



STOFSTROMEN IN DE ENERGIETRANSITIE

Prof dr. ir. Kevin M. Van Geem

*Een
projectie
voor
de
periode
2035
tot 2050*

Finaal rapport – Datum: 31/08/2022

STOFSTROMEN IN DE ENERGIETRANSITIE: een projectie voor de periode 2035 tot 2050

Contract nummer: 22032857

Auteur:

Prof dr. ir. K. M. Van Geem

Inhoud

<i>Executive Summary</i>	5
1. Inleiding	7
1.1. De Europese energietransitie	12
1.2. Implicaties voor Vlaanderen.....	14
1.3. Circulariteit en de Circulaire Economie.....	17
2. Alternatieve grondstoffen en energiedragers voor de verduurzaming voor de (petro)chemie in de transitie	19
2.1. Waterstof	21
2.2. Biomethaan	23
2.3. Plastic afval	25
2.4. Bio-gebaseerde propaan, nafta, kerosine en diesel	29
2.5. Ethanol.....	29
3. Waterstof	31
3.1. De verschillende vormen van waterstof.....	32
3.2. Waterstoftransport.....	34
4. Petrochemische grondstoffen in de energietransitie	39
4.1. Elektrificeren van de basisindustrie – een stapsgewijs proces	39
Huidige structuur van de Petrochemie	39
Van fossiele chemistree naar E-chemistree.....	41
4.2. Stofstromen voor petrochemische bouwstenen.....	42
Ethaan	45
LPG	46
Nafta	46
Gascondensaten.....	47
Gasolie en zwaardere fracties.....	47
Markt evolutie voor aromaten	48
5. Alternatieven koolstofbronnen	49
5.1. Hernieuwbare grondstoffen voor de petrochemie	49
5.2. Plastic afvalstromen als grondstof in de petrochemie	50
Reduceren en substitueren van plastic afval.....	52

Mechanische recyclage	53
Chemische recyclage.....	54
6. Carbon Capture and Storage.....	57
6.1. CO₂ afvang	57
Direct Air Capture.....	57
CO ₂ capture van puntbronnen	58
Lange termijn	59
6.2. CO₂ transport.....	60
Gasvormig CO ₂ transport	60
Vloeibaar CO ₂ transport.....	60
Vloeibaar versus gasvormig.....	60
6.3. Aangekondigde projecten	61
7. Carbon Capture and Utilization	62
7.1. CO₂ hergebruik in de chemische industrie.....	62
Methanol	63
Dimethyl ether.....	64
Oxymethylen ethers	65
Olefinen/plastics.....	65
E-kerosine	66
7.2. CO₂ hergebruik in de staalindustrie	67
Dry reforming	67
Super dry reforming	68
Enzymatische omzetting	68
7.3. CO₂ gebruik in 2035 en 2050	68
8. CO₂ transport tussen Vlaamse, Noord-Franse en Nederlandse zeehavens, de industriële cluster rond Luik, Chemelot in Nederland en het Ruhrgebied.....	70
8.1. CO₂-stromen in België.....	73
8.2. CO₂ stromen tussen Vlaanderen en Noorwegen	75
8.3. CO₂ stromen tussen Vlaanderen en Nederland	76
8.4. CO₂ stromen tussen Vlaanderen en Frankrijk	77
9. E-energiedragers.....	79
9.1. Ammoniak	79
9.2. Methanol.....	80

9.3.	Andere	81
10.	<i>De huidige en toekomstige energiemix</i>	82
10.1.	Periode 2022-2035.....	83
10.2.	Periode 2035-2050.....	85
10.3.	Na 2050	88
11.	<i>Implicaties energietransitie op transport</i>	90
11.1.	Projectie voor de periode 2022-2035.....	91
11.2.	Projectie voor de periode 2035-2050.....	93
11.3.	Rol van Vlaamse backbones in een internationaal perspectief.....	95
12.	<i>Synergie-effecten</i>	96
12.1.	Synergie pijpleidingen voor groene moleculen enerzijds en hoogspanningsleidingen	97
12.2.	Synergie-effecten door mogelijke uitfasering van aardgas	100
13.	<i>Conclusies en aanbevelingen</i>	104

