

ENERGIETRANSITIE IN DE HOOGSTE VERSNELLING



Colofon

Energievisie 2035

©Natuur & Milieu

juni 2016

INHOUD

Voorwoord	4
Samenvatting duurzame energievisie	5
1 Inleiding: duurzame energievisie voor Nederland	9
2 De huidige Nederlandse energievoorziening	11
3 De Nederlandse energievoorziening in 2035	13
4 Overheidsbeleid	16
4.1 Een energie- en klimaatvisie met concrete maatregelen en (tussen)doelstellingen	16
4.2 Regie en planning	16
4.3 Een substantiële CO2 prijs: de vervuiler betaalt	16
4.4 Een exit-strategie voor fossiel: weg met olie, kolen en gas	17
4.5 Een wijkaanpak om de gebouwde omgeving energiezuinig te maken	17
5 Duurzame warmte	19
5.1 Introductie	19
5.2 Gebouwde omgeving	20
5.2.1 Eerst besparen	20
5.2.2 Duurzame warmte	20
5.2.3 Drie nieuwe woningtypes in 2035	21
5.2.4 Wijkaanpak	22
5.3 Industrie en landbouw	22
5.3.1 Verduurzaming	22
5.4 Conclusie en aanbevelingen	23
6 Duurzamere mobiliteit	24
6.1 Introductie	24
6.2 Eerst besparen	24
6.3 Duurzame bronnen	25
6.3.1 Gas is niet de oplossing	26
6.4 Conclusie en aanbevelingen	26
7 Duurzame elektriciteit	27
7.1 Introductie	27
7.2 Spilfunctie voor elektriciteit	27
7.3 Duurzame bronnen voor elektriciteit	28
7.4 Conclusie en aanbevelingen	29
8 Balancerings: nieuw evenwicht tussen vraag en aanbod van elektriciteit	30
8.1 Introductie	30
8.2 De uitdaging	30
8.3 Oplossingsrichtingen	31
8.4 Conclusie en aanbevelingen	32
Bijlage 1: Toelichtingen	33
Bijlage 2: Ecofys	44
Bijlage 3: Drie Nederlanders na de energietransitie in 2035	75
Bijlage 4 : Bronnen	77

VOORWOORD

Nederland staat voor een ongeken­de opgave: het verduurzamen van zijn energiesysteem om klimaat­verandering en de gevolgen daarvan in de hand te houden. Onze energievoorziening draait nu nog bijna volledig - 94 procent - op fossiele energie. Natuur & Milieu pakt de handschoen op en brengt met deze Energievisie in beeld welke keuzes gemaakt kunnen worden om het energiesysteem in 2035 zoveel mogelijk te laten draaien op hernieuwbare bronnen en welke maatregelen daarvoor nodig zijn. We kunnen alvast verklappen: het tempo van verduurzaming moet fors omhoog, we hebben niet meer de luxe om maatregelen uit te stellen. We beschrijven in deze visie ook de cruciale rol die de overheid moet spelen om de omschakeling naar een duurzaam energiesysteem te versnellen. Dit document biedt zo een concrete uitvoeringsagenda voor de komende twee decennia.

Deze visie schetst een helder beeld van hoe wij in 2035 onze gebouwen verwarmen, ons vervoer en onze elektriciteitsvoorziening kunnen organiseren om de Nederlandse klimaatdoelstellingen te halen. In 2035 hebben we grote stappen gezet op het gebied van energiebesparing. Alle kolencentrales staan al geruime tijd stil. We verwarmen onze huizen met elektriciteit in plaats van aardgas en rijden op elektriciteit in plaats van diesel en benzine. Deze elektriciteit wekken we nagenoeg volledig duurzaam op. Hiervoor zetten we maximaal in op windmolens op zee en op land, en op zonnepanelen.

Nu, medio 2016, zien we dat het energielandschap al in beweging is. Steeds meer burgers en bedrijven zijn zich bewust van de noodzaak tot verduurzaming en spelen een actieve rol. Snelle technologische ontwikkelingen vinden plaats. Energie uit zon en wind ontwikkelt zich snel en tegen steeds lagere kosten. Technieken om gebouwen te verwarmen uit lucht en bodem zijn marktrijp. Opslagtechnologieën voor overschotten van elektriciteit uit zon en wind worden steeds betaalbarer. Nieuwe ICT-oplossingen worden ontwikkeld.

Toch zijn deze technische en maatschappelijke trends vooralsnog onvoldoende om de energietransitie tot stand te brengen. Er is mede een sterke sturing en ondersteuning door de overheid noodzakelijk. Deze Energievisie maakt daarom concreet welke maatregelen er in de komende 20 jaar nodig zijn om een nieuw energiesysteem tot stand te brengen. Er zijn tal van specifieke maatregelen nodig om besparing en duurzame energieproductie te versnellen. Denk hierbij aan een verplicht minimum energielabel voor gebouwen, invoering van een slimme kilometerprijs voor mobiliteit en exit-strategieën voor fossiele brandstoffen, een substantiële CO₂-prijs en een wijkaanpak om de gebouwde omgeving zuiniger te maken.

Met deze maatregelen is het nu al mogelijk een verregaande verduurzaming van de energievoorziening in te zetten. Tegelijkertijd laat deze visie zien dat Nederland alles uit de kast moet halen om zijn klimaatdoelstellingen te realiseren. De hier voorgestelde maatregelen zijn dus geen opties om eens te overwegen, maar betreffen het absolute minimum aan inzet. Naast een schets van de vele mogelijkheden voor verduurzaming brengt deze visie dus ook de ontvucherende boodschap dat onze veelomvattende lijst van maatregelen amper voldoende is om de klimaatdoelen te halen. Alle hens aan dek dus, er is geen tijd te verliezen.

De Energievisie is geschreven door deskundigen van Natuur & Milieu en is onderbouwd met cijfers en gegevens uit relevante rapporten en studies. Ecofys heeft de data geverifieerd, de kosten en de benodigde beleidsinstrumenten doorgerekend.

Wij nemen u graag mee naar 2035 en nodigen u uit om samen te werken bij de aanpak van deze cruciale opgave voor Nederland!

Geertje van Hooijdonk
Hoofd Energie,
Natuur & Milieu

SAMENVATTING ENERGIEVISIE

Over 20 jaar, in 2035, verwarmen we in Nederland de meeste gebouwen met warmte uit lucht of bodem, rijden we vooral in elektrische auto's en wekken we onze stroom al grotendeels op met wind en zon. De kolencentrales zijn gesloten, de meeste woningen en andere gebouwen zijn van het gas af. Deze transitie is hard nodig vanwege de klimaatverandering die vooral wordt veroorzaakt door overmatig gebruik van fossiele energiebronnen. De verandering is ingrijpend, maar volgens Natuur & Milieu haalbaar! Het vergt grote investeringen, maar levert ook veel op. De maatschappelijke baten zijn enorm: minder milieubelasting, gezondere leefomgeving, minder afhankelijkheid van buitenlandse leveranciers. Bovendien levert deze transitie jaarlijks 1,7 miljard euro aan vermeden kosten op.

KLIMAAT

Op de Klimaattop in Parijs in december 2015 spraken wereldleiders zich uit voor een maximale temperatuurstijging van 2 graden Celsius in het jaar 2100. Het streven is zelfs om die stijging maximaal 1,5 graad te laten zijn. Van energiebedrijven tot non-profitorganisaties, van China tot de Seychellen: over het doel is overeenstemming. Over hoe deze uitdaging aan te gaan, verschillen de meningen echter behoorlijk.

In Nederland komt het noodzakelijke overheidsbeleid maar moeizaam op gang, terwijl ons land voor een niet te onderschatten opgave staat. Slechts 6 procent van de Nederlandse energievoorziening is duurzaam opgewekt, 94 procent is nog altijd afkomstig van fossiele bronnen. En dat terwijl we in rap tempo minder CO₂ moeten uitstoten. Het Energieakkoord dat in 2013 gesloten werd, is een eerste stap op weg naar een duurzame energievoorziening. Het tempo van energiebesparing en het tempo van verduurzaming zijn echter onvoldoende om de doelstelling van een duurzame energievoorziening in 2050 te halen. Bovendien eist de rechterlijke uitspraak in de Klimaatzaak van Urgenda een CO₂-reductie van ten minste 25 procent in 2020, terwijl het Energieakkoord nog maar leidt tot 21 procent reductie in 2020. Kortom: om de Nederlandse CO₂-uitstoot versneld terug te brengen is extra beleid noodzakelijk.

Deze Energievisie laat zien welke keuzes Natuur & Milieu voorstelt voor Nederland om zijn klimaatdoelstellingen te behalen. Uitvoering van deze visie geeft in 2035 een CO₂-reductie van 67 procent ten opzichte van 1990. De uitstoot van CO₂ wordt veel sneller gereduceerd dan met het bestaande overheidsbeleid. Daarnaast stijgt het aandeel duurzame energie naar 55 procent en is in

2035 ons energieverbruik 40 procent lager dan het was in 2013. De Energievisie voor 2035 is realistisch, maar is slechts de minimale inzet die nodig is wil Nederland zijn belofte bijdrage leveren aan het in de hand houden van mondiale klimaatverandering. Het huidige overheidsbeleid vermindert de CO₂-uitstoot in een veel te traag tempo. Dit tempo moet maar liefst 11 keer sneller, willen we de tweegradendoelstelling van het Klimaatakkoord halen. Het uitvoeren van deze Energievisie realiseert deze versnelling.

In het Klimaatakkoord van Parijs is afgesproken dat er wordt gestreefd naar een maximale opwarming van 1,5 graad. Willen we dat halen, dan zijn er nog extra maatregelen nodig bovenop deze visie. De maatregelen in deze Energievisie gaan uit van de 2-gradendoelstelling en zijn daarmee dan ook het absolute minimum om klimaatverandering beheersbaar te houden.

HUIDIGE NEDERLANDSE ENERGIEVOORZIENING

In 2013 gebruikte Nederland in totaal 2583 PJ¹ aan energie om te voorzien in de behoefte aan warmte, mobiliteit en elektriciteit voor licht en apparaten. Bijna de helft van die hoeveelheid gebruiken we in Nederland om warmte te produceren, voor woningen en andere gebouwen, voor tuinbouwkassen, voor de verwarming van tapwater en voor industriële processen. Deze energie komt vooral uit aardgas.

Een vijfde van de energie wordt nu gebruikt voor mobiliteit. Onder mobiliteit valt personenvervoer met de brommer, motor, auto, bus, trein en transport van producten en materialen: deels over de weg in busjes of vrachtwagens, deels over water in binnenvaartschepen, en deels over rails. Vrijwel alle energie voor mobiliteit komt uit aardolie (in de

1) De hoeveelheid energie wordt hier uitgedrukt in petajoule (PJ) en afgerond. Eén petajoule staat gelijk aan ongeveer 280 miljoen kWh. In 2013 gebruikte Nederland in totaal 2583 PJ exclusief internationale scheep- en luchtvaart.

vorm van benzine of diesel). Enkele procenten van de brandstof bestaan uit biobrandstoffen (biodiesel en bio-ethanol), welke verplicht worden bijgemengd bij benzine en diesel (vanwege de Europese bijmengverplichting)

De overige 30 procent van de energie gebruiken we om elektriciteit te produceren. Deze elektriciteit gebruiken we voor apparaten en verlichting. De elektriciteit wordt nu voornamelijk opgewekt uit steenkool en aardgas.

NEDERLANDSE ENERGIEVOORZIENING IN 2035

Het verduurzamen van de energievoorziening begint met besparing. Natuur & Milieu verwacht dat tussen nu en 2035 in totaal 40 procent bespaard kan worden op de energievraag. Dat betekent dat Nederland in 2035 nog 1560 PJ energie gebruikt, exclusief internationale schep- en luchtvaart. In 2035 wordt daarvan 55 procent duurzaam opgewekt, voor een groot deel in eigen land uit zon en wind. Door deze combinatie van besparing en verduurzaming van de energieproductie stoot Nederland 67 procent minder CO₂ uit ten opzichte van 1990 en ligt daarmee op koers om onomkeerbare klimaatverandering te voorkomen. Het potentieel om snel te verduurzamen verschilt echter per functie (warmte, mobiliteit en stroom voor apparaten en licht).

Op het gebruik van warmte moet flink bespaard worden en een reductie van 35 procent is wel degelijk mogelijk volgens Natuur & Milieu. Het gebruik van aardgas voor warmte kan 80 procent worden verminderd. In 2035 produceren we onze warmte voor een groot deel op basis van duurzame energie. Dit kan bijvoorbeeld door middel van elektrische warmtepompen en warmte-koude opslag. Het gasnet is in 2035 grotendeels overbodig. De verwarming van onze huizen en andere gebouwen kan in 2035 voor 90 procent duurzaam zijn. In de industrie en landbouw blijkt besparing en verduurzaming echter een moeizaam proces en zal industriebeleid gericht moeten zijn op verdere besparing. Een flink deel van de warmtevoorziening in 2035 zal in industrie en landbouw helaas nog gebaseerd zijn op fossiele brandstoffen.

Voor mobiliteit bepleit Natuur & Milieu een besparing met 41 procent en verregaande elektrificatie: we gaan steeds meer rijden op elektriciteit. Elektriciteit kan schoon opgewekt worden en levert bovendien efficiëntie-winst op ten opzichte van de brandstofmotor. Toch zal nog niet al het vervoer plaatsvinden op basis van elektrische aandrijving. Vooral voor zwaar vervoer en lange-afstandstransporten is elektriciteit nog geen goed alternatief voor (fossiele) brandstoffen. Voor dit soort vervoer hebben accu's nog niet voldoende capaciteit.

De functie stroom voor apparaten en licht als ook de gehele elektriciteitsproductie kan relatief makkelijk verduurzaamd worden. Nieuwe technologieën zijn immers al beschikbaar en de omschakeling van fossiel naar duurzaam kan relatief eenvoudig georganiseerd en gestimuleerd worden. Natuur & Milieu zet daarom maximaal in op een duurzame elektriciteitsvoorziening. In 2035 zijn de kolencentrales al geruime tijd dicht. Elektriciteit wordt in 2035 vrijwel geheel geproduceerd uit duurzame bronnen (95%). Om dit te bereiken worden na uitvoering van het Energieakkoord - na 2023- nog 1250 nieuwe windmolens geplaatst op de Noordzee, nog 250 op land en worden op alle geschikte daken zonnepanelen geïnstalleerd.

Tussen nu en 2035 gaat Nederland elektrificeren: elektriciteit wordt ook ingezet om te voorzien in de vraag naar warmte en mobiliteit. Deze grotere vraag naar elektriciteit zorgt voor een zwaardere belasting van het elektriciteitsnet: het stroomnet wordt de ruggengraat van de Nederlandse energievoorziening. Door de productie van elektriciteit uit duurzame bronnen als zon en wind zullen vraag en aanbod van energie niet meer op elk moment in evenwicht zijn. De zon schijnt niet altijd en de wind waait soms hard, soms zacht. Er zullen straks momenten zijn dat we stroom tekort komen of juist over hebben. Daarom bepleit Natuur & Milieu koppeling aan buitenlandse netwerken, (interconnecties), sturing van stroomgebruik en opslag van elektriciteit. In 2035 zal een deel van de huidige gascentrales met wkk (warmte-kracht-koppeling) nog nodig zijn als achtervang voor piekmomenten.

AANBEVELINGEN

Uitvoering van deze Energievisie gaat niet vanzelf. Net als andere transitie vergt het investeringen van de overheid en regisseurs bij landelijke en lokale overheden en netbeheerders. De benodigde investeringen zijn fors maar rendabel, omdat het uitstoten van CO₂ steeds hoger belast wordt. Naast diverse sectorale en specifieke maatregelen is het cruciaal dat de Rijksoverheid de volgende stappen neemt:

- Een energie- en klimaatvisie met concrete maatregelen en (tussen)doelstellingen
- Regie en planning: grootschalig wind op zee als nieuwe Deltawerken
- Een substantiële CO₂-belasting: de vervuiler betaalt
- Een exit-strategie voor fossiel: weg met olie, kolen en gas
- Een wijkaanpak om de gebouwde omgeving zuiniger te maken

NATUUR & MILIEU REKENT MET DEZE ENERGIEVISIE AF MET EEN AANTAL MYTHES:

- Zonne-energie zal dé energiebron van de toekomst zijn. Natuur & Milieu bestrijdt dat. Op daken kan zonne-energie veel betekenen, maar op de grond leveren windmolens per hectare veel meer energie op.
- Restwarmte van kolencentrales zijn een onderdeel van de energietransitie. Natuur & Milieu bestrijdt dat. Kolencentrales stoten teveel CO₂ uit, leveren grote schade aan natuur en gezondheid en verdwijnen als eerste tijdens de energietransitie.
- Biomassa speelt een grote rol in de energiemix van de toekomst. Natuur & Milieu bestrijdt dat. Biomassa zal nodig en nuttig zijn, maar de beschikbaarheid van duurzame biomassa is te beperkt. Natuur & Milieu zet biomassa alleen in waar geen alternatief mogelijk is.
- Als we alle energie duurzaam opwekken is besparing niet nodig. Natuur & Milieu bestrijdt dat. Voldoende verduurzaming is alleen mogelijk als huishoudens en bedrijven minder energie gebruiken.
- Alleen door Europese afspraken kan de CO₂-prijs stijgen. Natuur & Milieu bestrijdt dat. Zonder hogere CO₂-prijs lukt de energietransitie niet. Europese besluitvorming is langzaam, Nederland moet samen met buurlanden alvast beginnen met het verhogen van de prijs voor het uitstoten van CO₂.
- De markt zal vanzelf zorgen voor de verduurzaming van de energievoorziening. Natuur & Milieu bestrijdt dat. Er zijn nu te weinig prikkels die automatisch leiden tot voldoende verduurzaming. Overheidssturing is daarom nodig.

De tabel op de volgende pagina laat de belangrijkste verschillen zien tussen de huidige energievoorziening en die van 2035

Onderzoeksbureau Ecofys heeft een globale toetsing van deze Energievisie gedaan en concludeert dat deze technisch haalbaar, betaalbaar en consistent is. Daarnaast is de invulling van het energiesysteem en het voorgestelde beleid voldoende om de klimaatdoelstellingen te halen. Volgens hun berekeningen kost deze transitie kost 12,5 miljard euro per jaar, maar levert ook dan 14,2 miljard euro per jaar aan vermeden kosten op, bijvoorbeeld dankzij energiebesparing. Netto is de balans dus positief, met een totaal aan 1,7 miljard vermeden kosten per jaar.

In de volgende hoofdstukken toont Natuur & Milieu hoe onze huidige energievoorziening eruit ziet en welke energievoorziening zij in 2035 voorstaat (hoofdstuk 2 en hoofdstuk 3). Hoofdstuk 4 somt de belangrijkste overkoepelende interventies op die noodzakelijk zijn om een snellere verduurzaming in gang te zetten. Hoofdstuk 5, 6, en 7 laten achtereenvolgens zien hoe we in 2035 onze behoefte aan warmte, mobiliteit en elektriciteit voor licht en apparaten invullen en welke specifieke maatregelen daarvoor nodig zijn. Hoofdstuk 8 bespreekt de manieren waarop we in een duurzame elektriciteitsvoorziening kunnen zorgen voor het balanceren van vraag en aanbod.

Tabel 1: Belangrijkste verschillen tussen de huidige Nederlandse energievoorziening en die van 2035

	Huidig	2035
Algemeen		
Kenmerken van energievoorziening	Fossiel: gas, aardolie en kolen	Duurzamer: hernieuwbaar, flexibel en elektrisch
Aandeel duurzame energie	6%	55%
Totale Nederlandse vraag exclusief internationale scheep- en luchtvaart	2583 PJ per jaar	1560 PJ per jaar
Totale uitstoot van CO ₂ (eq)	195 Mton per jaar	73 Mton per jaar
Prijs van CO ₂ in Nederland	Ca. 5 euro per ton	Ca. 100 euro per ton
Rol overheden	Faciliterend voor fossiel + stimulerend voor duurzaam	Sturend voor duurzaam
Warmte		
Totale vraag	1230 PJ	790 PJ
Warmtebronnen	Aardgas	Verduurzaming: enorme groei in warmte uit lucht en bodem
Productie duurzame warmte	18 PJ	305 PJ
Aantal aansluitingen aan gasnet	Ruim 7 miljoen	Ca. 1 miljoen
Gebouwde omgeving	Aardgas	Besparing 39% Warmte uit lucht en bodem, warmtepompen, elektrificering
Industrie en landbouw	Fossiel: aardgas + olie	Besparing ca 33% Fossiel + duurzaam, biomassa als backup
Mobiliteit		
Totale vraag (excl. internationale scheep- en luchtvaart)	513 PJ	303 PJ
Brandstoffen	Aardolie (benzine en diesel)	Verduurzaming: enorme groei in elektrisch transport + biobrandstof voor lucht- en scheepvaart
(Semi)Elektrische auto's	Ruim 90.000	3 miljoen
Elektriciteit		
Totale vraag	429 PJ	489 PJ
Elektriciteitsproductie	10% duurzaam	95% duurzaam
Windenergie	Ruim 2000 molens op land + 289 op zee	Ca. 3450 op land + 1900 op zee
Zonne-energie	Ruim 1 GW	40 GW
# Kolencentrales	7	0
Balancerend net	Productie volgt vraag	Vraag volgt productie

1 INLEIDING: ENERGIEVISIE VOOR NEDERLAND

Klimaatverandering eist een steeds prominenter plek op de maatschappelijke agenda op. Het Klimaat-akkoord dat in Parijs werd gesloten, onderstreept de urgentie die wereldwijd gevoeld wordt om de opwarming van de aarde te beperken. 196 landen tekenden daar voor maatregelen om hun CO₂-uitstoot te verminderen en de wereldwijde temperatuur met maximaal 1,5 graad Celsius te laten stijgen. Ook in het dagelijks leven is klimaatverandering al voelbaar: de lente begint tegenwoordig enkele weken eerder en we worden vaker geconfronteerd met extreme weersomstandigheden zoals hittegolven en stormen.

Ons energiegebruik levert de grootste bijdrage aan de CO₂-uitstoot en daarmee aan klimaatverandering. Het beperken van klimaatverandering betekent dus dat de energievoorziening moet worden verduurzaamd. Dit is een niet te onderschatten opgave gezien het grote aandeel fossiele brandstoffen in onze energievoorziening en het grote belang van fossiele brandstoffen in de Nederlandse economie. Onze energie is nog voor 94 procent afkomstig van fossiele bronnen, slechts 6 procent is duurzaam opgewekt [1]. Ook is de Nederlandse CO₂-uitstoot de afgelopen 20 jaar nauwelijks gedaald [3].

Het Energieakkoord dat in 2013 gesloten werd is een eerste stap op weg naar een duurzame energievoorziening. Het akkoord richt zich op de periode tot 2023 en bevat afspraken over o.a. energiebesparing, duurzame opwekking van energie en het sluiten van een aantal kolencentrales. Het akkoord moet leiden tot 16% duurzame energie in 2023. Dit tempo is echter onvoldoende om de doelstelling van een duurzame energievoorziening in 2050 te halen. Ook uit oogpunt van klimaatverandering moet de energietransitie versnellen. De wereld, en dus ook Nederland, mag in totaal nog een beperkte hoeveelheid CO₂ uitstoten de komende jaren. Dat is het zogenoemde 'carbon budget' (zie toelichting A). Om dit budget niet te overschrijden moet sneller overgestapt worden op duurzame bronnen. Zie grafiek. Bovendien eist de rechterlijke uitspraak in de Klimaatzaak van Urgenda ten minste 25% CO₂-reductie in 2020, terwijl het Energieakkoord leidt tot 21 procent reductie in 2023 [2]. Ook zijn de afspraken die Nederland maakte in Parijs nog niet verwerkt tot nationaal beleid: daarvoor is nog een extra opgave nodig bovenop de opgave die voortvloeit uit de Klimaatzaak. Kortom: om de Nederlandse CO₂-uitstoot snel genoeg terug te brengen is aanvullend beleid noodzakelijk. Daarom moet nu al nagedacht worden over ambitieuze plannen voor de periode tot 2050.

Met deze Energievisie 2035 laat Natuur & Milieu zien welke stappen in 2035 al gezet moeten zijn om op

koers te blijven voor een duurzame energievoorziening in 2050. Dit levert een agenda op met concrete beleidsadviezen voor de komende 20 jaar. Natuur & Milieu beschrijft in deze visie hoe wij onze behoefte aan warmte, mobiliteit en elektriciteit in 2035 gaan invullen en welke maatregelen daarvoor nodig zijn.

Het uitgangspunt voor deze Energievisie is de hoeveelheid CO₂ die Nederland nog mag uitstoten in 2035 om binnen de 2 graden doelstelling te blijven. Ecofys heeft berekend dat Europa in 2030 55 procent minder broeikasgassen moet uitstoten dan in 1990, om op eerlijke wijze aan zijn verplichtingen te voldoen. In 2035 zou dat een reductie van 67 procent ten opzichte van 1990 betekenen. Naar Nederland omgerekend, is dit een maximale uitstoot van 73 Mton CO₂-equivalenten in 2035 (daaronder vallen ook andere broeikasgassen dan CO₂, zoals methaan) (zie Toelichting B). Ter vergelijking: in 2013 stootte Nederland 195 megaton CO₂-equivalenten uit. We moeten dus bijna twee derde minder broeikasgassen uitstoten!

In het Klimaatakkoord van Parijs is de doelstelling aangescherpt naar maximaal 1,5 graad opwarming. Willen we deze doelstelling van 1,5 graad halen, dan zijn er nog extra maatregelen nodig bovenop deze visie, zoals bijvoorbeeld het afvangen en opslaan van CO₂ uit de industrie. De maatregelen in de Energievisie gaan uit van de 2-gradendoelstelling en zijn daarmee dan ook het absolute minimum om klimaatverandering beheersbaar te houden.

Natuur & Milieu baseert deze Energievisie op bestaande rapporten en scenario's die aangeven wat er mogelijk is ten aanzien van bijvoorbeeld besparing en zonne-energie. Op basis van deze haalbaarheidsstudies heeft Natuur & Milieu voor warmte, mobiliteit en elektriciteit bepaald hoe deze functies zo duurzaam mogelijk kunnen worden ingevuld. Daarnaast werkte Natuur & Milieu voor de invulling van de energievoorziening binnen het carbon budget met de volgende uitgangspunten:

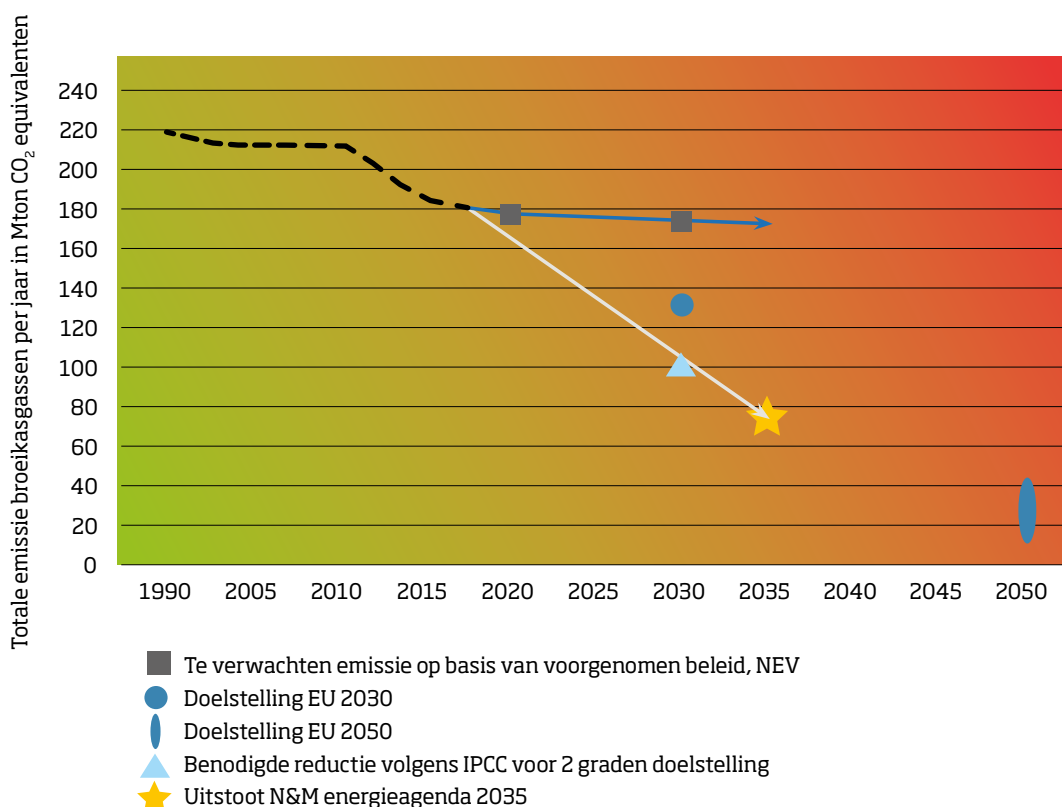
- Nederland neemt verantwoordelijkheid voor zijn deel van de wereldwijde CO₂-uitstoot (zie toelichting B)
- Er wordt zoveel mogelijk energiebesparing gerealiseerd; 40 procent is haalbaar
- Er is een beperkte rol voor biomassa, omdat er wereldwijd zeer weinig duurzame biomassa beschikbaar is
- Restwarmte van fossiele bronnen acht Natuur & Milieu niet duurzaam (zie toelichting L in de bijlage)
- Geen kernenergie, vanwege afval en straling
- CCS (CO₂-afvang en opslag) speelt alleen een kleine rol in de industrie, en waarschijnlijk pas tegen 2035 of later (zie toelichting S in de bijlage)
- Berekeningen van Natuur & Milieu zijn gebaseerd op studies en cijfers over de energievoorziening in 2013. Op basis van de energievoorziening in 2013 is een beeld gemaakt van de energievoorziening in 2035.

Natuur & Milieu geeft ook inzicht in de publieke investeringen die nodig zijn om tot een duurzame energievoorziening te komen. Het gaat hierbij om de additionele investeringen bovenop voorgenomen beleid. Deze investering zijn berekend door Ecofys. Daarnaast heeft Ecofys ook gekeken naar de baten

van deze Energievisie, waaronder de baten ten gevolge van energiebesparing. De omschakeling naar een duurzame energievoorziening zorgt ook voor gezondheidsvoordelen, werkgelegenheid en innovaties, maar deze zijn hier niet in geldbedragen uitgedrukt. Daarnaast heeft Ecofys de volledigheid, consistentie en haalbaarheid van dit rapport beoordeeld (zie bijlage 2). Het hoofdstuk over mobiliteit is gebaseerd op de Brandstofvisie van Natuur & Milieu, die eerder al door Ecofys is doorgerekend.

In de volgende hoofdstukken toont Natuur & Milieu hoe onze huidige energievoorziening eruit ziet en welke energievoorziening zij in 2035 voorstaat (hoofdstuk 2 en hoofdstuk 3). Hoofdstuk 4 somt de belangrijkste overkoepelende interventies op die noodzakelijk zijn om een snellere verduurzaming in gang te zetten. Hoofdstuk 5, 6, en 7 laten achtereenvolgens zien hoe we in 2035 onze behoefte aan warmte, mobiliteit en elektriciteit invullen en welke specifieke maatregelen daarvoor nodig zijn. Hoofdstuk 8 bespreekt de manieren waarop we in een duurzame elektriciteitsvoorziening kunnen zorgen voor het in evenwicht brengen van vraag en aanbod.

CO₂-REDUCTIETRAJECTEN VERGELEKEN



2 DE HUIDIGE NEDERLANDSE ENERGIEVOORZIENING

Dit hoofdstuk laat zien dat onze huidige energievoorziening nog vrijwel geheel draait op fossiele bronnen. Het energieverbruik wordt uitgesplitst naar de functie die het vervult: warmte, mobiliteit of elektriciteit. De hoeveelheid energie wordt hier uitgedrukt in petajoule (PJ). Eén petajoule staat gelijk aan ongeveer 280 miljoen kWh. Ter vergelijking: een gemiddeld huishouden gebruikt ongeveer 3000 kWh per jaar. In 2013 gebruikte Nederland in totaal 2583 PJ^I.

WARMTE

Bijna de helft van de energie in Nederland gebruiken we om warmte te produceren. Dit gebruiken we voor de verwarming van woonhuizen en andere gebouwen, tapwater, voor de verwarming van kassen en voor industriële processen. Deze energie komt nu vooral uit aardgas. Een klein deel van de warmte komt uit restwarmte, olie en andere niet-hernieuwbare bronnen. Al deze fossiele bronnen leiden bij verbranding tot de uitstoot van CO₂ dus dragen bij aan de ongewenste klimaatverandering. Het Groningen-gasveld is de belangrijkste bron van aardgas en dus voor verwarming. Deze gasreserves raken echter in rap tempo uitgeput: er is nog slechts een kwart van de oorspronkelijke reserve over. Daarnaast noodzaken de aardbevingen in het gaswingebied ons om de productie versneld terug te schroeven. Wanneer het Groningenveld niet meer genoeg gas kan produceren moet er meer gas uit het buitenland (voornamelijk Rusland) geïmporteerd worden.

