

Verkenning energievoorziening 2035

Marcel Weeda
Koen Smekens

juli 2017
ECN- E--17-026



Verantwoording

Deze studie is uitgevoerd door ECN in opdracht van Gasunie Transport Services (GTS) en TenneT. Aan ECN zijde is het project uitgevoerd door een projectteam bestaande uit Koen Smekens, Hilke Rösler, Marit van Hout en Özge Özdemir, onder leiding van Marcel Weeda. Het project is bij ECN geregistreerd onder project nummer 5.4008.

Dankwoord

In de aanloop naar de studie en tijdens de uitvoering van de studie is er veelvuldig en uitvoerig gediscussieerd over opzet, aannamen en resultaten tussen de projectteams van ECN, GTS en TenneT. Dit gezamenlijk optrekken heeft geleid tot een vruchtbare kruisbestuiving van een ieders kennis met betrekking tot de energievoorziening en verdieping van inzicht in de (betekenis van de) resultaten van de studie. Dank gaat hierbij uit naar Pieter Boersma, Nicolien van der Sar en Piet Nienhuis (allen GTS), en Gert van der Lee, Rutger van Houtert en Inge Janssen-Visschers (allen TenneT). Tevens dank aan Michiel Hekkenberg en Paul Koutstaal (ECN) voor hun rol in de aanloop van het project en review van de rapportage.

Abstract

Dit rapport bevat de resultaten van een verkenning naar de mogelijke ontwikkeling van de energievoorziening die is uitgevoerd in een gezamenlijke opdracht van Gasunie Transport Services (GTS) en TenneT. Aanleiding voor de studie is enerzijds de grote onzekerheid rond de aanpassingen die nodig zijn in de energievoorziening om toekomstige emissiereductiedoelstellingen te kunnen realiseren, en anderzijds de noodzaak om de energie-infrastructuur hier tijdig op in te richten. Tegen deze achtergrond zijn samen met GTS en TenneT scenario's voor het Nederlandse energiesysteem opgesteld om de hoeken van het speelveld voor de centrale infrastructuur voor gas-en elektriciteit tot 2035 in beeld te brengen. Vertrekpunt hierbij waren de meest recente scenario's van de Nationale Energieverkenning (NEV). ECN heeft zowel de vraag- als aanbodzijde voor de alternatieve scenario's in detail doorgerekend volgens een methodiek die aansluit bij de NEV. De resultaten vormen input voor volume- en capaciteitsberekeningen die door GTS en TenneT buiten deze studie om worden uitgevoerd. Dit levert de basis voor de onderbouwing van investeringsplannen die noodzakelijk geacht voor de toekomstige centrale gas- en elektriciteitsinfrastructuur. Deze plannen en gegevens vormen tevens input voor de tweejaarlijkse update van de Europese scenario's die in ENTSO-kader voor zowel aardgas als elektriciteit worden gemaakt (TYNDP2018).



Inhoudsopgave

Samenvatting	7
1 Inleiding	13
1.1 Doelstelling	14
1.2 Reikwijdte	14
1.3 Aanpak	14
1.4 Leeswijzer	15
2 Scenario's	16
2.1 Scenario 1: Het referentiescenario	16
2.2 De basis voor Scenario 2 t/m 4	19
2.3 Scenario 2: Richting duurzame transitie	23
2.4 Scenario 3: Centrale Klimaatactie	25
2.5 Scenario 4: Decentrale Klimaatactie	29
3 Energievraag en verbruik in de eindverbruikssectoren	34
3.1 Doorrekening van de scenario's	34
3.2 Ontwikkeling van de finale energievraag	35
3.3 Ontwikkeling finaal energieverbruik	38
4 Aanbodkant van de energievoorziening	46
4.1 Elektriciteitsproductie	46
4.2 Aardgas en Groen Gas	53
4.3 Overig aanbod	55
4.4 Inzet biomassa in de scenario's	56
5 Impact op emissies van broeikasgassen	58
5.1 CO ₂ -emissie voor niet-ETS sectoren	58
5.2 CO ₂ -emissies van sectoren onder ETS	60
5.3 Totaal broeikasgasemissies alle sectoren	61
6 Conclusies	63

Referenties	67
--------------------	-----------

Lijst met afkortingen	69
------------------------------	-----------

Bijlage A.	Ontwikkeling vraag naar elektriciteit voor kracht en licht	71
Bijlage B.	Ontwikkeling en invulling van de warmtevraag	75
Bijlage C.	Ontwikkeling en invulling van de vraag naar mobiliteit en transport	87
Bijlage D.	COMPETES	89
Bijlage E.	Tijdsprofielen voor vraag en aanbod van elektriciteit	91
Bijlage F.	Energiebalansen	97



Samenvatting

Achtergrond

Netbeheerders zoals TenneT en Gasunie Transport Services (GTS) hebben een wettelijke plicht om een investeringsplan te maken (het KCD) waarin staat beschreven welke investeringen zij voorzien om de energievoorziening in de toekomst te borgen. Hierin moet op gepaste wijze rekening worden gehouden met de onzekerheden die rond de ontwikkeling van de energieuishouding bestaan.

Met het toenemen van de onzekerheden nu de energietransitie op gang komt, is er meer behoefte aan verdieping en duiding van mogelijke ontwikkelingen. Niet langer zijn vooral de absolute vraagniveaus onzeker. Door veranderende inzet van bronnen en technologieën zijn ook de onderlinge verhoudingen van verschillende energiedragers en de interacties tussen energiedragers en tussen sectoren in beweging. Het toenemend gebruik van duurzame energiebronnen met een niet stuurbaar en variabel aanbod (zon en wind), en de groeiende aandacht voor elektrificatie zal van grote invloed kunnen zijn op de toekomstige piek- en volumevraag naar transport van gas en elektriciteit. De onderlinge beïnvloeding van de ontwikkelingen aan de vraag- en aanbodkant van gas en elektriciteit, maar ook van brandstoffen, zal daarbij naar verwachting toenemen.

Deze studie

Tegen deze achtergrond hebben TenneT en GTS besloten om voor hun investeringsplannen gezamenlijk de toekomst te verkennen, samen met ECN. Hiertoe zijn, met als uitgangspunt de meest recente scenario's van de Nationale Energieverkenningen (NEV), een aantal scenario's opgesteld voor ontwikkelingen in het Nederlandse energiesysteem tot 2035. Op basis van de huidige gezamenlijke kennis van plannen, ambities en mogelijkheden, vormen de scenario's naar de mening van betrokken partijen een goede basis voor verkenning van de hoeken van het speelveld voor de centrale gas- en elektriciteitsinfrastructuur tot 2035. De scenario's zijn:

- Referentiescenario (Scenario 1): Dit scenario is gelijk aan het scenario volgens vastgesteld en voorgenomen beleid uit de Nationale Energieverkenning 2016. Het richt zich op de effecten van het huidige beleid, waarbij doorgerekend wordt of hiermee de doelen uit het Energieakkoord gehaald worden. Daarna is het “business as usual” zonder verdere intensivering van beleid richting 2030.

- **Richting Duurzame Transitie (Scenario 2):** Ook dit scenario sluit aan bij het huidige beleid. Het veronderstelt aanvullend echter een beperkt aantal ontwikkelingen die leiden tot goede stappen in de richting van de 2030-doelen voor emissiereductie; een soort quick-wins.
- **Centrale Klimaatactie (Scenario 3):** Dit is een beleidsintensief scenario dat aanstuurt op brede actie in de energievoorziening. Door een sterke focus op uitrol van Wind op Zee en elektriciteitsopslag door middel van centrale systemen kent het scenario een “centraal” karakter. Met ingroei van vooral hybride warmtepompen, een aanzienlijke hoeveelheid Groen Gas, en CNG en zelfs wat waterstof in transport heeft de transitie volgens dit scenario tevens een relatief groot gaskarakter.
- **Decentrale Klimaatactie (Scenario 4):** Ook dit is een beleidsintensief scenario dat aanstuurt op brede actie in de energievoorziening. Door een relatief sterke focus op zon-PV en kleinschalige elektriciteitsopslag achter de meter kent het scenario een “decentraal” karakter. Met de ingroei van vooral elektrische warmtepompen in de gebouwde omgeving, “Power-to-Heat” in de industrie, en elektrische voertuigen, zet dit scenario daarnaast vooral in op elektrificatie.

Met uitzondering van Scenario 1, dat ongewijzigd is ten opzichte van de NEV2016, zijn de scenario's zowel voor de vraag- als aanbodzijde in detail doorgerekend volgens een methodiek die aansluit bij de doorrekeningen voor de NEV. De doorrekening is alleen gedaan op effecten voor de energievraag, de energiebalans, en de emissies van broeikasgassen. Er heeft geen doorrekening plaatsgevonden op kosten of kosteneffectiviteit van de veronderstelde maatregelen.

De resultaten van de doorrekening van de scenario's worden gepresenteerd in dit rapport. De resultaten vormen input voor volume- en capaciteitsberekeningen door GTS en TenneT ter onderbouwing van hun investeringsplannen. Dit werk vormt echter geen onderdeel van deze studie.

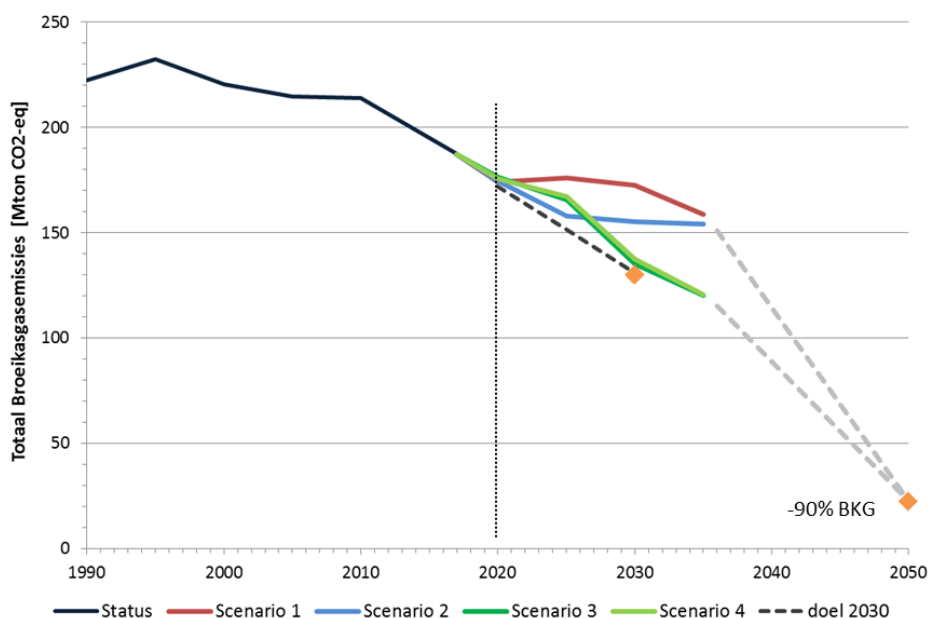
Resultaten en conclusies

De focus van het energiebeleid komt in toenemende mate te liggen bij CO₂-reductie, en minder bij stimuleren van duurzame energie. Niettemin zal er een zekere mate van overlap zijn zeker nu de kosten van opties als Wind op Zee en zon-PV snel dalen. De overlap tussen CO₂-reductie en duurzame energie is in de scenario's nog eens versterkt doordat alternatieve opties voor CO₂-reductie zoals uitbreiding van nucleaire energie en grootschalige CCS in zowel de energiesector als de industrie niet zijn opgenomen in de scenario's. Naast inzet van duurzame energie voor CO₂-reductie speelt ook energiebesparing (reduceren of vermijden van energievraag) een belangrijke rol in de scenario's, en dan vooral in Scenario 3 en 4.

Voor de broeikasgasemissies wordt er in het algemeen onderscheid gemaakt tussen emissies die onder het Europese Emission Trading Scheme (EU ETS) vallen en emissies die daar niet onder vallen. De emissies die onder het ETS vallen zijn vooral de emissies van grote puntbronnen, zoals elektriciteitscentrales, de zware industrie en enkele grote (tuinbouw)bedrijven. Deze emissies vertegenwoordigen voor Nederland ruim 45 procent van het totaal aan broeikasgasemissies. De overige emissies betreffen de emissies van de overige bedrijven en de emissies uit de gebouwde omgeving en het

verkeer. Complicerende factor hierbij is nu dat er voor niet-ETS emissies lidstaat gebonden reductiedoelen zijn geformuleerd voor 2030 (-36 procent), maar dat er voor de ETS emissies alleen een overkoepeld EU doel is (-43 procent). Dit maakt het lastig om het effect van de scenario's te relateren aan het halen van een doelstelling. De mate waarin reductie van ETS-emissies in Nederland nodig is, is sterk afhankelijk van wat er elders in Europa aan emissiereductie wordt gerealiseerd tegen mogelijk geringere kosten dan bij ons.

Om toch iets te kunnen zeggen voor Nederland is voor deze studie het overkoepelende EU-doel voor ETS-emissies gehanteerd als indicatief ETS-doel voor Nederland. Gecombineerd met het niet-ETS doel leidt dit tot een indicatief 2030-doel voor Nederland van ruim 39 procent reductie van broeikasgasemissies. Onderstaande figuur geeft de resultaten voor de ontwikkeling van de uitstoot van broeikasgasemissies voor de verschillende scenario's in vergelijking met het indicatieve doel.



Figuur S1: Totaal van de Nederlandse emissies van broeikasgassen voor de diverse scenario's vergeleken met indicatieve doelen voor Nederland voor 2030 en 2050

Intensivering en versnelling van de transitie is nodig om het 2030-doel te kunnen halen
 Samengevat laten de resultaten voor ontwikkeling van de broeikasgasemissies het volgende zien voor de verschillende scenario's:

- In Scenario 1 (Referentiescenario) ligt het emissiereductie doel voor 2020 binnen bereik. Het indicatieve doel voor 2030 blijft echter buiten bereik, en de trendmatige ontwikkeling van de emissies wijkt sterk af van de richting die nodig is voor 2050. Op zich is dit niets nieuws. Het laat zien dat "business as usual" geen optie is als de doelen voor 2030 en 2050 serieus worden genomen.
- Scenario 2 (Richting Duurzame Transitie) leidt tot 2025 nog wel tot een aanzienlijke daling van de CO₂-emissies. De aanname van het uitfaseren van kolencentrales zet de ontwikkeling van de hoeveelheid emissies op de lijn die nodig is voor het halen van het indicatieve 2030-doel. Maar zonder

aanvullende maatregelen blijft realisatie van het doel buiten beeld. De overgang van diesel naar LNG (beperkt lagere CO₂-emissiefactor) voor een beperkt deel (ingroei naar 30 procent in 2035) van relatief kleine segmenten als het zware vrachtverkeer en zeker de scheepvaart kan het verschil niet maken.

- Zowel in Scenario 3 (Centrale Klimaatactie) als 4 (Decentrale Klimaatactie) ligt het indicatieve 2030-doel binnen bereik. Ondanks het verschil in karakter van de scenario's liggen de emissiecijfers voor beide scenario's dicht bij elkaar. De overeenkomsten in de scenario's hebben duidelijk een grotere impact op de emissies dan de zaken waarin de scenario's verschillen. Overeenkomsten zijn:
 - de sluiting of ombouw van kolencentrales na 2025;
 - reductie van de warmtevraag in de industrie, de dienstensector en de land- en tuinbouw;
 - reductie van het elektriciteitsverbruik van verlichting en apparaten in huishoudens en de dienstensector;
 - een vergelijkbare grote extra inzet van biomassa;
 - een vergelijkbaar aandeel elektriciteit van duurzame bronnen in de mix;
 - een groot aandeel WKO in verwarming/koeling van gebouwen;
 - en de toename van geothermie in de land en tuinbouw.

Verschillen zitten vooral in de mate van elektrificatie voor verwarming (hybride of elektrische warmtepomp), de mate van elektrificatie van het wegverkeer, en de precieze inzet van biomassa. Het effect van deze onderlinge verschillen op de emissies blijkt klein.

- Het indicatieve 2030-doel ligt weliswaar binnen bereik voor de Scenario's 3 en 4, maar de emissies liggen wel steeds iets boven de (indicatieve) trendlijn voor afbouw van de emissies in de periode 2020-2030. Bovendien wijkt de trend in de emissies in de periode 2030-2035 negatief af van de trend die nodig is voor verdergaande reductie van emissies met 80 procent tot 95 procent in 2050. Ondanks dat de scenario's hier en daar al als behoorlijk ambitieus kunnen worden gezien geeft dit aan dat er mogelijk nog een tandje bij moet. De scenario's voldoen overigens wel aan het enige officiële doel, te weten het 2030-doel voor niet-ETS broeikasgassen.

Naast de emissie-effecten zijn er nog een aantal andere interessante aspecten te halen uit de doorrekening van de scenario's. Het betreft zaken die van belang zijn gelet op de noodzaak om de infrastructuur tijdig aan te passen aan het veranderende energie-aanbod en de veranderende energievraag in het energiesysteem. Deze aspecten worden hieronder nader toegelicht.

Toename van grensoverschrijdende uitwisseling van elektriciteit

Met een toename van het geïnstalleerd vermogen aan wind en zon-PV in de scenario's neemt in de modelberekeningen de export van elektriciteit toe en neemt de import af. Nederland verandert van netto importeur naar netto exporteur. De toename van uitwisseling van elektriciteit met andere landen geeft aan dat het belang van grensoverschrijdende elektriciteitshandel toeneemt bij toenemende productie uit variabel duurzaam vermogen. Dit betekent ook dat er voldoende geïnvesteerd moet worden in grensoverschrijdende transmissiecapaciteit.

Toename van curtailment

Tegelijkertijd laten de resultaten ook een aanzienlijke toename zien van het aantal uren dat er een overschot aan productie van elektriciteit optreedt, en dat met name windvermogen wordt afgeschakeld (“curtailment”). Dit vooruitzicht op toenemende curtailment vraagt tijdige bezinning op, en implementatie van keuzes voor optimale uitbreiding van de winning van wind- en zonne-energie en de inpassing daarvan in de energievoorziening. Hierbij dient ook oog te zijn voor mogelijk verdere benutting van het aanwezige potentieel aan wind- en zonne-energie voor realisatie van doelen in de periode na 2035. Uitbreiding van infrastructuur vergt veel tijd, net als ontwikkeling en inpassing van nieuwe opties. Hierbij kan worden gedacht aan:

- verdergaande elektrificatie van de invulling van de diverse warmte-, mobiliteits- en transportvragen;
- verdere benutting van het potentieel aan vraagsturing in combinatie met “Smart Grids” (in deze studie is alleen enige extra vraagsturing verondersteld bij opladen van elektrische auto’s); en
- opslag, al dan niet in combinatie met inpassing van wind- en zonne-energie in het energiesysteem via productie van alternatieve energiedragers zoals waterstof en ammoniak.

Piekvraag neemt toe en kan groter worden dan het eigen regelbaar vermogen

Met de toename van geïnstalleerd vermogen aan wind en zon-PV vertonen de resultaten van de simulatie van het elektriciteitssysteem een (lichte) daling van het benodigde thermische regelbare vermogen. Vooral bij de scenario’s met veel Wind op Zee, dat een relatief hoge load factor kent, laten de resultaten zien dat (onder de gesimuleerde condities) het Nederlandse systeem met minder thermisch regelbaar vermogen toe kan. Als gevolg van de veronderstelde elektrificatie in Scenario 4, maar ook in Scenario 3, neemt de piekvraag naar elektriciteit tegelijkertijd toe. Vooral in de zichtjaren 2030 en 2035 leidt dit ertoe dat de piekvraag ruim hoger is dan het eigen regelbare vermogen. Dit betekent dat de kans toeneemt dat gebruik moet worden gemaakt van back-up uit het buitenland op momenten dat er een hoge vraag is maar weinig aanbod van zon en wind (de zeer koude, sombere windstille winterdag). Hoewel Nederland dus per saldo verandert van importeur naar exporteur van elektriciteit, blijkt tegelijkertijd de afhankelijkheid van andere landen toe te nemen om op elk moment de balans tussen vraag en aanbod te kunnen handhaven. Overigens kan ook grotere inzet op vraagsturing (“demand side response”) hier enige soelaas bieden. De resultaten laten in ieder geval zien dat meer aandacht nodig is voor het verkrijgen van gedegen inzicht in de minimale hoeveelheid eigen regelbaar vermogen die nodig blijft bij toename van variabel duurzaam vermogen. Dit mede gelet op vergelijkbare ontwikkelingen in het buitenland, en met oog voor bijvoorbeeld de omvang en correlatie van weersystemen; dat wil zeggen de kans dat gelijktijdig en voor langere tijd over grotere gebieden tekorten aan wind- en zonne-energie optreden.

De aardgasvraag daalt in alle scenario’s, maar de rol van gas blijft van belang voor flexibele regelbare productie, back-up en de piekvraag

De resultaten laten een afname van de gasvraag zien voor alle scenario’s. Gas omvat hierbij zowel aardgas als Groen Gas. De afname geldt dus, ook voor Scenario 3, het scenario met een relatief groot (duurzaam) gaskarakter. Aardgas, of meer in het algemeen gasvormige energiedragers blijven wel van belang, in ieder geval als

brandstof voor flexibele gascentrales, back-up centrales en piekcentrales. Gas blijft mogelijk ook van belang voor proceswarmte in de industrie. Weliswaar is met name in Scenario 4 een zekere mate van elektrificatie van de invulling van de warmtevraag in de industrie verondersteld, maar er is niet onderzocht in welke mate elektriciteit nu precies een haalbaar en betaalbaar alternatief is. Dit geldt vooral voor productie van hoge temperatuur proceswarmte, waarbij ook mogelijke consequenties voor verzwaring van de elektriciteitsinfrastructuur een rol spelen. Verder blijft de rol van gas in de gebouwde omgeving een vraagteken. Dit dan met name in de bestaande bouw waar de alternatieven all-electric en warmtelevering uit praktisch en kostentechnisch oogpunt mogelijk niet overal haalbaar zijn. Hier zouden hybride concepten met gas en elektriciteit uitkomst kunnen bieden waarbij een basisvraag wordt gedekt via elektriciteit, en de piekvraag vooral wordt ingevuld via het (bestaande) gasnet. Op termijn kan hier wellicht ook ander volledig hernieuwbaar gas doorheen waardoor emissies verder kunnen worden teruggedrongen.

Inzet van biomassa raakt snel aan de bandbreedte van beschikbaar duurzaam potentieel
Een aanzienlijk deel van de reductie van broeikasgasemissies in Scenario 3 en Scenario 4 wordt gerealiseerd door een grote toename van de inzet van biomassa ten opzichte van de huidige situatie en de beide andere scenario's. De inzet van primaire biomassa ligt in beide scenario's ruim boven de 300 PJ wat grofweg een verdubbeling is van de huidige situatie. Er bestaat veel onzekerheid over het beschikbare potentieel aan duurzame biomassa. Duidelijk is in ieder geval dat we hiervoor zijn aangewezen op import. Op basis van een wereldwijd duurzaam potentieel, dat volgens de huidige inzichten als meest redelijk wordt ingeschat (145 EJ), zou het beschikbare potentieel voor Nederland in de orde van 300 tot 800 PJ liggen (verdeling op basis van aandeel in de wereldbevolking of aandeel in het wereldwijde BNP). De inzet in Scenario 3 en 4 zit al binnen deze bandbreedte. Tegelijkertijd is het aandeel in de totale energievoorziening nog beperkt en is er nog geen rekening gehouden met de mogelijke noodzaak van grootschalige inzet van biomassa als grondstof in de chemische industrie en voor biobrandstoffen voor de luchtvaart en internationale scheepvaart. De cijfers tonen daarom dat zorgvuldig moet worden nagedacht over de rol van biomassa, en de mate waarin biomassa daadwerkelijk duurzaam kan worden ingezet, in een duurzame energievoorziening.

1

Inleiding

De landelijke netbeheerders TenneT en Gasunie Transport Services (GTS) zijn wettelijk verplicht een investeringsplan in te dienen waarin staat beschreven welke investeringen zij voorzien om de energievoorziening in de toekomst te borgen. Daarin moeten TenneT en GTS op gepaste wijze rekening houden met de onzekerheden die rond de ontwikkeling van de energiehuishouding bestaan. Naast het wettelijk vereiste Kwaliteit en Capaciteitsdocument (KCD) maakt GTS daarnaast een Netwerk Ontwikkelingsplan (NOP)

Er zijn altijd onzekerheden over de toekomstige energiehuishouding. De onzekerheden nemen echter toe nu de energietransitie goed op gang komt. Niet langer zijn vooral de absolute vraagniveaus onzeker. Door veranderende inzet van bronnen en technologieën zijn ook de onderlinge verhoudingen van verschillende energiedragers en de interacties tussen energiedragers en tussen sectoren in beweging. Zowel aan de energievraagkant als aan de energie-aanbodkant is hierdoor veel beweging. In de markt kennen bewegingen aan vraag- en aanbodkant bovendien een wederzijdse beïnvloeding.

Het is voor TenneT en GTS momenteel onvoldoende duidelijk in welke mate de ontwikkelingen in hun samenhang van invloed kunnen zijn op de toekomstige piek- en volumevraag naar gas- en elektriciteitstransport. Om deze onzekerheden te kunnen duiden hebben TenneT en GTS behoefte aan scenario's die, voor wat betreft de netwerkbenodigdheden, de hoeken van het speelveld in kaart brengen. Vanuit het overzicht en inzicht dat ECN heeft in de energiehuishouding, zoals o.a. blijkt uit de jaarlijkse Nationale Energieverkenning, hebben TenneT en GTS aan ECN gevraagd te adviseren over toekomstscenario's waarmee kan worden verkend waar de energie-infrastructuur op voorbereid moet zijn. De resultaten hiervan kunnen aldus worden gebruikt voor onderbouwing van aanpassingen aan de infrastructuur, zowel die voor gas als die voor elektriciteit.

1.1 Doelstelling

Het opstellen en uitwerken van scenario's voor aanbod en verbruik van energie in Nederland die voor wat betreft de netwerkbenodigdheden de hoeken van het speelveld in kaart brengen voor een zichtperiode tot en met 2035.

1.2 Reikwijdte

De studie wordt uitgevoerd voor Nederland voor de zichtjaren 2020, 2025, 2030 en 2035. Hierbij wordt rekening gehouden met de situatie in het buitenland voorzover het de elektriciteitsvoorziening betreft, gezien de continue import en export die er plaatsvindt tussen de verschillende markten.

In deze studie is sprake van vier scenario's. Bij aanvang van de studie medio 2016 gaven de resultaten van de Nationale Energieverkenning 2015 [NEV,2015] de meest actuele stand van inzicht weer in de ontwikkeling van de energievoorziening in Nederland. Voor deze studie is deze ontwikkeling doorgetrokken richting 2035, en gebruikt als uitgangspunt voor drie scenario's (Scenario 2 t/m 4). Voor deze scenario's zijn aanpassingen verondersteld ten opzichte van de NEV2015 die qua aard en omvang aansluiten bij ambities voor aanpassing van de energievoorziening die op diverse deelterreinen worden bepleit.

De aannames voor de scenario's zijn in onderling overleg tussen ECN enerzijds en Gasunie en TenneT anderzijds tot stand gekomen. ECN heeft de scenario's voor de energievoorziening doorgerekend. Na doorrekening van de scenario's eind 2016 waren ondertussen de resultaten van de NEV2016 gepubliceerd. Daarop is besloten dit scenario te nemen als referentiescenario; Scenario 1 in deze studie.

De resultaten van de doorrekeningen dienen voor Gasunie en TenneT als invoergegevens in een apart traject voor volume en capaciteitsberekeningen voor de gas- en elektriciteitsinfrastructuur. Deze berekeningen vormen mede een onderbouwing voor de investeringen die noodzakelijk worden geacht om deze infrastructures toekomstbestendig te maken.

1.3 Aanpak

De aanpak om tot de gepresenteerde resultaten te komen omvatte een aantal stappen. De eerste stap was het vastleggen van de uitgangspunten in elk van de scenario's. De focus lag hierbij op de warmte- en elektriciteitskant van de eindverbruikerssectoren en de samenstelling van het elektriciteitspark. Na het vastleggen van de uitgangspunten bestond de volgende stap erin om deze om te zetten naar concrete aannames voor technologieën of brandstoffen in elk van de eindverbruikerssectoren. Op basis van de referentiewaarde uit de NEV-scenario's zijn de effecten van deze aannames

doorgerekend en is een nieuwe energiebalans per sector en per doeljaar samengesteld. Voor de meeste eindverbruikerssectoren is hierbij ook de technologiemix voor invulling van de warmtevraag in beeld gebracht. Deze aanpak is gevolgd voor de industrie, de landbouw, de diensten, de huishoudens en verkeer. De sector water en afval die ook tot de eindverbruikers behoort is onveranderd overgenomen uit de NEV-scenario's.

De volgende stap bestond erin om het elektriciteitsmarktmodel COMPETES te voorzien van de nieuwe elektriciteitsvraag per scenario en per doeljaar. Daarbovenop is het vraagprofiel aangepast met specifieke profielen voor het laden van elektrische auto's en voor verschillende types warmtepompen. Hierbij is van de totale vraag – met het normale profiel – eerst de elektriciteitsvraag voor elektrische auto's en warmtepompen afgehaald. Daarna zijn de elektriciteitsvraag voor elektrische auto's en warmtepompen hier met hun eigen profiel weer bij opgeteld. Ook zijn de gewenste vermogens voor hernieuwbaar, de vermogens aan kolen en nucleair, de uitwisselingscapaciteit met het buitenland, de productie van WKK in de eindverbruikerssectoren en de brandstof- en CO₂-prijs ingevoerd in het elektriciteitsmarktmodel.

Met het elektriciteitsmarktmodel is de inzet van alle vermogens en het bijhorende brandstofverbruik berekend. Hiermee is ook de energiebalans voor de aanbod sectoren gevuld. Naast de elektriciteit- en warmtesector bestaat aanbod ook uit de raffinaderijen, de cokesfabrieken en de winningsbedrijven. Voor deze laatste twee zijn de gegevens uit de NEV aangehouden, hoewel er voor de raffinaderijen een aanpassing is gedaan proportioneel aan de resulterende verandering in de Nederlandse olievraag. In het licht van de scenario-aannames is daarbij aangenomen dat ook in het buitenland, waar een groot deel van de doorzet van de raffinaderijen voor bestand is, een gelijkaardig beeld als Nederland zal vertonen, en dus ook een lagere olievraag laten zien. Om de energiebalans sluitend te krijgen zijn ten slotte de in- en uitvoer aangepast. Hierbij was de aanpak dat de exportdata en de eigen winning zoals in de NEV-scenario's behouden bleven, enkel import is aangepast.

Tot slot zijn op basis van de energiebalansen de CO₂-emissies berekend voor het brandstofverbruik. De andere broeikasgasemissies zijn overgenomen uit de NEV-scenario's om zo de totale broeikasgasemissies van elk van de scenario's te bepalen.

1.4 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 worden de scenario's beschreven en de specifieke aannames voor de scenario's waarmee verkenning van de mogelijke ontwikkeling van de energievoorziening is vormgegeven. Hoofdstuk 3 gaat vervolgens in op de doorrekening van de aannames en de resultaten voor de energievraag en het energieverbruik in de eindverbruikssectoren. Hoofdstuk 4 richt zich op de aanbodkant van het energiesysteem en presenteert de resultaten voor de elektriciteitsmix, de vraag naar aardgas en de behoefte aan inzet van biomassa die volgt uit de scenario's. In Hoofdstuk 5 worden de resultaten vertaald naar de impact op de broeikasgasemissies. Tenslotte geeft Hoofdstuk 6 een samenvatting van de belangrijkste bevindingen en conclusies. Daarnaast geven diverse bijlagen nog enige verdieping van de resultaten en nadere achtergrond, met name rond de doorrekening van het elektriciteitssysteem.

2

Scenario's

Deze sectie beschrijft de scenario's die in deze verkenning met elkaar zijn vergeleken. De beschrijving bestaat uit een verhaallijn en een overzicht van de aannames voor de scenario's. Voor de hoofdlijnen van de scenario's is aangesloten bij de "story lines" die in Europees verband zijn opgesteld binnen het "European Network of "Transmission System Operators for Gas" (ENTSO-G)" en voor "Electricity" (ENTSO-E) [ENTSO,2016] zodat dit werk ook direct in het kader van ENTSO activiteiten kan worden gebruikt.

De aanvang van de studie ligt in begin 2016 toen nog alleen de NEV2015 beschikbaar was. In eerste instantie gold dit als referentiescenario. De overige scenario's zijn varianten met de NEV2015 als uitgangspunt. Aan het eind van de studie kwam ook de NEV2016 [NEV,2016] beschikbaar en is er voor gekozen dit meest actuele beeld als referentiescenario op te nemen.

Voor de Nationale Energieverkenningen zijn uitvoerige publicaties verschenen met beschrijving van vastgestelde en voorgenomen beleidsmaatregelen op het gebied van energie en milieu. Tevens geven de rapporten een gedetailleerd inzicht in de inschattingen van de effecten van de maatregelen op de energievoorziening en de Nederlandse broeikasgasemissies. Voor details over de NEV2015 en NEV2016 wordt dit rapport verwezen naar de betreffende publicaties. De NEV2015 en NEV2016 worden in dit rapport alleen op hoofdlijnen behandeld.

2.1 Scenario 1: Het referentiescenario

Het scenario met vastgesteld en voorgenomen beleid waarover is gerapporteerd in de Nationale Energieverkenning 2016 vormt het referentiescenario voor deze studie. Voor een uitvoerige beschrijving van uitgangspunten en aannames wordt hier verwezen naar de publicatie over de NEV2016 [NEV, 2016]. Het NEV2016 scenario is vooral gericht op het halen van doelen op de korte termijn. Deze liggen in 2020 en 2023. Specifieke keuzes en beleid voor daarna ontbreken nog. Het scenario kan daarom voor die periode worden gekarakteriseerd als "business as usual".

2.1.1 Algemene beschrijving Scenario 1

Scenario op hoofdlijnen

Het referentiescenario is een scenario dat vooral is gericht op het halen van de doelen van het Energieakkoord voor 2023. Het scenario laat zien dat het gestelde doel van 16 procent hernieuwbare energie in 2023 in zicht komt. De groei van hernieuwbaar gaat echter niet zo snel dat het doel van 14 procent in 2020 al zal worden gehaald. Ook het doel van 100 PJ extra energiebesparing in 2020 wordt nog niet gehaald. Het werkgelegenheidsdoel uit het Energieakkoord ligt wel binnen bereik. Verwacht wordt dat de gemiddelde energierekening van burgers in 2020 iets lager zal zijn dan die van 2015. De uitstoot van broeikasgassen neemt tussen 1990 en 2020 af met 23 procent, wat meer is dan eerder verwacht. Uit de NEV 2016 blijkt dat het energiesysteem taai is, waardoor het niet eenvoudig is ambities snel te realiseren.

Het gestelde doel voor hernieuwbare energie in 2020 (14 procent) blijft steken op 12,5 of 12,7 procent, afhankelijk van de definitie. Het doel van 16 procent hernieuwbaar in 2023 komt echter wel in zicht, onder meer door de bouw van windmolenparken op zee. De inzet van het akkoord om per 2020 100 PJ extra aan energie te besparen wordt niet gehaald: de berekende besparing bedraagt 68 PJ in 2020. Sommige maatregelen, zoals het scherpere toezicht op naleving van de Wet Milieubeheer en Europese normen voor zuiniger auto's hebben een groot effect, terwijl andere beperkter bijdragen. Ook waren sommige afspraken voor energiebesparing op 1 mei 2016 nog niet concreet genoeg uitgewerkt om een effect te kunnen berekenen. Dit gaat om de verplichtingen rond energiebesparing, en de 1-op-1 afspraken met energie-intensieve industrie.

Energieprijzen lager dan eerder voorzien, uitstoot broeikasgassen daalt sneller

De NEV2016 wijst op de grote onzekerheden en volatiliteit in de energiesector. Sommige berekeningen wijken daarom fors af van die uit het verleden. De energieprijzen zijn bijvoorbeeld veel lager dan in de NEV2015 nog werden voorzien. Een ander voorbeeld is de geraamde uitstoot van broeikasgassen. In de huidige ramingen voor 2020 daalt deze met 23 procent ten opzichte van 1990, waar eerder een langzamere daling werd voorzien. In de zaak die de organisatie Urgenda heeft aangespannen tegen de Staat, heeft de rechter de Staat opgedragen minstens 25 procent daling te realiseren [RDH, 2015]. Volgens de NEV2016 ligt dat nu dus een stapje dichterbij. Uit de NEV2016 blijkt echter ook dat de broeikasgasemissies na 2020 nog maar weinig verder zullen dalen. Naar verwachting wordt in Nederland in 2035 30 procent reductie gerealiseerd ten opzichte van 1990. Dit ligt nog niet op het pad dat nodig is voor de door Nederland onderschreven ambitie om in 2050 op Europees niveau een reductie van 80 tot 95 procent te halen.

Nederland wordt stroomexporteur

De NEV 2016 laat ook zien dat de Nederlandse energiehuishouding niet onafhankelijk van het buitenland kan worden gezien. In 2020 importeren we nog veel stroom uit Duitsland. De Duitse "Atomausstieg" in de jaren daarna wordt deels opgevangen door toenemende productie uit Nederlandse kolencentrales en de steeds grotere productie van windenergie. Nederland wordt dan per saldo stroomexporteur. Gas laat een ander beeld zien dan elektriciteit. Bij een maximumproductie van het Groningenveld van 24 miljard kubieke meter kan Nederland nog langdurig in de eigen gasbehoefte voorzien.

Ook gaan we minder gas verbruiken. Pas tussen 2030 en 2035 gaan we meer gas importeren dan exporteren.

2.1.2 Uitgangspunten en aannames Scenario 1

De sectie bevat twee overzichten. Het eerste geeft een overzicht van uitgangspunten en aannames voor ontwikkeling van de warmte- en elektriciteitsvraag in de energie-eindverbruikssectoren. Dit overzicht bevat ook aannames over de technieken die in de eindverbruikssectoren worden ingezet voor invulling van de warmtevraag. Het tweede overzicht geeft de uitgangspunten en aannames voor de aanbodsector.

Tabel 1: Uitgangspunten en aannames voor de ontwikkeling van de warmte- en elektriciteitsvraag, en de invulling van de warmtevraag in de eindverbruikssectoren; de vraagsectoren

Eindverbruikssector		Bestaande bouw [t/m 2020]	Nieuwbouw [vanaf 2020]
Huishoudens		Conform NEV2016	Conform NEV2016
Diensten (vloeropp. ≤500 m ²)		Conform NEV2016	Conform NEV2016
Diensten (vloeropp. >500 m ²)		Conform NEV2016	Conform NEV2016
		Glastuinbouw (kassen)	Overige Land- en Tuinbouw
Land- en Tuinbouw		Conform NEV2016	Conform NEV2016
		Niet-ETS	ETS
Industrie		Conform NEV2016	Conform NEV2016
		Situatie 2035 per voertuigsegment	
Verkeer	Personen- en bestelauto's	Conform NEV2016	
	OV-bussen	Conform NEV2016	
	Vrachtauto's en touringcars	Conform NEV2016	
	Railverkeer	Conform NEV2016	
	Scheepvaart	Conform NEV2016	
	Luchtvaart	Conform NEV2016	

Tabel 2: Ingezet vermogen voor elektriciteitsproductie en algemene aannames voor de energiesector

Aanbod	Algemene aannames			
Elektriciteit	Conform NEV2016			
Gas	Conform NEV2016			
Warmtelevering	Conform NEV2016			
	Ingezet vermogen voor elektriciteitsproductie [MWe]			
	2020	2025	2030	2035
Nucleair	484	484	484	0
Kolencentrales	4 640	4 640	4 640	3 410
Gasvermogen *)	14 224	12 957	12 316	11 980
Afval en biomassa	619	616	578	568
Wind op Land	5 140	6 239	6 723	7 083
Wind op Zee	2 374	5 747	8 872	10 991
Zon-PV	4 412	8 440	14 544	21 210

*) Gasvermogen omvat zowel centraal als decentraal opgesteld vermogen, waarbij alle type centrales bij elkaar zijn genomen.

Tabel 3: Energie- en CO₂-prijzen zoals voor het referentiescenario (NEV2016)

Type	Eenheid	2020	2025	2030	2035
Aardgas	€ ₂₀₁₅ /GJ	5,6	7,3	8,9	9,4
Kolen/biomassa	€ ₂₀₁₅ /GJ	1,7	2,4	3,1	3,2
CO ₂	€ ₂₀₁₅ /ton	11	18	26	39

2.2 De basis voor Scenario 2 t/m 4

Deze sectie beschrijft kort de contouren van het drietal verkenningen voor de energievoorziening die zijn in deze studie. De basis voor die verkenningen wordt gevormd door de ontwikkeling van de energievoorziening zoals gerapporteerd in de NEV2015. Voor de verkenningen zijn wijzigingen op die projecties doorgevoerd die het halen van emissiedoelen voor 2030 en daarna dichterbij moeten brengen. Elk set aan wijzigingen vertegenwoordigt een iets andere visie op het verloop van de energietransitie.

2.2.1 NEV2015 als vertrekpunt

Bij de aanvang van deze verkenning gaf de NEV2015 het meest actuele beeld voor de ontwikkeling van de energievoorziening in Nederland. De ontwikkeling tot 2030 zoals voorzien op basis van de stand van zaken begin 2015 met betrekking tot economische ontwikkeling, energieprijzontwikkelingen, en de status van vastgesteld en voorgenomen beleid is daarom als vertrekpunt genomen voor de verkenningen.

Een uitvoerige beschrijving van uitgangspunten en aannames van het NEV2015 scenario is te vinden in de NEV2015 rapportage [NEV,2015]. Net als de NEV2016 toont de NEV2015 dat het aandeel hernieuwbare energie versneld toeneemt tot 2023, mede door inspanningen van partijen in het Energieakkoord. Ook de energiebesparing neemt toe tot 2020. Het energieverbruik blijft dalen maar het tempo van die daling neemt af. Na 2020 vertraagt ook de daling in de uitstoot van broeikasgassen en luchtverontreinigende stoffen.

De resultaten van de NEV2015 en de NEV2016 verschillen enigszins van elkaar, maar de verschillen zijn beperkt. De NEV2016 bevat een gedetailleerd overzicht van de verschillen. De voornaamste verschillen zijn het gevolg van een intensivering van beleid voor besparing in de gebouwde omgeving en een positievere inschatting van de ontwikkeling en implementatie van wind op zee. Beide leiden vooral tot verschillen in de resultaten voor de periode na 2023.

