



Rapport

Het 'warmtescenario': Beelden van een op warmte gerichte energievoorziening in 2030 en 2050

Scenariostudie ten behoeve van het Klimaatakkoord

Eindrapport, 25-9-2018

Berenschot

Het 'warmtescenario': Beelden van een op warmte gerichte energievoorziening in 2030 en 2050

Scenariostudie ten behoeve van het Klimaatakkoord

Eindrapport, 25-9-2018

Bert den Ouden | Jan Warnaars | Rutger Bianchi | Niki Lintmeijer

Berenschot

Inhoudsopgave

Samenvatting	5
Warmtescenario: aanleiding en resultaat	5
Dekking van de warmtevraag	7
Systeemeffecten en vergelijking.....	7
Pad naar realisering.....	8
 1. Inleiding, doel en scope	 9
1.1 Achtergrond.....	9
1.2 Doel & scope	9
 2. Uitgangspunten warmtescenario	 11
2.1 Het warmtescenario gaat uit van 3 voornaamste warmtebronnen: restwarmte, geothermie en zon-thermisch.....	11
2.2 Het potentieel van industriële restwarmte in warmtenetten wordt geschat op 100 PJ in 2050	12
2.3 Het potentieel van geothermie wordt geschat op 210 PJ in 2050	13
2.4 Het potentieel van zon-thermisch wordt geschat op 107 PJ in 2050	13
2.5 De inzet van warmte vraagt voor een grootschalige voorziening in warmtenetten	14
2.6 Warmtebronnen	14
2.7 Aangenomen waterstofmix.....	14
2.8 Waterstofproductie.....	14
 3. Beelden van de energievoorziening van het warmtescenario in 2030 en 2050.....	 15
3.1 Opgesteld vermogen	15
3.2 De industrie beweegt naar een gebalanceerde mix van energiedragers	15
3.3 Finale energiemix in de industrie	17
3.4 In de gebouwde omgeving staat warmte centraal in de energiemix	17
3.5 Kosten van het energiesysteem lopen op tot 2050, voornamelijk door de productie van waterstof, netwerkkosten en isolatie	17
3.6 Netwerkkosten lopen op ten gevolge van het warmtenet	18
3.7 Brandstofkosten: verschuiving van fossiele brandstof naar duurzame brandstoffen	18
3.8 Scenario voornamelijk gevoelig voor kosten van Wind Op Zee.....	19
3.9 Reductie in CO ₂ -uitstoot eerst voornamelijk in Gebouwde Omgeving, vervolgens in industrie en mobiliteit	19
3.10 Werkgelegenheid verdrievoudigt voornamelijk ten gevolge plaatsing en onderhoud van duurzame energieproductie en gebouwinstallaties	20
 4. Mate van hybridisering en flexibiliteit	 21
4.1 Simulatie elektriciteitsvraag in koudste winter warmtescenario 2030	21
4.2 Simulatie elektriciteitsvraag in koudste winter warmtescenario 2050	21
 5. Voornaamste uitkomsten, vergelijking met andere scenario's en implementatie	 23
5.1 Kosten van het warmtescenario liggen tussen elektronen- en molecuulscenario	23
5.2 Vergelijking met Elektronen / Moleculen: vermogen en energiemix.....	23
5.3 Vergelijking met Elektronen / Moleculen: daling fossiele inzet.....	24
5.4 Voor het realiseren van een toekomst met voldoende duurzame warmte, zullen technische en beleids-innovaties nodig zijn	24
5.5 Beleidsinnovatie.....	24
5.6 Verder onderzoek naar de meerwaarde van warmte- .. oplossingen	25
5.7 Voornaamste uitkomsten van het warmte-scenario ..	25
 Bijlage	 27

Samenvatting

Deze studie is uitgevoerd door Berenschot in opdracht van RVO in het kader van het TKI energie en industrie, onderdeel van de Topsector Energie.

Voor deze studie heeft Berenschot gebruik gemaakt van eigen berekeningen in combinatie met het Energietransitiemodel. Het Energietransitiemodel is een onafhankelijk, uitgebreid en op feiten gebaseerd energiemodel, dat wordt gebruikt door overheden, bedrijven en NGO's.

Warmtescenario: aanleiding en resultaat

Aanleiding: derde scenario nodig naast “Elektronen” en “Moleculen”

In april 2018 publiceerde Berenschot scenario's met 2 mogelijke richtingen in de energietransitie: “Elektronen”, waarbij maximaal wordt ingezet op duurzame bronnen en all-electric elektrificatie; en “Moleculen”, waarbij maximaal wordt ingezet op schoon fossiel en hybride elektrificatie. Met beide richtingen is een CO₂-reductie van 95% in 2050 te bereiken, op zeer verschillende wijze.

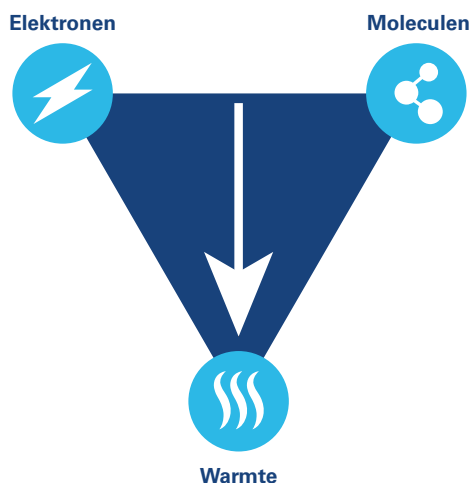
Deze elektronen- en moleculenscenario's¹ verschillen voldoende om inzichten te verkrijgen over keuzes en consequenties in de energietransitie. Wel tonen deze scenario's een extreme weergave van varianten, waarbij een ‘middenweg’ nog ontbreekt.

Naar aanleiding hiervan is de roep ontstaan voor een derde scenario, waarbij elementen van Elektronen en Moleculen worden ingezet en daarbij langs een derde as naar een CO₂-neutraal optimum wordt toegewerkt, via warmte.

Dit zogenaamde “warmtescenario” zoekt naar een optimale inzet van warmtebronnen in alle sectoren in Nederland, om extreme pieken in het systeem mee te kunnen afvlakken. Daarnaast wordt ook de mogelijkheid meegenomen van import van duurzame energiedragers namelijk waterstof en (beperkte) biomassa, daar waar Elektronen en Moleculen nog uitgingen van uitsluitend aardgas-import.

Resultaat warmtescenario: sterk duurzaam, beperkte kosten

Deze scenario exercitie laat zien dat met inzet op warmte, een hybride mix en enige mate van duurzame import, een CO₂-neutrale toekomst in 2050 wordt bereikt met een hoge mate van duurzaamheid, en tegen relatief beperkte meerkosten. Eerdere scenario's gaven ofwel hoge duurzaamheid met relatief hoge kosten (“Elektronen”), ofwel schoon-fossiel met lagere meerkosten (“Moleculen”). Het “warmtescenario” is dus meer dan een middenweg daartussen; het geeft ook een extra waarde. Dit vooral door de duurzame inzet te diversificeren en meer te richten op de omvangrijke warmte-eindvraag. Hierdoor zijn er minder omzettingen met minder verliezen in het energiesysteem, en een lagere stijging van het elektrisch piekvermogen. De praktische uitdaging in dit scenario wordt de realisering van de extra warmte-infrastructuur.



¹ Stichting Platform Geothermie, DAGO, Stichting Warmtenetwerk, EBN (2018), Masterplan Aardwarmte in Nederland



Dekking van de warmtevraag

Dit scenario werkt met een zo groot mogelijke dekking van de warmte-eindvraag door middel van duurzame warmte: geothermie, zon-thermisch en restwarmte uit bedrijven (industrie, datacenters). De resterende vraag is dan op warmtepompen en groene gassen. Bij geothermie wordt uitgegaan van nieuw onderzoek naar het potentieel hiervan². Zon-thermisch bestaat uit zonneboilers en ook PVT (Fotovoltaïsch thermische) panelen; deze combineren goed met warmtepompen en zorgen voor betere benutting van de schaarse ruimte in Nederland. De vrijkomende industriële restwarmtestromen zien we op zich dalen vanwege besparingen en interne restwarmtebenutting, maar de benutting van deze restwarmte wordt in dit scenario beter over de jaren.

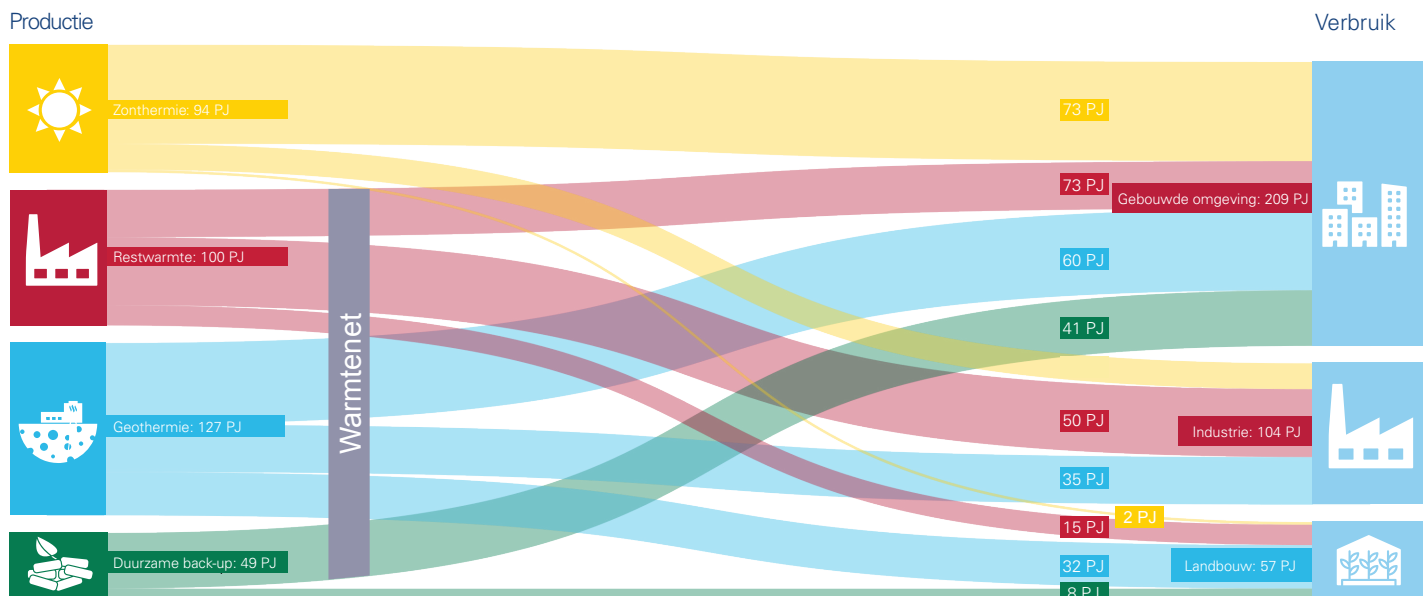
Systeemeffecten en vergelijking

Directe warmtedekking en hybridisering zorgen voor grote dekking van piekvraag en meer flexibiliteit (minder back-up nodig)

De directe dekking van warmtevraag door duurzame warmte zorgt op systeemniveau voor een lagere piekvraag. Deze wordt nog extra verminderd c.q. gedekt door flexibiliteit uit hybride systemen. Hierbij kan de warmte-opwekking van elektrische warmtepompen overgenomen worden door ketels draaiend op groen gas of waterstof. Een hybride systeem in de industrie en gebouwde omgeving levert in dit scenario een totale flex van 6 GW (Gigawatt), waardoor minder piekcentrales nodig zijn.