MOBILITEIT

Een vijfde van de energie wordt gebruikt voor mobiliteit. Onder mobiliteit valt personenvervoer (brommer, motor, auto, bus en trein) en transport van spullen en materialen: deels over de weg in busjes of vrachtwagens, deels over water in binnenvaartschepen, en deels over rails. Internationale scheepvaart en luchtvaart tellen niet mee voor Europese of nationale klimaatcijfers en -doelstellingen en vallen daarom ook buiten de scope van deze Energievisie. Ze zijn vaak wel als context weergegeven, want ze veroorzaken uiteraard wel emissies. Vrijwel alle energie voor mobiliteit komt uit aardolie, dat bij verbranding leidt tot uitstoot van CO₂. Deze olie wordt geïmporteerd uit het buitenland, vaak zijn dit politiek instabiele landen. Enkele procenten van de brandstofmix bestaan uit biobrandstoffen (biodiesel en bio-ethanol) vanwege de Europese bijmengverplichting^{II}.

ELEKTRICITEIT

De overige 30 procent van de energie gebruiken we om elektriciteit te produceren. Deze elektriciteit gebruiken we voor apparaten en verlichting. Elektriciteit kunnen we echter ook inzetten voor warmte (bijvoorbeeld met een warmtepomp) of voor mobiliteit (trein, elektrische bus of auto). Nederland gebruikte in 2013 zo'n 417 PJ aan elektriciteit per jaar^{III}, waarvan 360 PJ in eigen land is geproduceerd. Deze elektriciteit wordt geproduceerd in kolen- en gascentrales, maar ook in kleine wkk-installaties (warmte-kracht-koppeling)^{IV}. Deze installaties staan onder andere bij tuinders en produceren warmte (voor de kassen) en elektriciteit (voor het elektriciteitsnet). De elektriciteit wordt voornamelijk opgewekt uit steenkool en aardgas. Dit type aardgas is afkomstig uit de Noordzee, kleine velden op land en uit het buitenland. De kolen worden geïmporteerd uit bijvoorbeeld Colombia, de VS of Zuid-Afrika [4].

Nederland produceert nog met 7 kolencentrales elektriciteit. Van 2 centrales is de sluiting in voorbereiding (sluiting op 1 juli 2017 volgens afspraak in het Energieakkoord) en voor 2 centrales heeft de regering aangegeven ze te willen sluiten in verband met de Klimaatzaak. Het produceren van elektriciteit uit kolen en aardgas brengt relatief grote energieverliezen met zich mee. Steenkool veroorzaakt een grote uitstoot van CO₂ equivalenten (eq.), en zorgt ook voor grote schade aan natuur en gezondheid.

In de figuren op de volgende pagina is de huidige energievoorziening en energiemix in beeld gebracht. Energie en elektriciteit worden vaak met elkaar verward. De bovenste figuur laat goed zien dat elektriciteit maar een deel van de energievraag uitmaakt en dat de duurzaamheidsopgave veel groter is dan alleen de productie van duurzame elektriciteit.

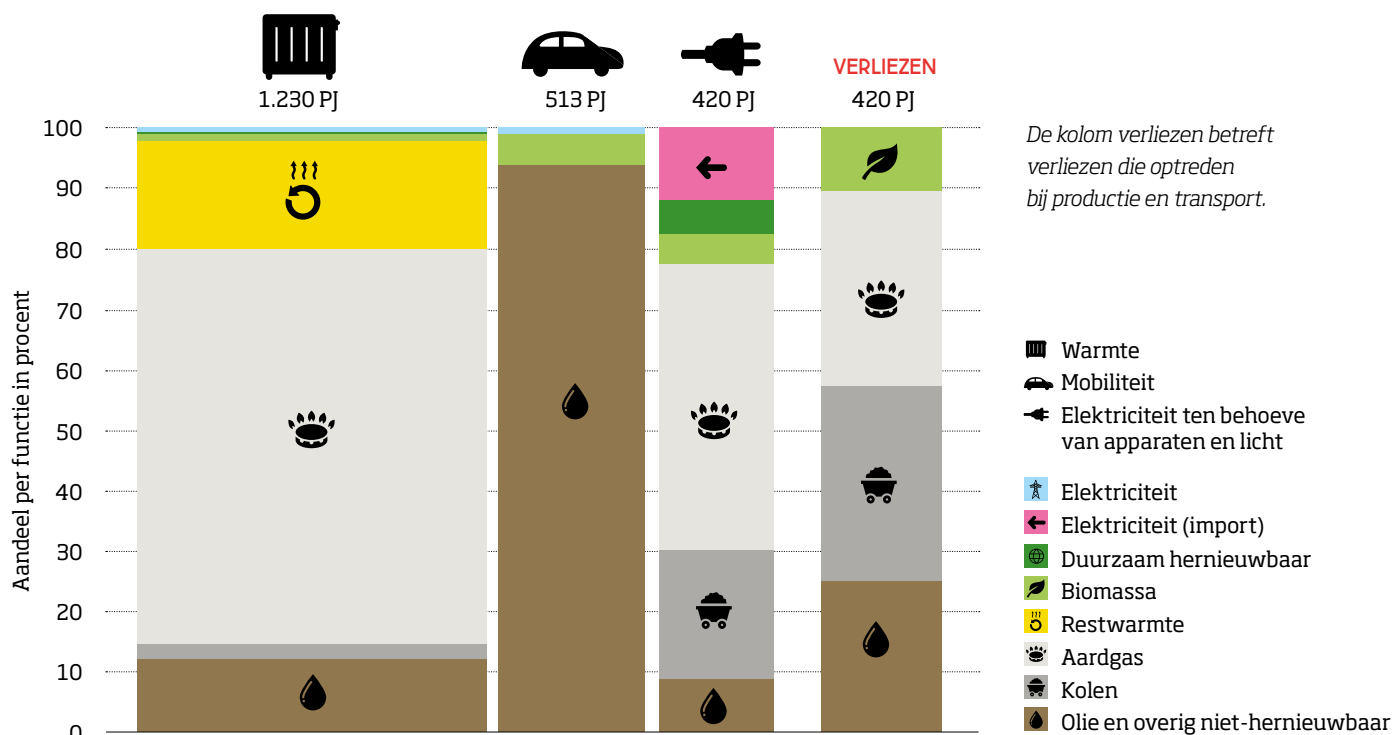
I) Zie toelichting D in de bijlage

II) Zie toelichting G in de bijlage

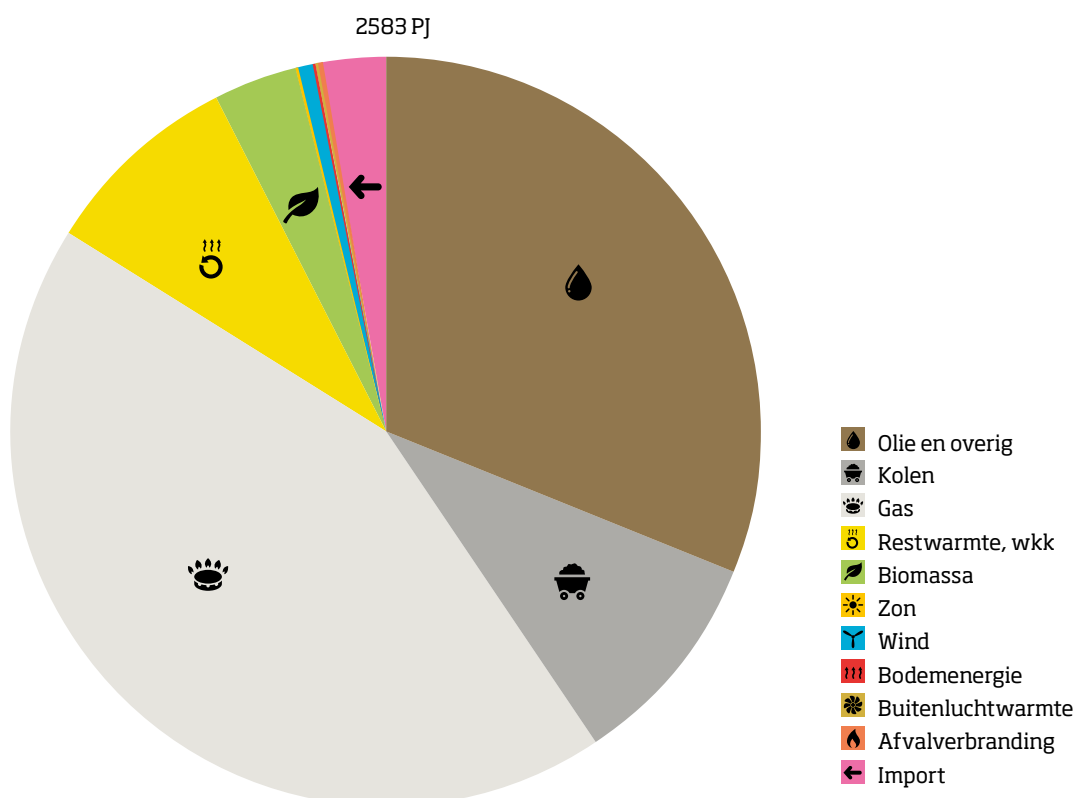
III) waarvan 6 PJ voor mobiliteit en 10 PJ voor warmte

IV) Zie toelichting F in de bijlage

HUIDIGE ENERGIEVOORZIENING



ENERGIEMIX NAAR BRONNEN – HUIDIG



3 DE NEDERLANDSE ENERGIEVOORZIENING IN 2035

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van hoe wij onze behoefte aan warmte, mobiliteit en elektriciteit invullen in 2035.

Het verduurzamen van de energievoorziening begint met besparing. Natuur & Milieu ziet veel mogelijkheden om de komende 20 jaar flink te besparen door middel van (verbeterde) isolatie en meer energie-efficiëntie. Hiermee kan 40 procent energie bespaard worden. Dat betekent dat Nederland in 2035 nog 1560 PJ energie gebruikt. In 2035 wordt 55 procent van deze energie duurzaam opgewekt. Die energie kan voor een groot deel duurzaam worden opgewekt in eigen land, vooral met zon en wind. Door deze combinatie van besparing en duurzame energie kan Nederland binnen haar carbonbudget blijven.

Het potentieel om snel te verduurzamen is verschillend voor warmte, mobiliteit en elektriciteit. Hieronder wordt toegelicht welke mogelijkheden Natuur & Milieu ziet voor een duurzame energievoorziening in 2035 en waarom.

WARMTE

Op het gebied van warmte moet enorm veel energie bespaard worden om binnen het carbonbudget te kunnen blijven. Dat kan vooral door het verduurzamen van de gebouwde omgeving. Het is wel een forse uitdaging. Zo moeten bijvoorbeeld miljoenen huiseigenaren hun huis (beter) isoleren om de warmtevraag naar beneden te brengen. Deze grote inspanning maakt het echter wel mogelijk om het gebruik van aardgas voor warmte in totaal met ongeveer 80 procent te verminderen. In 2035 produceren we onze warmte voor een groot deel op basis van duurzame energie (zie ook figuur op de volgende pagina). Dit kan bijvoorbeeld door middel van elektrische warmtepompen en warmte-koude opslag. Door de inzet van deze twee technieken kunnen we huishoudens loskoppelen van het gasnet. In 2035 is bijna 90 procent van de huishoudens van het gas af: er zijn nog 1 miljoen gasaansluitingen vergeleken met 7 miljoen aansluitingen nu. In de industrie en landbouw blijkt besparing en verduurzaming een moeizaam proces [5] en vergaande verduurzaming is afhankelijk van gerichte innovatie. Natuur & Milieu verwacht daarom dat een deel van de warmtevoorziening in 2035 nog zal draaien op fossiele brandstoffen¹.

Dit betekent de volgende veranderingen:

- Er wordt flink bespaard (2,4% per jaar); zowel door isolatie van de schil van woningen en andere gebouwen als besparingen in de landbouw en industrie
- Bijna 90 procent van de gebouwde omgeving is van het aardgas af
- Het grootste deel van de warmte komt van bodemenergie, elektrische warmtepompen en van restwarmte van de industrie. Er wordt geen restwarmte van kolencentrales ingezet. Ook biomassa speelt nauwelijks een rol.

Deze warmtetransitie wordt uitgewerkt in hoofdstuk 5

MOBILITEIT

Voor mobiliteit bepleit Natuur & Milieu een verregaande elektrificatie: rijden op elektriciteit. Elektriciteit kan schoon opgewekt worden en levert bovendien efficiëntie-winst op ten opzichte van de brandstofmotor. Natuur & Milieu verwacht dat elektrisch rijden een grote vlucht zal nemen (zie ook figuur op de volgende pagina). Toch zal nog niet al het vervoer plaatsvinden op basis van elektrische aandrijving. Vooral voor zwaar vervoer en lange-afstandstransporten is elektrische aandrijving nog geen goed alternatief voor (fossiele) brandstoffen. Voor dit soort vervoer hebben accu's nog niet voldoende capaciteit.

Dit betekent:

- Mobiliteit gaat minder energie gebruiken, er wordt 40 procent bespaard door efficiëntere voertuigen, verschuiving van vraag en minder kilometers te maken.
- Mobiliteit begint met de overschakeling op elektriciteit en brandstofcellen (gevoed door bijvoorbeeld waterstof). Er rijden minimaal 3 miljoen (semi-) elektrische auto's.
- De accu's van elektrische auto's vervullen een belangrijke rol in het balanceren van het energiesysteem.
- Inzet van geavanceerde, duurzame biomassa is beperkt (vanwege beschikbaarheid) en gericht op internationale scheepvaart en luchtvaart.

Deze mobiliteitstransitie wordt uitgewerkt in hoofdstuk 6

¹) Zie toelichting N, O en P in de bijlage

ELEKTRICITEIT

Elektriciteit kan relatief makkelijk verduurzaamd worden omdat nieuwe technologieën al beschikbaar zijn en de omschakeling relatief eenvoudig centraal georganiseerd kan worden. Natuur & Milieu zet daarom maximaal in op een duurzame elektriciteitsvoorziening en op sluiting van alle kolencentrales. Op het gebied van elektriciteit wordt dus een grote doorbraak bereikt: elektriciteit wordt in 2035 vrijwel geheel geproduceerd uit duurzame bronnen (zie figuur op de volgende pagina). Hiervoor worden na 2023 nog 1250 nieuwe windmolens geplaatst op de Noordzee en worden alle geschikte daken bedekt met zonnepanelen.

In onderstaande figuur is te zien hoe de energievoorziening er in 2035 volgens Natuur & Milieu uit ziet. De verliezen die in deze figuur genoemd worden zijn verliezen die optreden bij het opwekken van elektriciteit en transporteren van elektriciteit. Op de volgende pagina is te zien hoe de energiemix er in 2035 uit ziet.

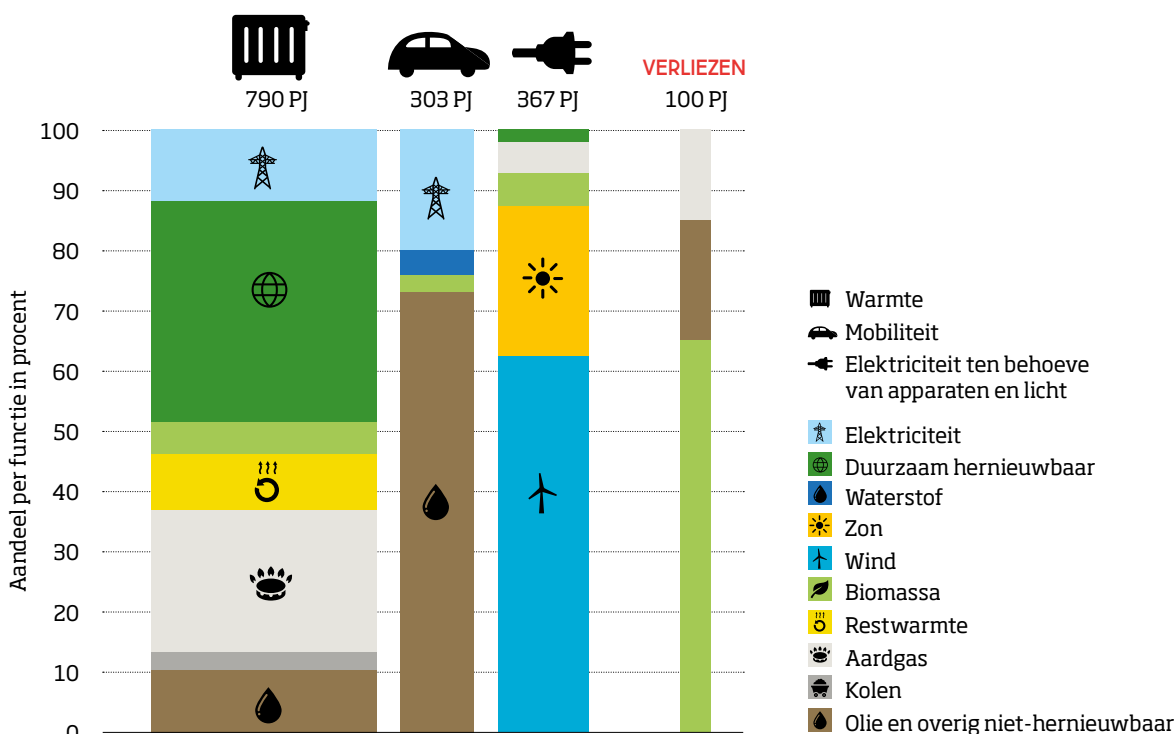
Voor apparaten en licht, en ook de verdere elektrificatie, oftewel alle elektriciteit betekent een duurzame energievoorziening:

- de benodigde energie kan in 2035 voor 95 procent duurzaam opgewekt worden.

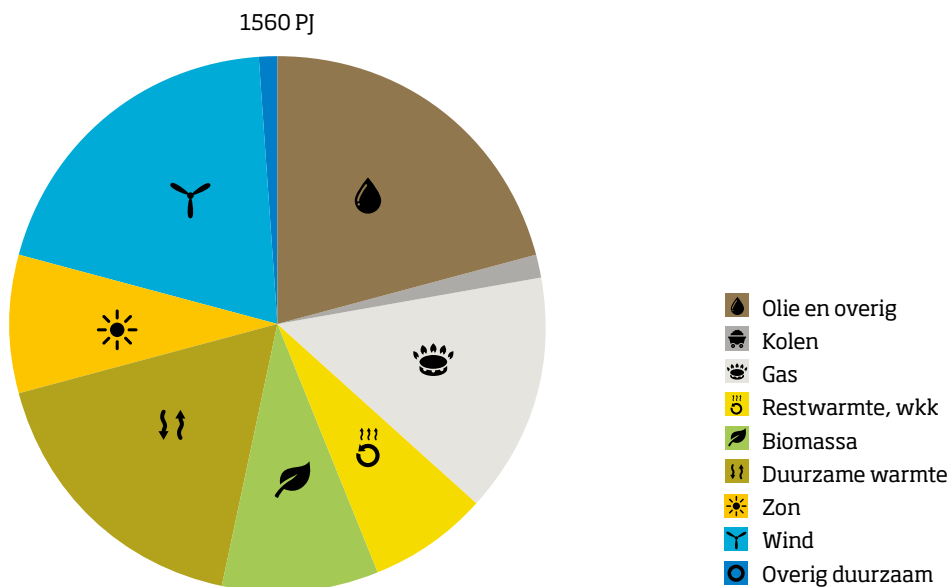
- Nederland elektrificeert: in 2035 is stroom het belangrijkste middel voor het verwarmen van huizen en gebouwen en neemt sterk toe in vervoer. Het stroomgebruik groeit.
- In 2020 zijn alle kolencentrales al geruime tijd gesloten
- Er zijn veel extra windmolens bij gekomen op zee (1250 extra molens bovenop het Energieakkoord, totaal vermogen in 2035 is 17 GW)
- Ook komen er op land nog meer windmolens bij (250 extra t.o.v. de huidige plannen tot 2023)
- Vrijwel alle geschikte daken worden bedekt met zonnepanelen (groei van ruim 1 GW nu naar 40 GW in 2035)
- Er zijn nog enkele gasgestookte centrales en vele decentrale gasgestookte centrales met warmtekrachtkoppeling die ook zorgen voor het in evenwicht brengen van vraag en aanbod in de stroomvoorziening. In 2035 gebruiken we voor elektriciteitsproductie nog één achtste van de huidige hoeveelheid aardgas.
- Inzet van biomassa is zeer beperkt, voornamelijk bij industrie.
- Deze transitie is technologisch gezien al goed mogelijk en vooral een kwestie van uitvoering. Hierop moet daarom maximaal worden ingezet.

Deze transitie wordt uitgewerkt in hoofdstuk 7

ENERGIEVOORZIENING 2035



ENERGIEMIX NAAR BRONNEN – 2035



Door de productie van elektriciteit uit duurzame bronnen als zon en wind zullen vraag en aanbod van elektriciteit niet meer op elk moment in evenwicht zijn. Daarom bepleit Natuur & Milieu meer verbindingen met buitenlandse netwerken. Ook sturing van de vraag en opslag van elektriciteit zijn nodig. Dit in balans brengen van het elektriciteitsnet wordt besproken in hoofdstuk 8.

Om deze omschakeling naar een duurzame energievoorziening te realiseren is ander overheidsbeleid noodzakelijk. Deze worden in het volgende hoofdstuk besproken. Ook zijn investeringen nodig. Bij het invoeren van een realistische, hoge CO₂-belasting zijn de baten echter hoger dan de lasten en is uitvoering van onze Energievisie goed betaalbaar. Zie bijlage 2 voor het volledige overzicht van kosten en baten, zoals becijferd door Ecofys.

Tabel 2: De samenvatting van de kosten en baten volgens Ecofys (in miljoenen euro's)

	Kosten per jaar (miljoen euro)	Vermeden kosten per jaar (miljoen euro)	Netto kosten (-) of baten (+) per jaar (miljoen euro)
Hernieuwbare elektriciteit	-2.300		-2.300
Warmtenetten	-922	608	-314
Warmtepompen	-3.817	2.497	-1.321
Hybride systemen / kleinschalige warmtenetten	-2.771	1.233	-1.538
Transport	-40		-40
Energiebesparing	-500		-500
Netverzwaring elektriciteit	-2.113		-2.113
Gastransport		70	70
Vermeden import		3250	3.250
Totaal	-9.623	7.658	-1.965
CO ₂ -prijs opbrengst		6.500	6.500
Eindtotaal (afgerond)	-12.500	14.150	1.700

4 OVERHEIDSBELEID

Behalve specifieke maatregelen gericht op warmte, mobiliteit en elektriciteit is het cruciaal dat de Rijksoverheid een aantal overkoepelende maatregelen en stappen neemt om de overgang naar een duurzaam energiesysteem te realiseren. Dit hoofdstuk bespreekt de volgende vijf stappen:

1. Een energie- en klimaatvisie met concrete maatregelen en (tussen)doelstellingen
2. Regie en planning: grootschalig wind op zee als nieuwe Deltawerken
3. Een substantiële CO₂-belasting: de vervuiler betaalt
4. Een exit-strategie voor fossiel: weg met olie, kolen en gas
5. Een wijkaanpak om de gebouwde omgeving zuiniger te maken

4.1 EEN ENERGIE- EN KLIMAATVISIE MET CONCRETE MAATREGELEN EN (TUSSEN)DOELSTELLINGEN

Een belangrijk tussendoel in deze Energievisie is het Europese CO₂-doel voor 2030, maar dit doel is niet ambitieus genoeg. Het moet aangescherpt worden en vertaald naar Nederland, om vervolgens te worden omgezet in uitvoeringsagenda's. Natuur & Milieu vindt dat de Nederlandse overheid zich hard moet maken voor een ambitieuzer Europees CO₂-doel.

Natuur & Milieu verwacht van de Nederlandse overheid een routekaart die de weg uitstippelt naar het behalen van de Europese klimaatdoelstellingen in 2030. Hiervoor zijn juridisch bindende doelen voor 2030 nodig. In een Klimaatwet kunnen de noodzakelijke tussenstappen tot 2030 vastgelegd worden. Er zijn drie doelen nodig: namelijk voor CO₂-reductie, duurzame energie en energiebesparing. Deze moeten worden vertaald naar alle energie verbruikende sectoren, want industrie, mobiliteit en gebouwde omgeving zijn integraal onderdeel van het energiesysteem. Voor elke sector worden agenda's opgesteld voor periodes van 5 tot 10 jaar. Daarin staan alle maatregelen die leiden tot de gestelde doelen.

4.2 REGIE EN PLANNING

Het opbouwen van een duurzame energievoorziening is een enorme opgave. Hierbij is regulering en sturing door de overheid een absolute noodzaak. De markt alleen kan deze transitie niet voldoende vormgeven. De energietransitie vraagt hetzelfde als de Deltawerken in de jaren '60: een sterke regierol voor de overheid.

Bij de uitrol van wind op zee is er bijvoorbeeld veel winst te behalen door ver vooruit te denken en planmatig te werken. Zo worden suboptimale keuzes in de aanleg van infrastructuur voorkomen. De overheid heeft deze rol voor wind op zee opgepakt voor bestaand beleid van het Energieakkoord. Op dit moment moet de overheid al keuzes maken voor de periode na 2023 om ervoor te zorgen dat de bouw van

wind op zee niet stil komt te vallen. Er is bijvoorbeeld behoefte aan een langetermijnplanning voor extra windparken op zee. En zolang er nog geen effectieve CO₂ prijs is, zijn er nog stimuleringsprogramma's nodig om extra capaciteit aan duurzame elektriciteit (zowel centraal als decentraal) te bewerkstelligen. Denk aan SDE-gelden voor de productie van hernieuwbare energie, langdurige vrijstelling van energiebelasting voor lokaal opgewekte zonne-energie en risicoafdekking voor geothermie.

Om de besparing te versnellen zijn minimumeisen aan de energieprestatie van woningen, kantoren en andere gebouwen nodig. Tevens is het noodzakelijk dat besparing grootschaliger wordt aangepakt; per straat of wijk in plaats van per individu om kostenvoordelen te realiseren en onnodige investeringen in het net te voorkomen (zie ook paragraaf 4.5).

Tegelijkertijd vraagt de omschakeling naar een duurzaam energiesysteem om een werkwijze die bijdraagt aan draagvlak. Veel vormen van duurzame energie, zoals windmolens, hebben een impact op het landschap en de leefomgeving. Het is daarom van groot belang dat de overheid duurzame energie inpast in het landschap met respect voor omwonenden en de omgeving. De lusten en de lasten van duurzame energie moeten eerlijk verdeeld worden. Zorgvuldige samenwerking is nodig zodat de streek kan meeprofiteren.

4.3 EEN SUBSTANTIELE CO₂ PRIJS: DE VERVUILER BETAALT

Duurzame energie is momenteel in Nederland erg afhankelijk van subsidie, en ook andere technieken als CO₂-afvang en opslag voor de industrie zijn nog niet rendabel. Dit komt omdat de vervuiler nog steeds niet (voldoende) betaalt voor de vervuiling die hij veroorzaakt. Om dit te veranderen, is een gelijk speelveld nodig met substantiële prijzen voor energie, waarin de prijs van CO₂-uitstoot is doorberekend en de vervuiler betaalt.

Dit kan allereerst door het Europese ETS (Emission Trading System) te hervormen. De huidige CO₂-prijs is ongeveer 5 euro per ton CO₂, te weinig om aan te zetten tot de benodigde besparingsmaatregelen. Het systeem is ook lek: er zijn te veel gratis emissierechten uitgegeven in de markt en er zijn goedkope mazen in de wet voor bedrijven, zoals het uitvoeren van projecten buiten de EU. Energie-intensieve bedrijven zouden daarom verplicht moeten worden om de waarde van hun gratis CO₂-rechten te investeren in energiebesparing in Nederland of de opbrengst te storten in een innovatiefonds voor CO₂-arme technieken. De herziening van het ETS zou ervoor moeten zorgen dat de CO₂-prijs hoog genoeg wordt. Helaas is dit met de huidige herzieningsvoorstellen tot 2035-2038 nog niet het geval. Nederland zou samen met omliggende landen bij de EU moeten pleiten voor een verdere aanscherping van het ETS.

Om het ETS te versterken en ook non-ETS sectoren te bereiken kan Nederland, liefst samen met een aantal buurlanden, een extra CO₂-belasting invoeren (een belasting te betalen per ton uitgestoten CO₂). Wat Natuur & Milieu betreft stijgt deze prijs de komende decennia sterk: 50 euro per ton in 2020, 75 euro per ton in 2025 en 100 euro per ton in 2030. Ook de sectoren die niet onder het ETS vallen – landbouw, gebouwen, MKB-bedrijven – krijgen zo een prikkel om energiezuiniger te worden en innovatie na te jagen.

Ecofys heeft berekend dat deze Energievisie bij een CO₂-prijs van 100 euro/ton zonder aanvullende investeringen kan worden uitgevoerd. Deze CO₂-prijs snijdt aan twee kanten: duurzame technieken worden relatief goedkoper en zullen dus sneller toegepast worden. Daarnaast kunnen noodzakelijke maatregelen gefinancierd worden met het geldbedrag dat een hogere CO₂-prijs opbrengt. Zonder hoge CO₂-prijs zijn de benodigde investeringen voor deze visie een stuk hoger dan de kostenbesparing als gevolg van de maatregelen. Een voldoende hoge CO₂-prijs is dus essentieel om de omschakeling naar een duurzaam energiesysteem te financieren. Zie bijlage 2 voor de volledige beschrijving van de studie door Ecofys.

Om er verder voor te zorgen dat de vervuiler betaalt, moet de fiscale bevoordeling van fossiele brandstoffen worden afgebouwd. De scheep- en luchtvaart moeten hun fiscale voordelen inleveren. De energiebelasting en accijns op verschillende soorten energie voor kleinverbruikers moeten worden gelijkgetrokken. Nu betaalt de consument relatief meer belasting over elektriciteit dan over diesel en aardgas bijvoorbeeld. Er moet een gelijk speelveld ontstaan, waarbij vervolgens het principe 'de vervuiler betaalt' toegepast gaat

worden. Een andere manier om een gelijk speelveld te creëren is door ervoor te zorgen dat alle energiesoorten aan dezelfde transparantie-eisen moeten voldoen. Natuur & Milieu bepleit 100 procent transparantie: alle elektriciteitsproducenten moeten inzicht geven in de herkomst van hun energie. Nu geldt deze verplichting alleen voor duurzame energie.

4.4 EEN EXIT-STRATEGIE VOOR FOSSIEL: WEG MET OLIE, KOLEN EN GAS

Momenteel zijn er nog zeven kolencentrales in bedrijf in Nederland. Kolenenergie heeft de hoogste CO₂-uitstoot per kWh en moet daarom versneld uit de energiemix worden verwijderd. In 2017 zullen twee centrales dichtgaan door bestaand beleid vanuit het Energieakkoord. De overige centrales – waarvan drie gloednieuw – staan ter discussie. Ook de eigenaren van kolencentrales willen duidelijkheid over de sluiting. Het is dan ook noodzaak dat de overheid hier snel keuzes (in) maakt. Natuur & Milieu acht het nodig uiterlijk in 2020 alle resterende kolencentrales te sluiten. Om dit te bereiken wil Natuur & Milieu een CO₂-norm invoeren voor energie-opwekking (in eerste instantie vergelijkbaar met de uitstoot van een moderne gascentrale).

Vanwege de klimaatverandering, het opraken van het Nederlandse aardgas en de schade door aardbevingen moeten we het gasverbruik in de gebouwde omgeving aanzienlijk verminderen. Het Nederlandse gasnet is aangelegd in de jaren '60 en is toe aan vervanging. Het geld dat in nieuwe infrastructuur (of grootschalig onderhoud) zou worden gestoken moet nu juist besteed worden aan het isoleren van woningen en het overschakelen op warmtepompen en duurzame warmte. Voor de verduurzaming is het besparing van het gebruik van elektriciteit en gas bij huishoudens, bedrijven en industrie dus ook van groot belang.

Door in te zetten op elektrisch vervoer kan Nederland haar afhankelijkheid van aardolie verminderen. De omschakeling naar elektrisch vervoer en andere duurzame manieren van vervoer kan o.a. versneld worden door het instellen van ambitieuze CO₂-normen voor personenauto's en andere typen voertuigen.

4.5 EEN WIJKAANPAK OM DE GEBOUWDE OMGEVING ENERGIEZUINIG TE MAKEN

In 2035 is bijna 90 procent van de gebouwen van het gas af. Voor elke wijk of bedrijventerrein is de overstap anders. Natuur & Milieu denkt dat een wijk- en regioaanpak op maat het beste werkt. De gemeenten en de netbeheerder moeten de regie krijgen over deze wijk aanpak en plannen ver vooruit. Het eigendom en beheer van (hoofd)warmtenetten gaat naar de

(semi) publieke organisaties, zodat zij per wijk de juiste investeringsbeslissing kunnen nemen. Nationaal gestelde normen over minimumenergieprestaties geven het kader. Natuur & Milieu bepleit verplicht label C of hoger in 2020 bij mutatie (bij verkoop of bij nieuwe huurders) en verplicht label B in 2025. Huiseigenaren moeten hierin ondersteund worden. De gasnetten gaan uit de grond, wijken worden totaal elektrisch (all electric) of gaan op andere duurzame warmte over. De kosten die netbeheerders besparen op het vervangen van gasnetten, kan worden ingezet om woningeigenaren en huurders financieel te ondersteunen om hun woning naar nul-op-de-meter

(NOM) te brengen, maximaal te isoleren of ingezet worden voor warmtenetten of opslag.

