



Sectorbeschrijving

Bijlage D bij Systemstudie energie-
infrastructuur Limburg



Sectorbeschrijving

Bijlage D bij Stysteemstudie energie-infrastructuur Limburg

Deze bijlage bij de systeemstudie Limburg is geschreven door:

Joeri Vendrik en Marijke Meyer - CE Delft

Sebastiaan Hers - TNO

Michiel den Haan - Quintel

Delft, CE Delft, september 2020

Publicatienummer: 20.190423.114b

Energievoorziening / Provincies / Toekomst / Gebouwde omgeving / Mobiliteit / Industrie / Landbouw / Elektriciteit

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Frans Rooijers (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

1	Gebouwde omgeving	3
	1.1 2020	3
	1.2 2030	3
	1.3 2050	6
	1.4 Overzicht energievraag	11
	1.5 Gebruikte literatuur	11
2	Mobiliteit	12
	2.1 2020	12
	2.2 2030	13
	2.3 2050	13
	2.4 Overzicht energievraag	14
	2.5 Gebruikte literatuur	14
3	Industrie	15
	3.1 2020	16
	3.2 2030	17
	3.3 2050	17
	3.4 Overzicht energievraag	20
	3.5 Gebruikte literatuur	21
4	Landbouw	22
	4.1 2020	22
	4.2 2030	23
	4.3 2050	24
	4.4 Overzicht energievraag	25
	4.5 Warmtebronnen	25
	4.6 Gebruikte literatuur	27
5	Elektriciteit	28
	5.1 Zon en wind	28
	5.2 Centraal en/of regelbaar vermogen	30
	5.3 Gebruikte literatuur	31
6	Overzicht	33
7	Literatuur	35



1 Gebouwde omgeving

1.1 2020

De huidige energievraag van de gebouwde omgeving is bepaald op buurtniveau (CBS, 2020) Per buurt zijn de gebouwaantallen en oppervlakten naar bouwperiode en gebruiksfunctie gesommeerd vanuit de BAG, t/m bouwjaar 2018. De totalen per regio zijn opgenomen in Tabel 1. We onderscheiden de vraag naar warmte, naar warmtapwater en naar kracht en licht.

Tabel 1 - Aantal gebouwen per functie en regio

Functie	Noord- en Midden Limburg	Zuid-Limburg
Woning	233.439	298.367
Winkel	4.776	6.443
Logies	7.053	2.451
Gezondheidszorg	2.579	1.610
Kantoor	3.141	4.225
Bijeenkomst	2.799	3.224
Onderwijs	426	493
Cel	5	5
Sport	470	479

Het huidige finale elektriciteits- en aardgasverbruik van de woningen voor een buurt is berekend aan de hand van het gemiddeld elektriciteits- dan wel aardgasverbruik per woning, zoals beschikbaar in de 'Kerncijfers wijken en buurten 2017' van het CBS (2020). Hierbij is rekening gehouden met het aandeel woningen in de buurt dat is aangesloten op stadsverwarming, wat ook onderdeel is van de CBS-data op buurtniveau.

De warmtevraag van de utiliteitsgebouwen in een buurt is bepaald met behulp van kentallen per functie, bruto vloeroppervlak en bouwperiode voor ruimteverwarming, afkomstig uit de studie 'Verbetering referentiebeeld utiliteitssector' (ECN, 2013) en kentallen per functie en bruto vloeroppervlak voor warmtapwater, afkomstig uit SWING (Meijer Energie & Milieumanagement B.V., 2008). De warmtevraag is omgerekend naar een aardgasverbruik door uit te gaan van een HR-ketel en te corrigeren voor het aandeel stadsverwarming vanuit de CBS-buurtdata. De vraag naar koude, ventilatie, apparatuur en hulpenergie is ook bepaald aan de hand van kentallen per functie en bruto vloeroppervlak (SWING).

1.2 2030

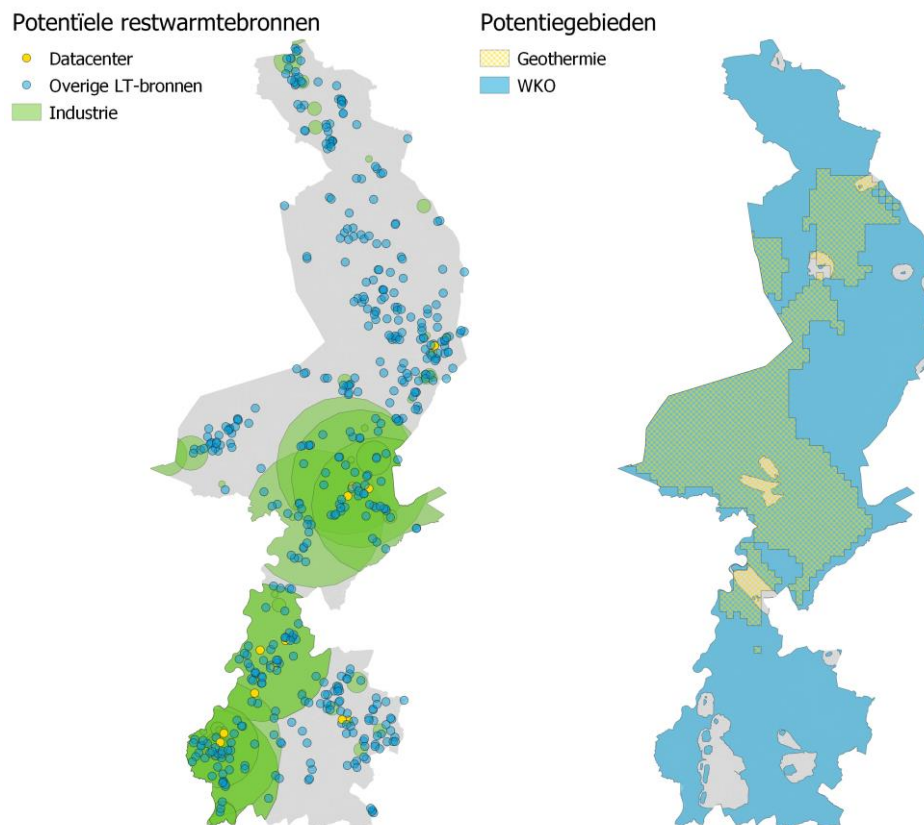
Specifiek voor de warmtevraagontwikkeling per buurt van de bestaande bouw gebruiken we het CEGOIA-model. Dat is een kostenoptimalisatiemodel waarbij we de hoeken van het speelveld bepalen met beschikbaarheden van energiedragers in de gebouwde omgeving en met de prijzen daarvan. De volgende technieken zijn meegenomen in de CEGOIA-berekeningen:

- elektrische warmtepomp;
- hybride warmtepomp (op methaan of waterstof);

- hybride warmtepomp (op methaan of waterstof);
- warmtenet (HT, MT, LT);
- LT-warmtenet met individuele warmtepomp (Mijnwater-concept);
- cv-ketel op vaste biomassa;
- wko-net.

De beschikbare warmtebronnen zijn weergegeven in Figuur 1. Deze warmte kan gebruikt worden voor lage-temperatuur warmtenetten (LT warmtenetten) als de temperatuur van de warmtebronnen lager is dan 70 °C of voor hoge-temperatuur warmtenetten (HT warmtenet) als de temperatuur hoger is dan 70 °C. Bij LT warmtenetten moet de warmte opgewaardeerd worden om het te kunnen gebruiken voor ruimteverwarming of tapwater, bijvoorbeeld met warmtepompen. Bij HT warmtenetten is dit niet nodig.

Figuur 1 - Beschikbare warmtebronnen



In Midden-Limburg kan er in potentie gebruik gemaakt worden van geothermie als alternatief voor aardgas. Daarnaast kan er gebruik gemaakt worden van hoge temperatuur restwarmte. Deze restwarmte wordt geproduceerd door industrie, zoals Chemelot, papierfabrieken en steenfabrieken.

Op specifieke locaties zijn ook nog kleinschaligere bronnen toe te passen vooral als het lage temperatuursystemen betreft (aquathermie: warmte uit oppervlaktewater en riolen, koelinstallaties e.d.).

Daarnaast wordt in Parkstad een nieuw verwarmingsconcept uitgewerkt door Mijnwater B.V, een smart thermal grid met ondergrondse buffering. Het gaat hier om een lagetemperatuuruitwisselingssysteem waarbij uitwisseling van warmte en koude plaatsvindt tussen LT aanbod en vraag. Het gaat hierbij dus om een LT systeem. Er wordt ondergrondse buffering ingezet voor systeemoptimalisatie. Het Mijnwater-concept kan gecombineerd worden met lage-temperatuur aardwarmte als LT-warmtebron. Het Mijnwater-concept kan ook buiten Parkstad toegepast worden als andere buffers aanwezig zijn. De potentie van het Mijnwater concept in combinatie met lage-temperatuur aardwarmte voor de gebouwde omgeving is zeer groot. Het kan voorzien in de warmtevraag van circa 3,5-4,5 miljoen woningen (CE Delft, 2018).

Voor 2030 zijn twee scenario's opgesteld: Klimaatakkoord en Klimaatakkoord Plus. In het Klimaatakkoord staat dat in 2030 de eerste 1,5 miljoen van de bestaande woningen verduurzaamd zijn. Dit is ongeveer 20% van het totaal aantal bestaande woningen. Hierom is ervoor gekozen om voor de beschikbare hoeveelheid methaan in 2030 80% van het huidige aardgasverbruik door de gebouwde omgeving aan te nemen. De plusvariant van dit scenario onderscheidt zich door een verschuiving van de energievraag van aardgas en aardolie naar een extra vraag naar elektriciteit. In dit scenario is daarom gerekend met 55% van het huidige aardgasverbruik als beschikbare hoeveelheid methaan en gemiddeld energielabel B per buurt voor de woningen.

Tabel 2 - Input energiedragers voor de scenario's 2030

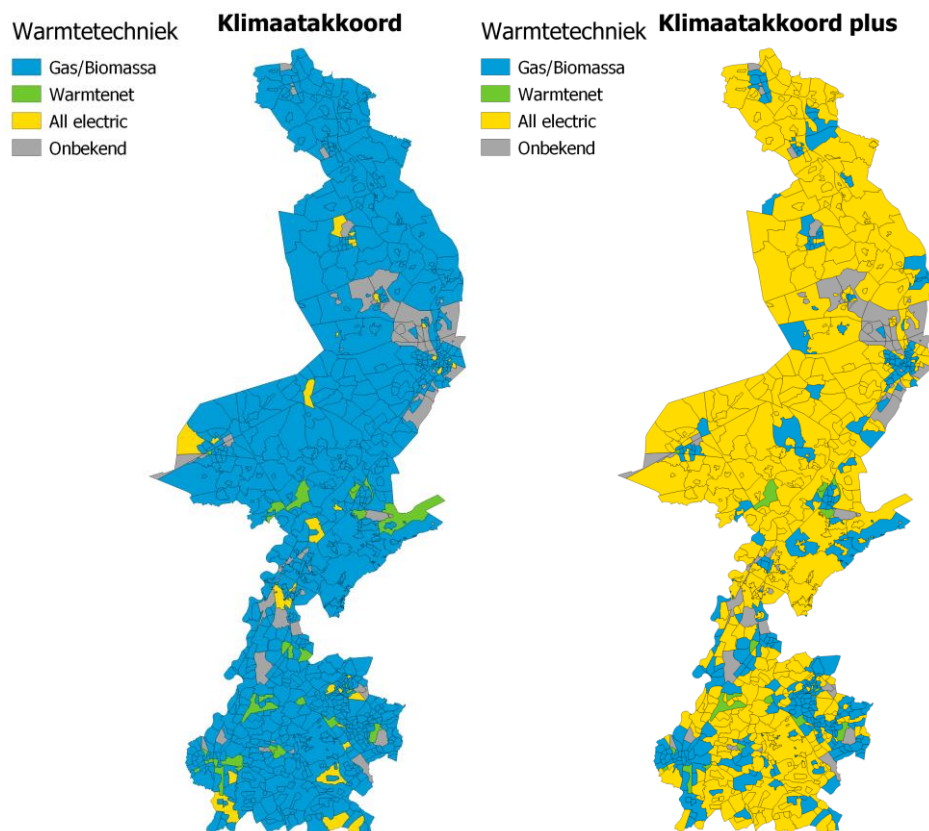
Jaar	Klimaatakkoord	Klimaatakkoord Plus
	2030	2030
Limiet methaan	23 PJ	16 PJ
Kostprijs methaan	15 €/GJ	15 €/GJ
Limiet waterstof	0	0
Kostprijs waterstof	N.v.t.	N.v.t.
Limiet houtpellets	1,75 PJ	1,75 PJ
Geothermie	Geen	Geen
HT-warmte	Toestaan	Toestaan
LT-Warmte	Toestaan	Toestaan
Minimaal Schillabel	D	B

In Figuur 2 is weergegeven in welke gebieden een gas- of biomassaoptie, een all electric-optie of warmtelevering wordt ingezet volgens de CEGOIA-berekeningen.