Hierdoor is minder centrale back-up nodig dan in eerder opgestelde scenario's, bovendien ruimer gespreid over biomassa, groen gas en waterstof. Dat vergt een relatief beperkt volume waterstof, wat bovendien gedekt wordt uit gespreide bronnen: "groene waterstof" uit windenergie i.c.m. elektrolyse, "blauwe" waterstof uit aardgas met CCS, en import van waterstof uit het buitenland.

In 2050 kan dit gecombineerde warmtepotentieel oplopen tot 370 PJ



² Stichting Platform Geothermie, DAGO, Stichting Warmtenetwerk, EBN (2018), Masterplan Aardwarmte in Nederland

Vergelijking met elektronenscenario en moleculenscenario: belangrijkste verschillen

- Het warmtescenario is bijna even duurzaam als het elektronenscenario, en bijna even goedkoop als het moleculenscenario.
- Er is import van waterstof en biomassa, daardoor meer onzekerheid rondom de ontwikkeling van deze internationale markten.
- Waar “Elektronen” een windvermogen heeft van 113 GW in 2050, heeft het warmtescenario genoeg aan 43 GW. Ook zijn er minder investeringen in het elektriciteitsnet, offshore en onshore. Dit verbetert de inpassing en reduceert de kosten.
- In vergelijking met “Moleculen”, dat in 2050 geen olie en kolen meer verbruikt maar nog wel ongeveer het huidige aardgasvolume (34 miljard m³) als input voor blauwe waterstof, is het jaarverbruik van fossiel aardgas in dit warmtescenario veel kleiner (6 miljard m³). Ook is de behoefte aan CO₂-bergingscapaciteit in het warmtescenario uiteraard veel lager.
- Het warmtescenario heeft minder energie-omzettingsverlies. Zoals in andere scenario's zijn er kosten voor infrastructuur en productiereserves i.v.m. intermitterende opwekking en elektrificatie, echter met lagere omvang. Wel zijn er extra netwerkkosten door aanleg en onderhoud van een omvangrijke nieuwe warmte-infrastructuur, wat een flinke uitdaging kan zijn in realisering.

Pad naar realisering

Het warmtescenario is niet zonder uitdagingen. De uitbouw van de warmtenetten is een grote opgave, en de realisering is afhankelijk van een technische- en beleidsinnovaties.

Opschaling, systeemintegratie en temperatuur-optimalisatie

Voor het realiseren van het potentieel aan duurzame warmte moeten een aantal technieken opgeschaald worden naar massatoepassing zoals PVT panelen en stuurbare hybride elektrificatie (zowel in gebouwde omgeving als industrie). Optimalisatie van warmtenetten is belangrijk, bijvoorbeeld warmtebuffering, cascadering en oplossingen in de bestaande bouw voor overgang op lagere warmtesysteem-temperaturen.

Innovatie voor additionele warmtetechnieken

Naast de opties in deze scenarioverkenning zijn er additionele technieken die extra kunnen bijdragen: hoge-temperatuur warmtepompen in de industrie; een grotere rol voor absorptiekoeling in utiliteitsbouw, restwarmte uit datacenters, rioolwarmte, mijnwater, en zon-thermisch met seizoenopslag. Verder onderzoek naar dit potentieel wordt aangeraden.

Beleidsinnovatie

Op het gebied van beleid en wet- en regelgeving, zijn de volgende zaken belangrijk voor de warmtetransitie: een sterk en consistent organisatorisch kader voor exploratie van geothermie; ondersteuning voor een projectgerichte aanpak (projectbureau) voor gebieden met warmtenetten, een financiële stimulans voor warmtenetten en warmtetechniek op dezelfde basis als andere technieken voor CO₂-reductie en duurzaamheid, het meewoorden in het ETS van de CO₂-reductie door industriële restwarmtelevering, en adequate beloning voor verbruikers met warmtesystemen die de flexbehoefte reduceren of flexibiliteit leveren voor het elektriciteitsnet, zoals stuurbare hybride warmtesystemen.

Werk en beschikbaarheid personeel voor de Energietransitie

De grote groei aan personele inzet voor de maatregelen en de aanleg van infrastructuur moet worden ondervangen door stimulering, opleidingen en innovaties. Daarnaast adviseren we een integraal onderzoek te doen naar de personele efficiency van de Energietransitie: hoe maximaliseren we de transitie met een beperkte hoeveelheid technische human resources.

1. Inleiding, doel en scope

1.1 Achtergrond

De Nederlandse overheid heeft het beleid om in 2050 te komen tot een netto reductie van 80-95% van de nationale CO₂-uitstoot ten opzichte van 1990. Hiermee staat de maatschappij voor een grote opgave. Voor de industrie in het bijzonder is de uitdaging groot, vanwege het grote energieverbruik voor hoge temperatuurwarmte (>250 °C)

Momenteel wordt gewerkt aan de opzet van het Klimaatakkoord, waarin met verschillende partijen wordt nagedacht over concrete afspraken om tot 49% CO₂-reductie in 2030 te komen ten opzichte van 1990. De invulling van deze afspraken is momenteel nog onzeker en vraagt in veel gevallen om verdiepende inzichten ten aanzien van mogelijke transitiepaden richting 2030 en 2050. In april 2018 publiceerde Berenschot een verdiepende studie van twee mogelijke richtingen in de energietransitie: Elektronen, waarbij maximaal wordt ingezet op elektrificatie en Moleculen, waarbij fossiele energiebronnen maximaal worden ingezet (met CCS). Beide richtingen stelden een CO₂-reductie van minimaal 95% in 2050 als randvoorwaarde.

Nadere beschouwing van de opgestelde scenario-analyse leerde, dat de elektronen- en moleculenscenario's onderling voldoende verschillen om inzichten te verkrijgen over keuzes en consequenties in de energietransitie. Tegelijkertijd toonden deze scenario's nadrukkelijk een extreme weergave van varianten, waarbij een mogelijke 'derde as' ontbrak. Daarom is bij bestudering van deze scenario's de roep ontstaan voor een scenario, waarbij elementen van Elektronen en Moleculen worden ingezet en daarbij langs een derde as naar een CO₂-neutraal optimum wordt toegewerkt, via warmte. Dit zogenaamde "warmtescenario" zoekt naar een optimale inzet van warmtebronnen in alle sectoren in Nederland, om extreme pieken in het systeem mee te kunnen afvlakken. Daarnaast wordt ook de mogelijkheid meegenomen van import van duurzame energiedragers namelijk waterstof en (beperkte) biomassa, daar waar Elektronen en Moleculen nog uitgingen van uitsluitend aardgas-import.

1.2 Doel & scope

Doel

Het doel van deze rapportage is om inzicht te bieden in een via warmte geoptimaliseerd energiesysteem voor 2030 en 2050, waarbij elementen uit zowel het elektronen- als het moleculenscenario worden ingezet. Daarmee biedt het rapport inzicht in:

- de mogelijkheden voor de optimale inzet van warmtebronnen in verschillende sectoren;
- de mate waarin de inzet van warmtebronnen leidt tot CO₂-reductie;
- de mate waarin warmte voor hybridisering, en daarmee voor reductie van de piekvraag kan zorgen;
- de financiële consequenties en randvoorwaarden bij de inzet van warmtebronnen.
- De focus van deze rapportage ligt op de integrale inventarisatie van (consequenties van) de inzet van warmtebronnen, met een nadruk op de rol van de industrie.

Scope

We geven middels deze rapportage inzicht in het energiesysteem in 2030 en 2050 aan de hand van:

- Warmtestromen
- Opgestelde vermogens
- Energiemix
- Kosten
- Kosten voor infrastructuur
- Werkgelegenheid
- Vergelijking tussen Elektronen en Moleculen
- Mate van hybridisering en flexbehoefte

De berekeningen zijn gemaakt met behulp van de meest recente versie van het Energietransitiemodel (ETM), waar nodig aangevuld met eigen berekeningen van Berenschot.



2. Uitgangspunten warmtescenario

Hoofdstuk 2 focust op de uitgangspunten van het warmtescenario, waarbij een overzicht wordt gegeven van mogelijke warmtebronnen en hun potentieel. Dit hoofdstuk laat tevens een verdere verdieping naar sectoren zien.

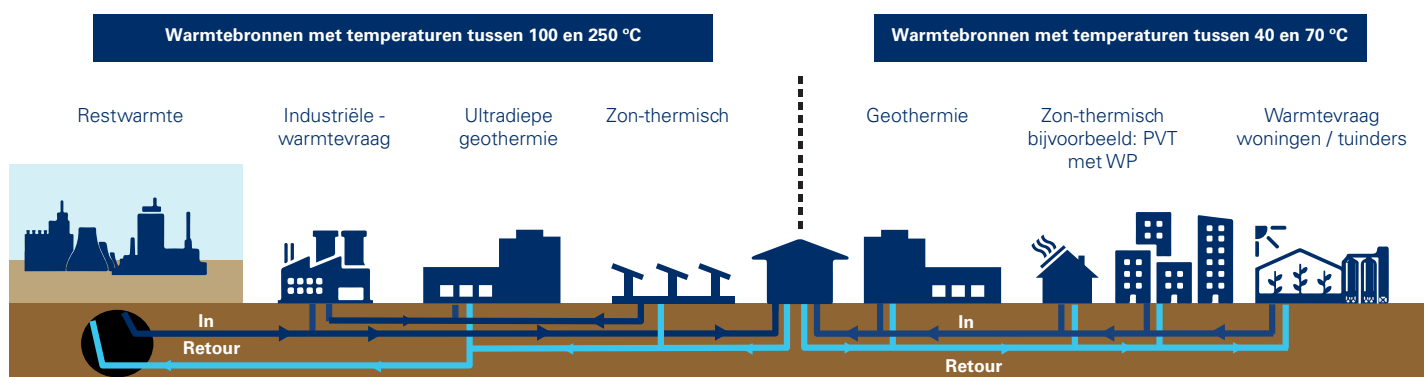
2.1 Het warmtescenario gaat uit van 3 voornaamste warmtebronnen: restwarmte, geothermie en zon-thermisch

Het uitgangspunt van deze studie betreft de optimale inzet van warmtebronnen voor alle sectoren in Nederland. Het doel hiervan is om zichtbaar te maken in hoeverre warmte kan zorgen voor een optimalisatie van het energiesysteem en een afvlakking van (kostbare) pieken in het elektriciteitsnet.

De inzet van duurzame warmtebronnen is mogelijk op drie manieren: via restwarmte (uit de industrie), via geothermie en via zon-thermisch.

Voor elk van deze drie opties is een inschatting gemaakt van het totaalpotentieel en bijbehorende randvoorwaarden (zoals de beschikbaarheid van warmtenetten), zie volgende slides. De vraag naar duurzame warmte is kleiner dan het potentieel van deze bronnen bij elkaar opgeteld, waardoor deze bronnen met elkaar zullen concurreren.