Natuur & Milieu vindt dat aantrekkelijke subsidieregelingen en stimuleringsmaatregelen beschikbaar moeten blijven of komen voor de aanschaf van elektrische auto's, warmtepompen of duurzame warmte voor (woning)eigenaren. Voor bedrijven bepleit Natuur & Milieu een verplichte Energie Prestatie Keuring, waarmee aangetoond wordt dat een bedrijf aan de normen voldoet. Ook zullen de aansluittarieven van netbeheerders uniform moeten worden (hetzelfde tarief voor elektriciteits-, gas- en warmtenet).

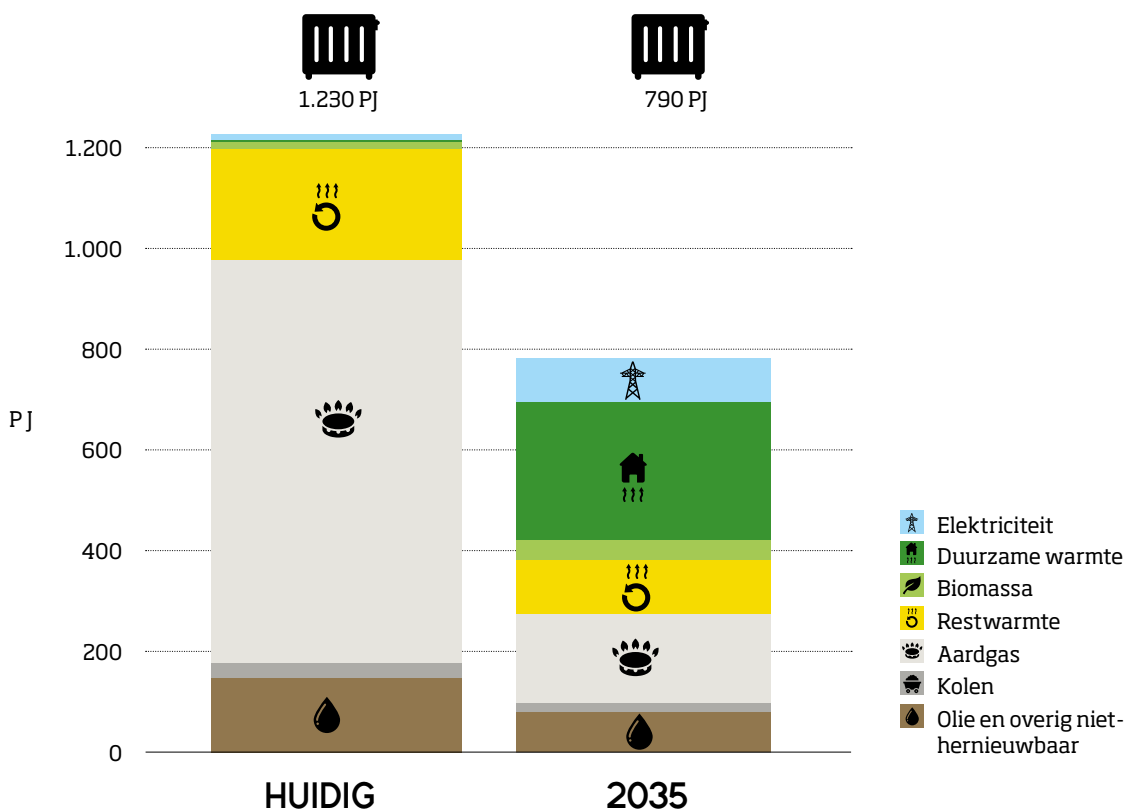
5 DUURZAME WARMTE

5.1 Momenteel wordt bijna de helft van de energie in Nederland gebruikt voor de warmtevoorziening en dit gebeurt nog vrijwel geheel met aardgas. Het merendeel van die warmte is nodig om ruimtes en tapwater te verwarmen in de gebouwde omgeving. Industrie en tuinders hebben het nodig voor hun productieprocessen¹.

De warmtevoorziening van Nederland ziet er na de verduurzaming in 2035 heel anders uit. De warmtevraag vermindert met ca. 35 procent dankzij besparing (zie onderstaande figuur). Duurzame bronnen voorzien in 40 procent van de totale Nederlandse vraag. Het gebruik van aardgas voor warmte neemt drastisch af. Bijna 90 procent van de gebouwen in steden en dorpen zal gasloos zijn.

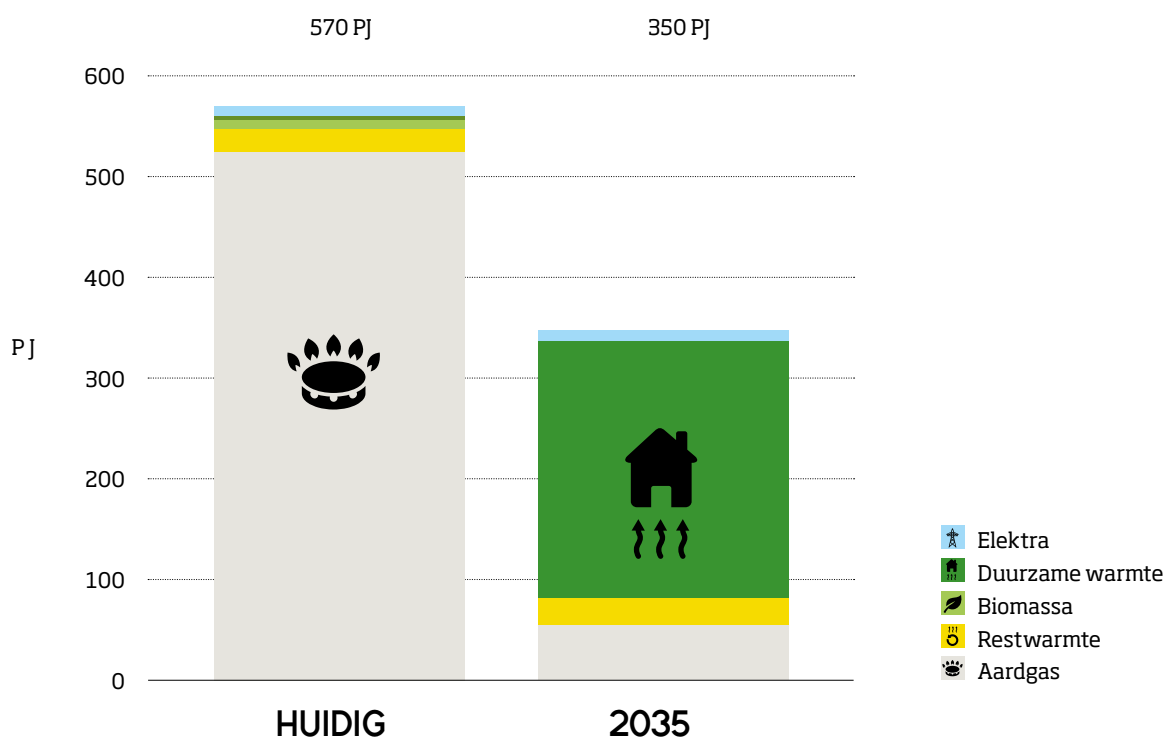
Woningen en utiliteitsgebouwen gaan grotendeels over op warmtepompen en/of WKO (warmte-koude opslag). Bijna de helft van de gebouwen zal door duurzame elektriciteit in zijn warmtevraag voorzien. Nederland gaat dus elektrificeren, het gebruik van elektriciteit en het elektriciteitsnet neemt toe. Landbouw en industrie beginnen de transitie naar geothermie en restwarmte als dat beschikbaar is, met biomassa als back-up.

WARMTE



1) Voor warmte is momenteel 570 PJ aan energie nodig in onze gebouwde omgeving, 540 PJ in industrie en energie (waarvan grofweg 120 laagthermisch tot 250 graden) en zo'n 100 PJ in de landbouw.

WARMTE IN DE GEBOUWDE OMGEVING



5.2 GEBOUWDE OMGEVING

Jaarlijks wordt er in woningen en andere gebouwen 570 PJ gebruikt om ruimtes en water te verwarmen. De categorie huishoudens neemt hiervan het grootste deel voor haar rekening: huishoudens verstoken anderhalf keer meer aardgas dan bedrijven en organisaties¹.

De figuur op deze pagina laat zien hoe de benodigde warmte nu en in 2035 opgewekt wordt.¹

5.2.1 EERST BESPAREN

Momenteel lekt bij het verwarmen van ruimtes en tapwater veel warmte weg, bijvoorbeeld door de dak, vloer, muren en ramen (samen de schil). Ook veel installaties verspillen energie. Natuur & Milieu denkt dat de warmtevraag door besparing flink verlaagd kan worden (reductie met 35%). Isolatie van de schil is daarvoor de belangrijkste stap. Vaak is goede isolatie zelfs een voorwaarde om duurzame warmte te kunnen toepassen: een warmtepomp levert bijvoorbeeld lage temperatuur-warmte en kan het huis daardoor alleen goed warm stoken als er weinig warmteverlies is. Behalve een lager energieverbruik zorgen isolatie-maatregelen ook voor meer comfort

in huis. Energiebesparende maatregelen zoals isolatie verdienen zich veelal binnen 5-10 jaar terug en zijn toepasbaar in de meeste woningen en andere gebouwen.

Alleen bij monumenten is isolatie van de schil soms lastig vanwege de bescherming van het aanzicht van het gebouw. Daarom verwacht Natuur & Milieu dat in 2035 nog 66PJ aardgas is nodig voor verwarming van ruimtes en tapwater in de woningen en utiliteitsgebouwen. Dat betekent dat 10 procent van de woningen en 20 procent van de utiliteitsgebouwen dan nog aardgas gebruiken. In sommige gebouwen alleen op hele koude dagen, als er bijgestookt moet worden, in andere gevallen continu. Dit zijn vooral oude gebouwen, monumenten en vooroorlogse woningen.

5.2.2 DUURZAME WARMTE

Na de isolatie van de schil kan de warmtevraag duurzaam worden ingevuld. Afhankelijk van het pand en de omgeving zijn er verschillende manieren voorhanden om in de warmtevraag te voorzien. Als je geen dak hebt kun je niks met een zonneboiler. En als er in de directe woonomgeving geen ruimte of bron is

¹) Zie toelichting N in de bijlage voor een inschatting van technieken en verbruik

voor de winning van duurzame warmte en ook geen duurzame restwarmte beschikbaar is, dan valt een warmtenet ook af. Ook de staat van het energienet kan een bepalende factor zijn.

Voor het verwarmen van ruimtes bestaan de volgende mogelijkheden:

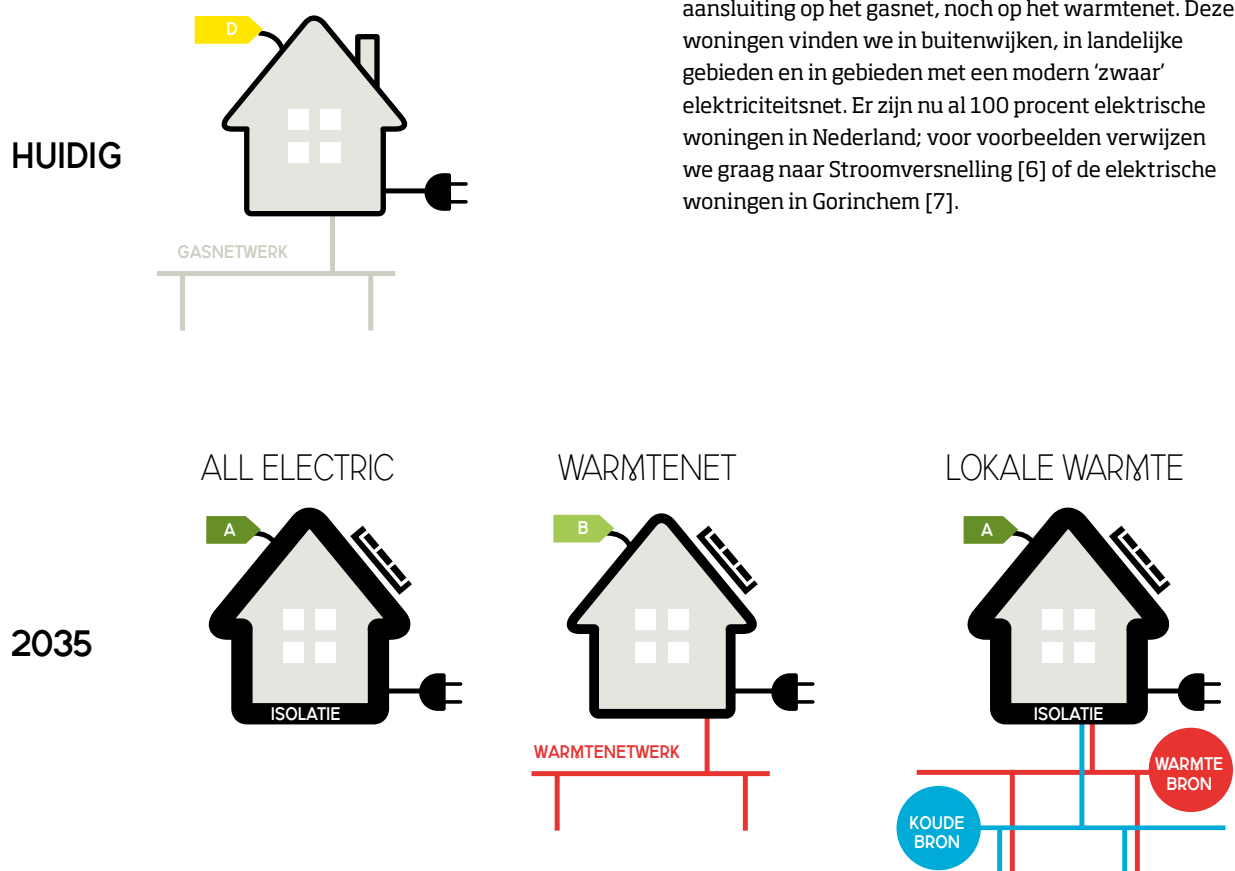
- Warmtepompen; een pomp die warmte wint uit bodem of lucht en werkt op (duurzame) elektriciteit. Voor een duurzame en efficiënte toepassing is het wel noodzakelijk om de woning goed te isoleren.
- Warmte (en koude) uit lucht en/of bodem. Warmte uit de bodem kan uit de diepe ondergrond gewonnen worden (geothermie) of minder diep (bodemenergie, vaak gecombineerd met warmte- en koudeopslag, WKO). Er zijn beperkte mogelijkheden voor geothermie; zie ook toelichting M.
- Restwarmte uit een duurzame bron in de regio. Dit is restwarmte van industrie, bedrijventerreinen en afvalverwerkers.

Voor het transport van warmte is een groot- of kleinschalig warmtenet nodig. Tapwater kan verwarmd worden door een zonneboiler of een warmtepomp. De elektrische boiler die in veel keukens staat is een optie, maar niet zo efficiënt. Koken kan ook elektrisch.

5.2.3 DRIE NIEUWE WONINGTYPES IN 2035

Verreweg de meeste woningen in Nederland hebben nu een aansluiting op het gasnet (en elektriciteitsnet) en zijn niet of slecht geïsoleerd. Na uitvoering van deze Energievisie is dit beeld totaal veranderd en zijn in Nederland in 2035 drie woningtypes dominant: woningen die hun energiebehoefte 100 procent elektrisch invullen, woningen die aangesloten zijn op een warmte-koude-opslag, en woningen die aangesloten zijn op een grootschalig warmtenet.

De grootste groep woningen zal volledig elektrisch zijn (ongeveer 45%). Door goede isolatie van de schil hebben deze woningen gemiddeld energielabel A, zij gebruiken lage temperatuurverwarming en halen warmte uit een warmtepomp of zonneboiler. Er is geen aansluiting op het gasnet, noch op het warmtenet. Deze woningen vinden we in buitenwijken, in landelijke gebieden en in gebieden met een modern 'zwaar' elektriciteitsnet. Er zijn nu al 100 procent elektrische woningen in Nederland; voor voorbeelden verwijzen we graag naar Stroomversnelling [6] of de elektrische woningen in Gorinchem [7].



Ongeveer een kwart van de woningen is even goed geïsoleerd (label A) als de volledig elektrische woningen en haalt warmte uit een lokale bron, bijvoorbeeld WKO of een innovatieve warmte-opslag zoals Ecovat. Zo'n opslag kan in de zomer worden aangevuld door overvloedige warmte of zonnestroom om te zetten in opgeslagen warmte. Voor dergelijke technieken is ruimte nodig, en ook een redelijk aantal afnemers (om de kosten van een WKO-systeem met elkaar te delen). Deze woningen vinden we in 2035 waarschijnlijk vooral in de wijken met bouwjaar 1970-1990, zoals Utrecht Overvecht. Ook hiervan bestaan nu al voorbeelden zoals de plannen voor Stadsoevers Roosendaal [8].

Veel andere woningen (ca. 20%) krijgen (rest)warmte uit een grootschalig warmtenet, ook gevoed door geothermie. Deze huizen zijn matig geïsoleerd (label B) omdat vergaande isolatie bouwkundig lastig is. Tevens zijn er voor lange termijn (rest)warmte en andere duurzame bronnen beschikbaar. Dit soort woningen vinden we in 2035 veel in binnensteden van bijvoorbeeld Delft en Rotterdam. Nu bestaan ze al in Amsterdam-Noord en Nijmegen-West (van warmte voorzien door afvalverbranders) [9].

In toelichting N in de bijlage is uitgewerkt hoeveel energie elk van de type woningen zou gaan verbruiken, en in toelichting O hoe eenzelfde transitie er uit ziet voor bedrijfsgebouwen.

5.2.4 WIJKAANPAK

De ombouw naar een duurzame gebouwde omgeving vraagt niet alleen inzet van woningeigenaren maar ook aanpassingen aan de (publieke) infrastructuur. Denk aan het aanleggen van een warmte-koude-opslag of een grootschalig warmtenet. Daarom acht Natuur & Milieu het noodzakelijk de verduurzaming per blok, wijk, of gebied aan te pakken. Uniforme nettarieven (hetzelfde tarief voor elektriciteits-, gas- en warmtenet) zullen helpen per wijk de beste keuze te maken.

Gemeenten en netbeheerders zijn de aangewezen partijen om samen met bewoners en bedrijven per wijk een passende strategie uit te stippelen. Het vervangen van het gasnet is een grote kostenpost voor netbeheerders de komende jaren. Netbeheerders verwachten ieder jaar 600-800 miljoen euro uit te

geven aan onderhoud en vervanging van het gasnet [10], terwijl gasgebruik in de gebouwde omgeving geen lange toekomst heeft. Door per wijk woningen goed te isoleren en te laten overstappen op warmte uit elektriciteit (warmtepomp of WKO) kan de dure vervanging van het gasnet vermeden worden.

Een ander voordeel van een wijkaanpak is dat eigenaren kosten kunnen besparen door hun huizen tegelijkertijd te (laten) isoleren.

5.3 INDUSTRIE EN LANDBOUW

Na verwarming van gebouwen is de industrie de grootste gebruiker van warmte (540 PJ). Landbouw heeft een veel kleinere warmtebehoefte (100 PJ). In de industrie bestaat de warmtevraag voor een groot deel uit stoom van hoge temperatuur: 250 graden of zelfs meer. De industrie en de landbouwsector gebruiken niet alleen aardgas om te voorzien in hun warmtebehoefte, maar ook behoorlijk veel restwarmte en olie (zie toelichting P in de bijlage voor gegevens over energiegebruik en -technieken in de industrie en landbouw). Hieronder doet Natuur & Milieu suggesties om het gebruik van deze energievormen te verminderen.

5.3.1 VERDUURZAMING

De industrie en landbouwsector hebben nog grote stappen te zetten op het gebied van energiebesparing. Dat traject is al ingezet met het Energieakkoord en verscheidene convenanten (MJA3 en MEE)¹, maar moet de komende decennia met een vergelijkbare jaarlijkse reductie worden voortgezet. Het blijkt een enorme uitdaging om alle partijen mee te krijgen; er zijn grote verschillen tussen bedrijven. Vooral grote bedrijven realiseren minder grote volumes energiebesparing dan kleinere bedrijven [11] [12]. Hier is dus een inhaalslag te maken, met gericht industriebeleid. Daarnaast moet de Wet Milieubeheer gehandhaafd worden: bedrijven zijn verplicht energiebesparende maatregelen te nemen als die zich binnen 5 jaar terugverdienen.

De warmtevraag van industrie en landbouw is volgens Natuur & Milieu in 2035 met ongeveer een derde terug te brengen. Voor duurzame warmte wil Natuur & Milieu inzetten op geothermie, warmtepompen en restwarmte. Duurzame biomassa kan als back up een beperkte rol spelen. Toch zal de warmtevraag nog voor een behoorlijk deel met fossiele bronnen

1) MJA3 en MEE leiden tot gemiddeld 2% efficiencyverbetering per jaar, overeenkomend met 230 PJ energiebesparing in 2030. In het energieakkoord is aanvullend een reductie afgesproken van 9PJ in 2020 en dat de glastuinbouw (de grootverbruiker binnen landbouw) koerst op een volledig duurzame energievoorziening in 2050

worden ingevuld (gas). Kolen zullen alleen nog gebruikt worden bij de staalproductie. Om de groei van duurzame warmtevoorziening mogelijk te maken is het nodig dat er gerichte innovatie komt op zowel energiebesparingstechnieken als duurzame opwek.

5.4 CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

Voor het bereiken van een duurzame warmtevoorziening is het noodzakelijk om op grote schaal energie te besparen in zowel de gebouwde omgeving als de industrie en landbouw. De resterende vraag wordt vervolgens zo duurzaam mogelijk ingevuld. Voor woningen kan dit d.m.v. warmtepompen, zonnepanelen, zonneboilers, warmte-koude-opslag of duurzame restwarmte. In de industrie moet zoveel mogelijk ingezet worden op geothermie, warmtepompen en duurzame restwarmte.

Marktwerving alleen is onvoldoende voor een duurzame warmtevoorziening in gebouwde omgeving, industrie en landbouw (in 2035). Voorlopers onder consumenten en bedrijven zullen wellicht voldoende eigen motivatie hebben om te verduurzamen, maar de volgers en de achterblijvers helaas niet. Zelfs investeringen met een terugverdientijd van minder dan 5 jaar veroveren de markt nog niet. Om bovenstaande verduurzaming van de warmtevoorziening te realiseren is het essentieel dat de Rijksoverheid:

- zorgt dat de prijs voor CO₂-uitstoot hoog genoeg is;
- minimum energieprestatienormen vastlegt, bijvoorbeeld gebaseerd op energielabels (in 2020 is bij mutatie tenminste label C verplicht, in 2025 label B);
- eigendom en beheer van alle hoofdinfrastructuur (ook de warmtenetten) bij netbeheerders of andere publiek-private organen;
- gemeenten en netbeheerders een regierol geeft bij de verduurzaming van wijken;
- zorgt dat energiebelasting op aardgas stijgt en die op elektriciteit daalt;
- zorgt voor een uniform aansluittarief voor het energienet (aansluiting op gas-, elektriciteit en warmtenet worden even duur);
- aantrekkelijke subsidieregelingen beschikbaar stelt voor eigenaren die willen investeren, gefinancierd uit een opslag op de energierekening;
- werk maakt van handhaving van de Wet Milieubeheer;
- een verplichte Energie Prestatie Keuring invoert voor bedrijven, waarmee zij aantonen te voldoen aan de normen;
- nieuwe MJA3 en MME-convenanten afsluit die de komende decennia voor een gepaste jaarlijkse reductie zorgen
- gericht innovatieprogramma voor industrie t.b.v. energiebesparing en duurzame energieproductie

6 DUURZAMERE MOBILITEIT

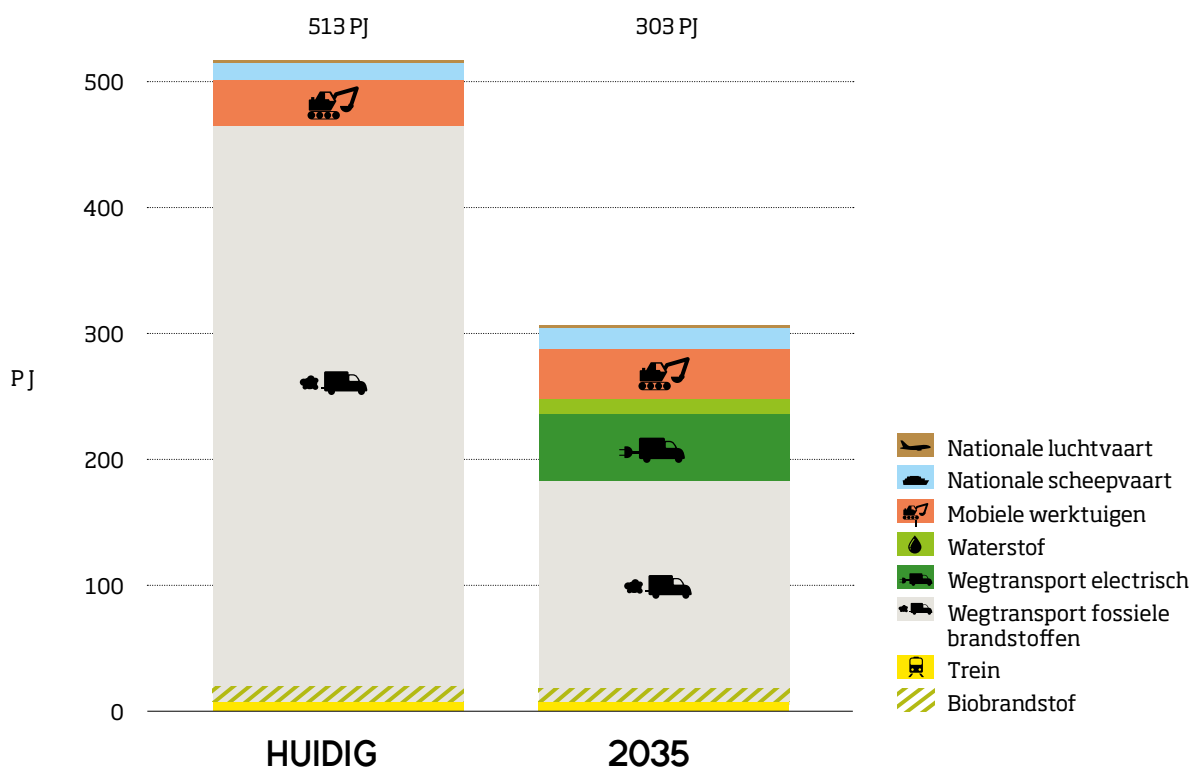
6.1 Het vervoeren van mensen en goederen kost veel energie, helemaal als het zware goederen betreft over grote afstanden. Dit hoofdstuk laat zien dat een groot deel van ons vervoer in 2035 elektrisch zal zijn. Daarnaast beginnen geavanceerde biobrandstoffen op te komen voor lange-afstandstransport, scheepsvaart en luchtvaart. Er zal veel energiebesparing gerealiseerd moeten zijn, ongeveer een derde, om ervoor te zorgen dat mobiliteit haar steentje bijdraagt aan de klimaatdoelen. Duurzame vervoersvormen moeten in 2035 vanzelfsprekend zijn: trein in plaats van vliegtuig, boot in plaats van vrachtwagen en fiets in plaats van auto.

6.2 EERST BESPAREN

In Nederland wordt veel gefietst, dat is duurzaam en gezond. Het grootste deel van onze transportkilometers leggen we echter niet duurzaam af. Auto's, vrachtauto's, dieseltreinen, vliegtuigen en

scheepen verbruiken samen 513 PJ aan energie¹. Dat is een vijfde van alle energie die Nederland verbruikt. Meer dan 95 procent hiervan komt uit fossiele bronnen - benzine, diesel en gas. De rest betreft biobrandstoffen en elektriciteit.

ENERGIEGEBRUIK MOBILITEIT



¹) Dit is exclusief het deel van de internationale lucht- en zeevaart dat Nederland aan te rekenen is. Dit is 175 PJ.

Olie in de vorm van benzine en diesel is nu de voornaamste bron van energie voor ons vervoer. Om onze energievraag voor mobiliteit te verduurzamen is het nodig efficiënter met mobiliteit om te gaan. Dit kan door efficiëntere voer-, vaar- en vliegtuigen, een verschuiving van de auto naar de fiets en openbaar vervoer, van het vliegtuig en van de weg naar water en spoor. Vooral voor sectoren die afhankelijk zijn van vloeibare brandstoffen is ook een forse afname van de energievraag nodig van ongeveer 30 tot 50 procent. Daarnaast zijn er veel kansen voor minder transportkilometers door inzet van slimme ICT en decentralisatie van productie. In het Energieakkoord zijn eerste afspraken gemaakt¹, maar Natuur & Milieu kijkt veel verder.

De figuur op de vorige pagina geeft weer hoe het energiegebruik voor verschillende vormen van mobiliteit zou moeten (en kunnen) veranderen tussen nu en 2035. De totale energievraag neemt af van 513 naar 303 PJ in 2035, het gebruik van olie neemt af en het aandeel elektrisch vervoer is gestegen. Deze trend moet na 2035 doorgezet worden.

6.3 DUURZAME BRONNEN

In 2035 wordt de resterende energievraag zoveel mogelijk ingevuld met duurzame bronnen. Hieronder bespreken we de mogelijkheden van de volgende drie energiebronnen:

- Elektriciteit
- Waterstof
- Biobrandstoffen (verschillende vormen, waaronder bio-ethanol, biodiesel en groen gas)

Elektriciteit is voor mobiliteit de voornaamste energiebron van de toekomst. Elektriciteit is de enige energiebron voor mobiliteit waarvan voldoende uit hernieuwbare bronnen opgewekt kan worden. Daarnaast is het de meest efficiënte bron. Elektromotoren hebben een veel hoger rendement dan verbrandingsmotoren en waterstof. Door een overgang van fossiel naar elektrisch wordt er dus ook gelijk energie bespaard. Een ander groot bijkomend voordeel van elektrisch vervoer is dat de accu's als opslag kunnen worden gebruikt. Elektrische auto's spelen dus

een strategische rol in de duurzame energievoorziening van de toekomst, door het bieden van opslagcapaciteit voor duurzame energie. Zie ook hoofdstuk 7 het balanceren van vraag en aanbod van elektriciteit.

Personenauto's en licht wegtransport kunnen volledig elektrisch worden. Op dit moment vormen de capaciteit van accu's en daarmee de rijafstand per rit/lading, de beschikbaarheid van laadpalen en de hogere aanschafprijs nog een barrière, maar dit verbetert snel. Natuur & Milieu gaat er van uit dat er in 2035 minimaal 3 miljoen elektrische auto's op de Nederlandse wegen te vinden zijn. Tussen 2020 en 2025 vindt de grote doorbraak plaats, waarna vrijwel alleen nog elektrische auto's worden verkocht. In de jaren daarna worden ook de resterende auto's met brandstofmotor vervangen door elektrische auto's.

Voor langeafstandstransport, zwaar wegtransport, lucht- en scheepvaart worden ook biobrandstoffen en waterstof ingezet. Dit is noodzakelijk omdat er voor dergelijk transport een brandstof nodig is met een hoge energiedichtheid². Met name biobrandstoffen zijn echter niet zonder risico's. Zo stoten voertuigen op biobrandstof bijvoorbeeld nog steeds schadelijke stoffen uit; fijnstof en NOx en hebben lang niet alle biobrandstoffen een positieve klimaatimpact (zie ook toelichting H).

Rijden op waterstof heeft bijna dezelfde voordelen als elektrisch rijden; het kan op duurzaam opgewekte stroom, er is geen lokale luchtvervuiling en het kan een rol spelen in het opslaan van elektriciteit. Maar waterstof heeft een groot nadeel. Het kost drie keer zo veel energie als elektrische aandrijving. Een volledige overstap van de mobiliteitssector naar waterstof is daarmee niet realistisch. Wel kan waterstof een belangrijke rol spelen voor toepassingen waar een elektrische aandrijving niet goed toepasbaar is, zoals delen van het wegtransport en de scheepvaart. Momenteel komt waterstof ook vrij als restproduct uit de fossiele chemische industrie. Op termijn zal deze laatste bron echter opdrogen, omdat ook de chemische industrie zal overstappen op andere bronnen dan fossiel.

I) Zie toelichting R in de bijlage voor de doelstellingen voor de vervoerssector conform Energieakkoord.

II) Energiedichtheid is de hoeveelheid energie per kg van een brandstof (inclusief benodigd opslagmedium zoals de accu bij elektriciteit).

6.3.1 GAS IS NIET DE OPLOSSING

Aardgas wordt vaak genoemd als een transitiebrandstof voor de mobiliteit, omdat dit tot minder CO₂-uitstoot zou leiden dan benzine of diesel. Dit is echter niet terecht. Vervanging van diesel en benzine door gas zorgt niet voor substantieel lagere klimaatemissies en draagt daardoor niet bij aan de benodigde transitie. Een recente studie laat zien dat de emissie uit de uitlaat weliswaar lager is, maar dat door de verliezen tijdens het productieproces en het transport de totale broeikasgasuitstoot vergelijkbaar is met benzine en diesel [13]. Hernieuwbaar gas kan, net als andere biobrandstoffen, wel een deel van de oplossing vormen. Maar de hoeveelheid biomassa waaruit groen gas geproduceerd kan worden, is beperkt. Daarom wil Natuur & Milieu groen gas alleen inzetten in sectoren met weinig alternatieven (zoals de scheepvaart). Het stimuleren van gasvoertuigen voor het lichte wegverkeer is daarmee geen robuuste klimaatoplossing.