In het Klimaatakkoord-scenario is gas verreweg de meest voorkomende warmtedrager. In de meeste gevallen is de HR-ketel vervangen door een hybride warmtepomp die minder gas verbruikt. In Maastricht, Sittard-Geleen en Roermond komen enkele warmtenetten voor. Daarnaast zijn er verspreid over de provincie buurten die overgaan op all electric.

In het scenario Klimaatakkoord Plus is gas nog steeds de meest voorkomende warmtedrager. Echter is maar een deel van de HR-ketels vervangen door een hybride warmtepomp. De grotere besparing op de warmtevraag door strengere isolatiemaatregelen zorgen ervoor dat de hybride warmtepomp minder snel rendabel is. Naast gas is elektriciteit een belangrijke energiedrager voor de ruimteverwarming. Met name de buitengebieden worden all electric. In de steden wordt vaker gas toegepast. Warmtenetten komen minder vaak voor dan in het Klimaatakkoord-scenario.

Figuur 2 - CEGOIA techniekuitkomsten voor de 2030-scenario's



1.3 2050

Voor 2050 zijn vier scenario's opgesteld. Deze instellingen zijn zodanig gekozen om zo dicht mogelijk bij de scenario's te komen zoals omschreven de nationale I13050-studie, zie Tabel 3.

Tabel 3 - Kerngegevens voor de gebouwde omgeving per scenario uit de nationale I13050-studie

	Regionaal	Nationaal	Europees	Internationaal
	Gemiddeld A/B	Gemiddeld A	Gemiddeld B	Gemiddeld B
Isolatie				
All electric WP	35%	55%	25%	25%
Hybride WP (groengas)	20%	20%	40%	-
Hybride WP (waterstof)	-	-	20%	60%
Warmtenet	45%	25%	15%	15%
Energiebesparing apparaten t.o.v. 2015	10%	10%	10%	10%
Toename aantal elektrische apparaten	1% per jaar	1% per jaar	1% per jaar	1% per jaar

Deze scenario's zijn vertaald naar de volgende instellingen voor het CEGOIA-model:

Tabel 4 - Input energiedragers per scenario voor het CEGOIA-model

Jaar	Regionaal	Nationaal	Europees	Internationaal
	2050	2050	2050	2050
Limiet methaan	5,6 PJ	5,6 PJ	11,2 PJ	0
Kostprijs methaan	21 €/GJ	21 €/GJ	21 €/GJ	21 €/GJ
Limiet waterstof	0	0	2,8 PJ	14 PJ
Kostprijs waterstof	N.v.t.	N.v.t.	20 €/GJ	20 €/GJ
Limiet biomassa	1,75 PJ	1,75 PJ	Onbeperkt	Onbeperkt
Geothermie	Toestaan	Toestaan	Geen	Geen
HT-warmte	Toestaan	Toestaan	Beperkt	Beperkt
LT-Warmte	Toestaan	Toestaan	Toestaan	Toestaan
Minimaal Schillabel	C	B	C	C

In 2050 wordt verondersteld dat alle energiedragers klimaatneutraal zijn. Methaan bestaat dan geheel uit groengas. Het *binnenlands* potentieel groengas (in 2050) is naar verwachting 68 PJ/jr (Gasunie, 2018) voor de gebouwde omgeving. Voor de toedeling van het nationale potentieel aan schaars groengas aan Limburg hanteren we de ratio van het huidig aardgasgebruik van de gebouwde omgeving in het gebied ten opzichte van het landelijk totaal van de gebouwde omgeving in het regionale en nationale scenario. In het Europese scenario wordt import van groengas verondersteld.

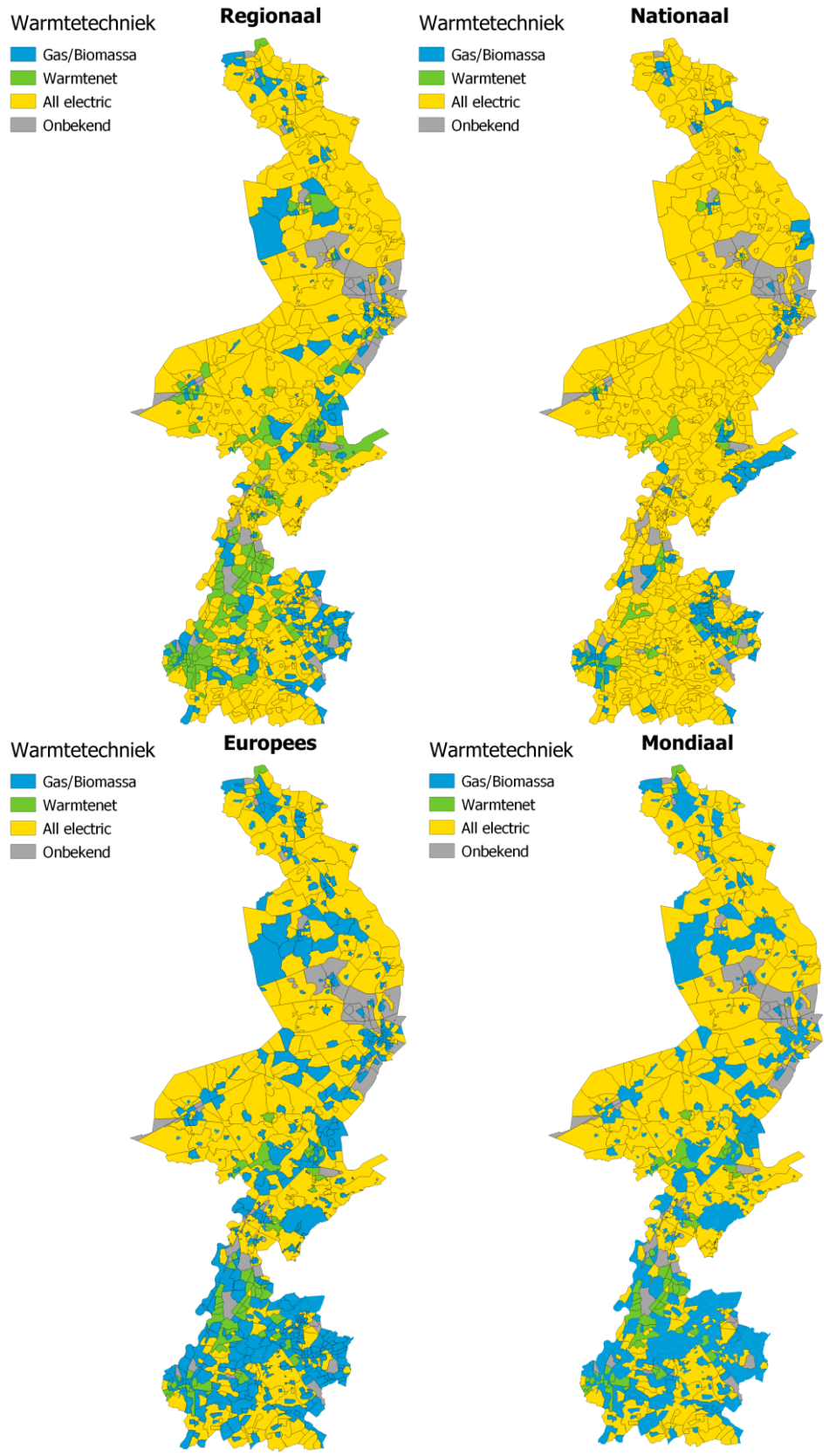
Met het schillabel bedoelen we het isolatieniveau van de woning, dus exclusief de invloed van installaties op het energielabel. Vandaar dat deze iets minder streng gekozen is dan in de I13050-scenario's.

De elektriciteitsvraag voor kracht en licht groeit: +1% per jaar door groei van het aantal apparaten, maar tegelijkertijd 0,3% per jaar door efficiency verbetering (10% verbetering in 2050 ten opzichte van 2015).

Er is uitgegaan van de bestaande woningvoorraad, aangezien er op buurniveau niet bekend is hoeveel sloop of nieuwbouw er te verwachten is richting 2050.

In de volgende figuren is weergegeven in welke gebieden een gas- of biomassaoptie, een all electric-optie of warmtelevering wordt ingezet volgens de CEGOIA-berekeningen.

Figuur 3 - CEGOIA-techniek uitkomsten voor de 2050-scenario's



In het Regionale-scenario ontstaan de meeste warmtenetten, in totaal wordt er 13,6 PJ warmte geleverd aan de gebouwde omgeving. Het merendeel van deze netten zijn hogetemperatuurnetten (-70°C). De grote clusters bevinden zich in Maastricht, Sittard-Geleen en Roermond. In Noord- en Midden Limburg wordt voor een deel geothermie ingezet als bron. In Heerlen ontstaan ook lagetemperatuur warmtenetten. Daarnaast worden veel gebouwen all electric in het regionale scenario. Methaan blijft ook een rol houden in de gebouwde omgeving, al wordt de HR-ketel ingeruild voor een hybride warmtepomp die minder gas verbruikt.

In het Nationale-scenario ontstaan de minste warmtenetten, met name nog in Maastricht en Roermond. Geothermie heeft een beperkte rol. Verreweg de meeste gebouwen worden all electric verwarmd. Ook methaan blijft een optie, met name in de Venlo, Heerlen en Maastricht. In sommige gevallen wordt nog een HR-ketel ingezet, maar deze wordt meestal ingeruild voor een hybride warmtepomp.

In het Europese-scenario is hybride warmtepomp op gas de meest voorkomende warmte-techniek. Daarnaast speelt ook de hybride warmtepomp op waterstof een rol. Warmtenetten zijn een belangrijke optie in Maastricht, Sittard-Geleen en Roermond. Ze worden gevoed door restwarmte uit de industrie. De buitengebieden gaan met name over op all electric.

In het Mondiale-scenario is de hybride warmtepomp op waterstof de meest voorkomende warmtetechniek. De warmteclusters zijn vergelijkbaar met het Europese-scenario. Het aandeel all electric is iets groter en komt met name voor in de buitengebieden.

In Tabel 5 is de verdeling van de warmtevraag opgenomen voor ieder scenario.

Tabel 5 - Warmtevraag per techniek

Warmtevraag ¹ (PJ)	Regionaal	Nationaal	Europees	Internationaal
Gasketel	0,0	0,2	0,0	0,0
Hybride warmtepomp op gas	8,0	7,8	16,2	0,0
Waterstofketel	0,0	0,0	0,0	0,3
Hybride warmtepomp op waterstof	0,0	0,0	4,0	19,8
Biomassaketel	0,0	0,0	0,0	0,0
Warmtenet	13,6	3,9	7,2	7,3
All electric	10,3	18,0	3,9	4,3

In Tabel 6 is een overzicht opgenomen van de levering uit warmtebronnen per cluster. Een overzicht van de gemeenten per cluster is opgenomen in Tabel 7.

¹ Inclusief warm tapwater.

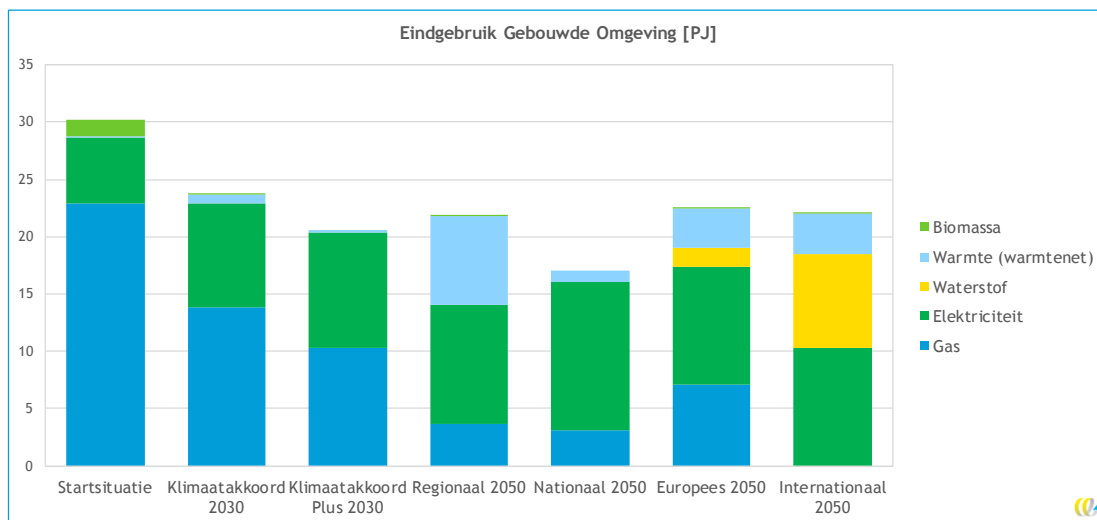
Tabel 6 - Overzicht warmtebronnen en warmtelevering gebouwde omgeving per cluster

Cluster	Warmtebronnen	Warmtelevering (PJ)					
		2030 KA	2030 KA+	2050 Regionaal	2050 Nationaal	2050 Europees	2050 Internationaal
Maastricht-Heuvelland	Chemelot	1,3	0,4	3,9	1,4	2,1	2,1
	Sappi						
	Overigen						
Westelijke Mijnstreek	Chemelot	0,4	0,2	3,1	0,5	2,5	2,5
Parkstad	Chemelot	0,2	0,2	0,6	0,2	0,3	0,2
	Steenfabriek Poriso						
	Datacenters						
	Overigen						
Midden-Limburg	Chemelot	0,7	0,6	3,5	1,0	1,4	1,5
	Smurfit Kappa Roermond						
	Rockwool B.V.						
	Clauscentrale						
	Geothermie						
Noord-Limburg	Monier BV	-	-	1,0	0,4	-	-
	Dakpanfabriek Tegelen						
	MGG						
	Georgia-Pacific						
	Datacenters						
	Geothermie						

Tabel 7 - Gemeentes per cluster

Cluster	Gemeentes
Maastricht-Heuvelland	Maastricht, Eijsden-Margraten, Gulpen-Wittem, Meerssen, Vaals en Valkenburg aan de Geul
Westelijke Mijnstreek	Beek, Stein en Sittard-Geleen
Parkstad	Beekdaelen, Brunssum, Heerlen, Kerkrade, Landgraaf, Simpelveld en Voerendaal
Midden-Limburg	Echt-Susteren, Leudal, Maasgouw, Nederweert, Roerdalen, Roermond en Weert
Noord-Limburg	Bergen, Gennep, Mook en Middelaar, Venray, Beesel, Horst aan de Maas, Peel en Maas en Venlo

1.4 Overzicht energievraag



1.5 Gebruikte literatuur

Voor 2020 zijn gebruikt de gebruiksgegevens van het CBS 2017. Voor 2030 en 2050 is gebruik gemaakt van het CEGOIA-model, zie bijgevoegde beschrijving. Voor de beschikbaarheid van geothermie in 2050 gaan we uit van de laatste ThermoGis-kaart van TNO. Voor de beschikbaarheid van restwarmte is uitgegaan van de bronnen in de warmteatlas (zowel HT- als LT-restwarmte).