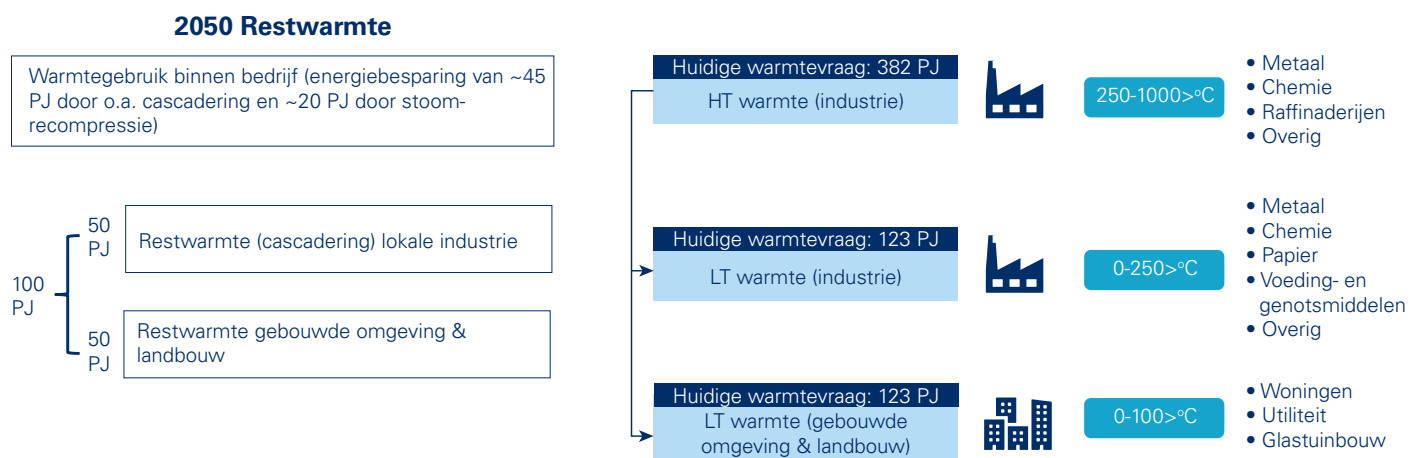
Deze warmtebronnen bieden voordelen voor het gehele energiesysteem, maar zijn in het huidige systeem vaak nog achtergesteld. Mogelijkheden om warmte op waarde te schatten en opschaling te stimuleren zijn: beloning van besparing in flexcapaciteit; waarde toekenning aan warmte ook voor besparing van CO₂-uitstoot in andere sectoren; level-playing field in SDE+ met andere duurzame technieken.



2.2 Het potentieel van industriële restwarmte in warmtenetten wordt geschat op 100 PJ³ in 2050

Restwarmte uit de industrie (waaronder ook datacenters) kan een belangrijke bijdrage leveren aan de verwarming van lage temperaturen (< 250 °C) in andere sectoren. Cascadering van hoge temperatuurwarmte (> 250 °C) in de industrie kan, zoals nu in beperkte mate al gebeurt, trapsgewijs zorgen voor verwarming van warmteprocessen op lagere temperaturen, zowel binnen als buiten de industrie. Het potentieel van restwarmte wordt geschat op 50 PJ voor de (lokale) industrie en 50 PJ voor de (lokale) gebouwde omgeving en landbouw.

De aanwezigheid van warmtenetten is hierbij uiteraard randvoorwaardelijk. Bij hogere temperaturen vindt warmtecascadering en heropwaardering van warmtestromen nu al plaats in de industrie, we gaan er van uit dat dit naar 2050 toe steeds belangrijker wordt. Richting 2050 daalt de warmtevraag in de industrie door o.a. besparingen, echter de nog resterende restwarmte wordt dan wel veel beter dan nu benut zowel binnen de industrie als in de gebouwde omgeving.



3 Hoogervorst, N. (2017), Toekomstbeeld klimaatneutrale warmtenetten in Nederland, Den Haag: PBL.

2.3 Het potentieel van geothermie wordt geschat op 210 PJ in 2050⁴

Geothermie

Geothermie is een grote potentiële bron van duurzame energie in Nederland. Momenteel zijn er zo'n 17 doubletten in Nederland gerealiseerd. Om een grote rol voor geothermie waar te maken is opschaling i.c.m. warmtenetten vereist. Energiebeheer Nederland (EBN) heeft hiervoor in samenwerking met TNO een methode ontwikkeld, de zogenoemde 'play-based portfolio benadering'. Het potentieel van deze methode is door IF-technology en CE Delft gesimuleerd. Met de indicaties die uit deze exercitie naar voren komen, hebben Stichting Platform Geothermie, DAGO, Stichting Warmtenetwerk en EBN in het Masterplan Aardwarmte in Nederland een ambitie voor geothermie (aardwarmte) in Nederland neergezet. Deze ambitie toont een potentieel van ongeveer 210 PJ geothermie in 2050 voor heel Nederland (alle sectoren).

Opschaling van aardwarmte als warmtebron per sector, PJ

2018	3
Glastuinbouw	~ 30
Gebouwde omgeving - bestaand warmtenet	~ 10
Gebouwde omgeving - nieuw warmtenet	~ 10
Lichte industrie (UDG)	1-10
2030	50
Glastuinbouw	~ 10
Gebouwde omgeving - bestaand warmtenet	~ 5
Gebouwde omgeving - nieuw warmtenet	~ 110
Lichte industrie (UDG)	~ 25+
2050	200+

NB: dit betekent niet noodzakelijkerwijs dat het potentieel volledig wordt benut: in het warmtescenario benutten we slechts 60% van dit totaalpotentieel, maar gaan we wel uit van het totaalpotentieel aan aansluitingen (energiebesparing in de gebouwde omgeving zorgt namelijk voor een vermindering van de warmtevraag).

2.4 Het potentieel van zon-thermisch wordt geschat op 107 PJ in 2050

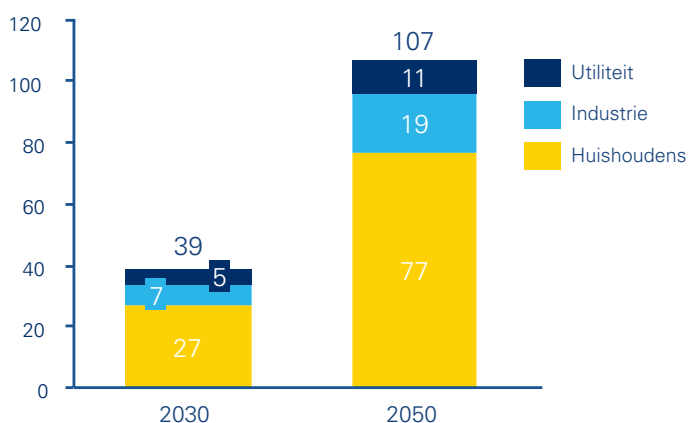
Potentieel

In een studie van Holland Solar wordt het praktische potentieel voor Nederland in 2050 geschat op 107 PJ/jr. Randvoorwaardelijk hiervoor is het combineren van ruimte voor fotovoltaïsche systemen met zonthermische systemen. Bijvoorbeeld met PVT-panelen, waarin beide geïntegreerd zijn.

Zon-thermisch

Zonnewarmte wordt al sinds de jaren 70 toegepast en is een grote duurzame bron voor warmwater. Zonnewarmte opgewekt met zonnecollectoren wordt opgeslagen in een boilervat en kan op deze manier voorzien in ruimteverwarming of (na extra elektrische verwarming) in tapwater.

Hoewel momenteel in de energietransitie veel nadruk wordt gelegd op elektrificatie met behulp van zon-PV, kan zon-thermisch een belangrijke bijdrage leveren als warmtebron en tegelijkertijd de elektrische piekvraag in de winter reduceren. Bijvoorbeeld in het geval van een volledig elektrische woning met warmtepomp, is een weerstandverwarming met een hoog vermogen aanwezig om in tapwater te voorzien. Wanneer de warmtepomp gecombineerd wordt met zonnecollectoren, kan deze piekvraag worden gereduceerd. Bovendien kunnen de zonnecollectoren de COP van de warmtepomp verhogen.



4 Bron: Holland Solar (2015). Ruimte voor zonne-energie.
Bron: Stichting Platform Geothermie, DAGO, Stichting Warmtenetwerk, EBN (2018), Masterplan Aardwarmte in Nederland

2.5 De inzet van warmte vraagt voor een grootschalige voorziening in warmtenetten

Warmtenetten

Het transport van warmte betekent in veel gevallen het aanleggen van nieuwe warmte-infrastructuur. Warmte heeft in verhouding tot andere energie-infrastructuren aanzienlijke verliezen (~15 tot 25% in huidige warmtenetten), dat maakt dat transport van warmte over grote afstanden beperkt dient te worden.

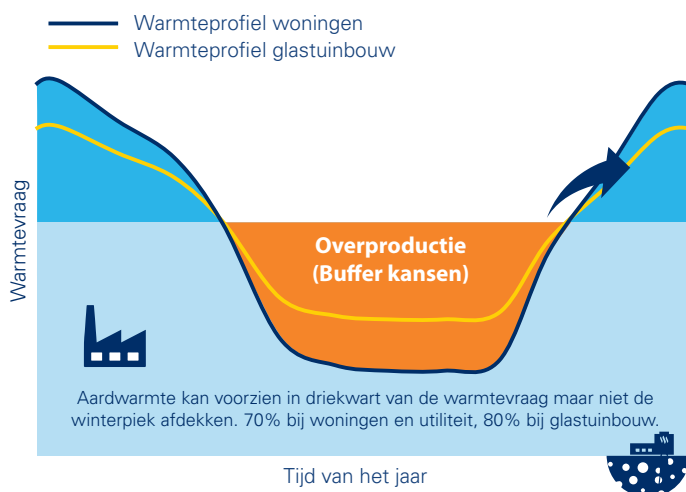
2.6 Warmtebronnen

Voor duurzame warmte in warmtenetten zijn er vier opties:

- Aardwarmte
- Restwarmte (uit duurzame productie)
- Warmtepompen (eventueel in combinatie met zonnecollectoren of oppervlaktewater)
- Verbrandingsketels (Biomassa, waterstof of groen gas)

Aardwarmte en restwarmte kunnen niet het hele jaar rendabel in de volledige warmte voorzien. Vanwege seizoensfluctuaties is in dit scenario gekozen om van back-up installaties (30%) uit te gaan, die de extra vraag in de winter opvangen. Buffers (om de winterpiek en zomer-overproductie te balanceren) en de impact daarvan zijn voor verdere studie en optimalisatie.