Executive Summary

Als Vlaanderen en België de huidige en toekomstige klimaatdoelstellingen wil halen die door Europa worden opgelegd zullen zware inspanningen nodig zijn, zowel financieel als maatschappelijk. Vandaag, maar ook in de toekomst, is het weinig waarschijnlijk dat we zelfvoorzienend zullen zijn op gebied van energie, in het bijzonder niet op gebied van hernieuwbare energie. Energie invoer onder de vorm van energiedragers zal hierbij een deel van de oplossing zijn, maar zeker niet de enige. Waterstof komt hierbij als eerste in de picture. In een klimaat neutrale economie is een waterstoftransportnet op basis van buisleidingen nodig om gebruikers efficiënt te verbinden met aanbieders van CO₂-vrije waterstof en opslag. Om de ambities voor 2030 te realiseren, is de komende jaren transportcapaciteit nodig gericht op het faciliteren van de eerste grote waterstofprojecten. Daarbij ontstaat ook de transportvraag als gevolg van opslagbehoefte. Waterstofproductie vraagt grote hoeveelheden energie, het liefst groene energie. De prijs van groene elektriciteit is de bepalende factor voor de kost van groene waterstof. Bijgevolg zal groene waterstof in grote hoeveelheden gemaakt worden op plaatsen waar groene energie/elektriciteit het goedkoopst is. Blauwe waterstof heeft door de huidige hoge aardgasrijzen een deel van zijn competitiviteit verloren, maar de toekomst blijft onvoorspelbaar. Voor Vlaanderen en België zal waterstof voornamelijk aangevoerd worden, vermoedelijk per schip in de Vlaamse havens. Op dit moment lijkt er een voorkeur om dit onder de vorm van ammoniak te doen, aangezien de Vlaamse havens (Antwerpen, North Sea Port) hier al voor uitgerust zijn, dit op een veilige manier kan, en dit efficiënter is dan onder de vorm van methanol of vloeibare waterstof. De optie om ook ammoniak te vervoeren via pijpleiding mag bijgevolg niet uitgesloten worden. Bestaande, lange pijpleidingen van duizenden kilometers tonen aan dat dit op een veilige en efficiënte manier kan. Meer waarschijnlijk is echter dat ammoniak in de havens zal omgezet worden tot waterstof, en dat waterstof via pijpleiding tot bij klanten zal gebracht worden. Methanol lijkt voor de scheepvaart een mogelijks alternatief, maar methanol verbrandingsmotoren zullen steeds tot emissies van CO₂ leiden. Methanol kan ook gebruikt worden in de chemische industrie, maar de productie van basischemicaliën op basis van methanol heeft een niet onbelangrijk CAPEX (Capital expenditure) nadeel. Een groot voordeel daarentegen is dat methanol in een stap kan gemaakt worden op basis van CO₂ en waterstof. Bijgevolg is het zo mogelijk om aan CCU (Carbon Capture and Utilisation) te doen. Daaraan gekoppeld is er ook transport van CO₂ noodzakelijk, in het bijzonder van puntbronnen, waar captatie efficiënter kan gebeuren dan van sterk verdunde stromen. Ook hier is pijplijntransport een logische keuze wegens zijn efficiëntie, waarbij dan aan CCS (Carbon Capture en Storage) kan gedaan worden in hetzij Nederland of Noorwegen. Uit puur efficiëntiestandpunt is een tracé dat de weg volgt van de grootste puntbronnen en deze met elkaar verbindt de logische keuze. Dit impliceert ook een verbinding van Antwerpen met

Luik via het Albertkanaal. Vanuit Luik kan er vervolgens een verbinding met Duitsland gemaakt worden, zoals onder andere voorgesteld door Fluxys. Ook vanuit Duitsland bestaat er interesse in dit alternatief tracé. De onderlinge concurrentie tussen de havens Port of Antwerp-Bruges en Rotterdam, die niet te ontkennen valt, kan mogelijk een rol spelen om ten minste over een ander tracé na te denken dan via Geleen. Zoals aangegeven door de haven van Rotterdam is de eerste zijn om een verbinding te hebben met Duitsland een belangrijk competitief voordeel.