Hoewel ze enigszins verschillen tonen zowel NEV2015 en NEV2016 dat de broeikasgasemissies na 2020 op basis van het vastgestelde en voorgenomen beleid nog maar weinig verder zullen dalen. Voor verdere stappen richting een schoon en betrouwbaar energiesysteem op lange termijn zijn nieuwe beleidsimpulsen nodig. Het nieuwe Nederlandse doel voor alle broeikasgasemissies die niet onder het emissiehandelssysteem (ETS) vallen, het Europese 2030 doel voor emissies onder het ETS, en de Europese ambities voor 2050 zullen daarbij richting geven.

2.2.2 Emissiedoelen voor 2030

In 2014 is overeenstemming bereikt over het EU beleidskader voor klimaat en energie 2030 voor de EU. De doelstellingen zijn:

- een vermindering van de CO₂-uitstoot met ten minste 40 procent ten opzichte van de uitstoot in 1990,
- het aandeel hernieuwbare energie in de EU moet ten minste 27 procent te bedragen,
- verbetering van de energie-efficiëntie met 27 procent.

Het emissiedoel is uitgesplitst in een doel voor verminderen van emissies binnen het ETS en de niet-ETS in 2030, met respectievelijk 43 procent en 30 procent ten opzichte van 2005. Voor ETS geldt dat de emissies steeds verder afnemen. Tijdens de eerste twee handelsperiodes van het EU ETS (2005 t/m 2007 en 2008 t/m 2012) was het plafond voor de EU als geheel gebaseerd op stabilisatie van de CO₂-uitstoot in 2012 op het niveau van 1990. Deze CO₂-doelstelling is door de EU gehaald.

In de derde handelsperiode zal de CO₂-uitstoot van de energie-intensieve industrie moeten dalen met 21 procent in het jaar 2020 vergeleken met het niveau van 2005. Dit laatste betekent dat het plafond jaarlijks met een vast percentage (1,74 procent) zal moeten afnemen. Daardoor zullen er steeds minder emissierechten op de markt komen. Dat betekent dat er meer CO₂-beperkende maatregelen nodig zijn. Onlangs is in Europees verband afgesproken dat een verdere aanscherping zal plaatsvinden tot 43% in de periode tot 2030. Voor het EU ETS betekent dit dat het plafond jaarlijks zal

afnemen met 2,2 procent¹. Op dit moment valt 45 procent van de Nederlandse CO₂-uitstoot onder het EU ETS. Het gaat om de 450 grootste veroorzakers van CO₂-uitstoot in Nederland.

Het pakket bevat echter geen verplichte doelen per land voor duurzame energie, noch voor besparing. Voor deze studie gaan we er van uit dat de EU wel doelstellingen per land overeenkomt op het gebied van CO₂-emissiereductie. In een studie uit 2014 berekende ECN dat de niet-ETS doelstelling voor Nederland 28-48 procent zou kunnen bedragen, voor de EU als geheel zou dat 30 procent zijn [ECN,2014a]. Voor deze studie namen we initieel de bovenzijde van de bandbreedte als leidraad en gingen uit van een 45 procent reductie voor de niet-ETS sectoren.

In juli 2016 kwam de Europese commissie met een nieuw voorstel voor de niet-ETS sectoren omdat bleek dat uit de meest recente projecties slechts een reductie van 24 procent t.o.v. 2005 gehaald werd in 2030 i.p.v. 30 procent [EC,2016]. In dit voorstel zijn landendoelstellingen bepaald op basis van het bbp per hoofd van bevolking. Voor Nederland is het reductiepercentage in 2030 -36 procent t.o.v. 2005. Bijkomend is er een reductietraject afgesproken dat begint in 2020 op basis van de gemiddelde broeikasgasemissies van de periode 2016-2018 en eindigt in 2030 met het bepaalde reductiepercentage. Landen worden geacht om met hun niet-ETS emissies onder dit jaarlijks afnemend plafond te blijven. Daartoe zijn er wel flexibiliteitsmechanismen ingebouwd: dit betreft handelen in de tijd (bankieren en lenen), overdracht van emissieruimte tussen lidstaten en een gemaximeerd gebruik van CO₂-vastlegging door een beperkt aantal bosbouwactiviteiten.

2.2.3 Scenario 2 t/m 4 in het kort

Deze sectie geeft een korte karakterisering van de scenario's. In de volgende secties worden de Scenario's 2 t/m 4 nader toegelicht.

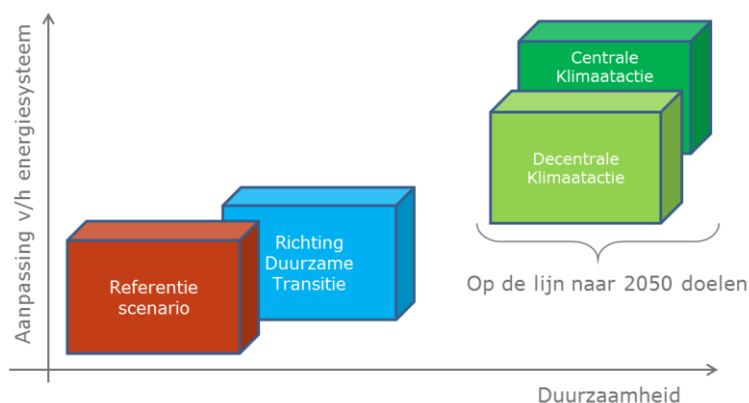
Bij vormgeving van de scenario's is geprobeerd aan te sluiten bij het karakter van de verhaallijnen die in Europees verband zijn opgesteld [ENTSO,2016] in het kader van de tweejaarlijkse herziening van het Ten Year Network Development Plan (TYNDP). De ontwikkeling van deze verhaallijnen vindt plaats binnen het European Network of Transmission System Operators (ENTSO) voor zowel elektriciteit (ENTSO-E) als voor gas (ENTSOG). Ze leveren een beeld voor de algemene trends. De specifieke implicaties van de trends voor de bijbehorende energievoorziening verschilt echter per lidstaat vanwege de verschillen in energievoorziening tussen de lidstaten.

Tabel 4 bevat een karakterisering van de scenario's op hoofdlijnen. In Scenario 2 ligt de nadruk vooral op zicht houden op het halen van de doelen voor 2030, m.n. door snelle sluiting van de kolencentrales. Scenario 3 en Scenario 4 gaan verder. Hierbij ligt bij Scenario 3 relatief meer nadruk op centrale opties, met een grote uitrol van Wind op Zee en aandacht voor centrale systemen voor elektriciteitsopslag. Ook is er relatief veel aandacht voor een transitie via gasroutes, met ingroei van Groen Gas, hybride warmtepompen en ook ingroei van CNG als brandstof voor lichtere voertuigen. Bij Scenario 4 is er relatief meer nadruk voor decentrale opties en een transitie via

elektriciteitsroutes. Dit wordt geïllustreerd door een sterke toename van zon-PV in combinatie met Powerwall-opslagsystemen achter de meter, en ingroei van uitsluitend elektrische auto's en elektrische warmtepompen, en de ingroei van "Power-to-Heat" opties in de industrie. In **Figuur 1** zijn de scenario's tot slot schematisch weergegeven ten opzicht van elkaar op basis van verwacht effect op verduurzaming van de energievoorziening en de relatieve mate van aanpassing van de energiesystemen die is verondersteld.

Tabel 4: Karakterisering van de scenario's op hoofdlijnen

Scenario	Algemene kenmerken
1: Referentiescenario (NEV2016)	- Focus op doelen 2023; daarna business as usual - Huidig en voorgenomen beleid t/m voorjaar 2016 - Aandacht voor besparing in de gebouwde omgeving - Versnelling van de uitrol van Wind op Zee
2: Richting duurzame transitie	- Aansluiting bij ENTSOE scenario "Sustainable Transition" - Stappen in de goede richting; zicht houden op doelen 2030 - Kolenuitstap na 2020 - Fuel switch naar LNG in vrachtverkeer en scheepvaart
3: Centrale klimaatactie	- Aansluiting bij ENTSOE scenario "Global Climate Action" - Aanscherping reductie warmtevraag en elektriciteitsverbruik - Kolenuitstap na 2025 en grote uitrol Wind op Zee - Gas op maat in de sector Verkeer en in de Gebouwde Omgeving inclusief ingroei van Groen Gas en Hybride Warmtepompen - Biomassa voor hoge-temperatuur warmte in de industrie - Aandacht elektriciteitsopslag d.m.v. centrale systemen, m.n. Compressed Air Energy Storage (CAES)
4: Decentrale klimaatactie	- Aansluiting bij ENTSOE scenario "Distributed Generation" - Aanscherping reductie warmtevraag en elektriciteitsverbruik - Prosumers met grote ingroei zon-PV en opslag achter de meter - Vooral elektrische auto's en warmtepompen, en ingroei "Power-to-Heat" in de industrie - Ombouw kolencentrales naar biomassa na 2025.



Figuur 1: Schematische weergave van de scenario's ten opzichte van elkaar

2.3 Scenario 2: Richting duurzame transitie

Deze sectie beschrijft het scenario “Richting duurzame transitie”. Het scenario vertoont overeenkomsten met het scenario “Sustainable Transition” uit het “2040 story lines” document dat een basis levert voor het TYNDP 2018 van ENTSG en ENTSO-E.

2.3.1 Algemene beschrijving Scenario 2

In dit scenario is er een maatschappelijke ambitie om klimaatgerichte actie te nemen en te ondersteunen, maar niet tegen elke prijs; de nadruk ligt op kosteneffectiviteit. De maatschappelijke ambitie vertaalt zich in grote druk op sluiting van de kolencentrales hoewel hier vraagtekens bij zijn te zetten voor wat betreft kosteneffectiviteit en effectiviteit van CO₂-reductie in Europees verband (ETS). Het betekent in ieder geval een grote stap in de goede richting in Nederland.

Er zijn geen significante veranderingen in de warmtevoorziening. Aardgas blijft de belangrijkste bron hoewel het gebruik afneemt als gevolg van toenemende inspanningen op het gebied van energiebesparing. Onder invloed van een toenemend aanbod van aardgas op de wereldmarkt en een stagnerende vraag als gevolg van besparingsmaatregelen is de gasprijs relatief laag en komen nieuwe toepassingen voor aardgas tot ontwikkeling. In Nederland vertaalt dit zich vooral in een toename van de inzet van LNG in vrachtauto's, en in de binnenvaart en de kustvaart. Deze omschakeling van olie naar gas leidt tot verlaging van CO₂-emissies en draagt ertoe bij dat het halen van toekomstige doelen in zicht blijft.

Het aandeel duurzame energie neemt toe, maar kent geen grote versnelling. Gasgestookte elektriciteitscentrales voorzien in de noodzakelijke flexibiliteit om het aanbod vanuit duurzame bronnen in balans te brengen met de vraag in het elektriciteitssysteem.

Het scenario is grotendeels gelijk aan het NEV2015-scenario, maar wijkt daar op 2 punten van af. Dit zijn:

- In 2020 zijn alleen de allernieuwste kolencentrales nog in gebruik. De Amer- en Hemwegcentrale zijn gesloten. Vanaf 2025 zijn alle kolencentrales uit productie. De sluiting van kolencentrales wordt deels gecompenseerd door het uit de mottenballen halen van gascentrales. Deze zitten echter hoger in de “merit-order” waardoor de export van elektriciteit zal teruglopen en import van goedkopere elektriciteit toeneemt voorzover de verbindingen met de omliggende landen dat toelaat. De toename van inzet van aardgas en import ter vervanging van kolen leidt tot een daling van CO₂ emissies voor elektriciteitsproductie. Vanwege nog steeds lage CO₂-prijzen blijft ook in dit scenario de inzet van CCS zeker tot 2035 beperkt tot demonstratieprojecten.
- LNG komt tot ontwikkeling in de binnenvaart en het zwaar transport waar men toe kan met een minder fijn vertakte infrastructuur als voor personenauto's. In lijn met de ambities uit de Nederlandse Brandstofvisie [MIN,2014] neemt het aandeel LNG geleidelijk toe en bedraagt 30 procent in 2035 voor de

binnenlandse scheepvaart en het zwaar vrachtverkeer (vrachtauto's en touringcars).

2.3.2 Uitgangspunten en aannames Scenario 2

De uitgangspunten en specifieke aannames voor Scenario 2 zijn nader beschreven in onderstaande tabellen. Voorzover de uitgangspunten en aannames overeenkomen met het NEV2015 scenario, wordt hier verwezen naar de uitvoerige rapportage over dit scenario [NEV,2015].

Tabel 5: Uitgangspunten en aannames voor de ontwikkeling van de warmte- en elektriciteitsvraag, en de invulling van de warmtevraag in de eindverbruikssectoren; de vraagsectoren.

Eindverbruikssector		Bestaande bouw [t/m 2020]	Nieuwbouw [vanaf 2020]
Huishoudens		Conform NEV2015	Conform NEV2015
Diensten (vloeropp. ≤500 m ²)		Conform NEV2015	Conform NEV2015
Diensten (vloeropp. >500 m ²)		Conform NEV2015	Conform NEV2015
		Glastuinbouw (kassen)	Overige Land- en Tuinbouw
Land- en Tuinbouw		Conform NEV2015	Conform NEV2015
		Niet-ETS	ETS
Industrie		Conform NEV2015	Conform NEV2015
Situatie 2035 per voertuigsegment			
Verkeer	Personen- en bestelauto's	Conform NEV2015	
	OV-bussen	Conform NEV2015	
	Vrachtauto's en touringcars	30% van dit segment rijdt is over op LNG.	
	Railverkeer	Conform NEV2015	
	Scheepvaart	30% van de binnenlandse scheepvaart is over op LNG	
	Luchtvaart	Conform NEV2015	

Tabel 6: Ingezet vermogen voor elektriciteitsproductie en algemene aannames voor de energiesector

Aanbod	Algemene aannames			
Elektriciteit	Snelle sluiting van kolencentrales			
Gas	Winning en export volgens NEV2015. Import vormt de balans.			
Warmtelevering	Gasketels vormen de balanspost bij tekort aan warmte voor warmtenetten door sluiting van kolencentrales die aan warmtenetten leveren.			
	Ingezet vermogen voor elektriciteitsproductie [MWe]			
	2020	2025	2030	2035
Nucleair	484	484	484	0
Kolencentrales	3 410	0	0	0
Gascentrales	16 890	19 266	18 627	17 998
Afval en biomassa	596	665	638	611
Wind op Land	5 142	6 372	6 695	6 695
Wind op Zee	2 374	4 424	4 253	4 253
Zon-PV	5 865	11 904	17 320	22 736

*) Gasvermogen omvat zowel centraal als decentraal opgesteld vermogen, waarbij alle type centrales bij elkaar zijn genomen.

Tabel 7: Energie- en CO₂-prijzen zoals voor het Scenario 2: “Richting Duurzame Transitie”

Type	Eenheid	2020	2025	2030	2035
Aardgas	€ ₂₀₁₅ /GJ	9,9	9,7	10,5	10,5
Kolen/biomassa	€ ₂₀₁₅ /GJ	3,2	3,4	3,5	3,5
CO ₂	€ ₂₀₁₅ /ton	11	15	20	20

2.4 Scenario 3: Centrale Klimaatactie

Deze sectie beschrijft het scenario “Centrale klimaatactie”. Het scenario vertoont overeenkomsten met het scenario “Global Climate Action” uit het “2040 story lines” document dat een basis levert voor de het TYNDP 2018 van ENTSG en ENTSO-E.

2.4.1 Algemene beschrijving Scenario 3

In het scenario “Centrale Klimaatactie” zet het voorzichtige economisch herstel uit de periode 2014-2016 door tot een langjarige evenwichtige economische ontwikkeling. Het klimaatakkoord van Parijs leidt tot wereldwijde klimaatactie. Er komen wereldwijde instrumenten tot ontwikkeling om de reductie van CO₂-emissies te stimuleren. De EU ligt op koers om de reductiedoelen voor 2050 te halen.

Een efficiënt ETS is een essentiële factor in het vergaand terugdringen van de emissies van de elektriciteitssector. De CO₂-prijs voorziet in een krachtig marktsignaal voor grootschalige investeringen in emissiearme elektriciteitsproductie en ook de ontwikkeling van benodigde flexibiliteit in het systeem. In het algemeen vindt implementatie van zon en wind vooral daar plaats waar de opbrengsten het hoogst zijn, zoals offshore wind op de Noordzee. Als gevolg van de toenemende CO₂-prijs wordt kolen duurder en komt richting 2030 gasgestookt vermogen voor kolen te liggen in de “merit order”. De gascentrales dragen bij aan de benodigde flexibiliteit in het elektriciteitssysteem en ondersteunen daarmee de inpassing van de variabele duurzame energiebronnen zon en wind. Ook grootschalige opslagtechnologieën komen tot ontwikkeling en vormen een bron voor flexibiliteit. Het maatschappelijk draagvlak voor afvang en opslag van CO₂ blijft laag, en als gevolg daarvan blijft de toepassing beperkt.

Aanbod Nederland

In Nederland leiden de ontwikkelingen tot versnelde sluiting van kolencentrales. Na 2020 zijn alleen de 4 nieuwste centrales nog in bedrijf, maar die sluiten ook in de periode 2025-2030. Zon-PV kent een sterke groei tot 2025 maar door een combinatie van aanscherping van de salderingsregeling en onvoldoende kostendaling voor opslagsystemen achter de meter, vlakkt de groei daarna af. Na een ruime verdubbeling van 2020 naar 2025 tot 12 GW blijft de teller steken op 19 GW in 2035. Wind op land ontwikkelt zich na aanvankelijke sterke weerstand uiteindelijk toch conform de Provinciale structuurvisies die zijn opgesteld in het kader van het Energieakkoord. De

verrassende kostendalingen die zich voordeden voor wind op zee in 2016 blijken structureel en leiden tot snelle uitbreiding. In 2035 staat er 16 GW op het Nederlands deel van de Noordzee. Uitbreiding van de interconnectiecapaciteit tot bijna 10 GW, voor uitwisseling van momentaan overschot met het buitenland, en 2,5 GW “compressed air energy storage” (CAES) systemen in combinatie met flexibele gascentrales zorgen voor de balans.

Aardgas blijft een bron van belang. Het invoeden van Groen Gas verkregen door opwaarderen van biogas uit vergisting leidt tot significante verduurzaming van het gas. Richting 2030 wordt ook de productie van Groen Gas via vergassing concurrerend en begint een bijdrage te leveren.

Industrie

De goede internationale afstemming van klimaatbeleid voorkomt ‘carbon leakage’ tussen landen. Hierdoor blijft de relatieve concurrentiepositie van de energie-intensieve industrie behouden. In de industrie die onder het ETS valt resulteren de stijgende CO₂-prijzen in een nog grotere aandacht voor besparing en verduurzaming. Dit leidt tot extra daling van de finale warmtevraag per eenheid product. In de chemie en metaal wordt de inzet van aardgas voor hoge temperatuur proceswarmte deels vervangen door de inzet van biomassa. Tegelijkertijd blijft door sluiting van de kolencentrales de business case voor WKK op peil; industrie-WKK past goed als vervanging door het continue aanbod in verband met de continue warmtevraag in de industrie. CCS vindt plaats daar waar dit kan tegen de laagste kosten. Toepassing blijft beperkt tot processen waar CO₂ geconcentreerd vrijkomt, zoals bij productie van waterstof met aardgas.

Gebouwde omgeving en Land- en Tuinbouw

De isolatie van bestaande woningen en gebouwen vordert gestaag. Alle nieuwbouw vanaf 2020 voldoet aan de strengste eisen qua isolatie. Elektrische en hybride warmtepompen (EWP en HWP) veroveren een aanzienlijk aandeel in de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving. HWP's vooral in de bestaande bouw met een bestaande gasaansluiting en EWP's in de nieuwbouw. Daarnaast is er een mix van uitbreiding van warmtenetten en warmte/koude-opslag, terwijl ook aardgasgestookte HR-ketels nog een grote rol blijven spelen in de bestaande bouw. In de glastuinbouw vindt flinke uitbreiding van warmte uit geothermie plaats, terwijl inzet van WKK terugloopt.

Verkeer en Vervoer

Elektriciteit en aardgas leveren beide een belangrijke bijdrage aan het realiseren van doelstellingen voor emissiereductie in verkeer en vervoer. Elektriciteit speelt vooral een rol bij personenauto's en OV-stadsbussen. Het aandeel CNG personenauto's is kleiner, maar is meer van belang voor bestelauto's. Daarnaast rijdt de helft van de OV-streekbussen op CNG. De andere helft rijdt brandstofcel-elektrisch met waterstof als brandstof. Deze optie groeit vanaf midden jaren '20 maar heeft nog maar een bescheiden aandeel in 2035. Voor zwaar transport en scheepvaart zijn elektriciteit en CNG geen alternatief. In deze segmenten heeft LNG echter een aanmerkelijk aandeel weten te verwerven.

Elektriciteitsvraag

De verschuiving naar verwarming via warmtepompen en elektrisch rijden leidt tot extra vraag naar elektriciteit in verschillende sectoren. Aandacht voor energie efficiëntie als gevolg EU-richtlijnen voor het energieverbruik van verlichting en apparaten leidt tegelijkertijd tot een daling. Per saldo is er hierdoor slechts sprake van een lichte toename van het elektriciteitsverbruik ten opzichte van de huidige situatie.

Aardgasvraag

Het jaarlijkse aardgasverbruik neemt toe in de transportsector. In de andere sectoren neemt het af, voornamelijk als gevolg van verbeterde isolatie van de gebouwde omgeving, toepassing van technologie met een hoger rendement (bv. HWP), en een overgang naar gasloze systemen (bv. EWP) en andere energiebronnen (bv. geothermie in land- en tuinbouw, en biomassa in industrie).

2.4.2 Uitgangspunten en aannames Scenario 3

De uitgangspunten en specifieke aannames voor Scenario 3 zijn nader beschreven in onderstaande tabellen.

Tabel 8: Uitgangspunten en aannames voor de ontwikkeling van de warmte- en elektriciteitsvraag, en de invulling van de warmtevraag in de eindverbruikssectoren; de vraagsectoren.

Eindverbruikssector	Bestaande bouw [t/m 2020]	Nieuwbouw [vanaf 2020]
Huishoudens	- Continuering van de Ecodesign richtlijn 2009/125/EG; besparing op elektriciteit blijft 2,4%/j - Warmtevraag als in NEV2015 - Verdubbeling van het aandeel warmtenetten in 2035 t.o.v. het aandeel in 2030 zoals in NEV2015 (van 5,3% → 10,6%) - Gemiddeld 50% van de jaarlijkse vervanging van gasketels wordt een hybride-WP in de periode 2021-2035	- Continuering van de Ecodesign richtlijn 2009/125/EG; besparing op elektriciteit blijft 2,4%/j - Warmtevraag als in NEV2015 - Het aandeel met warmtenetten is als in NEV2015 (21%) - Geen gas in de nieuwbouw; na 2020 is de rest alleen elektrische-WPs
Diensten (vloeropp. ≤500 m ²)	- Voortzetting besparing van elektriciteit op 1,7%/j - Reductie warmtevraag van 0,5%/j naar 1%/j per 2015 - Verdubbeling van het aandeel warmtenetten in 2035 t.o.v. het aandeel in 2015 - Aandeel hybride-WP in 2035 gelijk aan sector huishoudens a.g.v. vervanging van ketels	- Bouw volgens BENG-eisen; zoals in NEV2015 - Aandeel warmtenetten als in NEV2015, d.w.z. van 8% in 2020 naar 18% in 2030; 2035 = 2030 - Resterend aandeel heeft een elektrische-WP
Diensten (vloeropp. >500 m ²)	- Voortzetting besparing van elektriciteit op 1,7%/j - Reductie warmtevraag van 0,5%/j naar 1%/j per 2015	- Bouw volgens BENG-eisen; zoals in NEV2015 - Aandeel warmtenetten als in NEV2015, d.w.z. van 8% in 2020

		- Naast warmtenetten en WKK (als in NEV2015) in 2035 alleen nog WKO-systemen, met lineaire ingroei vanaf 2015 - Resterend aandeel tot 2035 is gasketels	naar 18% in 2030; 2035 = 2030 - Resterend aandeel heeft een WKO-systeem
		Glastuinbouw (kassen)	Overige Land- en Tuinbouw
Land- en Tuinbouw		- Reductie warmtevraag van 1,2%/j naar 2,5%/j in de periode 2015-2035 - 25% van de kassen met geothermie in 2030 - Halvering van invulling warmtevraag door WKK in 2030 - Resterende vraag 50/50 gasketels/warmtenet	Conform NEV2015
		Niet-ETS	ETS
Industrie		- Reductie warmtevraag van 0,8%/j en 1,1%/j in diverse perioden naar 1,5%/j in de periode 2015-2035 - Decentrale WKK neemt af zoals in NEV2015 - Ingroei hybride- en elektrische-WP voor warmte ≤ 100 °C met gelijk aandeel als in het totaal voor de Dienstensector	- Reductie warmtevraag van 0,8%/j en 1,1%/j in diverse perioden naar 1,5%/j in de periode 2015-2035 - Warmte door WKK blijft op het niveau van 2013 - Vanaf 2020 vervanging van aardgas door biomassa voor hoge temperatuur warmte in de chemie en de metaal
		Situatie2035 per voertuigsegment	
Verkeer	Personen- en bestelauto's	- 25% volledig elektrisch (batterijen) - 5% brandstofcel-elektrisch op waterstof - 10% van de auto's en 25% van de bestelauto's is over op CNG	
	OV-bussen	- 50% volledig elektrisch; stadsbussen - 25% brandstofcel-elektrisch op waterstof; streekbussen - 25% op CNG; rest streekbussen	
	Vrachtauto's en touringcars	30% van het vrachtverkeer is over op LNG	
	Railverkeer	Conform NEV2015 met 2035 gelijk aan 2030	
	Scheepvaart	30% van de binnenlandse scheepvaart is over op LNG	
	Luchtvaart	Conform NEV2015 met 2035 gelijk aan 2030	

Tabel 9: Ingezet vermogen voor elektriciteitsproductie en algemene aannames voor de energiesector

Aanbod	Algemene aannames			
Elektriciteit	- Versnelde sluiting van kolencentrales - Sterke ontwikkeling en ingroei van wind op zee			
Gas	- Winning en export volgens NEV2015. Import vormt de balans - Ingroei van 110 PJ Groen Gas tot 2035 (3,4 bcm) conform Routekaart Hernieuwbaar Gas [GGF,2014]			
Warmtelevering	- Gasketels vormen de balanspost bij tekort aan warmte voor warmtenetten door sluiting van kolencentrales die aan warmtenetten leveren.			
	Ingezet vermogen voor elektriciteitsproductie [MWe]			
	2020	2025	2030	2035
Nucleair	484	484	484	0
Kolencentrales	4 640	3 410	0	0
Gascentrales *)	16 217	15 336	14 264	13 279
Afval en biomassa	596	665	638	611
Wind op Land	5 142	6 372	6 700	7 000
Wind op Zee	2 350	5 750	12 000	16 000
Zon-PV	5 865	11 904	15 000	19 000
Opslag CAES	0	0	1 250	2 500

*) Gasvermogen omvat zowel centraal als decentraal opgesteld vermogen, waarbij alle type centrales bij elkaar zijn genomen.

Tabel 10: Energie- en CO₂-prijzen zoals voor Scenario 3: “Centrale Klimaatactie”

Type	Eenheid	2020	2025	2030	2035
Aardgas	€ ₂₀₁₅ /GJ	5,6	7,3	7,8	7,8
Kolen/biomassa	€ ₂₀₁₅ /GJ	1,7	2,4	2,4	2,4
CO ₂	€ ₂₀₁₅ /ton	11	18	82	103

2.5 Scenario 4: Decentrale Klimaatactie

Deze sectie beschrijft het scenario “Decentrale Klimaatactie”. Het scenario vertoont overeenkomsten met het scenario “Distributed Generation” uit het “2040 story lines” document dat een basis levert voor de het “Ten Year Network Development Plan” (TYNDP) 2018 van ENTSG en ENTSO-E.

2.5.1 Algemene beschrijving Scenario 4

Ook in het scenario Decentrale Klimaatactie zet het voorzichtige economisch herstel uit de periode 2014-2016 door tot een langjarige evenwichtige economische ontwikkeling. Ook nu leidt het klimaatakkoord van Parijs tot wereldwijde klimaatactie, en zijn de

ontwikkelingen zodanig dat de EU op koers blijft liggen om de reductiedoelen voor 2050 te halen.

Significante sprongen in innovatie van kleinschalige productiesystemen en technologie voor opslag achter de meter vormen een belangrijke drijvende kracht in de verduurzaming van vooral de lokale energievoorziening. Door snelle en vergaande kostendaling bieden technologieën zoals zon-PV in combinatie met batterijsystemen een concurrerende optie voor “prosumers” in grote delen van Europa, ook in Nederland.

Aanbod Nederland

In Nederland neemt zon-PV een grote vlucht. Het geïnstalleerd vermogen groeit tot 30 GW in 2035. Batterijsystemen achter de meter stellen huishoudens en andere partijen in staat om de zelf geproduceerde elektriciteit optimaal te benutten voor eigenverbruik. Er ontstaan vele lokale duurzame energiecoöperaties. Hierdoor neemt ook het draagvlak voor wind op land toe waardoor het mogelijk is om het maximale potentieel op land te realiseren. De kostendaling voor offshore wind daarentegen blijft achter bij de verwachtingen. De scherpe biedingen in 2016 bleken te optimistisch en hebben tot financiële problemen geleid. Er bleken uiteindelijk toch meer middelen nodig waardoor implementatie in een wat lager tempo plaatsvindt. In 2035 staat de teller op 9 GW.

Onder invloed van een effectief ETS voorziet de CO₂-prijs in een krachtig marktsignaal voor grootschalige investeringen in emissiearme elektriciteitsproductie. Door de stijgende CO₂-prijs komt richting 2030 gasgestookt vermogen voor kolen te liggen in de “merit order”. Voor kolencentrales wordt het daarmee steeds lastiger. In reactie hier op wordt ombouw naar biomassacentrales gestimuleerd mede met het oog op maximale diversificatie van bronnen. Ombouw vindt plaats in de periode 2025-2030.

Industrie

De goede internationale afstemming van klimaatbeleid voorkomt ‘carbon leakage’ tussen landen. Hierdoor blijft de relatieve concurrentiepositie van de energie-intensieve industrie behouden. In de industrie die onder het ETS valt resulteren de stijgende CO₂-prijzen in een nog grotere aandacht voor besparing. Dit leidt tot extra daling van de finale warmtevraag per eenheid product. WKK in de industrie wordt afgebouwd. “Power-to-Heat” doet zijn intrede voor productie van stoom en proceswarmte tot temperaturen van 200-250°C. Elektrificatie van deze warmtevraag draagt bij tot flexibilisering van het elektriciteitssysteem. Het vervangt voornamelijk de inzet van aardgas. Dit blijft wel de voornaamste bron voor productie van warmte in de industrie.

Gebouwde omgeving en Land- en Tuinbouw

Voor isolatie en renovatie van bestaande woningen van voor 1995 wordt gestuurd op “Nul op de Meter” met warmtevoorziening door EWP's. Er is geen ingroei van HWP's. Woningen die nog niet geschikt zijn voor verwarming via een EWP houden HR-ketels. Daarnaast vindt enige uitbreiding van aansluiting op warmtenetten plaats. Alle nieuwbouw vanaf 2020 voldoet aan de strengste eisen qua isolatie. Ook hier gaat de voorkeur uit naar de EWP, naast een klein deel op warmtenetten. Een vergelijkbare ontwikkeling vindt plaats bij gebouwen. Ook hier geen ingroei van de HWP, en dus een beweging weg van aardgas hoewel volledige uitfasering tijd vergt en pas ruim na 2035 een feit zal zijn. In de glastuinbouw vindt flinke uitbreiding van warmte uit geothermie

plaats. Ketels op gas worden al voor 2020 uitgefaseerd. Naast geothermie is WKK de belangrijkste bron voor warmte, vooral in de koudere maanden. Daarnaast doet ook de EWP zijn intrede in de glastuinbouw, vooral voor de warmtevoorziening in de mildere seizoenen.

Verkeer en vervoer

Batterijtechnologie ontwikkelt zich zeer voorspoedig zowel qua energiedichtheid en levensduur, als op het gebied van kosten. De toename van zelf elektriciteit opwekken, vooral via zon-PV, en de lokale energiecoöperaties versterken het idee van rijden op eigen energie en beide ontwikkelingen leiden tot een versnelde groei van elektrisch rijden. In 2035 zijn 50 procent van de personen- en bestelauto's elektrisch. Er is geen ingroei van CNG. Ook alle OV-bussen zijn elektrisch. Brandstofcel-elektrisch rijden op waterstof komt mede door het succes van batterij-elektrisch niet van de grond. Deze optie komt daarom ook niet in beeld voor het zware vrachtverkeer en de scheepvaart waar batterijen niet toereikend zijn. Hier vindt ingroei van LNG plaats als milieu- en klimaatvriendelijker alternatief voor diesel.

Elektriciteitsvraag

De verschuiving naar verwarming via warmtepompen en elektrisch rijden leidt tot extra vraag naar elektriciteit in verschillende sectoren. Aandacht voor energie efficiëntie als gevolg EU-richtlijnen voor het energieverbruik van verlichting en apparaten leidt tegelijkertijd tot een daling. Per saldo is er hierdoor slechts sprake van een lichte toename van het elektriciteitsverbruik ten opzichte van de huidige situatie.

Aardgasvraag

Het jaarlijkse aardgasverbruik neemt toe in de transportsector, maar alleen voor zwaar transport. In de andere sectoren is er een dalende trend, voornamelijk als gevolg van verbeterde isolatie van de gebouwde omgeving, een overgang naar gasloze systemen (bv. EWP) en andere energiebronnen (bv. geothermie in land- en tuinbouw, en "Power-to-Heat" in de industrie).

2.5.2 Uitgangspunten en aannames Scenario 4

De uitgangspunten en specifieke aannames voor Scenario 4 zijn nader beschreven in onderstaande tabellen.

Tabel 11: Uitgangspunten en aannames voor de ontwikkeling van de warmte- en elektriciteitsvraag, en de invulling van de warmtevraag in de eindverbruikssectoren; de vraagsectoren.

Eindverbruikssector	Bestaande bouw [t/m 2020]	Nieuwbouw [vanaf 2020]
Huishoudens	- Continuering Ecodesign richtlijn 2009/125/EG; besparing op elektriciteit blijft 2,4%/j - Gemiddeld 90 000 "Nul op de Meter" renovaties woningen van voor 1995 in de periode 2020-2035; deze krijgen een elektrische warmtepomp	- Gelijk aan Scenario 3 "Centrale Klimaatactie"

	- Verdubbeling van het aandeel warmtenetten in 2035 t.o.v. het aandeel in 2030 zoals in NEV2015 (5,3% → 10,6%) - Geen ingroei hybride-WP; de rest heeft een HR-ketel	
Diensten (vloeropp. ≤500 m ²)	- Voortzetting besparing van elektriciteit op 1,7%/j - Reductie warmtevraag van 0,5%/j naar 1%/j per 2015 - Verdubbeling aandeel warmtenetten in 2035 t.o.v. het aandeel in 2015 - Aandeel elektrische-WP als in de sector Huishoudens - Geen ingroei hybride-WP; de rest heeft een ketel	- Gelijk aan Scenario 3 "Centrale Klimaatactie"
Diensten (vloeropp. >500 m ²)	- Voortzetting besparing van elektriciteit op 1,7%/j - Reductie warmtevraag van 0,5%/j naar 1%/j per 2015 - Aandeel warmtenetten als in NEV2015 - Afbouw WKK en gasketels naar nul in 2035 - Resterend warmtevraag ingevuld door WKO-systemen	- Gelijk aan Scenario 3 "Centrale Klimaatactie"
	Glastuinbouw (kassen)	Overige Land- en Tuinbouw
Land- en Tuinbouw	- Reductie warmtevraag van 1,2%/j naar 2,5%/j in de periode 2015-2035 - 25% van de kassen uitgerust met geothermie in 2030 - Uitfasering van gasketels voor 2020 - Resterende vraag voor 2/3 ingevuld door WKK (vnl. winter) en 1/3 door elektrische-WP	Aannames gelijk aan Glastuinbouw
	Niet-ETS	ETS
Industrie	- Reductie warmtevraag zoals in Scenario 3 - Decentrale WKK neemt af zoals in NEV2015 - Ingroei elektrische-WP voor warmte ≤100 °C met gelijk aandeel als in het totaal voor de Dienstensector; geen ingroei hybride-WP	- Reductie warmtevraag zoals in Scenario 3 - Afbouw WKK zoals in NEV2015 - In 2020 5% "Power-to-Heat" in papier, voeding, metaal en bouwmaterialen, met groei naar 35% in 2035 - Invulling resterende vraag door gasketels

		Situatie 2035 per voertuigsegment
Verkeer	Personen- en bestelauto's	- 50% volledig elektrisch (batterijen) - Verdringing van overige brandstoffen naar rato
	OV-bussen	100% volledig elektrisch (batterijen); stads- en streekbussen
	Vrachtauto's en touringcars	30% van het vrachtverkeer is over op LNG
	Railverkeer	Conform NEV2015 met 2035 gelijk aan 2030
	Scheepvaart	30% van de binnenlandse scheepvaart is over op LNG
	Luchtvaart	Conform NEV2015 met 2035 gelijk aan 2030

Tabel 12: Ingezet vermogen voor elektriciteitsproductie en algemene aannames voor de energiesector

Aanbod	Algemene aannames			
Elektriciteit	- Ombouw van kolencentrales naar biomassacentrales tussen 2025 en 2030 - Beperkte ingroei van wind op zee - Sterke ontwikkeling en ingroei zon-PV			
Gas	- Winning en export volgens NEV2015. Import vormt de balans			
Warmtelevering	- Gasketels vormen de balanspost bij tekort aan warmte voor warmtenetten door sluiting van kolencentrales die aan warmtenetten leveren			
	Ingezet vermogen voor elektriciteitsproductie [MWe]			
	2020	2025	2030	2035
Nucleair	484	484	484	0
Kolencentrales	4 640	3 410	0	0
Biomassacentrales	0	0	3 410	3 410
Afval en biomassa	596	665	638	611
Gascentrales *)	16 217	14 895	13 929	14 594
Wind op Land	5 142	6 372	7 000	8 000
Wind op Zee	2 350	4 424	7 000	9 000
Zon-PV	5 865	11 904	23 000	30 000
Opslag Powerwall (aantal eenheden)	0	0	3 300 (1 mln)	6 600 (2 mln)

*) Gasvermogen omvat zowel centraal als decentraal opgesteld vermogen, waarbij alle type centrales bij elkaar zijn genomen.

Tabel 13: Energie- en CO₂-prijzen zoals voor Scenario 4: "Decentrale Klimaatactie"

Type	Eenheid	2020	2025	2030	2035
Aardgas	€ ₂₀₁₅ /GJ	5,6	7,3	7,8	7,8
Kolen/biomassa	€ ₂₀₁₅ /GJ	1,7	2,4	2,4	2,4
CO ₂	€ ₂₀₁₅ /ton	11	18	82	103

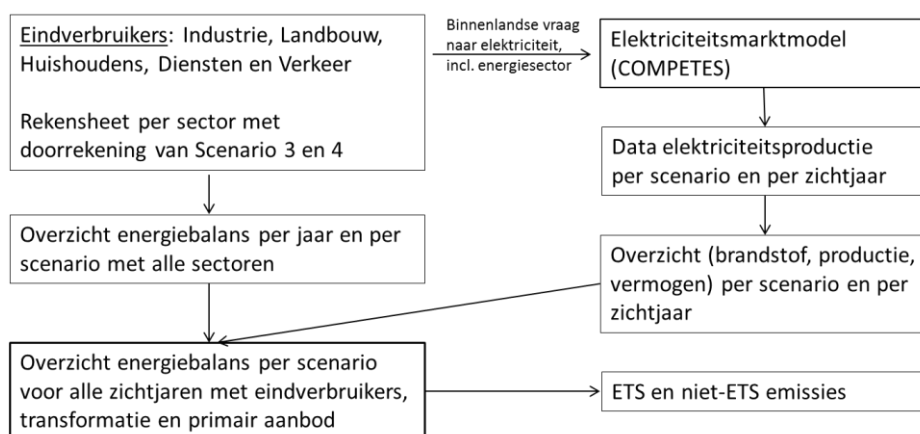
3

Energievraag en verbruik in de eindverbruikssectoren

In dit hoofdstuk staat de vraagzijde van de Nederlandse energiehuishouding centraal. Eerst wordt in paragraaf 3.1 kort toegelicht hoe doorrekening van de scenario's is gedaan. Vervolgens worden de resultaten beschreven van de doorrekening. Hierbij is eerst aandacht voor de ontwikkeling van finale warmtevraag en de finale elektriciteitsvraag in de eindverbruikssectoren in respectievelijk paragraaf 3.2.1 en 3.2.2. Daarna worden de resultaten gegeven voor het finale energieverbruik in de eindverbruikssectoren in paragraaf 3.3.

3.1 Doorrekening van de scenario's

Onderstaand is schematisch weergegeven hoe de scenario's zijn doorgerekend



Figuur 2: Schematische weergave van de doorrekening van de scenario's

Voor elk van de eindverbruikssectoren is per scenario en per doeljaar een rekensheet opgesteld. Hierin is uitgaande van het energieverbruik en de technologie-inzet uit de NEV scenario's een vertaling van de aannames gemaakt en een nieuw beeld berekend voor achtereenvolgens de vraag naar elektriciteit voor kracht en licht, de warmtevraag, de technologiemix voor invulling van de warmtevraag, en het energieverbruik dat daarvan het gevolg is. Dit finale energieverbruik is verwerkt in een standaard formaat voor de energiebalans.

Per scenario is een nieuwe elektriciteitsvraag bepaald. Dit is het totaal over alle eindverbruikssectoren, met daarbij opgeteld het elektriciteitsverbruik van de energiesector (het eigenverbruik van de energiesector). Deze nieuwe vraag bestaat in de meeste gevallen uit een conventionele vraag voor kracht en licht die is aangepast op basis van aannames voor verbetering van de efficiency van verlichting en apparaten, en een vraag naar elektriciteit voor warmte, of een vraag voor elektrische auto's. Elk type vraag is over het jaar verdeeld op basis van een apart specifiek profiel. Het samengestelde profiel is samen met de overige aannames voor de productie van elektriciteit gebruikt als invoergegeven voor doorrekening van het elektriciteitssysteem met behulp van het elektriciteitsmarktmodel COMPETES. Het resultaat hiervan is de inzet van opties voor de productie van elektriciteit en warmte, de brandstofinzet die daarmee samenhangt, en de emissies die daar het gevolg van zijn.

