

Green Liaisons

Hernieuwbare moleculen

naast **duurzame elektronen**

Contouren van een routekaart
Hernieuwbare Gassen 2050

De Gemeynt

In opdracht van:

KVGN, Groen Gas Nederland,
TKI Nieuw Gas, GasTerra en Gasunie



Colofon

Dit rapport is opgesteld door Hans Warmenhoven en Jan Paul van Soest, De Gemeynt, in opdracht van KVGn, Groen Gas Nederland, TKI Nieuw Gas, GasTerra en Gasunie en in nauwe samenwerking met Gerd van de Logt (Eneco, voorzitter Groen Gas Nederland) en Jörg Gigler (directeur TKI Nieuw Gas). De totstandkoming van dit rapport is begeleid door een begeleidingscommissie bestaande uit Gerd van de Logt en Marieke van der Werf (Groen Gas Nederland), Jörg Gigler (TKI Nieuw Gas), Charlotte Rogge (Gasunie), Alex Versteeg (KVGn) en Tjitske Brand (GasTerra). Bijlage C is geen onderdeel van deze studie. Bijlage C is opgesteld door Groen Gas Nederland.

April 2018

De Gemeynt Coöperatie u.a.

Postadres:
Elsbosweg 53
7381 BJ Klarenbeek
T 055 301 26 92



Inhoudsopgave

1.	Transitie, moleculen en elektronen	5
1.1	Inleiding	5
1.2	Kernvragen	7
1.3	Benaderingswijze	8
2.	Moleculen en elektronen in transitie	11
2.1	Inleiding	11
2.2	Functies, moleculen en elektronen	12
2.3	Functies, moleculen en elektronen voor de industrie	15
2.3.1	Vraagontwikkeling	15
2.3.2	Aanbod	16
2.3.3	Matchen van vraag en aanbod	20
2.3.4	CO ₂ -reductie	21
3.	Conclusies en aanbevelingen: Ontwikkelprogramma klimaatneutrale gassen	23
	Bijlagen	27
A.	Heerlijke nieuwe wereld	29
1.	Nieuwe eisen aan energiesysteem en grondstoffen	30
2.	Ontwikkelingen transitiepaden op hoofdlijnen	31
3.	Transitiepaden nader bekeken	33
3.1	Transitiepad Hogetemperatuurwarmte (HT), inclusief Feedstock (HTF)	33
3.2	Transitiepad Kracht en Licht (KL)	34
3.3	Transitiepad lagetemperatuurwarmte (LT)	35
3.4	Transitiepad Mobiliteit	35
3.5	Transitiepad Klimaat Voedsel en Natuur	36
4.	Conclusies	36
B.	Onderbouwing Tabel 4	37
C.	Wat zijn hernieuwbare gassen? Bijdrage Groen Gas Nederland	41
	Literatuur	58



1 Transitie, moleculen en elektronen

1.1 Inleiding

Over de noodzaak van de energietransitie is in wezen geen discussie meer. Het Parijse klimaatakkoord vraagt een ongeken­de daling van de CO₂-uitstoot (en van andere broeikasgas­sen) tot om en nabij nul in 2050. Er zijn ook andere redenen voor de energietransitie, zoals verminderde afhankelijkheid van fossiele brandstoffen uit landen met dubieuze regimes, en het terugdringen van ongewenste impacts van winning, maar de reductie van broeikasgas­sen is het motief dat het tempo van de transitie het meest bepaalt. Deze noodzaak is ook expliciet door het nieuwe kabinet omarmd.

De uitdagingen zijn enorm, en ze zijn niet alleen technologisch en economisch, maar ook organisatorisch en bestuurlijk, en zelfs cultureel-maatschappelijk van aard. Deze laatste factoren zijn niet altijd in de overwegend technologisch-economische modelexercities te zien. Modellen zijn immers geduldig, en Excel protesteert tegen geen enkele aanname. Maar inschattingen van wat in de werkelijke wereld kan en moet gebeuren, gegeven de klimaatuitdaging, zijn evenzeer van belang. Dat proberen we in dit rapport: een begaanbare weg te vinden tussen de noodzakelijke klimaatambities en de fysisch-technische, economische en organisatorische realiteiten die zich moeten gaan voegen naar de maatschappelijke en politieke wensen.

Daarbij richten we de aandacht in het bijzonder op de industrie, als een van de belangrijke *transitiepaden* die in de Energieagenda zijn aangekondigd waarbinnen bovenbeschreven complexiteit bij uitstek speelt. Binnen de industrie zullen we verder inzoomen op de rol van hernieuwbare gassen als grondstof en energiedrager. We kunnen dat echter niet doen zonder de belendende percelen, de andere transitiepaden, ook te bekijken. Er is immers de nodige wisselwerking tussen de transitiepaden, en de mogelijkheden zijn wel groot maar uiteindelijk ook begrensd. Meer biomassa in het ene transitiepad bijvoorbeeld betekent minder biomassa in het andere, gegeven beperkingen in het aanbod van biomassa.

De transitie in de industrie kan dus niet in isolement worden doorlopen, maar staat in interactie met de transities in mobiliteit, gebouwde omgeving en de elektriciteitsvoorziening, waarvoor deze transitiepaden worden uitgewerkt:

- HT (Hogetemperatuurwarmte, vooral industrie, waaronder we in dit rapport ook het gebruik van (fossiele) grondstoffen rekenen, zgn. *feedstock*)
- LT (Lagetemperatuurwarmte, vooral ruimteverwarming, gebouwde omgeving)
- Mobiliteit: verkeer en vervoer
- Kracht en Licht: opwekking van elektriciteit

In 2017 is nog een vijfde transitiepad voorbereid: Landbouw en Natuur. Daar zullen we niet uitvoerig op ingaan, maar slechts aanstippen als er raakvlakken zijn, zoals bij de concurrentie tussen productie van biomassa voor grondstoffen, energie en voedsel.

In een aangepaste vorm wordt dit stramien nu gebruikt als basis voor de 'tafels' waaraan het nieuwe [Klimaat- en Energieakkoord](#) wordt voorbereid: Gebouwde Omgeving, Mobiliteit, Industrie, Elektriciteit, Landbouw en Landgebruik, en een coördinerend Klimaatberaad (Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, 2018).

1.2 Kernvragen

Er zijn belangrijke redenen om op voorhand extra in te zoomen op de industrie, omdat daar veel transitiekansen zijn, waaraan overigens bijzondere technische, economische en beleidsmatige eisen moeten worden gesteld. Een bijzondere uitdaging is wel dat de industrie altijd moleculen (met name ook koolstofverbindingen) nodig zal hebben voor producten. Het is mogelijk dat koolstofverbindingen maar wellicht ook andere moleculen als waterstof voor energetische processen nodig blijven, maar ook de industrie heeft opties om voor energetische functies steeds meer duurzaam opgewekte elektronen in te zetten. Maar producten vergen nu eenmaal moleculen.

Daar zit de crux: hoezeer de technologie zich ook blijft ontwikkelen, hoeveel materiaalbesparing via de circulaire economie ook kan worden gerealiseerd, en hoeveel processen ook te elektrificeren zijn, het is onmogelijk alle moleculen die nu voor grondstoffen en energie worden ingezet door elektronen te vervangen. Dat betekent dat er een onvermijdelijke rol blijft voor moleculen, met name koolstofverbindingen, als grondstof, die dan echter wel groen, hernieuwbaar, 'klimaatneutraal' moeten zijn.

Dat roept verschillende vragen op die we in dit rapport bestuderen:

- Als alles op alles wordt gezet en zoveel mogelijk efficiencyverbetering, circulaire economie en duurzame elektriciteit wordt ingezet, welke vraag naar moleculen resteert dan nog aan het einde van de rit (lees: 2050)?
Het gaat dan om koolstofverbindingen als feedstock waarin koolstof onmisbaar is, om niet-koolstofverbindingen zoals waterstof en ammoniak als non-C-feedstock die als grondstof voor andere processen inzetbaar zijn, en wellicht ook nog om moleculen als energiebron als er geen alternatieven zijn.
- Welk deel van deze moleculen kan hernieuwbaar, 'groen', klimaatneutraal worden? En welk deel, afnemend in de tijd, zal nog uit fossiele grondstoffen afkomstig moeten zijn?

Hiermee samenhangend wordt meer verkennend gekeken:

- Waar kunnen de hernieuwbare moleculen dan vandaan komen? Wat kan uit binnenlandse biomassa worden benut, hoeveel en welke biomassa moet worden geïmporteerd?
- Welk type conversietechnieken zijn het meest geëigend om de ruwe biomassa in geschikte grondstoffen en/of energiedragers om te zetten?
- Hoe kunnen de mogelijkheden zich in de tijd ontwikkelen?
- Hoe verhouden de moleculen en elektronen die voor de industrie nodig zijn zich tot de resterende vraag binnen de andere transitiepaden?

Het is in deze verkenning niet mogelijk al deze vragen kwantitatief te beantwoorden, maar het is wel mogelijk kwalitatieve antwoorden te geven die in combinatie met indicatieve cijfers een goed beeld geven van de uitdagingen waar we voor staan. Deze rapportage staat op zichzelf, maar is tevens inbreng voor vervolgstappen waarin samen met belangrijke stakeholders gezocht wordt naar passende meer gedetailleerd antwoorden op deze vragen. Een bespreking van de conceptrapportage met vertegenwoordigers uit de energie-intensieve industrie en chemie, netwerkbedrijven, energiebedrijven en duurzame energie-industrie liet zien dat de analyse en bevindingen op hoofdlijnen worden gedeeld.

1.3 Benaderingswijze

Om bovenstaande vragen te beantwoorden nemen we in dit rapport een verregaande emissiereductie door de combinatie van sterke efficiencyverbeteringen en de inzet van duurzame energiebronnen (met name elektriciteit uit zon en wind, maar ook aardwarmte) als gegeven en vertrekpunt. We doen dat op basis van een reeks van analyses die in de afgelopen jaren zijn gemaakt, inclusief de (tussentijdse) bevindingen inzake bovengenoemde transitiepaden (Quintel, 2017; McKinsey, 2017; VNCI 2017; TenneT/GTS 2017; Ministerie EZK, 2017; PBL, 2017). We leiden hieruit de resterende vraag naar energie af, én een vraag naar grondstoffen, die in veel analyses buiten beschouwing blijft.

Dat maakt nogal een verschil voor wat er gebeuren moet, zoals in dit rapport zal blijken.

Met deze uitgangspunten in de hand is te zien dat elk van de transitiepaden zijn eigen moeilijkheden en mogelijkheden kent, maar de deeltransitie in de (zware) industrie is van de vier misschien wel de meest uitdagende.

Uit de mogelijkheden per transitiepad leiden we af dat in een energie- en grondstoffenhuishouding die op termijn (rond 2050) geen broeikasgassen meer mag emitteren, er een blijvende vraag naar (met name koolstof)moleculen is. Deze moeten dan gegeven de klimaateisen 'netto' emissieloos zijn.

Het kan daarbij gaan om de volgende productieroutes:

- waterstof die via elektrolyse uit hernieuwbare elektriciteit wordt geproduceerd, of waterstof gewonnen uit organische koolstofverbindingen (biomassa)
- koolwaterstofverbindingen (zoals methaan, syngas, methanol, ethanol, mierenzuur e.a.) op basis van kortcyclische koolstof uit biomassa
- waterstof uit fossiele brandstoffen waarbij de CO₂ wordt afgevangen en wordt opgeslagen ('blauwe waterstof'); deze laatste optie kan nodig zijn als de eerste twee onvoldoende potentieel zouden bieden.

De [Routekaart Waterstof](#) gaat nader op de mogelijkheden van waterstof in (Gigler en Weeda, 2018).

Daarnaast kunnen moleculen (koolstofverbindingen maar ook waterstof en ammoniak) ook een rol spelen als transport- en opslagmedium voor elektriciteitsproductie. Wat transport betreft is dat vooral van belang voor het hoofdtransport van energie van grootschalige bronnen naar distributielocaties. Per eenheid energie zijn transport en opslag van moleculen, door de grote energiedichtheid en de naar verhouding lage kosten van de benodigde infrastructuur, namelijk 10 tot 20 maal goedkoper dan dat van elektronen. Het is overigens nog de vraag wat de bepalende factor wordt voor de brede inzet van waterstof: de vraag naar moleculen als energiedrager of als grondstof, dan wel de noodzaak om waterstof in te zetten als transport- en opslagmedium. Nadere analyse is hier gewenst.

Ook in de andere transitiepaden kan er, als de mogelijkheden van elektrificatie volledig zijn benut, vraag naar moleculen resteren. Ook op die vraag gaan we in dit rapport in, en bekijken we hoe de vraag naar moleculen in het transitiepad Hogetemperatuurwarmte en Feedstock zich zou moeten verhouden tot de vraag naar moleculen in andere paden. Het blijkt dat groene, hernieuwbare moleculen verbindingen kunnen leggen tussen de verschillende transitiepaden/tafels en tussen het energiesysteem en de grondstoffen (feedstock). Green liaisons, dus.

Uit deze analyse leiden we af welke stappen in de komende jaren gezet moeten worden, om een passende langetermijnontwikkeling voor hernieuwbare en klimaatneutrale gassen mogelijk te maken.



2 Moleculen en elektronen in transitie

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk analyseren we meer kwantitatief hoe de vraag naar en het aanbod van elektronen en moleculen voor met name de HTF-sectoren (Hogetemperatuurwarmte HT en Feedstock F) zich kunnen gaan ontwikkelen.

Disclaimer vooraf: het gaat om indicatieve en illustratieve getallen, om een ordegrrootte van de uitdaging te krijgen. In een meer gedetailleerde analyse zal het mogelijk zijn om:

- Ontwikkelingen waarvoor tot nu nog amper rekensommen zijn gedaan beter kwantitatief in te schatten.
- Uiteenlopende schattingen voor ontwikkelingen waaraan wel is gerekend dichter bij elkaar te brengen door een grondige analyse van de aannamen en uitgangspunten.
- Een breder gedeeld beeld te krijgen van deze ontwikkelingen.

Met deze kanttekeningen is het niettemin de moeite waard de analyse die in het vorige hoofdstuk zijn gemaakt ook cijfermatig te benaderen.

De achtergrond hiervan is het bredere beeld van de transitiepaden, waarbinnen HTF ook zijn weg moet vinden. De bredere schets van wat in de transitiepaden mogelijk lijkt, is neergelegd in Bijlage A.

2.2 Functies, moleculen en elektronen

De transitiepaden betreffen de hoofdfuncties van het energiesysteem, waar we in deze rapportage nadrukkelijk de feedstock aan toevoegen (als wezenlijk onderdeel van het transitiepad Hogetemperatuurwarmte en Feedstock).

Een nadere beschouwing per hoofdfunctie laat zien dat er ook binnen de transitiepaden de nodige subfuncties en omzettingen (conversies) te onderscheiden zijn. Diverse typen subfuncties en omzettingen komen in elk van de transitiepaden terug, zij het dat de eisen die aan die functies worden gesteld per pad verschillend kunnen zijn.