2 Mobiliteit

Binnen mobiliteit onderscheiden we de volgende modaliteiten: personenauto's, bestelauto's, OV-bussen, vrachtauto's, treinen en vliegtuigen.

Verder nemen we aan dat bij de transitie naar een klimaatneutrale mobiliteitssector er gebruik gemaakt gaat worden van één of meer van de volgende energiedragers: Elektriciteit, waterstof, CNG/LNG (groengas), biobrandstof (biodiesel). Daarbij worden CNG/LNG en biobrandstof uitgefaseerd, zodat in 2050 alleen elektriciteit en waterstof worden gebruikt in de mobiliteitssector. Tot slot maken we bij elektriciteit een onderscheid tussen verschillende types laadstation: private laadstations, publieke laadstations en snellaadstations.

De energievraag van mobiliteit wordt berekend voor de Provincie Limburg als geheel per voertuigtype, energiedrager en laadstationtype. Vervolgens wordt de energievraag verdeeld over de Limburgse gemeenten naar rato van het aantal geregistreerde voertuigen van het betreffende voertuigtype. Omdat het aantal geregistreerde personenauto's de gemaakte kilometers van forenzen en toeristen die naar/in Limburg reizen buiten beschouwing laat, er jaarlijks meer dan twee miljoen toeristen naar Limburg komen en dit tot een hogere energievraag leidt in de vakantieperioden, is de energievraag van deze groep apart berekend. Voor de bepaling van de laadcapaciteit is voor deze groep een laadprofiel gebruikt die sterk piekt in de vakantieperioden. De totale laadvraag is over de gemeenten verdeeld naar rato van het aantal overnachtingen door toeristen per gemeente.

2.1 2020

De mobiliteitsvraag in 2020 (huidige situatie) per gemeente wordt bepaald aan de hand van CBS-data van het aantal geregistreerde batterij-elektrische voertuigen (BEV), (waterstof-verbruikende) brandstofcel-elektrische voertuigen (FCEV) en conventionele personenauto's (gecorrigeerd voor leaseauto's die veelal geregistreerd staan in andere provincies, met name in Flevoland), bestelauto's, bussen en vrachtauto's per gemeente, in combinatie met kentallen van het energieverbruik per voertuigtype en energiedrager en van het jaar-kilometrage per voertuigtype en tot slot het gemiddelde huishoudelijke kilometrage voor woon-werkverkeer per gemeente in 2020.

Voor de inschatting van de elektriciteitsvraag van personen- en bestelauto's bij private laadstations (thuis en op het werk), publieke laadstations en snellaadstations is gebruik gemaakt van het mobiliteitsmodel ECN.TNO (2019). Het mobiliteitsmodel is een rekenmodel dat de energievraag voor het laden van alle elektrische voertuigen bepaalt, en dan afpelt hoe deze energievraag wordt bediend door verschillende typen laadpunten. Het model werkt met gemiddelden die van toepassing zijn voor Nederland, en (indien beschikbaar) op gemeenteniveau. De verwachting van het aantal elektrische personen- en bestelauto's in Nederland voor de periode tot 2030 is gebaseerd op het Klimaatakkoord, geschaald naar Limburgse gemeenten. De energiebehoefte voor mobiliteit voor personenauto's op gemeentelijk niveau wordt vervolgens ingeschat op basis van gemiddelde huishoudelijke kilometrage voor woon-werk verkeer, en inschattingen van overige vervoersbehoeften (boodschappen, ontspanning, vakantie) op basis van vergelijking met landelijke data. Daarmee volgt per gemeente voor resulterende laadenergiehoeveelheden per laadstation-klasse (GJ/jaar). In geval van elektriciteit wordt dit omgeslagen naar laadprofielen op basis

van generieke vervoersdata over moment van transport en de daaruit voortvloeiende laad-behoefte in de overige tijdvakken. Daarbij wordt als werkhypothese niet uitgegaan van een mogelijk toekomstige introductie van prikkels voor gelijkmatig laden.

2.2 2030

Voor de autonome groei van het aantal personenauto's is verondersteld dat die gelijke tred houdt met de groei van het aantal woningen in relatie tot het huidig aantal woningen, met eenzelfde verhouding tussen aantal woningen en aantal personenauto's in een gebied als huidig.

Voor 2030 wordt in het Klimaatakkoord ingezet op een versnelling van de elektrificatie van vervoer met inzet op enkel 100% emissieloze personenauto's (BEV of FCEV) bij nieuwverkoop in 2030 en verdere ondersteuning voor aankopen van elektrische auto's die moet leiden tot 1,9 mln BEV op de weg in 2030. Ook voor FCEV zijn ambitieuze doelen gesteld, met aanleg van een netwerk van 50 tankstations en 300.000 van dergelijke voertuigen op de weg. Slaan we deze getallen om naar de Provincie Limburg op basis van inwonertal, dan geldt een schaling van ongeveer 6%. In dat geval zouden er in 2030 ongeveer 20.000 FCEV en 100.000 BEV zijn in de provincie. In het Klimaatakkoord Plus-scenario wordt een sterkere groei van BEV verondersteld, naar rato van de hogere hernieuwbare elektriciteitsproductie. De ruimtelijke verdeling van de betreffende elektriciteits- en waterstofvraag is naar rato afgeleid van de huidige registratie van personenauto's. De locatie de elektriciteitsvraag is eveneens naar rato gekoppeld aan benodigd veronderstelde private laadfaciliteiten thuis en op het werk, publieke laadfaciliteiten bij openbare parkeerplaatsen (winkelcentra, stadions, etc.) en tankstations op basis van de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG). Voor wat betreft de waterstof vulpunten bij de bestaande tankstations wordt uitgegaan van geleidelijke ontwikkeling van een netwerk langs de corridors (snelwegen) tot 2030, en nadien ook verdere uitrol naar rato van het aantal gebruikers.

In geval van busvervoer is met het bestuursakkoord nul-emissiebusvervoer uit 2016 (en de daaraan voorafgaande Green Deal Zero Emissie Openbaar Busvervoer uit 2012) al de ambitie geformuleerd om vanaf 2025 alleen nieuwe lijnbussen in gebruik te nemen die geen CO₂ uitstoten, en dat de hele Nederlandse lijnbussenvloot in 2030 op deze standaard over is gegaan. Dit is eveneens bestendigd in het Klimaatakkoord.

Voor zwaar transport wordt ingezet met FCEV in wegvervoer, en zullen er tegen 2025 ten minste 3.000 van deze FCEV-vrachtauto's rondrijden in Nederland. Op basis van voren genoemde schaling zou dat dus neerkomen op ongeveer 200 van dergelijke voertuigen in de provincie.

Treinverkeer schaaft voor 2030 conform de groei over het gelopen decennium. Voor luchtvaart worden de eerste hybride vliegtuigen ingezet voor kortere afstanden (500 km-1.000 km). Dit vertaalt zich netbelastingen voor vliegtuigen, maar het gaat dagelijks nog maar om één of enkele vluchten vanaf Maastricht Aachen Airport.

2.3 2050

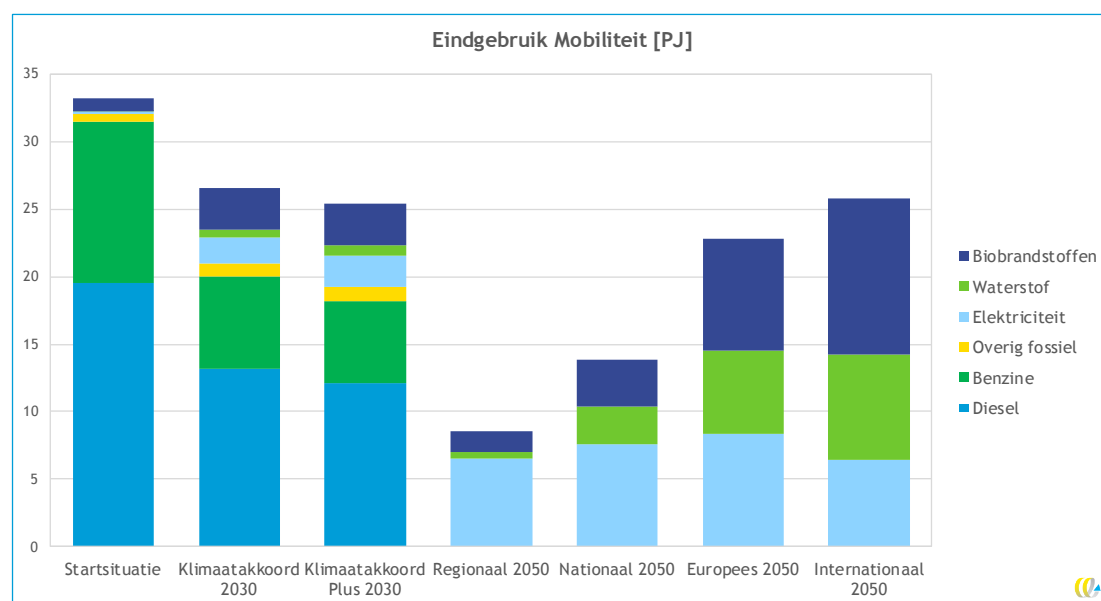
De vier 2050-scenario's zijn gebaseerd op de studie 'Net voor de Toekomst' en de navolgende update I13050. Hier wordt in het Regionale en Nationale-scenario sterker geëlektrificeerd, terwijl er in het Europese en Internationale-scenario meer ruimte is voor inzet van waterstof, maar ook biobrandstoffen en (in vrachtvervoer) groengas. Het treinverkeer neemt sterk toe en verdubbelt ten opzichte van het niveau van 2020.

Voor luchtvaart wordt in het scenario Regionaal sterk ingezet op elektrificatie. In ongeveer de helft van de vluchten vanaf Maastricht Aachen Airport gaat het om hybride vliegtuigen, maar 25% van de vluchten zijn volledig geëlektrificeerd. Voor het scenario Nationaal wordt elektrificatie minder sterk ingezet, waarbij ongeveer 25% van de vluchten vanaf Maastricht Aachen Airport worden uitgevoerd met hybride vliegtuigen. Voor het overige wordt in de 2050-scenario's synthetische brandstoffen ingezet voor de vluchten vanaf de luchthaven.

Tabel 8 - Mix van energiedragers in mobiliteit per scenario

	Regionaal	Nationaal	Europees	Internationaal
Personenvervoer	100% elektrisch	95% elektrisch 5% waterstof	70% elektrisch 30% waterstof	50% elektrisch 40% waterstof 10% biobrandstoffen
Vrachtovervoer	75% elektrisch 15% waterstof 10% groengas	50% waterstof 25% elektrisch 25% biobrandstoffen	25% elektrisch 25% waterstof 25% groengas 25% biobrandstoffen	50% biobrandstoffen 25% waterstof 25% elektrisch

2.4 Overzicht energievraag



2.5 Gebruikte literatuur

- Banen van werknemers; geslacht, leeftijd, woon- en werkregio's (CBS, 2020)
- Tankstations in Noord-Holland (Benzinestations.nu, 2019)
- Brochure Nissan Leaf (Nissan, 2020)
- Proterra 40 foot bus specifications (Proterra, 2020)
- FastNed 175 kW snelladers (Fastned, sd)
- Aanbod openbaar vervoer (Rekenkamer Amsterdam, 2016)
- SER Energieakkoord 2013 (SER, 2013)
- Nationale Energieverkenning 2017 (PBL; ECN; CBS; RVO)
- Emissie full electric truck prospect (EMOSS, sd)

3 Industrie

De ontwikkeling van het energiesysteem voor de procesindustrie is in belangrijke mate regionaal maatwerk. We maken voor de invulling gebruik van de vier hoofdrichtingen conform de rapportage Klimaatneutrale energiescenario's 2050 van Berenschot/Kalavasta (zie ook (Berenschot & Kalavasta, 2020), ten behoeve van de Integrale infrastructuurverkenning 2030-2050 (II3050) van de Nederlandse netbeheerders verenigd in het consortium iNET. Vanuit deze narratieven worden scenario's voor de specifieke ontwikkelingen in Limburg opgesteld onder andere gebruik van de plannen zoals die worden ontwikkeld binnen Chemelot in de context van Brightsite en het Limburgs Energie Akkoord (LEA).