De brandstofinzet uit het elektriciteitsmarktmodel is, samen met verbruiksgegevens voor de overige sectoren aan de aanbodzijde (raffinaderijen, cokesfabrieken en winningsbedrijven) op basis van de NEV-scenario's, gebruikt om de energiebalansen verder aan te vullen. Tot slot zijn de balansen sluitend gemaakt voor primair aanbod met behulp van import, export en winning van energie. Hierbij zijn de termen export en winning zo veel mogelijk gelijk gehouden aan de onderliggende NEV-scenario's.

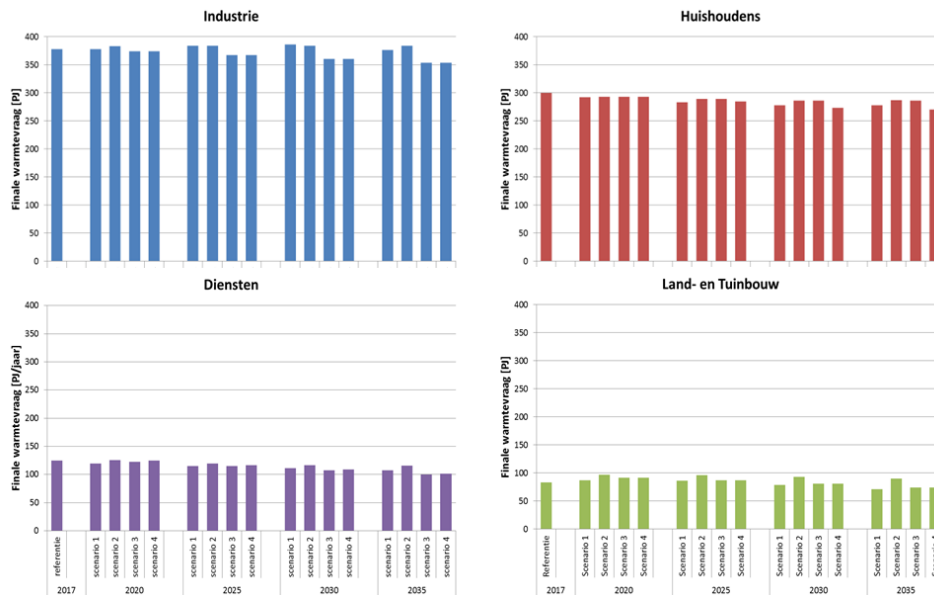
3.2 Ontwikkeling van de finale energievraag

Deze sectie beschrijft achtereenvolgens de resultaten voor de ontwikkeling van de finale warmtevraag en de finale elektriciteitsvraag in de eindverbruikssectoren.

3.2.1 Finale warmtevraag in de eindverbruikssectoren

De finale warmtevraag omvat de vraag naar lage temperatuur warmte voor ruimteverwarming en verwarming van tapwater, en de vraag naar hoge temperatuur proceswarmte. De vraag naar lage temperatuur warmte concentreert zich vooral in de gebouwde omgeving en in de land- en tuinbouw, met een klein aandeel vanuit de industrie (ook wel nijverheidssector). De vraag naar hoge temperatuurwarmte zit alleen in de industrie, en dan vooral in de chemische industrie en de ijzer en staal industrie. De sector Verkeer heeft niet echt een warmtevraag. Deze sector heeft een finale energievraag voor het leveren van kracht voor aandrijving van voertuigen. In dit rapport wordt voor deze sector alleen het finaal energieverbruik getoond in paragraaf 3.3.5.

Figuur 3 toont per eindverbruikssector de ontwikkeling van de finale warmtevraag in de diverse scenario's voor de zichtjaren 2020, 2025, 2030 en 2035. De warmtevraag in 2017 in Scenario 1 is toegevoegd als referentie. Duidelijk is dat de Industrie de sector is met de grootste warmtevraag, gevolgd door Huishoudens, Diensten en de Land- en Tuinbouw. Deze paragraaf toont alleen de totale warmtevraag per eindverbruikssector. In Bijlage B (Ontwikkeling en invulling van de warmtevraag) is daarnaast meer detailinformatie opgenomen over het aandeel van technologieën die worden gebruikt voor het vervullen van de warmtevraag.



Figuur 3: Ontwikkeling per eindverbruikssector van de finale warmtevraag in de diverse scenario's voor de verschillende zichtjaren (Referentie 2017 is NEV2016)

Ongeacht het scenario is de warmtevraag stabiel of vertoont een duidelijk dalende trend over de zichtjaren. De getoonde warmtevraag is een resultante van meerdere mogelijk tegengestelde ontwikkelingen. Het gaat om effecten van de economie, volume-effecten, structureffecten en effecten van besparingsmaatregelen. Voor huishoudens betekent dit bijvoorbeeld het overkoepelende effect van de groei van het aantal woningen, verandering in het type woningen (meer kleine appartementen of juist grote vrijstaande woningen), en verbetering van de gemiddelde kwaliteit van woningen (betere isolatie). Een stabiele warmtevraag hoeft dus niet te betekenen dat er geen besparing plaatsvindt. Het kan bijvoorbeeld ook betekenen dat een reductie van de warmtevraag door besparing teniet wordt gedaan door een toename als gevolg van volumegroei.

Het verschil tussen Scenario 1 en Scenario 2 is gelijk aan het verschil tussen de resultaten van de NEV2016 en de NEV2015. Er zijn diverse verschillen. In de NEV2016 neemt de warmtevraag in de sectoren Huishoudens en Diensten vooral op langere termijn sneller af dan in de NEV2015. Dit is het gevolg van een recente intensivering van beleid gericht op besparing. De daling in de sector Land- en Tuinbouw vertoont zelfs een nog grotere daling. Naast een groter effect van besparingsmaatregelen is dit vooral

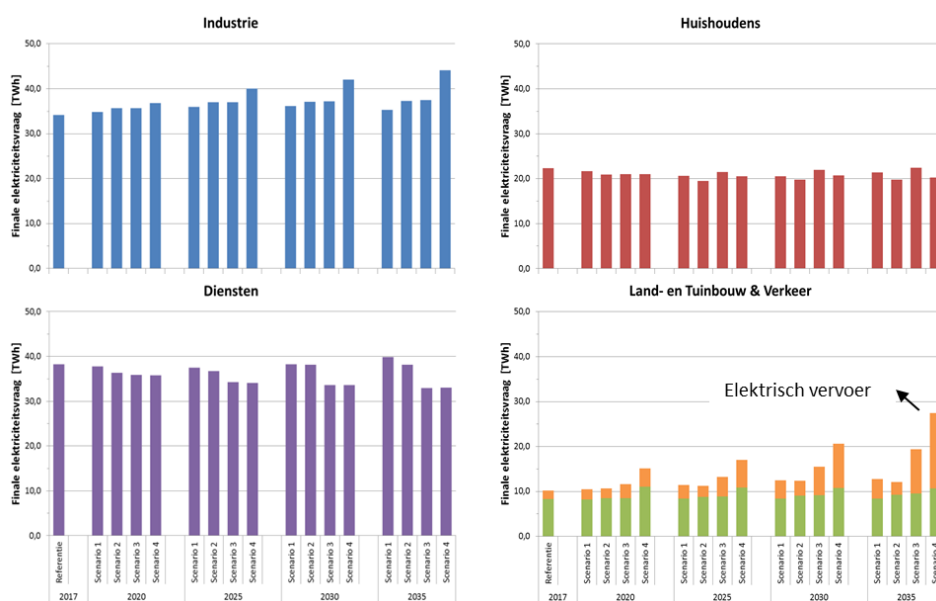
het gevolg van een daling in omvang van het areaal die groter is dan tot voor kort ingeschat.

In de Scenario's 2 t/m 4 zijn de onderliggende structureffecten steeds gelijk, evenals het effect van economische ontwikkeling. Ook de volume-effecten zijn identiek in deze. De verschillen tussen de Scenario's 2 t/m 4 zijn dus het effect van besparingen.

Voor Industrie, Diensten en Land en Tuinbouw tonen Scenario 3 en Scenario 4 het effect van de aannames over extra reductie van de warmtevraag ten opzichte van Scenario 2. Voor de sector Huishoudens is geen generieke extra reductie van de warmtevraag verondersteld. Scenario 3 is hier gelijk aan Scenario 2. Scenario 4 toont wel een afname. Dit is het effect van gemiddeld negentig duizend extra Nul-op-de-Meter renovaties van bestaande woningen vanaf 2020.

3.2.2 Finale elektriciteitsvraag in de eindverbruikssectoren

Figuur 4 toont per eindverbruikssector de ontwikkeling van de finale elektriciteitsvraag in de diverse scenario's voor de verschillende zichtjaren. Om de elektriciteitsvragen net als de warmtevragen in vier grafieken te kunnen weergeven (**Figuur 3**), zijn die van de sectoren Land- en Tuinbouw en Verkeer gecombineerd in een grafiek.



Figuur 4: Ontwikkeling per eindverbruikssector van de finale elektriciteitsvraag in de diverse scenario's voor de verschillende zichtjaren (Referentie 2017 is NEV2016)

De ontwikkeling van de elektriciteitsvraag vertoont iets meer uitgesproken effecten dan de ontwikkeling van de warmtevraag. Zo vertoont Scenario 4 voor de industrie een sterke toename van de elektriciteitsvraag. Dit is vooral het gevolg van de aanname van ingroei van "Power-to-Heat" in de industrie. Als gevolg van een toename in de inzet van

warmtepompen vertoont ook de sector Land- en Tuinbouw een toename van de elektriciteitsvraag in Scenario 4. Daarnaast laten zowel Scenario 4 als Scenario 3 beide een sterke toename zien van het aandeel elektriciteit in de sector Verkeer als gevolg van de aannames over ingroei van batterij elektrische auto's en bussen. In het referentiejaar wordt de elektriciteitsvraag nog vooral bepaald door het railverkeer.

In de gebouwde omgeving worden de resultaten bepaald door twee tegengestelde effecten. Enerzijds is er een daling als gevolg van de aanname over continuering van de efficiencyverbetering van verlichting en elektrische apparaten. Anderzijds is er een toename als gevolg van een toenemende inzet van hybride en elektrische warmtepompen voor verwarming van woningen, gebouwen en bedrijfspanden. Vanwege de relatief lage warmtevraag is het effect van de warmtepompen in de sector Diensten (gebouwen en bedrijfspanden) beperkt en slaat de balans door naar een daling van de elektriciteitsvraag. Voor de huishoudens zijn de effecten meer in evenwicht. Door grote inzet van elektrische en vooral hybride warmtepompen is er in Scenario 3 sprake van een lichte toename. In Scenario 4 worden weliswaar alleen elektrische warmtepompen ingezet, maar is het totale aantal warmtepompen kleiner waardoor de toename beperkt blijft. Hoewel de totale vraag redelijk stabiel is neemt als gevolg van de inzet van warmtepompen de piekvraag naar elektriciteit wel toe (zie paragraaf 4.1.3).

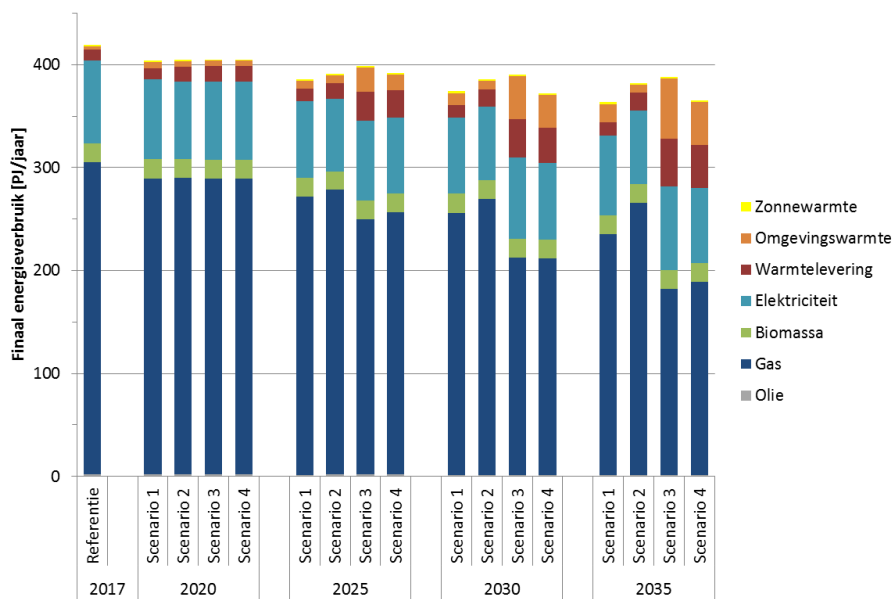
3.3 Ontwikkeling finaal energieverbruik

De finale energievraag in de eindverbruikssectoren wordt ingevuld door conversie van energiedragers in de sectoren naar de gewenste energievorm of energiedienst. De energie-inhoud van de energiedragers die de eindverbruikssectoren in gaan, dus voor conversie, is het finaal energieverbruik. Warmtekrachtkoppeling (WKK) in de eindverbruikssectoren vormt hier een complicerende factor. In de figuren in deze sectie is er voor gekozen om zowel de brandstoftoevoer voor WKK mee te nemen als alle elektriciteit voor het dekken van de finale elektriciteitsvraag. Hierdoor treedt enige dubbeltelling op omdat een deel van de brandstof wordt gebruikt voor productie van elektriciteit die binnen de sector wordt geconsumeerd. Hiermee is wel rekening gehouden in de uiteindelijke energiebalansen in de bijlage waarin zowel het verbruikssaldo als het finaal verbruik van elektriciteit zijn opgenomen. Het finaal elektriciteitsverbruik in onderstaande figuren is gelijk aan de finale elektriciteitsvraag zoals gepresenteerd in **Figuur 4**

3.3.1 Sector Huishoudens

Het finale energieverbruik in de sector Huishoudens, zoals weergegeven in **Figuur 5**, vertoont in alle scenario's een dalende trend. Onderling zijn er wel verschillen, die groter worden naarmate het zichtjaar verder in de tijd ligt. Scenario 1 ten opzichte van Scenario 2 toont hierbij weer het verschil tussen de NEV2016 en de NEV2015. Extra beleid dat is meegenomen in de evaluatie voor de NEV2016 leidt op termijn naast een

extra reductie van de warmtevraag ook tot extra inzet van warmtepompen, m.n. hybride warmtepompen, waardoor de inzet van aardgas daalt.



Figuur 5: Ontwikkeling van het finaal energieverbruik en de onderverdeling daarin in de sector Huishoudens voor de verschillende scenario's en zichtjaren (Referentie 2017 is NEV2016)

Scenario 3 en Scenario 4 laten een nog grotere daling van het aardgasverbruik zien. Naast een nog grotere inzet van warmtepompen dan in Scenario 1 is dit ook het gevolg van veronderstelde grotere inzet van externe warmtelevering via warmtenetten in Scenario 3 en Scenario 4.

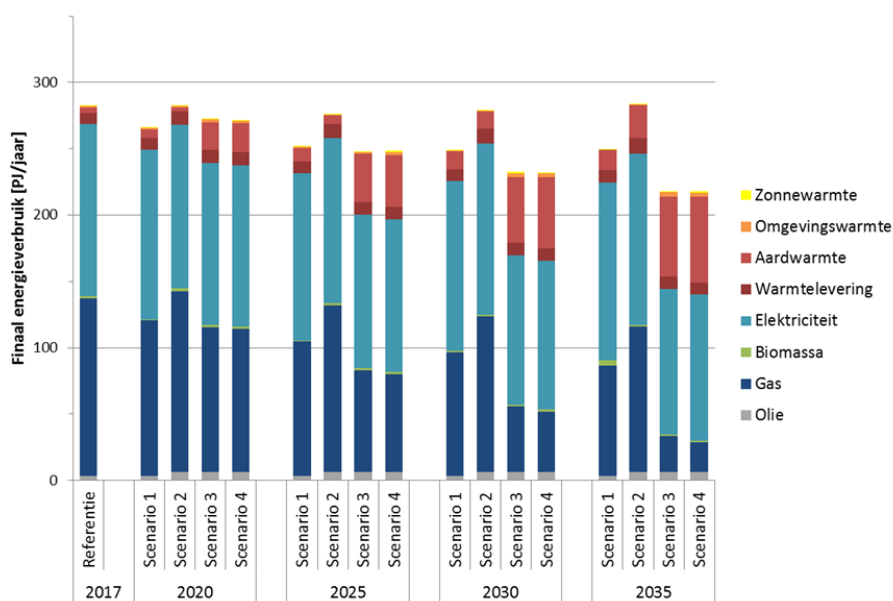
Voor Scenario 3 zijn, naast elektrische warmtepompen in de nieuwbouw, hybride warmtepompen ingezet in de bestaande bouw. Deze verbruiken nog een deel aardgas voor invulling van piekvragen naar warmte. In Scenario 4 zijn alleen elektrische warmtepompen opgenomen, maar in de bestaande bouw uitsluitend in gerenoveerde woningen volgens het Nul-op-de-Meter concept. Hierdoor ligt het totaal aantal warmtepompen in Scenario 4 lager dan in Scenario 3 waardoor totaal aardgasverbruik in Scenario 3 per saldo toch meer daalt dan in Scenario 4 ondanks het aardgasverbruik van de hybride warmtepompen.

Het verschil in inzet van warmtepompen wordt ook geïllustreerd door het verschil in gebruik van omgevingswarmte. Dit is warmte die door warmtepompen wordt onttrokken aan de ondiepe ondergrond of uit de buitenlucht. Hoewel deze term een bijdrage levert aan het finaal energieverbruik is het "gratis" warmte in de zin dat er geen brandstofkosten zijn, de energie CO₂-vrij is, en er geen distributie-infrastructuur nodig is om de energie aan te voeren. In dit opzicht is het vergelijkbaar met zonnewarmte (zonnecollectoren) en zon-PV. In tegenstelling tot de omgevingswarmte en zonnewarmte is de elektriciteit uit zon-PV die binnen de sector wordt geproduceerd en verbruikt hier niet weergegeven. Voor deze studie is alle zon-PV uit de eindverbruikssectoren gehaald en volledig meegenomen bij de aanbodsector.

3.3.2 Sector Handel, Diensten en Overheid

Het (aard)gasverbruik in Scenario 1 (NEV2016) is aanzienlijk lager dan geraamd in Scenario 2 (NEV2015). Dit komt onder andere doordat elektrische warmtepompen naar verwachting meer zullen worden gebruikt vanaf 2020 en besparingsbeleid een groter effect zal hebben. Daarnaast is de ontwikkeling van de gebouwvoorraad met name voor de langere termijn licht naar beneden bijgesteld.

De aannames voor Scenario 3 en Scenario 4 leiden tot een nog veel sterkere daling van de aardgasvraag met name door sterke inzet op Warmte-Koude-Opslag systemen (WKO) voor grotere gebouwen met een vloeroppervlak van meer dan 500 vierkante meter. Dit wordt geïllustreerd door de groei van de term 'Aardwarmte' in **Figuur 6**. Aardgas verdwijnt volledig in de nieuwbouw vanaf 2020 zowel uit de grote als uit de kleinere gebouwen.



Figuur 6: Ontwikkeling van het finaal energieverbruik en de onderverdeling daarin in de sector Handel, Diensten en Overheid voor de verschillende scenario's en zichtjaren (Referentie 2017 is NEV2016)

De daling in Scenario 4 is groter dan in Scenario 3 omdat in Scenario 4 aardgas voor grote gebouwen in 2035 uiteindelijk volledig is uitgefaseerd terwijl in Scenario 3 de inzet van WKK in de sector (bijvoorbeeld in ziekenhuizen) in stand blijft en er ook een klein deel van de warmtevraag via ketels blijft worden ingevuld. Verder vindt sterkere ingroei van warmtepompen plaats in de kleinere panden binnen de bestaande bouw. Maar daar waar dat in Scenario 3 hybride warmtepompen zijn die nog een klein aardgasverbruik hebben zijn dat in Scenario 4 alleen elektrische warmtepompen.

In de bestaande bouw is er ook met name voor de kleinere panden een toename van het aandeel warmtenetten, maar deze stijging van het aandeel leidt amper tot een stijging van het finale warmteverbruik als gevolg van de veronderstelde daling van de finale warmtevraag in dit segment.

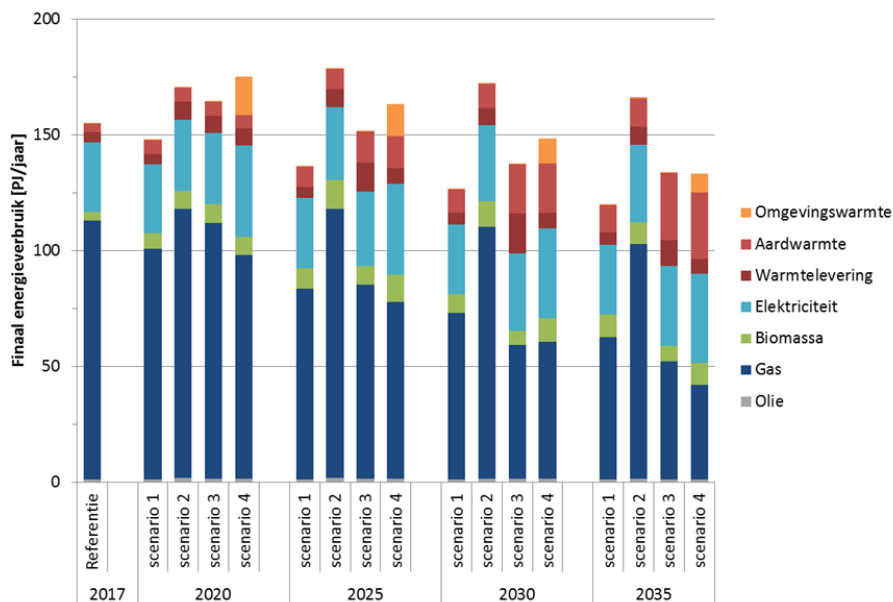
3.3.3 Sector Land- en Tuinbouw

Figuur 7 toont de ontwikkeling van het finaal energieverbruik en de onderverdeling daarin voor de sector Land- en Tuinbouw. Opvallend is het verschil in aardgasverbruik tussen Scenario 1 (NEV2016) en Scenario 2 (NEV2015). Het lagere verbruik in Scenario 1 is het gevolg van een lagere raming voor de inzet van WKK in de sector en een naar beneden bijgestelde raming voor de ontwikkeling van het areaal aan kassen.

Bij het hogere verbruik in Scenario 2 moet worden bedacht dat dit voor een deel inzet van aardgas is voor de productie van elektriciteit in WKK die elders wordt verbruikt. Bij grote productie van elektriciteit kan de export uit de sector groter zijn dan het eigen verbruik. Hoewel het finale elektriciteitsverbruik een positieve waarde heeft is het verbruikssaldo voor de sector ("elektriciteit in" minus "elektriciteit uit") dan negatief.

Het areaal aan kassen de Scenario's 2, 3 en 4 is gelijk aan elkaar. De daling in het aardgasverbruik is hier het gevolg een veronderstelde sterkere daling van de warmtevraag door besparingsmaatregelen en een sterke toename van de invulling van de warmtevraag met behulp van geothermie in combinatie met een daling van de inzet van WKK. In Scenario 4 is daarnaast verondersteld dat aardgasketels per 2020 volledig worden uitgefaseerd. Deze worden voor een deel vervangen door elektrische WPs.

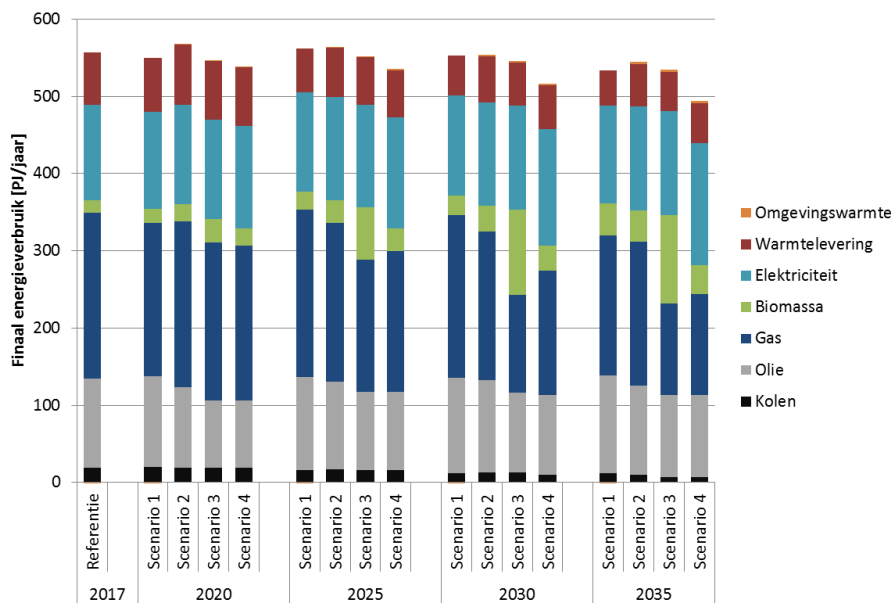
In **Figuur 7** wordt de toename van de inzet van warmte uit geothermie geïllustreerd door de term 'Aardwarmte'. Deze term is in **Figuur 6** ook gebruikt in relatie tot WKO. In dat geval gaat het om warmte uit aardlagen op een diepte tot enkele honderden meters. Bij geothermie gaat het om warmte van een hoger temperatuurniveau dat wordt onttrokken op een diepte van enkele kilometers



Figuur 7: Ontwikkeling van het finaal energieverbruik en de onderverdeling daarin in de sector Land- en Tuinbouw voor de verschillende scenario's en zichtjaren (Referentie 2017 is NEV2016)

3.3.4 Sector Industrie

De sector Industrie (tegenwoordig ook wel Nijverheid genoemd) bestaat uit een deel grote industrie waarvan de emissies onder het Europese Emission Trading System (ETS) valt, en een deel industrie en bedrijvigheid met bedrijven van beperktere omvang dat daar niet onder valt. Er zijn aparte aannames gedaan voor beide segmenten op basis waarvan een aparte doorrekening heeft plaatsgevonden. Voor presentatie zijn de resultaten echter samengevoegd. Deze zijn weergegeven in **Figuur 8**. Meer dan 85 procent van het finale energieverbruik is gerelateerd aan bedrijven die onder het ETS vallen.



Figuur 8: Ontwikkeling van het finaal energieverbruik en de onderverdeling daarin in de sector Industrie voor de verschillende scenario's en zichtjaren (Referentie 2017 is NEV2016).

Energetisch verbruik

De verschillen tussen Scenario 1 (NEV2016) en Scenario 2 (NEV2015) zijn beperkt en zijn op korte termijn het grootst. Voor die periode gaat NEV2016 uit van een geringe afname van het energieverbruik op basis van de trend in de meest recent beschikbare gegevens. NEV2015 ging nog uit van een groei na 2014. Voor de langere termijn is de ontwikkeling vergelijkbaar.

De resultaten voor Scenario 3 tonen de grootste daling in het verbruik van (aard)gas. Dit is het gevolg van de veronderstelde vervanging van aardgas door biomassa voor productie van hoge temperatuur warmte in de chemie en de metaal. Hoewel er in de industrie sprake is van een significante daling van de finale warmtevraag als gevolg van een hoger besparingstempo (zie **Figuur 3**) is de daling in het finaal verbruik in Scenario 3 minder uitgesproken. Dit komt door een lagere efficiency van inzet van biomassa dan van aardgas.

In Scenario 4 vertaalt de daling van de warmtevraag zich wel naar een duidelijke daling in het finale verbruik. Die wordt naar verhouding zelfs iets groter. In dit scenario wordt een toenemend deel van het aardgas vervangen door de inzet van “Power-to-Heat” (elektrische verwarming) voor productie van warmte in diverse takken van de industrie. Het leidt wel tot een hogere elektriciteitsvraag (met een vlak profiel), maar omdat het veronderstelde rendement iets hoger is dan voor aardgas daalt het finale verbruik relatief gezien iets meer dan de finale warmtevraag.

Verder is voor productie van warmte tot 100 °C ingroei van hybride en elektrische warmtepompen aangenomen in Scenario 3 en alleen elektrische warmtepompen in Scenario 4. De ingroei is echter beperkt en vindt alleen plaats in bedrijven die niet onder het ETS vallen. Over het totaal genomen is het effect daarom zeer beperkt.

Niet-energetisch verbruik

Naast het energetisch verbruik van de sector Industrie, zoals getoond in **Figuur 8** kent de sector ook een groot niet-energetisch verbruik van energiedragers en -bronnen. Dit betreft voornamelijk de inzet van die bronnen als grondstof voor de productie van kunststoffen en kunstmest in de chemische industrie. De totale niet-energetische inzet in de industrie is zelfs aanzienlijk groter dan het totale energetische verbruik zoals de cijfers in **Tabel 14** laten zien. Het overgrote deel van de inzet, ongeveer 85 procent van alle niet-energetisch gebruik, is die van olie(producten) in de organische chemie. Daarnaast wordt ook aardgas ingezet als basis voor de productie van kunstmest. Tenslotte is er nog een paar PJ olieproducten in gebruik als smeermiddel in de verkeerssector.

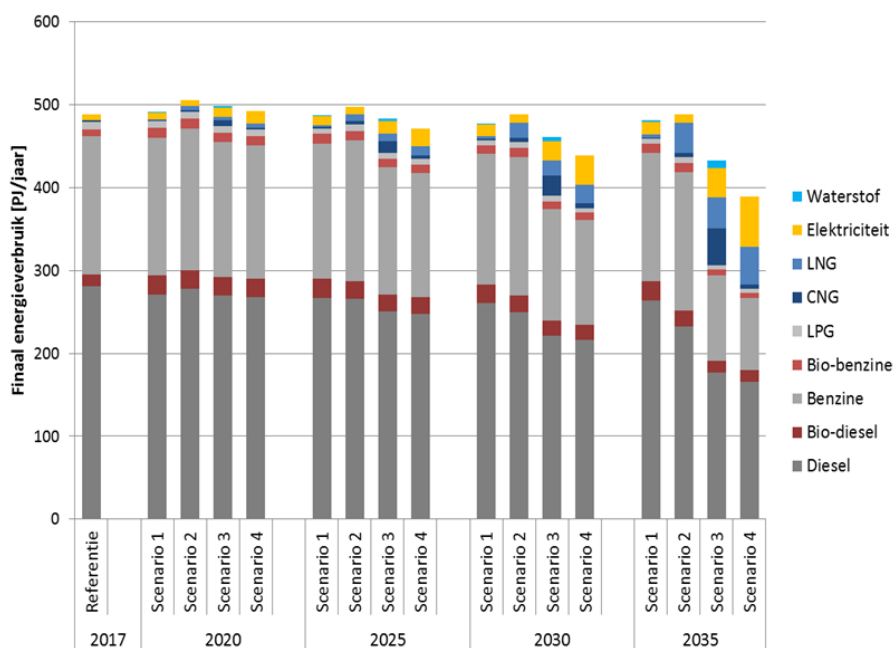
Voor de niet-energetische inzet van energiebronnen zijn geen specifieke aannames gedaan. Impliciet is de veronderstelling dat de economische activiteit in de industrie niet wordt beïnvloed door de scenario-aannames. En wegens het kleine effect is het gebruik van smeermiddelen in de verkeerssector niet aangepast aan de veranderingen van het voertuigpark in de verschillende scenario's. Dit betekent dat het niet-energetisch gebruik hetzelfde blijft als in de onderliggende NEV-scenario's.

Tabel 14: Niet energetisch verbruik van energiebronnen

Scenario	Niet-energetisch verbruik [PJ]	2020	2025	2030	2035
1	Totaal	582,4	602,5	620,2	639,3
	wv. steenkool	1,8	1,9	1,9	2,0
	aardolie	492,7	509,1	524,5	540,8
	aardgas	88,0	91,5	93,8	96,5
2 t/m 4	Totaal	604,8	625,9	644,3	662,6
	wv. steenkool	3,8	4,0	4,1	4,3
	aardolie	512,6	530,0	546,4	562,7
	aardgas	88,4	91,9	93,8	95,7

3.3.5 Sector Verkeer

Figuur 9 toont de resultaten voor het finale energieverbruik in de sector Verkeer. Voor deze sector is een iets andere onderverdeling gemaakt dan voor de overige sectoren. De term “Olie” is onderverdeeld in diesel, benzine en LPG. Biomassa is onderverdeeld in bio-diesel en bio-benzine. Aardgas is onderverdeeld in Compressed Natural Gas (CNG) en Liquefied Natural Gas (LNG). Waterstof is een extra term die niet voorkomt bij de overige sectoren. In de industrie wordt weliswaar een grote hoeveelheid waterstof geproduceerd, maar dat vindt binnen de sector plaats. In dit geval wordt waterstof als brandstof aan de sector geleverd. In deze studie is gemakshalve verondersteld dat de waterstof wordt geproduceerd op basis van aardgas, net zoals dat in de industrie plaatsvindt. Waterstof kan echter ook volledig op basis van duurzame energie worden geproduceerd.



Figuur 9: Ontwikkeling van het finale energieverbruik en de onderverdeling daarin in de sector Verkeer voor de verschillende scenario's en zichtjaren (Referentie 2017 is NEV2016)

De resultaten geven aan dat de aannames ten aanzien van de ingroei van elektrisch aangedreven voertuigen voor Scenario 3 en Scenario 4 tot een aanzienlijke afname leiden van het finale energieverbruik. Het gaat hier vooral om batterij elektrische voertuigen, en in Scenario 3 voor een deel ook om brandstofcel elektrische voertuigen met waterstof als brandstof voor de brandstofcel. De afname van het verbruik komt door een veel hogere energie-efficiëntie van elektrisch aangedreven voertuigen.

Scenario 2, 3 en 4 tonen een grotere ingroei van LNG, terwijl in Scenario 3 uiteindelijk ook een aanzienlijk deel CNG ingroeit. Beide zijn een vervanging voor benzine en diesel maar leiden niet tot een afname van het finale energieverbruik. De voordelen liggen elders. Een strategisch voordeel betreft een grotere diversificatie van brandstoffen met een lagere afhankelijkheid van aardolie tot gevolg. Op het gebied van milieu levert inzet

van CNG en LNG een reductie van fijn stof emissies wat een zeer schadelijke component is van luchtvervuiling. Daarnaast is de koolstofinhoud van de brandstof lager waardoor een reductie van de emissie van CO₂ optreedt. Wel is aandacht van belang voor mogelijke methaanslip bij gasmotoren. Methaan is een veel sterker broeikasgas dan CO₂. Voorkomen moet worden dat mogelijke methaanslip van motoren de broeikasgaswinst van de CO₂-emssiereductie teniet doet.

3.3.6 Overige sectoren

De eindverbruikssector Water en Afval

Naast de “traditionele” eindverbruikerssectoren (nijverheid, gebouwde omgeving, landbouw en verkeer) waarvoor in deze studie specifieke aannames gemaakt zijn voor de ontwikkeling van het energieverbruik, is er een laatste kleine sector, namelijk Afval en Water. Hieronder vallen de afvalverbrandingsinstallaties (AVI's), de waterzuiveringsinstallaties en de waterwinning- en distributiebedrijven. Het totale verbruikssaldo van deze sector is ongeveer 60-70 PJ en bestaat voornamelijk uit biogeen en niet-biogeen afval dat de AVI's in gaat. De sector kevert ook een kleine hoeveelheid warmte, voornamelijk aan de gebouwde omgeving. Deze warmtelevering neemt af over de tijd, van 15 PJ in 2020 naar 8 PJ in 2035. Er zijn geen specifieke aannames gedaan voor deze sector, dus het gebruik blijft hetzelfde als in de onderliggende NEV-scenario's. Er zijn geen aparte figuren opgenomen voor deze sector. Wel zijn de cijfers voor de sector opgenomen in de energiebalansen in de bijlage achterin dit rapport. De broeikasgasemissies die zijn gerelateerd aan deze sector zijn wel meegenomen in de evaluatie van de totale broeikasgasemissies van de scenario's in Hoofdstuk 5.

Mobiele Werktuigen

Een laatste segment binnen de eindverbruikssectoren waarvoor geen specifieke aannames zijn gedaan is de Mobiele Werktuigen. Dit omvat een scala aan voertuigen en apparaten die meestal zijn ondergebracht bij de sector Verkeer, maar in het algemeen niet aan het verkeer deelnemen. Gedacht kan worden aan landbouwvoertuigen, zoals tractoren en oogstmachines, en logistieke voertuigen, zoals vorkheftrucks. Ook mobiele generatoren vallen bijvoorbeeld in deze categorie. Omdat geen specifieke aannames zijn gedaan zijn de verbruikscijfers gelijk aan die in de onderliggende NEV-scenario's. De cijfers voor Mobiele Werktuigen zijn niet meegenomen in bovenstaande rapportage voor de sector Verkeer. De cijfers zijn wel meegenomen in die sector in de totale energiebalansen in de bijlage, en de emissies van Mobiele Werktuigen zijn wel meegenomen in de evaluatie van de broeikasgasemissies van de scenario's.

4

Aanbodkant van de energievoorziening

In Hoofdstuk 3 is de verbruikskant van de energievoorziening besproken. In dit Hoofdstuk komt de aanbodkant aan bod. De aanbodkant is de energiesector. Die bestaat uit energiebedrijven, raffinaderijen, cokesfabrieken en de winningsbedrijven voor aardgas en aardolie. De energiebedrijven omvatten zowel elektriciteitsproductie als de warmtebedrijven. Naast winning van primaire bronnen vindt in de sector conversie plaats van primaire bronnen naar energiedragers (o.a. elektriciteit, aardgas, benzine en diesel) die in de eindverbruikssectoren kunnen worden ingezet voor het leveren van energiediensten (o.a. ruimteverwarming, proceswarmte, verlichting, aandrijving).

4.1 Elektriciteitsproductie

In vergelijking met aardgas, benzine of diesel is elektriciteit of stroom een relatief complexe energiedrager. De belangrijkste reden van de complexiteit is dat elektriciteit dat vraag en aanbod altijd met elkaar in evenwicht moeten zijn. Met een toename van het aandeel windenergie en zonne-energie voor de productie van elektriciteit wordt de uitdaging om het elektriciteitssysteem continu in evenwicht te houden een stuk groter. Het is daarom van belang goed inzicht in het systeem te krijgen. Een groot deel van dit hoofdstuk over de aanbodkant gaat daarom over het elektriciteitssysteem.

4.1.1 Doorrekening elektriciteitssysteem

Voor deze studie is het elektriciteitsaanbod gemodelleerd met behulp van het ECN elektriciteitsmarktmodel COMPETES. Het is een economisch dispatch model dat een optimale inzet van productiecapaciteit en transmissiecapaciteit modelleert op basis van een kostenminimalisatie voor het Europese elektriciteitssysteem. Het model omvat 26

EU landen en 7 niet-EU landen. Voor Nederland bevat het model alle individuele centrales met hun eigen productiekarakteristieken. Voor de overige landen is productiecapaciteit geaggregeerd per type centrale. De gegevens over het transmissienetwerk en de beschikbare productiecapaciteit worden ontleend aan de meest recente informatie van ENTSO-E [ENTSOE,2015].

Figuur 10 toont de totale elektriciteitsvraag in de verschillende scenario's. De vraag is een resultante van toenames enerzijds, als gevolg van toenemende inzet van elektrische voertuigen, warmtepompen in de gebouwde omgeving en elektrische verwarming in de industrie, en een daling anderzijds als gevolg van het doorzetten van de efficiencyverbetering van verlichting en apparaten. Per saldo is hierdoor de totale vraag nagenoeg constant, met uitzondering van de latere zichtjaren voor Scenario 4. Maar hoewel de effecten op de totale vraag beperkt zijn heeft vooral de inzet van warmtepompen en elektrische auto's wel een aanmerkelijk effect op de verdeling van de vraag naar elektriciteit op uurbasis, en op de piekvraag naar elektriciteit.



Figuur 10: Onderverdeling van het totale elektriciteitsverbruik in de diverse scenario's en zichtjaren inclusief het eigen verbruik van elektriciteit in de energiesector

Voor de modelberekeningen is de elektriciteitsvraag uitgesplitst naar conventionele vraag, de vraag van batterij elektrische voertuigen, en de vraag van de diverse type warmtepompen. Deze zijn per uur verdeeld over het jaar op basis van karakteristieke profielen en samengevoegd tot een totaalprofiel. Dit profiel is een van de invoergegevens voor het COMPETES model.

In de modelberekeningen elk uur van het jaar net zolang productiecapaciteit aangeroepen totdat het aanbod van elektriciteit in evenwicht is met de vraag. Hierbij wordt eerst de capaciteit ingezet met de laagste marginale kosten, en wordt daarna capaciteit toegevoegd in volgorde van toenemende marginale kosten. Omdat gascentrales in het algemeen de centrales zijn met de hoogste marginale kosten wordt

de balans veelal gevormd door inzet van de gascentrales. Dit kan er toe leiden dat centrales die wel in het model zijn opgenomen uiteindelijk gedurende het jaar niet worden ingezet. Dit betekent dat er een verschil is tussen beschikbaar vermogen en operationeel (ingezet) vermogen. Omgekeerd kan het ook zijn dat vanwege aannames over het uitfasen van bijvoorbeeld kolencentrales of kerncentrales er onvoldoende centrales zijn om de balans op elk moment in het jaar te kunnen handhaven. Of, hoeveel en welk type regelbaar vermogen er eventueel extra nodig is voor deze studie endoogen bepaald met behulp van de investeringsmodule in het COMPETES model. Een meer gedetailleerde beschrijving van de vereiste invoergegevens voor het model en het type resultaten van het model is gegeven in Bijlage D.

4.1.2 Operationeel productievermogen

Figuur 11 toont de onderverdeling van de operationele capaciteit voor productie van elektriciteit in de verschillende scenario's. De onderverdeling voor Scenario 1 is hierbij gelijk aan het NEV2016 scenario met ramingen voor het vastgestelde en voorgenomen beleid. Scenario 2 heeft de NEV2015 als basis maar verschilt op het gebied van kolen- en gascentrales. In Scenario 2 is uitfasering van kolencentrales verondersteld. In 2025 zijn alle kolencentrales dicht. Dit is gecompenseerd door een vergelijkbaar vermogen aan aardgascentrales uit de mottenballen te halen. Al deze centrales zijn vervolgens in de modelberekeningen ook ingezet.

