b>	<b>1243</b>	<b>445</b>	<b>790</b>	<b>340</b>	
	<b>1688</b>		<b>1130</b>		<b>66,9%</b>
	waarvan geleverd door:		geraamd potentieel:		
<b>dec-wkk (tegen 4,5 MJth/kWhe)</b>	[280]	105	15		
wind onshore als H2 en elek			127	32	
wind offshore H2 en elek				182	605
zon als warmte en elek			50	20	317
Biomassa/zon gebaseerde brandstoffen in NL PJth			249	50	833
overig (vuilverbranding, zon, aardwarmte...)			124	40	106 W 90 E
Hernieuwbaar via import van biobrandstoffen en elektriciteit			240	16	[100%]
<b>Hernieuwbaar in PJ en % in fin e-gebruik, incl. tot elek-import</b>			<b>790</b>	<b>340</b>	<b>66,9%</b>

## Bijlage 3 Samenvattende tabellen van recente Duitse en Deense studies

### FRAUNHOFER Energiekonzept 2050

Jaar:

Deelmarkt

#### Industrie:

\*(groot)verbruikers hoge-term proceswarmte

\*(groot)verbruikers lage-temp proceswarmte

\*grootverbruikers elektriciteit

\*overig electriciteit (MKB)

#### Gebouwde omgeving

\*huishoudens warmte

\*huishoudens elektriciteit

\*kantoren warmte

\*kantoren elektriciteit

#### Transport

\*brandstof-gebaseerd

\*elektrisch

#### Tuinbouw

\*brandstof-gebaseerd

\*elektrisch

	2050		2050	
	Finaal energiegebruik		Energie uit hernieuwbaar	
	W PJth	E PJe	W PJth	E PJe
	<b>1080</b>		<b>756</b>	
	<b>396</b>		<b>180</b>	
		600		600
		372		372
	50		60	
	[120]	766	[120]	766
	40		40	
	[80]	710	[80]	710
	<b>1080</b>		<b>846</b>	
		288		288
	2646	2736	1882	2160
	<b>5382</b>		<b>3240</b>	<b>60,2%</b>

wind onshore als H2 en elek		100
wind offshore H2 en elek		1340
zon als warmte en elek	1854	360
Biomassa/zon gebaseerde brandstoffen in NL PJth		216
overig (vuilverbranding, zon, aardwarmte...)	792	144
Hernieuwbaar via import van biobrandstoffen en elektriciteit		576
	2646	2736
		<b>100,0%</b>

Vetgedrukt: uit rapport. Overig: geschat.

Ramingen zoals afgeleid uit de studie van Fraunhofer (2010): *Energiekonzept 2050 – Eine Vision für ein nachhaltiges Energiekonzept auf Basis von Energieeffizienz und 100% erneuerbaren Energien.* (www.fvee.de).

LUND & MATHIESEN 2009 Denmark

Jaar:  
Deelmarkt

Industrie en gebouwde omgeving  
\*warmte  
\*elektriciteit

Transport  
\*brandstof-gebaseerd  
\*elektrisch  
Tuinbouw  
\*brandstof-gebaseerd  
\*elektrisch

		2050		2050	
		Finaal energiegebruik		Energie uit hernieuwba	
		W	E	W	E
		PJth	PJe	PJth	PJe
		141	69	141	69
		90	18	90	[-40] 18
		231	87	231	87
		<b>318</b>		<b>318</b>	<b>100,0%</b>

wind onshore als H2 en elek		
wind offshore H2 en elek		137
zon als warmte en elek	19	
Biomassa/zon gebaseerde brandstoffen in NL PJth	247	
overig (vuilverbranding, zon, aardwarmte...)	55	-65
Hernieuwbaar via import van biobrandstoffen en elektriciteit		0
	320	72
		<b>123,6%</b>

Omzettingsverliezen (H2-productie) in hernieuwbaar-elek  
Belangrijke rol voor warmte-kracht-koppeling (wkk)

Ramingen zoals afgeleid uit de studie van Lund en Mathiesen (2009): *Energy system analysis of 100% renewable energy systems – The case of Denmark in years 2030 and 2050*; Energy 34 (2009) 524-531.

Het aandeel hernieuwbare energie is hier groter dan 100 % van de finale energievraag omdat een deel van de geproduceerde hernieuwbare energie gebruikt wordt om waterstof van te maken, wat met verliezen (- 65 PJ) gepaard gaat.