Voor de verdere ontwikkeling van industrie in Limburg wordt uitgegaan van het bestaande industriële systeem dat wordt gekarakteriseerd op basis van onder meer de nationale emissieregistratie (Nederlandse emissie autoriteit - NEa), en gegevens voor industrieel energieverbruik uit de klimaatmonitor.

Belangrijke onderscheidende ingrediënten van de scenario's zijn onder andere de beschikbaarheden van energiedragers ten behoeve van de warmte- en stoomvragende processen van de procesindustrie in Limburg en ommeland ('elektronen vs. moleculen'), de beschikbaarheid van CO₂-infrastructuur, en de ontwikkeling met betrekking tot CCU:

- beschikbaarheid van waterstof en van waterstofinfrastructuur;
- beschikbaarheid van warmte- en stoominfrastructuur;
- beschikbaarheid van (diepe) geothermie;
- elektrificatie;
- CO₂-netwerkontwikkeling (Keulen-Chemelot-Rotterdam).

Voor het concretiseren van scenario's voor de industrie moeten de decarbonisatie-opties op bedrijfsniveau in kaart gebracht worden. Daarbij wordt in de eerste plaats uitgegaan van decarbonisatie opties zoals die in kaart zijn gebracht in het eerder genoemde MIDDEN-project van TNO en PBL. Chemelot wordt apart behandeld vanwege de schaal en cluster-specifieke opties. In dit project zijn mogelijkheden voor aanpassing in de context van het integrale proces in beeld gebracht, waarbij ook gebruik van restgassen en stoomuitwisseling binnen het cluster van belang is. De opties voor Chemelot zijn ingeschat op basis van de huidige inzichten binnen de activiteiten voor Brightsite en vanuit Sitech. Voor het in kaart brengen van de decarbonisatie-opties voor de LEA-bedrijven is verder gebruik gemaakt van inschattingen van de aangesloten bedrijven.

Voor de overige bedrijven in Limburg is een inschatting gemaakt van mogelijkheden voor decarbonisatie van de warmtevoorziening, volgens de volgende methodiek:

- warmteverbruik en elektriciteitsverbruik van wkk worden meegenomen op basis van openbare informatie;
- procestemperaturen voor warmteverbruik ingeschat op basis van proceskennis;
- voor gegeven jaar en scenario wordt per temperatuurregime (< 200°C, 200°C - 400°C, > 400°C) het aandeel gebruik van een optie voor decarbonisatie van de warmtevraag ingeschat op grond van techno-economische haalbaarheid en de scenarioschetsen;
- het deel van de warmte dat in het gegeven jaar en scenario niet wordt gedecarboniseerd, wordt aangenomen door gas te worden ingevuld.

De inschatting voor bedrijven in het ommeland zijn gebaseerd op publieke informatie met betrekking tot emissies, proceskennis vanuit projecten zoals het MIDDEN-project en huidige inzichten in het lopende project Trilateral infrastructure dat TNO uitvoert in samenwerking met VITO en Dechema.

3.1 2020

Startpunt voor de data-acquisitie voor de huidige situatie wordt gevormd door jaarlijkse CO₂-emissiedata op bedrijfsniveau. Voor ca. 55 individuele (grote) bedrijven in Limburg zijn publieke CO₂-emissiedata beschikbaar voor installaties met een nominaal thermisch ingangsvermogen van meer dan 20 MW (zie ook Nederlandse Emissie autoriteit, NEa). Veruit de hoogste uitstoot van broeikasgassen vindt plaats bij het industriecluster Chemelot. In 2017 ging het om ongeveer 6,0 Mton CO₂e (hiervan is 1,1 Mton CO₂e aan lachgas (N₂O) die niet onder het ETS valt). Ook voor de omliggende regio's als het Roergebied, Keulen, Luik en Genk, en Antwerpen zijn vanuit de NEa-database CO₂-emissiegegevens beschikbaar.

Voor een deel van de Nederlandse NEa-bedrijven is verder op installatieniveau het energieverbruik (maar ook proces en decarbonisatie-opties) in kaart gebracht op installatieniveau in het lopende MIDDEN-project² van TNO en PBL. Aanvullend is gebruik gemaakt van gegevens over het huidige gas- en elektriciteitsverbruik bij industriële bedrijven op bedrijfsniveau (via uitvraag bij Sitech, de LEA bedrijven en bij Enexis). Voor bedrijven in het ommeland, wordt uitgegaan van emissiedata in samenhang met gasverbruik of verbruik van andere koolstof houdende energiedragers op basis van proceskennis, om tot een inschatting van het jaarlijkse gasverbruik en elektriciteitsverbruik te komen.

Voor kleinere Limburgse (niet-LEA) bedrijven, wordt gebruik gemaakt van informatie zoals beschikbaar in de klimaatmonitor. Aanvullend wordt een 'restpost industrie' voorzien op basis van het totale gas- en elektriciteitsverbruik van de industrie per gemeente, zoals die wordt gerapporteerd in de klimaatmonitor.³ Voor gemeenten waar het energieverbruik volgens de klimaatmonitor hoger is dan die van de bekende individuele bedrijven in die gemeente, wordt aangenomen dat hier energiedata ontbreekt. Het ontbrekende energieverbruik wordt toegewezen aan de restpost industrie op gemeenteniveau. Alle restpost industrie wordt aangenomen kleine bedrijven te zijn, en krijgt een 'industrie dagbedrijf'-profiel. Het afnamevermogen voor gas en elektriciteit is ook voor deze categorie bepaald op basis van het jaarlijks verbruik en de geschatte jaarlijkse vollasturen.

Uit de samengestelde informatie voor individuele bedrijven en restpostdata zal het totale vermogen (MW) voor gas- en elektriciteitsverbruik opgesteld, bepaald per profiel per gemeente.

Het afnameprofiel voor industriële bedrijven wordt gebaseerd op de schaalgrootte van het bedrijf. Een classificering wordt toegepast voor de grootte (energieverbruik) van bedrijven (groot/midden/klein), uitgebreid met een extra categorie 'zeer groot' (> 2 miljoen m³ gas per jaar) voor de zeer energie-intensieve industrie. Voor de bedrijven die 'zeer groot' zijn wordt aangenomen continu (hier 'continubedrijf' genoemd) te draaien. Kleinere bedrijven (hier 'dagbedrijf' genoemd) worden aangenomen ruim 4.000 vollasturen per jaar te draaien. Chemelot vormt een aparte categorie en wordt ook geclassificeerd als continubedrijf, conform huidige inzichten vanuit Brightsite en zoals bevestigd door betrokkenen van Sitech. Het vermogen van de vraag naar aardgas en elektriciteit per bedrijf wordt bepaald op basis van het jaarlijks verbruik en de geschatte jaarlijkse vollasturen.

² Zie [MIDDEN](#)

³ Zie: [Klimaatmonitor](#)

Naast gas en elektriciteit wordt op Chemelot ook gebruik gemaakt van andere energiedragers/grondstoffen die per pijplijn worden aangevoerd. Chemelot is daartoe aangesloten op pijpleidingen voor deze energiedragers/grondstoffen met de havens van Antwerpen, Rotterdam en het Roergebied. Deze infrastructuur voor overige energiedragers/grondstoffen is reeds in kaart gebracht in voorgaande analyse van TNO in het lopende project Trilateral infrastructure, en informatie van Sitech.

3.2 2030

Richting 2030 wordt uitgegaan van beperkte toepassing van elektrificatie, biogas en beperkt waterstof op basis van ofwel de huidige inzichten vanuit verkenning en planvorming bij de bedrijven in Limburg (LEA en Chemelot), ofwel de landelijke doelstellingen voor emissiereductie in industrie (de overige bedrijven).

In geval van de LEA-bedrijven wordt daarbij uitgegaan van met name toepassing van warmtepompen en elektrische boilers voor lage en midden temperatuur warmtebehoefte tot zo'n 20%. Bij enkele bedrijven kan mogelijk beperkt gebruik gemaakt gaan worden van warmte uit warmtenetten en in enkele gevallen wordt ook beperkte inzet van groengas of waterstof als reëel optie beschouwd indien beschikbaar. Voor de niet-LEA-bedrijven wordt uitgegaan van 10 à 20% toepassing van warmtepompen en elektrische boilers voor lage- en middentemperaturen, aangevuld met groengas inzet tot 5% voor middentemperaturen. Met uitzondering van Chemelot, is voor alle bedrijven onderscheid gemaakt tussen het Klimaatakkoord-scenario en het Klimaatakkoord Plus-scenario. In het Klimaatakkoord Plus-scenario wordt een versterkte inzet op de Klimaatakkoordscenario-opties verondersteld van ongeveer 30%, in lijn met het toenemende aanbod van hernieuwbare energie.

Specifiek voor Chemelot wordt uitgegaan van beperkte toepassing van elektrificatie. De aanpassingen op deze termijn zijn met name gericht op besparing op het beperkte aardgasverbruik voor stoomproductie. De huidige stoomproductie is voor ongeveer 80% geleverd door warmte uit exotherme processen en warmteterugwinning in kraak- en reformprocessen, voor een kleine 10% op restgassen en voor het overige op aardgas. Mogelijkheden voor uitfasering van aardgas liggen dan in met name:

- elektrische aandrijving van compressoren in plaats van stoomturbines;
- beperkte elektrificatie van de stoomproductie (e-boiler);
- beperkte aanvullende elektrificatie van processen;
- stoombesparingsprojecten/proces efficiency-projecten.

Bij realisatie kan dan zelfs een stoomoverschot resulteren. De beoogde emissiereductie tot 3,6 Mton CO₂ wordt daarbij nog niet gerealiseerd, maar in dit verband wordt verder gedacht aan toepassing van biomassa, reductie van lachgas (met 0,9 Mton) en CO₂-afvang.

3.3 2050

Voor de invulling van de scenario's tot 2050 wordt gebruik gemaakt van de vier hoofdrichtingen conform de rapportage Klimaatneutrale energiescenario's 2050 van Berenschot/Kalavasta. Hierin worden scenario's voor industrie onderscheiden in de volgende dimensies (zie ook Tabel 9);

- jaarlijkse krimp vs. groei (-1%/0%/1%);
- circulariteit vs. CCS (sterk circulair/circulariteit belangrijk, CCS mogelijk/CCS belangrijk);
- elektronen vs. moleculen (sterke elektrificatie, inzet groengas/sterke elektrificatie inzet waterstof/sterke elektrificatie, inzet waterstof en fossiel + CCS);
- circulaire vs. fossiele feedstock (circulaire feedstock/fossiele feedstock).

De verdere invulling van de scenario's in dit project wordt hierna toegelicht.

Tabel 9 - Kerngegevens industrie per scenario

Regionaal	Nationaal	Europees	Internationaal
Industrie			
Krimp 1% per jaar	Gelijk aan huidig	Groei 1% per jaar	Groei 1% per jaar
Efficiency 1% per jaar	Efficiency 1% per jaar	Efficiency 1% per jaar	Efficiency 1% per jaar
Sterk circulair	Circulariteit belangrijk,	CCS belangrijk	CCS belangrijk
Sterke elektrificatie, inzet groengas	CCS mogelijk	Sterke elektrificatie en inzet waterstof	Sterke elektrificatie, inzet waterstof en fossiel + CCS
ICT groeit sterk	Sterke elektrificatie inzet waterstof	ICT groeit sterk	ICT groeit sterk
Circulaire feedstock	ICT groeit sterk	Fossiele feedstock	Fossiele feedstock
	Circulaire feedstock		

Regionaal - Veel elektrificatie, maar ook warmte/geothermie

Elektrificatie is mogelijk voor de meeste bedrijven en wordt in dit scenario volop uitgevoerd. Waar mogelijk worden warmtepompen ingezet (voor met name lage-temperatuurwarmteprocessen) en elektrische boilers of elektrische fornuizen. Voor processen die lastig te elektrificeren zijn, wordt biogas of waterstof ingezet. Verder is er in dit scenario meer ruimte voor inzet op warmte, waar techno-economisch reëel, bijv. geothermie in de papierindustrie.

De LEA-bedrijven zetten in dit scenario sterk in op elektrificatie van lage en midden-temperatuurwarmte op basis van warmtepompen en elektrische boilers, in verscheidene gevallen tot niveaus van zo'n 25 à 50%. Daar waar in het 2030-scenario al gebruik werd gemaakt van warmtenetten, wordt dat in dit scenario verder uitgebreid tot 20 à 25%. Aanvullend wordt gebruikmaking van biogas of vooral waterstof voorzien.