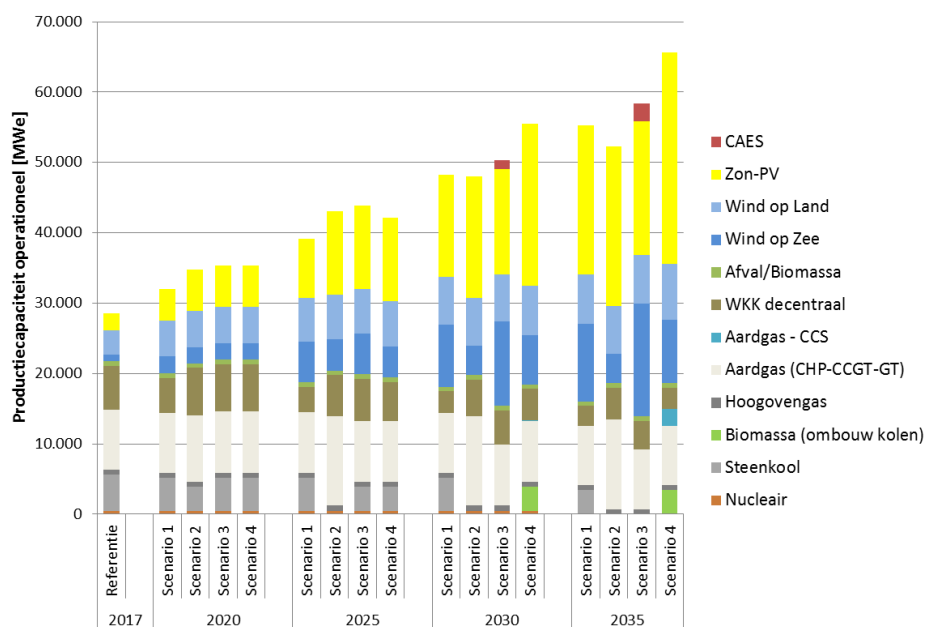
Ook in Scenario 3 en Scenario 4 is uitfasering van kolencentrales verondersteld. Hier vindt uitfasering plaats in de periode 2025-2030. Net als in Scenario 2 gaan de centrales in Scenario 3 helemaal dicht. In Scenario 4 worden ze omgebouwd naar centrales die volledig op biomassa draaien.

In alle scenario's is een duidelijke toename zichtbaar van geïnstalleerd vermogen aan windturbines en zon-PV in de tijd. Tegelijkertijd vertoont het benodigde conventioneel vermogen, dat nodig is om op elk moment in de tijd vraag en aanbod aan elektriciteit op het net te kunnen handhaven, een lichte daling. Deze daling is vooral duidelijk in de scenario's met veel wind op zee, zoals in Scenario 1 en in Scenario 3. Wind op zee heeft ten opzichte van wind op land, en vooral ten opzichte van zon-PV een relatief hoge load factor. Vanwege de relatief hoge load factor lijkt bij veel wind op zee het systeem toe te kunnen met minder capaciteit aan regelbare thermische centrales.

Scenario 4 wordt gekenmerkt door een grote inzet van zon-PV en een beperktere inzet van wind op zee. In dat geval blijkt de beschikbare capaciteit aan centrales en de transmissiecapaciteit met het buitenland niet toereikend om op elk moment in het jaar de elektriciteitsbalans te kunnen handhaven. Op basis van het gehanteerde scenario voor commodity prijzen en CO₂-prijzen in Scenario 4 heeft het model daarbij de keuze gemaakt voor inzet van extra gasvermogen in combinatie met afvang en opslag van CO₂.

Tot slot zijn in Scenario 3 en 4 opslag opties opgenomen. In Scenario 3 betreft het 2500 MW aan Compressed Air Energy Storage (CAES) vermogen in 2035. In de simulaties voor de elektriciteitsvoorziening wordt de opslagmogelijkheid ingezet en levert een bijdrage aan de productie zoals wordt getoond in paragraaf 4.1.4 (Elektriciteitsbalans). In

Scenario 4 is de ingroei van een groot aantal batterijsystemen (Powerwalls) achter de meter in huishoudens verondersteld. In 2035 betreft het twee miljoen systemen met een gezamenlijk vermogen van 6600 MW. De systemen functioneren in combinatie met zon-PV achter de meter. De bijdrage in opslag (elektriciteitsvraag) en productie is gemodelleerd binnen de sector huishoudens onafhankelijk van de elektriciteitsmarkt. Het vermogen aan batterijopslag in Scenario 4 is daarom niet opgenomen in **Figuur 11**, in tegenstelling tot het CAES vermogen in Scenario 3.



Figuur 11: Onderverdeling van de operationele productiecapaciteit in de verschillende scenario's voor de diverse zichtjaren

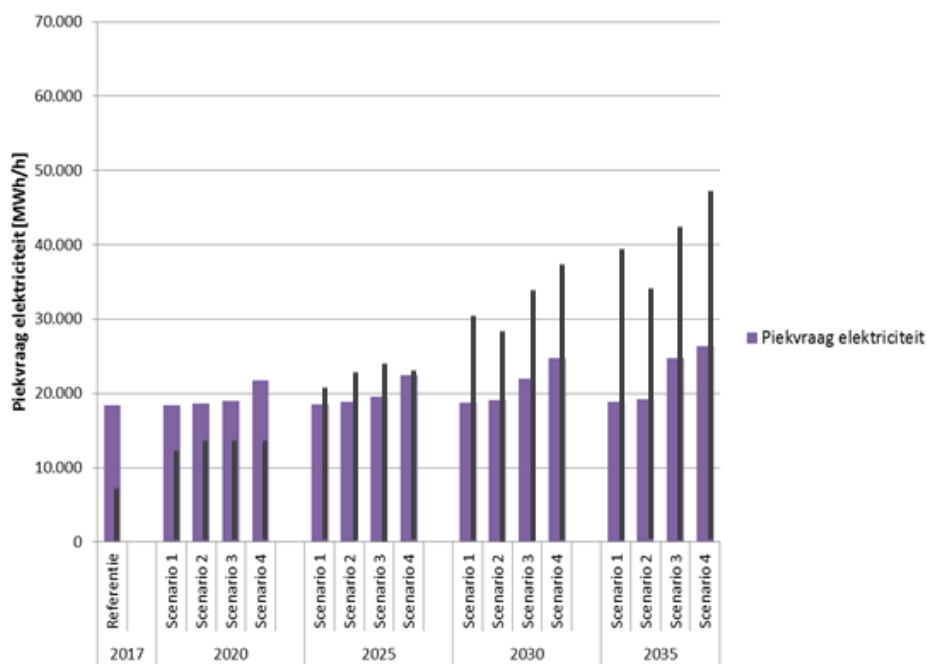
4.1.3 Piekvraag in vergelijking met het productievermogen aan zon en wind

In **Figuur 10** is al de totale binnenlandse elektriciteitsvraag getoond inclusief het eigenverbruik in de energiesector. Hoewel de totale vraag redelijk stabiel is verandert de verdeling van die vraag met toenemende ingroei van warmtepompen en batterij elektrische auto's. Als gevolg van grote vraag naar warmte op koude dagen en voorkeuren voor het laden van voertuigen op bepaalde tijden zal het totale vraagpatroon meer pieken gaan vertonen, en neemt de piekvraag van elektriciteit toe.

De ontwikkeling van de piekvraag is weergegeven in **Figuur 12**. In Scenario 1 en 2 neemt die slechts zeer licht toe, maar in Scenario 3 en 4 is er sprake van een aanzienlijke toename. In Scenario 4 bedraagt de toename in 2035 meer dan 30 procent ten opzichte van de Ausgangssituatie. In dit scenario is de toename niet alleen het gevolg van warmtepompen en elektrische voertuigen, maar ook van toepassing van elektrische verwarming (Power-to-Heat) in de industrie.

Interessant in de resultaten is een vergelijking van de piekvraag in **Figuur 12** met de omvang van de hoeveelheid regelbaar productievermogen voor elektriciteit in **Figuur 11**. Dit vermogen is endogeen bepaald met behulp van de investeringsmodule in het COMPETES-model. Vergelijking laat zien dat in 2030 en 2035 het regelbaar vermogen in de meeste gevallen significant lager is dan de piekvraag. Dit betekent dat indien momenten van piekvraag samenvallen met geen of weinig opbrengst van zon en wind, het elektriciteitssysteem moet kunnen vertrouwen op voldoende import van elektriciteit uit het buitenland.

De resultaten van de simulaties in deze studie geven in ieder geval aan dat met het beschikbaar veronderstelde elektriciteitssysteem – productie- en transmissie-capaciteiten in Nederland en elders in Europa – de balans tussen vraag en aanbod op elk moment van het jaar kan worden gehandhaafd. De simulaties zijn echter uitgevoerd met specifieke klimaatjaren voor temperatuur, wind en zon. Gegeven de omvang van mogelijke weersystemen en het kunnen samenvallen van extremen (kou, geen wind en geen zon) kan niet worden gegarandeerd dat met dit systeem de balans altijd gehandhaafd kan worden. Daarvoor is simulatie voor veel meer jaren nodig met nog meer aandacht voor het testen van de extremen. Los daarvan geldt dat naarmate de binnenlandse piekvraag groter wordt dan het eigen regelbaar vermogen de kans toeneemt dat gebruik moet worden gemaakt van back-up in het buitenland. Hiermee neemt de afhankelijkheid van het buitenland voor het in balans houden van het eigen systeem in ieder geval toe.



Figuur 12: Ontwikkeling van de piekvraag aan elektriciteit in de verschillende scenario's en vergelijking daarvan met de geïnstalleerde capaciteit aan wind- en zonvermogen (de zwarte balkjes)

De vergelijking in **Figuur 12** van de piekvraag met het totale geïnstalleerde zon en windvermogen toont een ander interessant aspect. Naarmate dit vermogen groter wordt, en zeker wanneer het groter wordt dan de piekvraag, neemt de kans toe op

momenten dat het aanbod vanuit het zon- en windvermogen de momentane vraag overstijgt. Bij voldoende transmissiecapaciteit kan de geproduceerde elektriciteit worden getransporteerd naar gebieden waar nog geen overschot is. Dit betekent export van elektriciteit. Indien dit niet mogelijk is leidt het in de simulaties tot het afschakelen van vermogen, ook wel “curtailment” genoemd.

In de gesimuleerde scenario's treedt inderdaad curtailment op. **Tabel 15** geeft een overzicht en laat zien dat in Scenario 3 en 4 curtailment optreedt in meer dan 1000 uur waarin een totaal volume van 5 à 6 TWh elektriciteit niet kan worden benut. Dit vertegenwoordigt circa 5,5 procent van de totale productie aan elektriciteit uit zon en wind. In beide scenario's bedraagt het gemiddelde afgeschakelde vermogen ongeveer 5 GW, met een piek in Scenario 3 van meer dan 18 GW.

Tabel 15: Curtailment van elektriciteit uit zon- en windvermogen

Scenario	2020		2025		2030		2035	
	[TWh]	[uur]	[TWh]	[uur]	[TWh]	[uur]	[TWh]	[uur]
Referentiescenario	0	0	0	0	0,1	68	0,4	243
Richting Duurzame Transitie	0	0	0,02	27	0,2	103	n.b.	n.b.
Centrale klimaatactie	0	0	0,05	72	1,1	378	5,8	1177
Decentrale klimaatactie	0	0	0,01	35	1,8	484	5,0	1096

4.1.4 De elektriciteitsbalans

Figuur 13 is een uitbreiding van **Figuur 10** waarbij naast het binnenlandse elektriciteitsverbruik ook de export van elektriciteit is opgenomen. De resultaten laten een toenemende export van elektriciteit zien bij een toenemend geïnstalleerd vermogen aan windturbines en zon-PV, en een toenemende productie van elektriciteit uit wind- en zonne-energie. De export betreft dan ook voor een groot deel de export van binnenlandse overschotten aan elektriciteit uit zon en wind.

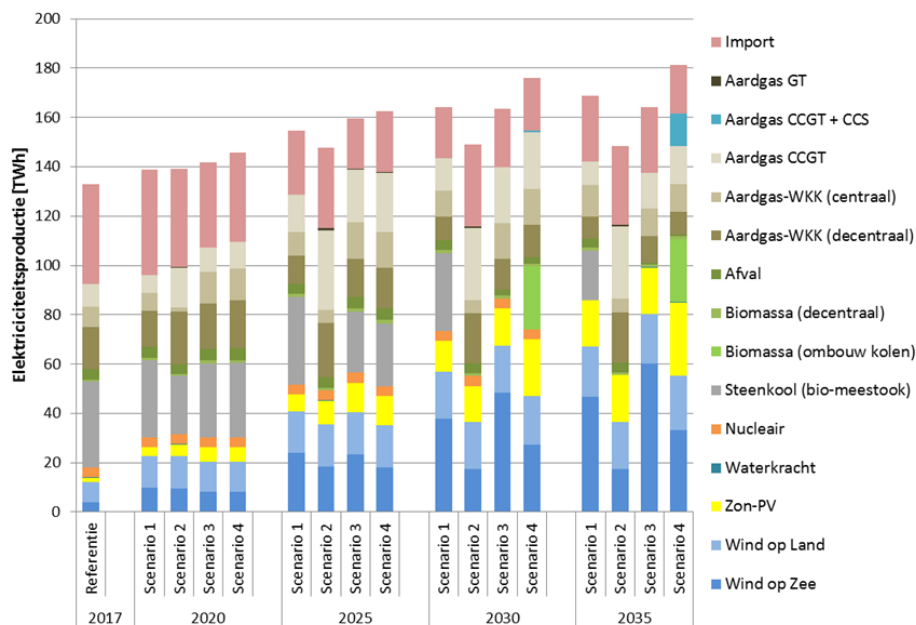
In Scenario 3 is ook een klein verbruik zichtbaar van opslag. In dat scenario is de mogelijkheid verondersteld van elektriciteitsopslag door middel van “Compressed Air Energy Storage” (CAES). Het verlies dat hierbij optreedt leidt per saldo tot een elektriciteitsverbruik of een elektriciteitsvraag van de opslag. Zowel in 2030 als in 2035 is een verbruik zichtbaar wat betekent dat onder de gesimuleerde condities de opslag een bijdrage heeft geleverd, en er op basis van marginale kosten een rol is weggelegd voor dit type opslag. Dit betekent overigens niet dat de investering in de opslag ook economisch haalbaar is.

Ook in Scenario 4 speelt opslag een rol. Hier vindt opslag echter plaats in batterijsystemen in huishoudens achter de meter. De opslag is hier verwerkt binnen de sector Huishoudens en er is aangenomen dat er geen verlies optreedt. Hierdoor zijn geen effecten van deze opslag in de figuren zichtbaar. Laden en ontladen van de batterijsystemen is gerelateerd aan de productie van zon-PV, en het effect is gemodelleerd als een toename en afname van het verbruik. Netto verandert er aan het finaal verbruik van huishoudens niets. Alleen de verdeling van (een deel van) het

verbruik in het tijd verandert iets, en daarmee het vraagprofiel van huishoudens dat een invoergegeven is voor het elektriciteitsmarktmodel.



Figuur 13: Onderverdeling van de totale elektriciteitsvraag in de diverse scenario's en zichtjaren inclusief het eigen verbruik van elektriciteit in de energiesector en export van elektriciteit



Figuur 14: Ontwikkeling en ondverdeling van het totale elektriciteitsaanbod in de diverse scenario's en zichtjaren inclusief import van elektriciteit uit het buitenland

Figuur 14 is complementair aan **Figuur 13** en toont de aanbodzijde van de elektriciteitsvoorziening. De totale binnenlandse productie ligt met uitzondering van het zichtjaar 2020 voor bijna alle scenario's ruim boven de totale binnenlandse vraag, en vertoont een stijgende trend die samenhangt met de toename aan geïnstalleerd vermogen aan windturbines en zon-PV. Aan de term 'Import' is te zien dat uitwisseling met het buitenland blijft, maar de import neemt af terwijl de export toeneemt zoals getoond in **Figuur 13**. Per saldo verandert de balans van netto import naar netto export van elektriciteit.

In vergelijking met het geïnstalleerd vermogen (**Figuur 11**) is de productie van elektriciteit uit wind en zon relatief beperkt ten opzichte van de productie door regelbaar thermisch vermogen. Het verschil komt vooral door de lage load factor van zon-PV waardoor een groot geïnstalleerd vermogen toch slechts een relatief beperkte bijdrage levert aan de totale productie. Desalniettemin neemt de cumulatieve productie van elektriciteit met wind- en zonne-energie sterk toe, vooral in scenario's met veel wind op zee. De cumulatieve productie als aandeel van de binnenlandse vraag neemt toe en varieert in 2035 van 48 procent in Scenario 2 tot 80 procent in Scenario 3. Binnen deze bandbreedte varieert het aandeel zon-PV van 15 procent tot 24 procent in respectievelijk Scenario 1 en Scenario 4, terwijl het aandeel uit wind op zee varieert van 15 procent tot 49 procent in respectievelijk Scenario 2 en Scenario 3.

Uit de doorrekening van de scenario's blijkt dus dat de elektriciteitsvraag in toenemende mate wordt gedekt door productie met hernieuwbare energie van "eigen bodem", en dat de elektriciteitsbalans verandert van netto import naar netto export. Als gevolg van de verandering in de karakteristieken van de vraag en de productie van elektriciteit, zoals toegelicht in paragraaf 4.1.3 kan het tegelijkertijd echter zo zijn dat wat betreft leveringszekerheid de afhankelijkheid toeneemt van regelbaar vermogen dat elders in de (steeds meer geïntegreerde) Noordwest Europese markt staat opgesteld.

4.2 Aardgas en Groen Gas

Figuur 15 toont een totaaloverzicht van het aardgasverbruik in de scenario's onderverdeelt naar de diverse eindverbruikssectoren en de verschillende segmenten binnen de energiesector. Het overzicht laat duidelijk zien dat het overgrote deel van het verbruik voor rekening komt van drie sectoren, namelijk de industrie, de huishoudens en de elektriciteit- en warmtecentrales.

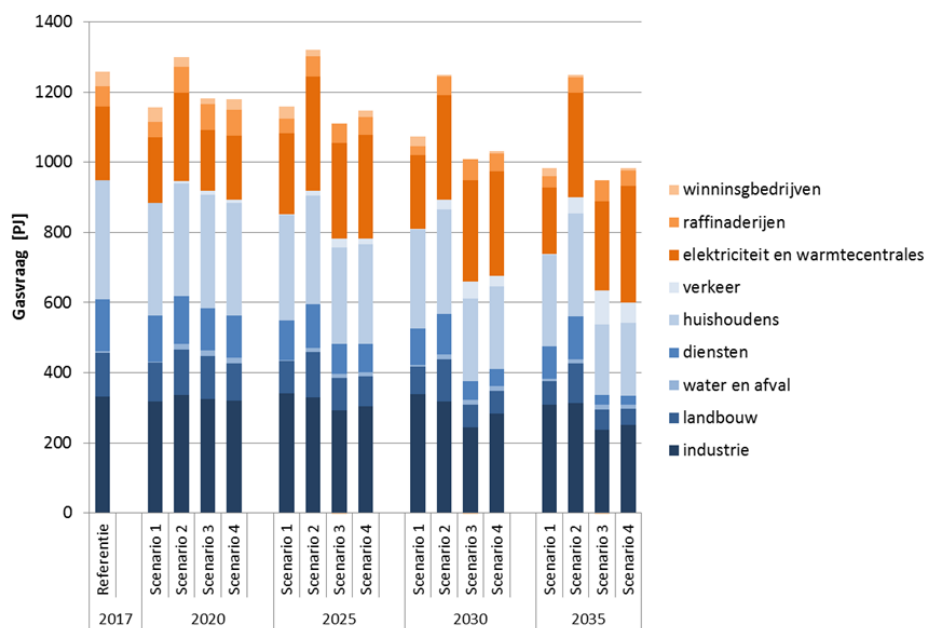
Alle scenario's vertonen onmiskenbaar een dalende trend waarbij het verschil tussen Scenario 1 en Scenario 2 opvallend is. De vraag in de eindverbruikssectoren in Scenario 1 is gelijk aan het scenario's van de NEV2016, terwijl die vraag in Scenario 2 voor een groot deel overeenkomt met het NEV2015 scenario. Door een groter effect van besparingen in de gebouwde omgeving en een bijstelling naar beneden van het areaal aan tuinbouwkassen ligt het aardgasverbruik in NEV2016 lager dan in NEV2015. Daar boven op is het verschil in deze studie vergroot door in Scenario 2 aan te nemen dat tot 30 procent groei plaatsvindt van LNG in het vrachtverkeer en in de scheepvaart. In

NEV2015 speelt dit geen rol. Daarnaast is het verschil tussen de NEV scenario's verder vergroot door de uitfasering van kolencentrales in Scenario 2 die voor een groot deel worden vervangen door gascentrales.

De verschillen in de eindverbruikssectoren tussen Scenario 2 enerzijds en Scenario 3 en 4 anderzijds is vooral het gevolg van de volgende veronderstelde ontwikkelingen:

- Een grotere reductie van de warmtevraag in de gebouwde omgeving (isolatie, Nul-op de-Meter renovatie);
- Een groter effect op de warmtevraag van besparingsprogramma's in de glastuinbouw, en een sterkere afname van inzet van WKK in deze sector;
- Intensivering van beleid gericht op besparing in de industrie dat leidt tot een grotere reductie van de warmtevraag;
- Een sterkere toename van elektrificatie voor de invulling van de warmtevraag in alle sectoren.

In Scenario 4 is er een grotere nadruk op elektrificatie in de eindverbruikssectoren (alleen elektrische warmtepompen en auto's, en elektrische verwarming in de industrie) ten opzichte van Scenario 3. Niettemin is het verschil tussen de scenario's beperkt. Inclusief de energiesector is het aardgasverbruik in Scenario 4 zelfs hoger. Dit heeft vooral te maken met het grote vermogen aan wind op zee in Scenario 3 dat meer dan het grote vermogen aan zon-PV in Scenario 4 in staat is een deel van de productie gascentrales te vervangen.



Figuur 15: Onderverdeling van de totale aardgasvraag in de eindverbruikssectoren en de energiesector voor de diverse scenario's en zichtjaren

Groen Gas

Gebruik van de term aardgas in relatie tot **Figuur 15** is niet helemaal juist. Zowel voor Scenario 3 als 4 was het uitgangspunt dat de veronderstelde ontwikkelingen zouden

moeten leiden tot een CO₂-emissiereductie die in lijn ligt met de doelen die er zijn voor 2030. Daarbij heeft Scenario 3 meer een gaskarakter, en ligt bij Scenario 4 de nadruk meer op elektriciteit. In dat verband is voor Scenario 3 verondersteld dat er een significante ingroei van Groen Gas plaatsvindt. Op basis van de 'Routekaart hernieuwbaar gas' is hierbij uitgegaan van de ingroei van circa 110 PJ groen gas in 2035.

Groen Gas is gas dat is geproduceerd op basis van biomassa met de kwaliteit van aardgas. Het kan worden geproduceerd door vergisting van natte (rest)stromen aan biomassa tot biogas dat vervolgens wordt opgewerkt tot aardgaskwaliteit, en via vergassing van droge biomassa. Er is onvoldoende potentieel om groen gas volledig via de vergistingsroute te produceren dus beide routes zijn meegenomen waarbij Groen Gas via vergassing wel later ingroeit. Verder is verondersteld dat de reeds voorziene productie en inzet van biogas in bijvoorbeeld WKK onveranderd blijft. Uiteindelijk leidt dit tot inzet van bijna 100 PJ Groen Gas in 2030 waarbij circa 60 PJ afkomstig is van vergisting en 40 PJ wordt geproduceerd via de vergassingsroute. Aangenomen is dat Groen Gas op regionaal niveau wordt ingevoerd in het gasnet. Dit betekent dat het (naar rato) terecht komt in de gebouwde omgeving, de glastuinbouw, de kleinere industrie, en het verkeer (alleen CNG), en niet in de sectoren die vallen onder het ETS. Hier is rekening mee gehouden voor de berekening van de CO₂-emissies uit de sectoren.

Een deel van de gasvraag zoals weergegeven in **Figuur 15** wordt voor Scenario 3 dus ingevuld door Groen Gas. Het aandeel loopt op van 13 PJ in 2020 tot circa 100 PJ in 2035.

4.3 Overig aanbod

Raffinage van aardolie

In Nederland is er een aanzienlijke raffinagecapaciteit aanwezig. De grondstoffen zijn afkomstig uit het buitenland. Deze sector produceert echter niet enkel voor de nationale markt; veel wordt uitgevoerd. Hoewel er geen expliciete aannames zijn gemaakt, maar om toch rekening te houden met de impact van veranderingen in voornamelijk de verkeerssector, is de doorzet en het eigen verbruik proportioneel geschaald op basis van het verschil in originele afzet in Nederland en de resulterende afzet volgens de scenario's. Een van de onderliggende gedachten is dat als er wijzigingen optreden in de voertuigvloot in Nederland, dit ook in vergelijkbare mate zal gebeuren in het buitenland, en dus effect op de afzet en doorzet van de Nederlandse raffinaderijen zal hebben.

Cokesfabrieken

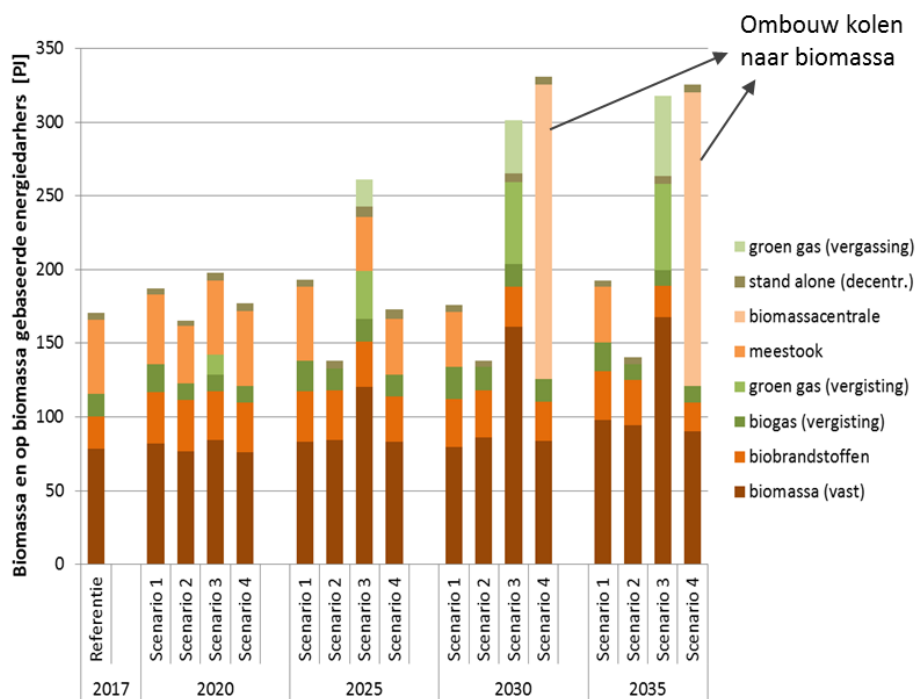
Hoewel in de praktijk cokesfabrieken en staalproductie vaak een geïntegreerd geheel vormen worden de cokesfabrieken in het energiesysteem, en daarmee in de energiebalansen, tot de energiesector gerekend. Dit vanwege de conversie of transformatie van de energiebron steenkool tot een energiedrager die elders in een eindverbruikssector wordt ingezet. Er zijn echter geen specifieke aannames gedaan voor de primaire staalproductie waardoor er ook geen verandering is voor de inzet van cokes in vergelijking met het onderliggende NEV-scenario.

Import en export van energie

De import en export van elektriciteit is bepaald op basis van simulaties voor de elektriciteitsmarkt en toegelicht in paragraaf 4.1.4. Voor de export van energiedragers, en dan met name van aardgas en aardolie(producten), is verondersteld dat deze ongewijzigd blijven ten opzichte van de onderliggende NEV-scenario's. Om de energiebalans voor elke energiedrager sluitend te maken is er voor gekozen om de importhoeveelheid aan te passen. De energiebalansen zijn weergegeven in Bijlage F.

4.4 Inzet biomassa in de scenario's

De inzet van Groen Gas in Scenario 3 leidt tot een grotere inzet van biomassa in de energievoorziening dan in het referentiescenario. Dit is echter niet de enige inzet van extra biomassa in Scenario 3. Ook wordt extra biomassa ingezet in de industrie ter vervanging van aardgas voor de productie van hoge temperatuur proceswarmte. Daarnaast wordt ook in Scenario 4 veel extra biomassa ingezet. In dat scenario worden de resterende kolencentrales in de periode 2025 -2030 omgebouwd naar centrales die volledig met biomassa worden gestookt. De effecten voor inzet van biomassa in beide scenario's is zichtbaar in **Figuur 16**. De inzet van biomassa in beide scenario's ligt ongeveer anderhalf keer hoger dan in de referentie en bedraagt in 2025 in beide gevallen ruim meer dan 300 PJ.



Figuur 16: Inzet van biomassa en op biomassa gebaseerde energiedragers voor energetische toepassingen

In **Figuur 16** zijn de biomassabijdragen weliswaar cumulatief weergegeven, maar het totaal is slechts indicatief. De verschillende bijdragen zijn ongelijksoortig omdat het zowel primaire biomassa bijdragen bevat als energiedragers gebaseerd op biomassa. Voor primaire inzet zouden biobrandstoffen, biogas en groen gas nog moeten vertaald naar primaire biomassa. Voor productie van biobrandstoffen en groen gas ligt het conversierendement van primaire biomassa naar brandstoffen in de orde van 50 – 70 procent. Voor biogas is een dergelijk cijfer lastiger te geven. Inzet van biomassa voor vergisting wordt meestal gegeven in ton natte biomassa per eenheid biogasproductie. Los van de precieze vertaling betekent het echter in ieder geval dat in alle scenario's de inzet van primaire biomassa hoger is dan in **Figuur 16** is weergegeven.

Ten opzichte van de referentie (Scenario 1) vertoont Scenario 2 een daling van de inzet van biomassa. Dit is het gevolg van de sluiting van kolencentrales in de periode 2020 – 2025 waardoor het deel meestook van biomassa in kolencentrales wegvalt. Dit deel wordt in Scenario 3 weer ingezet in de industrie of voor de productie van groen gas via vergassing. In Scenario 4 levert het een bijdrage aan de biomassa die nodig is voor de biomassacentrales. De bijdrage van meestook bedraagt echter nog geen 50 PJ terwijl voor de biomassacentrales circa 200 PJ nodig is.

Biomassa is niet onbeperkt beschikbaar, zeker niet wat betreft duurzame biomassa. Er is echter nog veel onzekerheid over de precieze cijfers. Daarom is het zinvol de cijfers uit **Figuur 16** in perspectief te plaatsen. Wereldwijd wordt het potentieel aan duurzame biomassa geschat op 50 - 310 EJ aan ruwe biomassa, met op het ogenblik een meest waarschijnlijk geacht potentieel van 145 EJ [PBL,2016]. Nederland beschikt zelf maar over een beperkte hoeveelheid biomassa en zal dus voor een aanzienlijk deel zijn aangewezen op import. De vraag is dan welk deel van het wereldwijde potentieel aan Nederland kan worden toegerekend. Dit kan bijvoorbeeld naar rato van het aandeel van Nederland in de wereldbevolking of het aandeel van Nederland in het wereldwijde Bruto Nationaal Product. Met deze verdeelsleutels zou er voor Nederland circa 300 - 800 PJ aan ruwe biomassa beschikbaar zijn. De inzet van biomassa in Scenario 3 en 4 is dus fors, maar valt in een aanneembare bandbreedte. Hierbij kan echter wel worden aangetekend dat het aandeel groen gas, biobrandstoffen en bio-elektriciteit in de totale behoefte aan gas, brandstoffen en elektriciteit nog beperkt is in de scenario's. Ook is nog geen rekening gehouden met de mogelijke noodzaak van grootschalige inzet van biomassa als grondstof in de chemische industrie en voor biobrandstoffen voor de luchtvaart en internationale scheepvaart.

5

Impact op emissies van broeikasgassen

De scenario's hebben tot doel de hoekpunten van een toekomstige energievoorziening te verkennen met het oog op mogelijk noodzakelijk investeringen in de infrastructuur die deze energievoorziening mede mogelijk zou moeten maken. Een belangrijk element in de verkenning is de impact van de scenario's op de emissies van broeikasgassen, en hoe die emissies zich verhouden tot de doelstellingen op dit gebied. Uitgangspunt is dat de klimaatproblematiek serieus wordt genomen en overheden beleid zullen ontwikkelen waarmee invulling kan worden gegeven aan realisatie van de noodzakelijk geachte emissiereducties.

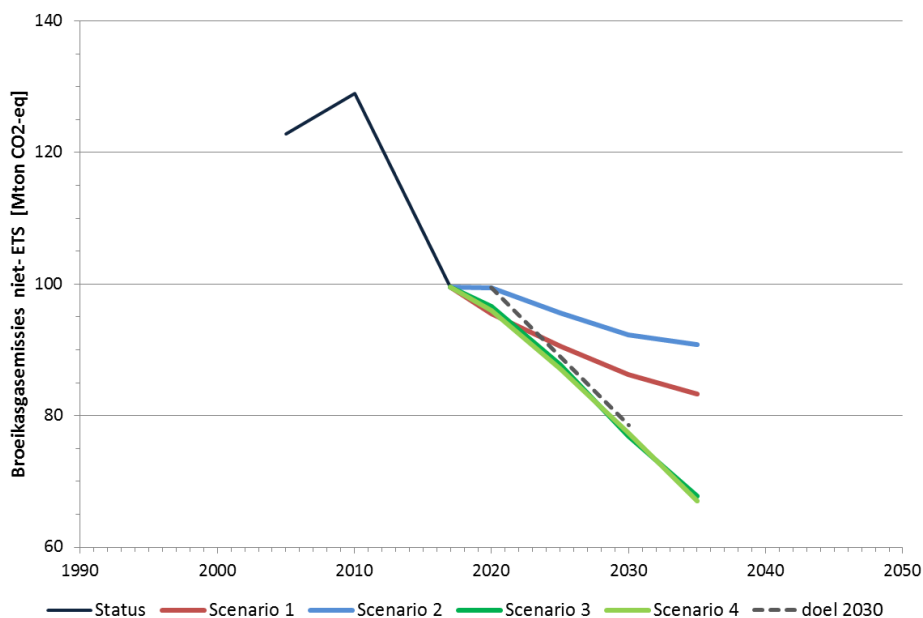
In dit hoofdstuk worden de resultaten getoond van het effect van de scenario's op de emissies van broeikasgassen. Voordat het effect op het totaal van de emissies wordt gegeven, wordt eerst het effecten van de scenario's op de broeikasgasemissies in de niet-ETS sectoren en de ETS-sectoren afzonderlijk behandeld.

5.1 CO₂-emissie voor niet-ETS sectoren

Figuur 17 toont het effect van de scenario's op de broeikasgasemissies van de sectoren die niet onder het ETS vallen. Deze emissies bestaan uit CO₂-emissies en emissies van overige broeikasgassen. Het broeikasgaspotentieel van de overige broeikasgassen is uitgedrukt in CO₂-equivalenten en opgeteld bij de CO₂-emissies. Er zijn geen specifieke aannames gedaan voor de overige broeikasgassen dus die zijn gelijk aan de onderliggende NEV-scenario's. Voor de niet-ETS sectoren vormen de overige broeikasgassen een aanzienlijke post. In de zichtperiode nemen ze geleidelijk af van ruim 28 Mton CO₂-eq in 2020 tot bijna 25 Mton CO₂-eq in 2035. Met een vrijwel constante bijdrage van bijna 19 Mton CO₂-eq vormt de Landbouw de voornaamste bron van overige broeikasgassen.

Voor de niet-ETS sectoren is een doel gedefinieerd van 36 procent reductie van broeikasgasemissies in 2030 ten opzichte van de emissies in 2005 [ECN,2016]. De stippellijn in de figuur toont de daling van de emissies vanaf 2020 tot en met 2030. Voor die periode is van belang dat het totaal aan emissies kleiner is dan de hoeveelheid emissies die overeenkomt met het oppervlak onder de trendlijn. Dat wil zeggen dat de emissies in 2030 niet precies 36 procent lager hoeven te liggen dan in 2005 als emissies boven de trendlijn in de periode 2021-2030 maar worden gecompenseerd door een lagere uitstoot dan de trendlijn in andere jaren.

De figuur toont duidelijk dat het 2030-doel buiten bereik blijft met Scenario 2. Het scenario vormt een lichte verbetering ten opzichte van het onderliggende NEV2015 scenario (0,2 Mton) door grotere inzet van LNG in transport en de scheepvaart. Ook met Scenario 1 wordt het doel niet gehaald. Dit scenario komt overeen met het NEV2016 scenario. Dat met deze scenario's het 2030-doel niet wordt bereikt komt doordat de scenario's vooral zijn gericht op het halen van de korte termijn doelen in 2020 en 2023. Deze lijken vooral met het NEV2016 scenario binnen bereik. Voor het halen van de 2030-doelen is aanvullend beleid nodig.



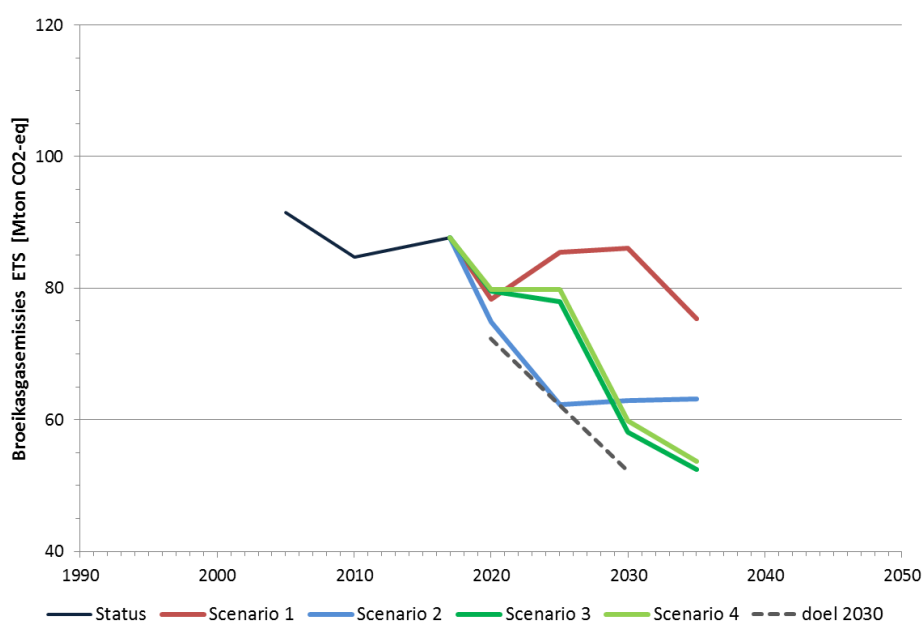
Figuur 17: Broeikasgasemissies van de niet-ETS sectoren voor de verschillende scenario's in vergelijking met het doel voor 2030.

Met de maatregelen die zijn verondersteld voor Scenario 3 en Scenario 4 lijkt het 2030-doel wel te kunnen worden gehaald. Die emissies liggen gedurende de hele periode net iets onder de trendlijn. De verschillen met Scenario 2 komen vooral voort uit een lager energieverbruik in de gebouwde omgeving en de glastuinbouw door een sterkere afname van de warmtevraag (isolatie en renovatie) en een efficiëntere invulling van de resterende warmtevraag (warmtepompen en geothermie). Een deel van de lagere emissies in Scenario 3 is daarbij het gevolg van een gedeeltelijke vervanging van aardgas door groen gas. Daarnaast levert elektrisch rijden een groot aandeel. De onderlinge bijdrage van de sectoren varieert maar zijn cumulatief per saldo met 20 à 21 Mton CO₂ ongeveer even groot in beide scenario's.

5.2 CO₂-emissies van sectoren onder ETS

De broeikasgasemissies voor de ETS sectoren ligt in de periode 2020 - 2035 iets onder die van de niet-ETS sectoren, maar is qua CO₂-emissies vergelijkbaar. De bijdrage van overige broeikasgassen aan de emissies voor de ETS sectoren is met 0,3 Mton CO₂-eq vrijwel verwaarloosbaar.

Voor de ETS sectoren is er geen Nederlands doel. Er is alleen een Europees doel voor een reductie van 43 procent ten opzichte van het emissieniveau in 2005. Dit is hier als indicatief doel voor Nederland gehanteerd. De gestippelde lijn in **Figuur 18** illustreert een reductie van de emissies met 21 procent in 2020 tot 43 procent in 2030 ten opzichte van 2005.



Figuur 18: Broeikasgasemissies van de ETS sectoren voor de verschillende scenario's in vergelijking met een indicatief doel voor 2030

Scenario 1 blijft ver verwijderd van het indicatieve doel. Elders in Europa zullen de emissies sneller moeten dalen, en de bedrijven in Nederland die vallen onder het ETS zullen per saldo extra emissierechten op de markt moeten kopen. Scenario 2 komt in 2030 uit op een emissieniveau dat boven het indicatieve doel van 43 procent reductie ligt, maar de emissies liggen in de periode 2020-2015 wel rond de trendlijn; de indicatieve opgave. Reden van de lagere emissies is de snelle uitfasering van kolencentrales in dit scenario. Een extra afbouw ten opzichte van de referentie start al voor 2020, en alle centrales worden gesloten voor 2025. Na 2025 zijn er geen verdere wijzigingen en treedt er per saldo zelfs een lichte stijging van emissies op richting 2035 als gevolg van economische groei.

De emissies in Scenario 3 en Scenario 4 liggen gedurende de hele periode boven de trendlijn wat betekent dat elders in Europese meer emissiereductie gerealiseerd moet worden om Europa-breed op een reductie van 43 procent uit te komen. Ook in Scenario 3 en Scenario 4 worden kolencentrales uitgefaseerd, maar sluiting of ombouw naar biomassacentrales, wat voor de emissies hetzelfde effect heeft, vindt in deze scenario's vijf jaar later plaats dan in Scenario 2. De scenario's komen in 2030 wel uit op een lagere uitstoot omdat in deze scenario's aanvullende maatregelen zijn verondersteld. In Scenario 3 gaat het dan om een veel groter aandeel wind op zee en de inzet van biomassa voor de gedeeltelijke vervanging van fossiele bronnen voor de productie van hoge temperatuur warmte in de industrie. In Scenario 4 is het aandeel zon-PV een stuk groter, vindt elektrificatie van de warmteproductie in de industrie plaats (Power-to-Heat) en vindt afvang en opslag van de CO₂ van nieuwe gascentrales plaats.