We onderscheiden de belangrijkste subfuncties en omzettingen:

- **Energiebron:** wat is de oorsprong van de energie die uiteindelijk een hoofdfunctie levert? Kan zijn een vorm van wisselende stromingsenergie (zon, wind, getijden), of een vorm van voorraadenergie (biomassa, geothermie/aardwarmte, fossiele bronnen, nucleaire energie).
- **Energiedrager:** een bruikbare vorm waarin de energie wordt afgeleverd om een bepaalde functie te vervullen. Soms is een energiebron (denk aan aardgas) ook de energiedrager, maar meestal zijn vormen van opwerking of omzetting nodig om van een bron een bruikbare energiedrager zoals elektriciteit of biogas van aardgaskwaliteit te maken. Op de keper beschouwd geldt dit eigenlijk altijd, ook bijvoorbeeld aardgas moet worden behandeld om het gebruiksklaar af te leveren, en biomassa moet worden behandeld, verbrand, vergist of vergast om er bruikbare energiedragers van te maken. Voor sommige energietoepassingen (zeer hoge temperaturen) kunnen moleculen - vooralsnog, bij de huidige stand der techniek - onmisbaar zijn. Koolstofbron, of breder: moleculenbron. Dit is uiteraard een onmisbare functie voor het maken van producten. Dan wordt doorgaans gesproken over grondstof of *feedstock*.
- **Opslag, buffering:** energiebronnen zijn niet altijd beschikbaar op het moment dat de energie nodig is; dan kan buffering nodig zijn, om seizoenen, windluwe dagen of het dag/nachtritme te overbruggen. Veel vormen van opslag vergen bovendien een conversie waarbij energieverlies optreedt.
- **Transport:** energie en feedstock dienen van de ene plek op de andere te komen om op de juiste locaties beschikbaar te zijn. Ook transport betekent in het algemeen energieverlies. Ook deze functionaliteiten, opslag en transport, kunnen gemakkelijk bij elkaar worden genomen.

Hernieuwbare bronnen in opmars

We kunnen constateren dat hernieuwbare energie sterk in opmars is.

Dat betreft hoofdzakelijk duurzame *elektriciteit* uit zon en wind, en voorts uit (bij)stook van biomassa in centrales waarbij moleculen in elektronen worden omgezet. Daarnaast is er een aandeel biogas dat ongeveer evenveel energie betreft als wat windenergie (land en zee) levert. Met name wind op zee groeit nu echter snel.

Het aandeel duurzame energie in Nederland bedroeg in 2016 5,9% (CBS, 2017) van het totaal finale energieverbruik van 2119 PJ.

In 'finaal energiegebruik' zijn *feedstock* en conversieverliezen niet meegenomen. Als die wel worden meegeteld gaat het om 3131 PJ.

De aandelen van de verschillende energiebronnen/-dragers in 2016 staan in onderstaande Tabel 1.

Tabel 1 Bijdragen hernieuwbare bronnen in 2016 (bron: CBS) in TJ

Biomassa	78.522
Afvalverbrandingsinstallaties	20.472
Meestoken biomassa in centrales en decentrale verbranding bij bedrijven	17.677
Vloeibare biotransportbrandstoffen	10.435
Biomassaverbruik bij huishouden en biogas	29.938
Windenergie	30.052
Windenergie op land	21.697
Windenergie op zee	8.355
Overige bronnen	16.431
Zonne-energie	6.746
Aardwarmte en bodemenergie	6.699
Buitenluchtwarmte	2.635
Totaal hernieuwbare energie	125.005

Een deel van de functies die de huidige energie- en koolstofbronnen vervullen kan door elektriciteit worden overgenomen, maar een toenemend aandeel elektriciteit vraagt ook weer nieuwe functies, met name opslag. De functie koolstofbron kan per definitie niet door elektronen worden overgenomen. Wel kan waterstof uit (hernieuwbare) elektriciteit worden gemaakt, die voor een deel van de feedstock-functies kan worden ingezet. Bijvoorbeeld voor kunstmestfabricage kan dit op termijn een interessante route zijn. Ook sommige hogetemperatuurwarmtefuncties laten zich moeilijk elektrificeren.

Tabel 2 geeft aan in hoeverre de verschillende functies per transitiepad zich door (duurzame) elektriciteit laten vervangen. De conclusie is dat ook bij grote toename van het aanbod aan duurzame elektriciteit niet alle functies door elektronen kunnen worden vervuld. Met name blijft er behoefte bestaan aan moleculen voor *feedstock*, wat voor de hand liggend is omdat producten nu eenmaal niet uit elektronen kunnen worden gemaakt. Veelal (voor circa 85%) gaat het dan om koolstofverbindingen, maar er zijn ook producten die wel moleculen vergen maar niet per se koolstofverbindingen. Denk aan kunstmest, nu geproduceerd via ammoniak die gesynthetiseerd wordt uit stikstof en waterstof waarbij de waterstof uit aardgas wordt geproduceerd. Daar is aardgas geen koolstofbron maar een waterstofbron, en die waterstof kan ook via elektrolyse met behulp van hernieuwbare elektriciteit worden gemaakt. Behalve als koolstofbron kunnen moleculen ook toepassing vinden als medium voor opslag/buffering en voor (langeafstands)transport.

Tabel 2 **Substitutiemogelijkheden per transitiepad**

	Industrie en feedstock (HTF)	Kracht en Licht (KL)	Mobiliteit (M)	Lage Temp (Geb. omg.) (LT)
Koolstofbron	Slechts door hernieuwbare C vervangbaar	nvt	nvt	nvt
H ₂ -bron voor industrie	H ₂ nu uit methaan, kan uit (duurzame) elektriciteit	nvt	nvt	nvt
Energiebron/ energiedrager	Deel van processen te elektrificeren, voor deel blijven ook moleculen nodig.	Toenemend aandeel hernieuwbare elektriciteit uit zon en wind, logica inzet biomassa voor elektriciteit verdwijnt.	Toename elektrisch vervoer, eerst personen, ook meer zwaar transport. H ₂ kan alternatief worden.	Voor pieklevering mogelijk nog moleculen nodig als verregaande isolatie noch collectieve warmte kunnen.
Grootschalig transport- en opslag	Industrie kan zelf opslagfunctie leveren: vraagsturing, power to products.	Groei aandeel duurzame elektriciteit stelt eisen aan transport en opslag. Met name seizoensopslag en transport lange afstand.	In zwaar transport energiebron en opslag ineen. Batterijen verbeteren, maar moleculen nog nodig voor zwaar transport en luchtvaart.	Gas voor lage-temperatuurwarmte in nieuwbouw niet meer nodig. Bij warmtebronnen zijn collectieve systemen mogelijk. Oude wijken probleem.

Deze kwalitatieve analyse betekent in de eerste plaats dat er vraag naar moleculen in met name het transitiepad Industrie (Hogetemperatuurwarmte en Feedstock) zal blijven bestaan, vooral naar koolstofverbindingen, en deels naar niet-koolstofverbindingen als waterstof en ammoniak. In de tweede plaats kan er vraag naar moleculen blijven bestaan in het transitiepad Kracht en Licht, primair voor hoofdtransport en (seizoens)opslag. Om de functies opslag en transport te vervullen hoeft het in dit transitiepad niet per se om koolstofverbindingen te gaan, terwijl vanuit oogpunt van klimaat koolstofverbindingen juist ongewenst zijn, aangezien ze bij verbranding CO₂-emissies opleveren.

In de derde plaats kan in het transitiepad Mobiliteit een vraag naar moleculen blijven bestaan. Deze is met name afhankelijk van het tempo waarin elektrificatie van transport doorzet, en ook binnen handbereik gaat komen voor die vormen van transport die tot nu vrijwel uitsluitend door moleculen worden bediend: (zwaar) wegtransport, scheepvaart en luchtvaart. De belangrijkste functionele eis hier is de mogelijkheid de energiebron aan boord mee te nemen, met voldoende actieradius (= opslag). Ook hier geldt dat voor die functionaliteit niet per se koolstofverbindingen nodig zijn, terwijl uit klimaat oogpunt koolstofverbindingen liever vermeden worden.

In de vierde plaats kan er enige vraag naar moleculen resteren in het transitiepad lage temperatuurwarmte/gebouwde omgeving. Dan zal het vooral om pieklevering gaan voor die situaties en momenten waar ondanks verregaande energiebesparing en elektrificatie op een beperkt aantal dagen per jaar in een piekvraag moet worden voorzien. Ook hier weer: voor die functie piekinzet zijn niet per se koolstofverbindingen nodig, uit klimaat oogpunt zijn ze juist minder gewenst.

2.3 Functies, moleculen en elektronen voor de industrie

In deze paragraaf zoomen we verder in op de industrie, en bekijken we hoe de vraag naar energie- en grondstoffenfuncties tot 2050 kan veranderen, en welk aanbod daar dan bij past.

2.3.1 Vraagontwikkeling

Op basis van een recente serie studies naar mogelijkheden in de industrie (McKinsey, 2017; Quintel 2017) komt het beeld naar voren van een afnemende vraag naar energie, en een moeilijker te reduceren vraag naar grondstoffen.

Uitgangspunt van deze studies is dat de uitstoot van broeikasgassen rond 2050 verregaand moet zijn gereduceerd, ook in de industrie. Praktisch betekent dit 80 à 95% reductie in 2050; als vuistregel wordt ook wel klimaatneutraal (geen broeikasgasemissies) in 2050 aangehouden. De studies nemen overigens niet altijd de grondstoffeninzet (*feedstocks*) mee. Daarnaast worden in de studies verschillende aannamen over de vraagontwikkeling gedaan, uiteenlopend van het doortrekken van trends waarin (forse) veranderingen in energie-efficiency en duurzame bronnen worden gerealiseerd, tot backcasting c.q. blauwdrukken/industriële transformatie (Quintel, 2017) waarin disruptieve veranderingen worden gepostuleerd.

Tabel 3 Ontwikkeling vraag naar energie en grondstoffen (alle in PJ uitgedrukt) in de industrie, in relatie tot andere transitiepaden (bron: diverse studies)

	2012	2030	2050
Lage temperatuur	790	220	79
Hoge temperatuur	680	653	272
Grondstof	595	468	341
Transport en mobiliteit	500	375	250
Elektriciteitsproductie	700	223	25
Totaal	3265	1939	967

Elk van die studies laat zien dat er technologisch gezien veel mogelijk is op het vlak van procesveranderingen, productmix en gebruik (circulaire economie) en duurzame energiebronnen en bio-based grondstoffen, maar ook dat de benodigde inspanningen immens zijn. De ontwikkeling naar een zeer efficiënte industrie met een relatief toenemende inzet van elektronen en een blijvende maar wel afnemende inzet van moleculen, mag dan ook als een denkbaar, maar wel zeer uitdagend

scenario worden gezien. Voor onze verdere berekeningen gaan we in het licht van de genoemde studies uit van de getallen zoals in Tabel 3 zijn weergegeven, voor alle vier de transitiepaden. Die getallen veronderstellen forse veranderingen op het gebied van efficiencyverbetering, elektrificatie en circulariteit. Deze zullen in het licht van de genoemde rapporten een mix van versnelde incrementele verbeteringen en disruptieve stappen vergen. We benadrukken de enorme uitdagingen die deze getallen weerspiegelen.

In deze benadering daalt de inzet van brandstoffen en grondstoffen voor de industrie (hoge temperatuur plus grondstof) als volgt. De ontwikkeling gaat:

- van totaal 1275 PJ in 2012, waarvan 680 PJ voor processen en 595 PJ als *feedstock*
- via 1121 PJ in 2030, waarvan 653 PJ resp. 468 PJ voor processen resp. *feedstock*
- naar 613 PJ in 2050: 272 PJ voor processen, 341 PJ voor *feedstock*.

De afname van het *feedstock*-gebruik is gebaseerd op de aanname van een verregaande circulariteit, zoals in het Rijksbrede Programma Circulaire Economie voorgestaan (Rijksoverheid, 2016).

De hoeveelheden zijn in PJ uitgedrukt; ook de *feedstock*-inzet is voor de vergelijkbaarheid als energetische waarde uitgedrukt.

De getallen kunnen ook in de voor menigeen wat tastbaarder eenheid m³ aardgas worden uitgedrukt, of beter: in miljard m³ aardgas (bcm). 1 PJ is 0,03 bcm. In 2050 resteert dan een vraag naar 17,43 bcm totaal voor de industrie, waarvan 7,73 bcm voor processen en 9,7 bcm voor *feedstock*.

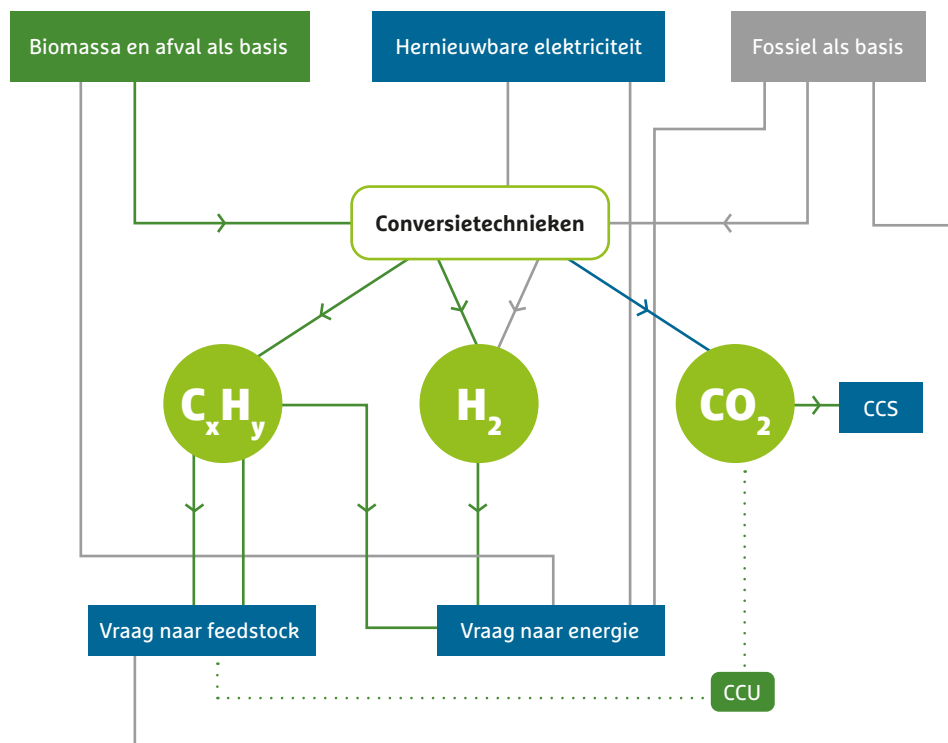
Deze ruwweg halvering van de vraag naar energie en naar grondstoffen tot 2050 weerspiegelt de grote inspanningen die nodig zijn om de *vraag* naar energie en *feedstock* dusdanig te laten dalen dat er een gereede kans is dat het *aanbod* met voldoende klimaatneutrale energiedragers en *feedstocks* kan worden ingevuld.