6.4 CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

In 2035 hebben we onze mobiliteit anders geregeld. Onze voertuigen zijn efficiënter, we kiezen voor zuiniger mobiliteitsvormen (trein in plaats van vliegtuig), we verplaatsen ons minder en een groot deel van de voertuigen rijdt op elektriciteit. Om de mobiliteit te verduurzamen zoals hierboven beschreven moeten de volgende beleidsaanbevelingen opgevolgd worden:

- Beprijzen van vervuiling door het invoeren van een slimme kilometerprijs, gedifferentieerd naar milieueffect. Te beginnen bij de vrachtsector.
- De belasting op verschillende energiedragers (CNG, LNG diesel, waterstof, elektriciteit, biobrandstof) vaststellen op basis van CO₂. De vrijstellingen en lage tarieven voor gasvormige brandstoffen worden daarbij afgebouwd.
- Een concreet uitvoeringsplan om de ambities voor elektrisch rijden voor personenauto's, bestelwagens en de vrachtsector te realiseren, zoals dat bijvoorbeeld in Noorwegen gebeurt. Doel van het Noorse plan is dat 50 procent van de vrachtwagens en 75 procent van de bussen en distributievoertuigen in 2030 elektrisch zijn en dat er in 2025 uitsluitend nog elektrische personenauto's worden verkocht.
- Maak elektrische auto's onderdeel van de duurzame oplossing, onder andere door het uitrollen van een netwerk van slimme laadpalen en doorgeven van prijsprikkels. Slim laden moet worden beloond.
- Ambitieuze CO₂-normen voor personenvoertuigen, busjes, vrachtwagens, vliegtuigen en schepen waarbij het verschil tussen test en praktijk minimaal is. Milieunormen voor de scheepvaart moeten worden aangescherpt.
- Scheep- en luchtvaart moet ontdaan worden van de fiscale voordelen: ook op vliegtickets gaat BTW geheven worden alsmede een accijns op stookolie en kerosine. Biobrandstoffen voor lucht- en scheepvaart moeten duurzaam geproduceerd zijn op basis van geavanceerde technieken. Hier moet gerichte innovatie op ingezet worden.

7 DUURZAME ELEKTRICITEIT

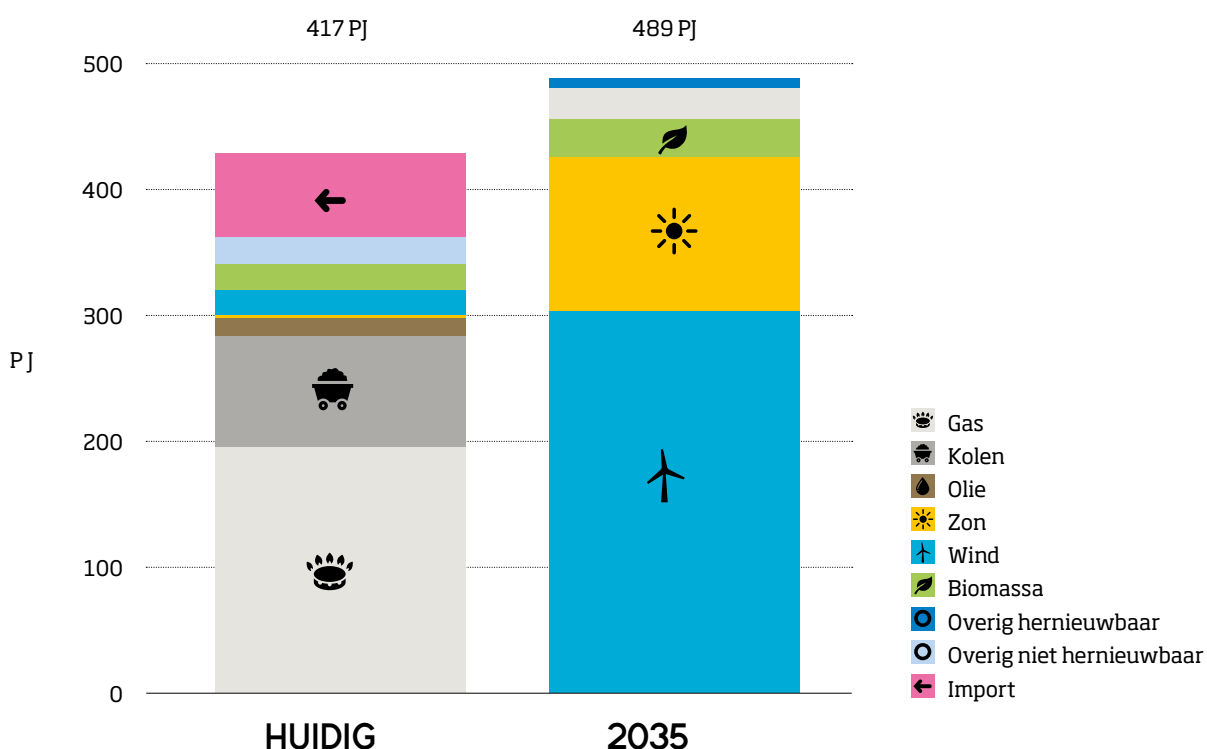
7.1 Natuur & Milieu streeft naar een nagenoeg duurzame elektriciteitsvoorziening in 2035. Dit is een groot contrast met de huidige situatie, waarbij 90 procent van de elektriciteit uit fossiele bronnen wordt geproduceerd. Deze elektriciteit wordt op dit moment geproduceerd in gascentrales, kolencentrales en in warmte-krachtkoppelings-installaties oftewel wkk's (die ook draaien op aardgas). Dit hoofdstuk laat zien welke rol o.a. zonne-energie, windenergie en biomassa spelen in de productie van duurzame elektriciteit en welke rol elektriciteit speelt in het totale energiesysteem.

7.2 SPILFUNCTIE VOOR ELEKTRICITEIT

Duurzame elektriciteit speelt een centrale rol in de elektriciteitsvoorziening van 2035. Waar we elektriciteit nu vooral gebruiken voor apparaten en verlichting, gebruiken we het in 2035 ook voor warmte en elektrisch vervoer. Wärmtepompen leveren duurzame warmte en vervangen daarmee de vraag naar aardgas. Elektrische auto's zorgen voor een afname van de vraag naar aardolie, terwijl de vraag naar elektriciteit toeneemt. Dit betekent dat het belang van elektriciteit in de energievoorziening zal

toenemen. Tegelijkertijd is het ook nog nodig dat onze apparaten steeds zuiniger worden, om de energievraag te beperken. Nederland gebruikte in 2013 zo'n 417 PJ aan elektriciteit per jaar¹. In deze Energievisie wordt dit stroomverbruik over 20 jaar 230 PJ voor de gebouwde omgeving, 110 PJ voor de industrie, 27 PJ voor landbouw en 72 PJ voor mobiliteit. Natuur & Milieu verwacht dus dat de elektriciteitsvraag in 2035 licht gestegen zal zijn 489 PJ per jaar. In onderstaande figuur wordt de elektriciteitsvoorziening in beeld gebracht.

ELEKTRICITEIT



7.3 DUURZAME BRONNEN VOOR ELEKTRICITEIT

Met de productie van duurzame elektriciteit is op korte termijn een wereld te winnen. De technieken om duurzame elektriciteit te produceren zijn al beschikbaar en worden steeds meer toegepast. Bovendien is elektriciteitsproductie sneller te verduurzamen dan bijvoorbeeld de warmtevraag, omdat de technieken voor elektriciteitsproductie verder ontwikkeld zijn en de productie deels grootschalig geregeld kan worden. Natuur & Milieu bepleit meer productie uit windenergie op land, veel meer productie uit windenergie op zee, en productie van zonne-energie op vrijwel alle daken. Toch zal dan nog niet alle elektriciteit duurzaam geproduceerd worden. Een deel van de bestaande wkk's zal namelijk nog wel draaien op aardgas, o.a. om warmte te produceren en elektriciteit te leveren op momenten van piekvraag. Daarnaast zijn er ook nog gascentrales die ingezet kunnen worden wanneer het aanbod van duurzame elektriciteit tekortschiet gedurende windstille mistige winterweken.

Windenergie

Wind op land is de goedkoopste vorm van duurzame elektriciteit [14] en is daarom de eerst aangewezen techniek om duurzame elektriciteit te genereren. De hoeveelheid beschikbare ruimte op land is echter beperkt. Daarom zet Natuur & Milieu in op een bescheiden groei van energie uit wind op land na het Energieakkoord. Op dit moment staan er ruim 2000 windmolens in Nederland, goed voor ongeveer 3000 MW [15]. Na uitvoering van het Energieakkoord staat er 6000 MW aan windmolens op land; dat is tweemaal zo veel vermogen als nu. Natuur & Milieu verwacht dat op basis van de huidige technieken in totaal zo'n 8000 MW inpasbaar is in het landschap. Dat betekent dat er na de uitvoering van het Energieakkoord nog ongeveer 250 nieuwe windmolens van 8 MW geplaatst worden.

Wind op zee is nu nog kostbaarder, maar biedt veel meer potentie. Op zee waait het vaker en harder dan op land, waardoor de molens daar meer energie opleveren. Daarnaast beslaat het Nederlandse deel van de Noordzee een zeer groot oppervlak en is relatief ondiep. De Noordzee biedt dus nog veel mogelijkheden voor windenergie, zelfs als we in gedachten houden dat er ook ruimte nodig is voor natuur, scheepvaartroutes

en visserij. Daarnaast is er nog veel potentie voor kostenreductie door middel van technologische innovatie en goede samenwerking tussen betrokken partijen. Binnen het SER Energieakkoord is afgesproken dat de prijs voor windenergie binnen 10 jaar met 40 procent moet dalen, daarna kunnen verdere kostenreducties plaatsvinden.

Op zee kan volgens Natuur & Milieu in 2035 in totaal 17 GW aan windenergie vermogen gerealiseerd zijn; driemaal zoveel als afgesproken is bij bestaand beleid tot 2023. In de praktijk komt dit neer op 1250 extra windmolens van 10 MW elk. Op dit moment staan er een kleine 300 windmolens op zee. De overheid heeft reeds windenergiegebieden op de Noordzee aangewezen waar nieuwe windmolens geplaatst kunnen worden¹⁾, zoals het gebied IJmuiden Ver. Zo kunnen de molens op land samen (8 GW) 75 PJ energie produceren in 2035, waar de 17 GW molens op zee zo'n 230 PJ kunnen produceren¹¹⁾. Samen levert windenergie ons dan 305 PJ per jaar op.

Zonne-energie

Zonne-energie groeit al jaren zeer hard en de verwachting is dat deze trend doorzet. Zonnepanelen aanschaffen is iets dat iedereen zelf kan doen, met name gebouweigenaren. Daarmee is het een eenvoudige manier voor burgers om bij te dragen aan de verduurzaming van de elektriciteitsvoorziening. Daarnaast maakt de continue kostenreductie van zonnepanelen zonne-energie ook financieel steeds aantrekkelijker.

Begin 2016 was er 1,3 GW aan zonnepanelen geregistreerd, die bij meer dan een kwart miljoen huishoudens zonne-energie opwekken [16]. Het resterende technisch potentieel van daken is groot. Daarnaast kunnen ook gevels, geluidsschermen en lege bedrijventerreinen van zonnepanelen worden voorzien. In 2035 zou het overgrote deel van de daken bedekt moeten zijn met zonnepanelen. Natuur & Milieu zet niet in op zonneweides. In totaal kan Nederland in 2035 beschikken over 40 GW zonnestroomvermogen, waarmee jaarlijks zo'n 120 PJ aan energie opgewekt kan worden.

I) Zie toelichting C in de bijlage

II) Op dit moment is er op de Noordzee 10GW aangewezen als windenergiegebied [nationaal waterplan 2]. Om genoeg duurzame elektriciteit op de Noordzee te kunnen opwekken met windenergie moeten er dus nieuwe locaties aangewezen worden. Het is belangrijk dat criteria zoals natuur en kostenefficiëntie worden meegenomen bij het aanwijzen van de locaties.

III) Op basis van respectievelijk gemiddeld 2600 en 3750 vollasturen [17] [19].

Biomassa

Biomassa speelt voor Natuur & Milieu geen grote rol in de elektriciteitsvoorziening. De hoeveelheid duurzame biomassa is beperkt (zie Toelichting H) en kan het beste ingezet worden voor toepassingen waarvoor nog geen goed alternatief beschikbaar is. Dit geldt bijvoorbeeld voor de productie van materialen (zie toelichting I) of bij mobiliteit (vliegtuigen, scheepvaart, zwaarder wegtransport), waar brandstoffen moeilijk te vervangen zijn door elektriciteit. Zie ook het hoofdstuk Mobiliteit en toelichting J. In de fase tot 2035 zal er echter nog biomassa nodig zijn ter verduurzaming van de warmtevraag in de industrie. Daarbij zal ook elektriciteit geproduceerd worden (middels bio-WKK). Daarmee heeft biomassa ook een rol om stroomproductie op te vangen op momenten dat het niet waait of de zon niet schijnt. Zie ook toelichting K. [17]

Het potentieel van biomassa voor elektriciteitsproductie schat Natuur & Milieu voor 2035 op 30 PJ. De biomassa zal vooral toegepast worden in biomassaketels bij bedrijven en industrie, voor (veelal) gecombineerde warmte-kracht opwekking.

Afbouwen van fossiel

Volgens Natuur & Milieu zijn alle kolencentrales in 2035 al geruime tijd dicht. Kolencentrales zijn erg vervuilend, stoten gemiddeld de meeste CO₂ uit en brengen schade toe aan natuur en gezondheid. Ze zijn ook niet nodig. Nederland beschikt over voldoende andere capaciteit om het wegvallen op te vangen. Het sluiten van alle kolencentrales levert 4,7 miljard euro maatschappelijke winst op; bijvoorbeeld voor klimaat en gezondheid en ook duurzame energieproductie.

Tenslotte is het volgens Natuur & Milieu onvermijdelijk dat in 2035 ongeveer een kwart van de huidige wkk-installaties nog operationeel is, omdat de warmtevraag in industrie en landbouw lastig volledig duurzaam is in te vullen. Dit betekent dat een deel van de elektriciteit geproduceerd zal worden door wkk's in landbouw en industrie, op basis van aardgas. Wel zal het aantal draaiuren van deze installaties vele malen lager liggen dan nu. Ook zullen er nog 5 à 10 gascentrales beschikbaar zijn om bij te springen als er tekort aan stroom is. Dit zal niet vaak gebeuren; in 2035 gaat het om zo'n 25 PJ aan elektriciteit uit aardgascentrales en wkk's samen¹.

Innovatie

Nieuwe technieken als osmose, getijdenenergie, plant energy en dergelijke zijn op dit moment nog verre van rendabel. Toch is het aannemelijk dat één of meer van deze technieken in de toekomst een (bescheiden) bijdrage leveren aan de elektriciteitsproductie. Natuur & Milieu rekent op 10 PJ in 2035.

Kernenergie is voor Natuur & Milieu geen onderdeel van het toekomstige energiesysteem. Belangrijke redenen hiervoor zijn, ook bij de thoriumreactoren: het overblijven van radioactief afval, het risico op een kernramp en de hoge kosten.

7.4 CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

Natuur & Milieu acht een vrijwel volledig duurzame elektriciteitsvoorziening mogelijk in 2035, grotendeels gebaseerd op wind- en zonne-energie. De volgende maatregelen zijn nodig om de verduurzaming te realiseren die in dit hoofdstuk is beschreven:

- Het sluiten van de laatste kolencentrales in 2020;
- Lange-termijnplanning voor wind op zee na 2023;
- Stimuleringsprogramma's voor een verdere uitbreiding van de capaciteit van wind op land en vooral wind op zee;
- Programma waarin landelijke en lokale overheden samenwerken om alle geschikte daken te voorzien van zonnepanelen;
- Een gelijk speelveld voor fossiele en duurzame energie door het instellen van een CO₂-belasting;
- Voortzetting van subsidieregimes voor duurzame elektriciteitsproductie (zolang er geen hogere CO₂-prijs is);
- Gerichte innovatieprogramma's om de kosten van wind op zee en andere duurzame energietechnologieën verder naar beneden te brengen;
- Aandacht voor het creëren van draagvlak en zorgvuldige samenwerking met omwonenden van bijvoorbeeld wind op land en gebruikers van de zee;
- 100 procent transparantie: alle elektriciteitsproducenten moeten inzicht geven in de herkomst van hun energie. Nu geldt deze verplichting alleen voor duurzame energie.

1) Zie toelichting Q voor de berekening.

8 EEN NIEUW EVENWICHT TUSSEN VRAAG EN AANBOD VAN ELEKTRICITEIT

8.1 In het huidige systeem draaien energiecentrales precies hard genoeg om ons op elk moment van de dag van voldoende elektriciteit te voorzien. De productie van zonne- en windenergie kunnen we echter niet sturen. Daarnaast is meer elektriciteit nodig voor warmtepompen en elektrisch rijden. Deze ontwikkelingen betekenen dat er een nieuw systeem opgezet moet worden om vraag en aanbod van elektriciteit in balans te brengen. Dit hoofdstuk brengt de uitdaging en verschillende oplossingsrichtingen in kaart.

8.2 DE UITDAGING

Voor de stroomvoorziening is het van groot belang dat vraag naar en aanbod van elektriciteit te allen tijde in balans zijn. Wanneer vraag en aanbod niet in evenwicht zijn, gaat de kwaliteit van de stroomvoorziening achteruit en kan het systeem zelfs uitvallen. De elektriciteitsvoorziening moet op alle schaalniveaus in balans zijn: op lokaal, regionaal, nationaal en internationaal niveau.

Onze vraag naar energie varieert gedurende de dag. Er is bijvoorbeeld een piek in de vraag op het moment dat mensen hun werkdag beginnen op maandagochtend en op het moment dat mensen thuiskomen uit werk en hun wasmachine aanzetten. Daarnaast vertoont de energievraag een ander patroon tijdens werkdagen en weekenddagen, en tijdens de verschillende seizoenen. In het huidige systeem produceren kolen- en gascentrales precies genoeg om aan de vraag te voldoen. De elektriciteitsproducenten stemmen hun productie dus af op de vraag. Kort gezegd is de vraag leidend.

In de duurzame elektriciteitsvoorziening van 2035 moet de balans tussen vraag en aanbod op een andere manier worden geregeld. Omdat de elektriciteit grotendeels duurzaam wordt opgewekt, is het aanbod van elektriciteit afhankelijk van de weersomstandigheden. Op sommige momenten wordt er teveel duurzame elektriciteit geproduceerd, bijvoorbeeld omdat het hard waait en de zon lekker schijnt. Op andere momenten zal er te weinig duurzame elektriciteit geproduceerd worden, als het windstil of bewolkt is. Aangezien we het weer niet kunnen

beïnvloeden, is het niet langer mogelijk om het aanbod van elektriciteit af te stemmen op de vraag naar elektriciteit. Om het elektriciteitssysteem in evenwicht te brengen is het nodig om de vraag af te stemmen op het aanbod. Verschillende oplossingen maken dit mogelijk en worden in paragraaf 4 behandeld.

Daar bovenop gaan we een groter deel van onze energiebehoefte invullen met elektriciteit. In 2035 gebruiken we ook elektriciteit voor het verwarmen van onze woningen d.m.v. warmtepompen en rijden we deels in elektrische auto's. Dit betekent dat de piekvraag naar elektriciteit zal toenemen. Daarmee wordt ook het in evenwicht brengen van vraag en aanbod van elektriciteit een grotere opgave. Het kan soms ook noodzakelijk zijn om het elektriciteitsnet te verzwaren om te voorkomen dat dit overbelast raakt.

Op dit moment schommelt de elektriciteitsvraag tussen 8 en 15 GW [18]. Door het inzetten van elektriciteit voor verwarming en mobiliteit in combinatie met besparing zoals Natuur & Milieu in deze visie uiteenzet, kan de piekvraag in 2035 stijgen naar ongeveer 40 GW¹. De vraag in de daluren zal ook iets toenemen, tot zo'n 11 GW. Het aanbod van elektriciteit zal ook veranderen. Op basis van deze Energievisie zal de elektriciteitsproductie fluctueren van ongeveer 8 GW uit gas- en biomassacentrales, tot zo'n 65 GW op een dag dat het zeer hard waait terwijl ook de zon schijnt. Er zullen dus momenten zijn dat we binnen Nederland op basis van de (ongestuurde) vraag en productie maximaal 32 GW aan opwekking tekort komen of juist 54 GW over hebben (zie ook Toelichting T).

1) Zie toelichting U in de bijlage

Tabel 3: Pieken en dalen in vraag en aanbod van elektriciteit

	Huidige situatie		2035	
	Dal	Piek	Dal	Piek
Vraag	8 GW	15 GW	11 GW	40 GW
Aanbod	9 GW (aanbod volgt vraag)	15 GW (aanbod volgt vraag)	8 GW	65 GW

Ecofys heeft becijferd dat er investeringen in het elektriciteitsnet nodig om deze Energievisie te realiseren. Met name de pieken kunnen netverzwaring nodig maken. Deze kosten zijn echter deels te vermijden door een aantal oplossingen die hieronder worden beschreven.

8.3 OPLOSSINGSRICHTINGEN

Nederland heeft één van de best functionerende elektriciteitssystemen ter wereld: storingsen zijn hier zeldzaam. We hebben dus kennis in huis om te zorgen dat het systeem pieken en dalen aankan. De transitie naar een duurzame energievoorziening noopt ons om deze kennis verder uit te bouwen. Dat biedt dan meteen kansen om deze kennis te exporteren, want met de groei van duurzame elektriciteit zullen ook andere landen vraag en aanbod in evenwicht moeten brengen. Nederland kan hier een voorbeeldrol in nemen! Hieronder worden vier oplossingsrichtingen gepresenteerd die zorgen voor balans in vraag en aanbod van elektriciteit. Deze oplossingen leiden ertoe dat het aanbod naar een andere locatie verplaatst wordt d.m.v. verbindingen met buitenlandse netwerken (interconnecties); dat de vraag wordt afgestemd op het aanbod d.m.v. vraagsturing; dat het aanbod wordt opgeslagen; of in het uiterste geval, dat het aanbod wordt stopgezet.

Oplossingsrichting 1: verbinding met buitenlandse netwerken

Bij een tekort of overschot aan elektriciteit op een bepaald deel van het elektriciteitsnet kan elektriciteit getransporteerd worden van of naar andere delen van het elektriciteitsnet. Het aanbod van elektriciteit kan dus verplaatst worden naar een andere locatie waar meer vraag is. Hoe beter elektriciteitsnetten over lange afstanden met elkaar verbonden zijn, hoe makkelijker het is om vraag en aanbod in balans te brengen. Daarom ziet Natuur & Milieu als eerste oplossingsrichting het verder uitbreiden van internationale verbindingen: de interconnecties. Er zijn nu al kabels die Nederland verbinden met Frankrijk, Engeland, Duitsland en België, met een capaciteit van

totaal 6 GW in 2015 die (tot 2019) zal groeien naar 8,5 GW in 2019 [19]. Uitbreiding valt mooi te combineren met de ontwikkeling van windparken op zee: door deze niet alleen naar het 'thuisland' aan te sluiten maar ook een kabel te trekken naar een buurland, kan een eventueel 'overschot' aan windenergie direct getransporteerd worden naar een gebied waar meer vraag is. Natuur & Milieu voorziet dat met name richting Noorwegen de interconnectie-capaciteit flink uitgebreid zal moeten worden, bijvoorbeeld met 2 GW. Noorwegen zou tot 20 GW aan waterkracht kunnen leveren [20]. Daarnaast zijn nog allerlei technische verbeteringen te behalen om optimaal gebruik te kunnen maken van interconnecties. Dat vergt innovaties.

Oplossingsrichting 2: vraagsturing

Als we onze energievraag aanpassen aan de hoeveelheid energie die beschikbaar is in plaats van andersom, dan kunnen we efficiënter omgaan met duurzame energie. Vraagsturing betekent dat we apparaten aanzetten op het moment van overschotten en juist uitzetten of wachten als er tekorten zijn. Zo is het bijvoorbeeld bezwaarlijk als alle automobilisten om 18.00u 's avonds hun elektrische auto inpluggen en meteen beginnen met laden. In de toekomst geven we via een app door wanneer we 'm voor hoeveel procent opgeladen willen hebben, en bepaalt het achterliggende systeem het tijdstip om je auto daadwerkelijk te laden. Dit is ook mogelijk met andere apparaten, zoals de warmtepomp, en tevens bij bedrijven. Daar zijn de te verwachten effecten vele malen groter dan in een woning. Een koelhuis kan de temperatuur van zijn vriescellen verlagen als er stroom over is, waardoor bij een tekort even geen verbruik nodig is. De industrie kan energie-intensieve productiestappen zetten op momenten dat er overschot is. Naar schatting kan hiermee zo'n 23 GW aan flexibiliteit beschikbaar komen (zie toelichting V). Deze capaciteit kan echter maar een korte tijd volledig ingezet worden. Zou dit over een dag uitgesmeerd moeten worden, dan blijft ongeveer 1 GW over op elk uur van de dag.

Oplossingsrichting 3: opslag

Opslag van energie is een derde optie. Daarvan bestaan veel verschillende vormen die zich in verschillende ontwikkelingsfasen bevinden. Naast opslag in accu's zijn er minder bekende voorbeelden als vliegwielen, samengedrukte lucht en magneettreinen. In de toekomst zullen veel van deze technieken worden ingezet, en we zullen ze wellicht bijna allemaal nodig hebben. Opslagssystemen voor warmte, zoals warmte-koude opslag, zijn ook nodig omdat we in de winter meer energie vragen dan in de zomer, terwijl we in de zomer iets meer opwekken (met zonne-energie).

De elektrische auto's vormen een deel van de oplossing voor opslag: zij leveren in 2035 naar schatting een halve PJ aan potentieel (die ook nog deels ingezet moet kunnen worden om te rijden). Wel dragen elektrische auto's fors bij aan het opvangen van schommelingen over de dag. Op langere termijn doet een grootschalige waterstof- of ammonia-opslag in de Botlek meer: één tank van Vopak heeft met 200 m³ een mogelijke energie-inhoud van 2 PJ aan vloeibare waterstof of 3,5 PJ aan ammonia. Vopak in Rotterdam heeft 100 van zulke tanks. Wellicht zijn er ook nog andere energiedragers te ontwikkelen.

Warmte-opslag vindt nu alleen nog plaats op kleine schaal, maar heeft de potentie te groeien tot 52 PJ (zie ook toelichting W). En hiervoor kan ook aanvullend vermogen ingezet worden via vraagsturing, van minimaal 2,5 GW. Ook hiervoor is echter nog veel nodig, onder andere in relatie tot wet- en regelgeving.

Oplossingsrichting 4: productie

In geval van energietekorten - als energie uit de opslagen uitgeput is of onvoldoende kan leveren - kunnen extra productiefaciliteiten worden ingezet zoals biomassacentrales of gas-wkk's. Er zijn partijen die hun eigen productie regelen en geïnteresseerd zullen zijn om ook aan het net te leveren. Te denken valt aan industrie die biostoom maakt en glastuinders

die nog gas-wkk hebben staan. Op dit soort momenten kan het financieel zeer interessant zijn om extra elektriciteit te produceren. Natuur & Milieu schat dat er nog ongeveer 8 GW aan vermogen zal staan dat op tekortmomenten 'aan' kan.

Een laatste redmiddel tenslotte in gevallen van overproductie is het afschakelen of verminderen van de duurzame productie. Windmolens kunnen op een lagere snelheid draaien, zonnepanelen kunnen 'geknepen' worden.

8.4 CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

De overgang naar een duurzame elektriciteitsvoorziening brengt met zich mee dat de balans tussen vraag en aanbod op een andere manier tot stand komt. Waar nu de elektriciteitsvraag leidend is voor de productie, zal straks het aanbod leidend worden voor de vraag. Door de extra vraag naar elektriciteit voor warmtepompen en elektrisch vervoer wordt de opgave om vraag en aanbod in evenwicht te brengen bovendien groter. In dit hoofdstuk presenteren wij vier oplossingsrichtingen om voor balans te zorgen in een duurzame elektriciteitsmarkt. Het gaat om verbindingen met andere netwerken (interconnecties), vraagsturing, opslag, en in het uiterste geval afschakelen van productie.

De markt voor het opvangen van pieken en dalen kan alleen goed functioneren als de juiste prikkels ontstaan en de markt open gaat voor diverse spelers. Om de vier oplossingsrichtingen te stimuleren, doet Natuur & Milieu daarom de volgende aanbevelingen:

- De toekomstige verschillen in vraag en aanbod moeten transparant worden. Bovendien moet deze energiemarkt toegankelijk worden voor alle soorten spelers - ook de kleinere.
- Invoering van (regionale) flexibele prijzen om het in evenwicht brengen van vraag en aanbod financieel aantrekkelijk te maken. Bijvoorbeeld: de auto opladen als er een overschot aan elektriciteit is en de prijzen dus laag. En vice versa.

BIJLAGE 1 TOELICHTINGEN

In deze bijlage wordt toegelicht waarop bepaalde berekeningen en aannamen in deze Energievisie zijn gebaseerd. Deze bijlage is bedoeld als achtergrondinformatie.

Voor sommige analyses en berekeningen geldt dat er verschillende bronnen bestaan die op onderdelen van elkaar verschillen. Gekozen is voor bronnen of berekeningen die het geheel van de energievoorziening zoveel mogelijk benaderen. De gepresenteerde waarden zijn dan ook niet bedoeld als absolute waarheid, maar om verhoudingen en orde van grootte te duiden.

A. CARBON BUDGET

Hoeveel CO₂(-equivalenten¹⁾) kan de mensheid nog uitstoten om te voorkomen dat de klimaatverandering de kritische grens van 1,5 of 2 graden overschrijdt?

Het wereldwijde carbonbudget bedraagt 400 gigaton CO₂ vanaf 2011 om binnen de 1,5 graden mondiale temperatuurstijging te blijven en 1000 gigaton voor 2 graden [21]. Bij de huidige wereldwijde uitstoot van zo'n 36 gigaton per jaar [22]^{II}, zouden we in 2022 al genoeg uitgestoten hebben om tot 1,5 graden opwarming te komen, of in 2038 om de 2 graden gehaald te hebben.

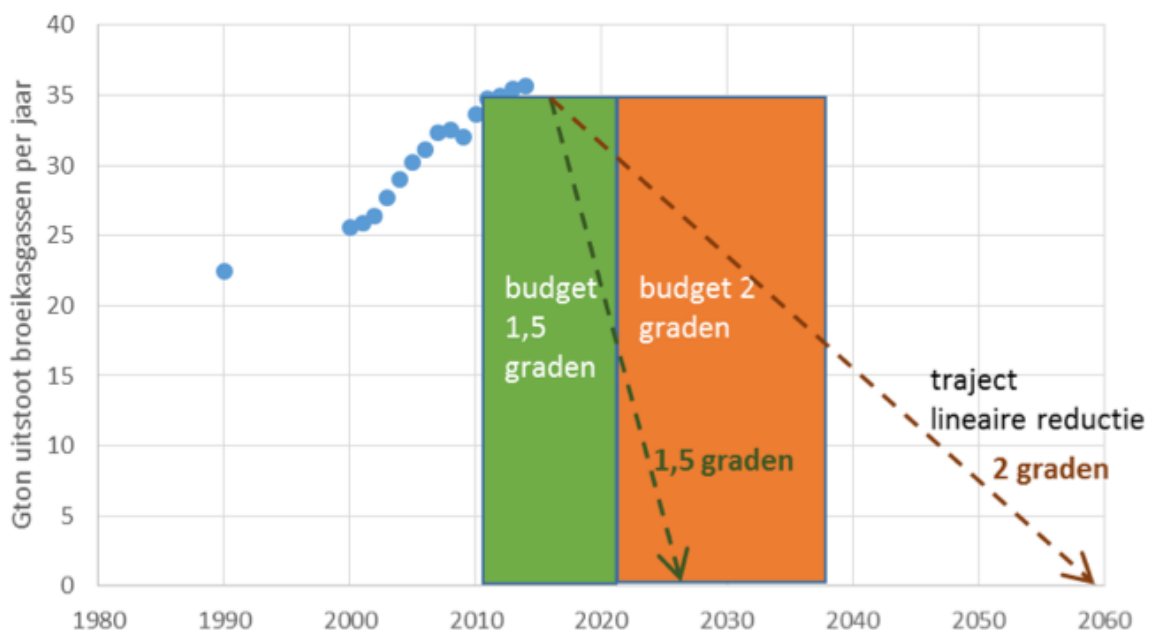
We kunnen langer met het budget doen als we er zuinig mee omgaan. Zouden we mondiaal in een rechte lijn besparen vanaf 2016, dan zouden we vanaf 2027 netto geen CO₂ meer moeten uitstoten om binnen de 1,5 graden te blijven, of in 2060 voor de 2 graden Celsius. Echter: de ontwikkelde landen moeten méér doen en harder reduceren dan de minder ontwikkelde landen, dus voor ons is het budget al eerder bereikt. Zie onderstaande afbeelding voor een schets van hoe het carbonbudget en de reductiesnelheden zich tot elkaar en historische uitstoten verhouden.

B. CO₂-UITSTOOT NEDERLAND

Hoeveel CO₂(equivalenten) stoot Nederland jaarlijks uit en wat zijn doelstellingen?