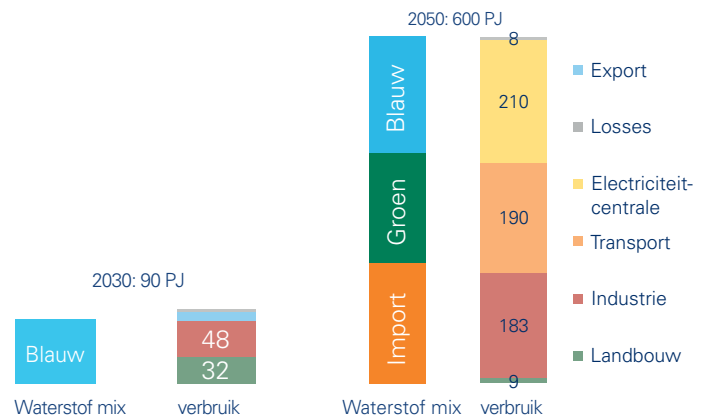
Illustratie vraagprofiel en invulling met restwarmte/aardwarmte t.o.v. winter back-up



2.7 Aangenomen waterstofmix

In dit scenario zijn we uitgegaan van een geleidelijke ingroei van blauwe waterstof richting 2030. Groene waterstofproductie is tot 2030 nog te kostbaar en heeft ook een groot extra volume aan duurzame bronnen nodig; dit moet in demo's worden ontwikkeld tot 2030, maar komt pas na 2030 goed op gang qua volume. De mix voor 2050 is aangenomen als een gelijkmatige verdeling tussen blauwe waterstof, groene waterstof uit Nederland en import van buitenlandse groene waterstof.

Waterstof mix en energetisch verbruik (in PJ)



Waterstofketen



2.8 Waterstofproductie

Momenteel wordt al veel waterstof geproduceerd als feedstock bijvoorbeeld voor de kunstmestindustrie. Deze waterstof wordt gemaakt uit aardgas via SMR (steam methane reforming) en de hierbij vrijkomende CO₂ gaat thans nog de lucht in: zogenaamde grijze waterstof. Het is mogelijk om bij SMR een deel van de CO₂ af te vangen (CCS).

Door het proces van ATR (auto thermal reforming) te gebruiken, kan alle CO₂ in dit proces worden afgevangen en opgeborgen, de vrijkomende “blauwe” waterstof is dan geheel CO₂-vrij.

Een derde optie is hernieuwbare waterstof productie, oftewel ‘groene’ waterstof, met behulp van elektrolyse van duurzame stroom uit wind- of zonne-energie. Dat kan op basis van duurzame bronnen in Nederland, maar met import van waterstof uit duurzame bronnen plus elektrolyse in het buitenland.

3. Beelden van de energievoorziening van het warmtescenario in 2030 en 2050

In dit hoofdstuk worden de integrale uitkomsten van het scenario getoond, kijkend naar opgestelde vermogens, kosten, en vergelijkingen met de elektronen- en molecuulenscenario's.

3.1 Opgesteld vermogen

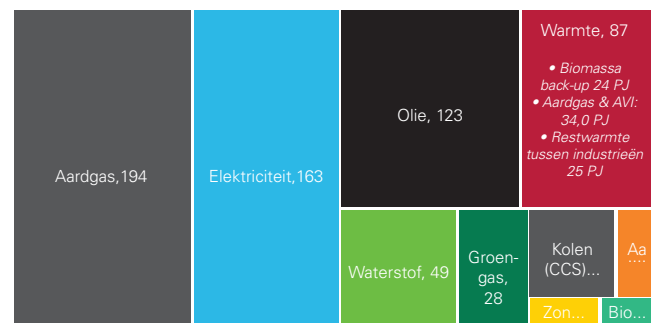
In het warmtescenario wordt een aanzienlijk deel van de warmtevraag in de gebouwde omgeving en de industrie ingevuld door restwarmte, geothermie en zon-thermisch. Hiermee is de groei van met name het opgesteld vermogen aan Wind op Zee, relatief beperkt ten opzichte van het elektronenscenario (waar all-electric een grotere rol inneemt).

Desalniettemin wordt een grote groei aan opgesteld zonnevermogen verondersteld, die al in 2030 op 40 GW uitkomt en tot 2050 oploopt tot 53,5 GW.

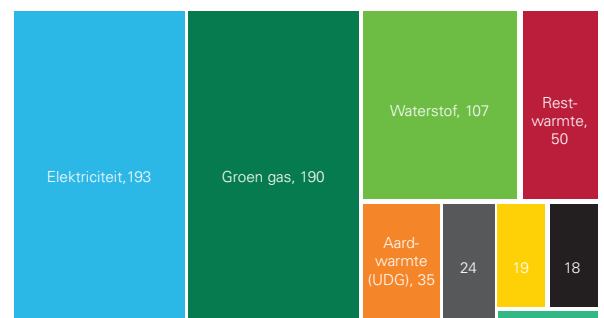
Voor het baseload vermogen aan elektriciteit, worden in 2050 gascentrales met CCS en waterstofcentrales ingezet. Naast het elektrisch vermogen wordt 30 GW aan elektrolyzers ingezet voor waterstofproductie, waarvan een deel energie uit wind ver op zee omzet in waterstof, wat vervolgens naar land wordt getransporteerd. Een ander deel zijn elektrolyzers op land, die overschotten van zon- en windenergie opvangen.

3.2 De industrie beweegt naar een gebalanceerde mix van energiedragers

Finale energiemix in 2030: 692 PJ



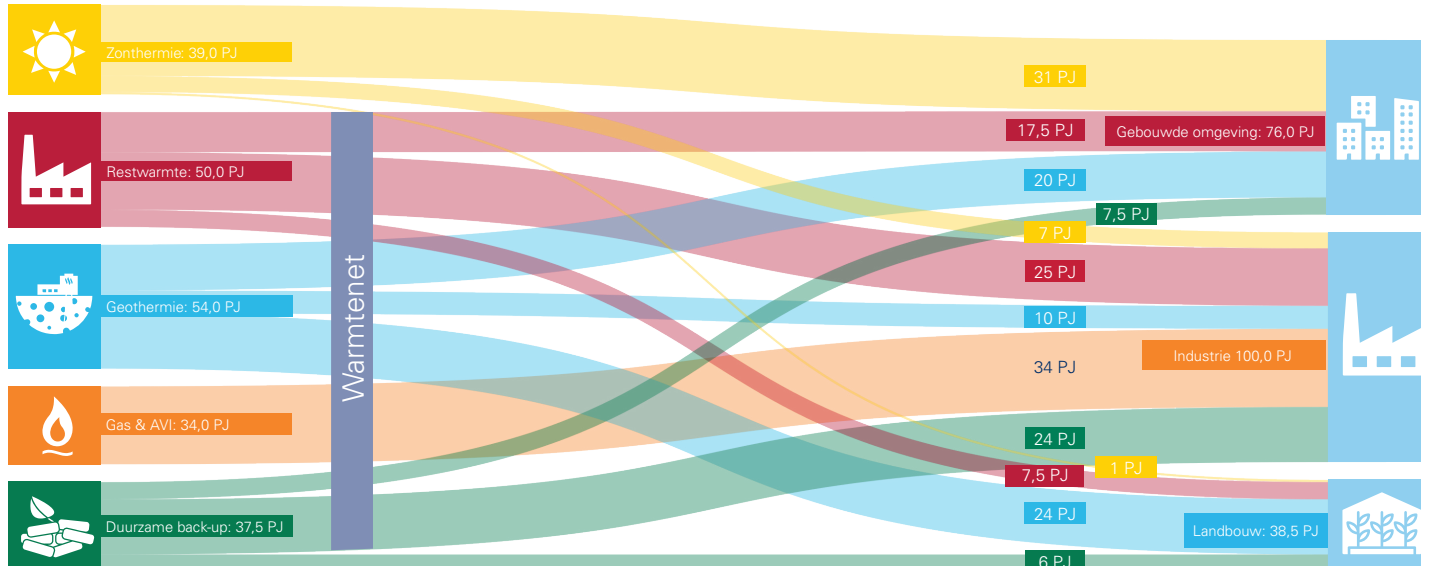
Finale energiemix in 2050: 642 PJ



Het gecombineerde warmtepotentieel (buiten intern gebruik in de industrie) leidt tot een optimale warmte inzet van 215 PJ in 2030

Productie

Verbruik



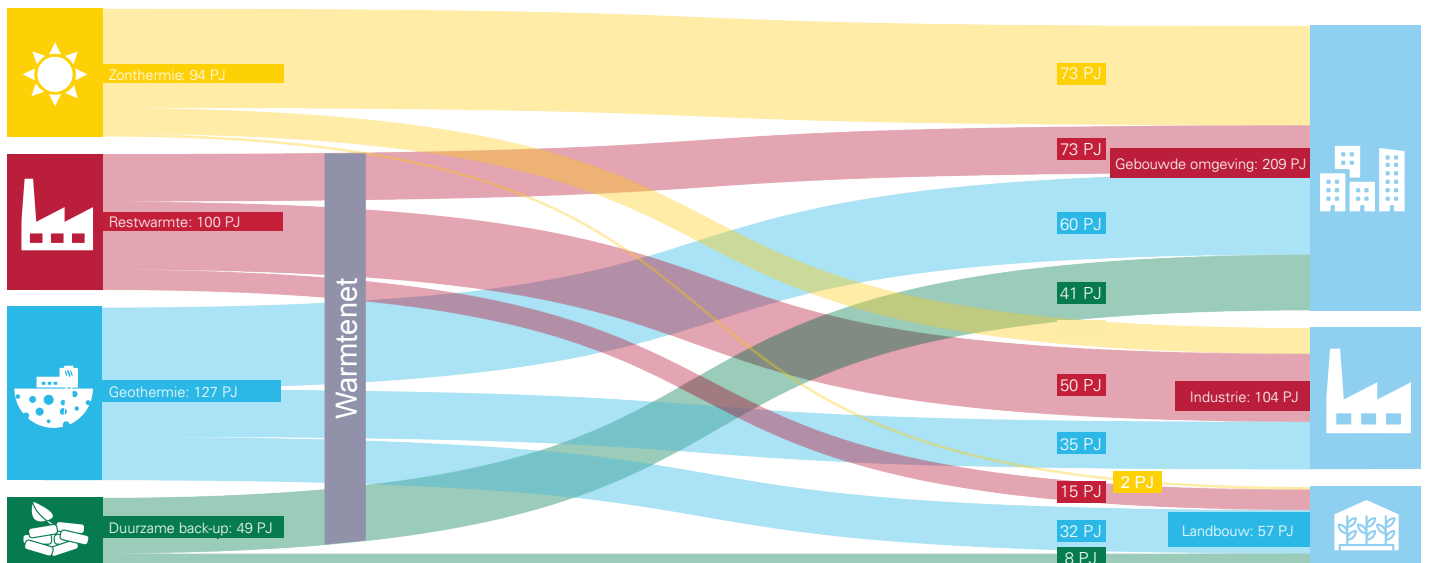
Datacenters vallen hier ook onder industrie.

In 2050 kan dit gecombineerde warmtepotentieel oplopen tot 370 PJ

Warmtegebruik binnen bedrijven in de industrie wordt modelmatig gezien als energiebesparing en zit daarom niet in onderstaand figuur. Hiervoor is aangenomen ~45 PJ besparing door o.a. cascadering en ~20 PJ door stoomrecompressie. Hoge temperatuur warmtepompen zijn in deze studie niet meegenomen.

Productie

Verbruik



Datacenters vallen hier ook onder industrie.