Voor de overige, kleinere, bedrijven wordt voor lage- en middentemperatuur warmte sterk ingezet op warmtepompen (30%) en elektrische boilers (40%), maar ook warmtenetten op basis van geothermie (20%) en aanvullend waterstof. Voor hoge temperaturen wordt beperkt ingezet op elektrische boilers en elektrische fornuizen, aangevuld met waterstof.

Specifiek voor Chemelot wordt uitgegaan van:

- waterstof aanvoer voor het stikstofcluster;
- elektrificatie van fornuizen in stoomkraker;
- elektrificatie van ovens, turbines e.d. voor de resterende processen;
- er wordt gebruik gemaakt van pyrolyse olie en biodiesel (2 op 1) als feedstock voor het chemiecluster.

De energiebehoefte vanuit het cluster ligt is in dit scenario met een terugval van ongeveer 50% in het stikstofcluster en 30% in het chemiecluster significant lager dan in de overige scenario's, in lijn met de veronderstelde terugval in productievermogen zoals die is neergelegd in de studie van Berenschot en Kalavasta.

Nationaal - Veel elektrificatie

Elektrificatie is ook in dit scenario een belangrijke optie, al is er in dit scenario wat meer ruimte voor waterstof vanwege de veronderstelde ontwikkeling van de backbone. Waar mogelijk worden warmtepompen ingezet (voor met name laagtemperatuurwarmteprocessen), elektrische boilers of elektrische fornuizen. In dit scenario is nauwelijks ruimte voor warmtenetten in vergelijking tot het voorgaande scenario.

De LEA-bedrijven zetten in dit scenario sterk in op elektrificatie van lage- en midden-temperatuurwarmte op basis van warmtepompen en elektrische boilers tot vergelijkbare niveaus als in het scenario Regionaal.

Voor de overige, kleinere, bedrijven wordt voor lage- en middentemperatuurwarmte sterk ingezet op warmtepompen en elektrische boilers, met een sterkere nadruk op warmtepompen en aanvullend waterstof. Voor hoge temperaturen wordt beperkt ingezet op elektrische boilers en elektrische fornuizen, aangevuld met waterstof.

Voor Chemelot wordt in dit scenario verondersteld:

- elektrificatie van fornuizen in stoomkraker;
- elektrificatie van ovens, turbines e.d. voor de resterende processen;
- toepassing van waterstof uit backbone voor kunstmestproductie;
- er wordt gebruik gemaakt van pyrolyseolie en biodiesel (2 op 1) als feedstock voor het chemiecluster.

De productieniveaus op Chemelot liggen met een terugval van 30% op het stikstofcluster wat lager, met de nodige gevolgen voor de waterstofbehoefte.

Europees - Elektrificatie met meer moleculen: sterkere inzet op moleculen en biomassa, en procesinnovatie

In dit scenario wordt waterstof, biogas en geothermie volop ingezet voor de warmtebehoefte van de industrie, en slechts beperkt elektrificatie toegepast. Productie van biogas door afvalwaterzuiveringsbedrijven wordt geoptimaliseerd, omgezet groengas en via het gasnet ingezet bij bedrijven ter vervanging van aardgas. In dit scenario is er ook ruimte voor toepassing van CCS, wat mogelijkheden biedt voor Chemelot.

De LEA-bedrijven zetten in dit scenario nog wel in op elektrificatie voor lage en midden-temperatuurwarmte op basis van warmtepompen en elektrische boilers, maar dat ligt significant (ongeveer de helft) lager dan in de voorgaande scenario's. Voor het overige wordt waterstof en biogas de dominante energiedragers.

De kleinere bedrijven zetten voor lage- en middentemperatuurwarmte nog altijd in op warmtepompen en elektrische boilers, maar ook hier halveert deze inzet ten opzichte van de voorgaande scenario's. Voor hoge temperaturen wordt beperkt ingezet op elektrische boilers en elektrische fornuizen, aangevuld met waterstof.

Voor Chemelot:

- in het stikstofcluster wordt gebruik gemaakt van methaan in combinatie met CCS;
- toepassing van elektrificatie van de fornuizen bij de kraker;
- er wordt gebruik gemaakt van pyrolyse olie en biodiesel (2 op 1) als feedstock voor het chemiecluster.

In dit scenario wordt verdere groei van de productie op Chemelot verondersteld met ongeveer 45% op het chemiecluster en 20% op het stikstofcluster.

Internationaal - Continuering gebruik fossiel, veel moleculen en beperkte elektrificatie

Dit scenario gaat uit van een volledig open internationale markt op mondiaal niveau, waarbij met een krachtig internationaal klimaatbeleid. Import van energie wordt in dit scenario een belangrijke hoek en Nederland is niet zelfvoorzienend. Ook zal er in dit scenario sprake zijn van sterke internationale samenwerkingen internationale infrastructuur (binnen Europa) voor de uitwissing van energiedragers (waterstof, biomassa, biobrandstof). In dit scenario wordt bovendien uitgegaan van continuering van fossiele feedstock.

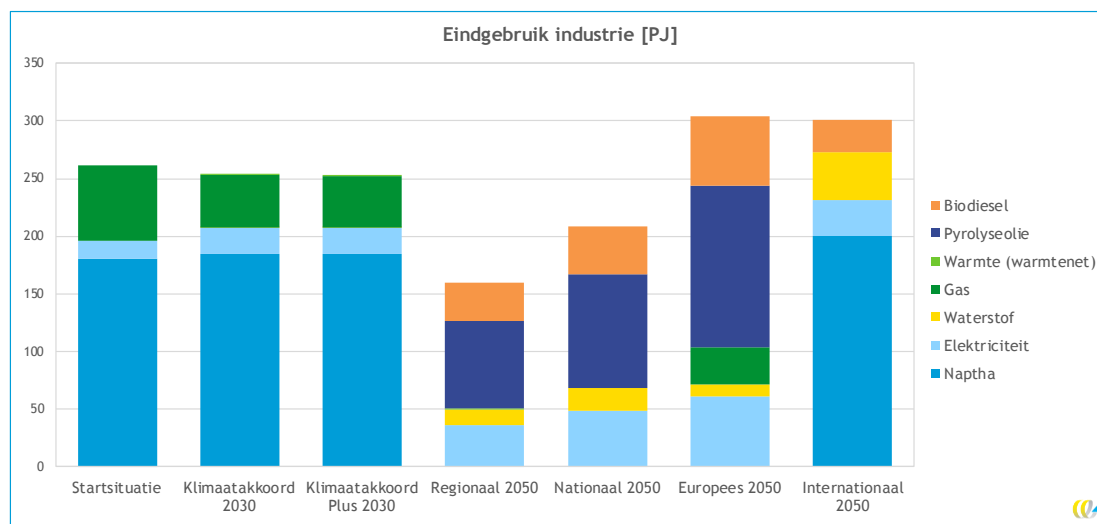
De LEA-bedrijven zetten in dit scenario sterk in gebruik van biogas en waterstof, en elektrificatie wordt nog slechts beperkt toegepast voor laagtemperatuurwarmte waar dit nog wel duidelijk de voorkeursoptie biedt. Enkele uitzonderingen daargelaten loopt elektrificatie daarmee sterk terug tot niveaus van zo'n 10 à 20%. Voor de overige, kleinere, bedrijven wordt ook op deze wijze invulling gegeven aan lage- en middentemperatuur warmtebehoefte en het grootste deel van de warmtebehoefte ingevuld met biogas en waterstof.

Bij Chemelot:

- gebruik van (import)waterstof voor kunstmestproductie;
- voor de krakers wordt elektrificatie toegepast;
- nafta als feedstock voor het chemiecluster wordt gecontinueerd.

In dit scenario blijft ca. 600 kt methaan over. Indien uitgegaan wordt van inzet voor kunstmest is slechts ca. 20 kt waterstof nodig. In dit scenario wordt verdere groei van de productie op Chemelot verondersteld van ongeveer 45% op beide clusters.

3.4 Overzicht energievraag



3.5 Gebruikte literatuur

- Warmte-energie, de motor van de industrie (Davidse Consultancy, 2012)
- Dutch program for the acceleration of sustainable heat management in industry (ECN, 2017c)
- Heat management in industry, scoping study final report (ECN, 2017d)
- Selected industrial processes which require low temperature heat (Krmelj, 2011)
- Visie op de toekomst van de Nederlandse procesindustrie (Lieshout, 2017)
- Restwarmtebenutting (ECN, 2011)
- Heat and cooling demand and market perspective, Report EUR 25381 EN, JRC (Pardo, et al., 2012)
- Uitvraag decarbonisatie routes LEA bedrijven
- Uitvraag decarbonisatie routes Chemelot



4 Landbouw

De Limburgse landbouwsector is voornamelijk te vinden in de RES-regio Noord- en Midden Limburg en dan voornamelijk in de gemeentes Horst aan de Maas, Peel en Maas en Venlo. Deze drie gemeentes zijn verantwoordelijk voor meer dan 85% van het totale energieverbruik van de landbouw in Limburg. In Zuid-Limburg is de landbouw van bescheiden grootte⁴.

In totaal is er circa 130.000 ha aan landbouwgrond in Limburg. Dit is ongeveer 6% van de totale landbouwgrond in Nederland. Slechts een klein deel van de landbouwgrond, ongeveer 1.300 ha, wordt gebruikt voor glastuinbouw. Maar de glastuinbouw is wel verantwoordelijk voor het grootste deel van de energievraag van de landbouw vanwege de hoge energie-intensiteit van deze sector.

Het grootste gedeelte van de energievraag van de landbouw wordt gebruikt voor productie van warmte, met name voor de glastuinbouw. Deze warmtevraag wordt voornamelijk ingevuld met gas. Hiervoor worden gasketels en wkk-installaties gebruikt. Daarnaast wordt er in Horst aan de Maas gebruik gemaakt van geothermie.

4.1 2020

Voor elke buurt in Limburg is het gasverbruik en het elektriciteitsverbruik van de landbouw/veehouderij en glastuinbouw berekend. De berekeningen zijn in een notendop als volgt samen te vatten. Voor het energieverbruik van de agrarische sector zijn data beschikbaar op gemeenteniveau (Klimaatmonitor, 2019). Vervolgens delen we dat energieverbruik toe aan buurten binnen de gemeente naar rato van het aandeel landbouw/veehouderij en glastuinbouw in een buurt ten opzichte van het totaal in de gemeente. Hiervoor is data uit de BAG gebruikt.

Het elektriciteitsverbruik vanuit Klimaatmonitor bevat alleen de afname van het elektriciteitsnet. Dit betekent dat eigen verbruik en de productie door wkk's hier niet in is meegenomen. De totale vraag is berekend door het eigen verbruik door wkk's op te tellen bij de afname van net.

Om het eigen gebruik van elektriciteitsproductie door wkk's in te schatten is gebruik gemaakt van het overzicht van wkk's in Limburg, aangeleverd door Enexis. Deze wkk's zijn toebedeeld aan de buurten. Landelijke cijfers zijn gebruikt om de productie van de wkk's te bepalen op basis van het opgestelde vermogen (CBS, 2017)⁵. Een vaste verhouding tussen productie en eigen verbruik van wkk's is verondersteld. Er is aangenomen dat 44% van de productie van wkk's bestemd is voor eigen verbruik.

Op basis van de cijfers uit de klimaatmonitor komen we voor de landbouw op een totale methaan vraag van 16,1 PJ, waarvan 6,6 PJ gebruikt wordt voor wkk's. De totale elektriciteitsconsumptie bedraagt 2,6 PJ en de elektriciteitsproductie van wkk's 2,5 PJ. De totale consumptie van warmte uit geothermie, restwarmte en omgevingswarmte bedraagt 0,7 PJ.

⁴ De energievraag van de landbouw in Zuid-Limburg is minder dan 1% van het totale energieverbruik van de landbouw in Limburg.

⁵ Hieruit volgt dat wkk's in Nederland gemiddeld 3.450 vollasturen draaien.

4.2 2030

Het is de verwachting dat de glastuinbouw in de toekomst meer concentreert in zogenaamde 'concentratiegebieden'. Greenport Venlo is een van de concentratiegebieden en het areaal van die gebied groeit naar verwachting met 26% tot 2030. Voor de andere gebieden wordt een krimp verwacht (CBS, 2015). Het areaal in deze gebieden zal naar verwachting met 47% afnemen.

Voor 2030 zijn twee scenario's opgesteld: Klimaatakkoord en Klimaatakkoord Plus. Voor beide scenario's in 2030 zijn de berekeningen voor 2018 als vertrekpunt gebruikt.