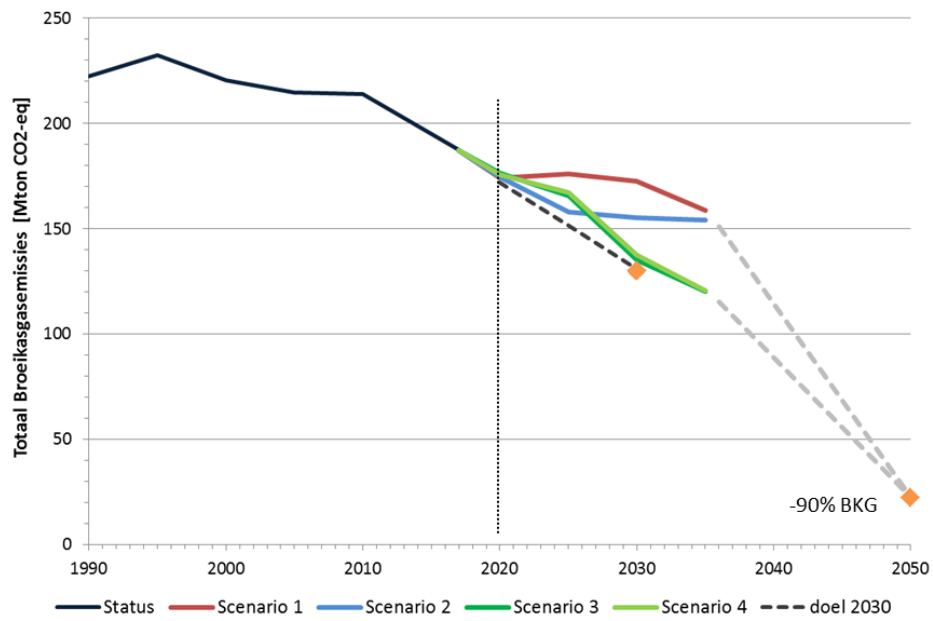
Hoewel de emissies in de zowel Scenario 3 en Scenario 4 over de periode 2020-2030 dan die in Scenario 2 is de trend in de ontwikkeling van de emissies in eerstgenoemde scenario's wel beter gelet op de verdere daling die noodzakelijk wordt geacht richting 2050.

5.3 Totaal broeikasgasemissies alle sectoren

De combinatie van emissies die niet en wel onder het ETS vallen leveren het totaalbeeld op zoals weergegeven in **Figuur 19**. De emissies zijn vergeleken met een trendlijn die het niet-ETS doel voor Nederland combineert met het ETS doel voor de EU. Het betreft dus ook hier een indicatief doel. Daarnaast is een punt ingetekend dat een 90 procent reductie van broeikasgasemissies illustreert in 2050. De emissieruimte die dan overblijft bedraagt ongeveer 22 Mton CO₂-eq. Dit is al minder dan de emissieruimte die nu wordt gebruikt door de overige broeikasgassen, die vooral vrijkomen in de landbouw. Dit betekent dat er in 2050 vrijwel geen ruimte is voor CO₂-emissies gerelateerd aan de energetische en niet-energetische inzet van fossiele bronnen.

Vanzelfsprekend komt het totaalbeeld overeen met het beeld dat al in de vorige paragrafen naar voren kwam. De emissies in het referentiescenario en Scenario 2 lopen alleen op korte termijn enigszins in de pas met de trendlijn maar wijken vanaf respectievelijk 2020 en 2025 qua ontwikkeling sterk af van de richting die nodig is om in de buurt te kunnen komen van de indicatieve doelstellingen voor 2030 en 2050.

Met de maatregelen zoals verondersteld in Scenario 3 en Scenario 4 zit de trendmatige ontwikkeling van de broeikasgasemissies op de goede weg voor 2030. De emissies liggen echter gedurende de volledige periode 2020 - 2030 op, of net boven de trendlijn zodat het totaal aan emissiereducties nog wel onvoldoende is om het indicatieve doel voor 2030 te realiseren. Ook laten de resultaten zien dat, ondanks alle veronderstelde maatregelen, de emissies zich na 2030 weer enigszins in negatieve richting ontwikkelen ten opzichte van de trendlijn, en ten opzichte van de richting die nodig is voor 2050. Ook voor Scenario 3 en Scenario 4 zal er dus na 2030 nog een tandje bij moeten om realisatie van de verder weg gelegen doelen voor 2050 binnen bereik te houden.



Figuur 19: Totaal van de Nederlandse emissies van broeikasgassen voor de diverse scenario's vergeleken met indicatieve doelen voor Nederland voor 2030 en 2050

6

Conclusies

Resultaten en conclusies m.b.t. reductie van broeikasgasemissies

De focus van het energiebeleid komt in toenemende mate te liggen bij CO₂-reductie, en minder bij stimuleren van duurzame energie. Niettemin zal er een zekere mate van overlap zijn zeker nu de kosten van opties als Wind op Zee en zon-PV snel dalen. De overlap tussen CO₂-reductie en duurzame energie is in de scenario's nog eens versterkt doordat alternatieve opties voor CO₂-reductie zoals uitbreiding van nucleaire energie en grootschalige CCS in zowel de energiesector als de industrie niet zijn opgenomen in de scenario's. Naast inzet van duurzame energie voor CO₂-reductie speelt ook energiebesparing (reduceren of vermijden van energievraag) een belangrijke rol in de scenario's, en dan vooral in Scenario 3 en 4.

Voor de broeikasgasemissies wordt er in het algemeen onderscheid gemaakt tussen emissies die onder het Europese Emission Trading Scheme (EU ETS) vallen en emissies die daar niet onder vallen. De emissies die onder het ETS vallen zijn vooral de emissies van grote puntbronnen, zoals elektriciteitscentrales, de zware industrie en enkele grote (tuinbouw)bedrijven. Deze emissies vertegenwoordigen voor Nederland ruim 45 procent van het totaal aan broeikasgasemissies. De overige emissies betreffen de emissies van de overige bedrijven en de emissies uit de gebouwde omgeving en het verkeer. Complicerende factor hierbij is nu dat er voor niet-ETS emissies lidstaat gebonden reductiedoelen zijn geformuleerd voor 2030 (-36 procent), maar dat er voor de ETS emissies alleen een overkoepeld EU doel is (-43 procent). Dit maakt het lastig om het effect van de scenario's te relateren aan het halen van een doelstelling. De mate waarin reductie van ETS-emissies in Nederland nodig is, is sterk afhankelijk van wat er elders in Europa aan emissiereductie wordt gerealiseerd tegen mogelijk geringere kosten dan bij ons.

Om toch iets te kunnen zeggen voor Nederland is voor deze studie het overkoepelende EU-doel voor ETS-emissies gehanteerd als indicatief ETS-doel voor Nederland. Gecombineerd met het niet-ETS doel leidt dit tot een indicatief 2030-doel voor Nederland van ruim 39 procent reductie van broeikasgasemissies. Onderstaande figuur geeft de resultaten voor de ontwikkeling van de uitstoot van broeikasgasemissies voor de verschillende scenario's in vergelijking met het indicatieve doel.

Intensivering en versnelling van de transitie is nodig om het 2030-doel te kunnen halen

Samengevat laten de resultaten voor ontwikkeling van de broeikasgasemissies het volgende zien voor de verschillende scenario's:

- In Scenario 1 (Referentiescenario) ligt het emissiereductie doel voor 2020 binnen bereik. Het indicatieve doel voor 2030 blijft echter buiten bereik, en de trendmatige ontwikkeling van de emissies wijkt sterk af van de richting die nodig is voor 2050. Op zich is dit niets nieuws. Het laat zien dat "business as usual" geen optie is als de doelen voor 2030 en 2050 serieus worden genomen.
- Ten opzichte van Scenario 1 leidt Scenario 2 (Richting Duurzame Transitie) op de kortere termijn tot enige verlichting. Het uitfaseren van kolencentrales zet de ontwikkeling van de hoeveelheid emissies op de lijn die nodig is voor het halen van het indicatieve 2030-doel. De overgang van diesel naar LNG (beperkt lagere CO₂-emissiefactor) voor een beperkt deel (ingroeit naar 30 procent in 2035) van relatief kleine segmenten als het zware vrachtverkeer en zeker de scheepvaart kan het verschil niet maken.
- Zowel in Scenario 3 (Centrale Klimaatactie) als 4 (Decentrale Klimaatactie) ligt het indicatieve 2030-doel binnen bereik. Ondanks het verschil in karakter van de scenario's liggen de emissiecijfers voor beide scenario's verrassend dicht bij elkaar. De overeenkomsten in de scenario's hebben duidelijk een grotere impact op de emissies dan de zaken waarin de scenario's verschillen.

Overeenkomsten zijn:

- de sluiting of ombouw van kolencentrales na 2025;
- reductie van de warmtevraag in de industrie, de dienstensector en de land- en tuinbouw;
- reductie van het elektriciteitsverbruik van verlichting en apparaten in huishoudens en de dienstensector;
- een vergelijkbare grote extra inzet van biomassa;
- een vergelijkbaar aandeel elektriciteit van duurzame bronnen in de mix;
- een groot aandeel WKO in verwarming/koeling van gebouwen;
- en de toename van geothermie in de land en tuinbouw.

Verschillen zitten vooral in de mate van elektrificatie voor verwarming (hybride of elektrische warmtepomp), de mate van elektrificatie van het wegverkeer, en de precieze inzet van biomassa. Uiteindelijk blijkt het effect van deze verschillen op de emissies klein.

- Het indicatieve 2030-doel ligt weliswaar binnen bereik voor de Scenario 3 en 4, maar de emissies liggen wel steeds iets boven de (indicatieve) trendlijn voor afbouw van de emissies in de periode 2020-2030. Bovendien wijkt de trend in de emissies in de periode 2030-2035 negatief af van de trend die nodig is voor verdergaande reductie van emissies met 80 procent tot 95 procent in 2050. Ondanks dat de scenario's hier en daar al als behoorlijk ambitieus kunnen worden gezien geeft dit aan dat er in feite nog een tandje bij moet. De scenario's voldoen overigens wel aan het enige officiële doel, te weten het 2030-doel voor niet-ETS broeikasgassen.

Overige resultaten en conclusies

Naast de emissie-effecten zijn er nog een aantal andere interessante observaties te halen uit de doorrekening van de scenario's. Het betreft zaken die van belang zijn gelet op de noodzaak om de infrastructuur tijdig aan te passen aan het veranderende energie- aanbod en de veranderende energievraag in de energievoorziening.

Toename van grensoverschrijdende uitwisseling van elektriciteit

Met een toename van het geïnstalleerd vermogen aan wind en zon-PV in de scenario's neemt in de modelberekeningen de export van elektriciteit toe en neemt de import af. Nederland verandert van netto importeur naar netto exporteur. De toename van uitwisseling van elektriciteit met andere landen geeft aan dat het belang van grensoverschrijdende elektriciteitshandel toeneemt bij toenemende productie uit variabel duurzaam vermogen. Dit betekent ook dat er voldoende geïnvesteerd moet worden in grensoverschrijdende transmissiecapaciteit.

Toename van curtailment

Tegelijkertijd laten de resultaten ook een aanzienlijke toename zien van het aantal uren dat er een overschot aan productie van elektriciteit optreedt, en dat met name windvermogen wordt afgeschakeld ("curtailment"). Dit vooruitzicht op toenemende curtailment vraagt tijdige bezinning op, en implementatie van keuzes voor optimale uitbreiding van de winning van wind- en zonne-energie en de inpassing daarvan in de energievoorziening. Hierbij dient ook oog te zijn voor mogelijk verdere benutting van het aanwezige potentieel aan wind- en zonne-energie voor realisatie van doelen in de periode na 2035. Uitbreiding van infrastructuur vergt veel tijd, net als ontwikkeling en inpassing van nieuwe opties. Hierbij kan worden gedacht aan:

- verdergaande elektrificatie van de invulling van de diverse warmte-, mobiliteits- en transportvragen;
- verdere benutting van het potentieel aan vraagsturing in combinatie met "Smart Grids" (in deze studie is alleen enige extra vraagsturing verondersteld bij opladen van elektrische auto's); en
- opslag, al dan niet in combinatie met inpassing van wind- en zonne-energie in het energiesysteem via productie van alternatieve energiedragers zoals waterstof en ammoniak.

Piekvraag neemt toe en kan groter worden dan het eigen regelbaar vermogen

Met de toename van geïnstalleerd vermogen aan wind en zon-PV vertonen de resultaten van de simulatie van het elektriciteitssysteem een (lichte) daling van het benodigde thermische regelbare vermogen. Vooral bij de scenario's met veel Wind op Zee, dat een relatief hoge load factor kent, laten de resultaten zien dat (onder de gesimuleerde condities) het Nederlandse systeem met minder thermisch regelbaar vermogen toe kan. Als gevolg van de veronderstelde elektrificatie in Scenario 4, maar ook in Scenario 3, neemt de piekvraag naar elektriciteit tegelijkertijd toe. Vooral in de zichtjaren 2030 en 2035 leidt dit ertoe dat de piekvraag ruim hoger is dan het eigen regelbare vermogen. Dit betekent dat de kans toeneemt dat gebruik moet worden gemaakt van back-up uit het buitenland op momenten dat er een hoge vraag is maar weinig aanbod van zon en wind (de zeer koude, sombere windstille winterdag). Hoewel Nederland dus per saldo verandert van importeur naar exporteur van elektriciteit, blijkt tegelijkertijd de afhankelijkheid van andere landen toe te nemen om op elk moment de balans tussen vraag en aanbod te kunnen handhaven. Overigens kan ook grotere inzet

op vraagsturing (“demand side response”) hier enige soelaas bieden. De resultaten laten in ieder geval zien dat meer aandacht nodig is voor het verkrijgen van gedegen inzicht in de minimale hoeveelheid eigen regelbaar vermogen die nodig blijft bij toename van variabel duurzaam vermogen. Dit mede gelet op vergelijkbare ontwikkelingen in het buitenland, en met oog voor bijvoorbeeld de omvang en correlatie van weersystemen; dat wil zeggen de kans dat gelijktijdig en voor langere tijd over grotere gebieden tekorten aan wind- en zonne-energie optreden.

De aardgasvraag daalt in alle scenario’s, maar de rol van gas blijft van belang voor flexibele regelbare productie, back-up en de piekvraag

De resultaten laten een afname van de gasvraag zien voor alle scenario’s. Gas omvat hierbij zowel aardgas als Groen Gas. De afname geldt dus, ook voor Scenario 3, het scenario met een relatief groot (duurzaam) gaskarakter. Aardgas, of meer in het algemeen gasvormige energiedragers blijven wel van belang, in ieder geval als brandstof voor flexibele gascentrales, back-up centrales en piekcentrales. Gas blijft mogelijk ook van belang voor proceswarmte in de industrie. Weliswaar is met name in Scenario 4 een zekere mate van elektrificatie van de invulling van de warmtevraag in de industrie verondersteld, maar er is niet onderzocht in welke mate elektriciteit nu precies een haalbaar en betaalbaar alternatief is. Dit geldt vooral voor productie van hoge temperatuur proceswarmte, waarbij ook mogelijke consequenties voor verzwaring van de elektriciteitsinfrastructuur een rol spelen. Verder blijft de rol van gas in de gebouwde omgeving een vraagteken. Dit dan met name in de bestaande bouw waar de alternatieven all-electric en warmtelevering uit praktisch en kostentechnisch oogpunt mogelijk niet overal haalbaar zijn. Hier zouden hybride concepten met gas en elektriciteit uitkomst kunnen bieden waarbij een basisvraag wordt gedekt via elektriciteit, en de piekvraag vooral wordt ingevuld via het (bestaande) gasnet. Op termijn kan hier wellicht ook ander volledig hernieuwbaar gas doorheen waardoor emissies verder kunnen worden teruggedrongen.

Inzet van biomassa raakt snel aan de bandbreedte van beschikbaar duurzaam potentieel

Een aanzienlijk deel van de reductie van broeikasgasemissies in Scenario 3 en Scenario 4 wordt gerealiseerd door een grote toename van de inzet van biomassa ten opzichte van de huidige situatie en de beide andere scenario’s. De inzet van primaire biomassa ligt in beide scenario’s ruim boven de 300 PJ wat grofweg een verdubbeling is van de huidige situatie. Er bestaat veel onzekerheid over het beschikbare potentieel aan duurzame biomassa. Duidelijk is in ieder geval dat we hiervoor zijn aangewezen op import. Op basis van een wereldwijd duurzaam potentieel, dat volgens de huidige inzichten als meest redelijk wordt ingeschat (145 EJ), zou het beschikbare potentieel voor Nederland in de orde van 300 tot 800 PJ liggen (verdeling op basis van aandeel in de wereldbevolking of aandeel in het wereldwijde BNP). De inzet in Scenario 3 en 4 zit al binnen deze bandbreedte. Tegelijkertijd is het aandeel in de totale energievoorziening nog beperkt en is er nog geen rekening gehouden met de mogelijke noodzaak van grootschalige inzet van biomassa als grondstof in de chemische industrie en voor biobrandstoffen voor de luchtvaart en internationale scheepvaart. De cijfers tonen daarom dat zorgvuldig moet worden nagedacht over de rol van biomassa, en de mate waarin biomassa daadwerkelijk duurzaam kan worden ingezet, in een duurzame energievoorziening.

Referenties

- [EC,2016] Europese Commissie, COM(2016) 482 final, Voorstel voor een Verordening van het Europees Parlement en de Raad betreffende bindende jaarlijkse broeikasgasemissiereducties door de lidstaten van 2021 tot en met 2030, 20 juli 2016;
https://ec.europa.eu/clima/policies/effort/proposal_en en http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:923ae85f-5018-11e6-89bd-01aa75ed71a1.0016.02/DOC_1&format=PDF
- [ECN,2014a] Bert Daniëls (ECN), Robert Koelemeijer (PBL) e.a., EU-doelen klimaat en energie 2030: Impact op Nederland, ECN-E--14-033 / PBL 1394, september 2014
- [ECN,2014b] Marit van Hout, Paul Koutstaal, Ozge Ozdemir en Ad Seebregts, Quantifying .flexibility markets, ECN-E--14-039, december 2014
- [ECN,2016] Bert Daniëls (ECN), Robert Koelemeijer (PBL) e.a., Effort Sharing Regulation: Gevolgen voor Nederland, ECN-E--16-047 / PBL 2795, december 2016
- [ENTSOE,2015] ENTSO-E, TYNDP 2016 Scenario Development Report, 3 Nov. 2015
<https://www.entsoe.eu/news-events/announcements/announcements-archive/Pages/News/ENTSO-E-publishes-the-10-year-network-development-plan-2016.aspx>
- [ENTSO,2016] ENTSO-E en ENTSG, 2040 Story lines document; June 2016
https://consultations.entsoe.eu/system-development/joint-electricity-and-gas-consultation-build-the-e/user_uploads/160509_energy-scenarios-2040.pdf and
<https://www.entsog.eu/public/uploads/files/publications/TYNDP/2016/ENTSOs%20proposed%202040%20scenarios.pdf>
- [GGF,2014] Groen Gas Forum, Routekaart hernieuwbaar gas, juni 2014
- [MIN,2014] Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Een duurzame brandstofvisie met LEF, juni 2014

- [NEV,2015] ECN, PBL, CBS en RVO, Nationale Energieverkenning 2015, ECN-O--15-033, 2015
- [NEV,2016] ECN, PBL, CBS en RVO, Nationale Energieverkenning 2016, ECN-O--16-035, 2016
- [PBL,2016] Jan Ros en Klara Schure, Vormgeving van de Energietransitie, PBL 1747, 19 februari 2016
- [RDH,2015] Rechtbank Den Haag, ECLI:NL:RBDHA:2015:7145, 24 juni 2015;
<https://uitspraken.rechtspraak.nl/inziendocument?id=ECLI:NL:RBDHA:2015:7145>

Lijst met afkortingen

Organisaties

ECN	Energie onderzoek Centrum Nederland
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity
ENTSO-G	European Network of Transmission System Operators for Gas
EU	European Union
GTS	Gasunie Transport Services
PBL	Planbureau voor de Leefomgeving

Technologieën

AVI	Afvalverbrandingsinstallatie
CAES	Compressed Air Energy Storage
CCS	Carbon Capture and Storage
CNG	Compressed Natural Gas
EWP	Elektrische Warmtepomp
HR-ketel	Hoog rendement ketel
HWP	Hybride Warmtepomp
LNG	Liquefied Natural Gas
LPG	Liquefied Petroleum Gas
PV	Photovoltaïcs
WKK	Warmte Kracht Koppeling

Overig

BNP	Bruto Nationaal Product
ETS	Emission Trading System
HDO	Handel, Diensten en Overheid
KCD	Kwaliteit en Capaciteitsdocument
NEV	Nationale Energieverkenning
NOP	Netwerkontwikkelingsplan
OV	Openbaar Vervoer
TYNDP	Ten Year Network Development Plan

Eenheden

EJ	Exajoule (10^{18} Joule)
GW	Gigawatt (10^9 Watt)
Mton	Megaton (10^6 ton, of 10^9 kilo)
MW	Megawatt (10^6 Watt)
MW _e	Megawatt elektrisch
MW _{th}	Megawatt thermisch
MWh	Megawattuur
PJ	Petajoule (10^{15} Joule)
TWh	Terawattuur (10^{12} Wattuur)

Bijlage A. Ontwikkeling vraag naar elektriciteit voor kracht en licht

A.1. Huishoudens

Als gevolg van de werking van de Europese Ecodesign richtlijn 2009/125/EG neemt het elektriciteitsverbruik van consumentenelektronica, verlichting en huishoudelijk witgoed af. Als gevolg van onduidelijkheid over aanscherping van de richtlijn na 2020 is voor de NEV2015 geen rekening gehouden met de richtlijn, en is verondersteld dat besparingstempo na 2020 uiteindelijk inzakt tot een autonoom besparingstempo van 0,3 procent. Dit is ook de situatie voor Scenario 2.

Voor Scenario 3 en 4 is er daarentegen verondersteld dat de richtlijn voor de periode na 2020 wel wordt aangescherpt en dat het huidige besparingstempo in de zichtperiode tot en met 2035 gelijk blijft op 2,4 procent per jaar.

Tabel 16 geeft een overzicht van het elektriciteitsverbruik voor kracht en licht uit de NEV2015. Via omzetting naar een elektriciteitsverbruik per woning is het onderliggende besparingstempo uit de NEV2015 afgeleid. De waarde is een netto effect en omvat zowel efficiencyverbetering als groei van het aantal apparaten. Voor Scenario 3 en 4 is de waarde voor de periode 2015-2020 constant verondersteld voor de periode tot en met 2035, en gebruikt om voor de zichtjaren het elektriciteitsverbruik voor kracht en licht in huishoudens te bepalen.

Tot en met 2020 is het elektriciteitsverbruik voor kracht en licht in de Scenario's 2 t/m 4 gelijk. In 2025 bedraagt het verschil nog slechts 0,8 PJ, maar door het aanhoudend hoge besparingstempo in Scenario 3 en 4 neemt dit toe tot 12,7 PJ (3,5 TWh) in 2035

Tabel 16: Besparingstempo en elektriciteitsverbruik voor kracht en licht in de verschillende scenario's.

Scenario	Parameter	Eenheid	2015	2020	2025	2030	2035
2 (gelijk aan NEV2015)	Elektriciteitsverbruik	PJ	73,4	67,0	61,8	62,4	62,5
	Verbruik per woning	GJ/woning	9,9	8,8	7,9	7,7	7,6
	Jaarlijkse besparing	-		2,4%	2,2%	0,3%	0,3%
3 & 4	Jaarlijkse besparing	-		2,4%	2,4%	2,4%	2,4%
	Verbruik per woning	GJ/woning	9,9	8,8	7,8	6,9	6,1
	Elektriciteitsverbruik	PJ	73,4	67,0	61,0	55,3	49,8

A.2. Handel, Diensten en Overheid (HDO)

Tabel 17 geeft een overzicht van de cijfers voor het elektriciteitsverbruik voor kracht en licht in de sector HDO uit de NEV2015. Deze zijn ook gehanteerd voor Scenario 2. Via omzetting naar een elektriciteitsverbruik per m² vloeroppervlak is het onderliggende besparingstempo uit de NEV2015 afgeleid. De waarde is een netto effect en omvat zowel efficiency verbetering als groei van het aantal apparaten. Voor Scenario 3 en 4 is de waarde voor de periode 2015-2020 constant verondersteld voor de periode tot en met 2035, en gebruikt om voor de zichtjaren het elektriciteitsverbruik voor kracht en licht in de sector HDO te bepalen.

Tot en met 2020 is het elektriciteitsverbruik voor kracht en licht in alle scenario's gelijk. In 2025 bedraagt het verschil nog slechts 5 PJ, maar door het aanhoudend hoge besparingstempo in Scenario 3 en 4 neemt dit toe tot 22 PJ (ruim 6 TWh) in 2035

Tabel 17: Besparingstempo en elektriciteitsverbruik voor kracht en licht in de verschillende scenario's voor de sector Handel, Diensten en Overheid.

Scenario	Parameter	Eenheid	2015	2020	2025	2030	2035
2 (gelijk aan NEV2015)	Elektriciteitsverbruik	PJ	114	109	108	111	114
	Verbruik per m ²	GJ/m ²	0,234	0,215	0,209	0,208	0,208
	Jaarlijkse besparing	-		1,7%	0,6%	0,1%	0,1%
3 & 4	Jaarlijkse besparing	-		1,7%	1,7%	1,7%	1,7%
	Verbruik per woning	GJ/m ²	0,234	0,215	0,198	0,182	0,168
	Elektriciteitsverbruik	PJ	114	109	103	97	92

A.3. Land en Tuinbouw

Voor de sector Land- en Tuinbouw zijn geen specifieke aannames gedaan voor de ontwikkeling van de vraag naar kracht en licht. De vraag in alle scenario's is gelijk verondersteld, en is gelijk aan de ontwikkeling zoals gegeven in de NEV2015.

Tabel 18: Elektriciteitsverbruik voor kracht en licht in de Scenario's 2 t/m 4 in de land- en tuinbouw.

Scenario	Parameter	Eenheid	2013	2020	2025	2030	2035
2,3 en 4	Elektriciteitsverbruik	PJ	28,3	30,7	31,7	32,5	33,4

A.4. Industrie

Ook voor de sector Industrie zijn geen specifieke aannames gedaan voor de ontwikkeling van de elektriciteitsvraag voor kracht en licht. De cijfers zoals getoond in **Tabel 19** zijn dan ook gelijk aan de cijfers van het onderliggende NEV2015 scenario.

Anders dan in de voorgaande sectoren wordt in de sector industrie elektriciteit echter niet alleen voornamelijk ingezet voor kracht en licht. Het wordt ook gebruikt voor de productie van warmte in bijvoorbeeld elektrische (smelt)ovens, en als reactant in elektrochemische processen zoals het Chloor-Alkali proces voor de productie van Chloor en soda. Dit soort uitsplitsingen zijn hier niet gemaakt. De (finale) elektriciteitsvraag zoals die tot nu toe in doorrekeningen van het energiesysteem wordt bepaald is hier beschouwd als een vraag naar kracht en licht.

Bij de doorrekening van de alternatieve invulling van de warmtevraag in de industrie in deze studie, met name in Scenario 3 en 4, ontstaat wel een extra elektriciteitsvraag specifiek voor warmte (warmtepompen en "Power-to-Heat"). Voor de uiteindelijke energiebalansen is die term samengevoegd met de ontwikkeling van de conventionele elektriciteitsvraag zoals weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 19: Elektriciteitsverbruik voor kracht en licht in de Scenario's 2 t/m 4 in de sector industrie.

Scenario	Parameter	Eenheid	2013	2020	2025	2030	2035
2,3 en 4	Elektriciteitsverbruik	PJ	125,9	128,5	133,1	133,6	134,2

Bijlage B. Ontwikkeling en invulling van de warmtevraag

Deze bijlage gaat nader in op ontwikkeling van de finale warmtevraag in de eindverbruikssectoren en de invulling daarvan naar technologie. De onderverdeling naar technologie wordt toegelicht voor de Scenario 2 t/m 4. Omdat op een laat moment in de studie is gekozen voor wijziging van het referentiescenario (Scenario 1) ontbreekt de onderverdeling naar technologie voor dit scenario. De onderverdeling wordt alleen in grote lijn geschetst.

B.1. Huishoudens

Ontwikkeling van de finale warmtevraag

Tabel 20 geeft een overzicht van aannames voor de bepaling van de ontwikkeling van de finale warmtevraag in Scenario 3 en 4. De finale warmtevraag in Scenario 3 gelijk aan die in Scenario 2 dat voor de sector Huishoudens identiek is aan het NEV2015015 scenario. De finale warmtevraag in Scenario 4 daalt wel als gevolg van “Nul op de Meter” renovatie van 1,45 miljoen “bestaande bouw” woningen in de periode vanaf 2020 tot en met-2035.

Tabel 20: Aannames voor bepaling van de ontwikkeling van de finale warmtevraag in Scenario 3 en 4.

Energiefunctie	Scenario 3	Scenario 4
Koken en warm water	Vraag naar warmte voor koken en warm watervraag zoals in NEV2015.	Vraag naar warmte voor koken en warm watervraag zoals in NEV2015.
Ruimteverwarming bestaande bouw (woningen t/m 2020)	Uitgangspunt is gemiddeld isolatietabel B in 2035. Dit wordt ook gehaald in NEV2015. Extra ingrepen à la “Nul op de Meter” renovaties worden niet op grote schaal doorgevoerd. Er is geen extra reductie van de finale warmtevraag t.o.v. NEV2015.	- Het netwerk “Stroomversnelling” zet door. Bovenop 110.000 “Nul op de Meter” (NoM) renovaties, volgen er 90.000 NoM renovaties per jaar in de periode vanaf 2020 t/m 2035 - Geen NoM voor woningen gebouwd in de periode 1995–2020. Dat is te duur. - Uitgangspunt voor alle overige woningen is een gemiddeld isolatietabel B. Dit wordt echter ook in NEV2015 gehaald, en leidt niet tot extra reductie van de warmtevraag.
Ruimteverwarming Nieuwbouw (woningen na 2020)	Er zijn reeds strenge isolatie-eisen voor nieuwbouw in NEV2015. De finale warmtevraag in de nieuwbouw is gelijk aan die in NEV2015.	Er zijn reeds strenge isolatie-eisen voor nieuwbouw in NEV2015. De finale warmtevraag in de nieuwbouw is gelijk aan die in NEV2015.

Technologiemix voor invulling van de warmtevraag

De technologiemix voor invulling van de warmtevraag uit de NEV2015 is leidend. Dit is de mix die geldt voor Scenario 2. Deze is geschetst in **Tabel 22**. Voor Scenario 3 en 4 is een gewijzigde ontwikkeling van de technologiemix verondersteld. De uitgangspunten hiervoor staan beschreven in **Tabel 21**. Het effect hiervan op de technologiemix voor invulling van de warmtevraag in woningen is weergegeven in **Tabel 23** en **Tabel 24** voor respectievelijk Scenario 3 en Scenario 4.

Tabel 21: Uitgangspunten voor ontwikkeling van de technologiemix voor invulling van de vraag naar ruimteverwarming in huishoudens in Scenario 3 en 4.

Woning- bestand	Scenario 3	Scenario 4
t/m 2020	- Het aandeel met een aansluiting op het warmtenet verdubbelt in 2035 t.o.v. het aandeel in 2030 zoals in de NEV2015 (5,3% in 2030 → 10,6% in 2035) - Jaarlijks wordt in de periode 2021-2035 gemiddeld 50% van de ketels die worden vernieuwd vervangen door een hybride warmtepomp (HWP) ¹. De warmtevraag wordt met een HWP voor 80% elektrisch ingevuld, en 20% met gas. 60% van de systemen haalt warmte voor de WP uit de lucht (COP van 3); 40% uit de bodem (COP van 5).	- Het aandeel met aansluiting op het warmtenet zoals in Scenario 3. - Alle NoM renovaties in de periode 2021-2035 van woningen van voor 1995 (gemiddeld 90.000 per jaar) krijgen een elektrische warmtepomp (EWP). Dit betekent dat gemiddeld 31% van de ketels die jaarlijks worden vernieuwd, worden vervangen door een EWP. 60% van de systemen haalt warmte uit de lucht (COP van 4) en 40% uit de bodem (COP van 5). - Er is geen ingroei van HWP's. Alle resterende ketels die jaarlijks worden vernieuwd, worden vervangen door een nieuwe ketel.
Na 2020	- Het aandeel met een aansluiting op het warmtenet is als in de NEV2015 (21%) - Geen gasaansluitingen meer. De overige woningen krijgen een EWP.	- Voor woningen na 2020 is Scenario 4 gelijk aan Scenario 3.

Tabel 22: Technologiemix voor verwarming van huishoudens in Scenario 2.

Woning- bestand	Technologie voor ruimteverwarming	2015	2020	2025	2030	2035
Voor 1995	Ketel	97%	95%	95%	95%	95%
	HWP	0%	0%	0%	0%	0%
	EWP	0%	1%	2%	2%	2%
	Warmtenet	3%	3%	3%	3%	3%
1995-2020	Ketel	80%	76%	76%	76%	76%
	HWP	0%	0%	0%	0%	0%
	EWP	7%	11%	11%	11%	11%
	Warmtenet	12%	13%	13%	13%	13%
Na 2020	Ketel	-	-	46%	51%	51%
	HWP	-	-	0%	0%	0%
	EWP	-	-	33%	28%	27%
	Warmtenet	-	-	21%	21%	22%

¹ Voor de berekeningen is uitgegaan van vernieuwing van gemiddeld 293 duizend ketels per jaar in woningen gebouwd voor 1995 en van 67 duizend ketels per jaar in woningen gebouwd in de periode 1995-2020.

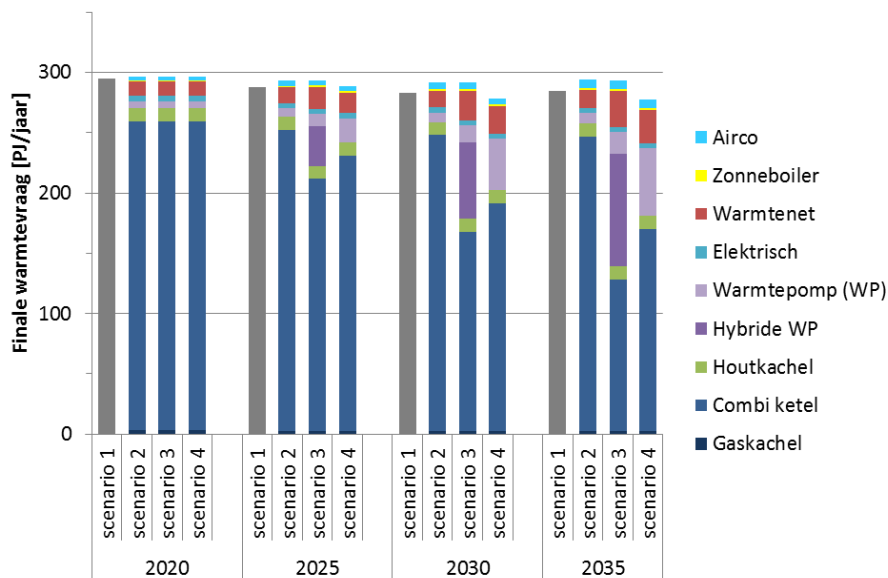
Tabel 23: Technologiemix voor verwarming van huishoudens in Scenario 3

Woning- bestand	Technologie voor ruimteverwarming	2015	2020	2025	2030	2035
Voor 1995	Ketel	97%	95%	80%	65%	49%
	HWP	0%	0%	13%	26%	39%
	EWP	0%	1%	1%	1%	1%
	Warmtenet	3%	3%	6%	8%	11%
1995-2020	Ketel	80%	76%	66%	56%	46%
	HWP	0%	0%	10%	20%	30%
	EWP	7%	11%	11%	11%	11%
	Warmtenet	12%	13%	13%	13%	13%
Na 2020	Ketel	-	-	0%	0%	0%
	HWP	-	-	0%	0%	0%
	EWP	-	-	79%	79%	79%
	Warmtenet	-	-	21%	21%	21%

Tabel 24: Technologiemix voor verwarming van huishoudens in Scenario 4

Woning- bestand	Technologie voor ruimteverwarming	2015	2020	2025	2030	2035
Voor 1995	Ketel	97%	95%	87%	73%	64%
	HWP	0%	0%	0%	0%	0%
	EWP	0%	1%	7%	19%	25%
	Warmtenet	3%	3%	6%	8%	11%
1995-2020	Ketel	80%	76%	76%	76%	76%
	HWP	0%	0%	0%	0%	0%
	EWP	7%	11%	11%	11%	11%
	Warmtenet	12%	13%	13%	13%	13%
Na 2020	Ketel	-	-	0%	0%	0%
	HWP	-	-	0%	0%	0%
	EWP	-	-	79%	79%	79%
	Warmtenet	-	-	21%	21%	21%

De invulling van de finale warmtevraag inclusief koelvraag is weergegeven in **Figuur 20**. Hierin is de verschuiving naar hybride warmtepompen (HWP) in Scenario 3 duidelijk zichtbaar en de grote toename van elektrische warmtepompen (EWP) in Scenario 4. Voor het referentiescenario ontbreekt de onderverdeling, maar deze lijkt sterk op die van Scenario 2.



Figuur 20: Finale warmtevraag in huishoudens inclusief koelvraag, met invulling van de warmtevraag naar technologie

B.2. Handel, Diensten en Overheid (HDO)

Ontwikkeling van de finale warmtevraag

Voor Scenario 2 gelden de cijfers van de NEV2015. De sector HDO is onderverdeeld in bestaande bouw en nieuwbouw. In de bestaande bouw is er in de NEV2015 als gevolg van handhaving van de Wet Milieubeheer een reductie van de warmtevraag van 0,5 procent per jaar in de periode 2020-2030. Scherpere energieprestatie-eisen voor nieuwe gebouwen leiden in dezelfde periode tot een jaarlijkse reductie van de warmtevraag met 1,8 procent voor het deel nieuwbouw. In beide gevallen vindt verwarming voornamelijk plaats met behulp van (aard)gas. **Tabel 25** vat de aannames in Scenario 3 en 4 voor reductie van de warmtevraag in sector Diensten nog eens samen.

Tabel 25: Uitgangspunten voor ontwikkeling van de finale warmtevraag in HDO

Gebouwbestand	Scenario 3	Scenario 4
Bestaande bouw (t/m 2020)	De reductie van de finale warmtevraag van grote en kleine gebouwen neemt toe met 0,5% per jaar tot 1,0% per jaar in de periode 2015-2035.	Gelijk aan Scenario 3.
Nieuwbouw (na 2020)	De bouw vindt plaats volgens de eisen van Bijna Energie Neutrale Gebouwen (BENG) zoals in NEV2015	Gelijk aan Scenario 3.

Ontwikkeling van de koelvraag in HDO

De totale koelvraag in het gebouwenbestand is constant verondersteld in alle scenario's, ondanks de veronderstelde gemiddelde verbetering van de kwaliteit van de bestaande bouw in de Scenario's 3 en 4 ten opzichte van Scenario 2.

De invulling van de koelvraag verandert wel. In Scenario 2 vindt koeling voornamelijk plaats met airco-systemen. In Scenario's 3 en 4 schakelen gebouwen grootschalig over naar verwarming en koeling met behulp van warmte-koude-opslag (WKO) systemen. Dit verdringt koeling door airco's uiteindelijk volledig en creëert in de gesimuleerde scenario's zelfs een overschot aan aanbod van koeling in de zichtjaren 2030 en 2035.

Technologiemix voor invulling van de warmtevraag

De sector HDO omvat een grote diversiteit aan gebouwen. Voor de aannames met betrekking tot de technologiemix voor de warmtevoorziening is naast het onderscheid bestaande bouw en nieuwbouw ook onderscheid gemaakt tussen kleine gebouwen en grote gebouwen. De eerste categorie omvat gebouwen met een vloeroppervlak van 500 m² of minder. Grote gebouwen zijn gebouwen met een vloeroppervlak van meer dan 500 m².

Tabel 26: Uitgangspunten voor ontwikkeling van de technologiemix voor invulling van de vraag naar ruimteverwarming in de sector HDO in Scenario 3 en 4.

Gebouwbestand	Scenario 3	Scenario 4
Bestaande bouw klein (tot 2020; ≤ 500 m ²)	- Het aandeel aansluitingen op een warmtenet verdubbelt in 2035 t.o.v. 2015 van 7,2% naar 14,4% - Het aandeel EWP is gelijk aan dat in NEV2015. - Het aandeel HWP in 2035 is gelijk aan het aandeel voor huishoudens in Scenario 3 als gevolg van vervanging van ketels. - Het resterende aandeel is ketels	- Het aandeel aansluitingen op een warmtenet verdubbelt in 2035 t.o.v. 2015 van 7,2% naar 14,4% - Het aandeel EWP is gelijk aan dat in Scenario 4 voor huishoudens a.g.v. vervanging van ketels. - Er is geen ingroei van de HWP. - Het resterende aandeel is ketels
Bestaande bouw groot (tot 2020; > 500 m ²)	- Het aandeel warmtenetten en WKK blijft zoals in de NEV2015. - Naast warmtenetten en WKK zijn er in 2035 alleen nog WKO-systemen die lineair ingroeien vanaf 2015. - In de zichtjaren tot 2035 vormen ketels het resterende deel.	- Het aandeel warmtenetten blijft zoals in de NEV2015. - Het aandeel WKK en ketels bouwt lineair af en gaat naar "0" in 2035. - De rest zijn WKO-systemen.
Nieuwbouw klein (vanaf 2020; ≤ 500 m ²)	- Het aandeel met externe warmtelevering (warmtenetten) is gelijk aan de NEV2015 en loopt op van 8% in 2020 tot 18% in 2030, en blijft dan constant. - Het resterende aandeel is uitgerust met een EWP.	Gelijk aan Scenario 3
Nieuwbouw groot (vanaf 2020; > 500 m ²)	- Het aandeel met externe warmtelevering (warmtenetten) is gelijk aan de NEV2015 en loopt op van 8% in 2020 tot 18% in 2030, en blijft dan constant. - Het resterende aandeel is uitgerust met een WKO-systeem.	Gelijk aan Scenario 3.