2.3.2 Aanbod

Vergelijkbare inspanningen zijn nodig aan de *aanbodzijde* om klimaatneutraliteit te bereiken, voor energie enerzijds en voor grondstoffen (*feedstock*) anderzijds. Er zijn in beginsel drie typen bronnen voor klimaatneutrale energie en/of grondstoffen mogelijk, weergegeven in Figuur 1:

- Biomassa (primair geproduceerd of reststromen). Levert koolstofverbindingen die zowel energetisch alsook als grondstoffen in te zetten zijn. Een belangrijk aandeel lijkt geleverd te kunnen worden door aquatische biomassa, met name wieren en microalgen, zie ook Kader: biomassa in discussie.
- Hernieuwbare elektriciteit. Levert elektronen, die alleen energetisch te benutten zijn. Daaruit zijn via elektrolyse wel (waterstof)moleculen te produceren die voor een aantal toepassingen als grondstof kan worden ingezet.
- Fossiele bronnen. Als de eerste twee opties niet of niet voldoende snel klimaatneutraliteit geven kan het restaanbod gedekt worden met fossiele bronnen waarbij 'ontkoling' wordt toegepast (productie van waterstof en CO₂ die vervolgens kan worden opgeslagen, CCS) om de klimaatemissies te reduceren.

Figuur 1 **Klimaatneutrale routes naar koolstofverbindingen en waterstof**



In elk van de routes zijn conversies nodig om energiebronnen/grondstofbronnen te bewerken om ze inzetbaar te maken voor een functionele *vraag*.

Er is echter 'concurrentie' met andere transitiepaden, waar eveneens een vraag is naar klimaatneutrale energievormen: hernieuwbare elektriciteit, daaruit te produceren andere energiedragers (zoals waterstof) en zo duurzaam mogelijk geproduceerde biomassa. De mogelijkheden voor verduurzaming van de industrie (HTF) moeten dus qua hoeveelheden en qua tijdspad sporen met de ontwikkelingen in de andere transitiepaden. PBL geeft in haar Verkenning van Klimaatdoelen (oktober 2017) aan dat biomassa een relatief grote rol voor Hogetemperatuurwarmte moet gaan spelen. De veranderingen in de andere transitiepaden zijn eveneens in Tabel 3 aangegeven, met eenzelfde kanttekening: de veranderingen zijn denkbaar, maar vergen wel majeure inspanningen.

Biomassa in discussie

Een belangrijke, misschien wel de belangrijkste belemmering die de ontwikkeling van klimaatneutrale gassen in de weg kan staan is de discussie over biomassa. Deze controverse - hoe duurzaam is biomassa, met name voor energietoepassingen, eigenlijk? - speelt al jaren. Diverse commissies, eerst onder leiding van Jacqueline Cramer, later van Dorette Corbey, hebben hun tanden in het onderwerp gezet, en een reeks van rapporten het licht doen zien, maar in wezen hebben ze het maatschappelijke en politieke debat niet kunnen pacificeren. Inmiddels zijn deze commissies gestopt.

In 2015 is de discussie door een publicatie van de Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen (KNAW 2015), op scherp gezet. Betrokkenen zijn erover verdeeld, niet alleen politiek, marktpartijen en maatschappelijke organisaties, maar ook binnen de wetenschap zijn er twee 'scholen' die tegenover elkaar staan.

Gezien de grote relevantie van deze controverse voor de beschikbare potentiën van biomassa moet worden geconcludeerd dat deze situatie weinig vruchtbaar is. Bij elk initiatief, elk (subsidie)besluit, elk plan en elk scenario waarin de inzet van een zekere hoeveelheid biomassa is geschetst, steekt de controverse de kop op. Hoe een oplossing naderbij te brengen is laat zich nog niet eenvoudig schetsen, maar van belang is wel dat een aantal sleutelspelers uit kringen van bedrijfsleven en overheden en liefst ook maatschappelijke organisaties de verantwoordelijkheid oppakt en het voortouw neemt om een eenduidige visie op de inzet van biomassa voor feedstock en/of energie te ontwikkelen die de polarisatie kan overstijgen. De analyse zoals in dit rapport beschreven is kan daar een opmaat voor zijn: maximaal beperken van de vraag naar (biomassa)moleculen, en biomassa alleen daar in te zetten waar geen verdere alternatieven bestaan. Die biomassa zou dan met een zo klein mogelijke *footprint* moeten worden geproduceerd waarbij bij voorkeur de resulterende emissies alsnog opgeslagen worden zodat er negatieve emissie ontstaat.

Op het gebied van aquatische biomassa dienen zich wat dit betreft interessante perspectieven aan. De teelt en verwerking van zeewier bijvoorbeeld kan proteïnen en groen gas opleveren. Zeewier leent zich voor meervoudige verwaarding van biomassa via bioraffinage. Teelt in combinatie met windparken is mogelijk. Door eigen teelt is minder import nodig, juist over import van biomassa ontstaat gemakkelijk discussie als er twijfel is aan de duurzaamheid van de teelt of oogst.

De 'zeewierroute' sluit aan bij het streven dierlijke eiwitten in toenemende mate door plantaardige eiwitten te vervangen.

Wat de energetische bijdrage betreft schat DNV-GL (2017) het potentieel van zeewier op 18 PJ in 2035 en 120 PJ in 2050. Deze schattingen liggen in lijn met de sommen die voor de voorliggende studie zijn gemaakt (10 PJ in 2030 en 125 PJ in 2050).

Goed geteelde en slim 'gecascadeerd' verwerkte aquatische biomassa zou de duurzaamheid en daarmee ook de acceptatie van biomassa kunnen verhogen. In een integrale studie over de Noordzee ziet het Planbureau voor de Leefomgeving ruimte voor aquatische biomassa.

Voor de verdere kwantificering van het benodigde aanbod van klimaatneutrale energie en grondstoffen voor de industrie gaan we uit van de vraagontwikkeling voor de industrie en voor de andere transitiepaden zoals in Tabel 3 geschetst.

We resumeren nog even de energie- en grondstoffenvraag in de industrie in 2050:

- 613 PJ (17,43 bcm) in totaal
- waarvan processen: 272 PJ (7,73 bcm)
- voor feedstock: 341 PJ (9,7 bcm)

Deze vraag zal moeten worden ingevuld met

- moleculen voor feedstock, onvermijdelijk, circa 241 PJ
 - koolwaterstoffen (circa 70%), uit biomassa dan wel fossiele indien er onvoldoende biomassa is
 - waterstof en andere niet-koolstofverbindingen (circa 30%), op basis van hernieuwbare elektriciteit, of eventueel ook op basis van fossiele bronnen als er onvoldoende hernieuwbare elektriciteit beschikbaar is
- en met moleculen voor energie waar elektriciteit (nog) onvoldoende soelaas biedt (circa 272 PJ)
 - koolwaterstoffen: biomassa dan wel fossiel
 - waterstof, op basis van hernieuwbare elektriciteit of van fossiel

Op basis van onder meer de Routekaart Hernieuwbaar Gas (2015) en een nadere analyse van Groen Gas Nederland schatten we wat in 2030 respectievelijk 2050 aan klimaatneutrale koolwaterstoffen kan worden geproduceerd. Hoewel ook andere energiedragers en grondstoffen denkbaar zijn, gaan we hier uit van gasvormige energiedragers (grondstoffen), als flexibele drager die:

- bouwsteen voor verdere (chemische) reacties kan zijn
- gemakkelijk en goedkoop te transporteren en op te slaan is
- goed van gasvormig naar vloeibaar omgezet kan worden
- uit verschillende bronnen te produceren is

We ramen de mogelijkheden zoals weergegeven in Tabel 4. Onderbouwende becijferingen zijn opgenomen in [Bijlage B](#). Nadere achtergronden van die getallen geeft [Bijlage C](#), opgesteld door Groen Gas Nederland.

Tabel 4 **Potentieel volume hernieuwbare gassen 2030-2050**

	2012	2030	2050
Vergisting kleinschalig PJ (bcm)	15 (0,43)	34,1 (0,97)	38,4 (1,09)
Houtvergassing PJ (bcm)		8,8 (0,25)	44 (1,25)
Superkritische water vergassing PJ (bcm)		74,2 (2,11)	212 (6,03)
Bioraffinage (m.n. aquatische biomassa) PJ (bcm)		10 (0,28)	125 (3,55)
Totaal koolwaterstoffen PJ (bcm)	15 (0,43)	127,1 (3,61)	419,4 (11,92)
PM inzet totaal biomassa (2016) PJ (bcm)	79 (2,25)		

De inschatting is dat in 2050 419 PJ aan koolwaterstoffen op basis van biomassa kan worden geproduceerd, dat is bijna 12 bcm (gas). Deze schatting is exclusief de huidige inzet van biomassa in afvalverbrandingsinstallaties, huishoudens, kolencentrales, warmteketels en motorbrandstoffen, in 2016 in totaal 79 PJ oftewel 2,25 bcm. Daarbij gaat het om bestaande biomassastromen met bijbehorende logistiek en verwerking; het is aannemelijk dat een deel van deze stromen, in het bijzonder de omstreden import en bijstook van biomassa in kolencentrales en in industriële warmteketels ook op andere wijzen ingezet kan worden, met name vergassing.

PBL geeft in zijn Verkenning van Klimaatdoelen (PBL, 2017) aan dat er hoge volumina groen gas nodig zijn om bij te dragen aan de 80-95% emissiereductie. Voor de transitiepaden Lagetemperatuurwarmte (LT), Hogetemperatuurwarmte (HT) en Mobiliteit samen wordt in geval van een 95% emissiereductie een bandbreedte van 250-450 PJ gehanteerd.

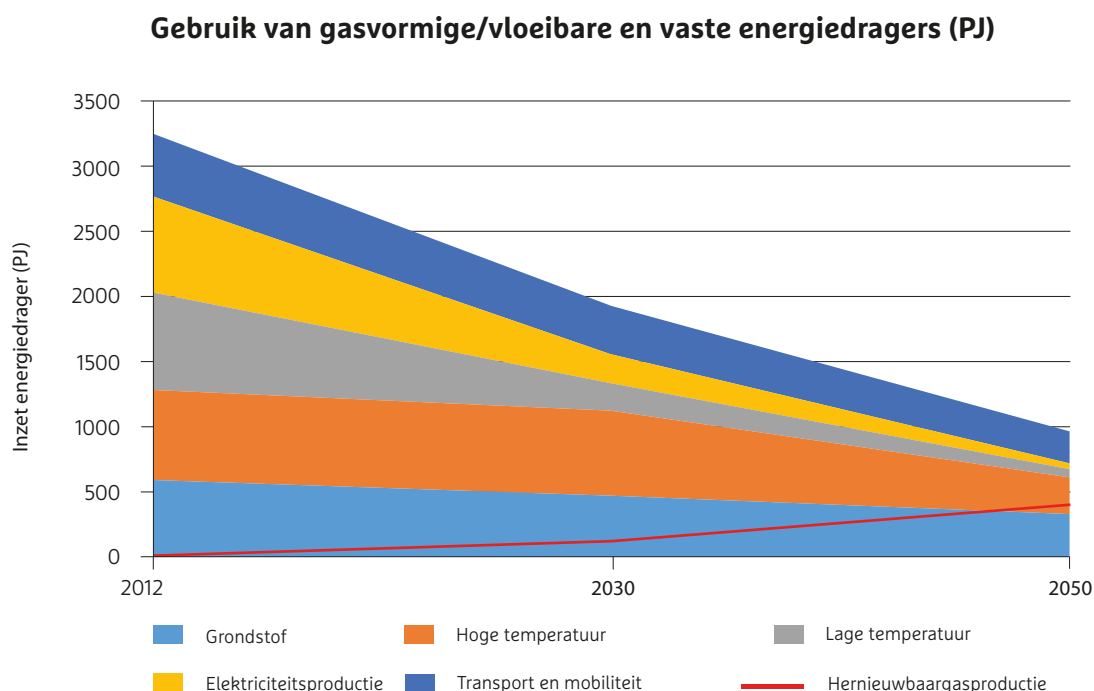
2.3.3 Matchen van vraag en aanbod

In Figuur 2 worden de ontwikkeling van de vraag naar klimaatneutrale energie en grondstoffen in de tijd uitgezet, en vergeleken met het geschatte aanbod, in de vorm van biogassen (exclusief de huidige biomassa-inzet die mogelijk anders benut kan worden).

Door verregaande verbeteringen in de energie-efficiency in alle transitiepaden (o.a. besparing, procesverbeteringen, elektrificatie, slimme logistiek en organisatie, circulaire economie om de vraag naar gasvormige, vloeibare en vaste energiedragers te beperken) kan vraag naar energie en grondstoffen sterk worden teruggedrongen. In zijn totaliteit kan in PJ uitgedrukt de vraag dalen van 3300 PJ in 2012 tot iets minder dan 1000 PJ in 2050. In de industrie is de opgave het lastigste, daar daalt de vraag (naar energie en grondstoffen in totaal) zoals eerder becijferd van 1275 PJ tot 613 PJ, waarvan 341 PJ feedstock.

Het aanbod van hernieuwbare, klimaatneutrale gassen kan toenemen van 15 naar 420 PJ. Daarbij kan mogelijk tussen de 0 en 80 PJ worden opgeteld voor biomassa die nu via verschillende routes wordt benut (bijstook, afvalverbranding etc.). Aannemende dat in 2050 de helft hiervan via moderne technieken (vergassing, derdegeneratievergistingstechnologieën) als biogassen beschikbaar te maken is, kan in 2050 dus zo'n 460 PJ biogassen worden geproduceerd. Daarnaast kan een hier niet nader becijferde hoeveelheid waterstof beschikbaar komen uit omzettingen van hernieuwbare elektriciteit die niet direct gebruikt wordt, die we hier pro memorie (PM) noteren.

Figuur 2 Ontwikkeling vraag versus aanbod klimaatneutrale energie en feedstock



Al met al staat dan in 2050 tegenover de vraag naar HT-energie en grondstoffen in de industrie ter hoogte van 613 PJ een aanbod van 420 à 460 PJ biogassen.

Voor feedstock is 341 PJ nodig, dat moeten naar de aard van de vraag (met name koolstofhoudende) moleculen zijn. Wanneer in deze vraag geheel door biogassen (PM hernieuwbare waterstof) wordt voorzien, resteert nog 79 à 119 PJ biogassen voor inzet in andere transitiepaden dan wel als bron voor hogetemperatuurwarmte in de industrie als elektriciteit onvoldoende soelaas biedt.