3.3 Finale energiemix in de industrie

Ondanks groei van de industrie, wordt door energiebesparing de totale energetische vraag kleiner tot 2050⁵. In het warmtescenario wordt het aardgasgebruik in de industrie geleidelijk afgebouwd en vervangen door warmte, groen gas, elektriciteit en waterstof. Hiermee leunt de industrie van 2050 niet direct op één optie, maar op een gebalanceerde mix van energiedragers.

Groen gas en waterstof zorgen voor het grootste deel van de hogetemperatuur warmtevoorziening. Elektriciteit en warmte worden voornamelijk ingezet voor lagere temperaturen (tot 200 graden Celsius). De warmte komt daarbij deels voort uit eigen cascadering naar lage temperaturen (50 PJ), en deels uit ultradiepe geothermie (35 PJ). Een klein aandeel (19 PJ) is afkomstig van zon-thermisch.

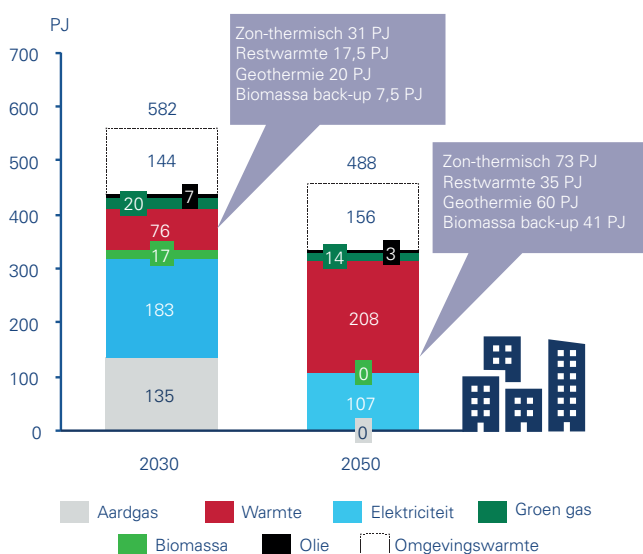
N.B. HT-warmtepompen zijn niet meegenomen in deze studie.

3.4 In de gebouwde omgeving staat warmte centraal in de energiemix

Energiemix in de gebouwde omgeving

In de gebouwde omgeving zorgen isolatie en efficiëntieverbeteringen voor een flinke afname van de warmtevraag. Door de hogere isolatiegraad in 2050 daalt ook de benodigde elektriciteit voor warmtepompen ten opzichte van 2030. De finale energievraag van 332 PJ in 2050 wordt voor ruim 60% ingevuld door warmte, waarvan 73 PJ uit zon-thermisch en 60 PJ uit geothermie.

Finale energiemix in de gebouwde omgeving (in PJ)



⁵ Uit gegaan wordt van 1% efficiency verbetering per jaar tot aan 2030, wat uitkomt op ~13% meer efficiency in 2030 t.o.v. nu. Tussen 2030 en 2050 is het uitgangspunt nog een ~6% efficiency verbetering.

Maatregelen

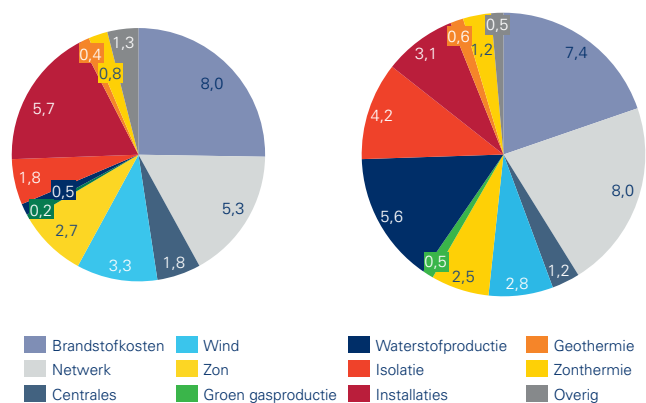
In het warmtescenario wordt verondersteld dat in 2050 45% van de huishoudens is aangesloten op een warmtenet. Ook in de utiliteitsbouw wordt 48% van de gebouwen voorzien van warmte uit het warmtenet. De resterende huizen en gebouwen worden in hun warmtevraag voorzien via zon-thermisch of via (hybride) warmtepompen. Deze verdeling zorgt voor een sterk verminderde piekvraag ten opzichte van het elektronenscenario, met dezelfde mate van duurzaamheid. Woningen worden ook minder zwaar geïsoleerd ten opzichte van de vorige scenario's, waardoor dit scenario veel minder invasieve aanpassingen vraagt binnen de woningen.

3.5 Kosten van het energiesysteem lopen op tot 2050, voornamelijk door de productie van waterstof, netwerkkosten en isolatie⁶

Kosten in het warmtescenario

Kosten van het energiesysteem in 2030: 31,7 mrd euro/jaar voor CAPEX en OPEX

Kosten van het energiesysteem in 2050: 37,5 mrd euro/jaar voor CAPEX en OPEX



- Door betere isolatie in de GO en een hogere mate van energiebesparing in de industrie, zijn er steeds minder/kleinere verwarmings-installaties nodig; daardoor zijn er ook minder brandstofkosten in 2050 ten opzichte van 2030.
- Waterstoffproductie is in 2050 12% van de jaarlijkse kosten van het energiesysteem.
- Netwerkkosten stijgen door groei in warmtenetten en verdere elektrificatie.
- Warmtebronnen zullen ten dele met elkaar concurreren (afhankelijk van lokale omstandigheden): geothermie (€ 0,6 mlrd voor 127 PJ in 2050) lijkt bijvoorbeeld goedkoper dan zon-thermisch (€ 1,2 mlrd voor 94 PJ in 2050).

⁶ Brandstofkosten zijn de kosten van brandstofimport. Brandstof die in het systeem wordt gemaakt, zoals groen gas en waterstof, zijn niet meegenomen. Deze kosten zitten in de installaties met bijbehorende B&O kosten. Om dezelfde reden zijn ook elektriciteitskosten buiten beschouwing gelaten.

3.6 Netwerkkosten lopen op ten gevolge van het warmtenet

Verdeling van netwerkkosten

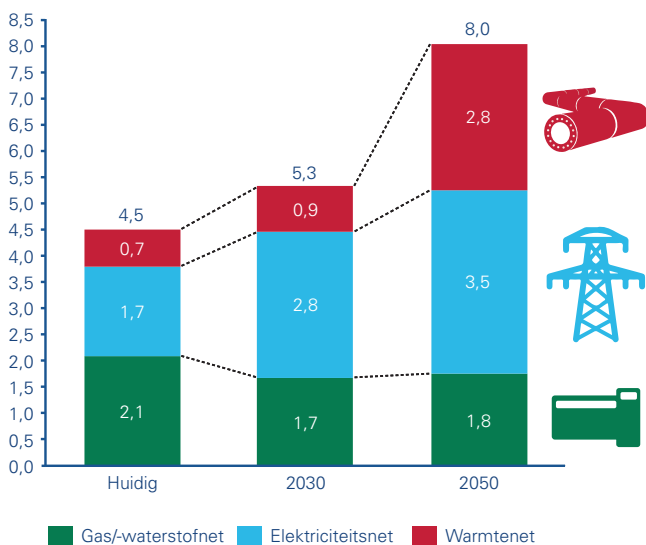
Een uitsplitsing van kosten voor het energienetwerk laat zien dat met name de kosten voor het warmtenet, vanwege de centrale rol in de gebouwde omgeving, fors toenemen. Op het warmtenet zullen in 2050 3,8 miljoen woningen zijn aangesloten.

Het elektriciteitsnetwerk wordt duurder doordat de vraag naar elektriciteit stijgt tot 2030. Door toevoeging van flexoplossingen en door aansluiting van meer offshore windmolens en zon-PV in 2050, stijgt de piekbelasting van het netwerk en stijgen de kosten verder.

Het gas- en waterstofnetwerk wordt daarentegen licht goedkoper, ondanks de ingroei van waterstof. Dit is toe te rekenen aan het verdwijnen van aansluitingen, voornamelijk in de gebouwde omgeving.

Kosten van het netwerk (€ mrd / jaar)

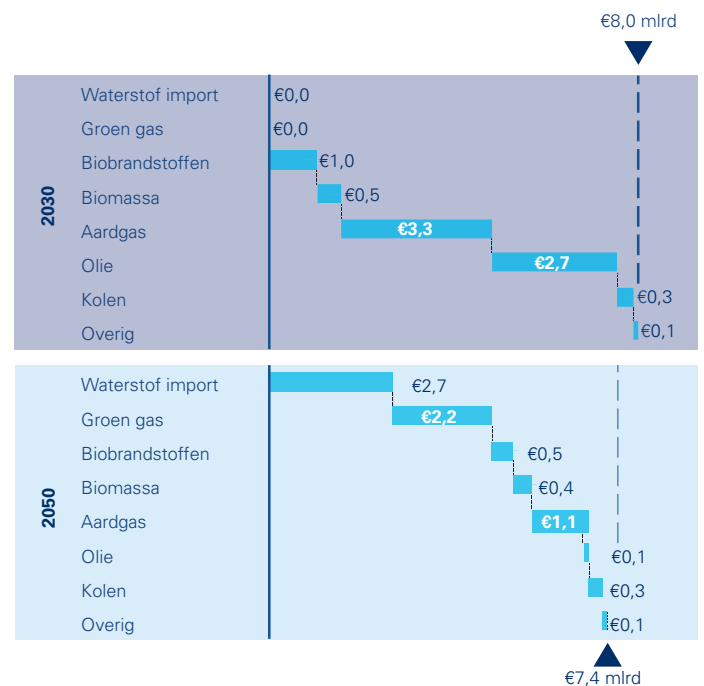
€ mrd / jaar



3.7 Brandstofkosten: verschuiving van fossiele brandstof naar duurzame brandstoffen

Brandstofkosten in het warmtescenario

- Kosten verminderen niet veel ondanks vermindering van brandstofverbruik.
- Duurzame energiedragers zijn relatief duur ten opzichte van fossiele energiedragers.
- Prijs voor kolen lijkt hetzelfde, kanttekening is dat hiervoor in 2050 CSS wordt toegepast, in het geval van biokolen zou dit niet nodig zijn, maar dan zou wellicht de brandstofprijs weer hoger zijn.
- Bij groen gas nemen we alleen de kosten voor import mee, de kosten voor binnenlandse productie zitten in de kosten voor installatie. In 2030 is er uitsluitend binnenlandse productie van groen gas en zijn de brandstofkosten dus nul. In 2050 wordt er echter wel gebruik gemaakt van import naast binnenlandse productie en stijgen de brandstofkosten van groen gas naar 2,2 miljard euro.