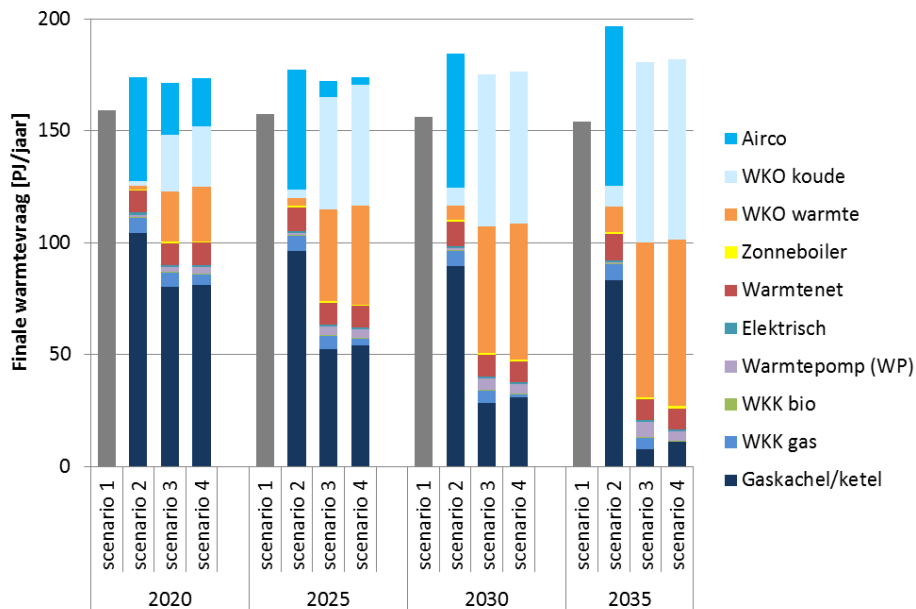
Tabel 27: Technologiemix voor verwarming van HDO-gebouwen in Scenario 3

Gebouw- bestand	Technologie voor ruimteverwarming	2015	2020	2025	2030	2035
Bestaand; klein	Ketel	81%	72%	61%	51%	41%
	HWP	0%	10%	20%	29%	39%
	EWP	11%	10%	8%	7%	6%
	Warmtenet	7%	9%	11%	13%	14%
Bestaand; groot	Ketel	85%	64%	43%	21%	0%
	WKK	6%	6%	6%	7%	7%
	WKO	1%	22%	43%	64%	85%
	Warmtenet	7%	8%	8%	8%	8%
Nieuw; klein	Ketel	-	0%	0%	0%	0%
	HWP	-	0%	0%	0%	0%
	EWP	-	92%	84%	82%	82%
	Warmtenet	-	8%	16%	18%	18%
Nieuw; groot	Ketel	-	0%	0%	0%	0%
	HWP	-	0%	0%	0%	0%
	WKO	-	92%	84%	82%	82%
	Warmtenet	-	8%	16%	18%	18%

Tabel 28: Technologiemix voor verwarming van HDO-gebouwen in Scenario 4

Gebouw- bestand	Technologie voor ruimteverwarming	2015	2020	2025	2030	2035
Bestaand; klein	Ketel	81%	76%	71%	66%	61%
	HWP	0%	0%	0%	0%	0%
	EWP	11%	14%	18%	21%	25%
	Warmtenet	7%	9%	11%	13%	14%
Bestaand; groot	Ketel	85%	64%	43%	21%	0%
	WKK	6%	5%	3%	2%	0%
	WKO	1%	24%	47%	69%	92%
	Warmtenet	7%	8%	8%	8%	8%
Nieuw; klein	Ketel	-	0%	0%	0%	0%
	HWP	-	0%	0%	0%	0%
	EWP	-	92%	84%	82%	82%
	Warmtenet	-	8%	16%	18%	18%
Nieuw; groot	Ketel	-	0%	0%	0%	0%
	HWP	-	0%	0%	0%	0%
	WKO	-	92%	84%	82%	82%
	Warmtenet	-	8%	16%	18%	18%

De invulling van de finale warmtevraag inclusief koelvraag is weergegeven in **Figuur 21**. De figuur illustreert duidelijk de grote verschuiving van invulling van de warmtevraag door gasketels naar invulling door WKO-systemen. Met deze systemen kunnen dan ook de airco's worden vervangen voor invulling van de koelvraag. Het verschil tussen het referentiescenario en Scenario 2 is vooral het gevolg van verschillen in de cijfers voor de koelvraag. In NEV2016 zijn die naar beneden bijgesteld ten opzichte van NEV2015. Door extrapolatie van de trend in NEV2015 cijfers naar 2035 is het effect voor dat zichtjaar nog extra vergroot. De warmtevraag in het referentiescenario ligt slechts iets onder dat van Scenario 2, en ook de onderverdeling naar technologie voor invulling van de warmtevraag is in grote lijnen vergelijkbaar.



Figuur 21: Finale warmtevraag in de sector HDO, inclusief koelvraag, met invulling van de warmtevraag naar technologie

B.3. Land- en Tuinbouw

Ontwikkeling van de finale warmtevraag

In Scenario 2 neemt, conform de NEV2015, de finale warmtevraag af met 1,7 procent per jaar in de periode 2013-2020. In de periode 2020-2030 bedraagt de reductie 1,2 procent per jaar, en dit is geëxtrapoleerd naar 2035 voor deze studie. Deze reductie van de warmtevraag is het gevolg van een krimp van het areaal en besparingen, voornamelijk als gevolg van programma's als "Het Nieuwe Telen" en de "Kas als Energiebron".

Tabel 29 geeft een overzicht van de aannames voor de ontwikkeling van de finale warmtevraag in Scenario 3 en 4. De warmtevraag wordt gedomineerd door de tuinbouw. Samen met de veeteelt en overige landbouw vormt dit de sector Land- en Tuinbouw. Voor de aannames en berekeningen is verder geen onderscheid gemaakt tussen deze segmenten. De aannames zijn op de hele sector toegepast.

Tabel 29: Uitgangspunten voor ontwikkeling van de finale warmtevraag in de Land- en Tuinbouwsector.

Sector	Scenario 3	Scenario 4
Land- en Tuinbouw	Door intensivering van besparingsprogramma's wordt extra besparing gerealiseerd. De afname van de finale warmtevraag bedraagt 2,5% i.p.v. 1,2% per jaar over de gehele periode van 2013 tot en met 2035	Gelijk aan Scenario 3.

Technologiemix voor invulling van de warmtevraag

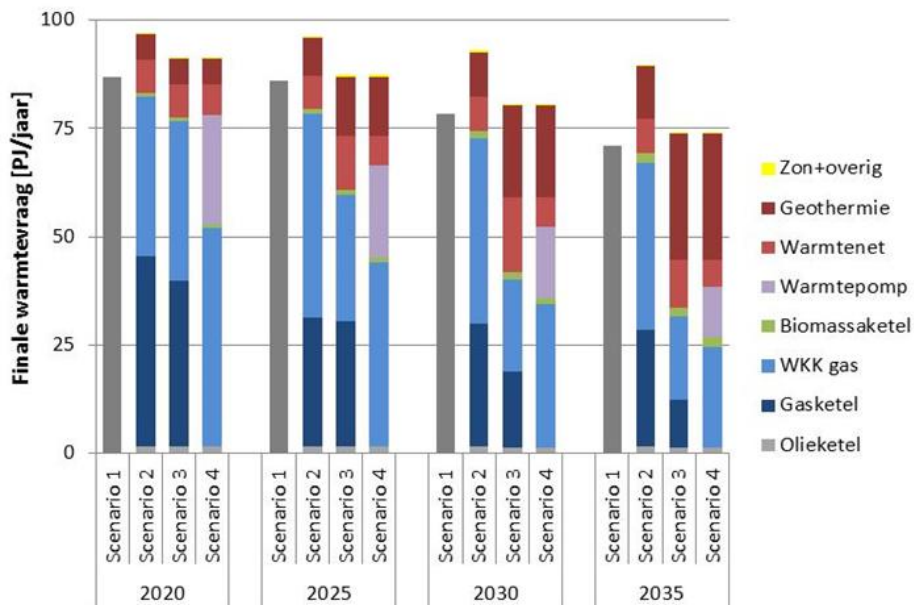
In 2014 heeft ruim 2/3 van de glastuinbouw een WKK. Dit aandeel blijft in de NEV2015 op peil, hoewel het aandeel in de invulling van de warmtevraag enigszins varieert. De inzet wordt gedreven door het verschil in gas- en elektriciteitsprijs. In 2014 bedraagt dit aandeel ruim 52 procent. In 2030 is het volgens de NEV2015 bijna 46 procent. Extrapolatie van de trend in de cijfers leidt tot 43 procent in 2035 voor Scenario 2. Gasketels voorzien voor circa 40 procent in de warmtevoorziening tot en met 2020. Daarna daalt het aandeel voor de overige zichtjaren naar circa 30 procent. Warmtelevering is in de periode 2020-2035 vrijwel constant op 8%. Geothermie neemt toe van circa 1 procent in 2014 naar 6 procent in 2020, gevolgd door een verdere stijging van het aandeel tot bijna 14 procent in 2035. Inzet van biomassa en LPG in ketels en zon-thermisch leveren kleine bijdragen in de orde van 1 à 2 procent

Voor Scenario 3 en 4 is een gewijzigde ontwikkeling van de technologiemix voor invulling van de warmtevraag verondersteld. De uitgangspunten hiervoor zijn weergegeven in **Tabel 30**. De uitwerking van deze uitgangspunten, samen met de ontwikkeling van de finale warmtevraag worden getoond in **Figuur 22**.

Tabel 30: Uitgangspunten voor ontwikkeling van de technologiemix voor invulling van de finale warmtevraag in de sector Land- en Tuinbouw.

Sector	Scenario 3	Scenario 4
Land- en Tuinbouw	- In 2030 wordt geothermie op een ruim een kwart van het areaal aan glastuinbouw toegepast: aanname op 2500 ha van totaal 9500 ha. - In 2030 levert WKK nog maat de helft van de warmte zoals in NEV2015 - Huidige kleine bijdragen aan zon, biomassa en LPF schalen met de afname van de warmtevraag - De resterende vraag wordt 50/50 ingevuld met aardgasketels en externe warmtelevering waar extra ingroei optreedt na 2020	- De invulling door geothermie en de huidige kleine bijdragen van zon, biomassa en LPG zijn gelijk aan Scenario 3 - Er vindt snelle uitfasering van ketels op aardgas plaats: geen ketels op aardgas meer in 2020 en daarna - De resterende vraag wordt voor 2/3 ingevuld via WKK (vnl. warmte voor de winter) - De overige 1/3 van de resterende vraag wordt ingevuld door EWP's (vnl. warmte in de zomer)

De invulling van de finale warmtevraag inclusief koelvraag is weergegeven in **Figuur 22**. De figuur illustreert duidelijk de grote verschuiving van invulling van de warmtevraag door gasketels en WKK naar invulling met behulp van geothermie. De lagere warmtevraag in het referentiescenario (NEV2016) is met name een gevolg van een bijstelling van het areaal aan kassen. De onderlinge verhouding van technologieën voor invulling van de warmtevraag is in grote lijnen vergelijkbaar met Scenario 2, hoewel de daling van de warmtevraag een relatief groot effect heeft op de bijdrage van de gasopties en dan vooral van WKK.



Figuur 22: Finale warmtevraag in de Land- en Tuinbouw, met invulling van de warmtevraag naar technologie

B.4. Industrie

Ontwikkeling van de finale warmtevraag

Volgens de NEV2015 vindt er in de industrie een afname plaats van de finale warmtevraag per eenheid product. Die bedraagt industrie-breed 0,8 procent per jaar in de periode 2013-2020 en 1,1 procent per jaar in de periode 2021-2030. Voor Scenario 2 is deze waarde is ook gehanteerd voor extrapolatie van de cijfers van 2030 naar 2035. Ondanks deze reductie blijft als gevolg van volumegroei per saldo de totale warmtevraag vrijwel constant op circa 385 PJ. Het overgrote deel hiervan komt voor rekening van de industrie die onder het “Emission Trading System” (ETS) valt, te weten circa 335 PJ.

Voor Scenario 3 en 4 is aangenomen dat er mede door sneller stijgende CO₂-prijzen er een nog grotere aandacht is voor optimalisatie van processen. Hierdoor vindt er extra plaats. Zowel voor de industrie die valt onder het ETS (industrie-ETS) als de industrie die daar niet onder valt (industrie-nETS) is de aanname dat de gemiddelde besparing omhoog gaat naar 1,5 procent per jaar over de volledige periode van 2013-2035. Het effect hiervan is zichtbaar in **Figuur 23** en **Figuur 24** voor respectievelijk industrie-ETS en industrie-nETS. De finale warmtevraag voor de industrie-ETS daalt naar 309 PJ in 2035. De warmtevraag voor de industrie-nETS bedraagt dan 45 PJ. Per saldo neemt de finale warmtevraag in de industrie af van circa 385 PJ naar 354 PJ.

Ontwikkeling van de technologiemix voor invulling van de warmtevraag

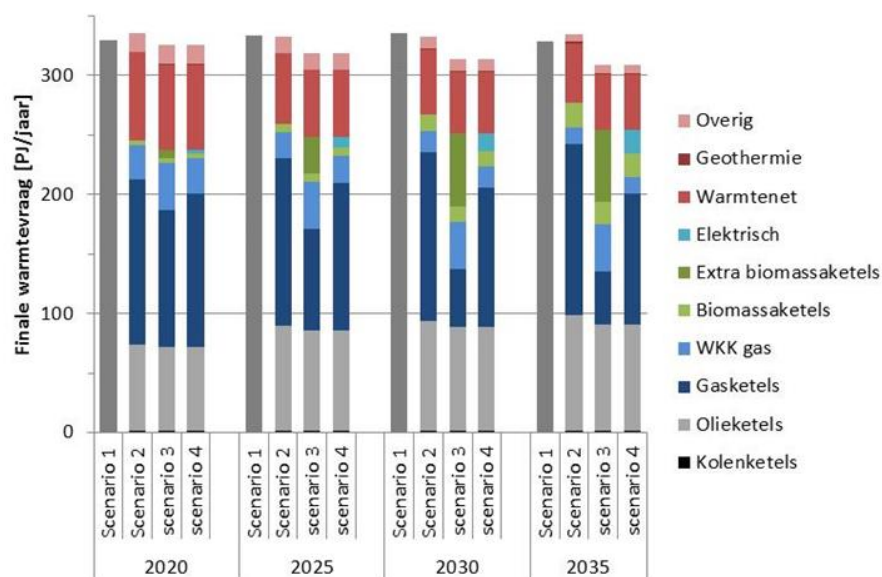
De technologiemix voor invulling van de warmtevraag in Scenario 2 is gelijk aan die van de NEV2015. Aardgas ingezet in ketels en WKK is daarin dominant. Wel is er een

duidelijk afname van inzet van WKK met name in de industrie-nETS. Voor Scenario 3 en 4 is een gewijzigde ontwikkeling van de technologiemijs verondersteld. Hierbij vindt er in Scenario 3 vooral een substitutie plaats van aardgas door biomassa voor de productie van hoge temperatuurproceswarmte in de chemie en de metaal. In Scenario 4 is er vooral ingroei van elektrische opties ter vervanging van aardgas. Het betreft zowel weerstandsverwarming als elektrische warmtepompen. De specifieke uitgangspunten en aannames voor de technologiemijs in de industrie-ETS en industrie-nETS zijn samengevat in **Tabel 31**.

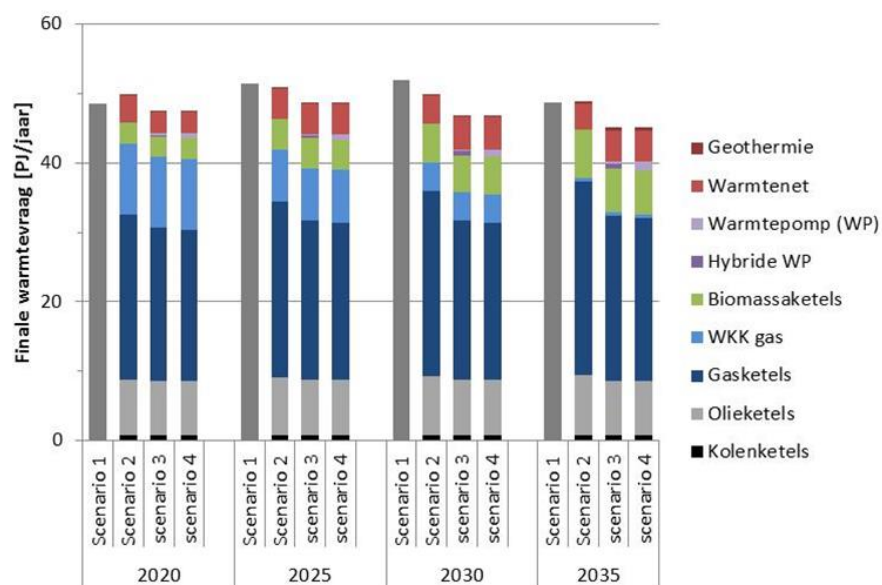
Tabel 31: Uitgangspunten voor ontwikkeling van de technologiemijs voor invulling van de warmtevraag in de industrie in Scenario 3 en 4.

Industrie	Scenario 3	Scenario 4
niet-ETS	- “Kleinschalige” WKK in industrie-nETS neemt af zoals in NEV2015. - Bijdragen van olie, kolen, biomassa en geleverde warmte variëren naar rato met de finale vraag naar warmte. - Voor vraag naar warmte onder 100 °C is er ingroei van hybride en elektrische warmtepompen. De aandelen in invulling van de warmtevraag van HWP en EWP zijn gelijk aan de aandelen in Scenario 3 voor de totale Dienstensector. - Aardgasketels leveren de warmte voor de resterende warmtevraag	- Invulling van de warmtevraag is gelijk aan Scenario 3, met dit verschil dat voor warmte onder de 100 °C er alleen ingroei is van EWPs. De aandelen hiervan in de verschillende zichtjaren zijn gelijk aan de aandelen in Scenario 4 voor de totale sector HDO
ETS	- De productie van warmte door WKK blijft op het niveau van 2013 zoals gehanteerd in de NEV2015 - Significante bijdragen van kolen, olie en geleverde warmte variëren naar rato met de finale warmtevraag. - Dit geldt ook voor biomassa, maar daar bovenop vindt in de chemie en de metaal vanaf 2020 vervanging plaats van aardgas door biomassa voor productie van hoge temperatuur warmte. Dit betreft respectievelijk 26% en 10% van de finale warmtevraag in de betreffende industrietakken. - Kleine posten als geothermie en overig blijven zoals in de NVE2015	- Afbouw van WKK zoals in NEV2015 en dus net als in Scenario 2. - In de industrietakken papier, voeding, metaal en bouwmaterialen wordt 5% van de warmtevraag in 2020 ingevuld via “Power-to-Heat”. Deze weerstandsverwarming groeit met 2% per jaar tot 35% in 2035. Het vervangt voornamelijk de inzet van aardgas. - Significante bijdragen van kolen, olie, biomassa en geleverde warmte variëren naar rato met de finale warmtevraag. - Kleine posten als geothermie en overig blijven zoals in de NVE2015 - Aardgasketels leveren de warmte voor de resterende warmtevraag.

De uitwerking van de aannames voor ontwikkeling van de technologiemijs voor invulling van de finale warmtevraag is samengevat in **Figuur 23** en **Figuur 24** voor respectievelijk industrie-ETS en industrie-nETS. Ondanks de diverse verschillen in aannames voor ontwikkeling van de technologiemijs ten opzichte van de NEV2015, zijn de uiteindelijke verschillen zoals getoond in de figuren beperkt, behalve de grote extra inzet van biomassa in Scenario 3 voor industrie-ETS. “Power-to-Heat” vormt een significant aandeel in Scenario 4 voor industrie-ETS, maar blijft nog relatief klein in verhouding tot het totaal.



Figuur 23: Finale warmtevraag in de industrie die valt onder het ETS, met invulling van de warmtevraag naar technologie



Figuur 24: Finale warmtevraag in het niet-ETS deel van de industrie, met invulling van de warmtevraag naar technologie

Bijlage C. Ontwikkeling en invulling van de vraag naar mobiliteit en transport

C.1. Verkeer en Vervoer

Volgens de NEV2015, het onderliggende verbruiksscenario voor de Scenario's 2 t/m 4, was het energieverbruik in 2013 in totaal 513 PJ waarvan 442 PJ door het wegverkeer. Ondanks een verwachte groei van volumes stabiliseert het gebruik van energie tot 2020, vooral door aanscherping van de CO₂-normen voor personen- en bestelauto's. Samen met het voorgenomen beleid in het kader van het Energieakkoord wordt een daling verwacht tot 492 PJ in 2030.

De voornaamste karakteristieken van het energieverbruik van diverse segmenten onder de sector Verkeer en Vervoer zijn samengevat in **Tabel 32**. Op het gebied van Verkeer en Vervoer is Scenario 2 vrijwel gelijk aan NEV2015. Op twee punten wijkt Scenario 2 af. Dit zijn:

- Zwaar vrachtverkeer: in lijn met de ambities van de Nederlandse Brandstofvisie [MIN,2014] is de aanname dat 30 procent van de vrachtwagens in 2035 op LNG rijdt in plaats van diesel. Deze aanname geldt ook voor touringcars die in deze verkenning tot zwaar vrachtverkeer zijn gerekend.
- Scheepvaart: in lijn met de ambities van de Nederlandse Brandstofvisie is de aanname dat 30 procent van de binnenlandse scheepvaart over is op LNG als brandstof in 2035.

Voor Scenario 3 en Scenario 4 is ook voor personenauto's en bestelauto's, en voor OV-bussen verondersteld dat ontwikkelingen rond alternatieve brandstoffen doorzetten. In Scenario 3 is er sprake van een brede mix waarbij er naast batterij-elektrische voertuigen ook ingroei is van CNG en een deel brandstofcel-elektrisch op waterstof. In Scenario 4 ligt de nadruk volledig op batterij-elektrisch rijden. Een overzicht van de aannames is weergegeven in **Tabel 33**.

Tabel 32: Ontwikkeling van het energieverbruik van diverse segmenten in de sector Verkeer in het NEV2015 scenario dat onderliggend is aan de Scenario's 2 t/m 4

Sector	Situatie Scenario 1: Het referentiescenario
Personen- en bestelauto's	- Het energieverbruik van personen- en bestelauto's bedroeg in 2013 respectievelijk 266 PJ en 66 PJ. Het gezamenlijk gebruik daalt naar 320 PJ in 2020 en iets minder dan 300 PJ in 2030. Het aandeel elektrische personen- en bestelauto's neemt toe respectievelijk 3,6% en 1,6%. Het aandeel CNG is geschat op 1,8% en 1,5%.
OV-bussen	- In 2013 waren er in totaal ca. 10.000 bussen. Ongeveer de helft daarvan zijn bussen in het openbaar vervoer (OV). In totaal was het energieverbruik van bussen bijna 9 PJ in 2013, Dit neemt iets toe tot ruim 9 PJ in 2020 en blijft daarna constant. Diesel blijft de voornaamste brandstof.
Zwaar vrachtverkeer	- Na 2013 wordt een groei van het vrachtvolume voorzien. Ondanks een daling van het energieverbruik per vervoerde ton stijgt het totale verbruik met 6 PJ tot 104 PJ tussen 2013 en 2020, en verder tot 110 PJ in 2030. Ook hier blijft diesel de voornaamste brandstof.
Railverkeer	- Het energieverbruik bedroeg 7 PJ in 2013, en bedraagt naar schatting 8 PJ in 2030
Scheepvaart	- In 2013 lag het binnenlands energieverbruik op 23 PJ. Door efficiencyverbetering daalt dit en bedraagt in 2030 nog 19 PJ
Luchtvaart	- In 2013 was het binnenlands energieverbruik ca. 1 PJ, en dit blijft zo t/m 2030.

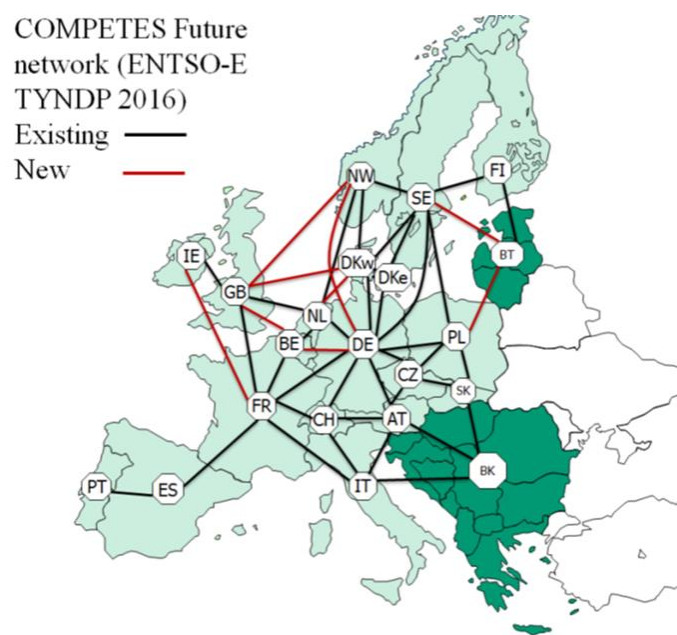
Tabel 33: Uitgangspunten voor ontwikkeling van de technologiemijs voor invulling van de vraag naar mobiliteit en transport in de sector Verkeer.

Sector	Scenario 3	Scenario 4
Personen- en bestelauto's	In 2035: - 10% personenauto's en 25% bestelauto's op CNG - 5% personen- en bestelauto's op waterstof - 25% van de personen- en bestelauto's zijn volledig elektrisch - Verdringing van de overige brandstoffen vindt naar rato plaats	- In 2035 is 50% van de personen- en bestelauto's volledig elektrisch - Verdringing van de overige brandstoffen vindt naar rato plaats
OV-bussen	- 50% van de OV-bussen is volledig elektrisch. Dit zijn alle stadsbussen - 25% van de OV-bussen (streekvervoer) is brandstofcel-elektrisch en rijdt op waterstof - De resterende 25% van de bussen rijdt op CNG	- In 2035 zijn alle OV-bussen, dus 100%, volledig elektrisch
Zwaar vrachtverkeer	- Gelijk aan Scenario 2: 30% van de vrachtwagens en touringcars rijdt op LNG. De rest rijdt op diesel.	- Gelijk aan Scenario 2 en 3
Railverkeer	- Gelijk aan Scenario 1	- Gelijk aan Scenario 1
Scheepvaart	- Gelijk aan Scenario 2: 30% van de binnenlandse scheepvaart is over op LNG in 2035	- Gelijk aan Scenario 2 en 3
Luchtvaart	- Gelijk aan Scenario 1	- Gelijk aan Scenario 1

Bijlage D. COMPETES

Voor deze studie is de aanbodkant van het elektriciteitssysteem doorgerekend met behulp van het elektriciteitsmarktmodel COMPETES. Deze bijlage bevat een beknopte beschrijving van het model. Een meer uitvoerige beschrijving van het model is elders beschikbaar [ECN,2014b].

Het model omvat 26 EU landen en 7 niet EU landen. De elektriciteitsmarkten in deze landen (of clusters van landen) wordt vertegenwoordigd door knooppunten ("nodes") die onderling zijn verbonden door transmissiecapaciteit. Onderstaande figuur illustreert de geografische reikwijdte van het model en de knooppunten.



Figuur 25: Geografische scope van het elektriciteitsmarktmodel COMPETES

Het model is een zogenaamd economisch dispatch model waarmee optimale inzet van transmissie- en productiecapaciteit voor elektriciteit kan worden bepaald. Het model werkt met kostenoptimalisatie op uurbasis. Hierbij vindt inzet van productiecapaciteit plaats op basis van marginale productiekosten ("merit-order"). Bij het bepalen van welke eenheden kunnen worden ingezet houdt het model echter ook rekening met technische karakteristieken. Er wordt rekening gehouden met de volgende randvoorwaarden of beperkingen:

- Power balance constraint: vraag en aanbod van elektriciteit moeten in balans zijn in elk knooppunt en op elk uur van het jaar;
- Generation capacity constraint: de maximale productie is beperkt door de gedefinieerde beschikbare productiecapaciteit. Als er onvoldoende capaciteit beschikbaar is kent het model geen oplossing en moet er capaciteit worden bij geplaatst. Het model heeft hiervoor een aparte investeringsmodule waarmee

kan worden bepaald waar en welk type vermogen nodig is om tegen de laagste kosten het tekort aan te vullen;

- Cross-border transmission constraints: limitering van de handelscapaciteit tussen knooppunten op basis van gedefinieerde transmissiecapaciteit;
- Ramping up and down constraints: beperking van de maximale toename en afname van de productie per (type) eenheid van uur tot uur;
- Minimum load constraints: minimaal deellast niveau waarop een eenheid of type eenheid nog kan worden bedreven.

Tabel 34 geeft een overzicht van de benodigde invoergegevens voor het model (input) en de resultaten van simulaties met het model (output). Voor Nederland bevat het model individuele eenheden inclusief de karakteristieken daarvan. Voor de overige landen is productiecapaciteit aanwezig op het niveau van technologieën met vergelijkbare karakteristieken. De gegevens hiervoor worden ontleend aan ENTSOE-E scenario's. Zo is Scenario 2 doorgerekend voor een behoudend scenario (TYNDP2016 – Visie 1), en zijn Scenario 3 en 4 doorgerekend met een scenario met veel klimaatbeleid (TYNDP2016 – Visie4) [ENTSOE,2015]

Naast gegevens over beschikbaar vermogen in de diverse landen voor diverse zichtjaren levert ENTSOE-E ook profielen voor verdeling van de elektriciteitsvraag over het jaar op uurbasis. Dit betreft profielen voor de conventionele vraag naar elektriciteit voor kracht en licht (historische profielen). Voor deze studie zijn daarnaast aparte profielen gehanteerd voor verdeling van de elektriciteitsvraag van hybride en elektrische warmtepompen in huishoudens, en voor het opladen van elektrische auto's. TenneT heeft een profiel aangeleverd voor het opladen van elektrische auto's. Voor de warmtepompen zijn profielen gebruikt die bij ECN zijn ontwikkeld. Voor de verdeling is daarnaast uitgegaan van het jaar 1987. Dat was een jaar met koude winters voor Nederlandse begrippen. Doel hiervan is om de extremen in behoefte aan capaciteit mee te kunnen nemen in de verkenning.

Tabel 34: Overzicht van invoergegevens (input) en resultaten (output) voor het COMPETES model

Input/output	Omschrijving type gegevens
Invoergegevens	Opgesteld vermogen per technologie of eenheid per land
	Beschikbaarheid en efficiëntie per technologie of eenheid
	Flexibiliteitskarakteristieken van centrales
	CO ₂ -emissiefactoren per brandstof en technologie
	Brandstofprijzen en CO ₂ -prijzen
	Profielen voor windsnelheid en zoninstraling op uurbasis (voor 2015 in deze studie)
	Electriciteitsvraag op uurbasis (conventioneel profiel gebaseerd historische profielen van ENTSOE-E)
	Beschikbare (grensoverschrijdende) handelscapaciteit
Resultaten van simulaties	Inzet van productie en transmissiecapaciteit per uur
	Groothandelsprijzen van elektriciteit per uur
	Congestie en congestieprijzen per uur, en curtailment van wind en zon
	Productiemix per jaar
	CO ₂ -emissies per eenheid of technologie

Bijlage E. Tijdsprofielen voor vraag en aanbod van elektriciteit

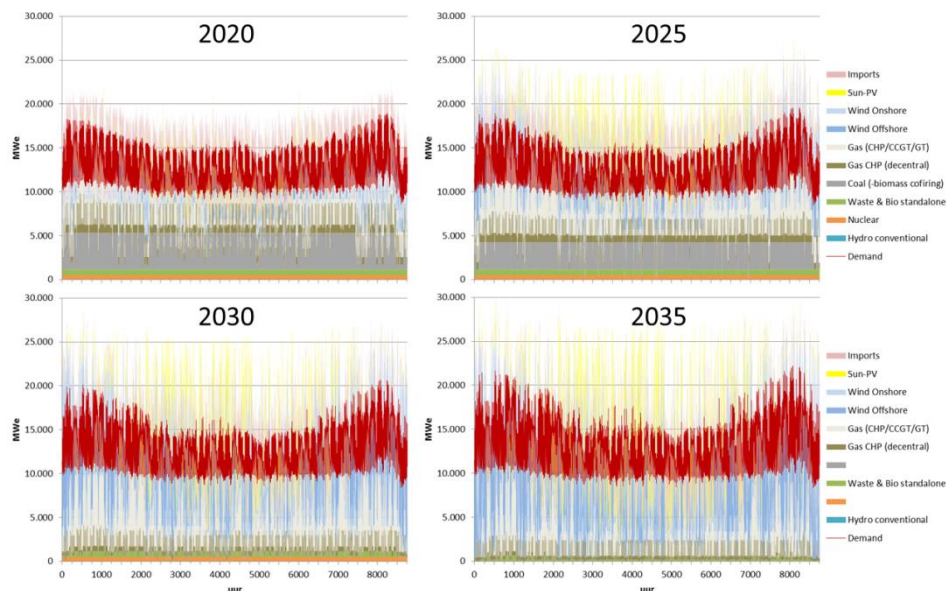
Hoofdstuk 4 van het rapport bevat resultaten op jaarbasis van de COMPETES simulaties die zijn uitgevoerd voor Scenario's 2 t/m 4. Deze bijlage geeft een beeld van de onderliggende resultaten op uurbasis voor Scenario 3 en Scenario 4. Dit zijn de meest interessante scenario's vanwege de aannames voor ingroei van grote hoeveelheden wind op zee en zon-PV.

E.1. Scenario 3: Centrale Klimaatactie

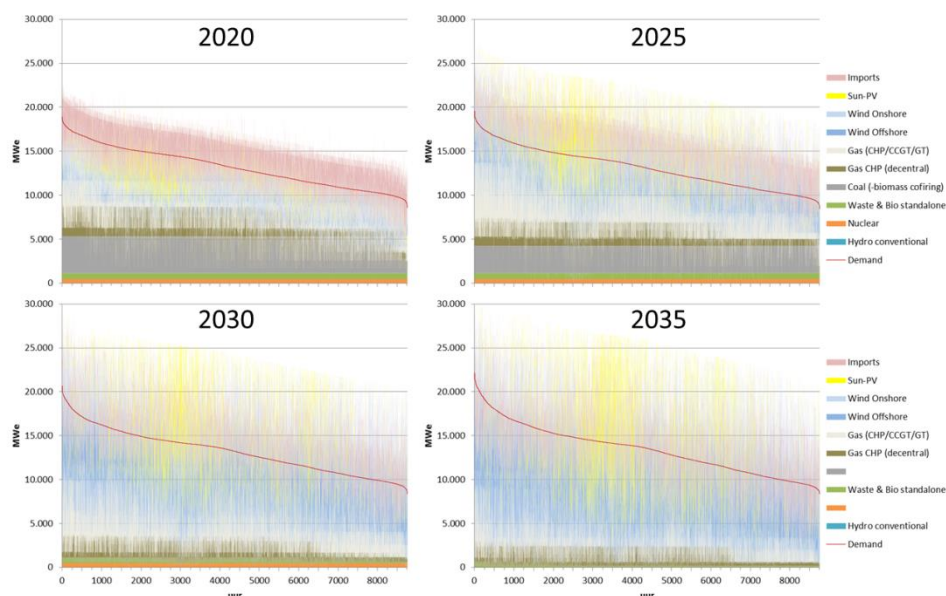
Figuur 26 geeft vraag en productie van elektriciteit weer voor Scenario 3 chronologisch in het jaar van 1 januari t/m 31 december. De elektriciteitsvraag die is weergegeven betreft de binnenlandse vraag, d.w.z. de vraag in de eindverbruikssectoren en het eigenverbruik in de energiesector. De vraag vanuit het buitenland is niet inbegrepen. Deze vraag (Export) bestaat uit daadwerkelijke vraag en export van overschotten aan elektriciteit van met name zon en wind waar geen binnenlandse vraag tegenover staat. Indien de export wel zou zijn meegenomen dan zou de vraag (Demand) aan de bovenkant van de profielen liggen. Alle vraag en aanbod termen zouden dan zijn inbegrepen waarvan het totaal op elk uur aan elkaar gelijk is.

Het aanbod is “gestapeld” weergegeven waarbij import en zon-PV de bovenste lagen zijn. Hierdoor lijkt het alsof het vooral zon-PV is dat leidt tot overschotten aan productie. Dit is echter slechts een gevolg van de manier van weergegeven. Wel toont de figuur dat gaande van 2020 naar 2035 het aantal uren met overschot aan productie uit wind en zon toeneemt. Verder zijn er nog een aantal andere zaken duidelijk waarneembaar:

- Beëindiging van productie met nucleaire energie na 2020 (onderste oranje band)
- Afname van het kolenvermogen van 2020 naar 2025 en uit bedrijf nemen van kolen na 25 (de grijze band in de figuren)
- Toenemende intensiteit van windvermogen, met name Wind op Zee (blauwe kleur in de figuren)
- De toename van de variabiliteit in de vraag naar elektriciteit als gevolg van warmtepompen en elektrische auto's.



Figuur 26: Jaarprofiel voor vraag en aanbod van elektriciteit in Scenario 3 (vraag is exclusief de vraag naar elektriciteit voor export)



Figuur 27: Vraag en aanbod profiel voor elektriciteit in Scenario 3 gerangschikt van hoogste vraag naar laagste vraag naar elektriciteit in het jaar (exclusief de vraag naar elektriciteit voor export)

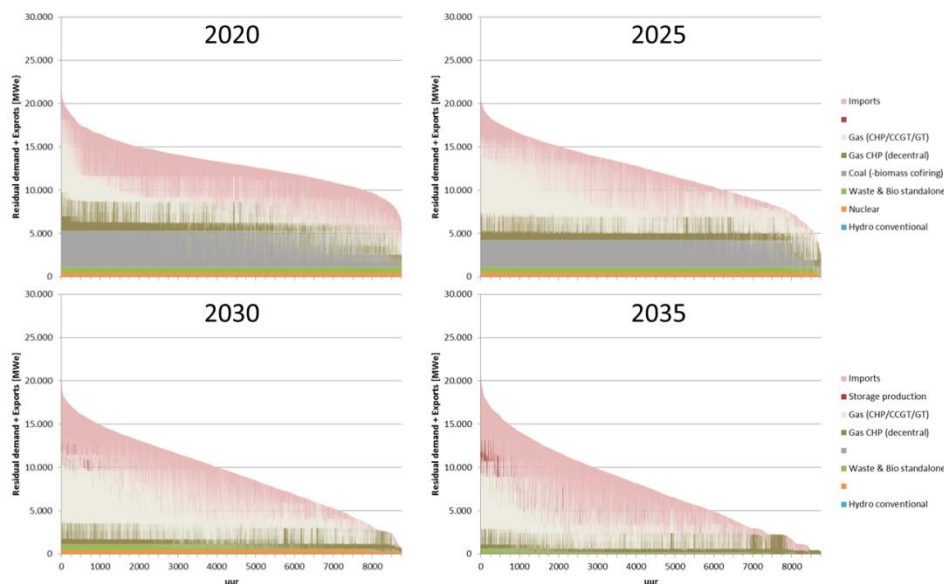
Figuur 27 toont dezelfde gegevens als **Figuur 26** maar dan op een manier waarbij de (binnenlandse) vraag is gerangschikt van hoog naar laag. Duidelijk is dat de piekvraag (het punt waar de vraag de y-as kruist) toeneemt gaande van 2020 naar 2025. Illustratief is verder de concentratie van uren met (veel) zon in de figuren. Er is relatief weinig of geen zon bij uren met hoge vraag, typisch uren in de winter, en uren met lage vraag, typisch uren in de nacht.

Figuur 28 tot slot toont de zogenoemde “residual demand” of residuele vraag, en de invulling daarvan. De residuele vraag is het verschil tussen de binnenlandse elektriciteitsvraag plus de exportvraag, en het aanbod zon-PV en wind. Het levert het deel van de vraag dat niet met elektriciteit uit zon-PV en wind kan worden gedekt en dus moet worden ingevuld met andere aanbodopties.

Uit de figuur komt duidelijk naar voren dat de piekvraag in alle zichtjaren op vrijwel hetzelfde niveau ligt, en niet veel lager ligt dan piekvraag in de binnenlandse vraag zoals getoond in **Figuur 27**. Dit betekent dat ondanks de grote toename van windvermogen en zon-PV deze opties een relatief kleine bijdrage blijven houden aan het leveren van piekvermogen. Daarvoor blijven regelbare opties nodig.

Tegelijkertijd toont de figuur gaande van 2020 naar 2025 dat het oppervlak onder de curve significant afneemt. Dit betekent dat het totaal volume voor regelbaar vermogen wel terugloopt bij toename van de productie uit variabele duurzame bronnen; d.w.z. er zijn minder vollasturen te vergeven voor dit vermogen wat een negatieve impact zal hebben op de rentabiliteit van dit vermogen.

Aardig detail in de resultaten voor 2030 en 2035 is dat er bij uren met hoge vraag in de simulaties een (bescheiden) rol is weggelegd voor productie uit de CAES elektriciteitsopslag die in het scenario is opgenomen. Hierbij moet wel worden aangetekend dat inzet plaatsvindt op basis van marginale kosten. De resultaten betekenen niet dat investering in de optie ook daadwerkelijk rendabel is. Een verdere kanttekening bij alle resultaten is dat ze gelden voor een enkel klimaatjaar qua temperatuur (1987) en zond en wind (2015). De resultaten zullen iets anders zijn indien gegevens voor andere jaren worden gebruikt en jaren met meer extremen. Het beeld in grote lijnen zal er naar verwachting echter niet door wijzigen.



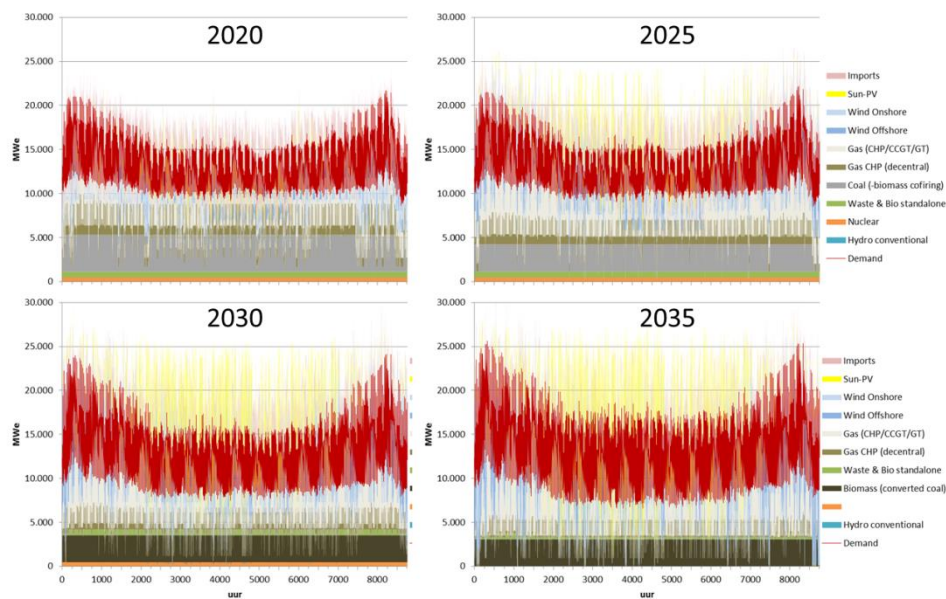
Figuur 28: Inzet van aanbodopties in Scenario 3 voor invulling van de residuele vraag die is gerangschikt van hoogste naar laagste residuele vraag in het jaar

E.2. Scenario 4: Decentrale Klimaatactie

Figuur 29 t/m Figuur 31 toont vergelijkbare resultaten voor Scenario 4 als hiervoor getoond voor Scenario 3. In **Figuur 29** valt de grotere variabiliteit in binnenlandse vraag op. Dit is het gevolg van grotere aandelen elektrische warmtepompen en elektrische auto's. Voor een deel is het echter ook het gevolg van een groot aandeel opslag systemen voor elektriciteit achter de meter (Powerwalls). Deze opslag is gemodelleerd als een toename van de vraag uit huishoudens wanneer de opslag wordt geladen, en als een afname van de vraag wanneer het systeem wordt ontladen. Per saldo leidt dit tot een toename in de totale bandbreedte van de vraag.