De conclusie is dat in 2050 als een klimaatneutrale energie- en grondstoffenvoorziening moet zijn gerealiseerd, de (bio)moleculen primair nodig zullen zijn voor de industrie, voor feedstock, die per definitie niet door elektronen kan worden geleverd. Meer biogassen kunnen dan ter beschikking komen van de andere transitiepaden, conform de beschouwing in hoofdstuk 2:

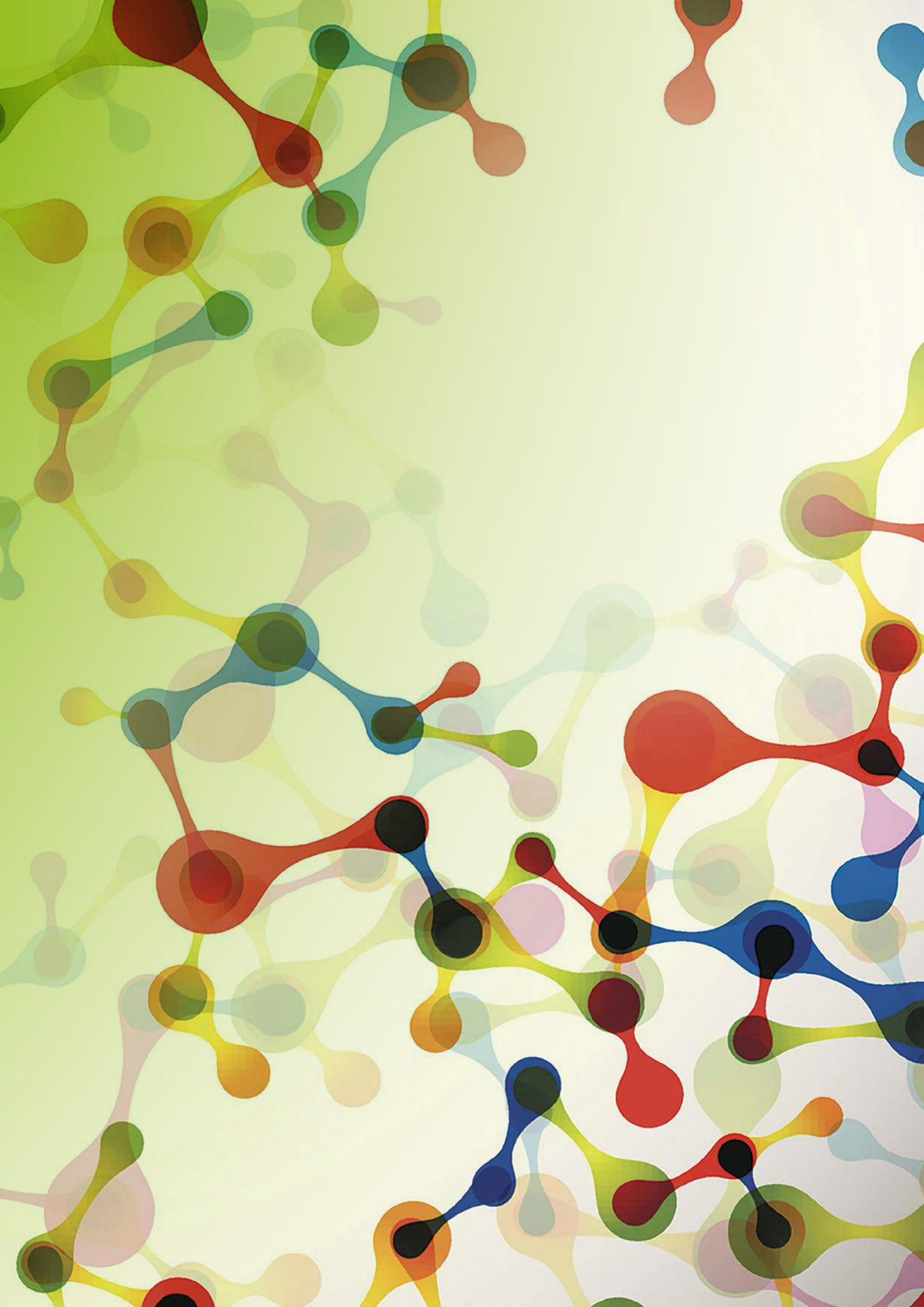
- Hoge temperatuur, warmteopwekking
- Mobiliteit: zwaar vervoer en luchtvaart
- Kracht en licht: langeafstandstransport en opslag/buffering
- Gebouwde omgeving: pieklevering

Het is ook helder dat deze stroom niet de gehele resterende vraag naar moleculen zal gaan dekken. Het restant zal moeten worden geleverd of door waterstof uit duurzame elektriciteit of door de inzet van waterstof geproduceerd op basis van aardgas waarbij de resulterende CO₂ opgeslagen wordt.

Deze conclusie stelt hoge eisen aan het aanbod van duurzame moleculen, de hernieuwbare gassen en waterstof. In hoofdstuk 3 gaan we in op de vraag hoe die uitdagingen kunnen worden opgepakt.

2.3.4 CO₂-reductie

Uitgaande van een jaarlijks aanbod van ~420 PJ (~12 bcm) aan biogassen is de potentiële CO₂-reductie 16,5-17,5 Mton. Dit is exclusief de mogelijkheden van negatieve emissies (via BECCS: Bio-Energy with Carbon Capture and Storage en CCU: Carbon Capture Usage) die bij groengasprojecten kunnen worden gerealiseerd. PBL (PBL, 2018) heeft recent onderzocht dat negatieve emissies onvermijdelijk zijn om klimaatdoelstellingen te behalen. Het potentieel voor CO₂-reductie via hernieuwbare gassen kan daarmee oplopen naar 21,5-27,5 Mton CO₂.





Conclusies en aanbevelingen: Ontwikkelprogramma klimaatneutrale gassen

In dit laatste hoofdstuk resumeren we de belangrijkste bevindingen, waarop we conclusies en aanbevelingen baseren.



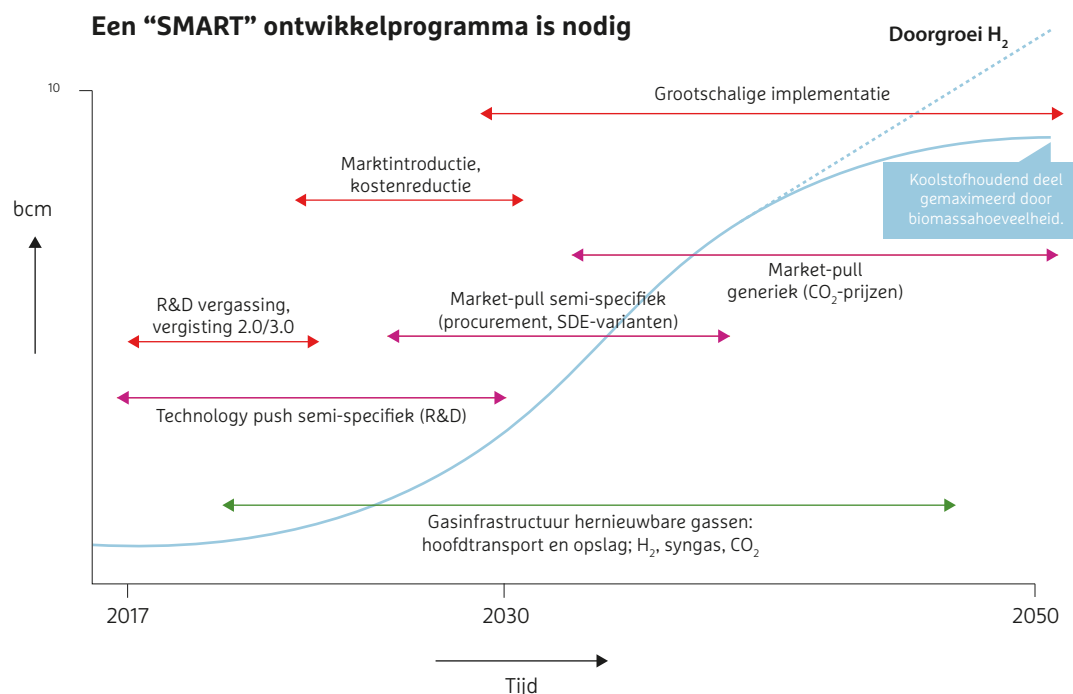
1. Dit onderzoek verkent de vraag hoeveel 'klimaatneutrale moleculen' in de verschillende transitiepaden, en in het bijzonder in de industrie nodig zijn in 2050 als de energie- en grondstoffenvoorziening zo goed als emissievrij moet zijn. De studie verkent tevens hoe deze moleculen kunnen worden geproduceerd, als klimaatneutrale gassen, om aan de vraag te kunnen voldoen.
2. Transitiepaden worden in verschillende onderzoeken uitgewerkt. Daarbij wordt doorgaans maar zijdelings rekening gehouden met de bijzondere eisen die de industrie als producent van materialen en producten stelt. Deze moeten immers met moleculen en kunnen niet met elektronen worden gemaakt. Daarnaast zijn ook niet alle energetische functies gemakkelijk of voldoende goedkoop of snel te elektrificeren door de hoge temperaturen die worden gevraagd. Ook daar lijken vooralsnog moleculen nodig, qua hoeveelheid afnemend in de tijd als er meer mogelijkheden voor elektrificatie komen.
3. Rekening houden met de grondstoffenvoorziening (feedstock) is onontbeerlijk voor het transitiepad voor de industrie (hogetemperatuurwarmte *en* feedstock: HTF). Maar er zijn tevens implicaties voor de andere transitiepaden, gegeven de relatieve schaarste aan klimaatneutrale moleculen die in een langetermijnperspectief primair voor feedstock en slechts als het niet anders kan voor energetische toepassingen zouden moeten worden ingezet.
4. Als de samenleving zich maximale inspanningen getroost op het gebied van energie-efficiencyverbetering (in alle transitiepaden) en het produceren van hernieuwbare energie, dan is er nog steeds een substantiële vraag naar klimaatneutrale moleculen in 2050. Deze vraag kan het best door gasvormige dragers worden ingevuld, gezien de mogelijkheden en relatief lage kosten voor transport, opslag, logistiek en flexibiliteit (gasvormig, vloeibaar), en de mogelijkheden als bouwstenen voor verdere synthese te dienen.
In een optimistisch scenario met maximale verbetering van de energie-efficiency, een hoge penetratie van hernieuwbare elektriciteit en een versnelde elektrificatie van processen waar dat kan, is er in 2050 nog een substantiële vraag naar klimaatneutrale moleculen (gassen). Deze zijn vooral nodig voor feedstock, en voor energetische processen die zich slecht laten elektrificeren.
5. Het is mogelijk dat de vraag naar energie en grondstoffen in Nederland in 2050 is gedaald van 3300 PJ (2012) naar rond 1000 PJ. In de industrie kan de daling van 1275 PJ (2012) naar 613 PJ (2050) zijn. In miljard kubieke meter gas (bcm) uitgedrukt is dat van ongeveer 36 bcm naar 17,5 bcm. Daarvan is dan bijna 10 bcm nodig voor feedstock.

6. In een technisch-economisch realistisch scenario kan het aanbod van klimaatneutrale gassen toenemen van 15 PJ oftewel 0,43 bcm (2012) naar 420 PJ oftewel 12 bcm in 2050. Daarbij is mogelijk dat nog eens ca. 40 PJ biomassa die nu voor directe energiebenutting wordt verbrand via geavanceerder technieken in klimaatneutraal gas wordt omgezet. Om toch tot klimaatneutraliteit te komen zal er, om de vraag naar moleculen voor hogetemperatuurwarmte te dekken, een niet becijferde hoeveelheid waterstof bij moeten komen die uit 'overschotten' hernieuwbare elektriciteit wordt geproduceerd, of uit fossiele brandstoffen met opslag van CCS als of zolang er tekort aan hernieuwbare waterstof is.
7. Een substantieel deel van de klimaatneutrale gassen, met name koolstofhoudende, zal moeten worden 'gereserveerd' voor de industrie (feedstock), omdat er voor de productie van materialen en producten geen alternatieven zijn voor moleculen. Het surplus aan klimaatneutrale gassen kan ingezet worden in de andere transitiepaden:
 - Mobiliteit: zwaar vervoer en luchtvaart
 - Kracht en licht: langeafstandstransport en opslag/buffering
 - Gebouwde omgeving: pieklevering

De vuistregels daarbij zijn:

- Maak koolwaterstoffen voor toepassingen waarbij koolstof onmisbaar is (feedstock) uit (zo duurzaam mogelijke) biomassa
 - Maak moleculen voor processen waarbij koolstof niet nodig is zoveel mogelijk op basis van hernieuwbare elektriciteit (elektrolyse en vervolgstappen).
 - Idem voor zeer hogetemperatuurprocessen
 - Maak zolang nog onvoldoende duurzame elektriciteit beschikbaar is in een overgangsfase waterstof door fossiele brandstoffen te 'ontkolen' en CO₂ op te slaan.
8. Hoewel er veelbelovende mogelijkheden voor de productie van klimaatneutrale moleculen zijn, zullen deze niet vanzelf tot ontwikkeling komen. Er is een *gericht en toegewijd* ontwikkelprogramma nodig om ervoor te zorgen dat er in de komende 30 jaar voldoende klimaatneutrale gassen ter beschikking komen van met name de industrie, en in beperktere mate ook voor andere transitiepaden.
 9. Zo'n ontwikkelprogramma vergt een gefaseerde aanpak in de tijd, zoals weergegeven in Figuur 3. Zo'n programma houdt rekening met:
 - kansen voor technologische versnelling
 - planning van infrastructuur
 - marktontwikkeling in stappen
 - op termijn CO₂-beprijzing als trekker van grootschalige implementatie
 - slimme beleidsinstrumentatie die met de ontwikkeling meebeweegt

Figuur 3 Ontwikkelprogramma klimaatneutrale gassen



10. De verkennende studie die in dit rapport is gedaan behoeft verdieping. Deze kan gemaakt worden in de vorm van een routekaart klimaatneutrale gassen. Deze kan het best in samenwerking met de lopende project Routekaart Waterstof worden opgesteld. Daarbij zijn tevens inzichten uit de eveneens lopend project Routekaart CCS van belang. Vanuit de industrie – met diverse naar verduurzaming strevende bedrijven als AkzoNobel, DSM, Cosun, FrieslandCampina en Havenbedrijf Rotterdam – is er bereidheid om mee te investeren in innovaties voor hernieuwbaar gas. Dit is onder andere vervat in de Green Deal Business met Biomassa (GD197).

Bijlagen







Heerlijke
nieuwe wereld



1. Nieuwe eisen aan energiesysteem en grondstoffen

Met het Parijse klimaatakkoord van eind 2014 is de toekomst van de energie- en grondstoffenvoorziening blijvend veranderd. De wereldgemeenschap sprak daar af de opwarming van de aarde te beperken tot liefst ruim onder de twee graden (ten opzichte van de pre-industriële temperaturen). Met de huidige wetenschappelijke kennis van het klimaatstelsel impliceert 'Parijs' een zeker *carbon budget*, de hoeveelheid koolstof die, gegeven de huidige concentratie broeikasgassen, nog in de atmosfeer mag worden gebracht zonder de afgesproken maximaal 2 graden te overschrijden. Gezien de onzekerheidsmarges in met name de klimaatgevoeligheid zijn er ook onzekerheidsmarges in het *carbon budget*, maar grofweg komt het erop neer dat de mondiale uitstoot van rond 2050 tot nul moet zijn gereduceerd om een te grote concentratie van broeikasgassen en daarmee een overschrijding van de 2 graden-norm te voorkomen. Daarbij zullen Westerse landen, die in het verleden het leeuwendeel van de concentratiestijging voor hun rekening hebben genomen, harder moeten lopen dan ontwikkelingslanden.