Nederland stootte in 2013, afhankelijk van de berekeningswijze, tussen de 163 en 202 Mton CO₂ uit; in 1990 was dit 161-180 Mton [23]. De totale uitstoot aan alle broeikasgassen ligt hoger: 220 Mton CO₂-equivalenten [3]. Als de uitvoering van het Energieakkoord loopt zoals afgesproken, dan is

mondiale CO₂-uitstoot en carbon budget



- I) CO₂-equivalent : het klimateffect van een bepaalde hoeveelheid broeikasgas omgerekend naar een hoeveelheid CO₂ met hetzelfde klimateffect
- II) Het carbon budget is berekend op de door mensen veroorzaakte CO₂-uitstoot, niet die van landverandering of methaanuitstoot. In 2014 bedroeg deze 36 gigaton.

in 2020 de uitstoot 16,5 Mton lager dan in 2013 [24]. Binnen Europa is in 2009 afgesproken dat we in 2050 onze uitstoot van broeikasgassen met 80-95 procent verminderen ten opzichte van 1990. Dit doel is gezien het mondiale carbonbudget echter al mager voor de 2 graden doelstelling, en absoluut onvoldoende om de anderhalve graad te halen. Zeker als in de overwegingen wordt meegenomen dat ontwikkelde landen sneller hun uitstoot moeten reduceren dan ontwikkelingslanden.

In een studie voor Greenpeace heeft Ecofys uitgerekend wat emissiereductiedoelstellingen voor Europa moeten zijn om een eerlijke verdeling te bewerkstelligen en de 2 graden doelstelling te kunnen behalen [25]. Het komt neer op een vermindering van zo'n 49 procent, waarop aanvullende doelstellingen gezet moeten worden vanwege het slecht functioneren van het ETS. Zo komt het doel van 55 procent reductie van broeikasgassen in 2030, ten opzichte van 1990, tot stand. Wordt deze besparing doorgetrokken naar 2035, dan zouden 67 procent minder broeikasgassen moeten worden uitgestoten ten opzichte van 1990. Voor Nederland komt dat neer op een niveau van 73 Mton in 2035.

Naast energieproductie voor warmte, mobiliteit en elektriciteit zorgt ook voedselproductie voor een flinke uitstoot van broeikasgassen; 29 Mton in 2013. In deze visie zijn de energie-gerelateerde broeikasgasemissies van de landbouw meegenomen in de categorieën warmte, mobiliteit en elektriciteit. De overige uitstoot van broeikasgassen is meegenomen in de berekeningen van de Nederlandse CO₂-equivalenten uitstoot in 2035. Hierbij is uitgegaan van een gelijk niveau van methaan- en stikstofdioxiden uitstoot van landbouw en andere sectoren als in 2013.

C. DATA HUIDIG ENERGIEGEBRUIK – BRONNEN EN TECHNIEKEN

Hoeveel energie gebruiken we momenteel in Nederland? De meest recente officiële gegevens zijn over 2013, deze worden overgenomen als 'huidig'.

Het energiegebruik in Nederland bestaat grotendeels uit de energiedragers gas (800 PJ, vooral voor verwarming), aardolie (600-678 PJ, vooral voor transport^{I)} en elektriciteit (427 PJ, zeer diverse toepassingen) [26]. Daarnaast wordt nog 676 PJ gebruikt voor internationale

lucht- en scheepvaart, maar die wordt niet aan Nederland toegekend [27]. Ook gaat er energie verloren bij diverse omzettingen: bijvoorbeeld 45 PJ olie bij de productie van brandstoffen [28].

Voor de productie van elektriciteit wordt 928 PJ aan primaire energie verbruikt, waaruit 361 PJ elektriciteit wordt geproduceerd en 219 PJ nuttige warmte. Bovendien wordt er nog 66 PJ elektriciteit geïmporteerd. Deze nuttige warmte is opgenomen als 'restwarmte' bij de invulling van de warmtevraag. De elektriciteitsproductie in Nederland is vooral gebaseerd op gas (51%), kolen (26%), hernieuwbare bronnen (11%, vooral biomassa en windenergie), overige (7%, vooral afval), kernenergie (3%) en aardolie (3%) [29] [30]. Het aanbod van restwarmte is daarmee momenteel ook (vrijwel) geheel gebaseerd op fossiele elektriciteitsproductie.

In totaal komt het energetisch gebruik van Nederland (exclusief bunkers: opslag, in- en uitvoer) daarmee op 2583 PJ. Aardgas is de belangrijkste energiebron met iets meer dan 1100 PJ (44%). Aardolie is met 700 PJ (28%) een tweede. Steenkool maakt met een kleine 250 PJ 10% van de energiemix uit, hernieuwbare energie 5 procent (grotendeels biomassa). Geïmporteerde elektriciteit (3%), afval en andere energiedragers (3%) en kernenergie maken de mix compleet, samen met 9 procent restwarmte. Overigens wordt naast dit energetisch gebruik nog een flinke berg energiedragers ingezet als grondstof voor de industrie; denk aan aardolie voor chemie en kolen voor staalproductie. In totaal gaat het om 660 PJ [31], waarvan 510 PJ olie, 82 PJ aardgas en 56 PJ kolen. De chemie is hiervan de grootste afnemer.

D. DATA HUIDIG ENERGIEGEBRUIK – NAAR SECTOREN

Welke sectoren gebruiken deze energie en hoe is de verdeling over energiedragers? Het totale energiegebruik van Nederland à 2583 PJ is als volgt over sectoren verdeeld^{II)}:

- Huishoudens zo'n 450 PJ, waarvan 332 PJ gas, 91 PJ fossiele elektriciteit, 12 PJ hernieuwbare energie^{III)} en 11 PJ warmte [31]^{IV)}.
- Industrie 556 PJ, waarvan 233 PJ aardgas, 114 PJ aardolie, 103 PJ fossiele elektriciteit en 6 PJ hernieuwbare energie en 71 PJ warmte. Het finale elektriciteitsverbruik betreft 130 PJ [31].
- Dienstverlening, landbouw en visserij gebruiken

I) Hier verschillen het compendium voor de leefomgeving en CBS van elkaar

II) Op basis van primair energiegebruik min niet-energetisch verbruik danwel finaal energiegebruik indien de eerste niet beschikbaar is

III) Volgens inputmethode, dit is dus niet de hoeveelheid geleverde energie. Zie <https://www.rvo.nl/sites/default/files/bijlagen/Protocol%20Monitoring%20Hernieuwbare%20Energie%20Update%202010%20DEN.pdf> voor meer info over verschillende berekeningsmethoden.

IV) De toewijzing van energiebronnen naar huishoudens kan bediscussieerd worden. Het gaat echter om orde grootte van de stromen.

593 PJ, waarvan 344 PJ aardgas, 150 PJ fossiele elektriciteit, 74 PJ hernieuwbaar, 28 PJ aardolie en -4 PJ warmte [31].

- Hiervan gebruikt landbouw 138 PJ (waarvan 125 PJ aardgas, grofweg 95 PJ hiervan wordt ingezet voor elektriciteitsproductie; 28 PJ elektriciteit wordt gebruikt) [32], utiliteit 320 PJ (waarvan 100 PJ elektrisch) [33], waterbedrijven 70 PJ en visserij 7 PJ [31].

- Landbouw en waterbedrijven zijn zelf ook energieproducent, en utiliteit in sommige gevallen ook (ziekenhuizen met WKK-installaties bijvoorbeeld). De verliezen die daarmee gepaard gaan, zijn opgenomen in bovenstaande cijfers. Het finale verbruik is lager: 524 PJ in totaal, waarvan 18 PJ voor waterbedrijven.

- Bovenstaande cijfers per sector versus energiedrager tellen niet op. Waarschijnlijk ligt dit aan de verliezen bij energieproductie in de utiliteit en ligt het primaire verbruik eerder in de buurt van 375 PJ.

- Vervoer: 470 PJ waarvan 461 aardolie en 6 elektrisch [31].
- De energiesector zelf (à 529 PJ) [31]; dit gebruik is afhankelijk van de energietechnieken die zijn gekozen. Er wordt 31 PJ elektriciteit verbruikt.

E. DATA HUIDIG ENERGIEGEBRUIK – WARMTE

Nu willen we niet weten welke energiedragers Nederland gebruikt per sector, maar waarvoor we deze inzetten. Hoe zit het met het energiegebruik voor warmte?

Er zijn weinig statistieken die het gebruik van energie voor het doel 'warmtevoorziening' expliciet bijhouden. In de NEV 2015 wordt een huidig energiegebruik aan warmte gerapporteerd [10], en 'Warmte en koude in Nederland' [34] presenteert het warmtegebruik in 2010. Beide bronnen liggen behoorlijk ver uit elkaar, vooral waar het warmtegebruik in de dienstverlening, landbouw en visserij betreft. Natuur & Milieu heeft daarom een eigen benadering gemaakt van het warmtegebruik, waarbij uitgangspunt is dat het totale energiegebruik sluitend moet zijn; energiegebruik voor apparaten (momenteel elektriciteit) en transport (olie) is bekend, dus uit het totaalverbruik min het verbruik voor deze doelen is het energiegebruik voor warmte terug te herleiden: dit moet ongeveer 1230 PJ zijn (2600 totaal energiegebruik - 928 t.b.v. elektriciteitsproductie + 219 nuttige restwarmte uit elektriciteitsproductie - 66 import elektriciteit - 510 olie' en biobrandstoffen transport - 85 verliezen brandstofproductie).

De gasinzet (800 PJ direct, dus niet via elektriciteitscentrales, finaal verbruik) is te herleiden naar de volgende gebruikers: 166 PJ naar de nijverheid, 54

PJ naar energiesector, 332 in huishoudens en 244 in 'dienstverlening, landbouw en visserij' [31]. Van deze groep gebruikte landbouw ongeveer 47 PJ, 'water en afval' ongeveer 4 PJ. Dit betekent dat de dienstverlening - en dus het utiliteitsdeel van de gebouwde omgeving - een kleine 200 PJ aan gas gebruikte (244PJ-47PJ-4PJ). Dit moet volledig ter invulling van de warmtevraag zijn ingezet. Een dergelijk gebruik klopt ook met een oudere herleiding van energiegebruik voor warmte door het CBS [35].

Nu wordt niet alleen gas gebruikt voor de totale warmtevraag van huishoudens; jaarlijks gaat ook ongeveer 11 PJ aan (stads)warmte en 9 PJ aan biomassa naar de warmtevraag. Bovendien wordt zo'n 12 procent van het elektriciteitsgebruik ingezet voor verwarming en warm water [36]; op jaarbasis is dit zo'n 10 PJ voor alle Nederlandse huishoudens.

Landbouw en visserij gebruiken jaarlijks zo'n 54 PJ restwarmte [37] en utiliteit 13 PJ. Het gebruik van duurzame warmte uit de bodem is aan de utiliteit toegekend. Op deze wijze volgt het totale warmtegebruik per sector: huishoudens zo'n 360 PJ, utiliteit zo'n 210 PJ, landbouw ongeveer 100 PJ en industrie en energie samen zo'n 540 PJ.

Van de warmtevraag van de industrie (incl. energie) à 579 PJ in 2010, betrof 53 PJ warmte van lage temperatuur (tot 100 graden) en 70 PJ warmte tot 250 graden [34].

F. HUIDIG GEBRUIK: ROL VAN WKK'S

Welke rol spelen wkk's in de huidige energievoorziening? Uit het combineren van CBS-data [38] [39] blijkt dat bijna 60 procent van het gas in de landbouw, 36 procent in de industrie en 22 procent in de utiliteit voor wkk-installaties gebruikt wordt. Ook is het omzettingsrendement naar elektra af te leiden: 40%, 30% en 30% respectievelijk. Voor de toekomst verwachten we dat eenzelfde rendement gehaald wordt in deze sectoren.

G. DATA HUIDIG ENERGIEGEBRUIK – TRANSPORT

Hoeveel energie gebruiken we voor transport? Vervoer is nu vooral gebaseerd op aardolie-producten [31]. De exacte verdeling naar sectoren wisselt echter tussen verschillende bronnen. Over het energiegebruik voor wegvervoer en railtransport is men het redelijk eens: dit bedroeg in 2013 zo'n 445 respectievelijk 7 PJ [31]. Over scheepvaart verschillen de data. Deels omdat hier al dan niet recreatievaart of visserij in is meegenomen, deels mogelijk ook door een andere toerekening van het energiegebruik voor scheepvaart op het Nederlands continentaal plat en luchtvaart [40]. Om zoveel mogelijk aan te sluiten bij internationale cijfers hanteert N&M voor het nationaal toe te rekenen deel de CBS-gegevens, niet die van het compendium.

Wel zijn de CBS-gegevens aangevuld met data over energiegebruik voor de visserij en voor mobiele werktuigen, inclusief landbouwwerktuigen [32]. Om het energiegebruik voor het aan Nederland toe te rekenen deel van lucht- en scheepvaart niet buiten beeld te laten, wordt deze apart opgenomen. Hiervoor is gebruik gemaakt van door Ecofys bepaalde data [41]: in totaal 40 PJ voor binnenvaart, 74 PJ voor zeevaart en 81 PJ voor luchtvaart.

H. BESCHIKBAARHEID EN INZET VAN BIOMASSA

Sommigen lijken de energietransitie in te willen zetten door veel gebruik te maken van biomassa en/of biogas ter vervanging van fossiele brandstoffen. Natuur & Milieu ziet dit niet als oplossing. De inzet van biomassa in het energiesysteem kent namelijk een aantal dilemma's:

- Een van de grootste problemen is dat de uitstoot van CO₂ door het verbranden van biomassa pas over langere termijn gecompenseerd wordt door het groeien van nieuwe bomen.
- Daar komt bij dat alleen in geval van duurzaam bosbeheer zorgvuldig wordt omgegaan met lokale biodiversiteit en waterhuishouding, er herplanting plaatsvindt en zo min mogelijk koolstofschuld en bodemdegradatie optreedt.
- Zelfs bij duurzaam bosbeheer kan nog veel CO₂-uitstoot plaatsvinden bij de oogst en transport naar Nederland.
- Bij teelt van biomassa speciaal voor inzet in de energievoorziening, is er een grote kans dat dit indirecte verschuivingseffecten tot gevolg heeft, waardoor voedselproductie in gevaar komt of elders natuurgebied omgezet wordt in productiegronden, met alle (klimaat)gevolgen van dien. Voor sommige biobrandstoffen uit voedselgewassen is de klimaat-schade zelfs hoger dan voor fossiele diesel [42]

- De inzet van biomassa is vaak helemaal niet efficiënt ten opzichte van andere alternatieven. Zeker niet als het benodigde landoppervlak in ogenschouw wordt genomen.
- Er zijn meer sectoren die gebruik willen maken van biomassa en het lijkt er op dat de totale vraag over afzienbare tijd het aanbod overstijgt.

In de tabel hieronder staat de beschikbaarheid van biomassa volgens verschillende bronnen, uitgaande van enkel duurzame reststromen¹. Hieruit blijkt dat er voor de verre toekomst geen significant grotere hoeveelheden duurzame biomassa beschikbaar lijken te komen doordat stromen uit afval teruglopen en de stromen uit landbouw en bosbeheer niet veel meer stijgen.

Hoeveel biomassa hiervan voor Nederland beschikbaar is, kan bepaald worden op basis van de Nederlandse koopkracht of op basis van inwoners. Daarbij betekent een verdeling op basis van koopkracht dat wij relatief méér zouden kunnen inzetten dan armere landen die de biomassa wellicht zelf produceren. Een verdeling op inwoneraantal is daardoor eerlijker.

Voor Nederland kan in 2035 dus op 200 PJ aan duurzame biomassa gerekend worden. Momenteel is het gebruik voor energie zo'n 120 PJ [43]; zie ook toelichting K.

Biomassa kan gebruikt worden om de afhankelijkheid van fossiele grondstoffen te verminderen in de energievragers zoals beschreven in deze visie (warmte, transport, apparaten en verlichting), in niet-behandelde vragers internationale scheepvaart en luchtvaart, in de chemie ter vervanging van olie als grondstof, of ter vervanging van bijvoorbeeld staal in de bouw.

Tabel Beschikbaarheid biomassa, meegenomen zijn enkel duurzame reststromen.

Studie	Jaar	Mondiale beschikbaarheid [EJ]	Deel NL obv inwoners [PJ]	Deel NL obv BNP [PJ]
EEA, 2006	2030	12 (Europa)	283	555
Koppejan, et al., 2009	2020	NL productie: 91	91	91
Domburg, et al., 2008	2050	100 - 150	230 - 345	1130 - 1694
IPCC, 2011	2050	100	230	1130
IRENA, 2014	2030	37 - 66	85 - 152	418 - 746
Biomass Futures, 2012	2030	9.3 (Europa)	219	430

1) Dit houdt in reststromen die niet nodig zijn voor materialen en bodemvruchtbaarheid, in het geval van reststromen uit bossen en reststromen die niet nodig zijn voor voedsel, veevoer en bodemvruchtbaarheid in het geval van landbouw en afvalstromen. We gaan alleen uit van duurzame reststromen aangezien het inzetten landbouwgronden of houtplantages voor de productie van energiegewassen of hout voor andere toepassingen dan materialen veel nadelige gevolgen voor het milieu met zich mee kan brengen zoals; ILUC, waterschaarste, aantasting biodiversiteit, competitie met voedsel, lock-in 1e generatie biomassa, etc.

I. BIOMASSA IN DE CHEMIE

Niet alleen in de energietransitie wordt gekeken naar het gebruik van biomassa ter vervanging van fossiele grondstoffen, maar ook in de chemie die nu veelal gebaseerd is op aardolie. Welke rol ziet Natuur & Milieu daar voor biomassa weggelegd?

Wageningen UR heeft een overzicht [44] gemaakt van het non-energetische verbruik van de Nederlandse chemie, al zijn dit inmiddels oude data. Het CBS heeft ook gegevens [31], waaruit blijkt dat het gebruik van olie als grondstof vrijwel geheel aan de organische basischemie is toe te schrijven. Zij maken de grondstoffen waarmee andere bedrijven halffabrikaten of eindproducten maken.

Kijken we naar alternatieven voor de inzet van biomassa, dan blijkt de circulaire economie de eerst aangewezen oplossing: maximaal hergebruik. Dit betekent dat maagdelijke grondstoffen vervangen moeten worden door materialen die een eerder leven gekend hebben. Sommige eindproducten zijn echter na gebruik per definitie niet of nauwelijks verder circulair in te zetten; bijvoorbeeld cosmetica, coatings, bestrijdingsmiddelen. Deze sectoren zijn echter klein in vergelijking met de basischemie [44]. Voor deze toepassingen en een kleine aanvoer van nieuwe grondstoffen voor de basischemie zou op korte termijn 75 PJ nodig zijn als vervanging van aardolie als grondstof in de chemie¹.

J. BIOMASSA IN TRANSPORT

Naast het deel van de chemie dat inherent niet-circulair ingericht kan worden, zijn lange-afstand transport zoals internationale scheepvaart en luchtvaart sectoren die op afzienbare termijn weinig alternatieven hebben dan inzet van biobased brandstoffen en energiebesparing. Zeeschepen en vliegtuigen verbruiken enorm veel energie op hun reizen, en vliegtuigen moeten ook relatief licht van gewicht blijven. Batterijen zijn daarvoor bijvoorbeeld geen oplossing.

Naast biobrandstoffen zal ook energiebesparing in grote mate nodig zijn, aangezien in 2050 onvoldoende biomassa voor Nederland beschikbaar zal zijn om de hele energievraag van deze sectoren biobased in te

vullen. Anders zal in 2050 de energiebehoefte van lucht- en scheepvaart voor Nederland nog zo'n 225 PJ zal betreffen [41], waar maximaal 100 PJ aan biomassa beschikbaar lijkt en de productie van biobased brandstoffen niet met 100 procent rendement gepaard zal gaan. De vraag moet dus fors omlaag.

K. BIOMASSA VOOR WARMTE EN ELEKTRICITEIT

Waar ziet Natuur & Milieu nog een rol voor het gebruik van biomassa voor warmte en elektriciteitsvoorziening? Op lange termijn is er geen rol van betekenis voor biomassa ter invulling van de vraag naar warmte en elektriciteit. Reden hiervoor is dat bij de voorziene beschikbaarheid van duurzame biobrandstoffen (zie toelichting H hierboven) deze vooral nodig zullen zijn voor lange-afstandstransport, en er zeer weinig resteert voor andere sectoren. Uitzondering is een deel dat bij recycling geen andere inzet kan krijgen dan verbranding². Dit zal nooit hoger worden dan de huidige afvalverwerking, eerder (veel) lager. Ter vergelijking: AVI's produceerden in 2013 13,7 PJ elektriciteit en 16,3 PJ warmte [45]. Hiervoor werd 52 PJ afval ingezet [29].

Daarnaast wordt uit GFT-vergisting groen gas, elektriciteit en warmte geleverd, maar deze hoeveelheden zijn zeer beperkt en tellen bij elkaar nog niet op tot 1 PJ [46] [43]. Bovendien kent GFT een waardevollere inzet als compost, dus ook in de toekomst is dit geen oplossingsrichting.

Uit biomassa werd in 2013 in totaal 21,4 PJ elektriciteit (waarvan 7,4 uit AVI's) en 14 PJ warmte (waarvan 9,9 uit AVI's) geproduceerd [43]. Hiervoor werd 80PJ biomassa ingezet (40 in AVI's). Daarnaast werd 37,7 PJ direct ingezet, waaronder 18 PJ in kachels in huishoudens en 13 PJ in transportbrandstoffen [31]. Deze laatste heeft ook netto méér biomassa gekost, omdat het rendement geen 100 procent is. Dit deel is hier buiten beschouwing gelaten bij gebrek aan data.

Er blijft dus weinig over voor de nationale energievraag en inzetten op biomassa als vervanger van het huidige fossiele energiegebruik is een doodlopende weg. Dat neemt niet weg dat biomassa nog wel een tijdelijke rol te vervullen heeft: met name als transitiebrandstof om dalen in stroomproductie op te vangen en om de

-
- I) 38% op basis van grondstofinkoop voor de sectoren verf, overige chemische producten en farmaceutische grondstoffen ten opzichte van de kunststofindustrie (wel circulair in te richten) en synthetische vezelindustrie. Gecombineerd met enige verbetering in grondstofgebruik is de schatting dat op termijn 33% van de huidige oliegebaseerde grondstoffen nodig zullen zijn voor deze sectoren. Momenteel gaat 480 PJ aan olie naar de organische basischemie. Een groot deel daarvan zal echter geëxporteerd worden voordat verdere bewerking in de industrie plaatsvindt; deze omvang is echter onbekend. Hierdoor geldt de 33% niet over het volledige huidige volume, maar leidt tot een omvang van naar schatting zo'n 75 PJ.
- II) Gedacht kan worden aan houtvezels die verontreinigd zijn, stromen die niet te scheiden zijn of kunststoffen die niet verder circulair ingezet kunnen worden doordat ze te lage kwaliteit bereikt hebben

warmtevraag voor de industrie op te lossen.

L. BESCHIKBAARHEID RESTWARMTE

Inzetten op restwarmte voor verduurzaming van de warmtevraag biedt niet dé oplossing. Dit komt door drie problemen:

- Er is een mismatch tussen de regio's waar momenteel restwarmte beschikbaar is, en waar warmte gevraagd wordt. Zo heeft gemeente Midden-Drenthe veel aanbod, maar bijna geen vraag en is dat in gemeente Ede andersom [47].
- Onder andere hierdoor is maar zo'n 57 PJ restwarmte feitelijk te gebruiken. Dit is een bijdrage van 5 procent aan het totale huidige gebruik.

- Het overgrote deel van de huidige aangeboden restwarmte komt uit fossiele energiecentrales [48]. Deze zullen over enkele jaren sowieso moeten gaan sluiten om klimaatverandering te beperken. Hierdoor zal de beschikbaarheid van warmte verder afnemen. Zie illustratie voor de locaties en beschikbaarheid van restwarmte.

M. BESCHIKBAARHEID GEOTHERMIE

En warmtenetten op geothermie, hoe zit het daarmee? Waar in Nederland is überhaupt geothermie te vinden? Er bestaan vele kaarten met daarop de mogelijkheden van aardwarmte en geothermie. Zie bijvoorbeeld de warmteatlas [49]. Onderstaande kaart van CE Delft, op basis van data van TNO, levert een goed beeld van geschikte locaties voor geothermie versus de reeds bestaande en geplande warmtenetten [50]. Hieruit blijkt dat er nog veel kennis van de ondergrond en techniek van geothermie ontbreekt. Tevens wordt duidelijk dat in veel gemeenten overschakelen op geothermie om warmtenetten duurzaam te maken geen automatische mogelijkheid is.



Figuur: actuele restwarmtebronnen, uit kamerbrief warmtevisie. Alle roze cirkels zijn energiecentrales, die volgens N&M in 2035 niet of nauwelijks meer operationeel zullen zijn. Ook raffinagecapaciteit zal mogelijk afnemen als gevolg van verminderde vraag naar brandstoffen voor transport.

N. WARMTE IN WONINGEN

Hoeveel energie gebruiken woningen nog voor warmte in 2035?

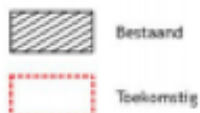
De gebouwde omgeving moet massaal worden geïsoleerd, naar label A of beter. Het energiegebruik voor warmte van een gemiddelde woning daalt dan van ongeveer 45 GJ naar 25 GJ¹. Een deel van de 18 procent vooroorlogse woningen en 14 procent vrijstaande woningen zullen echter niet naar dit niveau te brengen

zijn en afhankelijk blijven van (rest)warmtelevering of gas. De warmtenetten en warmteopslagen zullen een klein deel van de tijd nog afhankelijk zijn van een externe bijverwarming door middel van gas, naar verwachting ongeveer 3 procent van het totale energiegebruik². Hoewel de gasvraag over een jaar zeker niet alleen aan huishoudens toe te rekenen is, geeft dit wel een beeld van seizoeneffecten en de relatieve omvang van de vraag boven een bepaald vermogen.

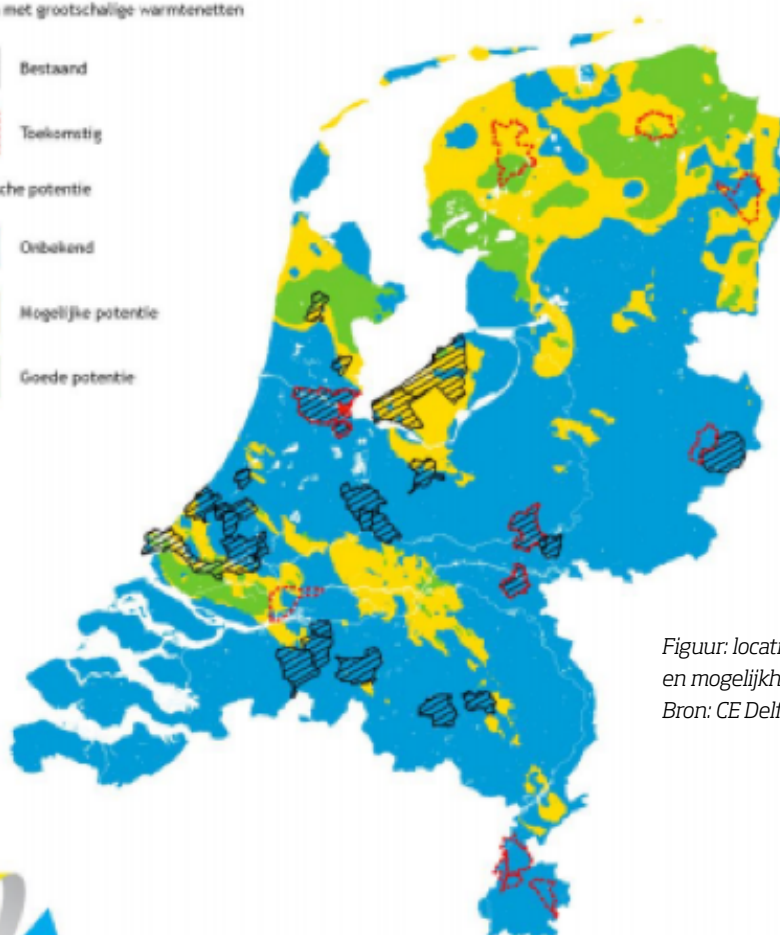
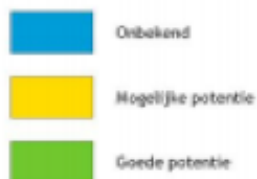
Geothermische potentie voor grootschalige warmtenetten (>2.000 aansluitingen)

Legenda

Gemeenten met grootschalige warmtenetten



Geothermische potentie



Figuur: locaties van (geplande) warmtenetten en mogelijkheden tot geothermie.

Bron: CE Delft obv data van TNO



- I) *Inschattingen verschillen. Zo rekent CE Delft met gemiddeld ongeveer 18 GJ voor goed geïsoleerde woningen [54], maar gaat Ecofys uit van 8500 kWh aan gas voor beter-dan-A geïsoleerde woningen, wat overeenkomt met 870 m³ gas voor tussenwoningen (30,6 GJ) [51], een besparing van bijna de helft. Werkelijk verbruik in zuinige woningen blijkt vooralsnog telkens hoger dan berekend verbruik [52]. Uit ervaringen met energiezuinige woningen blijken deze gemiddeld ongeveer 1500 kWh elektriciteit voor warmte te gebruiken (via warmtepomp – maar ook andere duurzame warmtevormen zijn mogelijk) en 2000 kWh voor andere apparaten [53]. Natuur & Milieu denkt met deze inschatting van 25 GJ redelijk in het midden te zitten.*
- II) *Voor de dagen dat de temperatuur zo laag is dat het vermogen van de installatie dit niet aan kan, en/of als mogelijkheid om in gevallen van stroomtekort over te kunnen schakelen op andere energiedragers.*

Tabel: Een berekening van het totale energiegebruik voor warmte in woningen in 2035 bij deze invulling

Aandeel woningen	Techniek	Energiedrager		verbruik per woning		
				elektra tbv apparaten (kWh)	Gas (m3)	Warmtevraag (GJ)
20%	warmtenet	Gas (bijstook)	4%	2700		20
		restwarmte	48%			
		geothermie	48%			
10%	gas			2700	1000	
25%	buurtwarmte	bodemenergie	97%	2000		25
		Gas (bijstook)	3%			
45%	all electric	buitenlucht	80%	2000		25
		bodemenergie	20%			

Voor Nederlandse woningen samen leidt bovenstaande tot

- 30 PJ gas, waarvan 27 als enige warmtevoorziening
- 16 PJ restwarmte en
- 16 PJ geothermie in grote warmtenetten - de winning van geothermie en rondpompen van warmte kost naar schatting 1 PJ elektriciteit [51].
- 50 PJ buurtwarmte via bijvoorbeeld WKO - hiervoor is naar schatting 10 PJ uit benodigde elektriciteit
- 96 PJ duurzaam opgewekte decentrale warmte - hiervan is naar schatting 23 PJ uit benodigde elektriciteit
- 68 PJ elektriciteitsgebruik voor apparaten, anders dan de genoemde energie voor warmte(pompen).

Niet opgenomen in de data is de inzet van zonnewarmte, die ingeschat wordt op 5 PJ en grotendeels warmte via WKO's of all-electric systemen zal vervangen, maar als aanvullend in de cijfers is meegenomen.

Huishoudens gebruiken hiermee afgerond 101 PJ aan elektriciteit per jaar en produceren zelf, individueel of collectief, 130 PJ duurzame warmte. Het totale warmtegebruik in de woningen is 210 PJ, en daarnaast 101 PJ aan kracht (waarvan 34 PJ voor het aandrijven van de warmtepompen en dergelijke installaties).

O. WARMTE IN UTILITEIT

Hoeveel en welke energie gebruiken utiliteitsgebouwen in 2035 voor warmte? Voor utiliteit (480.000 gebouwen, vooral dienstensector [52]) schat Natuur & Milieu de volgende verdeling van technieken:

- 10% op een warmtenet (denk aan kantoorpanden langs de route van een warmtenet),
- 10% op buurtwarmte (kleinschalige kantoren die bij een bron liggen, of juist utiliteit die soms warmte uit te wisselen heeft zoals ijsbanen)
- 40% all electric, waarvan 10% bodemenergie gebruikt

- 20% op geothermie of warmteopslagen met hogere temperatuur (bijvoorbeeld grootverbruikers zoals ziekenhuizen), waarbij restwarmte weer in een warmtenet gevoed kan worden.
- 20% op gas (de moeilijk te bereiken of voldoende te isoleren panden - denk aan kerkgebouwen en monumenten en utiliteitsgebouwen die om financiële redenen vasthouden aan een wkk-installatie).

Als deze percentages worden gecombineerd met het totaalverbruik van de utiliteit versus huishoudens, dan kan een totaalverbruik van de utiliteit in 2035 benaderd worden: zo'n 37 PJ gas, 5 PJ restwarmte en 26 PJ duurzame warmte uit diepe geothermische bronnen, 38 PJ duurzame warmte uit lucht en 15 PJ uit de bodem (plus eerder genoemde 26 PJ uit diepere geothermie). Daarnaast verwacht Natuur & Milieu dat sommige vormen van utiliteit sterker inzetten op zonnecollectoren en 5 PJ zonnewarmte zullen gaan produceren en gebruiken. Bij de productie van deze duurzame energie wordt 18 PJ elektriciteit gebruikt. Het totale warmtegebruik in de utiliteit is hierdoor 139 PJ

P. WARMTE IN INDUSTRIE EN LANDBOUW

Hoeveel energie, en welke energiedragers, gebruiken industrie en landbouw voor warmte in 2035?