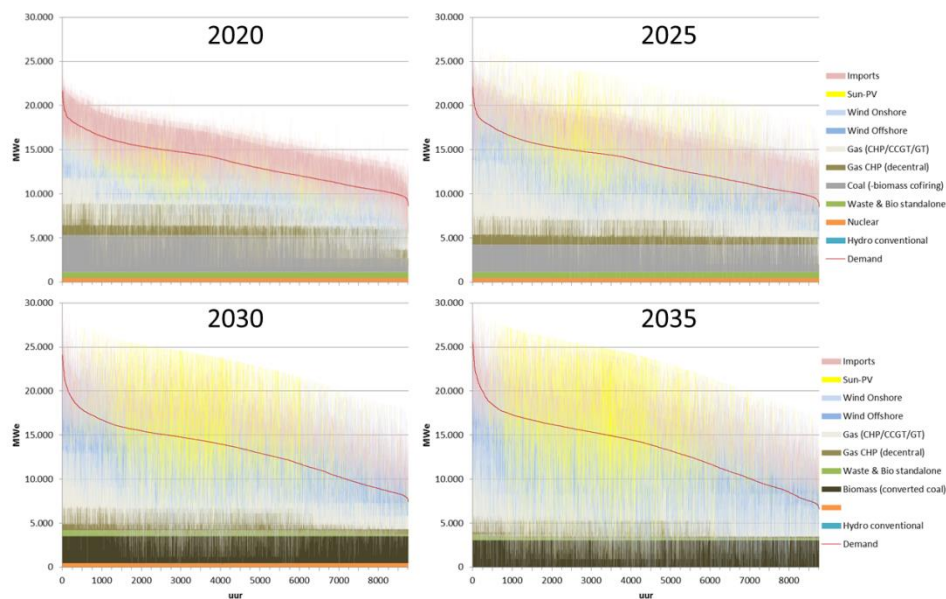
Naast de toenemende en grotere variabiliteit in elektriciteitsvraag zijn nog een aantal andere zaken duidelijk waarneembaar:

- Beëindiging van productie met nucleaire energie na 2020 (onderste oranje band)
- Afname van het kolenvermogen van 2020 naar 2025 (smaller worden van de grijze band in de figuren)
- Ombouw van het kolenvermogen naar biomassa gestookt vermogen van 2025 naar 2030 (grijze band wordt een donkergroene band)
- Toenemende intensiteit van vermogen aan zon-PV (gele kleur) naast een toename van wind.(blauwe kleur in de figuren)



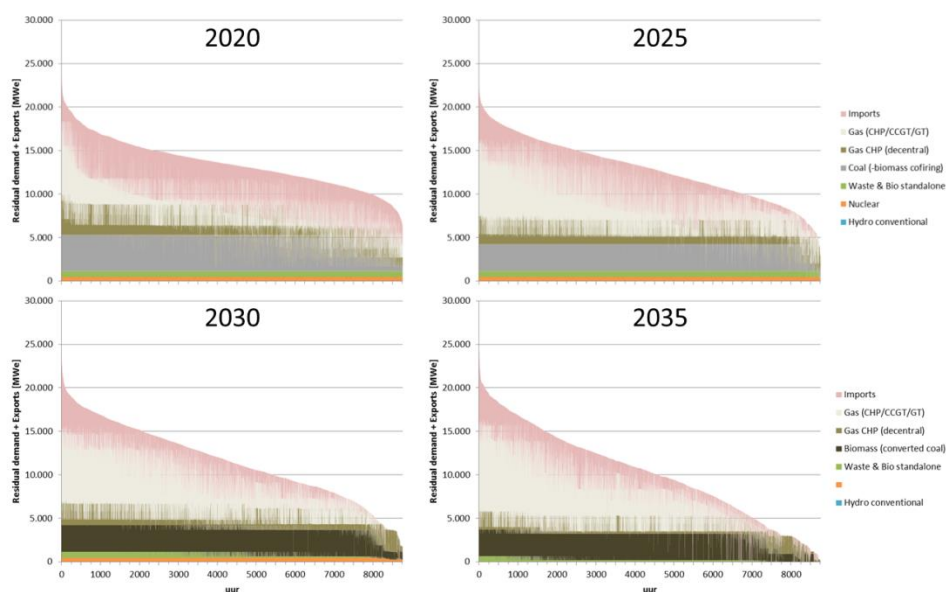
Figuur 29: Jaarprofiel voor vraag en aanbod van elektriciteit in Scenario 4 (vraag is exclusief de vraag naar elektriciteit voor export)

De sterke toename van zon-PV wordt nog duidelijker geïllustreerd in **Figuur 30** waarin dezelfde gegevens zijn gerangschikt van de hoogste vraag naar de laagste vraag naar elektriciteit. Het verloop van de vraag (rode lijn in de figuren) toont ook duidelijk de toename in variabiliteit in de vraag.



Figuur 30: Vraag en aanbod profiel voor elektriciteit in Scenario 4 gerangschikt van hoogste vraag naar laagste vraag naar elektriciteit in het jaar (exclusief de vraag naar elektriciteit voor export)

Figuur 31 toont het verloop en de invulling van de residuele vraag voor Scenario 4. De bevindingen hier zijn in grote lijnen gelijk aan die voor Scenario 3 (**Figuur 28**)



Figuur 31: Inzet van aanbodopties in Scenario 4 voor invulling van de residuele vraag die is gerangschikt van hoogste naar laagste residuele vraag in het jaar

Bijlage F. Energiebalansen

Energiebalansen bestaan uit een vrij uniform formaat en zijn beschikbaar uit verschillende bronnen. Zo geven IEA, Eurostat en CBS elk hun eigen energiebalansen uit. MONIT is de ECN applicatie voor historische en geprojecteerde energiebalansen waarop de cijfers in dit rapport gebaseerd zijn. Ondanks kleine verschillen in allocatie van bepaalde verbruiken (bv WKK) hebben ze dezelfde structuur.

Naast de verschillende energiedragers maken ook de volgende onderdelen deel uit van een energiebalans:

- De eindverbruikerssectoren; hier is onderscheid gemaakt naar industrie (ETS en niet-ETS), gebouwde omgeving (huishoudens en handel, diensten en overheid (HDO), de landbouw, verkeer en water en afval.
- De aanbodsectoren; met hieronder de elektriciteits- en warmteopwekking, de raffinaderijen, de cokesfabrieken en de gas- en oliewinning.
- De primaire bronnen van de energiedragers; met daarin import en export, de brandstoffen bestemd voor de internationale lucht- en scheepvaart en eigen winning
- Voor historische balansen komen daar nog de posten voorraadmutatie en statische verschillen bij.

De energiebalansen hier gepresenteerd laten zich van links naar rechts lezen: uiterst links de eindverbruikers, dan de aanbod sectoren en uiterst rechts de primaire energiebronnen.

De balans is verticaal als volgt opgebouwd:

- Het verbruikssaldo: dit is het eindverbruik minus wat zelf opgewekt wordt uit WKK.
- De WKK balans
- De winning van warmte, elektriciteit en biomassa
- De finaal thermische vraag, het finaal elektriciteitsverbruik en het non-energetisch verbruik
- De externe levering van warmte en elektriciteit
- De CO₂ emissies (ETS en niet-ETS).

Tabel 35: Energiebalans Scenario 1 – Referentiescenario (NEV2016) – 2020

		Industrie	Landbouw	Diensten	Huis- houdens	Verkeer	Water en afval	Totaal eind- verbruikers	Totaal energie- sector	Raffina- derijen	Energie- bedrijven	Cokes- fabrieken	Winnings bedrijven	Import	Export	Bunkers	Winning
Verbruikssaldo [PJ]																	
	Kolen	2,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	2,3	266,8	0,0	190,5	76,3	0,0	449,2	180,0	0,0	0,0
	Olie	607,7	1,4	3,1	1,8	448,6	0,7	1063,4	114,6	114,6	0,0	0,0	0,0	7955,2	6227,2	725,6	175,4
	Aardgas	286,9	99,4	117,9	287,5	1,8	2,7	796,2	243,7	41,1	166,7	0,0	35,9	1068,3	1519,2	0,0	1490,7
	Elektriciteit	114,3	4,9	126,5	78,0	7,8	-4,3	327,2	-157,9	7,5	-174,4	0,3	8,7	153,7	79,1	0,0	94,7
	Warmte	69,8	10,7	16,7	17,9	0,0	-15,2	99,8	-78,3	-0,5	-77,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,5
	Biogas	5,8	8,5	0,0	0,0	0,0	4,9	19,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,2
	Biobrandstoffen					34,5		34,5	0,0								34,5
	Biomassa	18,2	6,9	0,6	18,5	0,0	38,1	82,2	58,2	0,0	58,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	140,4
	Overig	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,3	37,3	12,1	12,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	49,4
	Omgevingwarmte	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Uranium							0,0	42,7		42,7			42,7			
		1104,7	131,7	265,0	403,7	492,8	64,2	2462,1	459,2	174,8	163,1	76,7	44,6	9626,4	8005,5	725,6	2025,8
WKK [PJ]																	
	Inzet	49,5	66,3	4,6	0,0	0,0	77,3	197,7	515,1	33,6	477,3	0,0	4,2				
	Warmteproductie	26,6	29,8	1,2	0,0	0,0	19,4	77,0	92,7	13,7	76,9	0,0	2,1				
	Elektriciteitsproductie	11,1	24,8	1,5	0,0	0,0	12,4	49,9	199,0	3,7	194,0	0,0	1,3				
Winning (hernieuwbaar) [PJ]																	
	Elektriciteit	0,0	2,7	1,1	9,4	0,0	0,0	13,3	81,4	0,0	81,4	0,0	0,0				
	Zon	0,0	0,5	1,1	9,4	0,0	0,0	11,1	1,6	0,0	1,6	0,0	0,0				
	Wind	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	79,4	0,0	79,4	0,0	0,0				
	Water	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	0,0				
	Warmte	0,4	6,3	8,3	7,0	0,0	-0,4	21,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Zon	0,0	0,0	0,5	1,6	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Aardwarmte	0,4	5,9	0,4	0,0	0,0	0,0	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Overig	0,0	0,3	7,4	5,4	0,0	-0,4	12,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Biogas	5,8	8,5	0,0	0,0	34,5	4,9	53,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Biomassa	18,2	6,9	0,6	18,5	0,0	38,1	82,2	58,2	0,0	58,2	0,0	0,0				
Finaal thermische vraag [PJ]		377,8	86,8	119,6	292,1	482,5	9,8	1368,5	125,1	125,1	0,0	0,0	0,0				
Finaal elektriciteitsverbruik [PJ]		125,4	29,8	128,0	78,0	7,8	8,1	377,1	41,0	11,2	19,5	0,3	10,0				
Non-energetisch [PJ]		580,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	582,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	wv gas	88,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	88,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	wv kolen	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
Warmtelevering [PJ]		69,4	4,4	8,4	10,9	0,0	-14,7	78,3	-78,3	-0,5	-77,8	0,0	0,0				
Elektriciteitslevering [PJ]		114,3	2,2	125,4	68,5	7,8	-4,3	313,9	-239,3	7,5	-255,8	0,3	8,7				
CO2-emissies [Mton]																	
ETS	CO2 [Mton]	77,9	26,4	0,4	0,2	0,0	0,0	27,1	50,8	10,7	37,0	1,1	1,9				
nETS	CO2 [Mton]	68,0	3,1	5,3	6,7	16,3	33,1	3,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1				
Totaal	CO2 [Mton]	145,9															
Energetisch		137,0	22,4	5,7	6,9	16,3	32,8	3,3	49,7	10,6	37,0	0,0	2,0				
Niet energetisch	CO2 [Mton]	6,4	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1	1,3	0,1	0,0	1,1	0,0				
Proces	CO2 [Mton]	2,5	2,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1				
Totaal	CO2 [Mton]	145,9	29,5	5,8	6,9	16,3	33,1	3,3	51,0	10,8	37,0	1,1	2,1				

Tabel 36: Energiebalans Scenario 1 – Referentiescenario (NEV2016) – 2025

		Industrie	Landbouw	Diensten	Huis- houdens	Verkeer	Wateren afval	Totaal eind- verbruikers	Totaal energie- sector	Raffina- derijen	Energie- bedrijven	Cokes- fabrieken	Winnings bedrijven	Import	Export	Bunkers	Winning
Verbruikssaldo [PJ]																	
	Kolen	2,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	2,5	304,3	0,0	223,8	80,5	0,0	486,7	180,0	0,0	0,0
	Olie	627,3	1,4	3,1	1,7	440,9	0,8	1075,2	119,0	119,0	0,0	0,0	0,0	8001,6	6227,2	747,9	167,5
	Aardgas	308,3	82,3	101,8	270,1	1,8	1,9	766,1	276,7	37,8	208,4	0,0	30,4	1128,3	1329,3	0,0	1243,9
	Elektriciteit	118,8	13,3	125,5	74,3	10,9	-2,4	340,3	-206,5	6,8	-223,0	0,4	9,3	92,7	130,7	0,0	171,8
	Warmte	57,2	13,7	20,4	21,5	0,0	-12,0	100,6	-69,8	-0,6	-69,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,8
	Biogas	6,4	8,9	0,0	0,0	0,0	5,5	20,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,9
	Biobrandstoffen					34,0		34,0	0,0								34,0
	Biomassa	22,6	8,8	0,7	18,5	0,0	32,8	83,3	62,7	0,0	62,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	146,0
	Overig	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,9	32,9	11,0	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	43,8
	Omgevingswarmte	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Uranium							0,0	42,7		42,7			42,6			
		1142,6	128,4	251,8	386,1	487,5	59,3	2455,7	497,3	174,0	202,8	80,8	39,7	9709,4	7867,2	747,9	1858,6
WKK [PJ]																	
	Inzet	50,5	46,2	1,5	0,0	0,0	67,3	165,4	600,4	38,0	559,2	0,0	3,3				
	Warmteproductie	26,1	21,1	0,3	0,0	0,0	16,7	64,2	83,7	14,7	67,4	0,0	1,7				
	Elektriciteitsproductie	10,6	17,1	0,4	0,0	0,0	11,4	39,6	248,7	4,5	243,3	0,0	1,0				
Winning (hernieuwbaar) [PJ]																	
	Elektriciteit																
		0,0	3,3	4,6	16,2	0,0	0,0	24,1	147,7	0,0	147,7	0,0	0,0				
	Zon	0,0	0,9	4,6	16,2	0,0	0,0	21,7	3,4	0,0	3,4	0,0	0,0				
	Wind	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	143,9	0,0	143,9	0,0	0,0				
	Water	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	0,0				
	Warmte	0,8	9,0	11,8	9,7	0,0	-0,5	30,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Zon	0,0	0,0	0,5	1,6	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Aardwarmte	0,8	8,7	0,7	0,0	0,0	0,0	10,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Overig	0,0	0,3	10,5	8,1	0,0	-0,5	18,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Biogas	6,4	8,9	0,0	0,0	34,0	5,5	54,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Biomassa	22,6	8,8	0,7	18,5	0,0	32,8	83,3	62,7	0,0	62,7	0,0	0,0				
Finaal thermische vraag [PJ]		384,4	86,1	114,7	283,3	474,2	10,3	1353,1	119,5	119,5	0,0	0,0	0,0				
Finaal elektriciteitsverbruik [PJ]		129,4	30,4	126,0	74,3	10,9	9,0	379,9	42,2	11,3	20,3	0,4	10,3				
Non-energetisch [PJ]		600,1	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	602,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	wv gas	91,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	91,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	wv kolen	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
Warmtelevering [PJ]		56,3	4,7	8,6	11,8	0,0	-11,6	69,8	-69,8	-0,6	-69,2	0,0	0,0				
Elektriciteitslevering [PJ]		118,8	9,9	120,9	58,1	10,9	-2,4	316,2	-354,2	6,8	-370,7	0,4	9,3				
CO2-emissies [Mton]																	
ETS	CO2 [Mton]	85,0	26,8	0,4	0,2	0,0	0,0	27,4	57,6	10,9	44,0	1,2	1,7				
nETS	CO2 [Mton]	64,3	3,1	4,5	5,8	15,3	32,5	2,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1				
Totaal	CO2 [Mton]	149,4															
Energetisch	CO2 [Mton]	139,9	22,6	4,8	6,0	15,3	32,3	2,9	56,1	10,4	44,0	0,0	1,7				
Niet energetisch	CO2 [Mton]	7,0	5,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,5	0,0	1,2	0,0				
Proces	CO2 [Mton]	2,5	2,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1				
Totaal	CO2 [Mton]	149,4	29,9	4,9	6,0	15,3	32,5	2,9	57,8	10,9	44,0	1,2	1,8				

Tabel 37: Energiebalans Scenario 1 – Referentiescenario (NEV2016) – 2030

		Industrie	Landbouw	Diensten	Huis- houdens	Verkeer	Wateren afval	Totaal eind- verbruikers	Totaal energie- sector	Raffina- derijen	Energie- bedrijven	Cokes- fabrieken	Winnings bedrijven	Import	Export	Bunkers	Winning
Verbruikssaldo [PJ]																	
	Kolen	2,3	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	2,7	325,3	0,0	241,1	84,2	0,0	507,9	180,0	0,0	0,0
	Olie	645,6	1,3	3,1	1,6	427,5	0,8	1079,9	125,2	125,2	0,0	0,0	0,0	8047,9	6227,2	769,6	153,8
	Aardgas	304,6	71,9	93,5	254,6	1,6	2,8	729,0	237,1	23,7	188,3	0,0	25,2	1099,6	1171,1	0,0	1037,5
	Elektriciteit	121,8	14,3	127,9	73,9	14,7	-1,1	351,4	-186,4	6,6	-202,7	0,4	9,3	73,8	158,6	0,0	249,7
	Warmte	52,8	15,6	23,5	25,6	0,0	-8,4	109,2	-70,0	-0,6	-69,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,2
	Biogas	8,0	7,6	0,0	0,0	0,0	6,0	21,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,6
	Biobrandstoffen					32,9		32,9	0,0								32,9
	Biomassa	24,6	8,0	1,0	18,5	0,0	27,4	79,5	15,5	0,0	15,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	94,9
	Overig	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,5	28,5	9,6	9,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,1
	Omgevingswarmte	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Uranium							0,0	42,5		42,5			42,5			
		1159,8	118,7	249,3	374,1	476,6	56,0	2434,6	456,2	164,5	172,8	84,5	34,4	9729,3	7736,8	769,6	1667,8
WKK [PJ]																	
	Inzet	35,7	42,0	0,4	0,0	0,0	58,0	136,1	552,7	37,9	512,7	0,0	2,0				
	Warmteproductie	20,6	19,3	0,1	0,0	0,0	12,5	52,6	84,3	14,7	68,6	0,0	1,0				
	Elektriciteitsproductie	8,4	15,8	0,1	0,0	0,0	10,7	35,0	228,1	4,4	223,0	0,0	0,6				
Winning (hernieuwbaar) [PJ]																	
	Elektriciteit																
		0,0	4,7	12,7	22,3	0,0	0,0	39,7	210,0	0,0	210,0	0,0	0,0				
	Zon	0,0	2,0	12,7	22,3	0,0	0,0	37,0	7,8	0,0	7,8	0,0	0,0				
	Wind	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	201,8	0,0	201,8	0,0	0,0				
	Water	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	0,0				
	Warmte	1,4	10,7	14,5	13,1	0,0	-0,5	39,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
		0,0	0,0	0,6	2,0	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Zon	1,4	10,4	1,0	0,0	0,0	0,0	12,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Aardwarmte	0,0	0,3	12,9	11,0	0,0	-0,5	23,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Overig	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Biogas	8,0	7,6	0,0	0,0	32,9	6,0	54,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Biomassa	24,6	8,0	1,0	18,5	0,0	27,4	79,5	15,5	0,0	15,5	0,0	0,0				
Finaal thermische vraag [PJ]		386,3	78,4	111,4	278,0	459,6	10,6	1324,3	114,1	114,1	0,0	0,0	0,0				
Finaal elektriciteitsverbruik [PJ]		130,2	30,1	128,0	73,9	14,7	9,5	386,4	41,7	11,0	20,4	0,4	9,9				
Non-energetisch [PJ]		617,8	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	620,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	wv gas	93,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	93,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	wv kolen	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
Warmtelevering [PJ]		51,4	4,9	9,1	12,5	0,0	-7,9	70,0	-70,0	-0,6	-69,4	0,0	0,0				
Elektriciteitslevering [PJ]		121,8	9,6	115,2	51,6	14,7	-1,1	311,7	-396,4	6,6	-412,7	0,4	9,3				
CO2-emissies [Mton]																	
ETS	CO2 [Mton]	85,7	25,9	0,3	0,2	0,0	0,0	26,5	59,2	10,7	45,8	1,2	1,4				
nETS	CO2 [Mton]	61,2	3,1	4,0	5,4	14,4	31,5	2,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1				
Totaal	CO2 [Mton]	146,8															
Energetisch		137,3	21,4	4,3	5,5	14,4	31,3	2,6	57,8	10,6	45,8	0,0	1,4				
Niet energetisch		7,1	5,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,2	0,0	1,2	0,0				
Proces	CO2 [Mton]	2,5	2,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1				
Totaal	CO2 [Mton]	146,8	29,0	4,3	5,5	14,4	31,5	2,6	59,3	10,8	45,9	1,2	1,5				

Tabel 38: Energiebalans Scenario 1 – Referentiescenario (NEV2016) – 2035

		Industrie	Landbouw	Diensten	Huis- houdens	Verkeer	Water en afval	Totaal eind- verbruikers	Totaal energie- sector	Raffina- derijen	Energie- bedrijven	Cokes- fabrieken	Winnings bedrijven	Import	Export	Bunkers	Winning	
Verbruikssaldo [PJ]																		
	Kolen	2,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	2,4	232,7	0,0	149,2	83,5	0,0	418,8	180,0	0,0	0,0	
	Olie	665,4	1,1	3,1	1,5	428,9	0,9	1100,9	118,8	118,8	0,0	0,0	0,0	8086,7	6227,2	791,7	151,7	
	Aardgas	277,6	61,5	83,5	233,8	1,5	6,2	664,0	221,4	27,9	171,3	0,0	22,2	1021,3	949,5	0,0	813,6	
	Elektriciteit	118,5	15,8	133,6	77,1	15,6	-0,5	360,0	-124,8	6,4	-139,4	0,4	7,8	96,0	170,1	0,0	309,4	
	Warmte	48,2	17,6	25,6	33,1	0,0	-8,3	116,1	-65,9	-0,6	-65,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,2	
	Biogas	8,8	4,1	0,0	0,0	0,0	6,7	19,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,5	
	Biobrandstoffen					33,1		33,1	0,0								33,1	
	Biomassa	41,0	9,8	4,1	18,5	0,0	24,7	98,0	14,1	0,0	14,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	112,1	
	Overig	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,3	26,3	8,5	8,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,8	
	Omgevingswarmte	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Uranium							0,0	0,0		0,0			0,0				
		1161,5	109,8	250,2	363,9	479,0	55,9	2420,3	404,6	161,0	129,8	83,8	30,0	9622,8	7526,7	791,7	1524,2	
WKK [PJ]																		
	Inzet	35,4	38,7	0,0	0,0	0,0	54,5	128,5	401,6	37,8	362,2	0,0	1,6					
	Warmteproductie	20,3	18,4	0,0	0,0	0,0	10,4	49,1	82,5	14,7	67,0	0,0	0,8					
	Elektriciteitsproductie	8,5	14,5	0,0	0,0	0,0	10,6	33,5	164,8	4,4	159,9	0,0	0,5					
Winning (hernieuwbaar) [PJ]																		
	Elektriciteit	Zon	0,0	6,1	21,5	28,1	0,0	0,0	55,7	253,6	0,0	253,6	0,0	0,0				
			0,0	3,0	21,5	28,1	0,0	0,0	52,7	14,3	0,0	14,3	0,0	0,0				
			0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	238,9	0,0	238,9	0,0	0,0				
			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	0,0				
	Warmte	Zon	2,2	12,4	16,0	20,1	0,0	-0,5	50,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
			0,0	0,0	0,6	2,3	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
			2,2	12,1	1,3	0,0	0,0	0,0	15,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
			0,0	0,4	14,1	17,8	0,0	-0,5	31,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Biogas	Overig	8,8	4,1	0,0	0,0	33,1	6,7	52,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
			41,0	9,8	4,1	18,5	0,0	24,7	98,0	14,1	0,0	14,1	0,0	0,0				
Finaal thermische vraag [PJ]		376,3	70,9	107,1	278,0	461,1	11,0	1304,5	110,1	110,1	0,0	0,0	0,0					
Finaal elektriciteitsverbruik [PJ]		127,0	30,4	133,6	77,1	15,6	10,1	393,6	39,9	10,8	20,5	0,4	8,3					
Non-energetisch [PJ]		636,9	0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	639,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
	vv gas	96,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	96,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
	vv kolen	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
Warmtelevering [PJ]		46,0	5,2	9,7	13,0	0,0	-7,9	65,9	-65,9	-0,6	-65,3	0,0	0,0					
Elektriciteitslevering [PJ]		118,5	9,7	112,0	49,0	15,6	-0,5	304,3	-378,4	6,4	-393,1	0,4	7,8					
CO2-emissies [Mton]																		
ETS	CO2 [Mton]	75,0	25,4	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	49,2	10,4	36,3	1,2	1,2					
nETS	CO2 [Mton]	58,6	2,7	3,4	4,8	13,3	31,6	2,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1					
Totaal	CO2 [Mton]	133,6																
Energetisch	CO2 [Mton]	123,5	19,9	3,6	4,9	13,2	31,4	2,6	47,8	10,3	36,3	0,0	1,2					
Niet energetisch	CO2 [Mton]	7,6	6,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,2	0,0	1,2	0,0					
Proces	CO2 [Mton]	2,5	2,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1					
Totaal	CO2 [Mton]	133,6	28,1	3,7	5,0	13,3	31,6	2,6	49,3	10,5	36,3	1,2	1,3					

Tabel 39: Energiebalans Scenario 2 – Richting Duurzame Transitie – 2020

		Totaal eind-verbruikers							Totaal energie-sector					Winnings bedrijven				Import Export Bunkers Winning			
		Industrie	Landbouw	Diensten	Huis-houdens	Verkeer	Wateren afval		Raffina-derijen	Energie-bedrijven	Cokes-fabrieken										
Verbruikssaldo [PJ]																					
	Kolen	7,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	7,4	155,9	0,0	146,1	9,8	0,0	368,3	205,0	0,0	0,0				
	Olie	614,4	1,8	6,6	1,9	457,0	1,3	1083,1	109,9	109,9	0,0	0,0	0,0	6472,2	4725,6	743,9	190,3				
	Aardgas	303,2	116,3	123,5	288,0	6,3	14,1	851,3	318,2	66,3	225,9	0,0	26,1	916,3	1519,2	0,0	1772,4				
	Elektriciteit	119,0	1,5	121,7	75,2	7,8	-4,1	321,2	-171,4	4,8	-183,0	0,3	6,5	142,9	92,4	0,0	99,2				
	Warmte	78,0	13,9	18,3	21,4	0,0	-29,2	102,3	-83,4	-7,7	-75,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,9				
	Biogas	3,8	4,2	0,0	0,0	0,0	2,6	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,6				
	Biobrandstoffen						34,8	34,8	0,0					34,8							
	Biomassa	18,8	3,7	1,9	18,1	0,0	34,1	76,6	55,0	0,0	42,7	0,0	12,3	47,1	0,0	0,0	84,5				
	Overig	16,2	0,0	0,0	0,0	0,0	34,1	50,2	7,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	57,2				
	Omgevingswarmte	0,0		4,2	6,1			10,2	0,0								10,2				
	Uranium								42,5		42,5			42,5							
			1160,4	141,5	276,4	410,6	505,9	53,0	2547,7	391,1	180,2	155,9	10,1	44,8	7981,6	6542,2	743,9	2243,3			
WKK [PJ]																					
	Inzet	68,3	76,4	6,2	0,0	0,0	72,2	223,0	544,8	54,0	486,4	0,0	4,5								
	Warmteproductie	39,4	36,9	2,5	0,0	0,0	23,5	102,2	106,8	24,9	79,7	0,0	2,1								
	Elektriciteitsproductie	9,5	29,2	1,8	0,0	0,0	11,3	51,8	207,3	5,6	200,4	0,0	1,3								
Winning (hernieuwbaar) [PJ]																					
	Elektriciteit	Zon	0,0	4,3	4,0	9,0	0,0	17,2	81,9	0,0	81,9	0,0	0,0								
			0,0	1,9	4,0	9,0		14,9	66,5	0,0	66,5	0,0	0,0								
			0,0	2,4	0,0			2,4	15,0	0,0	15,0	0,0	0,0								
			0,0	0,0	0,0			0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	0,0								
	Warmte	Zon	0,8	6,2	5,3	7,1	0,0	19,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0								
			0,0	0,0	0,6	1,0		1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0								
			0,4	5,8	4,2	6,1		16,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0								
			0,4	0,4	0,0			0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0								
	Biogas	Overig	3,8	4,2	0,0	0,0	34,8	2,6	45,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0							
			18,8	3,7	1,9	18,1	0,0	34,1	76,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0							
Finaal thermische vraag [PJ]		383,4	97,0	126,0	293,5	494,7	6,9	1401,7	122,8	122,8	0,0	0,0	0,0								
Finaal elektriciteitsverbruik [PJ]		128,5	30,7	123,5	75,2	7,8	7,3	372,9	36,7	10,5	18,2	0,3	7,8								
Non-energetisch [PJ]		602,9	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	604,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0								
	wv gas	88,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	88,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0								
	wv kolen	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0								
Warmtelevering [PJ]		77,6	7,7	13,0	14,4	0,0	-29,2	83,5	-83,4	-7,7	-75,7	0,0	0,0								
Elektriciteitslevering [PJ]		119,0	-2,8	117,8	66,2	7,8	-4,1	303,9	-252,5	4,8	-264,1	0,3	6,5								
CO2-emissies [Mton]																					
ETS	CO2 [Mton]	74,6	26,0	0,6	0,3	0,0	0,0	27,0	47,6	10,8	33,8	1,1	1,9								
	nETS	71,1	3,5	6,0	7,6	16,3	34,0	3,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1								
	Totaal	145,6																			
Energetisch		135,8	22,3	6,6	7,4	16,3	33,9	3,5	45,8	10,0	33,8	0,0	2,0								
Niet energetisch		7,7	5,7	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	1,9	0,8	0,0	1,1	0,0								
Proces		2,2	1,6	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1								
Totaal		145,6	29,6	6,6	7,9	16,3	34,0	3,5	47,8	10,9	33,8	1,1	2,0								

Tabel 40: Energiebalans Scenario 2 – Richting Duurzame Transitie – 2025

		Industrie	Landbouw	Diensten	Huis- houdens	Verkeer	Wateren afval	Totaal eind- verbruikers	Totaal energie- sector	Raffina- derijen	Energie- bedrijven	Cokes- fabrieken	Winnings bedrijven	Import	Export	Bunkers	Winning
Verbruikssaldo [PJ]																	
	Kolen	7,2	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	7,5	9,5	0,0	0,0	9,5	0,0	222,1	205,0	0,0	0,0
	Olie	642,3	1,8	6,6	1,7	442,7	1,5	1096,7	106,5	106,5	0,0	0,0	0,0	6323,0	4534,4	768,3	182,9
	Aardgas	297,3	116,2	112,6	276,5	12,6	10,5	825,7	363,3	52,6	293,8	0,0	16,9	951,6	1329,3	0,0	1566,7
	Elektriciteit	126,4	-4,5	122,6	70,3	9,0	-3,2	320,6	-158,9	4,3	-170,4	0,3	6,9	117,3	118,8	0,0	163,2
	Warmte	64,3	16,8	22,4	24,4	0,0	-27,7	100,1	-72,9	-7,3	-65,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,2
	Biogas	4,6	6,3	0,0	0,0	0,0	3,0	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,0
	Biobrandstoffen					33,6		33,6	0,0					33,6			
	Biomassa	24,8	6,1	1,9	18,1	0,0	33,4	84,3	23,1	0,0	5,0	0,0	18,1	50,0	0,0	0,0	57,5
	Overig	13,3	0,0	0,0	0,0	0,0	33,4	46,7	11,4	11,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	58,0
	Omgevingswarmte			7,2	7,5			14,7	0,0								14,7
	Uranium								42,6		42,6			42,6			
		1180,4	142,7	273,6	398,5	497,9	50,8	2543,9	282,0	167,5	62,9	9,8	41,9	7697,5	6187,5	768,3	2084,1
WKK [PJ]																	
	Inzet	50,7	95,3	6,3	0,0	0,0	71,1	223,3	423,6	46,0	374,1	0,0	3,5				
	Warmteproductie	29,7	46,8	2,6	0,0	0,0	25,8	105,0	89,6	18,4	69,5	0,0	1,7				
	Elektriciteitsproductie	6,7	36,2	1,7	0,0	0,0	11,2	55,8	195,6	5,7	188,9	0,0	1,0				
Winning (hernieuwbaar) [PJ]																	
	Elektriciteit																
		0,0	6,6	8,1	17,6	0,0	0,0	32,3	130,9	0,0	130,9	0,0	0,0				
		Zon	0,0	4,0	8,1	17,6		29,7	5,5	0,0	5,5	0,0	0,0				
		Wind	0,0	2,6	0,0			2,6	125,0	0,0	125,0	0,0	0,0				
	Warmte																
		0,0	0,0	0,0				0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	0,0				
		Water	1,3	9,1	8,7	8,7	0,0	27,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
		Zon	0,0	0,0	0,0	1,3		1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Biogas																
		0,7	8,7	0,0	7,5			16,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
		Aardwarmte	0,6	0,4	0,0			1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
		Overig	4,6	6,3	0,0	0,0	33,6	47,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Biomassa	24,8	6,1	1,9	18,1	0,0	33,4	84,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
Finaal thermische vraag [PJ]		383,8	96,2	122,6	288,6	483,1	7,5	1381,8	114,3	114,3	0,0	0,0	0,0				
Finaal elektriciteitsverbruik [PJ]		133,1	31,7	124,3	70,3	9,0	8,0	376,4	36,7	10,0	18,5	0,3	7,9				
Non-energetisch [PJ]		624,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	625,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	wv gas	91,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	91,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	wv kolen	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
Warmtelevering [PJ]		63,7	7,7	13,7	15,6	0,0	-27,7	72,9	-72,9	-7,3	-65,5	0,0	0,0				
Elektriciteitslevering [PJ]		126,4	-11,2	114,5	52,8	9,0	-3,2	288,2	-289,8	4,3	-301,4	0,3	6,9				
CO2-emissies [Mton]																	
ETS	CO2 [Mton]	62,0	26,0	0,6	0,3	0,0	0,0	26,9	35,1	10,0	22,3	1,1	1,7				
	nETS	68,6	3,4	6,0	7,0	15,6	33,3	68,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1				
	Totaal	130,6															
Energetisch		120,3	21,5	6,6	6,8	15,6	33,2	86,9	33,4	9,4	22,3	0,0	1,7				
Niet energetisch	CO2 [Mton]	8,1	6,3	0,0	0,0	0,1	0,0	6,4	1,7	0,6	0,0	1,1	0,0				
	Proces	2,2	1,6	0,0	0,5	0,0	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1				
Totaal		130,6	29,4	6,6	7,3	15,6	33,3	95,4	35,2	10,0	22,3	1,1	1,8				

Tabel 41: Energiebalans Scenario 2 – Richting Duurzame Transitie – 2030

									Totaal										
		Industrie	Landbouw	Diensten	Huis- houdens	Verkeer	Water en afval	eind- verbruikers		Totaal energie- sector	Raffina- derijen	Energie- bedrijven	Cokes- fabrieken	Winnings bedrijven		Import	Export	Bunkers	Winning
Verbruikssaldo [PJ]																			
	Kolen	7,5	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	7,8		10,0	0,0	0,0	10,0	0,0		222,8	205,0	0,0	0,0
	Olie	663,8	1,7	6,6	1,6	423,1	1,6	1098,4		102,3	102,3	0,0	0,0	0,0		6840,0	5017,1	791,8	169,7
	Aardgas	286,1	108,7	104,8	268,2	23,5	11,5	803,0		321,3	46,6	269,4	0,0	5,3		1342,6	1171,1	0,0	952,7
	Elektriciteit	130,0	-0,9	127,4	71,1	12,0	-2,7	337,0		-148,5	4,0	-157,4	0,3	4,6		118,9	115,4	0,0	185,0
	Warmte	60,0	18,5	29,4	26,7	0,0	-29,0	105,6		-68,4	-7,0	-61,5	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	37,2
	Biogas	5,6	5,9	0,0	0,0	0,0	2,4	13,9		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	13,9
	Biobrandstoffen					32,0		32,0		0,0						32,0			
	Biomassa	28,1	5,1	1,5	18,1	0,0	33,4	86,2		24,9	0,0	4,5	0,0	20,4		37,5	0,0	0,0	73,6
	Overig	9,9	0,0	0,0	0,0	0,0	33,4	43,3		11,5	11,5	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	54,8
	Omgevingswarmte			13,3	8,5			21,7		0,0									21,7
	Uranium									42,5		42,5				42,5			
		1191,0	139,2	283,3	394,2	490,7	50,5	2549,0		295,6	157,4	97,6	10,4	30,2		8636,3	6508,6	791,8	1508,6
WKK [PJ]																			
	Inzet	35,9	87,3	5,8	0,0	0,0	70,5	199,6		351,5	43,4	306,0	0,0	2,2					
	Warmteproductie	22,1	42,7	2,6	0,0	0,0	26,4	93,7		82,9	16,4	65,5	0,0	1,0					
	Elektriciteitsproductie	3,7	33,4	1,6	0,0	0,0	11,2	49,8		183,6	5,5	177,4	0,0	0,6					
Winning (hernieuwbaar) [PJ]																			
	Elektriciteit		0,0	9,8	13,0	24,2	0,0	0,0	47,0		137,0	0,0	137,0	0,0	0,0				
		Zon	0,0	6,8	13,0	24,2			44,0		7,8	0,0	7,8	0,0	0,0				
		Wind	0,0	3,0	0,0				3,0		128,7	0,0	128,7	0,0	0,0				
		Water	0,0	0,0	0,0				0,0		0,4	0,0	0,4	0,0	0,0				
		Warmte	1,9	10,8	15,1	10,0	0,0	0,0	37,9		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
			Zon	0,0	0,0	0,0				0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
			Aardwarmte	1,3	10,5	0,0				11,7		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
			Overig	0,7	0,4	0,0				1,1		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			
		Biogas	5,6	5,9	0,0	0,0	32,0	2,4	46,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
		Biomassa	28,1	5,1	1,5	18,1	0,0	33,4	86,2		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
Finaal thermische vraag [PJ]		383,8	92,9	123,1	285,8	470,7	7,9	1364,4		107,3	107,3	0,0	0,0	0,0					
Finaal elektriciteitsverbruik [PJ]		133,6	32,5	129,0	71,1	12,1	8,5	386,8		34,0	9,5	19,0	0,3	5,2					
Non-energetisch [PJ]		642,4	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	644,3		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
	vv gas	93,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	93,8		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
	vv kolen	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
Warmtelevering [PJ]		63,7	7,7	14,3	16,7	0,0	-29,0	73,4		-68,4	-7,0	-61,5	0,0	0,0					
Elektriciteitslevering [PJ]		126,4	-10,8	114,4	46,9	12,1	-2,7	286,3		-286,5	4,0	-295,4	0,3	4,6					
CO2-emissies [Mton]																			
ETS	CO2 [Mton]	62,6	25,5	0,6	0,3	0,0	0,0	26,3		36,3	9,7	24,3	1,1	1,2					
nETS	CO2 [Mton]	66,3	3,3	5,6	6,5	15,0	32,5	3,3	66,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1					
Totaal	CO2 [Mton]	129,0																	
Energetisch	CO2 [Mton]	118,0	20,0	6,2	6,3	15,0	32,3	3,3	83,2	34,8	9,3	24,3	0,0	1,2					
Niet energetisch	CO2 [Mton]	8,7	7,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,2	1,6	0,4	0,0	1,1	0,0					
Proces	CO2 [Mton]	2,2	1,6	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1					
Totaal	CO2 [Mton]	128,9	28,7	6,2	6,8	15,0	32,5	3,3	92,5	36,4	9,7	24,3	1,1	1,3					