Dat betekent nogal wat voor het energiebeleid zoals dat in de afgelopen tientallen jaren is gevoerd, dat sterk leunde op de trits schoon, betaalbaar en betrouwbaar. Het accent met de almaar verdergaande aanscherpingen van het klimaatbeleid steeds meer op schoon in de zin van emissiearm/emissievrij. Dat het energiesysteem betrouwbaar (zowel in de zin van (geopolitieke) voorzieningszekerheid als storingsvrije leveringszekerheid) moet blijven spreekt voor zich om de energiefuncties te leveren die de economie aan de praat houden. Betaalbaar is steeds minder een absolute eis, maar tendeeert veeleer naar: 'zo betaalbaar mogelijk gegeven de noodzaak van broeikasgasreducties', in de wetenschap dat maximale betaalbaarheid op korte termijn het energiesysteem op langere termijn duurder kan maken dan nodig is.

Maar 'Parijs' betekent niet alleen wat voor het energiebeleid, maar ook voor de grondstoffeninzet. Ook die leunt sterk op fossiele brandstoffen, waarvan een deel immers niet als energiebron wordt gebruikt, maar als *feedstock*, uitgangsmateriaal om producten van te maken. Deze extra uitdaging om ook de *feedstock* klimaatneutraal te maken wordt in het maatschappelijke debat nogal eens vergeten, maar het is een wezenlijke opgave die niet op zichzelf staat maar consequenties heeft voor de hele transitie.

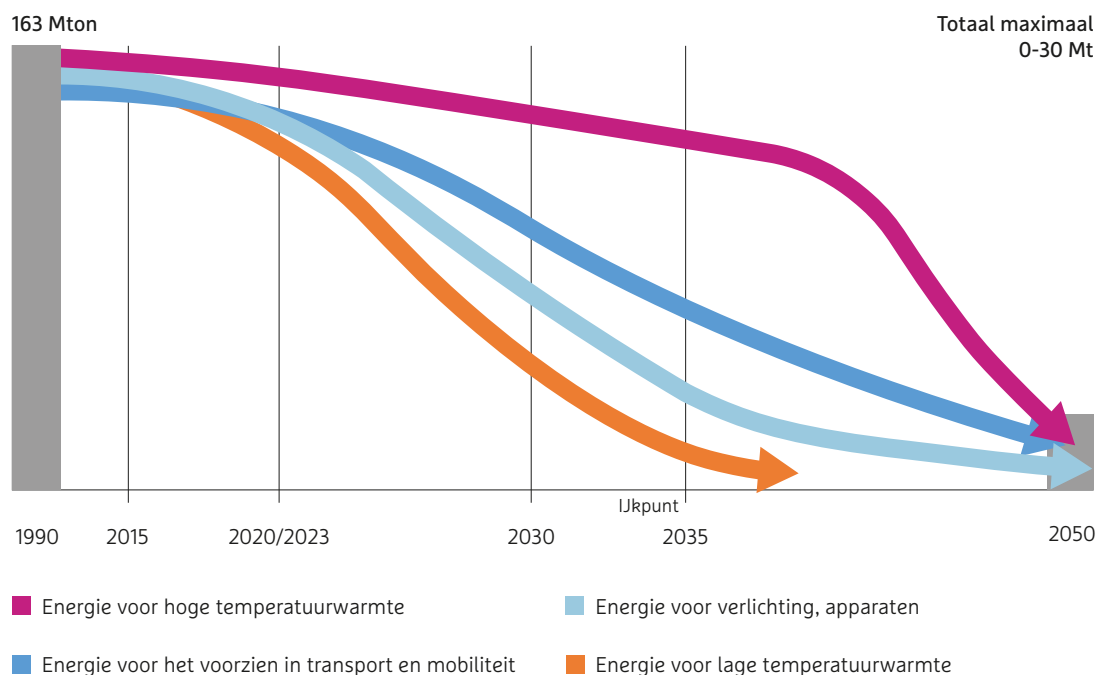
De energie- en grondstoffentransitie betekent zo bezien in wezen *slim optimaliseren in de tijd*, gegeven de moeilijkheden en mogelijkheden van efficiencyverbetering, van hernieuwbare brandstoffen, de inzet van fossiele brandstoffen als grondstof (*feedstock*), en de specifieke functionele eisen die de verschillende economische sectoren stellen.

2. Ontwikkelingen transitiepaden op hoofdlijnen

De Energieagenda van het Ministerie van Economische Zaken (Ministerie EZ, 2015) wijst mogelijke routes naar een duurzame energiehuishouding aan, mede op basis van een eerder advies van de Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur, RLI (2015).

De Energieagenda onderscheidt vier *functies* die energie heeft, zie onderstaande figuur:

Figuur 5 Transitiepaden voor verschillende functies van energie



Voor elk van die functies ligt er een grote opgave, die in de vorm van Transitiepaden wordt uitgewerkt: welke route of routes zijn voor die functie mogelijk om tot een energiehuishouding met minimale uitstoot van broeikasgassen te komen? De gehele energiehuishouding zal binnen de klimaatgrenzen (0 uitstoot in 2050) moeten gaan opereren, en elk van de transitiepaden zal daarmee ook aan een eigen klimaatopgave moeten voldoen.

Als we heel grof naar die mogelijkheden kijken zoals die in de verschillende transitiepaden meer in detail worden uitgewerkt, dan zijn de volgende ontwikkelingen als cruciaal te beschouwen:

- Elk van de paden kent grote mogelijkheden voor energiebesparing en verbetering van de energie-efficiency, maar de praktijk leert dat het zeer lastig is deze te realiseren. Niettemin moet een hoog tempo van efficiencyverbetering worden aangenomen om een transitiepad op koers te houden voor de klimaatdoelstellingen.

- Het transitiepad *kracht en licht* (elektriciteitsproductie) kan verregaand hernieuwbaar worden, omdat veel van de duurzame bronnen elektriciteit produceren.
 - Het aanbod van duurzame elektriciteit lijkt in een stroomversnelling te komen. Dat gebeurt deels door gericht beleid (SDE+, TKI's en andere impulsen), deels semiautonom door de kostprijsverlaging van met name zon- en windenergie op wereldmarkten. Onderstreept zij hier dat het vooral om duurzame *elektriciteit* gaat.
 - De huidige inzet van *biomassa* voor de opwekking van hernieuwbare elektriciteit is onderwerp van discussie, en het lijkt noch nodig noch wenselijk deze inzet te continueren, omdat de volumegroei van andere bronnen als zon en wind de inzet van biomassa overbodig maakt, *en* omdat de biomassa beter inzetbaar is in andere routes, met name *feedstock* (zie verder). Volgens het Regeerakkoord 2017 verdwijnt de subsidie voor biomassabijstook per 2024.
 - Wel wordt balancerings, met name over de seizoenen heen, een belangrijk issue. Productie van waterstof (of sterk waterstofhoudende andere energiedragers) uit 'overschotten' hernieuwbare elektriciteit wordt een interessante optie, voor grootschalige systeemflexibiliteit (opslag, piekinzet).
Het transitiepad *kracht en licht* kan op termijn waterstof leveren aan andere paden.
- Het transitiepad *mobiliteit* zal onder klimaatrestricties een sterke vraag naar elektriciteit te zien geven, in elk geval voor het personenvervoer. Voor zwaar transport (scheepvaart, zwaar wegtransport, luchtvaart) is elektrificatie echter nog zeker geen gelopen race. Daar lijken 'moleculen' vooralsnog nodig om de functies hoog vermogen (voor zwaar transport) en opslag (de energiebron moet in mobiliteit kunnen worden meegenomen) te kunnen combineren. Dat kunnen (netto-CO₂-arme) koolstofverbindingen zijn, aansluitend bij de huidige energie-infrastructuur voor de mobiliteit, of ook waterstof. Via een dergelijke ontwikkeling kan waterstof ook op termijn concurrerend gaan worden met directe elektrische personenmobiliteit.
- Het transitiepad *lagetemperatuurwarmte* (gebouwde omgeving, ruimteverwarming) is te bewandelen door in nieuwe wijken en utiliteitsgebouwen vergaand te besparen, waarna met een klein warmtevermogen kan worden volstaan. Dan kan een gasaansluiting achterwege blijven. Oudbouw leent zich veel minder voor die strategie, die daar onmogelijk of zeer kostbaar is (meerinvesteringen van tienduizenden euro's). Alternatieven daar zijn onder meer collectieve warmtesystemen (bronnen: geothermie, industriële of andersoortige restwarmte, warmtepompen), en in een overgangstermijn hybride systemen die merendeels op elektriciteit draaien waarbij slechts in piekvraagdagen gas (eventueel hernieuwbaar gas) bijspringt.
- In het transitiepad *hogetemperatuurwarmte* (inclusief *feedstock*) zijn processen deels efficiënter te maken en te elektrificeren (bijvoorbeeld thermische scheidingsprocessen vervangen door membraanscheiding). De vraag naar middelhogetemperatuurwarmte is mogelijk en ten dele via (ultradiepe) geothermie te dekken (zie Kamerbrief Geothermie februari 2018), maar voor een deel blijft een vraag naar hogetemperatuurwarmte over die vooralsnog niet via elektriciteit kan worden gedekt maar die via moleculen zal moeten worden ingevuld.
Bij *feedstock* gaat het per definitie over moleculen, nu meestal nog uit fossiele koolwaterstoffen, maar op termijn mogelijk en in toenemende mate ook op basis van hernieuwbare grondstoffen: biomassa. Voorts kan door procesherontwerpen ook meer waterstof (uit hernieuwbare elektriciteit) worden ingezet, bijvoorbeeld bij de kunstmestfabricage.

3. Transitiepaden nader bekeken

We zoomen nog wat meer in op de verschillende functionaliteiten en de opties die voor de verschillende transitiepaden ter beschikking staan. Dat geeft inzicht in waar de grootste uitdagingen liggen.

1. Transitiepad Hogetemperatuurwarmte (HT), inclusief Feedstock (HTF)

Dit is misschien wel het meest veeleisende en uitdagende transitiepad. Dat komt enerzijds doordat het om sectoren gaat die op internationale markten concurreren en zich weinig kostenverhogingen ten opzichte van hun concurrenten kunnen veroorloven. Tegelijk is interessant dat in vergelijking met andere paden de maatregelen in deze sectoren relatief kosteneffectief zijn, zeg minder dan € 50/ton CO₂, waar in andere sectoren al snel maatregelen van meer dan € 100/ton aan de orde zijn, of nog zelfs factoren hoger (full- en plug-in elektrisch rijden). Niettemin kan ook dit breder gezien laaghangend fruit niet door de bedrijven zelf worden geplukt, op straffe van concurrentieverlies.

Maar zowel de HTF-sectoren als de overheid zijn ervan overtuigd dat toch ook hier stappen moeten worden gemaakt. De Nederlandse Bank analyseerde dat een sterk koolstofintensieve industrie kwetsbaar is, omdat klimaatbeleid vroeger of later stringente maatregelen zal vergen, waarop maar beter vooruit kan worden gelopen door op korte termijn te beginnen de HTF-sectoren te decarboniseren.

Maar het aantal opties dat daarvoor ter beschikking staat is beperkt. Hogetemperatuurproceswarmte kan niet goed met elektriciteit worden gemaakt, daarvoor zijn dan toch brandstoffen nodig, of verregaande procesinnovaties waarbij thermische processen door andere technieken, zoals membraanscheiding of biochemische reacties, worden vervangen. Voor dat deel van de vraag naar hogetemperatuurwarmte dat moeilijk door dergelijke procesinnovaties verlaagd kan worden bieden elektronen minder soelaas dan moleculen. Dat zullen dan vanwege de klimaatopgave ‘ontkoolde’ moleculen moeten zijn: waterstof en waterstof dat aan andere atomen wordt gebonden dan koolstof, zoals stikstof (ammoniak) of waterstof gebonden aan biogeen koolstof (bio-syngas, bio-LNG, bio-methaan). In een overgangsfase kan dat - zoals in de chemische industrie al volop gebeurt - goed uit aardgas worden gemaakt, waarbij methaan wordt omgezet in waterstof en zuivere CO₂ die permanent kan worden opgeslagen. In de loop van de tijd, als het aandeel hernieuwbare elektriciteit steeds groter wordt, wat de verwachting is, en gedurende een toenemend aantal uren per jaar meer is dan de vraag naar elektriciteit, dan kan uit stroom via elektrolyse waterstof worden geproduceerd. Dan wordt over Power to Hydrogen (afgekort P2H) gesproken, een bepaalde vorm van P2G, Power to Gas, die omzetting in alle mogelijke gasvormige energiedragers omvat.

P2H kan ook een aantrekkelijke route zijn als het te kostbaar is elektriciteit over lange afstanden te produceren of dure piekcapaciteit voor elektriciteit aan te leggen. In die gevallen kan het zowel voor transport- als opslagdoeleinden een goed idee zijn stroom in waterstof om te zetten. Deze gedachten liggen ten grondslag aan het Green Hydrogen Economy-plan van prof. Ad van Wijk voor Noord-Nederland, waar een snelgroeiende hoeveelheid elektriciteit uit wind op zee naar wal zal moeten worden gebracht.

Waterstof speelt al een rol als feedstock en deze rol kan bij een groeiend aandeel hernieuwbaar waterstof verder gaan toenemen. Quintel schetst een aantal interessante mogelijkheden, bijvoorbeeld voor de productie van kunstmest, die nu op basis van waterstof uit aardgas gebeurt en in de toekomst via hernieuwbare waterstof kan lopen.

Het gaat bij deze opties om grootschalige, industriële ontwikkelingen. Naar verwachting zullen deze niet anders tot wasdom kunnen komen dan via een goed samenspel tussen de procesindustrie, de gasindustrie met kennis van waterstof en van gasinfrastructuur voor waterstof en voor CO₂, bedrijven als TenneT als beheerder van de elektriciteitsinfrastructuur, en de overheid om deze ontwikkelingen financieel en qua regelgeving te bevorderen. Voor de gasindustrie ligt de uitdaging een pakket services voor de industrie te ontwikkelen: levering van H₂ en ook onder meer bio-syngas als bouwstenen voor verdere ketenprocessen, alsmede afhaal- en opbergdiensten voor CO₂. Samenwerking is nodig, het gaat immers om ontwikkelingen en investeringen die de reikwijdte van individuele bedrijven te boven gaan, zeker als deze op een internationaal slagveld opereren, en in een regio die qua nieuwe markten en afzetgebieden weinig dynamisch is. Maar juist de ontwikkeling naar een CO₂-arme infrastructuur en energievoorziening voor de HTF-industrie kan nieuw elan en kansen brengen, zegt ook Allard Castelein, CEO van het Rotterdamse Havenbedrijf.

Resumerend zal in het transitiepad HTF een behoefte blijven bestaan aan moleculen (waterstof, koolstofloze waterstofverbindingen, maar ook verbindingen met koolstof als blijvend belangrijke bouwsteen voor een reeks van processen). Die moleculenvraag blijft bestaan, ook als elektronen voor verschillende toepassingen in HTF in opmars zijn.