Klimaatakkoord-scenario

Het Klimaatakkoord-scenario is gebaseerd op de prognoses van de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) (PBL, 2019). Daarnaast zijn enkele maatregelen uit het Klimaatakkoord apart meegenomen. De volgende effecten zijn meegenomen:

- Besparingen. Cijfers hiervoor zijn gebaseerd op prognoses uit de KEV (PBL, 2019). De energiebesparingsfactoren voor de Landbouw die gegeven zijn in de KEV zijn toegepast op alle buurten. Dit levert een totale energiebesparing op van 4% tot 2030.
- Groei of krimp arealen. Zie bovenstaande toelichting.
- Toenemende belichting. Het belicht areaal zal naar verwachting stijgen. Deze toename heeft alleen invloed op het elektriciteitsgebruik. De landbouwteelt van het CBS geeft de arealen per teeltcategorie per gemeente (CBS, 2019b). Het rapport "Prognoses CO₂-emissie glastuinbouw 2030" (Wageningen Economic Research, 2018) geeft een schatting van het aandeel areaal met belichting voor 2030 per teeltcategorie.
- Verduurzamingsmaatregelen. Hieronder valt de overstap van verwarming met aardgas naar alternatieve warmtebronnen (geothermie, restwarmte, omgevingswarmte, biomassa). De groei van het gebruik van alternatieve warmtebronnen volgt uit de KEV (PBL, 2019). Voor de overstap van verwarming met aardgas naar verwarming met omgevingswarmte of biomassa is een generieke factor gebruikt voor alle buurten. Voor geothermie en restwarmte zijn alleen buurten meegenomen met potentie voor geothermie (TNO, 2019), (RVO, 2020).
- Wkk's. De elektriciteitsproductie van wkk's daalt naar verwachting van 34 PJ naar 33 PJ (PBL, 2019). Deze daling is meegenomen door middel van een correctiefactor. Dezelfde correctiefactor is toegepast op alle wkk's.

Op basis van de cijfers uit de klimaatmonitor komen we in het Klimaatakkoord-scenario op een totale methaan vraag van 12 PJ, waarvan 6,4 PJ gebruikt wordt voor wkk's. De totale elektriciteitsconsumptie bedraagt 2,8 PJ en de elektriciteitsproductie van wkk's is 2,4 PJ. De totale consumptie van warmte uit geothermie, restwarmte en omgevingswarmte bedraagt 1,1 PJ.

Klimaatakkoord Plus-scenario

In het Klimaatakkoord Plus-scenario is de hernieuwbare elektriciteitsproductie met 36 TWh hoger dan in het Klimaatakkoord-scenario. Deze additionele hernieuwbare productie leidt tot extra elektrificatie van de energievraag en daarom tot een groei van de elektriciteitsvraag van 36 TWh. Dit komt overeen met 28% van de elektriciteitsvraag in het Klimaatakkoord-scenario.

De extra elektriciteitsvraag wordt uitgesmeerd over alle sectoren, wat betekent dat de elektriciteitsvraag van de landbouw in dit scenario 28% hoger ligt dan in het Klimaatakkoord-scenario. De verhouding tussen elektriciteitsgebruik voor warmte en elektriciteitsgebruik voor licht blijft gelijk ten opzichte van het Klimaatakkoord-scenario en er wordt niet gedifferentieerd naar buurt. Het additionele elektriciteitsverbruik voor warmte gaat ten koste van verwarming met gas (inclusief wkk's).

Dit leidt tot een totale methaan vraag van 11,6 PJ, waarvan 6,2 PJ gebruikt wordt voor wkk's. De elektriciteitsconsumptie bedraagt 3,6 PJ en de elektriciteitsproductie van wkk's is 2,4 PJ. De consumptie van warmte uit geothermie, restwarmte en omgevingswarmte blijft gelijk ten opzichte van het Klimaatakkoord-scenario op 1,1 PJ.

4.3 2050

Tot 2050 is een jaarlijkse toename van 3% voorzien voor de elektriciteitsvraag. Deze groei wordt voornamelijk veroorzaakt door intensievere verlichting. Voor de warmtevraag is een jaarlijkse afname van 1% voorzien. Hoe de warmtevraag wordt voorzien, verschilt per scenario.

Tabel 10 - Invulling warmtevraag landbouw 2050-scenario's

	Geothermie	Warmtepomp WKO	Biomassaketel	Gasketel (groen gas)	Warmtenet
Regionale sturing	60%	0%	15%	25%	0%
Nationale sturing	60%	20%	15%	0%	5%
Europese sturing	40%	50%	10%	0%	0%
Internationale sturing	40%	25%	10%	0%	25%

Bij de invulling van de warmtevraag wordt onderscheid gemaakt tussen buurten waar geothermie of restwarmte mogelijk is en buurten waar dit niet mogelijk is. Er is aangenomen dat gasketels en warmtepompen alleen gebruikt worden in buurten zonder geothermie. Alleen in het regionale scenario wordt gebruik gemaakt van gasketels met groen gas.

Voor de elektriciteitsvraag (exclusief elektriciteit voor warmte) is aangenomen dat dezelfde groeifactor geldt voor alle buurten.

De totalen (in PJ) voor de verschillende scenario's zijn gegeven in Tabel 11.

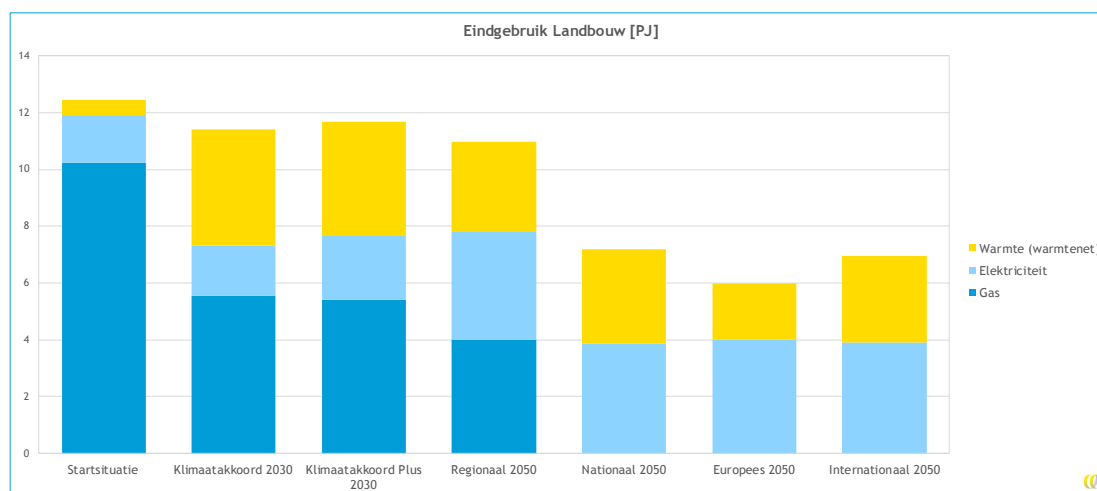
Tabel 11 - Uitkomsten

	Elektriciteitsvraag	Elektriciteitsproductie wkk's	Gasvraag	Geothermie	Overige warmtebronnen ⁶
Regionale sturing	6.00	0	4.0	3.1	0.1
Nationale sturing	6.13	0	0	3.1	2.0
Europese sturing	6.19	0	0	1.9	4.6
Internationale sturing	6.17	0.3	0	1.9	3.4

⁶ Omgevingswarmte en restwarmte.

4.4 Overzicht energievraag

Figuur 4 - Overzicht energievraag landbouw (in PJ)



4.5 Warmtebronnen

In Midden-Limburg, waar het grootste deel van de landbouw zich bevindt, kan er in potentie gebruik gemaakt worden van geothermie als alternatief voor aardgas. Daarnaast kan er gebruik gemaakt worden van hoge-temperatuur restwarmte. Deze restwarmte wordt geproduceerd door industrie, zoals Chemelot, papierfabrieken en steenfabrieken. De warmtebronnen in Limburg zijn weergegeven in Figuur 1.

In Tabel 12 is aangegeven welke bedrijven deze restwarmte kunnen leveren aan de glastuinbouw. Daarnaast is aangegeven hoeveel restwarmte van deze bedrijven er in elk scenario gebruikt wordt. Er is hierbij onderscheid gemaakt tussen de volgende clusters: Maastricht-Heuvelland, Westelijke Mijnstreek, Parkstad, Midden-Limburg, Regio Venlo en Noord-Limburg (excl. Regio Venlo). Met name de clusters Regio Venlo en (in mindere mate) Midden-Limburg zijn relevant, aangezien daar het grootste gedeelte van de Limburgse landbouw gecentreerd is. In

Tabel 13 is de verdeling van de gemeentes over de clusters weergegeven.

Tabel 12 - Overzicht warmtebronnen en warmtelevering landbouw, opgesplitst per cluster

Cluster	Warmtebronnen	Warmtelevering (GJ)						
		2020	2030 KA	2030 KA+	2050 Reg.	2050 Nat.	2050 Eur.	2050 Int.
Maastricht-Heuvelland	— Chemelot	-	-	-	-	-	-	4.968
	— ENCI							
	— Sappi							
	— Overigen							
Westelijke Mijnstreek	— Chemelot	-	-	-	-	-	-	1.460
	— Sappi							
	— Nedcar							
	— Overigen							
Parkstad	— Chemelot	-	-	-	-	-	-	3.094
	— Sappi							

Cluster	Warmtebronnen	Warmtelevering (GJ)						
		2020	2030 KA	2030 KA+	2050 Reg.	2050 Nat.	2050 Eur.	2050 Int.
	— Steenfabriek Poriso — Overigen							
Midden-Limburg	— Chemelot — Smurfit Kappa Roermond — Rockwool B.V.,	6.212	7.593	7.593	1.466	5.712	1.466	76.548
Regio Venlo	— Smurfit Kappa Roermond — Monier BV — Dakpanfabriek Tegelen — Baksteen Helden — Kleiwarenfabriek Kessel — DSM Venlo — Euroceramic — Steenfabriek Nuance — MGG	215.462	259.237	259.237	91.976	198.034	91.976	1.066
Noord-Limburg (excl. Regio Venlo)	— Georgia-Pacific — Nutricia Cuijk	-	-	-	-	-	-	158

Tabel 13 - Verdeling gemeentes over clusters

Cluster	Gemeentes
Maastricht-Heuvelland	Maastricht, Eijsden-Margraten, Gulpen-Wittem, Meerssen, Vals en Valkenburg aan de Geul
Westelijke Mijnstreek	Beek, Stein en Sittard-Geleen
Parkstad	Beekdaelen, Brunssum, Heerlen, Kerkrade, Landgraaf, Simpelveld en Voerendaal
Midden-Limburg	Beesel, Echt-Susteren, Leudal, Maasgouw, Nederweert, Roerdalen en Roermond
Landbouwgebied regio Venlo	Bergen, Horst aan de Maas, Peel en Maas en Venlo
Noord-Limburg (excl. landbouwgebied regio Venlo)	Gennep, Mook en Middelaar, Venray

4.6 Gebruikte literatuur

Huidige situatie

Voor de huidige situatie zijn de landbouw arealen en de invulling van de landbouw in kaart gebracht op basis van CBS-data. Het type landbouw is relevant voor ontwikkelingen van onder andere belichting.

- Bestand Bodemgebruik (CBS, 2015)
- Landbouw: gewassen, dieren en grondgebruik naar gemeente (CBS, 2019b)

Daarnaast is data van klimaatmonitor gebruikt om het huidige energieverbruik van de landbouw in kaart te brengen. CBS data is gebruikt voor de productie van de wkk's.

- Klimaatmonitor, 2019. Energiegebruik Landbouw, bosbouw en visserij- Gemeenteniveau (Klimaatmonitor, 2019)
- Elektriciteit; productie en productiemiddelen (CBS, 2017)

Prognoses 2030

Voor de prognoses voor het energieverbruik van 2030 is gebruik gemaakt van de KEV. Daarnaast is toename in het elektriciteitsverbruik door belichting meegenomen op basis van een studie van de Universiteit Wageningen.

- Klimaat- en Energieverkenning (PBL, 2019)
- Prognoses CO₂-emissie glastuinbouw 2030 (Wageningen Economic Research, 2018)

Warmtebronnen

Voor de beschikbaarheid van warmtebronnen is gebruik gemaakt van de Warmteatlas van RVO (voor restwarmtebronnen) en ThermoGis van TNO (voor geothermie).

- Warmteatlas (RVO, 2020)
- ThermoGis. (TNO, 2019)

5 Elektriciteit

5.1 Zon en wind

Het grootste deel van de hernieuwbare elektriciteitsproductie in Limburg is afkomstig van zonnepanelen. Het grootste gedeelte van deze zonnepanelen ligt op daken, waarvan ongeveer 2/3 op woningen en 1/3 op bedrijfsgebouwen. Daarnaast zijn er enkele zonneparken in Limburg, namelijk in Maastricht, Kerkrade en Venlo. Verder wordt er hernieuwbare elektriciteit opgewekt met windmolens in de gemeentes Leudal en Heerlen.

2020

Voor het opgesteld vermogen aan zon-pv is gebruik gemaakt van de meest recente data uit de klimaatmonitor (Klimaatmonitor, 2018). Voor kleinschalige zon op dak (< 15 kW) is deze data beschikbaar op buurniveau. Voor grootschalige zon op dak (> 15 kW) en zon op veld is deze data beschikbaar op gemeenteniveau. Deze vermogens zijn toebedeeld aan buurniveau op basis van aangeleverde data van de netbeheerder.