Tabel 42: Energiebalans Scenario 2 – Richting Duurzame Transitie – 2035

									Totaal eind-verbruikers	Totaal energie-sector	Raffina-derijen	Energie-bedrijven	Cokes-fabrieken	Winnings bedrijven				
		Industrie	Landbouw	Diensten	Huis-houdens	Verkeer	Water en afval								Import	Export	Bunkers	Winning
Verbruikssaldo [PJ]																		
	Kolen	7,7	0,0		0,0	0,0	0,0	7,7	10,6	0,0	0,0	10,6	0,0	223,3	205,0	0,0	0,0	
	Olie	676,2	1,6	6,6	1,6	406,3	1,6	1093,9	98,2	98,2	0,0	0,0	0,0	7339,5	5488,6	815,3	156,6	
	Aardgas	282,2	101,2	109,5	264,1	41,8	11,5	810,4	313,3	40,5	267,5	0,0	5,3	1771,2	1005,8	0,0	338,7	
	Elektriciteit	133,6	2,8	127,4	71,4	10,3	-2,7	342,7	-140,9	3,7	-149,5	0,3	4,6	114,7	113,0	0,0	200,2	
	Warmte	55,6	20,3	13,0	23,1	0,0	-29,0	82,9	-66,5	-6,6	-59,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,2	
	Biogas	3,0	5,6		0,0	0,0	2,4	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0	
	Biobrandstoffen					30,5		30,5	0,0					30,5				
	Biomassa	37,7	4,1	1,2	18,1	0,0	33,4	94,5	24,9	0,0	4,5	0,0	20,4	28,3	0,0	0,0	91,1	
	Overig	6,5	0,0		0,0	0,0	33,4	39,9	11,6	11,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	51,5	
	Omgevingswarmte			25,0	7,5			32,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,4	
	Uranium								0,0		0,0			0,0				
		1202,6	135,6	282,6	385,7	489,0	50,5	2545,9	251,1	147,3	62,7	10,9	30,2	9507,4	6812,4	815,3	918,5	
WKK [PJ]																		
	Inzet	23,4	79,4	5,8	0,0	0,0	70,5	179,1	351,5	40,7	308,6	0,0	2,2					
	Warmteproductie	14,4	38,6	2,6	0,0	0,0	26,4	82,0	79,3	14,4	63,9	0,0	1,0					
	Elektriciteitsproductie	0,6	30,6	1,6	0,0	0,0	11,2	44,0	175,0	5,3	169,0	0,0	0,6					
Winning (hernieuwbaar) [PJ]																		
	Elektriciteit	0,0	13,0	20,7	30,9	0,0	0,0	64,6	135,9	0,0	135,9	0,0	0,0					
		0,0	9,6	20,7	30,9			61,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
		Wind	0,0	3,4					3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
		Water	0,0	0,0					0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Warmte	2,5	12,6	25,9	11,2	0,0	0,0	52,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
		0,0	0,0	0,9	1,6			2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
		Aardwarmte	1,8	12,2	25,0	9,5			48,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
		Overig	0,7	0,4	0,0				1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Biogas	3,0	5,6	0,0	0,0	30,5	2,4	41,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
	Biomassa	37,7	4,1	1,2	18,1	0,0	33,4	94,5	0,0									
Finaal thermische vraag [PJ]		383,8	89,7	123,1	279,6	470,8	7,9	1355,0	100,3	100,3	0,0	0,0	0,0					
Finaal elektriciteitsverbruik [PJ]		134,2	33,4	129,0	71,4	10,3	8,5	386,7	34,1	9,0	19,5	0,3	5,2					
Non-energetisch [PJ]		660,7	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	662,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
	wv gas	95,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	95,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
	wv kolen	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
Warmtelevering [PJ]		63,7	7,7	12,0	23,1	0,0	-29,0	77,5	-66,5	-6,6	-59,90	0,0	0,0					
Elektriciteitslevering [PJ]		126,4	-10,2	105,1	40,5	10,3	-2,7	269,4	-276,7	3,7	-285,33	0,3	4,6					
CO2-emissies [Mton]																		
ETS	CO2 [Mton]	62,6	25,8	0,6	0,3	0,0	0,0	26,7	36,0	9,4	24,2	1,2	1,2					
nETS	CO2 [Mton]	66,0	3,4	5,6	6,5	14,8	32,3	65,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1					
Totaal	CO2 [Mton]	128,6																
Energetisch	CO2 [Mton]	117,1	19,7	6,2	6,3	14,8	32,1	3,3	82,5	34,6	9,2	24,2	0,0	1,2				
Niet energetisch	CO2 [Mton]	9,3	7,8	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,9	1,4	0,3	0,0	1,2	0,0				
Proces	CO2 [Mton]	2,2	1,6	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1				
Totaal	CO2 [Mton]	128,6	29,2	6,2	6,8	14,8	32,3	3,3	92,5	36,1	9,4	24,2	1,2	1,3				

Tabel 43: Energiebalans Scenario 3 – Decentrale Klimaattactie – 2020

		Industrie	Landbouw	Diensten	Huis- houdens	Verkeer	Water en afval	Totaal eind- verbruikers	Totaal energie- sector	Raffina- derijen	Energie- bedrijven	Cokes- fabrieken	Winnings bedrijven	Import	Export	Bunkers	Winning
Verbruikssaldo [PJ]																	
	Kolen	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	199,3	0,0	189,5	9,8	0,0	411,3	205,0	0,0	0,0
	Olie	598,0	1,7	6,6	1,9	440,6	1,3	1050,1	103,2	103,2	0,0	0,0	0,0	6432,6	4725,6	743,9	190,3
	Aardgas	292,7	110,4	109,0	289,5	11,6	14,1	827,3	235,5	68,1	154,4	0,0	12,9	796,4	1519,2	0,0	1785,6
	Elektriciteit	113,7	1,5	118,8	75,7	11,2	-4,1	316,9	-192,5	4,8	-204,1	0,3	6,5	124,4	94,4	0,0	94,3
	Warmte	75,8	13,9	14,6	18,1	0,0	-29,2	93,3	-80,1	-7,7	-72,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,2
	Biogas	3,8	4,2	0,0	0,0	0,0	2,6	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,6
	Biobrandstoffen					33,5		33,5	0,0					33,5			
	Biomassa	26,5	3,6	1,9	18,1	0,0	34,1	84,2	68,0	0,0	55,7	0,0	12,3	57,3	0,0	0,0	94,9
	Overig	16,2	0,0		0,0	0,0	34,1	50,3	7,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	57,2
	Omgevingswarmte	0,3		22,8	5,0			28,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,1
	Waterstof					1,3		1,3	-1,3	-1,3							
	Uranium							0,0	42,6		42,6			42,6	0,0		
		1133,9	135,4	273,8	408,3	496,9	53,0	2501,3	394,8	174,2	165,8	10,1	44,8				
WKK [PJ]																	
	Inzet	86,6	76,4	10,2	0,0	0,0	72,2	245,2	546,9	54,0	488,5	0,0	4,5				
	Warmteproductie	50,0	36,9	3,8	0,0	0,0	23,5	114,1	103,5	24,9	76,4	0,0	2,1				
	Elektriciteitsproductie	14,9	29,2	3,2	0,0	0,0	11,3	58,6	229,3	5,6	222,3	0,0	1,3				
Winning (hernieuwbaar) [PJ]																	
	Elektriciteit																
		0,0	4,3	4,0	9,0	0,0	0,0	17,2	77,4	0,0	77,4	0,0	0,0				
		0,0	1,9	4,0	9,0			14,9	6,3	0,0	6,3	0,0	0,0				
		0,0	2,4					2,4	70,9	0,0	70,9	0,0	0,0				
		0,0	0,0					0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,0				
	Warmte																
		0,8	6,2	4,8	1,4	0,0	0,0	13,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
		0,0	0,0	0,6	1,0			1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
		0,4	5,8	4,2	0,4			10,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
		0,4	0,4					0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Biogas/biofuel	4,6	6,7	2,6	6,8	33,5	2,9	57,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Biomassa	26,5	3,6	1,9	18,1	0,0	34,1	84,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
Finaal thermische vraag [PJ]		373,9	91,4	125,7	281,4	483,7	6,9	1363,1	115,4	115,4	0,0	0,0	0,0				
Finaal elektriciteitsverbruik [PJ]		128,6	30,7	122,0	75,7	11,2	7,3	375,4	37,0	10,5	18,5	0,3	7,8				
Non-energetisch [PJ]		602,9	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	604,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	wv gas	88,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	88,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	wv kolen	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
Warmtelevering [PJ]		75,0	7,7	9,8	16,8	0,0	-29,2	80,1	-80,1	-7,7	-72,4	0,0	0,0				
Elektriciteitslevering [PJ]		113,7	-2,8	114,9	66,7	11,2	-4,1	299,7	-269,7	4,8	-281,3	0,3	6,5				
CO2-emissies [Mton]																	
ETS	CO2 [Mton]	79,2	25,4	0,6	0,3	0,0	0,0	26,3	52,9	10,5	39,4	1,1	1,9				
nETS	CO2 [Mton]	68,3	3,4	5,6	6,7	16,0	33,1	68,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1				
Totaal	CO2 [Mton]	147,5															
Energetisch	CO2 [Mton]	137,7	21,5	6,2	6,5	16,0	32,9	86,6	51,2	9,8	39,4	0,0	2,0				
Niet energetisch	CO2 [Mton]	7,6	5,7	0,0	0,0	0,0	0,1	5,8	1,8	0,8	0,0	1,1	0,0				
Proces	CO2 [Mton]	2,2	1,6	0,0	0,5	0,0	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1				
Totaal	CO2 [Mton]	147,5	28,8	6,2	6,9	16,0	33,1	94,5	53,1	10,6	39,4	1,1	2,0				

Tabel 44: Energiebalans Scenario 3 – Decentrale Klimaattactie – 2025

		Industrie	Landbouw	Diensten	Huis- houdens	Verkeer	Water en afval	Totaal eind- verbruikers	Totaal energie- sector	Raffina- derijen	Energie- bedrijven	Cokes- fabrieken	Winnings bedrijven	Import	Export	Bunkers	Winning
Verbruikssaldo [PJ]																	
	Kolen	7,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,1	166,8	0,0	157,2	9,5	0,0	378,9	205,0	0,0	0,0
	Olie	628,6	1,7	6,6	1,7	411,1	1,5	1051,2	96,1	96,1	0,0	0,0	0,0	6267,0	4534,4	768,3	182,9
	Aardgas	263,6	83,5	76,3	248,1	22,9	10,5	704,9	266,3	51,1	243,7	0,0	-28,5	701,1	1329,3	0,0	1599,4
	Elektriciteit	120,4	9,4	112,3	77,5	15,5	-3,2	332,1	-231,3	4,3	-242,8	0,3	6,9	73,2	161,2	0,0	188,7
	Warmte	62,5	26,5	17,6	27,8	0,0	-27,7	106,6	-76,0	-7,3	-68,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,6
	Biogas	4,6	4,1	0,0	0,0	0,0	3,0	11,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,7
	Biobrandstoffen					31,1		31,1	0,0					31,1			
	Biomassa	62,7	4,2	1,9	18,1	0,0	33,4	120,3	79,8	0,0	43,6	0,0	36,2	86,2	0,0	0,0	113,9
	Overig	13,3	0,0		0,0	0,0	33,4	46,7	11,4	11,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	58,0
	Omgevingswarmte	0,4		39,4	23,9			63,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,7
	Waterstof					2,5		2,5	-2,5	-2,5							
	Uranium							0,0	42,5		42,5			42,5	0,0		
		1163,3	129,4	254,1	397,2	480,7	50,8	2475,4	380,2	153,0	175,5	9,8	41,9				
WKK [PJ]																	
	Inzet	80,4	59,4	9,7	0,0	0,0	71,1	220,6	581,0	46,0	531,4	0,0	3,5				
	Warmteproductie	47,2	29,1	3,7	0,0	0,0	25,8	105,9	92,7	18,4	72,7	0,0	1,7				
	Elektriciteitsproductie	12,8	22,5	3,1	0,0	0,0	11,2	49,6	263,2	5,7	256,5	0,0	1,0				
Winning (hernieuwbaar) [PJ]																	
	Elektriciteit																
		0,0	6,6	8,1	17,6	0,0	0,0	32,3	156,5	0,0	156,5	0,0	0,0				
		0,0	4,0	8,1	17,6			29,7	13,2	0,0	13,2	0,0	0,0				
		0,0	2,6					2,6	143,0	0,0	143,0	0,0	0,0				
		0,0	0,0					0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,0				
	Warmte	1,3	13,9	8,0	8,7	0,0	0,0	31,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
		0,0	0,0	0,7	1,3			2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
		0,7	13,5	7,2	7,5			28,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
		0,6	0,4					1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Biogas/biofuel	7,8	11,7	7,6	24,6	31,1	4,0	86,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Biomassa	62,7	4,2	1,9	18,1	0,0	33,4	120,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
Finaal thermische vraag [PJ]		367,5	87,3	117,3	277,0	462,1	7,5	1318,6	103,1	103,1	0,0	0,0	0,0				
Finaal elektriciteitsverbruik [PJ]		133,2	32,0	115,4	77,5	15,5	8,0	381,7	31,5	10,0	13,3	0,3	7,9				
Non-energetisch [PJ]		624,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	625,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	wv gas	91,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	91,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	wv kolen	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
Warmtelevering [PJ]		62,5	12,6	9,6	19,0	0,0	-27,7	76,0	-76,0	-7,3	-68,7	0,0	0,0				
Elektriciteitslevering [PJ]		120,4	2,8	107,3	59,9	15,5	-3,2	302,9	-388,1	4,3	-399,6	0,3	6,9				
CO2-emissies [Mton]																	
ETS	CO2 [Mton]	77,6	23,7	0,5	0,3	0,0	0,0	24,4	53,2	9,1	41,3	1,1	1,7				
nETS	CO2 [Mton]	60,7	3,1	3,9	6,4	12,6	31,5	60,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1				
Totaal	CO2 [Mton]	138,3															
Energetisch	CO2 [Mton]	128,1	18,8	4,3	6,2	12,6	31,4	76,5	51,6	8,6	41,3	0,0	1,7				
Niet energetisch	CO2 [Mton]	8,0	6,3	0,0	0,0	0,0	0,1	6,4	1,6	0,6	0,0	1,1	0,0				
Proces	CO2 [Mton]	2,2	1,6	0,0	0,5	0,0	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1				
Totaal	CO2 [Mton]	138,3	26,8	4,3	6,7	12,6	31,5	85,0	53,3	9,1	41,3	1,1	1,8				

Tabel 45: Energiebalans Scenario 3 – Decentrale Klimaattactie – 2030

		Industrie	Landbouw	Diensten	Huis- houdens	Verkeer	Water en afval	Totaal eind- verbruikers	Totaal energie- sector	Raffina- derijen	Energie- bedrijven	Cokes- fabrieken	Winnings bedrijven	Import	Export	Bunkers	Winning
Verbruikssaldo [PJ]																	
	Kolen	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3	10,0	0,0	0,0	10,0	0,0	222,3	205,0	0,0	0,0
	Olie	648,0	1,5	6,6	1,6	362,6	1,6	1021,9	83,9	83,9	0,0	0,0	0,0	6745,0	5017,1	791,8	169,7
	Aardgas	220,6	57,8	49,2	210,8	43,4	11,5	593,3	238,6	53,5	260,7	0,0	-75,7	994,6	1171,1	0,0	1008,3
	Elektriciteit	125,8	16,5	109,2	79,0	22,7	-2,7	350,5	-139,6	4,0	-148,5	0,3	4,6	84,6	170,7	0,0	297,3
	Warmte	58,1	39,0	23,6	37,2	0,0	-29,0	128,8	-83,2	-7,0	-76,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,6
	Biogas	5,6	3,0	0,0	0,0	0,0	2,4	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0
	Biobrandstoffen					27,2		27,2	0,0					27,2			
	Biomassa	104,8	3,3	1,5	18,1	0,0	33,4	161,0	62,0	0,0	5,5	0,0	56,5	103,9	0,0	0,0	119,2
	Overig	9,9	0,0		0,0	0,0	33,4	43,3	11,5	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	54,8
	Omgevingswarmte	0,5		53,3	41,8			95,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	95,6
	Waterstof					4,8		4,8	-4,8	-4,8							
	Uranium							0,0	41,5		41,5			41,5	0,0		
		1180,5	121,0	243,3	388,5	456,0	50,5	2440,0	264,6	141,1	82,9	10,4	30,2				
WKK [PJ]																	
	Inzet	71,5	43,7	8,8	0,0	0,0	70,5	194,5	392,6	43,4	347,1	0,0	2,2				
	Warmteproductie	43,7	21,3	3,5	0,0	0,0	26,4	95,0	97,6	16,4	80,2	0,0	1,0				
	Elektriciteitsproductie	8,2	16,7	2,9	0,0	0,0	11,2	39,0	170,8	5,5	164,7	0,0	0,6				
Winning (hernieuwbaar) [PJ]																	
	Elektriciteit																
		0,0	9,8	13,0	24,2	0,0	0,0	47,0	250,4	0,0	250,4	0,0	0,0				
	Zon	0,0	6,8	13,0	24,2			44,0	10,0	0,0	10,0	0,0	0,0				
	Wind	0,0	3,0					3,0	240,0	0,0	240,0	0,0	0,0				
	Water	0,0	0,0					0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,0				
		1,9	21,6	14,1	10,0	0,0	0,0	47,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Warmte																
	Zon	0,0	0,0	0,8	1,5			2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Aardwarmte	1,3	21,2	13,3	8,5			44,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Overig	0,7	0,4					1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Biogas/biofuel	11,8	14,4	10,5	45,0	27,2	4,8	113,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Biomassa	104,8	3,3	1,5	18,1	0,0	33,4	161,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
Finaal thermische vraag [PJ]		360,7	80,7	109,4	273,8	430,9	7,9	1263,4	88,0	88,0	0,0	0,0	0,0				
Finaal elektriciteitsverbruik [PJ]		134,0	33,2	112,1	79,0	22,7	8,5	389,5	31,4	9,5	16,4	0,3	5,2				
Non-energetisch [PJ]		642,4	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	644,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	wv gas	93,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	93,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	wv kolen	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
Warmtelevering [PJ]		58,1	17,4	9,5	27,2	0,0	-29,0	83,2	-83,2	-7,0	-76,2	0,0	0,0				
Elektriciteitslevering [PJ]		125,8	6,7	96,2	54,8	22,7	-2,7	303,6	-389,8	4,0	-398,7	0,3	4,6				
CO2-emissies [Mton]																	
ETS	CO2 [Mton]	57,8	20,6	0,3	0,2	0,0	0,0	21,2	36,6	8,5	25,8	1,1	1,2				
nETS	CO2 [Mton]	51,0	2,7	2,4	4,4	9,3	28,9	50,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1				
Totaal	CO2 [Mton]	108,7															
Energetisch	CO2 [Mton]	97,9	14,7	2,7	4,2	9,3	28,7	62,7	35,2	8,1	25,8	0,0	1,2				
Niet energetisch	CO2 [Mton]	8,6	7,0	0,0	0,0	0,0	0,1	7,2	1,5	0,4	0,0	1,1	0,0				
Proces	CO2 [Mton]	2,2	1,6	0,0	0,5	0,0	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1				
Totaal	CO2 [Mton]	108,7	23,4	2,7	4,6	9,3	28,9	72,0	36,7	8,5	25,8	1,1	1,3				

Tabel 46: Energiebalans Scenario 3 – Decentrale Klimaattactie – 2035

		Industrie	Landbouw	Diensten	Huis- houdens	Verkeer	Water en afval	Totaal eind- verbruikers	Totaal energie- sector	Raffina- derijen	Energie- bedrijven	Cokes- fabrieken	Winnings bedrijven	Import	Export	Bunkers	Winning
Verbruikssaldo [PJ]																	
	Kolen	7,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4	10,6	0,0	0,0	10,6	0,0	223,0	205,0	0,0	0,0
	Olie	667,2	1,3	6,6	1,6	280,1	1,6	958,5	62,5	62,5	0,0	0,0	0,0	7168,4	5488,6	815,3	156,6
	Aardgas	214,8	51,1	26,6	180,8	86,9	11,5	571,8	189,9	54,4	226,8	0,0	-91,3	1370,2	1005,8	0,0	397,3
	Elektriciteit	129,2	18,8	107,3	80,8	35,3	-2,7	368,7	-77,7	3,7	-86,3	0,3	4,6	96,2	162,1	0,0	356,9
	Warmte	53,3	40,4	35,2	57,6	0,0	-29,0	157,6	-102,4	-6,6	-95,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	55,2
	Biogas	3,0	3,0	0,0	0,0	0,0	2,4	8,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,4
	Biobrandstoffen					20,9		20,9	0,0					20,9			
	Biomassa	111,0	3,8	1,5	18,1	0,0	33,4	167,7	80,0	0,0	5,4	0,0	74,7	173,3	0,0	0,0	74,5
	Overig	6,5	0,0		0,0	0,0	33,4	39,9	11,6	11,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	51,4
	Omgevingswarmte	0,6		53,3	59,0			112,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	112,8
	Waterstof					9,7		9,7	-9,7	-9,7							
	Uranium							0,0	0,0		0,0			0,0	0,0		
		1193,1	118,5	230,5	397,9	423,3	50,5	2413,7	207,0	115,8	50,1	10,9	30,2				
WKK [PJ]																	
	Inzet	62,0	43,7	8,0	0,0	0,0	70,5	184,1	310,6	40,7	267,7	0,0	2,2				
	Warmteproductie	40,2	19,3	3,2	0,0	0,0	26,4	89,1	115,2	14,4	99,8	0,0	1,0				
	Elektriciteitsproductie	5,8	15,5	2,6	0,0	0,0	11,2	35,2	118,9	5,3	112,9	0,0	0,6				
Winning (hernieuwbaar) [PJ]																	
	Elektriciteit	0,0	13,0	20,7	30,9	0,0	0,0	64,6	292,7	0,0	292,7	0,0	0,0				
		0,0	9,6	20,7	30,9			61,2	7,2	0,0	7,2	0,0	0,0				
	Zon	0,0	3,4					3,4	285,1	0,0	285,1	0,0	0,0				
	Wind	0,0	0,0					0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,0				
	Water	2,5	29,3	25,9	11,2	0,0	0,0	68,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Warmte	0,0	0,0	0,9	1,6			2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
		1,8	28,9	25,0	9,5			65,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Zon	0,8	0,4					1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Aardwarmte	10,5	16,5	7,6	51,8	20,9	5,7	113,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Overig	111,0	3,8	1,2	18,1	0,0	33,4	167,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Biogas/biofuel																
	Biomassa																
Finaal thermische vraag [PJ]		354,0	74,1	102,1	273,1	391,1	7,9	1202,3	63,9	63,9	0,0	0,0	0,0				
Finaal elektriciteitsverbruik [PJ]		135,0	34,4	109,9	80,8	35,3	8,5	403,9	39,9	9,0	25,4	0,3	5,2				
Non-energetisch [PJ]		660,7	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	662,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	wv gas	95,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	95,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	wv kolen	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
Warmtelevering [PJ]		53,3	11,1	9,3	57,6	0,0	-29,0	102,4	-102,4	-6,6	-95,8	0,0	0,0				
Elektriciteitslevering [PJ]		129,2	11,1	86,5	49,9	35,3	-2,7	309,4	-371,7	3,7	-380,2	0,3	4,6				
CO2-emissies [Mton]																	
ETS	CO2 [Mton]	52,2	20,6	0,3	0,2	0,0	0,0	21,1	31,1	7,1	21,6	1,2	1,2				
nETS	CO2 [Mton]	42,9	2,5	1,9	3,1	7,2	24,9	42,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1				
Totaal	CO2 [Mton]	95,1															
Energetisch	CO2 [Mton]	83,7	13,7	2,2	2,8	7,2	24,8	53,9	29,8	7,0	21,6	0,0	1,2				
Niet energetisch	CO2 [Mton]	9,3	7,8	0,0	0,0	0,1	0,0	7,9	1,3	0,2	0,0	1,2	0,0				
Proces	CO2 [Mton]	2,2	1,6	0,0	0,5	0,0	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1				
Totaal	CO2 [Mton]	95,1	23,1	2,2	3,3	7,2	24,9	63,9	31,2	7,1	21,6	1,2	1,3				

Tabel 47: Energiebalans Scenario 4 – Centrale Klimaatactie – 2020

		Industrie	Landbouw	Diensten	Huis- houdens	Verkeer	Water en afval	Totaal eind- verbruikers	Totaal energie- sector	Raffina- derijen	Energie- bedrijven	Cokes- fabrieken	Winnings bedrijven	Import	Export	Bunkers	Winning
Verbruikssaldo [PJ]																	
	Kolen	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	200,4	0,0	190,6	9,8	0,0	412,4	205,0	0,0	0,0
	Olie	598,0	1,7	6,6	1,9	436,9	1,3	1046,5	102,4	102,4	0,0	0,0	0,0	6428,0	4725,6	743,9	190,3
	Aardgas	288,5	96,3	107,4	289,5	7,4	14,1	803,2	257,8	66,3	165,5	0,0	26,1	807,8	1519,2	0,0	1772,4
	Elektriciteit	123,0	-0,2	119,2	75,7	14,6	-4,1	328,2	-196,5	4,8	-208,1	0,3	6,5	129,8	92,7	0,0	94,7
	Warmte	76,7	13,5	14,6	19,5	0,0	-29,2	95,1	-84,1	-7,7	-76,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0
	Biogas	3,8	4,2	0,0	0,0	0,0	2,6	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,6
	Biobrandstoffen					33,3		33,3	0,0					33,3			
	Biomassa	18,6	3,6	1,9	18,1	0,0	34,1	76,3	68,3	0,0	56,0	0,0	12,3	52,5	0,0	0,0	92,1
	Overig	16,2	0,0		0,0	0,0	34,1	50,3	7,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	57,2
	Omgevingswarmte	0,5	16,0	23,9	5,0			45,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	45,4
	Waterstof							0,0	0,0	0,0							
	Uranium							0,0	42,6		42,6			42,6	0,0		
		1132,1	135,2	273,6	409,7	492,2	53,0	2495,8	397,9	172,7	170,2	10,1	44,8				
WKK [PJ]																	
	Inzet	68,3	103,3	7,9	0,0	0,0	72,2	251,7	564,6	54,0	506,2	0,0	4,5				
	Warmteproductie	39,4	50,4	2,9	0,0	0,0	23,5	116,1	107,5	24,9	80,4	0,0	2,1				
	Elektriciteitsproductie	9,5	39,9	2,4	0,0	0,0	11,3	63,1	229,8	5,6	222,8	0,0	1,3				
Winning (hernieuwbaar) [PJ]																	
	Elektriciteit																
		0,0	4,3	5,0	11,3	0,0	0,0	20,5	74,1	0,0	74,1	0,0	0,0				
	Zon	0,0	1,9	5,0	11,3			18,2	2,9	0,0	2,9	0,0	0,0				
	Wind	0,0	2,4					2,4	70,9	0,0	70,9	0,0	0,0				
	Water	0,0	0,0					0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,0				
	Warmte	0,8	22,2	4,8	1,4	0,0	0,0	29,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Zon	0,0	0,0	0,6	1,0			1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Aardwarmte	0,4	5,8	4,2	0,4			10,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Overig	0,9	16,4					17,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Biogas/biofuel	3,8	4,2	0,0		33,3	2,6	43,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Biomassa	18,6	3,6	1,9	18,1	0,0	34,1	76,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
Finaal thermische vraag [PJ]		373,9	91,4	125,7	281,4	474,4	6,9	1353,7	114,4	114,4	0,0	0,0	0,0				
Finaal elektriciteitsverbruik [PJ]		132,5	39,7	121,6	75,7	14,6	7,3	391,4	35,1	10,5	16,6	0,3	7,8				
Non-energetisch [PJ]		602,9	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	604,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	wv gas	88,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	88,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	wv kolen	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
Warmtelevering [PJ]		76,7	7,3	9,8	19,5	0,0	-29,2	84,1	-84,1	-7,7	-76,4	0,0	0,0				
Elektriciteitslevering [PJ]		123,0	-4,5	114,2	64,4	14,6	-4,1	307,7	-268,8	4,8	-280,4	0,3	6,5				
CO2-emissies [Mton]																	
ETS	CO2 [Mton]	79,4	25,2	0,5	0,3	0,0	0,0	26,0	53,5	10,4	40,1	1,1	1,9				
nETS	CO2 [Mton]	67,6	3,4	5,0	6,7	16,4	32,5	67,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1				
Totaal	CO2 [Mton]	147,1															
Energetisch	CO2 [Mton]	137,3	21,3	5,5	6,5	16,4	32,3	85,5	51,7	9,6	40,1	0,0	2,0				
Niet energetisch	CO2 [Mton]	7,6	5,7	0,0	0,0	0,0	0,1	5,8	1,8	0,8	0,0	1,1	0,0				
Proces	CO2 [Mton]	2,2	1,6	0,0	0,5	0,0	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1				
Totaal	CO2 [Mton]	147,1	28,6	5,5	7,0	16,4	32,5	93,4	53,6	10,4	40,1	1,1	2,0				

Tabel 48: Energiebalans Scenario 4 – Centrale Klimaatactie – 2025

		Industrie	Landbouw	Diensten	Huis- houdens	Verkeer	Water en afval	Totaal eind- verbruikers	Totaal energie- sector	Raffina- derijen	Energie- bedrijven	Cokes- fabrieken	Winnings bedrijven	Import	Export	Bunkers	Winning
Verbruikssaldo [PJ]																	
	Kolen	7,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,1	170,0	0,0	160,5	9,5	0,0	382,1	205,0	0,0	0,0
	Olie	628,6	1,7	6,6	1,7	404,0	1,5	1044,1	94,4	94,4	0,0	0,0	0,0	6258,3	4534,4	768,3	182,9
	Aardgas	275,0	76,1	73,4	255,0	14,8	10,5	704,7	327,9	46,7	264,3	0,0	16,9	795,2	1329,3	0,0	1566,7
	Elektriciteit	137,3	6,4	113,0	73,8	22,1	-3,2	349,3	-239,6	4,3	-251,1	0,3	6,9	88,7	148,4	0,0	169,4
	Warmte	62,5	20,9	17,6	28,0	0,0	-27,7	101,2	-79,3	-7,3	-72,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,9
	Biogas	4,6	6,3	0,0	0,0	0,0	3,0	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,0
	Biobrandstoffen					30,8		30,8	0,0					30,8			
	Biomassa	24,2	5,5	1,9	18,1	0,0	33,4	83,1	62,5	0,0	44,4	0,0	18,1	56,7	0,0	0,0	88,9
	Overig	13,3	0,0		0,0	0,0	33,4	46,7	11,4	11,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	58,1
	Omgevingswarmte	0,6	13,5	41,5	15,6			71,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	71,2
	Waterstof							0,0	0,0	0,0							
	Uranium							0,0	42,6		42,6			42,6	0,0		
		1153,2	130,3	254,0	392,2	471,7	50,8	2452,2	389,8	149,4	188,7	9,8	41,9				
WKK [PJ]																	
	Inzet	50,7	86,7	5,6	0,0	0,0	71,1	214,1	605,9	46,0	556,4	0,0	3,5				
	Warmteproductie	29,7	42,5	2,0	0,0	0,0	25,8	100,1	96,0	18,4	76,0	0,0	1,7				
	Elektriciteitsproductie	6,7	32,8	1,7	0,0	0,0	11,2	52,5	271,0	5,7	264,3	0,0	1,0				
Winning (hernieuwbaar) [PJ]																	
	Elektriciteit	0,0	6,6	10,2	22,0	0,0	0,0	38,8	130,5	0,0	130,5	0,0	0,0				
		0,0	4,0	10,2	22,0			36,3	6,6	0,0	6,6	0,0	0,0				
	Zon	0,0	2,6					2,6	123,6	0,0	123,6	0,0	0,0				
	Wind	0,0	0,0					0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,0				
	Water	1,3	27,4	8,0	1,7	0,0	0,0	38,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Warmte	0,0	0,0	0,7	1,3			2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
		0,7	13,5	7,2	0,4			21,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Zon	1,2	13,8					15,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Aardwarmte	4,6	6,3	0,0		30,8	3,0	44,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Overig	24,2	5,5	1,9	18,1	0,0	33,4	83,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Biogas/biofuel																
	Biomassa																
		367,5	87,3	117,3	272,4	444,3	7,5	1296,2	101,3	101,3	0,0	0,0	0,0				
	Finaal thermische vraag [PJ]																
	Finaal elektriciteitsverbruik [PJ]	144,0	39,2	114,7	73,8	22,1	8,0	401,8	36,7	10,0	18,5	0,3	7,9				
	Non-energetisch [PJ]	624,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	625,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	wv gas	91,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	91,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	wv kolen	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Warmtelevering [PJ]	62,5	7,0	9,6	28,0	0,0	-27,7	79,3	-79,3	-7,3	-72,0	0,0	0,0				
	Elektriciteitslevering [PJ]	137,3	-0,2	102,8	51,7	22,1	-3,2	310,5	-364,9	4,3	-376,4	0,3	6,9				
CO2-emissies [Mton]																	
	ETS	79,5	24,6	0,4	0,2	0,0	0,0	25,2	54,3	8,8	42,8	1,1	1,7				
	nETS	60,1	3,2	3,9	4,9	14,4	3,3	60,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1				
	Totaal	139,7															
	Energetisch	129,5	19,9	4,4	4,6	14,4	3,3	76,7	52,8	8,2	42,8	0,0	1,7				
	Niet energetisch	8,0	6,3	0,0	0,0	0,1	0,0	6,4	1,6	0,6	0,0	1,1	0,0				
	Proces	2,2	1,6	0,0	0,5	0,0	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1				
	Totaal	139,7	27,8	4,4	5,1	14,4	3,3	85,2	54,5	8,8	42,8	1,1	1,8				

Tabel 49: Energiebalans Scenario 4 – Centrale Klimaatactie – 2030

		Industrie	Landbouw	Diensten	Huis- houdens	Verkeer	Water en afval	Totaal eind- verbruikers	Totaal energie- sector	Raffina- derijen	Energie- bedrijven	Cokes- fabrieken	Winnings bedrijven	Import	Export	Bunkers	Winning
Verbruikssaldo [PJ]																	
	Kolen	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3	10,0	0,0	0,0	10,0	0,0	222,3	205,0	0,0	0,0
	Olie	648,0	1,5	6,6	1,6	349,0	1,6	1008,3	80,8	80,8	0,0	0,0	0,0	6728,3	5017,1	791,8	169,7
	Aardgas	254,5	59,1	45,3	210,2	28,0	11,5	608,6	319,0	46,6	267,2	0,0	5,3	1146,1	1171,1	0,0	952,7
	Elektriciteit	147,8	13,1	111,4	74,5	35,2	-2,7	379,3	-245,6	4,0	-254,5	0,3	4,6	76,5	195,6	0,0	252,7
	Warmte	58,1	28,3	23,6	36,1	0,0	-29,0	117,1	-81,4	-7,0	-74,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,7
	Biogas	5,6	5,9	0,0	0,0	0,0	2,4	13,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,9
	Biobrandstoffen					26,6		26,6	0,0					26,6			
	Biomassa	26,7	4,2	1,5	18,1	0,0	33,4	83,8	225,0	0,0	204,7	0,0	20,4	190,5	0,0	0,0	118,4
	Overig	9,9	0,0		0,0	0,0	33,4	43,3	11,5	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	54,8
	Omgevingswarmte	0,7	10,5	56,1	31,8			99,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	99,1
	Waterstof							0,0	0,0	0,0							
	Uranium							0,0	41,8		41,8			41,8	0,0		
		1158,5	122,6	244,4	372,5	438,9	50,5	2387,4	361,1	135,9	184,6	10,4	30,2				
WKK [PJ]																	
	Inzet	35,9	67,4	3,2	0,0	0,0	70,5	177,0	603,0	43,4	557,5	0,0	2,2				
	Warmteproductie	22,1	33,0	1,1	0,0	0,0	26,4	82,6	95,8	16,4	78,4	0,0	1,0				
	Elektriciteitsproductie	3,7	25,8	1,0	0,0	0,0	11,2	41,7	275,1	5,5	269,0	0,0	0,6				
Winning (hernieuwbaar) [PJ]																	
	Elektriciteit	0,0	9,8	16,3	30,4	0,0	0,0	56,5	196,3	0,0	196,3	0,0	0,0				
		0,0	6,8	16,3	30,4			53,5	29,3	0,0	29,3	0,0	0,0				
	Wind	0,0	3,0					3,0	166,6	0,0	166,6	0,0	0,0				
	Water	0,0	0,0					0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,0				
	Warmte	1,9	32,1	14,1	1,8	0,0	0,0	49,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
		0,0	0,0	0,8	1,5			2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Aardwarmte	1,3	21,2	13,3	0,4			36,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Overig	1,4	10,8					12,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Biogas/biofuel	5,6	5,9	0,0		26,6	2,4	40,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Biomassa	26,7	4,2	1,5	18,1	0,0	33,4	83,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
Finaal thermische vraag [PJ]		360,7	80,7	109,4	260,9	397,0	7,9	1216,6	84,7	84,7	0,0	0,0	0,0				
Finaal elektriciteitsverbruik [PJ]		151,4	38,9	112,4	74,5	35,2	8,5	421,0	34,0	9,5	19,0	0,3	5,2				
Non-energetisch [PJ]		642,4	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	644,3	0,0	0,0		0,0	0,0				
	wv gas	93,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	93,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	wv kolen	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
Warmtelevering [PJ]		58,1	6,7	9,5	36,1	0,0	-29,0	81,4	-81,4	-7,0	-74,4	0,0	0,0				
Elektriciteitslevering [PJ]		147,8	3,4	95,1	44,1	35,2	-2,7	322,9	-437,4	4,0	-446,3	0,3	4,6				
CO2-emissies [Mton]																	
ETS	CO2 [Mton]	59,6	23,1	0,3	0,2	0,0	0,0	23,6	36,0	7,9	25,8	1,1	1,2				
nETS	CO2 [Mton]	51,5	3,0	3,1	3,4	11,8	26,8	51,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1				
Totaal	CO2 [Mton]	111,1															
	CCS CO2 [Mton]										-0,2						
Energetisch	CO2 [Mton]	100,3	17,5	3,4	3,0	11,8	26,7	65,7	34,5	7,5	25,8	0,0	1,2				
Niet energetisch	CO2 [Mton]	8,6	7,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,2	1,5	0,4	0,0	1,1	0,0				
Proces	CO2 [Mton]	2,2	1,6	0,0	0,5	0,0	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1				
Totaal	CO2 [Mton]	111,1	26,2	3,4	3,5	11,8	26,8	75,0	36,1	7,9	25,8	1,1	1,3				

Tabel 50: Energiebalans Scenario 4 – Centrale Klimaatactie – 2035

			Industrie	Landbouw	Diensten	Huis- houdens	Verkeer	Water en afval	Totaal eind- verbruikers	Totaal energie- sector	Raffina- derijen	Energie- bedrijven	Cokes- fabrieken	Winnings bedrijven	Import	Export	Bunkers	Winning
Verbruikssaldo [PJ]																		
	Kolen		7,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4	10,6	0,0	0,0	10,6	0,0	223,0	205,0	0,0	0,0
	Olie		683,3	1,3	6,6	1,6	258,2	1,6	952,7	57,7	57,7	0,0	0,0	0,0	7157,7	5488,6	815,3	156,6
	Aardgas		227,0	40,7	21,9	187,4	50,7	11,5	539,3	344,7	40,5	298,9	0,0	5,3	1551,2	1005,8	0,0	338,7
	Elektriciteit		158,2	19,7	109,9	72,9	60,3	-2,7	418,3	-241,1	3,7	-249,6	0,3	4,6	70,7	199,8	0,0	306,3
	Warmte		53,6	35,7	35,2	44,2	0,0	-29,0	139,7	-84,5	-6,6	-77,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	55,2
	Biogas		3,0	5,6	0,0	0,0	0,0	2,4	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0
	Biobrandstoffen						19,6		19,6	0,0					19,6			
	Biomassa		33,7	4,0	1,2	18,1	0,0	33,4	90,3	223,1	0,0	202,7	0,0	20,4	239,6	0,0	0,0	73,8
	Overig		6,5	0,0		0,0	0,0	33,4	39,9	11,6	11,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	51,4
	Omgevingswarmte		0,8	7,4	67,7	41,5			117,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	117,4
	Waterstof								0,0	0,0	0,0							
	Uranium								0,0	0,0		0,0			0,0	0,0		
			1173,5	114,4	242,5	365,7	388,9	50,5	2335,6	322,0	106,8	174,1	10,9	30,2	9261,8	6899,2	815,3	1110,3
WKK [PJ]																		
	Inzet		23,4	47,9	1,2	0,0	0,0	70,5	143,0	581,9	40,7	539,0	0,0	2,2				
	Warmteproductie		14,4	23,4	0,4	0,0	0,0	26,4	64,7	97,3	14,4	81,9	0,0	1,0				
	Elektriciteitsproductie		0,6	18,8	0,4	0,0	0,0	11,2	31,0	254,7	5,3	248,8	0,0	0,6				
Winning (hernieuwbaar) [PJ]																		
	Elektriciteit	Zon	0,0	13,0	26,1	38,7	0,0	0,0	77,8	228,5	0,0	228,5	0,0	0,0				
			0,0	9,6	26,1	38,7			74,4	32,7	0,0	32,7	0,0	0,0				
			0,0	3,4					3,4	195,5	0,0	195,5	0,0	0,0				
			0,0	0,0					0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,0				
	Warmte	Zon	2,5	42,3	25,9	2,0	0,0	0,0	72,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
			0,0	0,0	0,9	1,6			2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
			1,8	28,9	25,0	0,4			56,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
			1,6	7,8					9,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Biogas/biofuel	Overig	3,0	5,6	0,0		19,6	2,4	30,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
			33,7	4,0	1,2	18,1	0,0	33,4	90,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	Biomassa																	
Finaal thermische vraag [PJ]			354,0	74,1	102,1	257,1	323,2	7,9	1118,4	58,9	58,9	0,0	0,0	0,0				
Finaal elektriciteitsverbruik [PJ]			158,8	38,5	110,3	72,9	60,3	8,5	449,3	30,1	9,0	15,5	0,3	5,2				
Non-energetisch [PJ]			660,7	0,0	0,0	0,0	1,9	0,0	662,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	vv gas		95,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	95,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
	vv kolen		4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0				
Warmtelevering [PJ]			53,6	6,4	9,3	44,2	0,0	-29,0	84,5	-84,5	-6,6	-77,9	0,0	0,0				
Elektriciteitslevering [PJ]			158,2	6,7	83,8	34,2	60,3	-2,7	340,6	-453,2	3,7	-461,8	0,3	4,6				
CO2-emissies [Mton]																		
ETS	CO2 [Mton]	53,4	23,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	23,6	29,9	6,0	21,5	1,2	1,2				
nETS	CO2 [Mton]	42,2	3,0	2,1	2,1	10,5	21,0	3,3	42,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1				
Totaal	CO2 [Mton]	95,6																
	CCS CO2 [Mton]											-4,2						
Energetisch	CO2 [Mton]	84,2	16,8	2,3	1,7	10,5	20,8	3,3	55,6	28,6	5,9	21,5	0,0	1,2				
Niet energetisch	CO2 [Mton]	9,2	7,8	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	7,9	1,3	0,1	0,0	1,2	0,0				
Proces	CO2 [Mton]	2,2	1,6	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1				
Totaal	CO2 [Mton]	95,7	26,3	2,3	2,2	10,5	21,0	3,3	65,7	30,0	6,0	21,5	1,2	1,3				

ECN

Westerduinweg 3
1755 LE Petten

Postbus 1
1755 ZG Petten

T 088 515 4949
F 088 515 8338
info@ecn.nl
www.ecn.nl