2. Transitiepad Kracht en Licht (KL)

Het grote voordeel voor het transitiepad Kracht en Licht is dat de belangrijkste hernieuwbare energiebronnen elektriciteit produceren: zonne-energie en windenergie, zowel op land als offshore. De kosten van die technieken dalen bovendien razendsnel, en het opgestelde vermogen stijgt navenant. Aan de ontwikkelingen aan de aanbodzijde lijkt het niet te liggen. Maar dat wil niet zeggen dat dit pad probleemloos kan worden afgewandeld. De uitdagingen en vragen zijn van een andere aard: hoe kunnen bij een toenemend aandeel hernieuwbare elektriciteit vraag en fluctuerend aanbod op elkaar afgestemd blijven? Dat maakt op termijn vormen van opslag nodig, met name voor de overbrugging van seizoenen. Het aanbod van wind is los van de dagelijks-wekelijkse fluctuaties het hele jaar rond redelijk constant (in de winter zelfs wat meer dan in de zomer), maar het aanbod van zon is in de winter maar ongeveer een vijfde van wat 's zomers wordt geproduceerd. Opslag in de vorm van warmte is denkbaar maar niet optimaal, opslag in de vorm van gasvormige energiedragers (P2H, P2G) en producten (P2P (Power to Products), P2C (Power to Chemicals)) kan op termijn wel perspectief bieden.

Daar gelden dezelfde punten en vereisten als onder Transitiepad HT/Feedstock zijn genoemd: grootschalig, industrieel, hoofdtransport.

3. Transitiepad laagtemperatuurwarmte (LT)

In de gestileerde transitiepaden duikt de curve voor hogetemperatuurwarmte relatief snel naar beneden. Dat valt wel te beredeneren: er zijn voor laagtemperatuurwarmte vele opties beschikbaar, en de sector waarin ze moeten worden toegepast is zoals dat heet ‘sheltered’ (tegenover ‘exposed’: blootgesteld aan internationale concurrentie). Dat betekent dat kosten voor maatregelen in beginsel gemakkelijker zijn door te voeren dan in exposed sectoren, hoewel de kosteneffectiviteit in de exposed sectoren macro-economisch gezien juist hoger is.

Maar dat wil niet zeggen dat bewoners en gebruikers van utiliteitsgebouwen spontaan meerkosten voor klimaatneutrale opties op hun bord nemen. Daarnaast zijn er tal van organisatorische belemmeringen.

Nieuwbouw is goed klimaatneutraal af te leveren, die zijn voldoende geïsoleerd om met alleen de energiedrager elektriciteit toe te kunnen. Maar met name oudere wijken in binnensteden zijn lastig aan te pakken, zeker als de infrastructuur is niet voldoende kan worden gemoderniseerd. Volledig elektrificeren van die wijken en woningen om ook de piekvraag naar warmte via elektriciteit te kunnen leveren kan zeer kostbaar zijn. Daarnaast zijn niet alle huizen voldoende geschikt om relatief omvangrijke installaties als elektrische warmtepompen te kunnen inbouwen. Via hybride warmtepompen (goeddeels elektrisch en alleen tijdens warmtepiekvraag gas) kan de uitdaging van de pieklevering worden aangepakt. Dat vergt op den duur dan wel levering van klimaatneutraal gas. Of voor fijnmazige distributie waterstof inzetbaar wordt in plaats van of naast groen gas uit (rest) biomassa moet in de komende jaren duidelijker worden.

4. Transitiepad Mobiliteit (M)

De functie mobiliteit, vervoer van personen en goederen, stelt bijzondere eisen aan de energielevering, omdat de energievoorraad in het voertuig meegenomen moet kunnen worden (uitgezonderd treinen, trams en trolleys die met netwerken gekoppeld zijn). Tevens zijn eisen dat de voertuigen zelf zo licht mogelijk zijn (extra gewicht betekent extra energieverlies) en dat voor met name goederenvervoer hoge vermogens nodig zijn.

Deze specifieke vereisten verklaren het historische succes van vloeibare brandstoffen. Aan deze functionele eisen zijn nu klimaateisen toegevoegd.

Naast permanente efficiencyverbeteringen worden opties om aan de klimaateisen te voldoen gezocht in de sfeer van:

- (netto) koolstofarme of -loze brandstoffen (op basis van biomassa, of, momenteel weer sterk in de belangstelling: waterstof)
- elektriciteit als energiedrager en krachtbron: volledig elektrische voertuigen, (plug-in) hybride voertuigen. In wezen is ook rijden op waterstof een vorm van elektrisch rijden: in het voertuig wordt de waterstof via een brandstofcel in elektriciteit omgezet die de elektrische aandrijving verzorgt.
- nieuwe concepten en services: mobiliteit op basis van gebruik meer dan op basis van bezit. De serviceprovider, bijvoorbeeld leasemaatschappijen, is dan de speler die aan zet is om klimaatneutrale mobiliteit te leveren.
- voor zwaar transport (goederen te land, ter zee en in de lucht, personenluchtvaart) schiet elektriciteit vooralsnog tekort, en moeten (zo mogelijk netto-koolstofarme) moleculen de kar trekken. Dit is een van de moeilijkste segmenten om te decarboniseren.

Kernuitdaging voor de energiesector in het transitiepad Mobiliteit is vooral het leveren van (netto) koolstofarme energiedragers voor met name het zware transport die hoge vermogens en een hoge energiedichtheid (opslag: actieradius) combineren. Voor het personenvervoer kan waterstof een interessant alternatief naast elektrisch rijden worden.

5. Transitiepad Voedsel en Natuur

Dit prille transitiepad is begonnen met verkenningen die zijdelings de mogelijkheden voor groen en hernieuwbaar gas kunnen raken. Het accent in dit transitiepad komt naar verwachting te liggen op broeikasgasemissies uit landbouw(ketens) en natuur, en vastlegging van broeikasgassen in gecultiveerde en natuurlijke gewassen. De relevantie voor energiesector zit vooral in levering van (netto) koolstofarme energiedragers aan diverse schakels van de landbouw-voedselketens:

- schone brandstoffen voor landbouwmachines en transport (transitiepad M)
- levering van CO₂ en laagtemperatuurwarmte voor de glastuinbouw
- middelhogetemperatuurproceswarmte voor de levensmiddelenindustrie (transitiepad HT)
- mogelijkheden benutting biomassa-reststromen uit landbouwvoedselketens via vergisting (natte) en vergassing (droge biomassa).

Wat dit laatste punt betreft komt nog een raakvlak naar voren: koolstofvastlegging in landbouw (bodems) kan 'concurreren' met koolstofbenutting voor energiedoeleinden. Verkennende rekensommen van CLM Onderzoek en Advies geven aanwijzingen dat koolstofbenutting/-vastlegging van mest ongeveer evenveel broeikasgassen reduceert als mestvergisting, maar voor de boer makkelijker en voordeliger. Bij de ontwikkeling van groen gas uit mest en landbouwreststromen moet hier goed naar worden gekeken.

4. Conclusies

Uit bovenstaande kwalitatieve beschrijving valt af te leiden dat er uiteenlopende mogelijkheden voor verregaande verlaging van de CO₂-emissies per transitiepad zijn. Hernieuwbare *elektriciteit* zal een belangrijke bron zijn, maar deze kan niet in alle functies voorzien, er blijft ook een rol voor moleculen. Deze laatste is er vooral voor moeilijk te elektrificeren functies en voor *feedstock*.



20 MW demo-installatie superkritische watervergassing, binnenkort op locatie uit te breiden naar 100 MW.

Bijlage

Onderbouwing Tabel 4



Tabel 5 **Potentieel volume hernieuwbare gassen 2030-2050 (onderbouwing Tabel 4)**

Productievolumes hernieuwbare gassen	Aantal installaties				PJ (verdeeld over H ₂ , CH ₄ , kWh)			
	2012	2020	2030	2050	2012	2020	2030	2050
GFT	11	20	25	30	0,3	1,4	3	4
Rundermest (Jumpstart monomest)		250	2500	3000	0	1	10	12
Varkensmest			30	30	0,2	0,3	0,5	0,7
Kippenmest					0,1	0,3	1,1	1,5
Covergisting + grootschalig monomest	105	60	10	0	1,3	1,5	1,5	0
Energiegewassen	0	0	0		0	0	0	0
VGI	13	20	40	40	7,4	8,7	9,6	9,6
RWZI	82	98	118	142	3	3	4	4
AWZI	50	50	75	80	1,3	1,6	3,2	3,2
Gras		0	10	30	0	0	1,5	2,9
Stortgas	41	0	0		1,9	0	0	0
Totaal vergisting	302,0	498,4	2808,1	3351,7	15,1	17,9	34,1	38,4
Schaalvergroting (roadmap HT / GS) :								
Houtvergassing (gemiddeld 60 MW = 1,76 PJ)		0	5	25	0,0		8,8	44,0
Watervergassing (gemiddeld 470 MW = 10,6 PJ)			7	20			74,2	212,0
Bioraffinage (incl. zeewier grootschalig offshore), 5 PJ gemiddeld per plant		0	2	25			10,0	125,0
Power to Gas (30 MW = 0,88 PJ), inzet H ₂			3	20			2,6	17,6
Totaal schaalvergroting (roadmap HT / GS)			17	90	0,0		95,6	398,6
Totaal	302	498,4	2825,08	3441,696	15,1	17,9	129,8	437,0
Covergisting bij elkaar								
Bronnen: t/m 2030 Routekaart Hernieuwbaar Gas (RVO) ; Gasunie Verkenning 2050, DNV-GL 2017 (i.s.m. SNM) beschikbaarheden biomassa								

Biogas (in aardgasequiv. mln m³)					Aardgasvervanging (CH ₄ -injectie)			
	2012	2020	2030	2050		2030		2050
	8,5	39,8	85,3	113,7	100%	85,3	100%	113,7
	0,0	28,4	284,3	341,2	40%	113,7	30%	102,3
	5,7	8,5	14,2	19,9	10%	1,4	10%	2,0
	2,8	8,5	31,3	42,6	10%	3,1	10%	4,3
	37,0	42,6	42,6	0,0	50%	21,3	50%	0,0
	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0		0,0
	210,4	247,3	272,9	272,9	50%	136,5	50%	136,5
	73,9	88,7	106,4	127,7	50%	53,2	50%	63,9
	37,0	45,5	91,0	91,0	50%	45,5	50%	45,5
	0,0	0,0	42,6	82,4	50%	21,3	50%	41,2
	54,0	0,0	0,0	0,0		0,0		0,0
	429,3	509,5	970,7	1091,5		481,4		509,4
	0,0	0,0	250,2	1250,9	75%	187,6	75%	938,2
			2109,5	6027,2	50%	1054,8	50%	3013,6
			284,3	3553,8	90%	255,9	90%	3198,4
			75,1	500,4	0%	0,0	0%	0,0
			2719,0	11332,2		1498,3		7150,1
	429,3	509,5	3689,8	12423,7		1979,6		7659,5





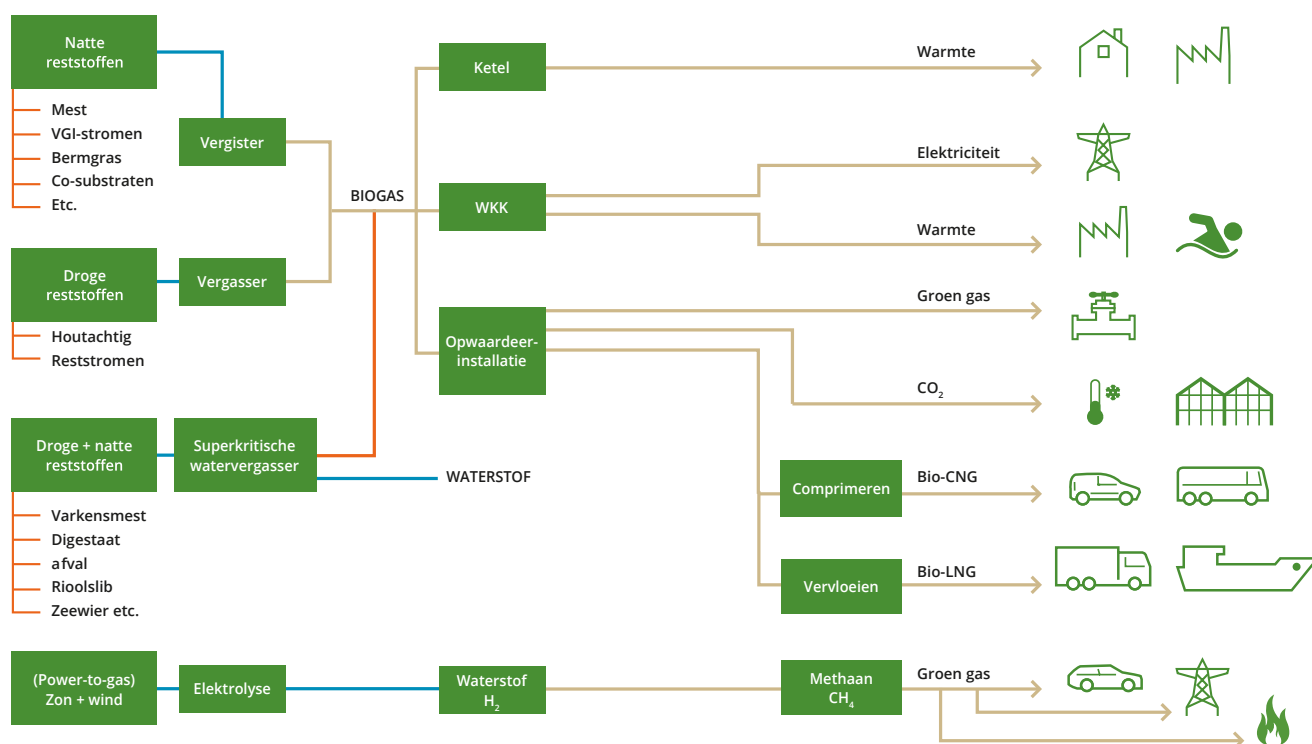
Bijlage

Wat zijn
hernieuwbare
gassen?

Bijdrage **Groen
Gas Nederland**



Wat zijn hernieuwbare gassen, welke ketens?



Van € 130-270 / ton CO₂ naar € 90-140 / ton CO₂



PBL (april 2017, Nationale Kosten Energietransitie) zet groen gas bij een eerste verkenning nog op 330€ / ton CO₂ als uitgangspunt. De uitgangspunten voor deze PBL-berekening was gebaseerd op het nog niet in de praktijk werkende houtvergassing. De duurste techniek (met hoogste SDE-tarief) was veiligheidshalve aangehouden. Vervolgstudie zal komen.



Groen gas heeft echter - zoals we zagen - vele ketens en verschillende conversietechnieken.