Uitgangspunt in de transitie is dat ook hier van gas, olie en kolen richting duurzame technieken gegaan moet worden. Voor landbouw geldt daarnaast dat er in 2035 nog redelijk wat biomassa-installaties aanwezig zijn die nu met subsidie zijn neergezet. Deze kunnen een tijdelijke rol vervullen, maar zijn niet de oplossing. De transitie zal in de industrie eerst nog relatief langzaam gaan, omdat voor de industrie prijseffecten leidend zijn en de meeste industrie internationaal concurreert. Sectoren die olie of kolen gebruiken als grondstof, zullen deze in beginsel ook blijven gebruiken als energiedrager voor warmte. Wel kan er bespaard worden. Elektrificatie kan interessant zijn om daarmee

te kunnen acteren op de flexibiliteitsmarkt. Vooral voor industrie en glastuinders, die al gewend zijn aan de elektriciteitsmarkt, is dit een goede optie.

Geothermie of bodemenergie is de eerst aangewezen optie voor warmte van relatief lage temperatuur.

Elektrificatie, bijvoorbeeld door mechanische damprecompressie, is de tweede. Om warmte van

hoge temperatuur te krijgen, zijn wel innovaties nodig.

En het genereren van hoge-temperatuur warmte gaat gepaard met een lagere COP (coefficient of performance) van naar schatting 2,5 [53].

Op basis hiervan zijn de volgende aannames gehanteerd (afgerond op 5-tallen):

Tabel: Energiegebruik in industrie en landbouw

Energiegebruik (PJ)	Industrie (en energie)		Landbouw	
	2013	2035	2013	2035
Gas	220	100	50	15
Restwarmte	145	80	50	10
Biomassa	5	30	0	10
Bodemenergie		10		30
Aardolie	140	80		
Kolen	30	20		
Elektrisch via warmtepomp		15		

Q. PRODUCTIE DOOR GASCENTRALES EN DECENTRALE WKK'S

Het grootste deel van de Nederlandse elektriciteit wordt momenteel geproduceerd met gas. Er zijn in totaal 4400 gasgestookte centrales, waarvan 35 grote centrale installaties zonder wkk en meer dan 4000 kleine (gemiddeld minder dan 1 MWe) wkk-installaties. Hiervan staan er 2800 bij land- en tuinbouwbedrijven [38]. In 2035 zullen deze niet allemaal nog in bedrijf zijn vanwege de dan hogere CO₂-prijs, maar voor enkele(n) zijn er wellicht nog steeds prikkels genoeg om flexibel te kunnen draaien. Natuur & Milieu verwacht dat er nog grofweg 10 gascentrales van gemiddeld 400 MW elk beschikbaar zullen zijn, en 500 wkk's van gemiddeld iets meer dan 2,5 MW elk (met name grote industriële wkk's zullen naar verwachting blijven bestaan). Schatting is dat deze gemiddeld slechts 15% van de tijd op vollast draaien. Dat kan sterk verschillen tussen installaties onderling.

R. DOELSTELLINGEN VERVOERSECTOR:

Vastgelegde doelen uit het Energieakkoord voor de vervoersector:

- 20 Petajoule energiebesparing in 2020
- 25 Mton CO₂-besparing in 2030 op Tank-To-Wheel basis
- 60 procent minder CO₂ in 2050
- 200.000 elektrische auto's op de weg in 2020
- In 2035 zijn alle nieuwe auto's zero-emissie, in 2050 zijn alle auto's zero-emissie.
- Voor de internationale scheepvaart is een ambitie gesteld van 40 procent
- CO₂-reductie in 2050 en voor de luchtvaart 40 procent hernieuwbare brandstoffen in 2050.

S. DE MOGELIJKHEDEN VAN CCS

Om uitstoot van broeikasgassen te voorkomen, kan CO₂ die ontstaat bij verbranding van fossiele brandstoffen ook worden afgevangen en opgeslagen. Het is daarmee ook mogelijk om negatieve emissies te creëren: door CO₂ uit verbranding van biomassa op te slaan, of door actief CO₂ uit de lucht te halen. CCS is alleen mogelijk bij bronnen die lokaal grote hoeveelheden CO₂ produceren. Je kunt geen CO₂ afvangen bij een huishouden met een HR-ketel, of bij een auto.

De opslag van CO₂ vindt plaats onder de grond, bijvoorbeeld in lege gasvelden. Er is grote weerstand tegen opslag op land: een project in Barendrecht is daarom niet doorggegaan. Natuur & Milieu ziet om deze reden alleen mogelijkheden voor CCS offshore. De beschikbare velden hier zijn echter beperkt. Bovendien verslechtert door CCS het rendement, worden emissies die schade leveren aan natuur en gezondheid niet aangepakt en is het duur om CO₂ te transporteren en te injecteren.

Op basis van de figuur op pagina 20 van het eindrapport CCS-dialoog[i] kan herleid worden dat er binnen afzienbare termijn voor iets meer dan 1000 Mton CO₂ capaciteit in lege velden op zee is, waar de huidige uitstoot van industrie en energie zo'n 93 Mton per jaar is. Met de huidige uitstoot van industrie en energie zouden de opslagen dus in 10 jaar vol zitten. CCS is daarom geen 'golden bullet' oplossing voor het huidige systeem; reductie van CO₂-uitstoot blijft de eerst aangewezen stap.

Natuur & Milieu ziet CCS wel als mogelijkheid voor industrie die vooralsnog geen alternatieven heeft om te verduurzamen. Denk aan Tata steel (6 Mton CO₂ per jaar)^[ii] en Dow (3,5 Mton CO₂ per jaar). Met alleen al de uitstoot van dergelijke industrieën zijn de beschikbare opslagen te vullen. Als dit soort industriële bedrijven bovendien deels gebruik maakt van biomassa voor warmte- en/of elektriciteitsvoorziening, dan kan hiermee tevens een klein deel negatieve emissies veroorzaakt worden.

Kortom: er is zeer beperkte ruimte voor CCS, en alleen bij sectoren die op dat moment nog geen alternatief hebben. Bij beperkte beschikbaarheid aan duurzame biomassa (zie toelichting H tot en met K) ziet Natuur & Milieu geen grote rol voor afvangen van CO₂ en daarmee negatieve emissies weggelegd. Ook op termijn, als het misschien mogelijk wordt om direct CO₂ af te vangen, blijft het probleem van beperkte capaciteit. Negatieve emissies zijn welkom, maar hopen op toekomstige innovaties en kostenverlagingen is speculatie en leidt waarschijnlijk tot het verschuiven van de kosten en problemen naar toekomstige generaties. CCS en de mogelijkheden tot (toekomstige) negatieve emissies doen dus niets af aan de noodzaak om te verduurzamen.

In deze visie zijn CO₂-reductie-effecten door CCS nog niet meegenomen in berekeningen.

T. MINIMALE EN MAXIMALE ELEKTRICITEITSPRODUCTIE IN 2035

Hoe verhoudt zich de elektriciteitsvraag tot de productie in 2035; hoeveel zal er minimaal en maximaal aan productiecapaciteit bestaan, onafhankelijk van vraagsturing? Natuur & Milieu voorziet dat er in 2035 bijna 10 GW aan biomassa- en elektriciteitscentrales (deels decentrale wkk's) nog bestaat - al zullen ze veel minder draaien dan nu. Als er geen zon of wind is, kunnen deze voor de benodigde elektriciteit zorgen. Mogelijk zullen ze echter niet allemaal inzetbaar zijn, vandaar dat met 8 GW aan minimaal vermogen gerekend wordt.

Omgekeerd is de inschatting dat er aan duurzaam vermogen in totaal 40 GW zon, 25 GW wind en 10 GW 'innovatief' zal bestaan. De zon staat niet altijd maximaal op de panelen te schijnen, de wind waait bijna nooit op de max, en zeker niet alles tegelijk. Vandaar dat als maximale productie 65 GW is genomen.

U. EXTRA ELEKTRICITEITSVRAAG DOOR WARMTE EN TRANSPORT

Hoe groot worden de pieken in de stroomvraag als we gaan elektrificeren voor de warmtebehoefte en transport? In de zomer transporteert Gasunie ter waarde van 15-35 GW gas, en in de winter 40-120 GW [54]. De piek hiervan, dus ongeveer 80 GW in de winter, wordt veroorzaakt door de gebouwde omgeving. Zou deze gebouwde omgeving omschakelen op elektriciteit, dan wordt niet de gehele vraag aan het elektriciteitsnet toegevoegd, want er zal eerst grootschalige isolatie plaatsvinden en lang niet alle woningen of kantoren zullen volledig elektrisch (met een warmtepomp) verwarmd gaan worden. Deze 80GW is dus niet representatief.

Ecofys berekent dat de piekvraag met 16 GW zou stijgen als alle woningen van een gasaansluiting naar een warmtepomp zouden overschakelen [55]. Natuur & Milieu denkt dat dit voor grofweg de helft van de huishoudens realiteit zou wordenⁱ, plus 40 procent van de utiliteitsgebouwen (die niet de grootgebruikers zijn, dus mogelijk 30 procent van het gebruik). Samen zou dit een stijging van de piekbelasting met 12 GW betekenenⁱⁱ. Deze piekvraag is mogelijk nog iets af te vlakken door slimme sturing van de warmtepompen en boilers als opslagvaten te gebruiken.

Het opladen van elektrische auto's zal ook deels in de piekperiode plaatsvinden, ondanks alle mogelijkheden om gericht in de daluren te laden en de auto juist als flexcapaciteit in te zetten. Echter, wie onderweg is of snel weer verder moet, zal ook tijdens piekuren willen kunnen (snel)laden. Naar schatting zal 20 procent van de auto's tijdens de avondpiek willen laden op gemiddeld 11 kW in 2035, aangevuld met 10 procent auto's die op dat tijdstip willen snelladen op 50 kW (om bijvoorbeeld hun bestemming te kunnen halen in de avondspits) - dit duurt echter veel korter waardoor de uurbelasting grofweg gehalveerd kan worden.

Op basis van de 'heldergroene visie op duurzame brandstoffen' [41] rijden er in 2035 zo'n 3 miljoen elektrische auto's. Dit betekent een verhoging van de piekvraag door laden met ongeveer 14 GWⁱⁱⁱ.

i) Wij schatten in dat 45% van de woningen een warmtepomp krijgt en 25% op een kleinschalig WKO-systeem aangehaakt zal worden. Deze laatste systemen kunnen ook (deels) elektrisch zijn, vandaar dat met 50% gerekend wordt.

ii) $50\% \cdot 362 \text{ PJ} + 30\% \cdot 238 \text{ PJ} = 252 \text{ PJ}$. Ten opzichte van totaal gasverbruik huishoudens zoals in de studie van Ecofys à 332 PJ is dit 76%.

iii) $20\% \cdot 3 \text{ miljoen} \cdot 11 \text{ kW} = 6,6 \text{ GW}$. $10\% \cdot 3 \text{ miljoen} \cdot 50 / 2 = 7,5 \text{ GW}$.

V. TOELICHTING OMVANG VRAAGSTURING

Hoe groot kan de rol van vraagsturing worden in het opvangen van pieken en dalen? Hieronder enige uitwerking voor 2035, op basis van wat nu bekend is. Dit telt op tot zo'n 24 GW, welke gedurende één tot enkele uren ingezet kan worden. Grote kans dat in de toekomst veel meer mogelijk blijkt: als er een markt voor ontstaat, zou het aanbod wel eens kunnen verbreden.

- Het vermogen dat flexibel ingezet kan worden in de industrie bedraagt zo'n 500 MW voor zware industrie en 40 MW voor kleinere bedrijven [56]. Dit vermogen kan enkele uren achtereen ingezet worden.
- Ook warmtepompen in huishoudens kunnen gestuurd worden. In 2035 voorziet Natuur & Milieu ongeveer 3,5 miljoen warmtepompen die per stuk zo'n 3 kW vermogen hebben. Deze leveren 11 GW flexibel vermogen.
- Ook warmtepompen in de utiliteit kunnen gestuurd worden. In deze sector bedraagt het flexibel vermogen ca. 4 GW.

Ook accu's in elektrische auto's kunnen ingezet worden. N&M schat dat een kwart van de auto's op enig moment aan een laadpaal hangt en dan gemiddeld 30 procent buffercapaciteit heeft op een accu van gemiddeld 50 kWh, welke met 11 kW geladen of ontladen kan worden. Dit levert 8 GW capaciteit op, welke gedurende een uur ingezet kan worden.

W. WARMTE-OPSLAG

Welke rol hebben warmte-opslagen in de energievoorziening?

Natuur & Milieu ziet een grote rol weggelegd voor

warmte-opslagen. Daarmee kan niet alleen duurzame warmte gebruikt worden, maar kan ook (rest)warmte meegenomen worden van de zomer naar de winter. Zo is ook een flexibiliteitsprobleem op te lossen. Momenteel bevinden zich warmteopslagen bij een aantal wkk-installaties [57]; in de toekomst is hier een nog veel grotere rol voor weggelegd. Dit kan ook door 'klassieke' warmtekoelde-opslagen (of alleen warmteputten) te regenereren, of met bijvoorbeeld een Ecovat [58]; voordeel daarvan is dat dit een gesloten systeem is en daardoor hogere temperaturen kan opslaan dan open systemen (die tot maximaal 25 graden gaan). Op basis van het aandeel dat N&M ziet voor WKO bij huishoudens en utiliteit, zouden er zo'n 50 duizend opslagen ontstaan, met veelal 50 huizen op één opslag. Gezamenlijk moeten de opslagen ter invulling van deze visie 64 PJ aan warmte leveren. Deels zullen die bestaan uit opgeslagen warmte in de zomer (via koeling van de woning - naar schatting 10 procent bij woningen) en deels wordt er actief opgeslagen, bijvoorbeeld op momenten dat er een overschot aan opgewekte zonnestroom ontstaat.

Natuur & Milieu heeft een schatting gemaakt hoeveel energie in dergelijke systemen opgeslagen kan worden, zie onderstaande tabel. Hieruit volgt dat 52 PJ op jaarbasis in dergelijke warmtebronnen kan worden opgeslagen. Het vraagsturingspotentieel dat hiermee ontstaat is 23 GW, aanvullend op het berekende vermogen in toelichting V hierboven. Bovendien biedt dit grote kansen om een 'overschot' aan zonne-energie lokaal op te slaan. Daarmee kan lokale overbelasting van een net voorkomen worden.

Type systeem	Geschat aantal nieuwe systemen	Maximale temperatuur warmtebron	Gemiddelde warmtevraag per systeem	Benodigde warmteopslag in bron ^{I+II}	Vraagsturings potentieel ^{III+IV}
Open ^V	40.000	25 graden	1,3 TJ	1 TJ	19 kW
vgl Ecovat	10.000	90 graden	1,3 TJ	1,17 TJ	176 KW
Totaal	50.000		65 PJ	52 PJ	2,54 GW

I) Op basis van retourtemperatuur van 11 graden, en na aftrek van 10% warmteopslag door koeling

II) Warmte welke afkomstig is uit de omgeving is in deze gevallen buiten beschouwing gelaten, want met 0,063 W/m² relatief laag.

III) Berekend vermogen om bij te laden per huisaansluiting, op basis van 150 dagen per jaar met gemiddeld 4 uur per dag 'overschot' aan zonnestroom en 50 woningen per bron

IV) In geval van bijverwarming met een warmtepomp; COP = 23 bij open systeem, 3 bij systemen als ecovat (door hogere opslagtemperatuur). Natuurlijk kan ook zonder inzet van een warmtepomp en op hoger vermogen elektriciteit worden omgezet naar warmte.

V) Met COP = 9, jaargemiddelde COP = 7. COP berekend op basis van het Carnot-rendement, gecombineerd met een systeemrendement van 55% en een aflevert temperatuur van 45 graden. Ter vergelijking: een warmtepomp die werkt met een aanvoertemperatuur van 11 graden, heeft een COP van ongeveer 5.

BIJLAGE 2:

Een nadere beschouwing van de Energievisie van Natuur & Milieu



Een nadere beschouwing van de Energievisie van Natuur & Milieu

Door: Thomas Winkel, Sam Nierop, Rolf de Vos en Joop Oude Lohuis

Met bijdragen van: Kornelis Blok, David de Jager, en Michael Doering

Datum: mei 2016

Projectnummer: EPONL16265

© Ecofys 2016 in opdracht van: Natuur & Milieu

Inhoudsopgave

1	Samenvatting	1
2	Aanleiding en conclusie	3
3	Beoordeling van de visie en van het ambitieniveau	5
3.1	Klimaatverandering: onder 2°C	5
4	Beoordeling van de versnelling door de Energievisie	7
4.1	Energiebesparing	7
4.1.1	Warmtegebruik	7
4.1.2	Elektriciteitsgebruik	10
4.1.3	Transport	10
4.2	Hernieuwbare energie	12
4.2.1	Warmte	12
4.2.2	Elektriciteit	13
4.3	Industrie: CCS	14
5	Impact analyse	15
5.1	Benodigde investeringen	15
5.1.1	Investeringen in hernieuwbare elektriciteit	15
5.1.2	Investeringen in de warmtevoorziening	16
5.1.3	Investeringen in transport	18
5.1.4	Investeringen in energiebesparing en energie-efficiëntie	19
5.1.5	Investeringen in elektriciteits- en gasnetwerk	19

5.2	Besparingen door vermeden import fossiele energie	20
5.3	Overige kosten en besparingen	20
5.3.1	Vermeden externe kosten	21
5.3.2	Investerings in elektrische infrastructuur en flexibiliteit	22
5.4	Conclusie: investeringen versus vermeden kosten	23
6	De voorgestelde maatregelen	25

1 Samenvatting

Natuur & Milieu heeft Ecofys gevraagd om de Energievisie van Natuur & Milieu te beoordelen op volledigheid, consistentie en haalbaarheid, en inzicht te geven in de economische effecten, de benodigde investeringen en de potentiële baten voor Nederland. Ook hebben we globaal gekeken naar de voorgestelde beleidsmaatregelen. Ter vergelijking meten wij de Energievisie af tegen de Nationale Energieverkenning (NEV), waarin de nationale beleidsagenda (onder andere SER Energieakkoord) in getallen is uitgewerkt.

De Energievisie van Natuur & Milieu stelt een versnelling in emissiereductie voor, met 2035 als richtjaar. Om koers te houden op het beperken van de klimaatverandering tot onder twee graden Celsius gemiddelde mondiale temperatuurstijging, streeft de Energievisie naar 67% minder emissies van broeikasgassen in 2035, te realiseren met onder andere 40% energiebesparing en een aandeel van 55% duurzame energie.

Dat zijn ambitieuze doelen. In vergelijking met de NEV zijn de doelstellingen flink hoger, maar de klimaatdoelstellingen vragen ook om snellere emissiereductie dan met bestaand beleid. De doelen die de Energievisie voorstelt dragen voldoende bij aan wat de Europese Unie zou moeten doen om onder de 2°C temperatuurstijging te blijven. Het potentieel voor de versnelling in Nederland zoals voorgesteld door de Energievisie lijkt ook beschikbaar.

We concluderen tevens dat de voorgestelde beleidsmaatregelen in grote lijnen deze ambities kunnen invullen. In sommige gevallen ontbreekt nog wel de concrete uitwerking van beleidsmaatregelen.

Globale berekeningen van kosten en baten / vermeden kosten bij verschillende maatregelen.

	Kosten per jaar (miljoen euro)	Vermeden kosten per jaar (miljoen euro)	Netto kosten (-) of baten (+) per jaar (miljoen euro)
Hernieuwbare elektriciteit	-2.300		-2.300
Warmtenetten	-922	608	-314
Warmtepompen	-3.817	2.497	-1.321
Hybride systemen / kleinschalige warmtenetten	-2.771	1.233	-1.538
Transport	-40		-40
Energiebesparing	-500		-500
Netverzwaring elektriciteit	-2.113		-2.113
Gastransport		70	70
Vermeden import		3250	3.250
Totaal	-9.623	7.658	-1.965
CO ₂ -prijs opbrengst*		6.500	6.500
Eindtotaal (afgerond)	-12.500	14.150	1.700

* Gemiddeld 50 €/ton CO₂ over de periode tot 2035

Een stevige CO₂-prijs van 100 €/ton, zoals voorgesteld door de Energievisie, brengt de maatregelen in de Energievisie binnen bereik. Die prijs overbrugt grotendeels het verschil in prijs tussen nieuwe

koolstofarme energiebronnen en fossiele brandstoffen. Als daarnaast de opbrengsten van een CO₂-belasting of van de veiling van emissierechten worden gebruikt voor steun aan investeringen in de transitie, is de uitvoering van de Energievisie ook financieel haalbaar, dan is het netto saldo voor de staatskas zelfs positief. Maar voor zo'n hoge CO₂-prijs is wel internationale samenwerking noodzakelijk: liefst mondiaal, anders Europees of desnoods met een aantal landen in Noordwest-Europa.

2 Aanleiding en conclusie

Natuur & Milieu heeft haar visie op de toekomstige energievoorziening van Nederland ontwikkeld. De Energievisie is een blik op een samenleving die maximaal is gebaseerd op slim en efficiënt inzetten van energie, bij voorkeur duurzame energie van eigen bodem. Hierdoor kan Nederland in 2035 een duurzame energievoorziening hebben met een sterk gereduceerde uitstoot van broeikasgassen, in lijn met de afspraken die recentelijk in Parijs op de COP-21 zijn gemaakt.

De Energievisie komt overeen met de volgende doelstellingen voor 2035:

- > 67% minder uitstoot van broeikasgassen dan in 1990;
- > 40% energiebesparing ten opzichte van 2013;
- > 55% hernieuwbare energie.

Aan Ecofys is gevraagd om deze Energievisie te beoordelen op volledigheid, consistentie en haalbaarheid. Deze notitie beschrijft de resultaten van deze beoordeling. Daarnaast is Ecofys gevraagd om inzicht te geven in de economische effecten in termen van investeringen en potentiële baten voor Nederland en om een globale toetsing of de voorgestelde beleidsmaatregelen voldoende zouden zijn voor het invullen van de ambities. Omdat de wereld in twintig jaar aanzienlijk zal (moeten) veranderen, is vooruitkijken omgeven met nogal wat onzekerheden, die het beste kunnen worden geadresseerd met behulp van scenario's. Binnen het bestek van deze opdracht heeft Ecofys een globale toetsing gemaakt.

In deze notitie geven wij allereerst een algemene beschouwing, waarbij we de belangrijkste bevindingen samenvatten. Vervolgens zoomen wij verder in op een aantal onderdelen: CO₂-uitstoot, energiebesparing en hernieuwbare energie. Waar relevant splitsen wij dit nader uit naar de verschillende sectoren en energiedragers. Als rode draad door de analyse loopt een vergelijking tussen de Energievisie van Natuur & Milieu en de recent bijgewerkte Nationale Energieverkenning (NEV) (ECN/PBL/CBS 2015), die de tussenstand van het Energieakkoord geeft. De NEV bevat een verwachting ten aanzien van de invloed van vastgesteld en voorgenomen beleid tot het jaar 2030. Dit scenario kan daarmee worden beschouwd als een referentie. Door deze vergelijking worden het ambitieniveau, de consistentie en haalbaarheid van de Energievisie inzichtelijk gemaakt.

Het tweede deel van deze notitie bevat een indicatieve doorrekening van de economische effecten van de Energievisie. Dit is gedaan voor de volgende aspecten: benodigde investeringen in de warmte – en elektriciteitsvoorziening, investeringen in transport en investeringen in infrastructuur en flexibiliteit. Investerings betreffen eerste orde en bruto inschattingen waarbij macro-economische effecten (b.v. verdringingseffecten in andere, op fossiel-gebaseerde sectoren) buiten beschouwing zijn gelaten. Qua maatschappelijke baten beschouwen wij de emissiereductie van broeikasgassen en de kosten voor vermeden import. Andere maatschappelijke effecten, zoals die van overige emissies worden buiten beschouwing gelaten. Dit is daarmee nadrukkelijk geen maatschappelijke kosten-batenanalyse.

Geconcludeerd kan worden dat de Energievisie ambitieus is. In vergelijking met de NEV is sprake van een flinke versnelling (zie het volgende hoofdstuk). Maar om een redelijke kans te houden op het halen van de klimaatdoelstellingen is het ook noodzakelijk om de CO₂-uitstoot sneller te reduceren dan de NEV voorziet op bestaand beleid. De beleidsmaatregelen die Natuur & Milieu voorlegt zorgen inderdaad voor een versnelling. Die versnelling is nodig om het klimaat niet verder op te warmen dan met gemiddeld 2 graden C.

De Energievisie vraagt ook om een intensivering van de investeringen, maar die kosten voor extra investeringen wegen op tegen de baten. Er wordt namelijk flink bespaard op brandstoffen, vermeden netkosten en andere energiekosten, en ook andere kosten die door het gebruik van fossiele brandstoffen worden veroorzaakt (gezondheid, natuur, klimaateffecten) worden vermeden. Bij een stijgende CO₂-prijs, zoals verondersteld in de Energievisie naar 100 €/ton rond 2030, zijn de meeste investeringen waarschijnlijk rendabel. Hierbij is het van belang dat de inkomsten van het invoeren van CO₂-prijs worden gebruikt voor koolstofarme energie-investeringen.

We concluderen tevens dat de voorgestelde beleidsmaatregelen in grote lijnen deze ambities kunnen invullen. In sommige gevallen ontbreekt nog wel de concrete uitwerking van beleidsmaatregelen.

3 Beoordeling van de visie en van het ambitieniveau

3.1 Klimaatverandering: onder 2°C

In het Klimaatakkoord van Parijs (december 2015) hebben bijna 200 landen afgesproken dat de mondiale temperatuurstijging onder 2 graden Celsius gemiddelde temperatuurstijging moet blijven, en liever niet meer dan 1,5°C. De EU en Nederland hadden eerder al de ambitie en doelstelling uitgesproken om de uitstoot van broeikasgasemissies te verminderen met 80-95% in 2050 (t.o.v. 1990). Als tussendoel heeft Nederland voor 2020 een emissiereductiedoelstelling van 20%, volgend uit het EU beleid. Voor 2030 is er nog geen nationale doelstelling. EU leiders zijn het in het najaar van 2014 eens geworden over een Europese doelstelling van -40% CO₂eq. voor 2030.

Vaststaand en voorgenomen beleid (VV) leiden er naar alle waarschijnlijkheid toe dat de 20% reductiedoelstelling in 2020 gehaald wordt (NEV 2015). Echter, de klimaatzaak die door URGENDA tegen de Nederlandse staat is aangespannen, onderstreept het belang van een hoger ambitieniveau dat noodzakelijk is om op koers te zijn richting 2050; volgens de uitspraak van de rechter minimaal -25% in 2020 en minimaal -40% CO₂ equivalenten in 2030. Voor een faire bijdrage aan het mondiale doel om de temperatuurstijging tot onder de 2 graden te beperken moet Europa als geheel in 2030 ongeveer 55% minder broeikasgassen uitstoten dan in 1990¹.

Er is dus een fors grotere inspanning nodig om efficiënter met onze energie om te gaan en de energievoorziening verder te verduurzamen. De Energievisie leidt tot een vermindering van emissies van broeikasgassen met 67% in 2035 ten opzichte van 1990. Volgens berekeningen van Ecofys houdt de Energievisie van Natuur & Milieu met deze doelstelling Nederland inderdaad op koers richting het jaar 2050 voor een beperkte temperatuurstijging in de 21^{ste} eeuw.

Als de trend van de afgelopen jaren wordt voorgezet, gaat Nederland de CO₂-doelstelling niet halen en stevent het af op -45% in 2050. Om uit te komen op tenminste 80% CO₂ emissiereductie in 2050 moet er na 2030 flink versneld worden. Om in 2030 -55% te halen is al evenzeer een versnelling nodig. We zouden het pad richting 2050 daarom kunnen typeren als 'vertraagde actie', waarbij de onzekerheid ten aanzien van het halen van de doelstelling en de kosten daarvan sterk toeneemt.

De Energievisie van Natuur & Milieu leidt zoals gezegd tot 67% CO₂ emissiereductie in 2035. Dit is behoorlijk veel strenger dan de voorlopige EU-doelstelling van -40% in 2030 (geëxtrapoleerd naar 2035) en ook sneller dan de huidige EU-invulling van klimaatdoelstellingen (minimaal 80% minder emissies in 2050). Hierin is de 1,5°-intentie van Parijs nog niet verwerkt.

¹ (bron: http://ec.europa.eu/clima/consultations/docs/0020/organisation/ecofys_en.pdf)

Als de doelen van de Energievisie worden gehaald leidt dat met vrij grote zekerheid tot het halen van de lange-termijn doelstellingen, waarmee voorkomen wordt dat we als samenleving op het laatste moment nog alle zeilen bij moeten zetten, tegen naar alle waarschijnlijkheid hogere kosten².

In de hoofdstukken die volgen gaan we nader in op de mogelijkheden van energiebesparing en hernieuwbare energie.

² https://www.ipcc.ch/pdf/assessment.../ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_full.pdf

4 Beoordeling van de versnelling door de Energievisie

4.1 Energiebesparing

Energiebesparing en het efficiënt gebruik van energie zijn belangrijke ingrediënten van een koolstofarme energiehuishouding. Naast de klimaatbaten, geldt dat elke eenheid energie die we besparen leidt tot vermeden uitgaven, niet alleen voor de energie zelf, maar ook voor eventuele netwerkverzwaringen en in sommige gevallen ook in eventuele flexibiliteitsmaatregelen.

De afgelopen jaren is het energiegebruik in Nederland gedaald. Op basis van bestaand en voorgenomen beleid is de verwachting dat deze trend zich doorzet en er een verdere ontkoppeling plaatsvindt tussen economische groei en het energiegebruik. In de periode 2000-2010 bedroeg het gemiddelde besparingstempo 1,1 procent per jaar. Bij uitvoering van het vastgestelde en voorgenomen beleid zal het tempo in de periode 2013-2020 naar verwachting stijgen naar ongeveer 1,5 procent per jaar. Hiermee wordt het Nederlandse energiebesparingsdoel volgens de Europese richtlijn energie-efficiëntie gehaald (1,5% per jaar in de periode 2014-2020). Voor de periode na 2020/23 – 2030 is er nog geen beleid en zijn er nog geen doelstellingen vastgesteld. Bij huidig beleid is een zeer geringe daling van het gebruik voorzien.

De Energievisie van Natuur en Milieu levert grofweg 40% energiebesparing op in 2035. Daarmee gaat de Energievisie dus verder dan de hierboven beschreven projecties bij vaststaand en voorgenomen beleid en verder dan een mogelijke Nederlandse energiebesparingsdoelstelling voor 2030 die volgt uit EU afspraken (bijvoorbeeld 27%)³. Echter, om op het pad te blijven richting de noodzakelijke CO₂-emissiereductie die de agenda beoogt, is deze forse inzet op energiebesparing nodig en, met stringent beleid, ook haalbaar.

Hieronder gaan we nader in op warmte- en elektriciteitsgebruik en het energiegebruik door transport.

4.1.1 Warmtegebruik

Inleiding

De Energievisie beoogt een totale besparing op het warmtegebruik van 440 PJ in de periode 2013 – 2035. Dit komt overeen met 36% besparing. Deze besparing is nodig om op het juiste pad te blijven qua CO₂-emissiereductie en valt binnen schattingen van het technische warmte-reductiepotentieel.

³ Een Nederlandse doelstelling voor energiebesparing voor 2030 is er nog niet. EU-leiders zijn het in oktober 2014 eens geworden over een indicatieve doelstelling van 27% energiebesparing in 2030 (het gaat hierbij om besparing ten opzichte van het in 2007 geraamde energiegebruik voor het jaar 2030). Het is momenteel onduidelijk wat dit betekent voor de lidstaten en welk beleid dit mogelijk kan maken of afdwingen. De mate van ambitie van deze doelstelling is laag en verwaterd ten opzichte van eerdere voornemens (30% besparing was de originele inzet van de EC).

Uit een literatuurstudie van recente onderzoeken blijkt namelijk dat er in Nederland nog steeds een groot technisch potentieel aanwezig is (260 PJ warmtebesparing in 2020) (CE Delft 2014). Robuuste schattingen voor 2030 voor Nederland zijn er niet, maar het is aannemelijk dat het potentieel in 2030 groter is dan in 2020 en dat de totale voorgenomen besparing in de Energievisie daar dan ook binnen valt.

Hieronder gaan we in meer detail in op warmtebesparing in de gebouwde omgeving, de industrie en in de landbouw.

Gebouwde omgeving

De Energievisie beoogt energiebesparing te realiseren door middel van i) grootschalige uitrol van isolatie, daardoor ii) significante vermindering van het gasgebruik, iii) een toename van warmte uit hernieuwbare bronnen en iv) de uitrol van warmtenetten (met grote inzet van hernieuwbare energie)⁴.