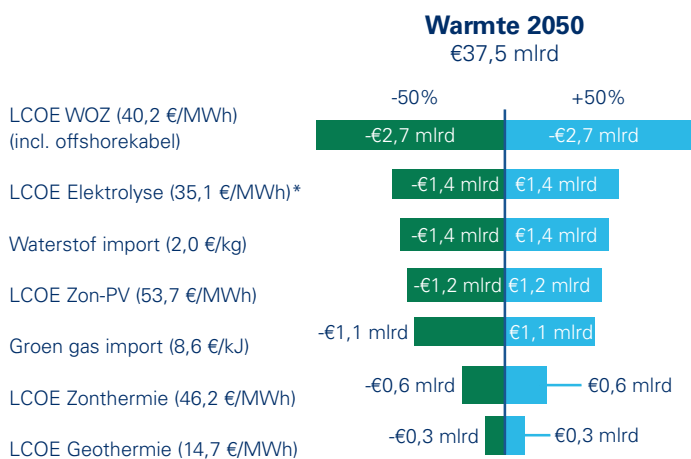
3.8 Scenario voornamelijk gevoelig voor kosten van Wind Op Zee

Kosten in het warmtescenario (2050)

De grafiek laat zien dat de grootste afhankelijkheid voor de uiteindelijke kosten van het energiesysteem, wat betreft installaties, in de Levelized Cost of Energy (LCOE) voor Wind op Zee (WOZ) en zon-PV zit. Dit zijn dan ook de voornaamste duurzame bronnen in dit scenario. Wel neemt de LCOE af tot 2050:

WOZ van 60,9 €/MWh in 2030 tot 40,2 €/MWh in 2050;
Zon-PV van 78,2 €/MWh in 2030 tot 53,7 €/MWh in 2050.

Daarnaast zorgen waterstof en groen gas import (incl. biomassa) voor een grote gevoeligheid in termen van brandstofkosten. De keuze kan natuurlijk gemaakt worden om zelf minder duurzame opwek neer te zetten en meer te importeren, daarmee verschuift de ordening in deze grafiek. Wat betreft waterstofimport is het zeer de vraag hoe een toekomstige waterstofmarkt zich gaat ontwikkelen. Wordt waterstof de nieuwe olie? Daarnaast is voor groen gas uit gegaan van een 'fair share'. Het is ook hier de vraag hoe een dergelijke biomassamarkt zich ontwikkelt (zie bijlage Discussie 'fair share' biomassa).



*Bij 4000 draaiuren per jaar

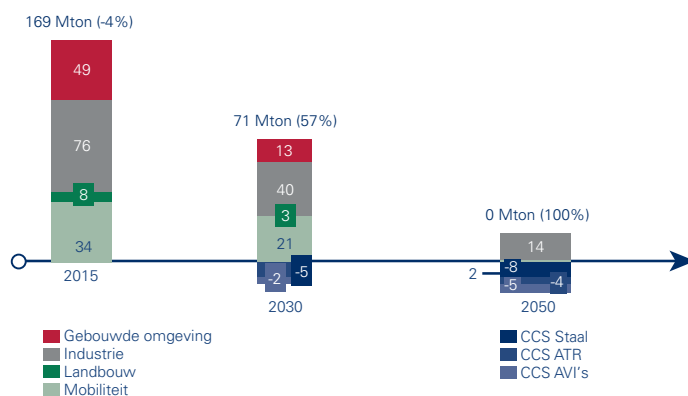
3.9 Reductie in CO₂-uitstoot eerst voornamelijk in Gebouwde Omgeving, vervolgens in industrie en mobiliteit

CO₂-uitstoot door de tijd

CCS blijft noodzakelijk om kolengebruik in de staalindustrie te compenseren. Dit zou eventueel ook met biokolen kunnen, in dit scenario zijn we uit gegaan van CCS. De gebouwde omgeving reduceert richting 2030 sneller dan de industrie en mobiliteit. De voornaamste reductie in de industrie en mobiliteit, komt pas na 2030 op gang.

CO₂-uitstoot en percentage reductie t.o.v. 1990

N.B. CCS-maatregelen worden apart opgegeven en uitstoot van elektriciteitsproductie is toegerekend aan de sectoren



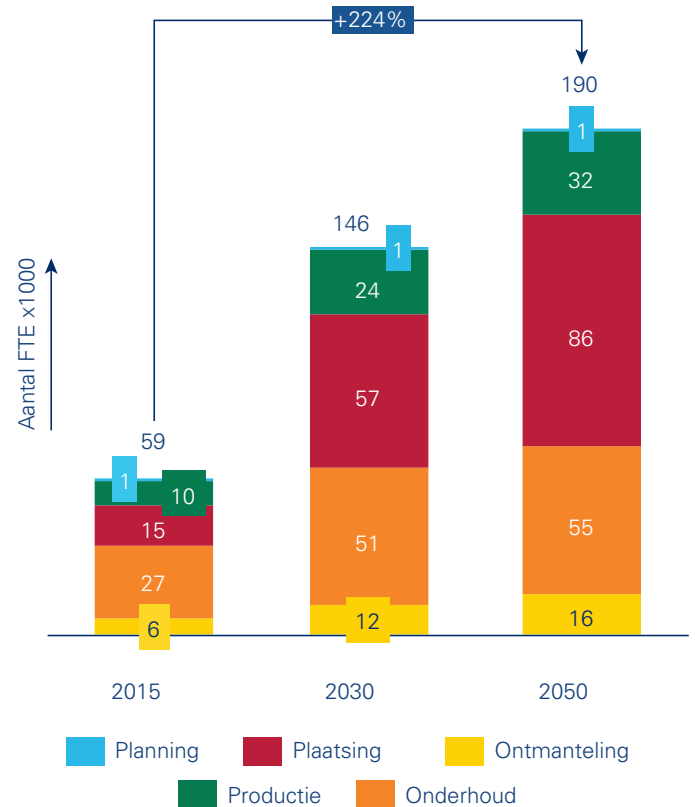
3.10 Werkgelegenheid verdrievoudigt voornamelijk ten gevolge plaatsing en onderhoud van duurzame energieproductie en gebouwinstallaties

Werkgelegenheid (binnenland)⁷

Met de energietransitie wordt een verdrievoudiging van de binnenlandse werkgelegenheid, van 60k naar 190k FTE, in de energiesector verwacht. De weergegeven grafiek geeft energie-technologieën gebonden binnenlandse werkgelegenheid.

De installatie van verschillende technieken zoals bijv. warmtepompen en intermitterende bronnen zorgt voor sterke groeiende vraag naar arbeid. De opgave is gigantisch miljoenen woningen moeten worden aangepakt, bedrijven moeten aanpassingen doen en hernieuwbare bronnen moeten worden neergezet.

Daarnaast zorgen deze installaties voor aanpassingen van huidige en het uitrollen van nieuwe energienetten. Oude centrales, sommige fijnmazige gasnetten maar ook oude boorplatformen moeten worden ontmanteld. Ook moet er een waterstofinfrastructuur komen. Al deze veranderingen zijn zeer impact vol en grootschalig. Deze sterke stijging in werkgelegenheid, biedt kansen voor Nederland in termen van technologie ontwikkeling en de export hiervan. Maar kan ook een bottleneck zijn voor het mogelijk maken van de energietransitie.

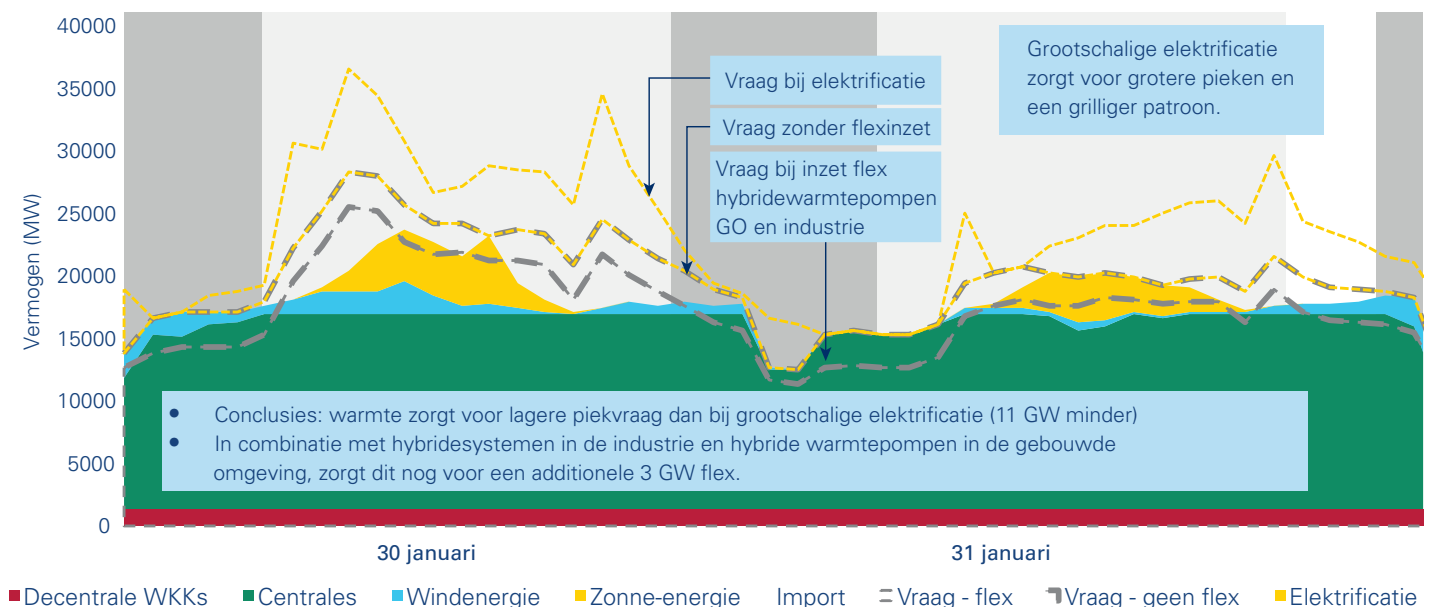


⁷ 1 FTE aangenomen als 1800 man uur per jaar

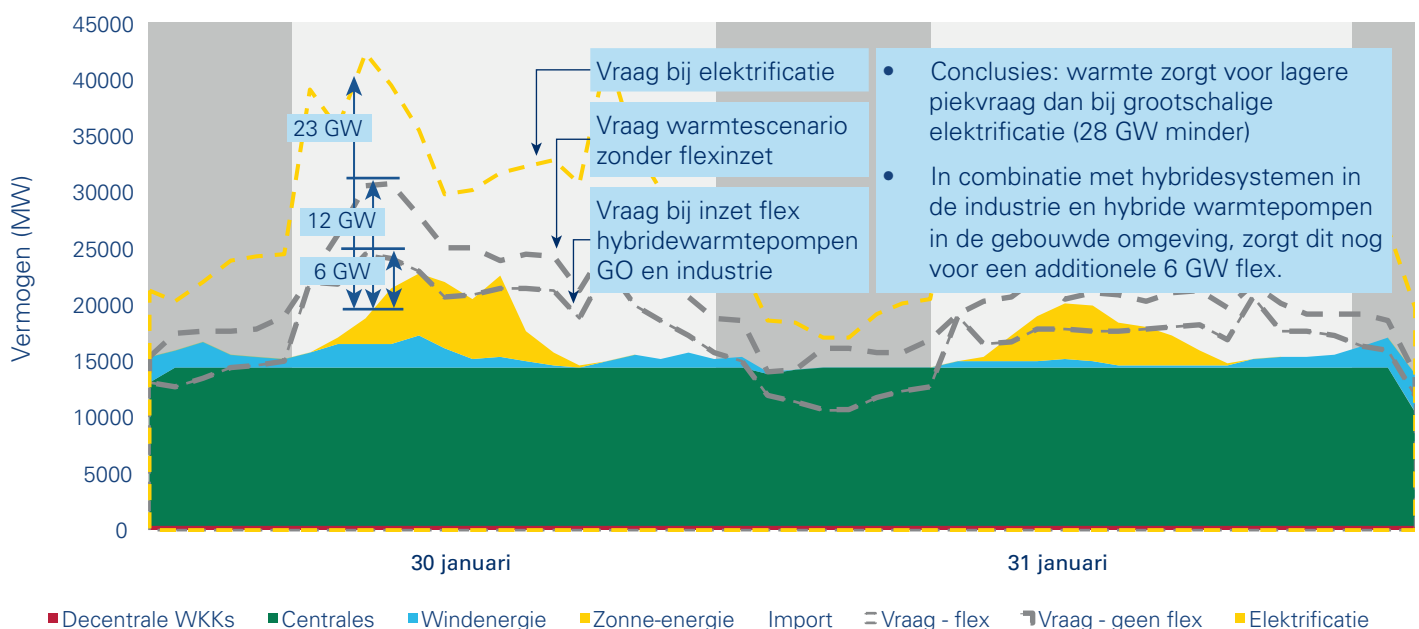
4. Mate van hybridisering en flexibiliteit