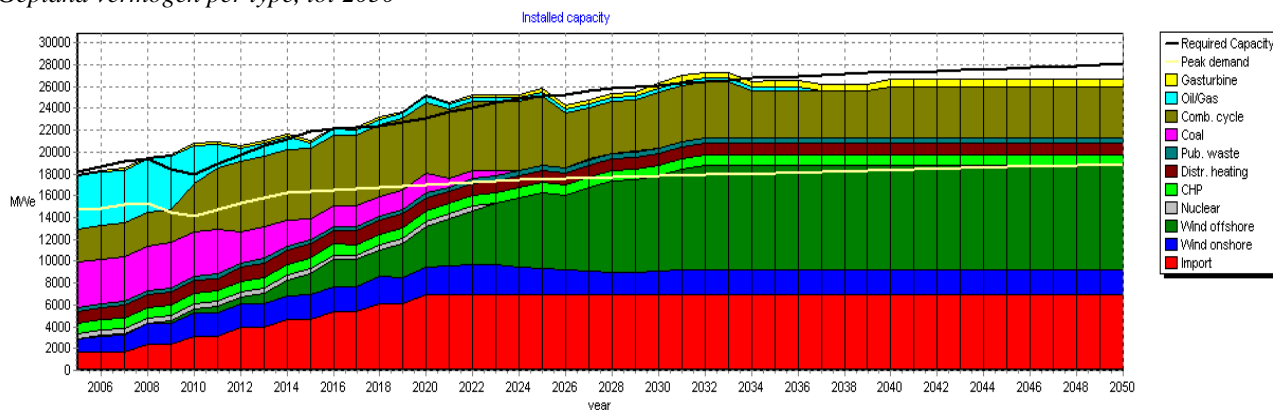
## Bijlage 4 Simulatie van de elektriciteitsvoorziening met het model PowerPlan <sup>13</sup>

Met het simulatiemodel PowerPlan (Benders et al. 2010, IVEM-RUG) is een ‘kort-door-de-bocht’ analyse uitgevoerd op welke wijze de bestaande elektriciteitsvoorziening exclusief het industrieel WKK-vermogen de overgang zou kunnen maken naar inpassing van hernieuwbare bronnen in 2030. Daarbij is verondersteld dat:

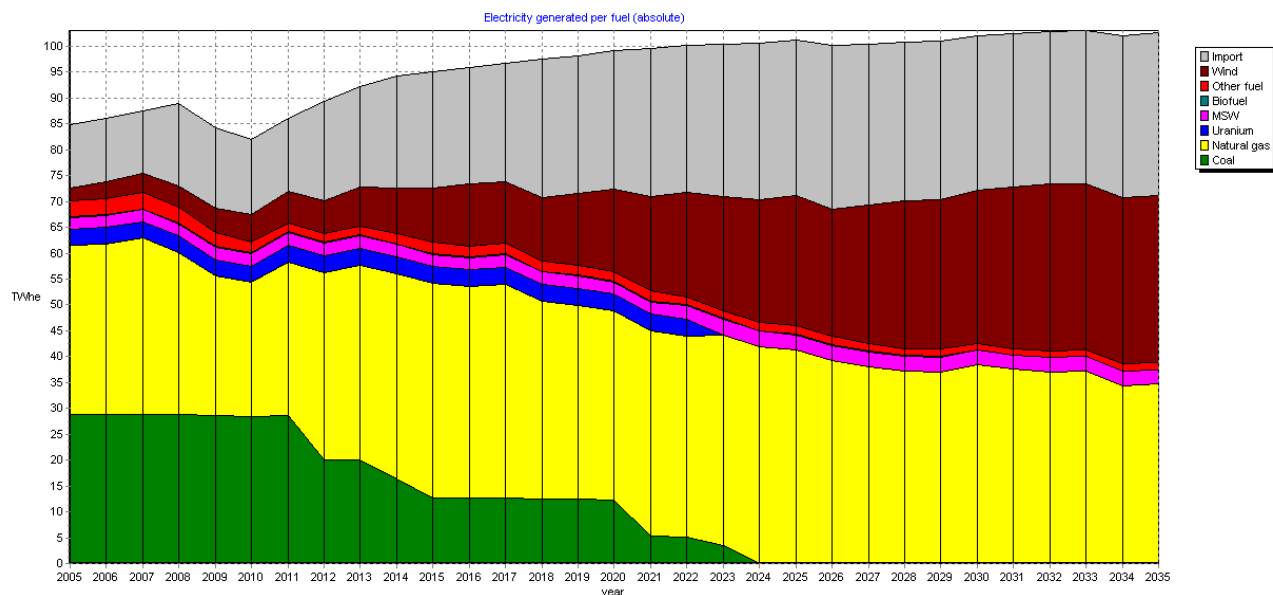
- dit deel van de elektriciteitsvoorziening groeit van 78 TWh in 2008 naar 108 TWh in 2030. De bijdrage van industrieel WKK alsook kleinschalige WKK, en kleinschalig wind en zon vermogen zijn niet hierin opgenomen
- het bestaande windvermogen (2150 MW in 2008) wordt uitgebreid tot 12000 MW in 2030 (Schoon en Zuinig)
- fossiel gestookt vermogen niet vervangen, wordt behalve de hoogrendement STEG-eenheden, en wel zodanig dat ongeveer 1/3e van de vraag in 2030 wordt voorzien door STEG en 1/3e deel door import. Aardgas is in dit kader beschouwd als de overgangsbrandstof bij uitstek.
- de nieuwe steenkoolcentrales in aanbouw zijn niet in beschouwing genomen, omdat zij worden verondersteld voor de export te leveren.

Onderstaande figuren geven de opbouw van het geïnstalleerd vermogen weer en de inzet van de diverse bronnen. Zoals besproken is in deze simulatie sprake van 1/3<sup>e</sup> deel uit hernieuwbare bronnen en 1/3<sup>e</sup> deel uit importen.

*Gepland vermogen per type, tot 2050*



*Elektriciteitsproductie per brandstof, tot 2035*



<sup>13</sup> Met dank aan René Benders (IVEM – RU Groningen) voor het beschikbaar stellen van het PowerPlan model.