Voor wind op land is het huidige opgestelde vermogen op gemeenteniveau bepaald aan de hand van windstats (Windstats, 2019). Deze vermogens zijn vertaald naar buurniveau op basis van aangeleverde data van de netbeheerder.

2030

Voor 2030 worden twee scenario's onderscheiden: het Klimaatakkoord-scenario en het Klimaatakkoord Plus-scenario.

Klimaatakkoord

Voor het Klimaatakkoord-scenario zijn de uitkomsten van de RES-regio's Noord- en Midden Limburg en Zuid-Limburg gebruikt. Binnen de RES-regio's zijn ambities geformuleerd voor grootschalige zon op dak (> 15 kW), zon op veld en wind op land.

Voor 2030 zal Limburg voornamelijk inzetten op elektriciteit uit zonnepanelen. In de RES is een ambitie van meer dan 2.000 MW aan grootschalige zon op dak en zon op veld geformuleerd. In Zuid-Limburg zullen voornamelijk zonneparken geplaatst worden. Een groot deel van deze ambitie wordt ingevuld met reeds geplande projecten⁷. Verder hebben de RES-regio's gezamenlijk een ambitie voor 300 MW geïnstalleerd vermogen aan wind op land. Het grootste deel van deze windmolens moet in Noord- en Midden-Limburg geplaatst worden.

Er zijn bij de RES drie scenario's opgesteld door zowel Noord- en Midden Limburg en Zuid-Limburg. Het gemiddelde van de drie scenario's die geformuleerd zijn is genomen voor de berekeningen. Voor grootschalige zon op dak (> 15 kW) is de ambitie geformuleerd op buurniveau. Voor zon op veld en wind op land zijn de ambities bepaald per onderstation.

⁷ Dit geldt voornamelijk voor zon op dak (> 15 kW). Hier is het opgestelde vermogen van huidige en geplande zonnepanelen zelfs al hoger dan de ambitie van de RES-regio's. Voor zon op veld is het bestaande en geplande vermogen nog niet voldoende om aan de ambitie te voldoen.

Deze zijn omgezet naar buurniveau op basis van de potentiële productie per buurt (NPRES, 2019).

Op basis van aangeleverde data van de netbeheerder is per buurt het bestaande en geplande opgesteld vermogen bepaald voor zon op dak groot (> 15 kW), zon op veld en wind op land. Hieruit blijkt dat in sommige gemeentes de ambitie vanuit de RES lager ligt dan het bestaande en geplande vermogen. In deze gevallen is ervoor gekozen om uit te gaan van het bestaande en geplande vermogen in plaats van de RES-ambitie.

Kleinschalige zon op dak (< 15 kW) valt niet onder de RES en daarom is er voor Limburg ook geen ambitie vastgesteld. In het Klimaatakkoord wordt uitgegaan van een nationale productie van 7 TWh van kleinschalige zon op dak. Op basis van de potentie voor kleinschalige zon op dak in Limburg en de rest van Nederland is deze nationale doelstelling omgezet naar een ambitie voor Limburg (NPRES, 2019). Hieruit volgt een ambitie van 0.55 TWh voor Limburg⁸. Deze ambitie is verdeeld over de buurten op basis van de potentie van kleinschalige zon op dak op buurniveau.

Klimaatakkoord Plus

In het Klimaatakkoord Plus-scenario wordt de nationale ambitie voor grootschalige hernieuwbare productie (zon op dak groot, zon op veld, wind op land en wind op zee) verhoogd van 84 TWh naar 120 TWh. Dit betekent een toename van 42%. Een gelijke (relatieve) toename wordt aangenomen voor zon op dak, zon op veld en wind op land. Dit betekent dat de RES-ambities met 42% verhoogd worden. Dezelfde verdeling over buurten wordt aangehouden als bij de originele RES-plannen.

Kleinschalige zon op dak valt niet onder de verhoogde nationale ambitie voor het Klimaatakkoord Plus-scenario. Dit betekent dat de ambitie gelijk is gehouden.

2050

Voor de vier 2050-scenario's is het opgesteld vermogen van zon op dak klein (< 15 kW), zon op dak groot (> 15 kW), zon op veld en wind op land bepaald. Deze nationale cijfers zijn omgezet naar cijfers voor Limburg op basis van de potentiële productie (NPRES, 2019). Vervolgens is de restopgave voor elk scenario, ten opzichte van het 2030 Klimaatakkoord-scenario, verdeeld over de buurten op basis van de potentiële productie op buurniveau (NPRES, 2019). Er is aangenomen dat het opgesteld vermogen voor 2050 minstens even hoog is als het 2030 Klimaatakkoord-scenario.

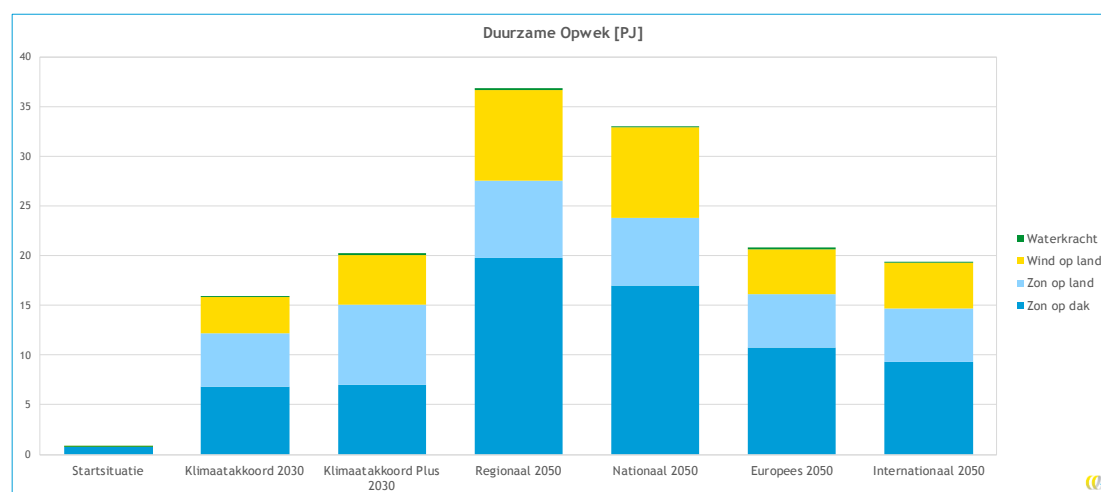
Het totale opgestelde vermogen aan zon en wind voor elk scenario is weergegeven in Tabel 14.

⁸ De nationale potentie voor zon op dak (< 15k W) in Nederland is 27 GW. Voor Limburg is dit 2,1 GW. Dit betekent dat 8% van de nationale ambitie aan Limburg toegerekend wordt.

Tabel 14 - Opgesteld vermogen zon-pv en wind in verschillende scenario's (in MW)

	2020	2030		2050			
		KA	KA+	Regionaal	Nationaal	Europees	Internationaal
Zon op dak klein (< 15 kW)	210	551	551	4.047	3.373	1.638	1.253
Zon op dak groot (> 15 kW)	96	1.347	1.394	1.442	1.347	1.347	1.347
Zon op veld	21	1.488	2.233	2.174	1.897	1.488	1.488
Wind op Land	12	336	468	846	846	423	423

Figuur 5 - Overzicht duurzame opwek (in PJ)



5.2 Centraal en/of regelbaar vermogen

In Limburg bevindt zich momenteel één grootschalige elektriciteitscentrale: de Clauscentrale in Maasbracht⁹. Dit is een gascentrale. RWE heeft verzocht deze centrale aan te laten sluiten op het Belgische elektriciteitsnet. De minister van Economische Zaken en Klimaat heeft dit afgewezen.

Momenteel is de Clauscentrale niet operationeel vanwege de ongunstige concurrentiepositie voor gascentrales de afgelopen jaren. Daarom is de productie momenteel nul. In de toekomst zal de eenheid Claus C uit de mottenballen gehaald worden. In beide 2030-scenario's zal deze centrale nog draaien op aardgas. Voor 2050 zal de centrale in het Regionale, Nationale en Internationale scenario overschakelen op waterstof en in het Europese-scenario zal deze centrale overschakelen op groengas. Er is aangenomen dat het aantal draaiuren per jaar van deze centrale gelijk is aan het gemiddelde van alle centrales in Nederland met dezelfde brandstof (Berenschot & Kalavasta, 2020).

⁹ De WKC Swentibold is meegenomen in de sector Industrie.

Tabel 15 - Overzicht opgesteld vermogen, productie en brandstof Clauscentrale scenario's

Clauscentrale	2020	2030		2050			
		KA	KA+	Regionaal	Nationaal	Europees	Internationaal
Brandstof	Gas	Gas	Gas	H ₂	H ₂	Groengas	H ₂
Vermogen (MW)	-	1.275	1.275	1.275	1.275	1.275	1.275
Vollast (u/jaar)	-	471	471	600	256	511	2.000
Productie (GJ/jaar)	-	2.160.000	2.160.000	2.754.000	1.176.923	2.346.000	9.180.000

In 2050 is er een hoger regelbaar vermogen nodig om elektriciteit te produceren om momenten met lage hernieuwbare productie. Het totale regelbare vermogen in Nederland zal stijgen van 24 GW in 2030 naar 38 GW tot 48 GW in 2050 (afhankelijk van het scenario). Een deel van dit nieuwe regelbaar vermogen zal geplaatst worden in Limburg¹⁰. Dit betekent dat er 1.500 MW tot 2.625 MW aan regelbaar vermogen bij zal komen. Er is aangenomen dat de nieuwe centrales geplaatst worden bij Chemelot en op de locatie van de voormalige Willem-Alexandercentrale in Buggenum¹¹, aangezien de benodigde aansluitingen met het elektriciteitsnet hier al aanwezig zijn. Een overzicht van het opgesteld vermogen en de productie van de nieuwe centrales is gegeven in Tabel 16.

Tabel 16 - Overzicht opgesteld vermogen, productie en brandstof nieuwe scenario's.

Nieuwe centrales	2020	2030		2050			
		KA	KA+	Regionaal	Nationaal	Europees	Internationaal
Brandstof	Gas	Gas	Gas	H ₂	H ₂	Groengas	H ₂
Vermogen (MW)	0	0	0	1.531	1.750	2.406	2.625
Vollast (u/jaar)	0	0	0	600	256	511	2.000
Productie (GJ/jaar)	0	0	0	3.307.500	1.615.385	4.427.500	18.900.000

Voor de profielen van de centrales (zowel Clauscentrale als nieuwe centrales) zijn productieprofielen van de doorrekening van I13050 uit het Energietransitiemodel (ETM) gebruikt.

5.3 Gebruikte literatuur

Voor de huidige opgestelde vermogens in gebruik gemaakt van klimaatmonitor (voor zon) en Windstats (voor wind). Daarnaast is er gebruik gemaakt van aangeleverde data van de netbeheerders.

- Vermogen geregistreerde zonnepanelen (Klimaatmonitor, 2018)
- Statistieken (Windstats, 2019)

Voor de toedeling van de opgestelde vermogens uit de 2050-scenario's aan Limburg is gebruik gemaakt van de potentiekaarten van het NPRES. Daarnaast zijn deze gebruikt voor de toedeling naar buurten. Voor 2030 is gebruik gemaakt van plannen van de RES-regio's en aangeleverde data van de netbeheerders over geplande installaties.

¹⁰ Er is aangenomen dat het aandeel van Limburg in het totale vermogen van elektriciteitscentrales in Nederland gelijk blijft.

¹¹ Het nieuwe geïnstalleerde vermogen wordt 50/50 verdeeld over deze twee locaties.

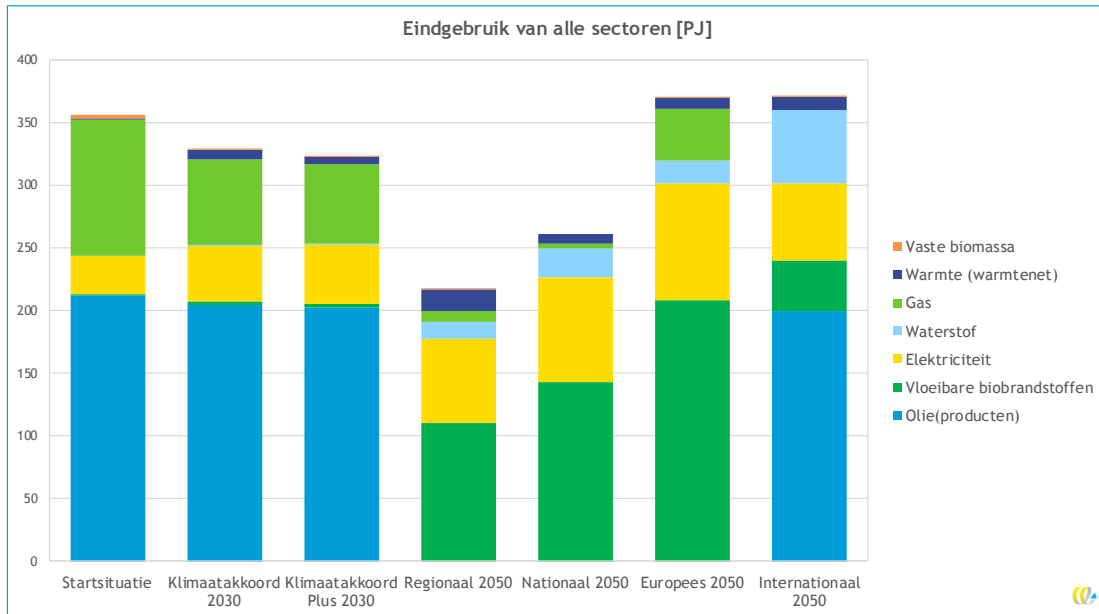
– Analyse kaarten (NPRES, 2019)



6 Overzicht

Op basis van het voorgaande is de energievraag voor alle sectoren getotaliseerd in Figuur 6.