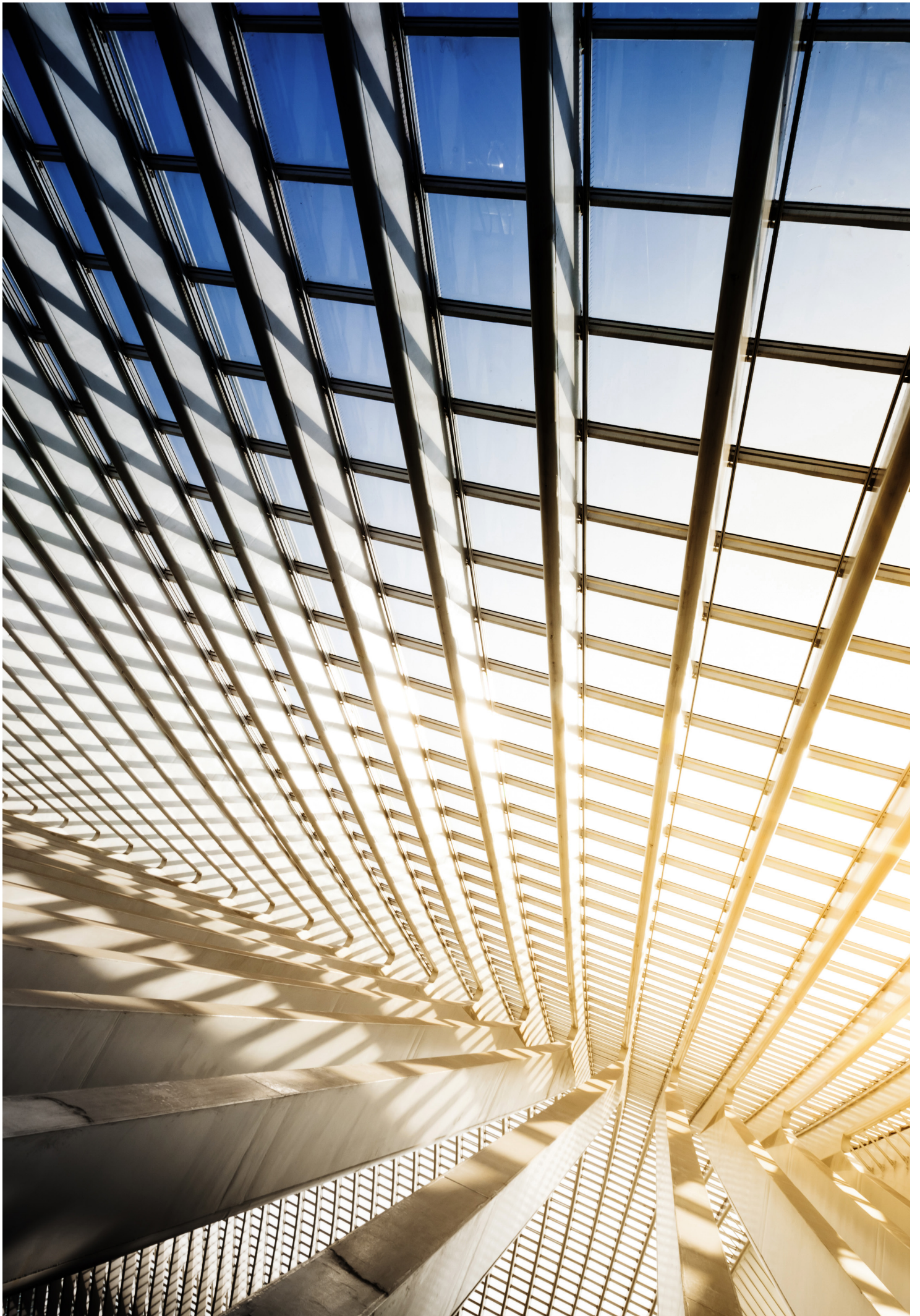
De mate waarop de optimale inzet van warmte zorgt voor hybridisering, wordt in dit hoofdstuk in kaart gebracht.

4.1 Simulatie elektriciteitsvraag in koudste winter warmtescenario 2030



4.2 Simulatie elektriciteitsvraag in koudste winter warmtescenario 2050





5. Voornaamste uitkomsten, vergelijking met andere scenario's en implementatie

In hoofdstuk 5 worden de voornaamste conclusies van het warmtescenario uiteengezet.

5.1 Kosten van het warmtescenario liggen tussen elektronen- en molecuulenscenario⁸

Kosten vergelijking verschillende scenario's

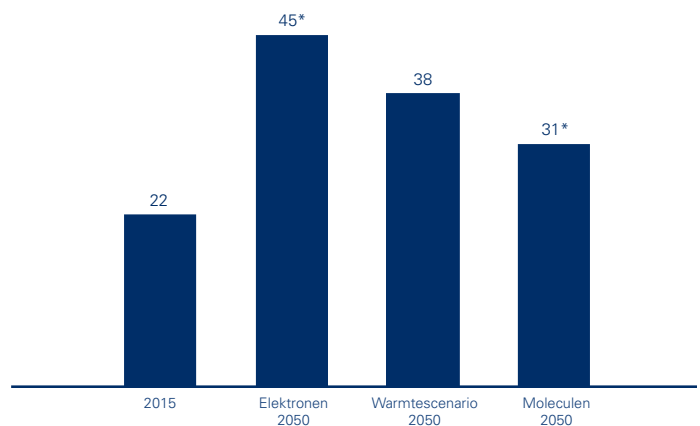
Wat betreft kosten voor de totale energievoorziening ligt het warmtescenario tussen het elektronen- en molecuulenscenario*.

Alle drie de scenario's zijn CO₂-neutraal:

- Het molecuulenscenario leunt op waterstof uit fossiel aardgas en hybride elektrificatie van warmte, grotendeels op basis van de huidige infrastructuur. Dat verklaart de lage kosten.
- Het elektronenscenario gebruikt geen fossiel meer, maar draait op warmte uit all-electric en waterstof uit veel wind, met sterke aanpassing en uitbreiding van de infrastructuur. Dit leidt tot gemiddeld hogere kosten.
- In het warmtescenario wordt de warmte deels direct gedekt door duurzame warmtebronnen. Hierdoor is er minder wind en waterstof nodig, met minder energie-omzettingen en dus lagere energieverliezen dan in de andere scenario's. Dat drukt de jaarkosten. Voor het overige is dit scenario een mix van de vorige, met beperkte aanpassing van bestaande infra maar wel met nieuwe warmtenetten.

Voor de elektronen- en molecuulenscenario's kunt u terecht op: <https://www.berenschot.nl/actueel/2018/april/elektronen-moleculen-transitie/>

Kosten van de hele energievoorziening in miljard euro/jaar



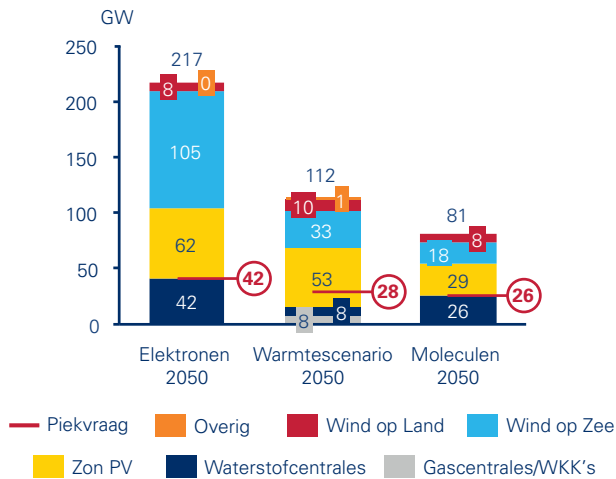
5.2 Vergelijking met Elektronen / Moleculen: vermogen en energiemix

In vergelijking met het elektronen- en molecuulenscenario, valt op dat het opgesteld vermogen van het warmtescenario in het midden ligt tussen de twee scenario's en de energiemix gelijkmatiger is verdeeld over de verschillende energiedragers.

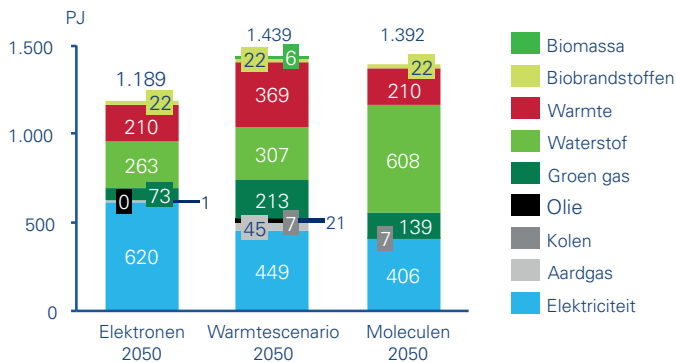
Omdat in het warmtescenario het baseload vermogen niet op de piekvraag is ingericht (slechts 16 GW ten opzichte van een piekvraag van 28 GW), is er altijd systeemflexibiliteit benodigd. In het warmtescenario gaan we nadrukkelijk van de mogelijkheid uit om bij tekorten de hybride installaties in industrie en gebouwde omgeving om te schakelen op duurzame brandstoffen. Om dit in werkelijkheid ook te bewerkstelligen verwachten we dat hiervoor wel financiële compensatie nodig is.

⁸ N.B. De kosten van de Elektronen/Moleculen scenario's waren berekend in een eerder onderzoek, met een vorige versie van het ETM. De nieuwe ETM versie, waarmee het warmtescenario nu is doorgerekend, bevat meer recente data voor de kosten van energie-infrastructuur, gebaseerd op de laatste onderzoeken van netbeheerders. Bij doorrekening hiermee zouden de kosten van de Elektronen en Moleculen scenario's hoger worden, met grootste impact bij Elektronen.