Dit moet leiden tot een besparing van 40% op warmte in de gebouwde omgeving in 2035 (t.o.v. 2013). Ter vergelijking: vastgesteld en voorgenomen leidt tot maximaal 9% in 2030. Zie tabel 1. Studies over de potentiëlen voor warmtevraagreductie in de gebouwde omgeving voor de periode na 2020 zijn niet beschikbaar.⁵

Industrie

De industrie laat de laatste jaren een daling van het energiegebruik zien (voor zowel elektriciteit als warmte). Dit is mede het gevolg van de economische teruggang. De verwachting is dat het gebruik tot 2030 verder daalt bij vastgesteld en voorgenomen beleid (van 514 PJ in 2013 naar 491 PJ in 2030). Energiebesparingsbeleid voor de industrie is tot dusver matig effectief geweest en lange-termijn doelstellingen ontbreken momenteel.

De Energievisie gaat uit van een 33% warmtebesparing in de industrie (zie tabel 1). Dit leidt tot een totaal gebruik van 360 PJ in 2035 (gemiddeld 8 PJ per jaar in de periode 2013 – 2035). Het nationale en EU beleid zal hiervoor sterk moeten worden geïntensiveerd. Er is echter een groot energiebesparingspotentieel in de industrie aanwezig. In een recente studie voor EiiF heeft Ecofys bijvoorbeeld becijferd dat er alleen al qua isolatie in de industrie een kosteneffectief potentieel van 24 PJ/jaar aanwezig is.⁶ Dit illustreert dat de Energievisie van Natuur en Milieu haalbaar is en tegen beperkte netto kosten. Het totale technische warmtebesparingspotentieel in de industrie wordt geschat op 126 PJ primaire energie in 2020. Studies voor de periode hierna zijn niet voorhanden.

⁴ 45% all-electric: warmtepomp; 25% kleinschalige warmte; WKO + warmtepomp en 5% gas bijstook; 20% grootschalig warmtenet: gemiddeld 47,5% restwarmte, 47,5% geothermie (oid), 5% gas bijstook, resterend 10% gas.

⁵ Voor het jaar 2020 heeft CE Delft berekend dat het warmtebesparingspotentieel in primaire energietermen, 90 PJ is (CE Delft 2014).⁵

⁶ <http://www.eiif.org/awm/downloads/Industrial%20Insulation%20Factsheet%20Netherlands.pdf>

Landbouw

De landbouwsector in Nederland laat de laatste jaren een dalende trend in het energiegebruik zien. Het is de verwachting dat vaststaand en voorgenomen beleid leiden tot een stabilisatie en mogelijk lichte daling van het energiegebruik (NEV 2015). De Energievisie beoogt energiebesparingen op warmte in de landbouw van in totaal 30% in 2035 (t.o.v. 2013). Zie Tabel 1 hieronder. Met name de glastuinbouw is momenteel verantwoordelijk voor een groot deel van het gebruik in de landbouw. Verdere toepassing van duurzame en energiezuinige kassen kan dan ook een belangrijke bijdrage leveren aan een verdere afname van het gebruik. Het energiebesparingspotentieel in andere deelsectoren wordt kleiner geacht. Het totale warmtebesparingspotentieel in de landbouw wordt geschat op 40 PJ (voor 2020) (CE Delft 2014) en betreft met name vraagvermindering en een toenemende inzet van WKK en hernieuwbare bronnen. De Energievisie blijft binnen dit potentieel.

Tabel 1 Vergelijking van het warmtegebruik in de verschillende sectoren (PJ bruto eindgebruik).

Huidig en toekomstig gebruik zoals verwacht door de NEV VV en de Energievisie

Warmte	2013 NEV	2030 NEV	% verandering (NEV 2013/2030)	2013 N&M	2035 N&M	% verandering (N&M 2013/2035)
Gebouwde omgeving						
Huishoudens	320	286	-11%	360	210	-42%
Utiliteit ⁷	140	131	-6%	210	140	-33%
Industrie	514	491	-4%	540	360	-33%
Landbouw	95	93	-2%	100	70	-30%
Totaal	1230	1001	-6%	1230	790	-36%

Beleidsmaatregelen

De Energievisie stelt enkele maatregelen voor die kunnen bijdragen aan het realiseren van de ingrijpende besparing. Die maatregelen zijn niet stuk voor stuk doorgerekend maar dragen wel bij. Enkele kwalitatieve opmerkingen:

- De Energievisie stelt een transitieplan voor de gebouwde omgeving voor waarin gemeenten en netbeheerders de beste warmte-oplossing per wijk uitwerken. Dat is een lastig traject, zo blijkt uit vele ervaringen. Maar daarin schuilt wel veel potentieel voor een infrastructuur op maat, met lagere emissies.
- In de gebouwde omgeving blijven veel lucratieve besparingsmaatregelen toch achterwege. Een verplichte minimumnorm zoals voorgesteld maakt energiebesparing in woningen en gebouwen minder vrijblijvend en vrijwillig, wat de ambities overigens nog niet meteen haalbaar maakt.
- De Energievisie bevat enkele kernelementen die restwarmte een veel grotere rol toedichten in de energievoorziening, zoals een ondersteunend beleidskader. Maar het biedt nog geen volledig en uitgewerkt plan.
- De Energievisie biedt enkele indirecte maatregelen om de sectoren industrie en landbouw sneller te laten besparen, vooral door middel van nationale uitvoeringsagenda's met beleidsmaatregelen per sector.

⁷ Diensten en Overheid + Waterbedrijven en afvalbeheer

4.1.2 Elektriciteitsgebruik

Het is de verwachting dat het aandeel elektriciteit in de totale energievraag de komende jaren verder gaat toenemen. Terwijl het aandeel elektriciteit in de totale energievoorziening stijgt, blijft het totale gebruik van elektriciteit volgens vaststaand en voorgesteld beleid nagenoeg gelijk (NEV 2015). Terwijl de NEV besparingen voorziet bij huishoudens (als gevolg van meer energiezuinige apparaten), zien andere sectoren hun absolute elektriciteitsgebruik toenemen (zie tabel 2).

De Energievisie gaat uit van besparingen op elektriciteitsgebruik in alle sectoren, maar tegelijkertijd een verschuiving van andere energiebronnen naar elektriciteit. Samen leidt dit tot een totale toename van 11% (2035 t.o.v. 2013) in het elektriciteitsgebruik. Er zullen hiervoor energiebesparingsmaatregelen moeten worden genomen in utiliteitsgebouwen, de industrie en de landbouw. Deze besparingen kunnen worden gerealiseerd door energiezuinigere apparaten (inclusief verlichting). Tegelijkertijd vindt een extra vraag naar elektriciteit plaats voor het aandrijven van warmtepompen, laden van elektrische voertuigen en omzetting naar andere energiedragers (bijvoorbeeld waterstof).

De Energievisie biedt relatief weinig nationale beleidsmaatregelen gericht op elektriciteitsbesparing. Europa (Ecodesign) en de lopende convenanten bieden perspectief. We hebben niet uitgezocht of deze in de praktijk voldoende effect sorteren.

Tabel 2 Vergelijking van het elektriciteitsgebruik in de verschillende sectoren (PJ bruto eindgebruik). Huidig en toekomstig gebruik zoals verwacht door de NEV VV en de Energievisie.

Elektriciteitsgebruik (PJ _e)	2013	2030 NEV	% verandering (NEV 2030 tov 2013)	2035 N&M	% verandering (N&M 2035 tov 2013)
Gebouwde omgeving					
Huishoudens	84	71	-15%	110	+33%
Utiliteit	125	129	+3%	120	-3%
Industrie	126	134	+6%	110	-13%
Landbouw	28	41	+17	27	-4%
Transport (direct stroom of via waterstofomzetting)	6	12	+100	72	+1200%
Totaal	417	421	+1%	489	+18%

4.1.3 Transport

Het energiegebruik door transport is de afgelopen jaren licht toegenomen, maar deze trend lijkt te keren. Voor de periode 2013 – 2020 wordt bij vaststaand en voorgenomen beleid (NEV) een energiebesparingstempo van gemiddeld 0,8% per jaar, en 0,9%/jaar in de periode 2020 – 2030. Omdat is aangenomen dat het totale vervoer toeneemt, leidt dit niet tot een absolute besparing, maar tot een stabilisatie van het energiegebruik in de periode tot 2030.

De Energievisie streeft naar een afname van de energievraag voor transport van tenminste 210 PJ in de periode 2013 – 2035 (van grofweg 510, naar 300 PJ per jaar, zie Tabel 3). Dit brengt Nederland volgens berekeningen door Ecofys op het pad richting 80-95% emissiereductie in 2050 (Ecofys 2014).⁸ Deze sterke afname van het energiegebruik van transport kan volgens de eerdere analyse van Ecofys, worden gerealiseerd door:

- Continue en sterke efficiëntieverbetering van voertuigen en hun motoren (Energievisie richt zich op CO₂-normen);
- Vergaande elektrificatie van het wegvervoer (personen, licht vrachtvervoer), grotendeels gebaseerd op hernieuwbare bronnen (Energievisie neemt dit ook op);
- Inzet van biobrandstoffen in luchtvaart en scheepvaart (mits duurzaam en ILUC-vrij); ook genoemd door Energievisie.

Hiervoor zijn tenminste de volgende aanvullende maatregelen nodig:

- Vermindering van de transportvraag (zit ook al in de Energievisie);
- Logistieke en operationele innovaties, beter benutten van capaciteit;
- Meer elektrificatie van, en mogelijk gebruik van waterstof in zwaar wegvervoer en mobiele werktuigen;
- Scheepvaart en luchtvaart: gebruik van walstroom en gate-stroom.

Tabel 3 Samenvattende tabel: Totaal energiegebruik transport per energiedrager in 2013, in 2030 volgens de NEV, vergeleken met het verbruik in 2035 volgens de N&M Energievisie (in PJ bruto eindgebruik).

Energiegebruik (PJ)	2013	2030 NEV	% verandering (NEV 2030 tov 2013)	2035 N&M	% verandering (N&M 2035 tov 2013)
Elektriciteit	6.3	12	+90%	59	+837%
Biobrandstoffen*	12.9	33.7	+161%	10	-22%
Aardgas	1.1	4.5	+309%	0	-100%
Olie en overig niet-hernieuwbaar	492	442	-10%	221	-55%
Waterstof	0	0		13	
Totaal	513	492	-4%	303	-41%

* Natuur & Milieu hanteert 52 PJ in 2030 voor internationale lucht- en scheepvaart, deze valt buiten de scope van deze doorrekening.

⁸ https://www.natuurenmilieu.nl/media/1445382/n_m_rapport_duurzame_brandstoffen.pdf

4.2 Hernieuwbare energie

De verbranding van fossiele brandstoffen is een belangrijke oorzaak van klimaatverandering. Een toekomstige en klimaatbestendige energiehuishouding is daarom CO₂-arm en grotendeels gebaseerd op hernieuwbare bronnen, waarbij deze energie slim en efficiënt wordt ingezet.

Nederland heeft de doelstelling om in 2020 een aandeel van 14% hernieuwbare energie te realiseren (16% in 2023 volgens het SER-Energieakkoord). De ontwikkeling van hernieuwbare energie laat de afgelopen jaren een versneld stijgende trend zien. Volgens de laatste prognoses in de Nationale Energieverkenning (NEV 2015) haalt Nederland haar doelstelling voor 2020 echter waarschijnlijk niet. Vaststaand en voorgenomen beleid leiden tot een aandeel hernieuwbare energie van rond de 12%, oplopend naar 18-19% in 2030.

Voor de periode na 2023 zijn er (nog) geen doelstellingen en is het beleid onderontwikkeld. De EU heeft de ambitie om een doelstelling van 27% hernieuwbare energie in 2030 voor de EU als geheel te stellen. Een vergelijkbare toename van 7% in de periode 2020-2030 zou voor Nederland neerkomen op een hernieuwbaar energieaandeel van 21% in 2030 (en grofweg 25% in 2035 bij dezelfde trend). Realistisch en naar de huidige verwachtingen zal een mogelijk (indicatief) doel voor Nederland liggen tussen de 19-24%⁹. Natuur & Milieu pleit in haar Energievisie voor een aandeel van ongeveer 55% hernieuwbare energie in de totale energievraag in 2035 (~45% in 2030)¹⁰. Hiermee is de Energievisie stukken vooruitstrevender. Het totale technische potentieel is veel groter, maar een versnelde uitrol van hernieuwbare energie vraagt om aanvullend beleid om met name de barrières op financieel en ruimtelijk vlak te mitigeren.

4.2.1 Warmte

Voor wat betreft het verduurzamen van de warmtevoorziening, streeft de Energievisie naar een sterke toename van bodem- en buitenluchtenergie (warmtepompen), biomassa, gecombineerd met duurzame elektriciteit voor de verwarming van gebouwen. Gas en olie nemen qua gebruik sterk af. Warmtenetten spelen een belangrijke rol in de ontsluiting van duurzame warmtebronnen (met name geothermie) en dekken grofweg 20% van alle huishoudens en 10% van de utiliteitsgebouwen is aangesloten op dergelijke netten. De industrie ziet een verschuiving van gas en restwarmte, naar bodemenergie, duurzame elektriciteit en biomassa.

De Energievisie stelt minimum energienormen in de bestaande bouw voor. Gemeenten krijgen een regierol in wijktransities, er komen nieuwe subsidie- en stimuleringsregelingen en energiebelasting krijgt een gerichtere rol. Samen met de vijfjaarlijkse uitvoeringsplannen op nationaal niveau kunnen deze maatregelen fors bijdragen aan de beoogde transitie, maar dat vraagt om een goede uitwerking en het vraagt ook veel van gemeenten en individuele woningeigenaren (goede wil, mankracht, campagnes, communicatie en informatie, marktinitiatieven, voorfinanciering, et cetera).

⁹ Dit hoort volgens de Impact Assessment bij een Europees doel voor niet-ETS van 40% (met daarbij 27 hernieuwbaar EU-breed), de 26% hoort bij een Europees doel voor hernieuwbaar van 35%.

¹⁰ Op basis van 1912 PJ totale energievraag en 917 PJ aan hernieuwbare energie. Beide in termen van bruto eindgebruik.

4.2.2 Elektriciteit

Voor de elektriciteitsvoorziening zet de Energievisie met name in op windenergie (25 GW, versus 11 GW bij vaststaand en vastgesteld beleid), op zon-pv (40 GW, versus 17 GW bij vaststaand en voorgenomen beleid). Elektriciteit uit kolen wordt in de Energievisie volledig uitgefaseerd terwijl het aantal gascentrales sterk afneemt en beperkt blijft tot WKK-installaties in de industrie, landbouw en utiliteit. Wind op land is goed voor 8 GW (2 GW bovenop SER Energieakkoord afspraken voor 2023) en wordt gezien als een maximaal inpasbare en maatschappelijk geaccepteerde hoeveelheid, in combinatie met slimme ruimtelijke inpassing en opschaling van turbines.¹¹ Het technische potentieel is vele malen groter, maar is dus beperkt door de maatschappelijke acceptatiegraad en de bevolkingsdichtheid.

De totale capaciteit van wind op zee komt in de Energievisie op 17 GW in 2035. Dit vraagt om een verviervoudiging van de capaciteiten die op basis van huidig en voorgenomen beleid verwacht kunnen worden. De haalbaarheid hiervan hangt nauw samen met de kostenreducties die de komende jaren door de sector bewerkstelligd kunnen worden en een toenemende samenwerking tussen landen voor de uitrol van het net op zee. Het is een relatief klein deel van het (realistische) technische potentieel op het Nederlandse deel van de Noordzee (80 GW). Ook in vergelijking tot de aangekondigde Duitse ambitie voor 2030 van tenminste 15 GW, is 17 GW in Nederland in verhouding. 17 GW in 2035 ligt ook redelijk in het verlengde van de EWEA scenario's (12-13 GW in 2030).¹²

Zon-PV neemt in de Energievisie sterk toe van 1,5 GW in 2013, naar 40 GW in 2035. 40 GW komt ongeveer overeen met minder dan een kwart van het geschatte potentieel.¹³ Verdere kostenreducties zijn van doorslaggevend belang voor de realisatie van zon-pv en de snelheid waarmee dit gebeurt. Terwijl het de verwachting is dat de prijzen blijven dalen, zal dit niet met dezelfde hoge snelheid gebeuren als de afgelopen jaren.

Elektriciteitsopwekking uit aardgas wordt in de Energievisie grotendeels uitgefaseerd, met uitzondering van WKK-installaties in de industrie, landbouw en utiliteit, die naast warmte ook elektriciteit produceren.

De Energievisie voorziet de volgende maatregelen:

- > Het sluiten van de kolencentrales;
- > Het invoeren van een minimum CO₂-prijs oplopend naar 100 €/ton;
- > Stimuleringsmaatregelen zoals SDE+ en vrijstelling energiebelasting voor eigen opwekking;
- > Gerichte innovatie voor bijvoorbeeld wind op zee en smart grids;
- > Versnelling van wind op zee, gecombineerd met draagvlak en samenwerking zoals nodig voor wind op land.

¹¹ Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) 2011, Naar een schone economie in 2050, routes verkend

¹² EWEA (2015) WIND ENERGY SCENARIOS FOR 2030. <http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/EWEA-Wind-energy-scenarios-2030.pdf>

¹³ Op basis van het beschikbare en geschikte dakoppervlak in Nederland en na correctie voor beperkende factoren. Vreugdenhil 2015. Een studie naar de potentie van PV in Nederland. Corné Vreugdenhil. Student WUR – stagiair DNV GL – in samenwerking met PBL

Globale toetsing van deze maatregelen leert dat deze minimaal nodig zijn om de doelstellingen te halen. Maar ook hier geldt weer: de details in de uitwerking en toekomstige marktontwikkelingen maken het verschil tussen succes of falen van de maatregelen. De hoogte van de CO₂-prijs zal hier een bepalende factor zijn. In samenhang daarmee: de uitrol van windenergie op zee hangt ook sterk samen met de verdere kostenreductie die daar wordt gerealiseerd, en of de CO₂-prijs voor een concurrerende positie voor offshore wind kan zorgen. En hoe snel kunnen innovaties zo ver worden ontwikkeld dat ze ook een substantiële bijdrage kunnen leveren? Daarnaast vragen de opzet en regulering van de elektriciteitsmarkt in (Noordwest) Europa om speciale aandacht. De systemen en markten voor de afstemming van vraag en aanbod (in tijd en plaats) en daarmee de flexibiliteit van het elektriciteitssysteem zullen verder moeten worden ontwikkeld. Deze ontwikkeling moet de verdere uitrol van hernieuwbare bronnen ondersteunen.

Tabel 4 Geïnstalleerde capaciteiten (MW) voor elektriciteit en vergelijking van huidige situatie (2013), bij vaststaand en voorgenomen beleid (2030 NEV) en volgens de Energievisie (2035 N&M). De capaciteiten zijn niet opgeteld, omdat de bedrijfstijden van de verschillende bronnen te veel verschillen en de bronnen nooit allemaal tegelijk leveren.

	2013	2030 NEV	2035 N&M
Hernieuwbaar			
Wind op land	2.628	6.696	8.000
Wind op zee	352	4.253	17.000
Zon-pv	1.533	17.320	40.000
Biomassa	451	492	3.000
Overig hernieuwbaar	2.669	6.743	n/a
Gas (WKK, STEG, gasturbine, gasmotor)	14.749	13.712	595 ¹⁴
Kolen	9.848	7.205	0

4.3 Industrie: CCS

Daarnaast ziet de Energievisie op langere termijn ook mogelijkheden tot opslag van CO₂ uit de industrie (CCS, Carbon Capture and Storage). Ter vergelijking: CCS in de industrie in en om de Rotterdamse haven en het Botlek-gebied heeft een potentieel van 5,5 miljoen ton CO₂ emissiereductie per jaar¹⁵. Indien de industriële partijen die CCS toepassen ook biomassa gebruiken voor hun warmtevraag (de Energievisie ziet ruimte tot 30 PJ, in boilers), dan zou dat zelfs negatieve emissies mogelijk maken (CO₂ uit de lucht halen).

Momenteel maakt CCS echter een moeizame ontwikkeling door, zeker in Europa. Demonstratieprojecten komen moeizaam of niet van de grond. Grootschalige toepassing is daarom niet voor 2030/2035 te verwachten.

¹⁴ 15 PJ elektrische output. 595 MW is berekend op basis van 7000 vollasturen.

¹⁵ <http://www.rotterdamclimateinitiative.nl/documents/CO2%20capture%20and%20storage%20in%20Rotterdam%20-%20a%20network%20approach%202011.pdf>

5 Impact analyse

De verwezenlijking van de Energievisie van Natuur & Milieu zal de komende decennia om forse publieke en private investeringen vragen. Tegelijkertijd worden hiermee kosten vermeden; bijvoorbeeld voor de gevolgen van klimaatverandering, of brandstoffen en elektriciteit die anders geïmporteerd had moeten worden, of gasnetten die niet hoeven te worden aangelegd. Hieronder beschouwen we ten eerste de benodigde investeringen en maken we een eerste schatting van de vermeden kosten.

5.1 Benodigde investeringen

Een gedeelte van de benodigde investeringen voor het realiseren van de doelen in de Energievisie ligt al besloten in huidig en voorgenomen beleid. Om een realistische inschatting te geven van de benodigde maatschappelijke investeringen voor de Energievisie berekenen wij in deze analyse daarom de benodigde *additionele* investeringen voor het N&M scenario ten opzichte van het NEV VV scenario 'vastgesteld en voorgenomen beleid'. Omdat het NEV-scenario als referentiejaar 2030 gebruikt, extrapoleren wij de data lineair vanuit dit jaar naar 2035. De genoemde prijzen zijn 2013 prijzen.

5.1.1 Investerings in hernieuwbare elektriciteit

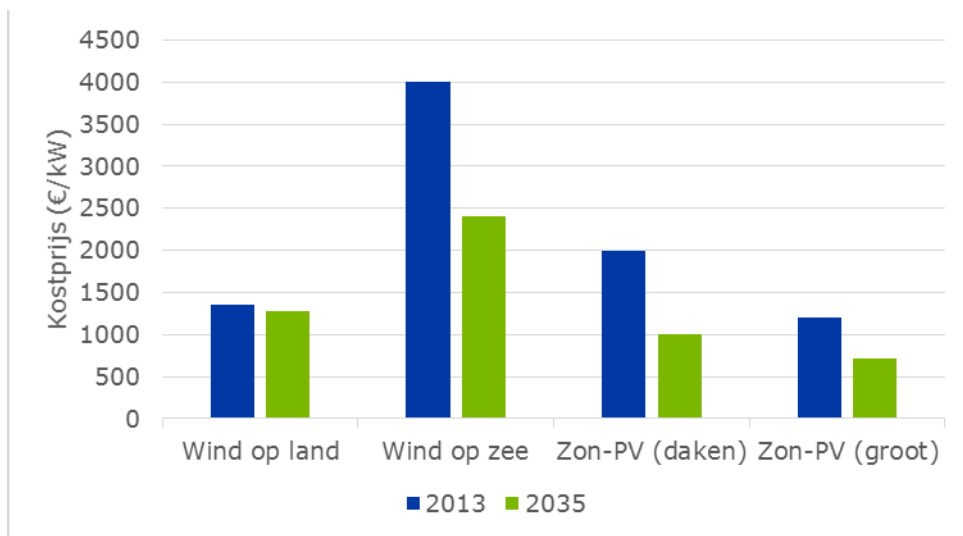
Ecofys schat de benodigde additionele investeringen voor het realiseren van de capaciteiten zoals deze volgen uit de Energievisie in 2035 als volgt in: € 0,1 miljard voor wind op land, € 14 miljard voor wind op zee, € 21 miljard voor zon-pv¹⁶ (alle tussen 2020 en 2035), dus gemiddeld ongeveer € 2,3 miljard per jaar. Met name de benodigde investeringen in zon-pv en wind op zee zijn significant. Dit komt door de forse inzet hierop in de Energievisie (pv: 40 GW versus 21 GW volgens de extrapolatie vanuit NEV, wind op zee 17 GW versus 5,4 GW, zie vorige paragraaf).

Tabel 5 Inschatting van de benodigde investeringen tot 2035 voor wind op land, wind op zee en zon-pv. Additioneel ten opzichte van vaststaand en voorgenomen beleid. Ecofys 2015, deze studie.

	Investering (miljard €)
Wind op land	0,1
Wind op zee	14
Zon-PV (klein < 15 kW)	11
Zon-PV (groot > 15 kW)	10

¹⁶ Zon-pv vermogen is door Ecofys uitgesplitst in een gedeelte dat door veelal huishoudens op daken wordt gelegd met een capaciteit kleiner dan 15 kW (wij nemen aan dat dit 40% van de additionele capaciteit is) en grotere systemen groter dan 15 kW (wij nemen aan dat dit 60% van de additionele capaciteit is). Dit is van belang omdat grotere systemen relatief goedkoper zijn.

Als basis voor de getallen van 2013 gebruiken we de ramingen van ECN in het kader van de SDE voor het jaar 2013.¹⁷ Kleine zon-PV systemen ontbreken in deze ramingen: getallen hiervoor zijn gebaseerd op getallen van Milieu Centraal voor 2013 voor een systeem van 2,5 kW¹⁸. Wij gaan ervan uit dat de dalende trend in kosten van hernieuwbare energie zich ook in de komende decennia doorzet. Voor het jaar 2035 zijn de kostendalingen geschat op een rapport van de National Renewable Energy Laboratory (2015 NREL Standard Scenarios Annual report: US Electric Sector Scenario Exploration).



Figuur 1 Verwachte kostprijsontwikkelingen wind op land, wind op zee en zon-pv. Ecofys 2015 op basis van verschillende bronnen.

De totale investeringskosten zijn vervolgens berekend door 2/3 van de investeringskosten per kW in het jaar 2013 en het jaar 2035 te nemen (zie Figuur 1) en deze te vermenigvuldigen met de additionele capaciteit. We veronderstellen dus dat het merendeel van de extra capaciteit wordt geïnstalleerd tegen kosten die meer richting die van 2035 gaan. De kosten voor een net op zee zijn hierin meegenomen, aanpassingen elders in de energie-infrastructuur niet.

5.1.2 Investerings in de warmtevoorziening

Warmtenetten

Ten aanzien van warmte voorziet de Energievisie ten eerste in investeringen in warmtenetten, zodanig dat 20% van de huishoudens en 10% van de utiliteitsgebouwen op een warmtenet worden aangesloten c.q. gebruikt maken van geothermie dat via een warmtenet geleverd wordt.

¹⁷ <https://www.ecn.nl/nl/projecten/sde/hernieuwbare-energie-projecten/#c11429>

¹⁸ <http://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/zonnepanelen/zonnepanelen-kopen/kosten-en-baten-van-zonnepanelen/>

Op basis van onderzoeksresultaten uit het Ecofys rapport 'De systeemkosten van warmte voor woningen' (Ecofys 2015), komen wij op een bedrag van € 11,2 miljard om ongeveer 1 miljoen extra huishoudens met standaard geïsoleerde huizen aan een warmtenet aan te sluiten en de bijbehorende netten te bouwen. De kosten voor warmtenetten in utiliteitsgebouwen zijn naar analogie van de huishoudens berekend op ongeveer € 12,5 miljard.

Hiermee worden wel kosten voor een gasaansluiting vermeden. Voor 1 miljoen woningen bedragen die kosten ongeveer € 5,3 miljard, voor de 50 duizend utiliteitsgebouwen ongeveer € 0,5 miljard – beide over een periode van 40 jaar. Daarnaast spaart dat HR-ketels. Gerekend met een gemiddelde levensduur van 15 jaar en een aanschafprijs van € 2000 per stuk, besparen een miljoen aansluitingen op een warmtenet ongeveer € 2 miljard. Naar evenredigheid besparen utiliteitsaansluitingen ongeveer € 0,7 miljard.

Omgerekend naar jaarkosten¹⁹, dan gaat het om ongeveer € 0,9 miljard aan investeringen tegenover € 0,6 miljard aan vermeden kosten, dus netto € 0,3 miljard per jaar.

Warmtepompen

Ten tweede zal volgens de Energievisie 45% van de huishoudens op warmtepompen overgaan, waarvan 80% lucht-water warmtepompen en 20% water-water warmtepompen. Uitgaande van een gemiddelde prijs van € 5.000 voor een lucht-water warmtepomp en een gemiddelde prijs van € 15.000 voor een water-water warmtepomp betekent dit dat ongeveer € 24 miljard benodigd is.²⁰ Voor utiliteit komen wij op basis van kentallen per vloeroppervlakte voor WKO systemen uit op circa € 5,4 miljard. Daarbij nemen wij aan dat de kosten voor dergelijke systemen ongeveer gelijk blijven tot 2035 (conservatieve schatting).

Deze investeringen komen in de plaats van gasaansluitingen en HR-ketels. Bij deze woningen bespaart dat in totaal ongeveer € 7,5 miljard aan kosten voor HR-ketels, en in de utiliteitsbouw naar evenredigheid ongeveer € 4,4 miljard. De vermeden kosten voor de gasaansluiting zelf bedragen ongeveer € 20 miljard voor de 3,8 miljoen woningen en voor de 190 duizend utiliteitsgebouwen ongeveer € 2 miljard (over een periode van 40 jaar).

Teruggerekend naar jaarkosten, gaat het om ongeveer 3,8 miljard aan investeringen tegenover 2,5 miljard aan vermeden kosten, dus netto 1,3 miljard per jaar. Hierin zijn eventuele besparingen door lagere energielasten nog niet opgenomen.

¹⁹ Op basis van de annuïteitsfactoren zoals in het rapport 'De systeemkosten van warmte': <http://www.ecofys.com/nl/publications/hoe-beinvloeden-technologiekeuzes-in-woningen-de-toekomstige-kosten/>

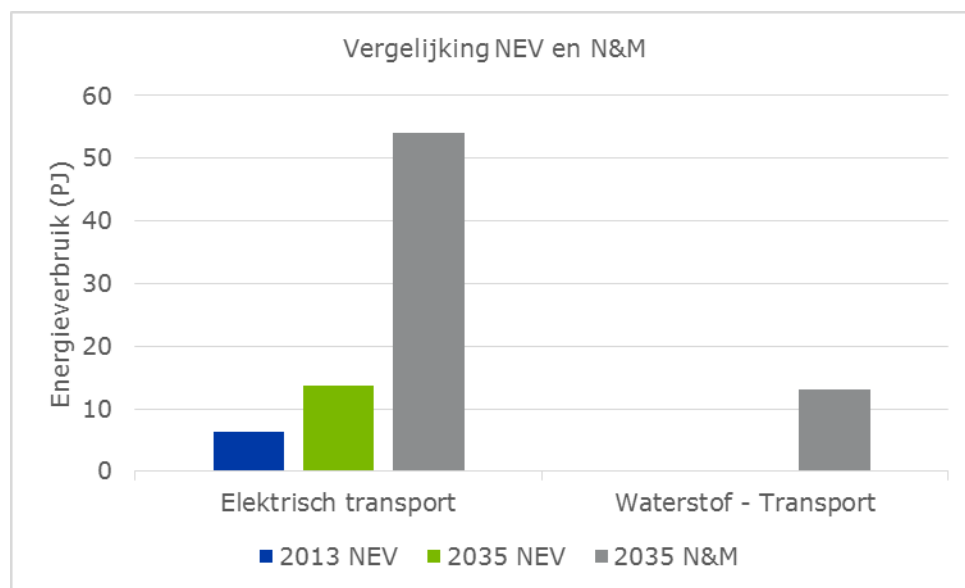
²⁰ De prijzen zijn inclusief installatiekosten

Hybride systemen/kleinschalige warmteopslag

De Energievisie voorziet ook in kleinschalige warmtenetten met opslag of warmtepompen, met een collectieve warmtebron. Hier is sprake van kosten voor een kleinschalige warmtenet en een WKO-systeem. Voor 2 miljoen woningen en 50 duizend utiliteitspanden gaat om zo'n € 30 miljard. Daarmee worden opnieuw een HR-ketel en gasaansluiting vermeden, ter waarde van € 17 miljard (over 40 jaar). Per jaar gaat het om netto ongeveer € 1,5 miljard aan kosten.

5.1.3 Investerings in transport

De Energievisie voorziet in investeringen in elektrisch transport en waterstof. In onze analyse bezien wij alleen welke investeringskosten nodig zijn om de hiervoor benodigde infrastructuur aan te leggen, te weten elektrische laadpunten en tankstations voor waterstof. Investerings in voertuigen zijn veelal van private aard. Om de markt op gang te brengen zijn prijsprikkels en stimuleringsprogramma's noodzakelijk. Bovendien vraagt dit om investeringen in fietsinfrastructuur, benodigde innovatie voor de vrachtsector en ontwikkeling van geavanceerde biobrandstoffen.



Figuur 2 Energiegebruik door transport in 2013 en volgens de NEV en de Energievisie

De ongeveer 40 PJ additionele hoeveelheid elektrisch transport (met name personenauto's) betekent investeringen in de infrastructuur van ongeveer € 1,2 miljard (op basis van kentallen uit een rapport van IRENA (2013)).²¹ Deze kosten kunnen wellicht nog gereduceerd worden door te kiezen voor meer verhoudingsgewijs goedkopere 'snelle' laadpalen. Voor waterstof (met name voor vrachtverkeer) komen wij op basis van de 13 PJ additionele capaciteit op grofweg € 0,1-0,3 miljard aan extra investeringen. Voor transport als geheel komen we hiermee op jaarlijkse kosten van € 20-40 miljoen.

²¹ http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/Road_Transport.pdf

Tabel 6 Inschatting van de benodigde investeringen tot 2035 voor elektrisch en waterstofvervoer. Additioneel ten opzichte van vaststaand en voorgenomen beleid. Ecofys 2015, deze studie.