Figuur 6 - Finale energievraag, inclusief feedstock van alle sectoren.



De totale finale energievraag in Limburg kent in 2050 een spreiding van 200-350 PJ/j. Het elektriciteitsverbruik neemt in alle scenario's (fors) toe. Een verdubbeling tot zelfs een verdrievoudiging. Hier ligt dan ook de grootste uitdaging. Het beeld voor 2030 kent ook al een stijging met 50%.

In 2030 is er nog nauwelijks gebruik van waterstof, maar in 2050 varieert dat van 3 tot 30 PJ/j. het beeld in de internationaal georiënteerde scenario's is wezenlijk anders dan dat van de nationale scenario's, een beduidend hogere energievraag en veel meer waterstof en andere gassen en biomassa.

In Figuur 7 zijn de gegevens van de recente i3050-scenariostudie weergegeven.

Figuur 7 - Nederlandse energievraag I3050, scenario's 2050

Regionaal	Nationaal	Europees	Internationaal
Gebouwde omgeving			
Isolatie label A/B 45% warmte (geothermie + groengas/biomassa) 35% all electric WP 20% hybride WP groengas 42 GW zon-pv op daken* 38 PJ zonthermie	Isolatie label A 55% all electric WP 25% warmte (geothermie + groengas/biomassa) 20% hybride WP groengas 35 GW zon-pv op daken* 18 PJ zonthermie	Isolatie label B 40% hybride WP groengas 20% hybride WP waterstof 25% all electric 15% warmte (restwarmte + groengas/biomassa) 17 GW zon-pv op daken* 16 PJ zonthermie	Isolatie label B 60% hybride WP waterstof 25% all electric WP 15% warmte (restwarmte + groengas/biomassa) 13 GW zon-pv op daken* 12 PJ zonthermie

Regionaal	Nationaal	Europees	Internationaal
LED-verlichting, inductie koken, efficiëntie-verbetering apparaten, groei aantal apparaten	LED-verlichting, inductie koken, efficiëntie-verbetering apparaten, groei aantal apparaten	LED-verlichting, inductie koken, efficiëntie-verbetering apparaten, groei aantal apparaten	LED-verlichting, inductie koken, efficiëntie-verbetering apparaten, groei aantal apparaten
Mobiliteit			
Personenvervoer: 100% elektrisch Vrachtervervoer: 75% elektrisch, 15% waterstof, 10% groengas	Personenvervoer: 95% elektrisch, 5% waterstof Vrachtervervoer: 50% waterstof, 25% elektrisch, 25% biobrandstoffen	Personenvervoer: 70% elektrisch, 30% waterstof Vrachtervervoer: 25% elektrisch, 25% waterstof, 25% groengas, 25% biobrandstoffen	Personenvervoer: 50% elektrisch, 40% waterstof, 10% biobrandstoffen Vrachtervervoer: 50% biobrandstoffen, 25% waterstof, 25% elektrisch
Industrie			
Krimp 1% per jaar Efficiency 1% per jaar Sterk circulair Sterke elektrificatie, inzet groen gas ICT groeit sterk Circulaire feedstock	Gelijk aan huidig Efficiency 1% per jaar Circulariteit belangrijk, CCS mogelijk Sterke elektrificatie inzet waterstof ICT groeit sterk Circulaire feedstock	Groei 1% per jaar Efficiency 1% per jaar CCS belangrijk Sterke elektrificatie en inzet waterstof ICT groeit sterk Fossiele feedstock	Groei 1% per jaar Efficiency 1% per jaar CCS belangrijk Sterke elektrificatie, inzet waterstof en fossiel + CCS ICT groeit sterk Fossiele feedstock
Landbouw			
Sterke elektrificatie Nadruk op geothermie en groen gas ketels voor warmte	Sterke elektrificatie Nadruk op geothermie en WP met WKO voor warmte, biomassa ketels en enkele groengas wkk's	Sterke elektrificatie Nadruk op WP met WKO en geothermie voor warmte	Sterke elektrificatie Deels geothermie, daarnaast WP met WKO voor warmte, biomassa ketels en groen gas wkk's
Elektriciteit			
46 GW waterstofcentrales 3 GW groengas + CCS 47 GW grootschalig zon* 43 GW Wind-op-zee** 20 GW Wind-op-land	52 GW waterstofcentrales 41 GW grootschalig zon* 72 GW Wind-op-zee** 20 GW Wind-op-land	46 GW groengas 6 GW groengas + CCS 25 GW grootschalig zon* 41 GW Wind-op-zee** 10 GW Wind-op-land	48 GW waterstofcentrales 5 GW groengas + CCS 25 GW grootschalig zon* 42 GW Wind-op-zee** 10 GW Wind-op-land
Conversie, opslag en import			
50 GW Elektrolyse 26 GW Power-to-Heat 6 GW Vehicle to grid 15 GW interconnectie (maar onbenut)	45 GW Elektrolyse 17 GW Power-to-Heat 17 GW Vehicle to grid 15 GW interconnectie (maar ten dele benut)	3 GW Elektrolyse 13 GW ATR + CCS 170 PJ import H ₂ 6 GW Power-to-Heat 4 GW Vehicle to grid 15 GW interconnectie (volledig beschikbaar)	3 GW Elektrolyse 580 PJ import H ₂ 7 GW Power-to-Heat 1 GW Vehicle to grid 15 GW interconnectie (volledig beschikbaar)
Scheepvaart & luchtvaart brandstoffen			
Krimp 1% per jaar Uit 12 GW (132 PJ***) Wind op zee + 391 PJ Import	Gelijk aan huidig Uit 21 GW (219 PJ***) Wind op zee + 495 PJ Import	Groei 1% per jaar Uit 12 GW (128 PJ***) Wind op zee + 844 PJ Import	Groei luchtvaart 2%, scheepvaart 1% per jaar 11 GW (117 PJ***) Wind op zee + 938 PJ Import
* Gebaseerd op 1.224 vollasturen per jaar (om een efficiëntieverbetering van 17 naar 24% te simuleren).			
** Inclusief het vermogen wind op zee voor genereren waterstof voor brandstoffen scheep- en luchtvaart.			
*** Gebaseerd op 4.500 vollasturen per jaar en een elektrolyse efficiëntie 66%.			



7 Literatuur

ACM, 2019. *Levering van warmte : Warmtetarieven*. [Online]
Available at: <https://www.acm.nl/nl/warmtetarieven>
[Geopend 2019].

Benzinestations.nu, 2019. *Tankstations in Noord-holland*. [Online]
Available at: <https://tankstations.nu/provincie/noord-holland.html>
[Geopend 2019].

Berenschot & Kalavasta, 2020. *LKlimaatneutrale energiescenario's 2050*, Utrecht:
Berenschot.

CBS , 2020. *Statline: Banen van werknemers; geslacht, leeftijd, woon- en werkregio's*. [Online]
Available at: <https://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&PA=83658NED>
[Geopend 2020].

CBS, 2015. *Bestand Bodemgebruik*. [Online]
Available at:
<http://www.nationaalgeoregister.nl/geonetwork/srv/dut/catalog.search#/metadat>
[Geopend 13 12 2019].

CBS, 2017. *Elektriciteit; productie en productiemiddelen..* [Online]
Available at: <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/37823wkk/table?dl=D0A7>
[Geopend 2 2020].

CBS, 2019b. *Landbouw: gewassen, dieren en grondgebruik naar gemeente*. [Online]
Available at:
<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/80781ned/table?ts=1576225192%20508>
[Geopend 13 12 2019].

CBS, 2020. *Statline : Kerncijfers wijken en buurten 2017*. [Online]
Available at:
<https://statline.cbs.nl/Statweb/publication/?DM=SLNL&PA=83765NED&D1=85&D2=6211&HDR=T&STB=G1&VW=T>
[Geopend 2020].

CE Delft, 2018. *Weg van gas- kansen voor de nieuwe concepten LTA en Mijnwater*, sl: sn

Davidse Consultancy, 2012. *Warmte-energie, de motor van de industrie : Ontwikkelingen in het gebruik en de opwekking van industriële warmte*, Bennekom: Davidse Consultancy.

ECN, 2011. *Restwarmtebenutting : Potentiëlen, besparing en alternatieven*, Petten: ECN.

ECN, 2013. *Verbetering referentiebeeld utiliteitssector: : voorraadgegevens, energiegebruik, besparingspotentieel, investeringskosten, arbeidsinzet*, Petten: ECN.

ECN, 2017b. *Nulmeting energiebesparing industrie Noord-Holland : Energiebesparingspotentieel bij industrie waarvoor de provincie Noord-Holland het bevoegd gezag is*, Petten: ECN.

ECN, 2017c. *Dutch program for the acceleration of sustainable heat management in industry*, Petten: ECN.

ECN, 2017d. *Dutch program for the Acceleration of Sustainable Heat management in industry: Scoping Study Final report*, Petten: ECN.

EMOSS, sd *EMOSS Electric Truck*. [Online]
Available at: <https://www.emoss.nl/nl/wat-wij-doen>
[Geopend 2020].

Fastned, sd *150+ kW snelladers*. [Online]
Available at: <https://support.fastned.nl/hc/nl/articles/115015420127-150-kw-snelladers>
[Geopend 2020].

Gasunie, 2018. *Verkenning 2050 : discussiestuk*, Groningen: Gasunie.

Klimaatmonitor, 2018. *Vermogen geregistreerde zonnepanelen*. [Online]
Available at: <https://klimaatmonitor.databank.nl/Jive>
[Geopend 3 2020].

Klimaatmonitor, 2019. *Energiegebruik Landbouw, bosbouw en visserij- Gemeenteniveau*. [Online]
Available at: https://klimaatmonitor.databank.nl/Jive?workspace_guid=9799bbf5-d3d3-4aaf-ba54-93307b789b94
[Geopend 24 3 2020].

Krmelj, V., 2011. *Selected industrial processes which require low temperature heat , presentation*, Podavje: Energy Agency of Podavje.

Lieshout, M. v., 2017. *Visie op de toekomst van de Nederlandse procesindustrie : en de rol van het lectoraat Procesoptimalisatie en -intensificatie bij de realisatie daarvan*. Rotterdam: Hogeschool Rotterdam Uitgeverij.

Meijer Energie & Milieumanagement B.V., 2008. *Swing*, Den Haag: Meijer Energie & Milieumanagement B.V..

Nissan, 2020. *Brochure Nissan Leaf*. [Online]
Available at:
https://www.nissan.nl/content/dam/Nissan/nissan_europe/NL/brochures/ebrochures/ebrochure_Nissan_LEAF_NL.pdf
[Geopend 2020].

NPRES, 2019. *Analyse kaarten*. [Online]
Available at: <https://www.regionale-energiestrategie.nl/ondersteuning/analysekaarten+np+res/default.aspx>
[Geopend 3 2020].

Pardo, N. et al., 2012. *Heat and cooling demand and market perspective*, Luxembourg: Publications Office of the European Union.

PBL; ECN; CBS; RVO, 2017. *Nationale Energie Verkenning 2017*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

PBL, 2019. *Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2019*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

Proterra, 2020. *40 Foot Bus specifications*. [Online]
Available at: <https://www.proterra.com/vehicles/catalyst-electric-bus/>
[Geopend 2020].

Rekenkamer Amsterdam, 2016. *Aanbod openbaar vervoer*, Amsterdam: Rekenkamer Amsterdam.

RVO, 2020. *Warmteatlas*. [Online]
Available at: <https://rvo.b3p.nl/viewer/app/Warmteatlas/v2>
[Geopend 4 2020].

RVO, lopend. *EPBD*. [Online]
Available at: <https://www.ep-online.nl/ep-online/>
[Geopend 2019].

SER, 2013. *Energieakkoord voor duurzame groei*, Den Haag: Sociaal Economische Raad (SER).

TNO, 2019. *ThermoGis*. [Online]
Available at: <https://www.thermogis.nl/>
[Geopend 18 12 2019].

Wageningen Economic Research, 2018. *Prognoses CO2-emissie glastuinbouw 2030*, Wageningen: sn

Windstats, 2019. *Statistieken*. [Online]
Available at: <https://windstats.nl/statistieken/>
[Geopend 3 2020].

WK2020, 2013. *WoningKwaliteit 2020 Factsheet 7.5 : Verschil tussen theoretisch en werkelijk energiegebruik voor woningverwarming*. [Online]
Available at: <http://www.wk2020.nl/documents/Factsheet7.5.pdf>
[Geopend 2019].