Opgesteld elektrisch vermogen: warmtescenario versus elektronen- en molecuulscenario's



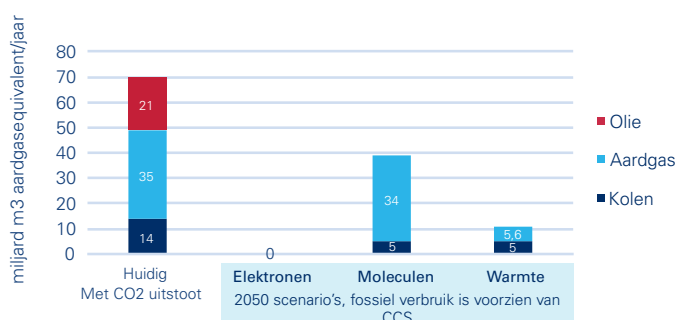
Finale energiemix: warmtescenario versus elektronen- en molecuulscenario's



5.3 Vergelijking met Elektronen / Moleculen: daling fossiele inzet

In vergelijking met het elektronen- en molecuulscenario, ligt het warmtescenario in fossiele footprint daartussen, maar dicht bij het elektronenscenario. In 2050 zijn de fossiele stromen ca. 85% kleiner dan nu, en voorzien van CCS: koleninzet staalindustrie en gasinzet voor blauwe waterstof. In het molecuulscenario blijft deze laatste, weliswaar voorzien van CCS, aanzienlijk groter.

Fossiele Footprint van de huidige voorziening en de 2050 scenario's elektronen, moleculen en warmte, in miljard m³ equivalent per jaar



5.4 Voor het realiseren van een toekomst met voldoende duurzame warmte, zullen technische en beleids-innovaties nodig zijn

Technische innovatie en systeemintegratie

Het realiseren van het potentieel aan duurzame warmte vraagt om de verdere ontwikkeling van een aantal technieken:

- Inzet op PVT panelen, voor efficiënter ruimtegebruik en energie-efficiëntie
- Ontwikkeling efficiënte hybride elektrificatiesystemen, voor een kosten-effectievere flex inzet
- Elektrolyse, ontwikkeling van hoger rendement elektrolyse waardoor de kosten voor groene waterstof kunnen dalen
- Warmtenetten bijvoorbeeld lage temperaturen, cascadering en warmteverlies vermindering
- Waterstofnetwerk / ombouwvraagstuk bestaande gasnet
- Onderzoek naar technieken die duurzaam hoge temperatuur warmte kunnen produceren is wenselijk (in dit scenario wordt alleen de lage temperatuur behoefte van de industrie voorzien met "warmte", hogere temperaturen gebruiken nog steeds voornamelijk duurzame gasen)

5.5 Beleidsinnovatie

- Op het gebied van beleid en wet- en regelgeving, zijn de volgende zaken belangrijk voor de warmtetransitie:
- Werkgelegenheid: grote groei aan personeel voor de aanleg van onder andere warmtenetten zal moeten worden ondervangen door stimulering, opleidingen en innovaties.
- Waardering flex voor afdekking ultieme winterpiek: compensatie voor systemen die de flex behoefte doen afnemen of die flex vermogen kunnen leveren zoals hybride systemen.
- Warmtenetten: stimulans van de mogelijkheden voor open warmtenetten / Third Party Access, om de drempels voor duurzame warmte in (bestaande) warmtenetten weg te nemen.

Bovenstaande leidt tot nieuwe onderzoeksvragen die bijdragen aan het realiseerbaar maken van een mogelijk warmtescenario.

5.6 Verder onderzoek naar de meerwaarde van warmte-oplossingen

Meer nieuwe warmtetechnieken kunnen dit scenario verder completeren en verbeteren

Een aantal warmte-opties konden in dit scenario nog niet worden meegenomen omdat ze nog wat verder moeten worden ontwikkeld, gespecificeerd qua rentabiliteit en/of omdat ze nog niet in het ETM waren gemodelleerd, zoals met name:

- Hoge-temperatuur warmtepompen in de industrie;
- Een grotere rol voor absorptiekoeling bijvoorbeeld in kantoren en andere utiliteitsbouw;
- Warmtenetten gevoed door “lauw-water” temperatuurbronnen waarvan de warmte wordt geboost met warmtepompen: restwarmte uit datacenters, rioolwarmte, mijnwater, oppervlakte water;
- Zon-thermisch gecombineerd met seizoensopslag (zoals bijv. in het “Ecovat” concept);
- Betere cascadering van warmte vooral in de industrie en in warmtenetten;
- Een grotere rol voor warmtebuffering op diverse niveaus in het systeem, zowel in warmtenetten, industrie als woningen.

Deze technieken hebben ontwikkeling nodig, maar dat geldt ook voor veel andere opties die in het Klimaatakkoord een hoge perceptie hebben zoals elektrolyse en waterstof. De genoemde warmte-opties doen daarvoor zeker niet onder of zijn veel sneller.

De meerwaarde van veel van deze nieuwe warmte-opties is ook, dat ze de benutting van warmte-infrastructuur verbeteren. Zo zorgt absorptiekoeling (koude uit warmte) niet alleen voor een klimaatneutrale koeling, maar ook voor een betere benutting en rentabiliteit van een warmtenut. Dit geldt voor veel van deze technieken. Een gericht ontwikkelprogramma hierop is wenselijk.

We adviseren een systeemintegratie-studie gericht op kwantificering van de meerwaarde van deze opties om dit te onderbouwen.

5.7 Voornaamste uitkomsten van het warmte-scenario

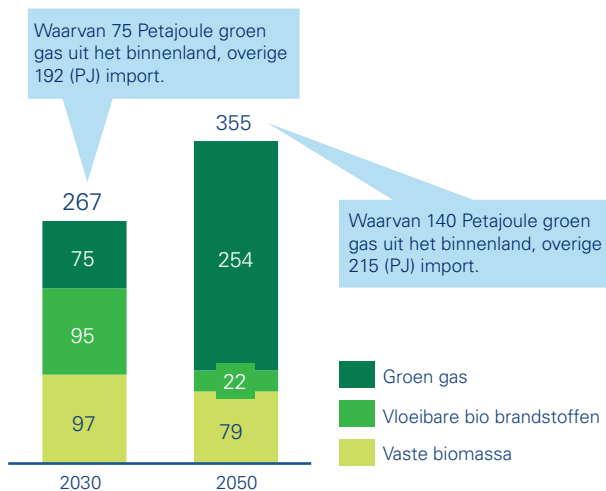
- Het warmtescenario is bijna even duurzaam als het elektronenscenario, en bijna even goedkoop als het molecuulenscenario.
- Warmte zorgt voor een duurzaam systeem met een lagere piekvraag. Deze piekvraag wordt bovendien gespreid gedekt met groen gas, waterstof (zowel blauw als groen) en een duurzame importmix.
- Grote mate van flexibiliteit door hybridisering voorkomt dure piekcentrales. Een hybride systeem in de industrie en gebouwde omgeving leveren in dit scenario een flexibiliteit op van 6 GW, dit scheelt kostbare centrales met weinig draaiuren.
- De netwerkkosten groeien minder dan in sommige andere scenario's. Door de lagere pieken blijft de kostenstijging in het bestaande stroomnetwerk beperkt. Wel zijn er kosten door extra warmte infrastructuur, met bijkomstige vraag naar arbeid.
- De grootste inspanning voor warmte tot 2030 zit in verduurzaming van bestaande netten naar de gebouwde omgeving. De groei van warmtenetten blijft daardoor tot 2030 nog beperkt, maar komt goed op gang richting 2050.
- De potentie voor duurzame warmte naar de industrie is beperkter, omdat de industrie warmte vraagt van hogere temperaturen. Toch kan daar veel worden bereikt met warmtecascadering, stoomrecompressie en restwarmte van industrie naar warmtenetten.
- Besparingen en aanpassingen in de bestaande bouw worden in dit scenario efficiënt ingezet. Door de warmtenetten worden de de steden met hoogbouw en oude woningen goed verduurzaamd zonder duurdere bouwkundige aanpassingen.
- Het warmtescenario leunt in mindere mate op waterstof dan de “Moleculen” en “Elektronen” scenario's. Hierdoor zijn er minder energieverliezen, minder extra windparken (vergeleken met “elektronen”) of minder gasinzet (vergeleken met “moleculen”).
- Efficiënt ruimtegebruik zorgt voor een betere inpassing van duurzame energie. PVT-panelen geven een beter gebruik van ruimte en zorgen, samen met lagere behoefte aan windstroom, voor veel betere ruimte-efficiëntie dan in andere scenario's.
- Vervolgonderzoek is wenselijk: naar het additionele potentieel en voordelen van verdere warmte-innovatie en naar efficiënte oplossingen voor het personeelsvraagstuk in de Energietransitie.



Bijlage

B.1 Biomassa/brandstoffen (energetisch)

Import van biomassa/brandstoffen blijft met 192 tot 215 PJ onder het aandeel wat Nederland op basis van “Fair Share” (economische ratio)⁹ zou mogen importeren.



B.2 Mobiliteit

Voor deze scenario exercitie is mobiliteit wel meegenomen in de modelering zodat systeemconsequenties hiervan ook doorwerken. Er is vanwege de scope van het onderzoek echter geen diepgaande analyse voor mobiliteit uitgevoerd.

Hieronder worden de aannames voor mobiliteit weergegeven:

Mobiliteit - 2030:

- Auto's elektrisch/benzine/diesel 60%/18%/18%
- Bussen elektrisch/diesel/CNG 60%/33%/7%
- Vrachtverkeer diesel 100%

Mobiliteit - 2050:

- Auto's elektrisch/waterstof 60%/40%
- Bussen elektrisch/waterstof 80%/20%
- Vrachtverkeer elektrisch/waterstof 20%/80%

⁹ Strengers B., H. Eerens, W. Smeets, G.J. van den Born en J. Ros (2018), NEGATIEVE EMISSIES. Technisch potentieel, realistisch potentieel en kosten voor Nederland, Den Haag: PBL; DNV GL, Biomassabeschikbaarheid in Nederland (2017); Natuur & Milieu, Energievisie 2035 Energietransitie in de hoogste versnelling (2016).



Berenschot

Berenschot is een onafhankelijk organisatieadviesbureau met 350 medewerkers wereldwijd. Al 80 jaar verrassen wij onze opdrachtgevers in de publieke sector en het bedrijfsleven met slimme en nieuwe inzichten. We verwerven ze en maken ze toepasbaar. Dit door innovatie te koppelen aan creativiteit. Steeds opnieuw. Klanten kiezen voor Berenschot omdat onze adviezen hen op een voorsprong zetten.

Ons bureau zit vol inspirerende en eigenwijze individuen die allen dezelfde passie delen: organiseren. Ingewikkelde vraagstukken omzetten in werkbare constructies. Door ons brede werkterrein en onze brede expertise kunnen opdrachtgevers ons inschakelen voor uiteenlopende opdrachten. En zijn we in staat om met multidisciplinaire teams alle aspecten van een vraagstuk aan te pakken.

Berenschot Groep B.V.

Europalaan 40, 3526 KS Utrecht

Postbus 8039, 3503 RA Utrecht

030 2 916 916

www.berenschot.nl

[in /berenschot](https://www.linkedin.com/company/berenschot)