- De huidige kosteneffectiviteit hiervan ligt tussen de 120-270€ / ton CO₂
- De kostenperspectieven gaan richting 2030 naar 90-140€ / ton CO₂
- Dit is door Groen Gas Nederland (GGNL) gebaseerd op de PBL-rekenmethodiek voor kosten / ton CO₂

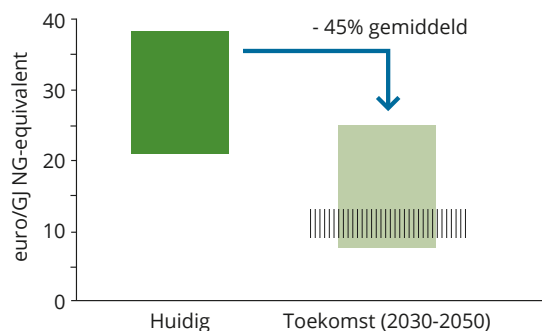


ECN heeft in opdracht van GGNL/TKI Nieuw Gas de kostenperspectieven voor verschillende groengastechnieken vorig jaar in beeld gebracht, in dat rapport zijn kosten/ GJ bekeken zoals ECN deze mede gebruikt voor haar SDE-adviezen.

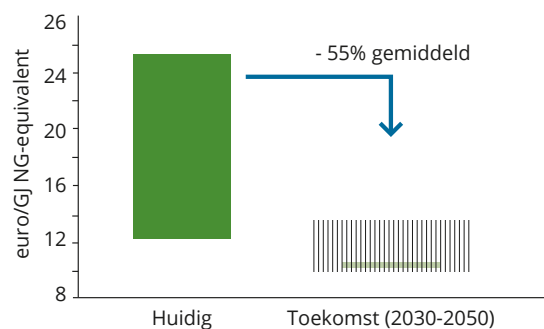
Kostenperspectieven. Daling (35-55% gemiddeld)*

Subsidieonafhankelijkheid komt in beeld voor alle conversietechnologieën

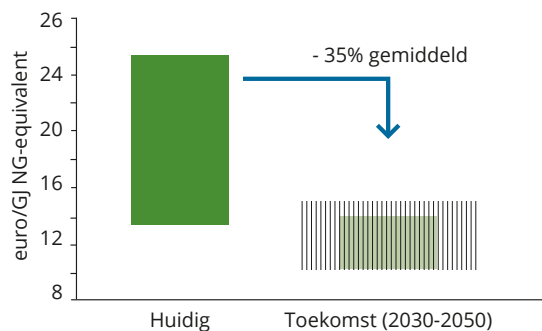
Productiekosten: vergassing



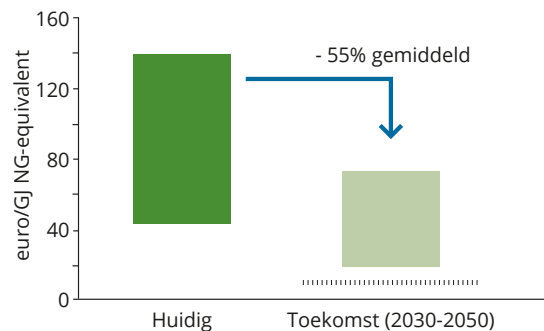
Productiekosten: superkritische vergassing



Productiekosten: fermentatie



Productiekosten: power-to-gas

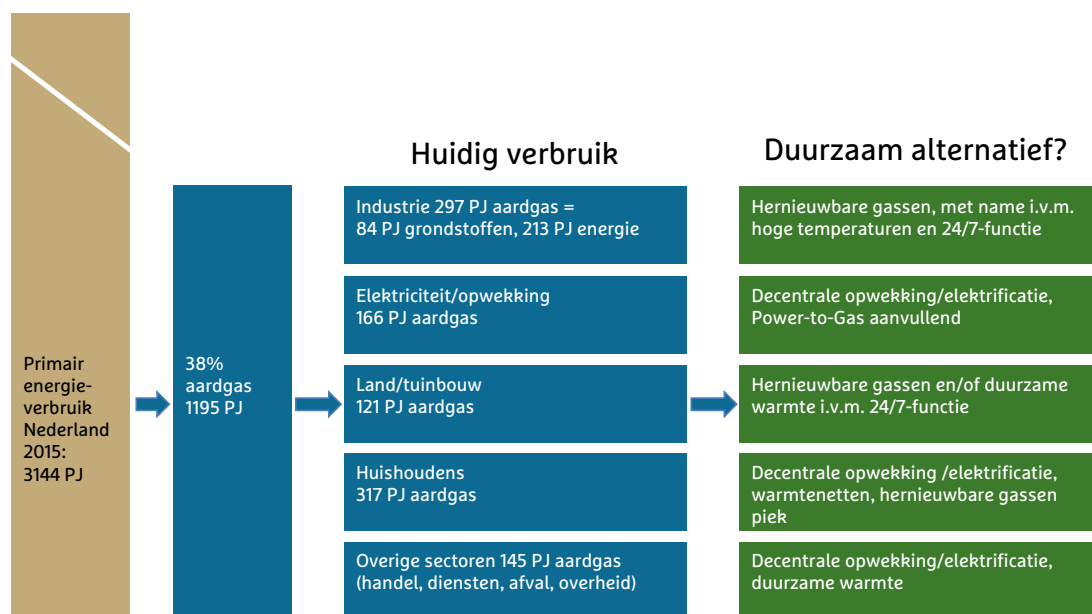


Toekomstige kosten van NG (aardgas) 10-13,4 euro/GJ
 Huidig
 Toekomst (2030-2050)

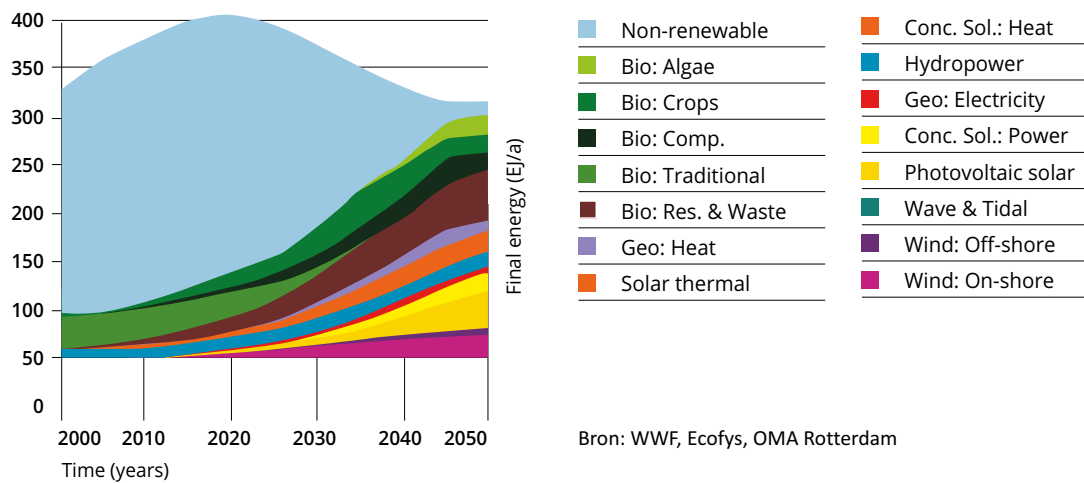
*Dit is exclusief tenderaanpak à la wind op zee

Bron: ECN-studie juli 2017 (i.s.m. PBL)

Primair energieverbruik Nederland 2015: 3144 PJ



The Energy Report (WWF): 2050 > 45% biomassa



Meervoudige verwaarding biomassa noodzakelijk voor optimale verduurzaming

- Bioraffinage maakt grondstoffen & energie
- Nieuwe conversietechnieken nodig voor volle benutting organische stoffen
- Helder stimuleringskader nodig voor samenhang grondstoffen & energie
- Gecertificeerde reststromen, bij voorkeur lokaal, of nieuw (zoals zeewier)
- Green Deal (GD197) business met biomassa, partijen:



Ministerie van Economische Zaken



Ministerie van Infrastructuur en Milieu



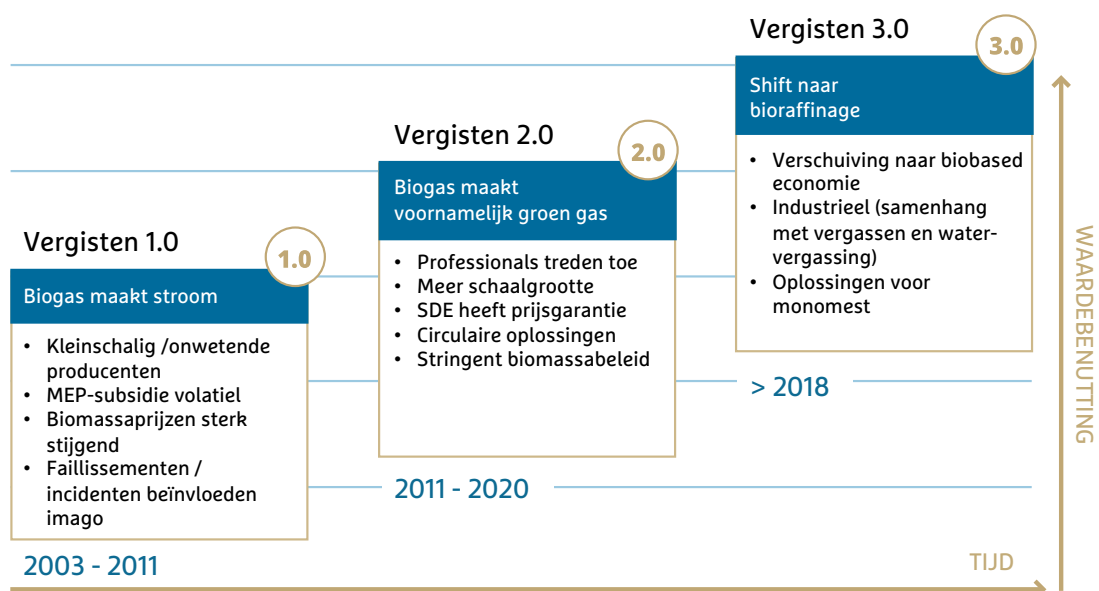
Energy Academy Europe



gasunie



Innovatie Routekaart Hernieuwbaar Gas



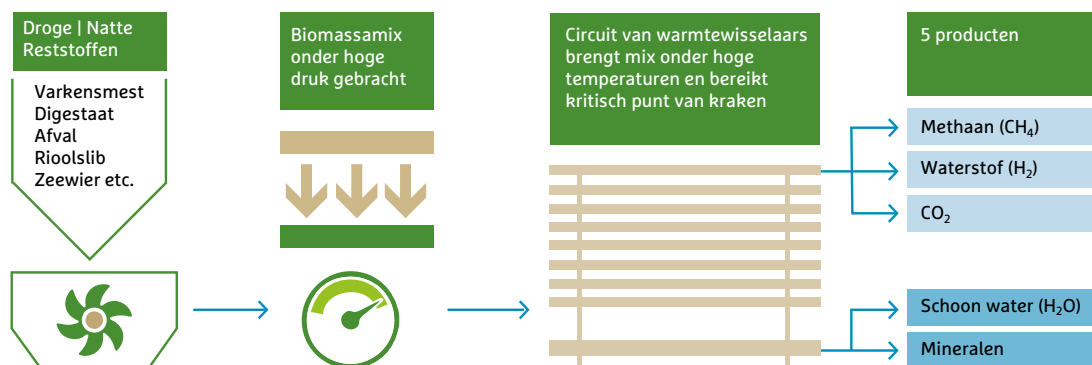
Monomestvergisting

- 85-90% uitstoot op boerenerf, zuivelindustrie wil dit aanpakken
- Zet eigen mesthoeveelheid op lokaal erf om in duurzame productie
- Zolang er mest is, dit duurzamer benutten, nog maar 2% benut
- Geen gesleep met biomassa, hogere biogasopbrengsten
- Geen nadelen mest-co-vergisting (dure co-substraten, afhankelijk van biomassahandel)
- Gesloten systeem: additionele methaanreductie (25x sterkere broeikaswerking dan CO₂)
- Jumpstart monomest zorgt voor verdere kostprijsreductie (30-40%)



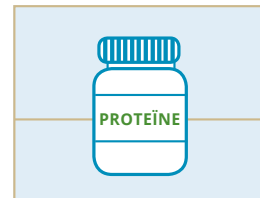
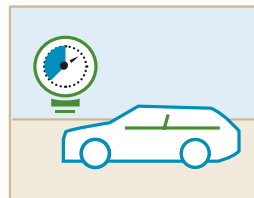
Superkritisch watervergassen

- Onder hoge druk (> 221 bar) en hoge temperaturen (> 375 °C) reststromen kraken
- Na kraken binnen 1 minuut productie (i.p.v. 30-60 dagen bij vergisten)
- 99% conversie organische stoffen, geen digestaat (i.p.v. 55-60% vergisten met digestaat)
- Kostprijsmogelijkheden veelbelovend (< 5 ct per kWh; CO₂-kosteneffectiviteit sterk dalend)
- Flexibel menu grondstoffen: mogelijke oplossing voor varkensmest en digestaatvergisters

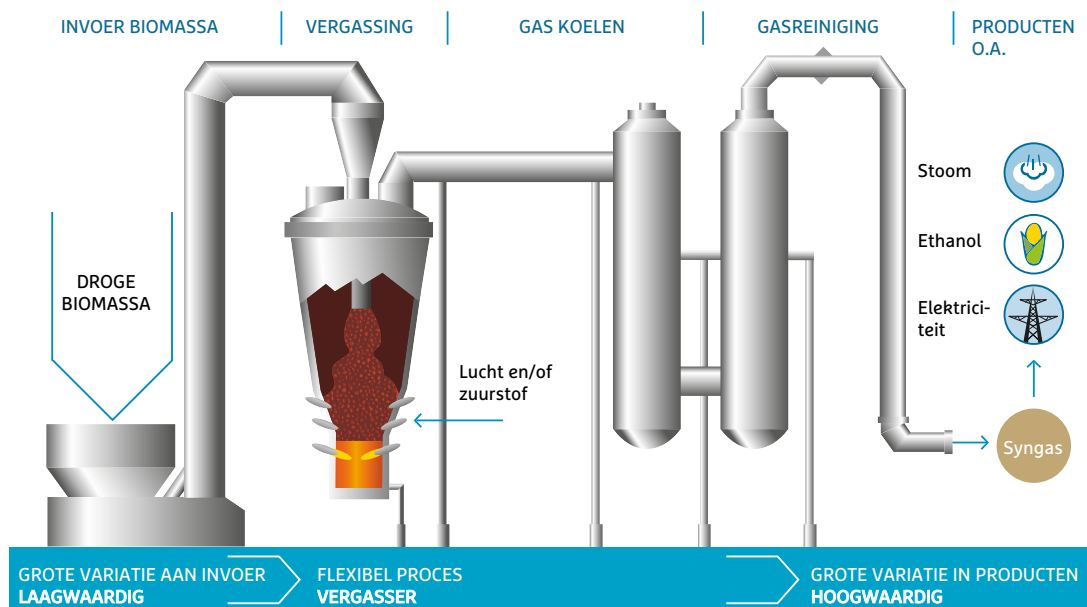


Bioraffinage in combinatie met zeewier

- 70% wereldwijde biomassa is aquatisch
- Meervoudige verwaarding biomassa: productie eiwitten en biogas binnen 1 proces
- Plantaardige eiwitten dragen bij aan doelstellingen minder dierlijke eiwitten
- Greenproteinalliance.com: van 37% naar 50% plantaardige eiwitten in 2025
- Opbrengst plantaardige eiwitten vervangen noodzaak subsidie op biogas
- Substantiële volumes biogas (~460 m³ biogas per ton) uit residu van eiwitwinning
- Duurzame winst breder (anti-verzuring door kort-cyclisch proces, geen digestaat-issues)
- Nearshore oplossingen NL aanstaande: techniek is niet de uitdaging, kweken wel
- 3500-5000 km² in 2050: voor 45 miljoen personen dagelijkse portie eiwitten; 125 PJ biogas