Transportvorm	Investering (Miljard €)
Elektrisch	1,2
Waterstof	0,3

5.1.4 Investeringskosten in energiebesparing en energie-efficiëntie

De Energievisie gaat ervan uit dat de energie-efficiëntie van huishoudens en utiliteit meer zal toenemen dan op dit moment voorzien wordt op basis van vaststaand en voorgenomen beleid (NEV). Hierbij zijn de elektriciteitsvraag en de warmtevraag bij elkaar opgeteld.

De investeringskosten voor energiebesparing zijn moeilijk te identificeren. De kosten hiervoor nemen immers toe naarmate verder bespaard moet worden: simpele isolatiemaatregelen zijn relatief goedkoop, maar verdergaande maatregelen worden verhoudingsgewijs steeds duurder. Wij hebben daarom de benodigde investeringen zeer grof geschat op basis van de NEV, waaruit blijkt dat in de periode 2014-2020 circa € 2,5 miljard per jaar wordt besteed om grofweg 80 PJ te besparen. De tabel hieronder geeft de benodigde additionele investeringen in energiebesparing in huishoudens en de utiliteit weer.

Tabel 7 Inschatting van de benodigde investeringen tot 2035 voor energiebesparingen bij huishoudens en de utiliteit. Additioneel ten opzichte van vaststaand en voorgenomen beleid. Ecofys 2015, deze studie.

Energiebesparingen	Investering (Miljard €)
Huishoudens	2,5
Utiliteit	2,2

Omgerekend over een periode van 15 jaar (inclusief kapitaalslasten) gaat het hier in totaal om investeringen van circa € 0,5 miljard per jaar.

5.1.5 Investeringskosten in elektriciteits- en gasnetwerk

Elektriciteitsnet

Door toepassing van warmtepompen en elektrische auto's stijgt de piekvraag van elektriciteit, waarvoor maatregelen moeten worden genomen.

Rekenen we voor warmtepompen met ongeveer 2 kilowatt extra benodigd vermogen per woning en het tienvoudige per utiliteitsgebouw, dan is stijgt het piekvermogen met maximaal zo'n 11 GW. Uitgaande van kosten van € 3000 per kilowatt, komt dat neer op een totaal van ongeveer € 33 miljard. Daar komen transmissiekosten bij van ruwweg € 1 miljard over de levensduur van de netten. Dat komt neer op zo'n € 2,1 miljard per jaar.

Voor warmtenetten en hybride oplossingen nemen we aan dat die het elektriciteitsnet niet extra belasten. Het laden van elektrische auto's zal extra piekbelasting veroorzaken, maar dat kan anderzijds ook helpen om het elektriciteitssysteem te balanceren. We nemen aan dat het netto-effect neutraal is.

Gasnet

Naast de kosten per gasaansluiting maken we ook een ruwe schatting van de vermeden investeringen in gastransport. Aan alle woningen rekenen we investeringen van € 48 miljoen per jaar toe, aan utiliteit naar rato € 32 miljoen per jaar.²² Als het gasverbruik volgens de Energievisie 88% lager wordt, nemen we aan dat dat bij eerste benadering € 70 miljoen per jaar aan systeemkosten voor het gasnet scheelt.

5.2 Besparingen door vermeden import fossiele energie

Volgens eerste orde berekeningen van Ecofys, kan de Energievisie in 2035 leiden tot een jaarlijkse besparing van tenminste € 2,5 miljard op de import van fossiele brandstoffen, ten opzichte van de huidige situatie (2013). Op de import kolen kan zo'n € 900 miljoen worden bespaard, op de import van transportbrandstoffen, 1,5 - 2 miljard²³.

Voor de periode 2030 – 2040 is de verwachting dat Nederland meer gas moet gaan importeren dan ze zelf kan produceren en de aardgasbalans negatief wordt. De besparingen op kosten voor de vermeden import van aardgas die volgen uit de Energievisie voor het jaar 2035, zijn potentieel € 2 miljard ten opzichte van de NEV bij vaststaand en voorgenomen beleid²⁴. De totale potentiële besparingen ten opzichte van de NEV, zijn € 3 – 3,5 miljard per jaar.

5.3 Overige kosten en besparingen

Naast de directe investeringskosten zijn ook nog andere kosten relevant bij de beoordeling van de Energievisie, zoals de externe kosten, de infrastructuurkosten (buiten laadpalen en warmtenetten) en de opslagkosten.

²² 'De systeemkosten van warmte': <http://www.ecofys.com/nl/publications/hoe-beinvloeden-technologiekeuzes-in-woningen-de-toekomstige-kosten/>

²³ Dit betreft enkel transport. Overig oliegebruik voor warmte en in de industrie is niet expliciet berekend in de Energieagenda. Het totaalgebruik van olie in 2013 bedroeg 1220 PJ en volgens de laatste prognoses in de NEV (2015), eenzelfde hoeveelheid in 2020 (ook 1220 PJ). Zie Tabellenbijlage. Tabel 4b Energiegebruik VV.

²⁴ De totale benodigde import is 220 PJ volgens berekeningen van Ecofys, om een gebruik van 1050 PJ te kunnen dekken (bron NEV 2015). Bij een verwachte binnenlandse aardgasproductie van 820 PJ in 2030. Bron: EBN 2015.
http://www.hnsland.nl/media/filer_public/39/51/3951bc92-b750-48af-a13f-be3b69591cf6/hns_ecofys_verkenning_ondergrondse_ruimte_vraag_voor_energie.pdf

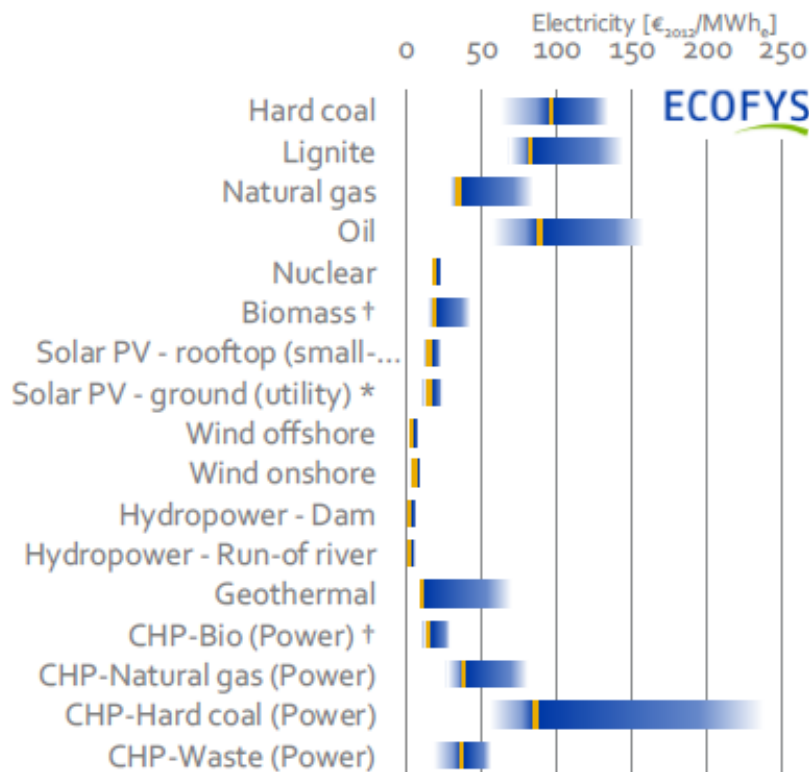
5.3.1 Vermeden externe kosten

Externe kosten vertegenwoordigen de impact van productie en consumptie op entiteiten anders dan diegene die produceren en consumeren, die niet in de prijs worden opgenomen. Een voorbeeld is de CO₂-uitstoot en luchtvervuiling die een kolencentrale produceert. Factoren die vaak bij het berekenen van externe kosten worden meegenomen zijn: klimaatverandering, het opraken van energiebronnen, gezondheidsrisico's en het verlies van landbouwgrond.

Eerder onderzoek van Ecofys laat zien dat de externe kosten van hernieuwbare energie aanzienlijk lager zijn dan die van fossiele brandstoffen. Zie Figuur 3 hieronder. Aldus kan ook opgemerkt worden dat het verdere beprijzen of internaliseren van deze externe kosten de verhouding tussen duurzaam en fossiel meer in balans kan brengen en verdere investeringen kan uitlokken. Als de externe kosten worden meegerekend, blijkt dat elektriciteit uit duurzame bronnen nu al goedkoper is dan elektriciteit uit fossiele bronnen. Een transitie naar een CO₂ arme energievoorziening kost geld, maar een groot deel hiervan zou gefinancierd kunnen worden door het beprijzen van externe kosten. Het instellen van een minimale CO₂-prijs, zoals voorgesteld in de Energievisie van Natuur & Milieu is hiervan een voorbeeld.

Een CO₂-prijs van € 100/ton, zoals door de Energievisie wordt beschreven voor rond 2030, is van hetzelfde niveau als de berekende externe kosten van gebruik van kolen in de energievoorziening. Zo'n CO₂-prijs heeft al een groot effect op het overbruggen van het prijsverschil tussen duurdere koolstofarme energiebronnen en fossiele energiebronnen, waardoor er geen extra publiek geld meer nodig is om dat verschil voor investeerders te overbruggen.

Daarnaast kunnen de opbrengsten van CO₂-belastingen of veiling van emissierechten worden gebruikt voor stimuleringsmaatregelen voor duurzaam en besparing. Als een dergelijke belasting wordt geheven op alle energiegebruikers, dan zou de opbrengst van een dergelijke heffing gemiddeld € 6,5 miljard per jaar zijn (rekenend met een gemiddelde prijs van € 50 per ton CO₂ en 130 miljoen ton CO₂ gemiddelde uitstoot).



Figuur 3 De externe kosten van elektriciteitsopwekking. Ecofys 2014²⁵

5.3.2 Investerings in elektrische infrastructuur en flexibiliteit

Ten eerste zullen investeringen in transmissiecapaciteit vereist zijn om te voorzien in de hogere piekvraag en voor de integratie van Europese elektriciteitsmarkten. Hiermee kunnen ook bepaalde regio's verder ontsloten worden en een toename van wind op zee gefaciliteerd worden.

Daarnaast brengt de inpassing van variabele hernieuwbare energieopwekking extra kosten met zich mee voor investeringen in flexibiliteit en back-up capaciteit. ECN schat deze kosten op 20€/MWh in 2030 bij een aandeel van wind in de elektriciteitsproductie van 27 procent (NEV 2015, p.125). Deze kosten zullen verder oplopen in de Energievisie door het hoge aandeel zonne- en windenergie.

²⁵ Ecofys et al. (2014). Subsidies and Costs of EU Energy. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/ECOFYS%202014%20Subsidies%20and%20costs%20of%20EU%20energy_11_Nov.pdf

Omdat het momenteel erg onzeker is wat de rol van energieopslag is in de toekomst, hebben wij de totale benodigde investeringen niet gecijferd. Over het algemeen wordt aangenomen dat batterijopslag een rol van betekenis gaat spelen in geval van grote overschotten aan hernieuwbare elektriciteit. Voor een deel zullen de batterijen in elektrische voertuigen deel gaan uitmaken van het netwerksysteem.

5.4 Conclusie: investeringen versus vermeden kosten

Voor het vergelijken van de kosten en baten van de (meer)investeringen ten gevolge van de Energievisie hebben we in het algemeen de volgende methode gehanteerd: de (meer)investeringen zijn omgerekend naar jaarlijkse kapitaalskosten over de levensduur van de maatregel. Daarbij worden eventuele jaarlijkse kosten opgeteld (b.v. voor onderhoud en bediening, voor energiedragers). Deze kosten kunnen worden afgezet tegen de vermeden kosten voor energiedragers of vermeden externe kosten, en eventueel tegen vermeden investeringen.

Voor zo ver we deze globale berekeningen hebben gedaan, komen we tot de volgende totalen (zie Tabel 8).

Tabel 8. Globale berekeningen van kosten en baten / vermeden kosten bij verschillende maatregelen.

	Kosten per jaar (miljoen euro)	Vermeden kosten per jaar (miljoen euro)	Netto kosten (-) of baten (+) per jaar (miljoen euro)
Hernieuwbare elektriciteit	-2.300		-2.300
Warmtenetten	-922	608	-314
Warmtepompen	-3.817	2.497	-1.321
Hybride systemen / kleinschalige warmtenetten	-2.771	1.233	-1.538
Transport	-40		-40
Energiebesparing	-500		-500
Netverzwaring elektriciteit	-2.113		-2.113
Gastransport		70	70
Vermeden import		3250	3.250
Totaal	-9.623	7.658	-1.965
CO ₂ -prijs opbrengst*		6.500	6.500
Eindtotaal (afgerond)	-12.500	14.150	1.700

* Gemiddeld 50 €/ton CO₂ over de periode tot 2035

Leggen we de schattingen van de vermeden externe kosten van fossiele brandstoffen en vermeden import naast elkaar, dan concluderen we dat deze de totale geschatte investeringen niet zullen compenseren. Er zijn tot 2035 enige tientallen miljarden Euro's aan investeringen nodig, extra ten opzichte van het NEV VV scenario. Die extra investeringen kunnen mede rendabel worden gemaakt als de prijs voor CO₂-uitstoot inderdaad (veel) hogere niveaus zullen halen in 2030/2035 dan de NEV veronderstelt. De Energievisie veronderstelt een CO₂-prijs van 100 €/ton CO₂ richting 2030, terwijl de NEV een prijs van 20 €/ton CO₂ projecteert op 2030. Bij een prijsverschil van 80 €/ton en een totale emissie van 72 miljoen ton in 2035 zijn de meeropbrengsten uit de CO₂-prijs jaarlijks zo'n € 6 miljard. Als die opbrengsten zouden worden geoordeeld voor investeringen in verdere

emissiereductie, lijkt dat voldoende. Het netto saldo voor de staatskas is bij deze zelfs positief, zo'n € 1,7 miljard, dat kan worden geïnvesteerd in innovatie.

6 De voorgestelde maatregelen

Het is duidelijk dat de hoge ambities in de Energievisie vragen om rigoureuze maatregelen en een verregaande focus op voortgang in elk van de factoren. Een Klimaatwet biedt daarvoor een aantrekkelijk kader, maar de effecten daarvan hangen sterk af van de uitwerking van de uitvoering daarvan.

Volgens onze indicatieve berekeningen lijken de ambities van de Energievisie technisch en financieel haalbaar. Opvallend is wel dat de voorgestelde maatregelen een sterk nationaal karakter hebben. In veel gevallen kan Nederland die zelfstandig invoeren—zoals een klimaatwet met nationale bindende doelen en een wijkaanpak voor energiezuinige gebouwen en Deltawerken voor duurzame energie—maar er zijn ook maatregelen die vragen om een Europese of mondiale inbedding. Als het bijvoorbeeld gaat om een exit-strategie voor fossiele brandstoffen, een hoge CO₂-prijs of de toepassing van CCS is samenwerking met omliggende landen van groot belang om eventuele lokale negatieve gevolgen of hoge maatschappelijke kosten te voorkomen.



sustainable energy for everyone



ECOFYS Netherlands B.V.

Kanaalweg 15G
3526 KL Utrecht

T: +31 (0) 30 662-3300

F: +31 (0) 30 662-3301

E: info@ecofys.com

I: www.ecofys.com

BIJLAGE 3: DRIE NEDERLANDERS NA DE ENERGIETRANSITIE IN 2035

Om een beeld te geven wat een duurzame energievoorziening betekent voor onze alledaagse bezigheden nemen we je mee naar een koude februaridag in het Nederland van 2035.

Welkom in de nieuwe energiewerkelijkheid:

ENERGIEBEWUST ONDER DE ROOK VAN PERNIS

Klaas van de Berg (39) woont met zijn vrouw en twee kinderen in het dorpje Rozenburg, onder de rook van de industrie in het Botlekgebied. Hij en zijn vrouw bezitten een twee-onder-een-kap huis, dat is gebouwd in de jaren '70. Net als de meeste Nederlanders is hij bezig zijn huis energiezuiniger te maken. Jaren geleden heeft hij al samen met de burens de gevel goed geïsoleerd, door er een extra gevel, inclusief isolatiemateriaal, tegenaan te plaatsen. Zijn al wat verouderde huis veranderde zo in een nieuwe, strak gestuukte woning.

Onlangs heeft Klaas ook zijn vloer geïsoleerd. Hij heeft er toen meteen een vloerverwarming in laten zetten, dat ontzettend comfortabel is. Bovendien is ook onder zijn dak al eens isolatie aangebracht. Hij overweegt nog iets te doen met HR++ glas. Dat staat hoog op zijn verlanglijstje.

Sinds 5 jaar heeft Klaas een warmtepomp in zijn huis. Daarmee werd de gasaansluiting overbodig. Dat scheelt hem enorm veel geld per maand. Gas is namelijk flink duurder geworden door de steeds hogere belasting op fossiele brandstoffen. De kosten van de warmtepomp heeft hij zodoende al kunnen terugverdienen. Die pomp staat onder de carport, waar ook de elektrische auto staat geparkeerd. Het is al weer zijn tweede model. In vergelijking met zijn eerste elektrische auto heeft deze wel een groot bereik. Hij hoeft nooit meer te laden onderweg. Klaas heeft, ook onder zijn carport, een eigen oplaadpunt. Als hij 's avonds thuiskomt plukt hij zijn auto in. Via een app weet hij wanneer zijn auto weer helemaal is opgeladen.

Ook op Klaas zijn arbeidsplek krijgt de omslag naar duurzaam energiegebruik steeds meer vorm. Hij werkt bij een grote verfproducent in Pernis. Nog steeds gebruikt het bedrijf aardolie als basisgrondstof, iets wat Klaas best tegen de borst begint te stuiten. De omschakeling naar biobased grondstoffen is wel in gang gezet, maar loopt nog steeds niet helemaal goed. Wel gebruikt het bedrijf geen fossiele energie meer voor de productie van de verf. In plaats daarvan leveren wind en/of zon de stroom. Als beide niet voorhanden zijn, schakelt het bedrijf over op energie uit de eigen opslag. Bij de productieprocessen wordt namelijk overtollige elektriciteit opgeslagen in een andere vorm, zoals waterstof. Met deze opslag kan het

bedrijf niet alleen zichzelf helpen, als er een tekort is aan wind of zon, maar ook stroom leveren aan andere bedrijven. Als dat onvoldoende is, vult het bedrijf het aan vanuit de eigen voorraad biomassa. Bij verbranding van deze biomassa slaat het bedrijf de overtollige warmte weer op in WKO (Warmte Koude Opslag). Dat wordt vervolgens weer gebruikt om de eigen kantoren te verwarmen.

TOMATEN RONDBRENGEN OP WATERSTOF

Ruud Bierhorst (53) huurt zijn appartement in Beverwijk van een woningcorporatie. Van hieruit heeft hij een fraai uitzicht op de duinen en de zee. Hij kijkt echter ook uit op het industriële complex met zijn pijpen en ovens van Tata Steel, vroeger bekend als de Hoogovens. Dat geeft ook voordelen. Het hele complex van de corporatie is aangesloten op het warmtenet dat gebruik maakt van de restwarmte die het concern bij de staalfabricage overhoudt.

In de loop der jaren heeft Ruud zijn appartement ook steeds meer laten isoleren. Hij en zijn vrouw Sara genieten dagelijks van het toegenomen comfort. Ook in zijn werk zit hij al midden in de nieuwe energiewerkelijkheid. Ruud is vrachtwagenchauffeur. Zijn forse voertuig is uitgerust met een waterstofinstallatie, waarin waterstof wordt omgezet in elektrische energie. Het enige restproduct daarvan is schoon water.

Anders dan 20 jaar geleden zijn er nu overal in Nederland genoeg tankpunten te vinden voor vrachtwagens. En dat is nodig want Ruud rijdt het hele land door met groenten en fruit. Hij haalt die op bij tuinders in Noord- en Zuid-Holland en brengt ze naar allerlei verkooppunten in het land, zoals supermarkten en horecagelegenheden. Groothandels bestaan er nauwelijks nog. Er is inmiddels een directe, korte keten ontstaan tussen de tuinders en winkels en restaurants. Vandaag, een koude februari-dag is Ruud op weg naar Pijnacker in het Westland om tomaten op te halen. Het is al lang geen verrassing meer dat hij, zoals vroeger, geen rookpluim ziet boven de kassen. Vroeger werden die verlicht en verwarmd met grote WKK-installaties. Dat kostte behoorlijk wat aardgas. De tomatenteler in Pijnacker was een voorloper en ging al in 2011 over op aardwarmte om zijn kassen op temperatuur te houden. Tegenwoordig is het bijna standaard geworden.

DE WARMTE DELEN MET DE BUREN

Susan van der Meijden (32) woont samen met haar vriend Isaak in de nieuwste wijk in Almere. Bij de bouw van deze wijk is al goed nagedacht over het voorkomen van energieverlies. Alle huizen zijn zo ingericht dat zij restwarmte hergebruiken. Zo wordt bijvoorbeeld het warme water van de vaatwassers in de wijk opgeslagen in een grote gemeenschappelijke warmteopslag. Die wordt weer gebruikt door andere huizen op het moment dat ze worden verwarmd. De huizen worden verwarmd door een combinatie van warmtepompen en warmteopslag. De pompen hebben veel minder energie nodig om te draaien, omdat ze de warmte uit de opslag kunnen gebruiken.

Susan is zeer energiebewust en heeft er daarom uitdrukkelijk voor gekozen om in deze nieuwe wijk te gaan wonen. Haar vriend Isaak heeft ze wel moeten overhalen, maar uiteindelijk ziet hij ook de voordelen voor portemonnee en het hogere comfort.

Dat Susan zo bewust met energie omgaat, komt ook door haar werk. Ze werkt al een tijdje bij een energiebedrijf. Daar heeft ze de overgang van fossiele naar duurzame energie van nabij meegemaakt. Het energiebedrijf draait nu volledig op installaties die hun energie halen uit zon en wind.

Susan zorgt in haar werk ervoor dat vraag en aanbod van energie in evenwicht zijn. Dat gaat onder meer met prijsprikkels: welke energie is op welk moment aantrekkelijk geprijsd. Ze ziet zichzelf in haar werk dan ook als een soort energiemakelaar. Ze zorgt ervoor dat de systemen goed functioneren, met name de ICT, en dat de prijsprikkels duidelijk worden.

Op die manier kan het energiebedrijf op het juiste moment overschakelen op de beschikbare stroom en kan het deze stroom leveren als er een tekort is. Anderzijds kunnen bij een overschot (bij veel zon en/of wind) de elektrische auto's in de regio worden opgeladen.

Vandaag, op een mooie koude dag in februari, schijnt de zon in ieder geval lekker, waardoor de zonnepanelen voldoende elektriciteit opwekken om de voorraden weer aan te vullen. Tegenwoordig heeft bijna elk huis in Nederland wel zonnepanelen. De wijk van Susan in Almere bevat dan ook geen dakpannen meer, maar alleen zonnepanelen, zelfs op de gevels. Op de markt kun je tegenwoordig zelfs makkelijk en goedkoop zonnepanelenfolie krijgen. Die wil ze binnenkort aanschaffen om in de tuin uit te leggen als de zon op zijn hoogst staat.

BIJLAGE 4: BRONNEN

- [1] CBS, „Verbruik hernieuwbare energie toegenomen naar 5,8%,” 26 mei 2016. [Online]. Available: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2016/21/verbruik-hernieuwbare-energie-toegenomen-naar-5-8->.
- [2] Compendium voor de leefomgeving, „Emissies broeikasgassen, 1990-2014,” 2016. [Online]. Available: <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0165-Broeikasgasemissies-in-Nederland.html?i=5-20>.
- [3] Greenpeace, Natuur & Milieu, Milieudefensie, de Natuur en Milieufederaties, „Brief aan staatssecretaris Mansveld aangaande klimaatbeleid,” 17 augustus 2015. [Online]. Available: <http://www.greenpeace.nl/Global/nederland/2015/klimaat%20en%20energie/Klimaatzaak%20en%20COP/klimaatzaak/150817.088%20BRF%20Stas%20Mansveld%20inz%20Klimaatbeleid.pdf>.
- [4] DNV-GL, „Kolenherkomst Nederlandse E-centrales 2014,” 6 juli 2015. [Online]. Available: <https://benelux.uniper.energy/static/download/files/Uniper-Herkomst-kolen-Nederlandese-elektriciteitscentrales.pdf>.
- [5] NOS, „Er komt een verplichting op energiebesparing aan,” 17 mei 2016. [Online]. Available: <http://nos.nl/artikel/2105553-er-komt-een-verplichting-op-energiebesparing-aan.html>.
- [6] Stroomversnelling, „Stroomversnelling koopwoningen,” 2016. [Online]. Available: <http://www.stroomversnellingkoopwoningen.nl/projecten/>.
- [7] Energiekaart.net, „Hoog Dalem: all electric wijk,” 2016. [Online]. Available: <https://www.energiekaart.net/initiatieven/hoog-dalem-all-electric-wijk/>.
- [8] gebiedsontwikkeling.nu, „Stadsoevers Roosendaal,” 19 augustus 2011. [Online]. Available: <https://www.gebiedsontwikkeling.nu/artikelen/stadsoevers-roosendaal/>.
- [9] Nuon, „Warmtenet Nijmegen,” 2015. [Online]. Available: <https://www.nuon.com/activiteiten/producten-en-diensten/stadswarmte/warmtenet-nijmegen/>.
- [10] ECN, „Nationale Energieverkenning 2015,” Petten, 2015.
- [11] KPMG, „Resultaten en vooruitzichten Energie-efficiëntie MEE bedrijven in Nederland,” 2015.
- [12] RVO, „Resultatenbrochure convenanten - Meerjarenafspraken energie-efficiëntie,” 2015.
- [13] Transport & Environment, „Natural gas vehicles an expensive, ineffective way to cut car and truck emissions - not a 'bridge fuel',” 2016.
- [14] RVO, „Basisbedragen voor SDE 1016,” 2016.
- [15] RVO, „Monitor wind op land 2015,” 2016.
- [16] Netbeheer Nederland, „Veel zonnepaneelinstallaties aangemeld via www.energieleveren.nl,” 7 januari 2016. [Online]. Available: <http://www.netbeheernederland.nl/nieuws/nieuwsbericht/?newsitemid=1892941824>.
- [17] ECN, „Kosten wind op zee 2015,” Petten, 2015.
- [18] Tennet, „Verwachte en gerealiseerde consumptie,” 2016. [Online]. Available: <http://energieinfo.tennet.org/Consumption/RealisedConsumption.aspx>.
- [19] Tennet, „Rapport Monitoring Leveringszekerheid,” 2015.
- [20] Greentechmedia, „Norway could provide 20.000 MW of Energy Storage to Europe,” 10 augustus 2015. [Online]. Available: <http://www.greentechmedia.com/articles/read/Norway-Could-Provide-20000-MW-of-Energy-Storage-to-Europe>.
- [21] IPCC, „Climate change 2014 - synthesis report,” 2014.
- [22] PBL, „Trends in global CO2 emissions,” 2015.
- [23] Compendium voor de leefomgeving, „CO2-emissies verklaard, 1990-2014,” 2016. [Online]. Available: <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0170-De-CO2-emissie-verklaard.html?i=5-20>.
- [24] PBL, ECN, „Het energieakkoord: wat gaat het betekenen?,” 2013.
- [25] Ecofys, „The next step in Europe's climate action: setting targets for 2030,” 2013.
- [26] Compendium voor de leefomgeving, „Energieverbruik per energiedrager, 1990, 2013,” 2014. [Online]. Available: <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0054-Energieverbruik-per-energiedrager.html?i=6-40>.
- [27] Compendium voor de leefomgeving, „Aanbod en verbruik van energiedragers in Nederland, 2013,” 2014. [Online]. Available: <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0053-Energiebalans-Nederland-%20tabel%29.html?i=6-40>.
- [28] CBS, „Energiebalans; kerncijfers,” 29 april 2016. [Online]. Available: <http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&PA=37281&D1=7-16,19-21&D2=4-6&D3=143&HDR=G2,G1&STB=T&VW=T>.
- [29] CBS, „Elektriciteit en warmte; productie en inzet naar energiedrager,” 22 april 2016. [Online]. Available: <http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&PA=80030NED&D1=2,5&D2=a&D3=a&D4=15&HDR=T&STB=G1,G2,G3&VW=T>.

- [30] Compendium voor de leefomgeving, „Inzet energiedragers en bruto elektriciteitsproductie, 1990-2013,” 2015. [Online]. Available: <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0019-Inzet-energiedragers-en-bruto-elektriciteitsproductie.html?i=6-38>.
- [31] CBS, „Energiebalans; aanbod, omzetting en verbruik, 1995-2013,” 5 december 2014. [Online]. Available: <http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&PA=70846ned&D1=0-1,8,24,35&D2=I&D3=a&D4=I&HDR=G2,G3&STB=T,G1&VW=T>.
- [32] CBS, „Energieverbruik land- en tuinbouw 1990-2013,” 12 december 2014. [Online]. Available: <http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&PA=80382NED&D1=0-4&D2=0&D3=I&VW=T>.
- [33] ECN, „Refrentieraming energie en emissies 2010-2020 gebouwde omgeving,” 2010.
- [34] Agentschap NL, „Warmte en Koude in Nederland,” 2013.
- [35] CBS, „Het energieverbruik voor warmte afgeleid uit de energiebalans,” 2010.
- [36] Netbeheer Nederland, „Energietrends 2014,” 2014.
- [37] CBS, „Energieverbruik; opbouw, bedrijfstak,” 28 januari 2016. [Online]. Available: <http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&PA=83141NED&D1=1-2&D2=I&D3=1&D4=2&HDR=T&STB=G3,G2,G1&VW=T>.
- [38] CBS, „Elektriciteit; productie en productiemiddelen,” 13 januari 2016. [Online]. Available: <http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&PA=37823wkk&D1=5-6,14-16,18&D2=0,3-12&D3=a&D4=a&D5=15&HDR=G2,T&STB=G1,G4,G3&VW=T>.
- [39] CBS, „Levering aardgas, elektriciteit via openbaar net; bedrijven, SBI2008, Regio,” 30 december 2015. [Online]. Available: <http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&PA=82538NED&D1=0&D2=a&D3=0&D4=3&VW=T>.
- [40] Compendium voor de leefomgeving, „Energieverbruik door verkeer en vervoer, 1990- 2014,” 2016. [Online]. Available: <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0030-Energieverbruik-door-verkeer-en-vervoer.html?i=6-40>.
- [41] Natuur & Milieu, „Een heldergroene visie op duurzame brandstoffen,” 2014.
- [42] „Globium: the basis for biofuel policy post-2020,” April 2016. [Online]. Available: <https://www.natuurenmilieu.nl/wp-content/uploads/2016/04/Rapport-biodiesel.pdf>.
- [43] CBS, „Biomassa; verbruik en energieproductie uit biomassa per techniek,” 17 december 2015. [Online]. Available: <http://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&PA=82004NED&D1=1-2,4,6-7&D2=a&D3=23&HDR=T&STB=G1,G2&VW=T>.
- [44] WUR, „Biobased Economy info sheet,” 2006.
- [45] Rijkswaterstaat, „Afvalverwerking in Nederland, gegevens 2014,” 2015.
- [46] CBS, „Duurzame energie uit biomassa van de Nederlandse agrosectoren,” 2010.
- [47] CE Delft, „IPO Nationale routekaart restwarmte,” 2011.
- [48] De Ingenieur, „Warmte beter benutten,” 3 April 2015. [Online]. Available: <https://www.deingenieur.nl/artikel/warmte-beter-benutten>.
- [49] Agentschap NL, „Energieatlas,” 2016. [Online]. Available: <http://agentschapnl.kaartenbalie.nl/gisviewer/viewer.do?code=0f2d31b5cee824a43bf2ad238f41d101>.
- [50] CE Delft, „Gastransitie en warmtenetten,” 2016.
- [51] Ensoc, „Eneco: goede aanleg warmtenet beperkt kosten onderhoud,” 18 mei 2015. [Online]. Available: <https://www.ensoc.nl/nieuws/eneco-goede-aanleg-warmtenet-beperkt-kosten-onderhoud>.
- [52] Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, „Monitor Energiebesparing Gebouwde Omgeving 2013,” 2014.
- [53] Kenniscentrum Papier en Karton, „Mechanische DampRecompressie,” 2012.
- [54] Gasunie, „Rapport Voorzieningszekerheid Gas 2013,” 2013.
- [55] Ecofys, „De systeemkosten van warmte voor woningen,” 2015.
- [56] CE Delft, „Match van vraag en aanbod,” 2014.
- [57] GasTerra, „Warmte en Kracht,” 2008.
- [58] Ecovat, „Ecovat; Energy Storage System,” 2016. [Online]. Available: <http://www.ecovat.eu/>.
- [59] D. Majcen, „Predicting energy consumption and savings in the housing stock,” 2016.
- [60] Pluswonen, „Energieprestaties grondgebonden woningen,” 2012. [Online]. Available: <http://www.pluswonen.nl/fileupload/BrochurePlusWonen-energieprestaties.pdf>.
- [61] CE Delft, „MKBA Warmte Zuid-Holland,” 2014.

NATUUR & MILIEU ZET ZICH IN VOOR EEN DUURZAME EN GEZONDE WERELD. SAMEN MET JOU MAKEN WIJ HET VERSCHIL MET SCHONE ENERGIE, SLIMME MOBILITEIT EN GEZOND VOEDSEL. WWW.NATUURENMILIEU.NL