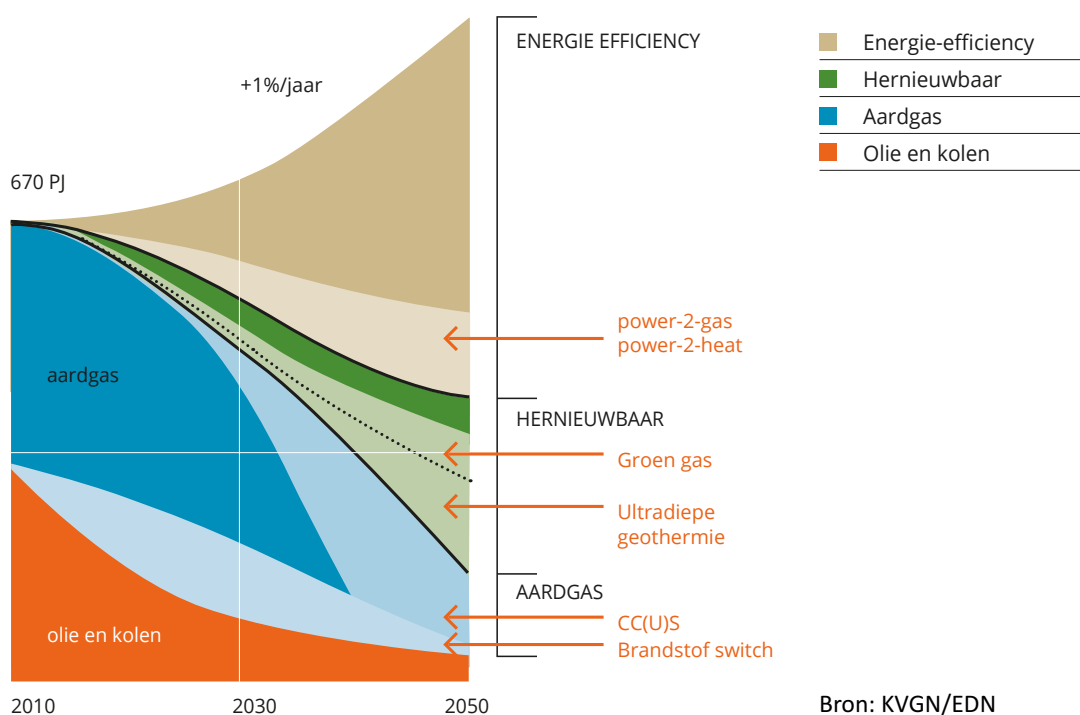


Houtvergassing: Energie & grondstoffen uit syngas



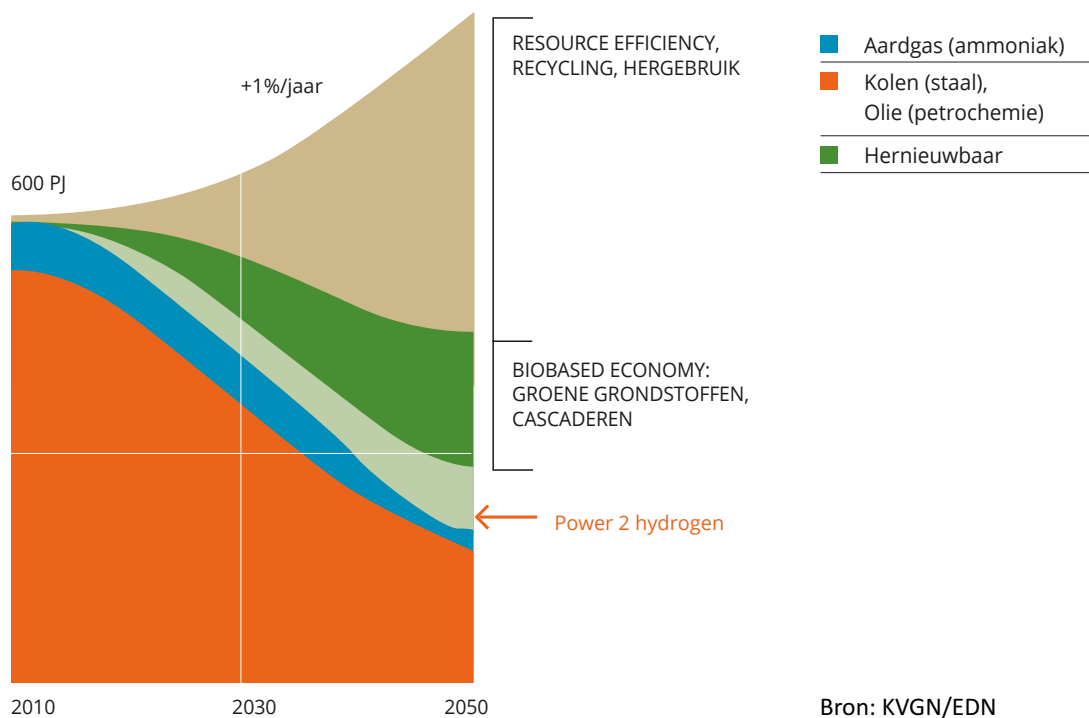
Proceswarmte in de industrie

In dit segment met name groen gas - elektrificatie
minder geschikt



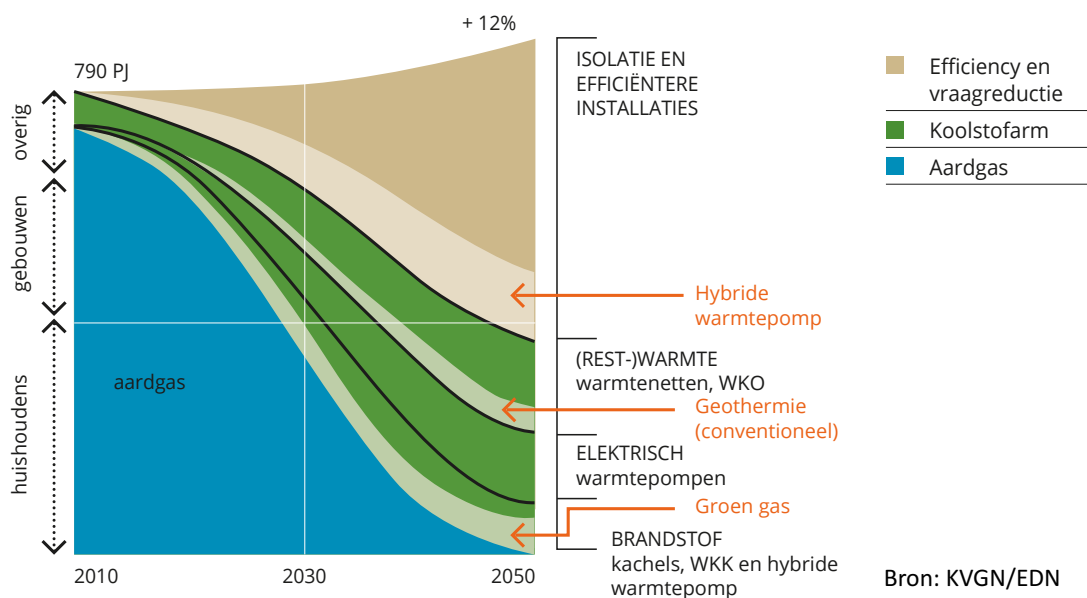
Grondstofverbruik in de industrie

In dit segment met name groen gas – koolstofmoleculen nodig



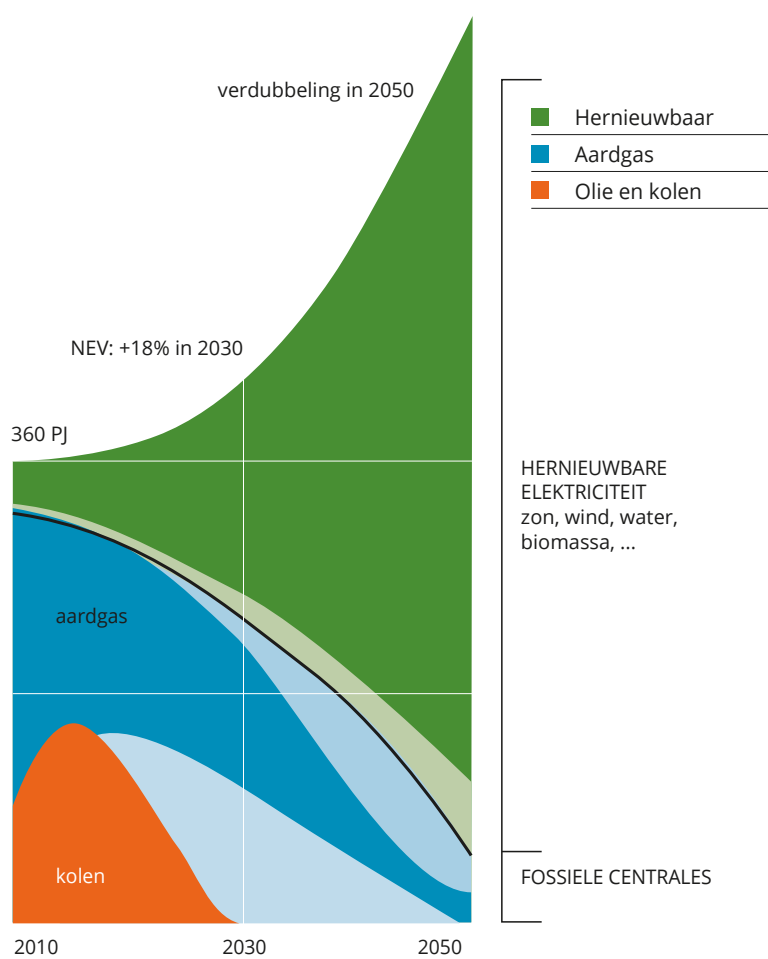
Ruimteverwarming

Groen gas aanvullend waar geen betaalbaar alternatief
(10-25% van totaal)



Elektriciteit

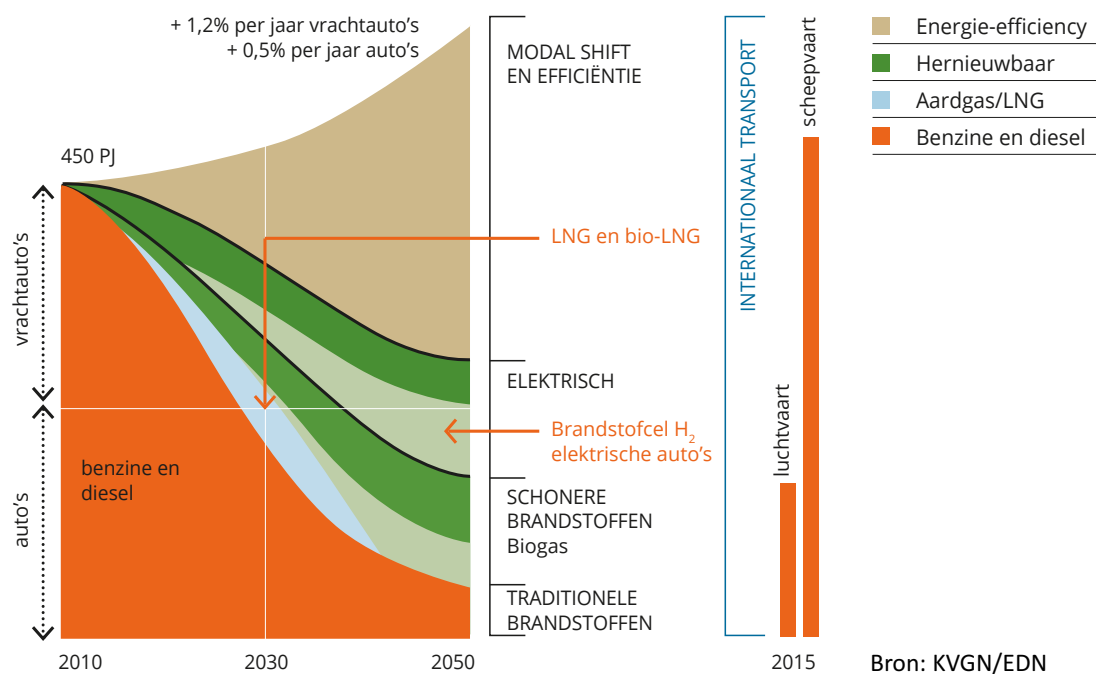
Hernieuwbare gassen met name als piek/buffer



Bron: KVG/EDN

Vervoer

Groen gas transitiebrandstof en dieselveervanger, langere termijn m.n. zwaar transport



Literatuur

[BIOSURF 2016](#) - D5.3 | Calculation of GHG emission caused by biomethane (Majer e.a.)

CBS (2017) - hernieuwbare energie in Nederland ([website CBS](#))

De Gemeeynt, ECN, Groen Gas Nederland, RVO (2014) - [Routekaart Hernieuwbaar Gas](#)

DNV-GL - [Biomassa-potentieel in Nederland](#); 2017

Energie Dialoog Nederland EDN 2016 - [GILDE Agenda](#) (Gas in een Langetermijn Duurzame Energiehuishouding)

[Gasunie 2016](#) - Verkenning 2050

TKI Nieuw Gas, J. Gigler en M. Weeda - Contouren van een [Routekaart Waterstof](#), maart 2018

[KNAW 2015](#) - Visiedocument biobrandstof en hout als energiebronnen

[McKinsey 2017](#) - Energy transition: mission (im)possible for industry? A Dutch example for decarbonization

Ministerie EZ, 2016 - [Energieagenda](#): naar een CO₂-arme energievoorziening

Ministerie EZK, 2017 - Tussennotities Transitiepaden

Ministerie EZK, 2018 - Beleidsbrief Geothermie, februari 2018

Ministerie EZK, 2018 - Brief [Inzet Klimaatakkoord](#), februari 2018

PBL, J. Mathijssen, E. Dammers, H. Elzenga - De Toekomst van de Noordzee, 2018

PBL, J. Ros en B. Daniëls - Verkenning van Klimaatdoelen, Van lange termijn beelden naar korte termijn actie. Policy Brief, oktober 2017

PBL, B. Strengers et al - [Negatieve emissies](#), Technisch potentieel, realistisch potentieel en kosten voor Nederland, februari 2018

Rijksoverheid 2016 - Rijksbrede Programma Circulaire Economie ([website](#))

[RLI 2015](#) - Rijk zonder CO₂: naar een duurzame energievoorziening in 2050

[Quintel 2017](#) - De toekomst van de Nederlandse energie-intensieve industrie

TenneT/GTS 2017 - Verkenning Energievoorziening 2035, ECN i.o.v. TenneT en GTS

VNCI 2018 - [Routekaart](#) Chemie 2050