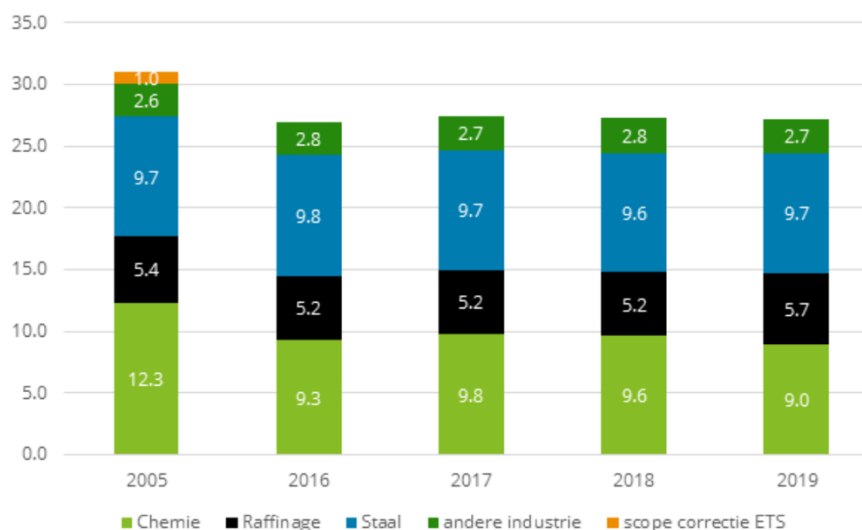
In de komende 30 jaar zal er ook gestreefd worden naar een defossilisatie van de energie en chemische industrie. Defossilisatie is niet hetzelfde als decarbonisatie. Een wereld zonder koolstof is actueel ondenkbaar omdat het een essentiële bouwsteen is van onze welvaart, in het bijzonder vindt het zeer veel toepassingen onder de vorm van materialen. Een snelle decarbonisatie zal op dit moment leiden tot het drastisch inboeten van onze welvaart voor een of meerdere decennia wegens het gebrek van alternatieven en de schaal waarop dit dient te gebeuren. De essentiële bouwstenen, de zogenaamde legoblokjes voor materialen, zijn in het bijzonder ethyleen en propyleen, en het is te verwachten dat de vraag naar deze bouwstenen alleen zal toenemen tot 2035 en mogelijk ook tot 2050. Het is ook niet onwaarschijnlijk dat een aanzienlijk deel van deze bouwstenen op basis van hernieuwbare grondstoffen of via CCU gemaakt zouden worden. Bovendien mag het duidelijk zijn dat actueel er weinig alternatieven zijn voor fossiele grondstoffen voor de periode tot 2035. Op middellange termijn zal circulariteit een deel van de behoefte aan grondstoffen kunnen invullen, maar op dit moment is dit nog een druppel op een hete plaat. Een pijpleidingnetwerk voor oliën afkomstig van afval lijkt op dit moment niet aan de orde wegens de “economy of scale” van deze productie-eenheden. Ook tegen 2035 geven de huidige projecties aan dat de bijdrage van circulaire stromen nog beperkt zal zijn. Tegen 2050 lijkt het mogelijk om ons meer te kunnen loskoppelen van fossiele grondstoffen.

1. Inleiding

Zoals Frans Timmermans zegt:

“Dit decennium is doorslaggevend in de strijd tegen de klimaat- en biodiversiteitscrises. Negen op de tien Europeanen zijn het erover eens dat er maatregelen moeten worden getroffen om de uitstoot terug te dringen en de Europese Unie tegen 2050 klimaatneutraal te maken. De EU heeft ambitieuze doelstellingen vastgesteld en in de voorstellen van de Commissie is aangegeven hoe we deze kunnen realiseren. Om een groene en gezonde toekomst te verzekeren voor iedereen zijn er aanzienlijke inspanningen nodig in elke sector en elke lidstaat. De Europese transitie wordt eerlijk, groen en concurrerend.”¹

Vlaanderen heeft een sterke en efficiënte basisindustrie (staal en chemie). Deze basisindustrie is echter erg energie-intensief en zorgt jaarlijks voor een uitstoot van zo'n 27 Mton CO₂¹. Op Figuur 1 is te zien dat de sectoren chemie, olieraffinage en staal het hoofdaandeel van deze CO₂-uitstoot vertegenwoordigen.



Figuur 1: Evolutie van de uitstoot van broeikasgassen (BKG in miljoen ton).²

Om de klimaatdoelstellingen te halen en Vlaanderen koolstofneutraal te maken tegen 2050 zal de Vlaamse basisindustrie haar jaarlijkse import van 30 Mton koolstof, in de vorm van fossiele grondstoffen, moeten vervangen door duurzamere alternatieven. Een essentiële vraag die dit document zal proberen te beantwoorden is “of het realistisch is of deze basisindustrie tegen 2050

¹ VERSLAG VAN DE COMMISSIE AAN HET EUROPEES PARLEMENT, DE RAAD, HET EUROPEES ECONOMISCH EN SOCIAAL COMITÉ EN HET COMITÉ VAN DE REGIO'S, 2021, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021DC0960&from=EN>

² Naar een koolstofcirculaire en CO₂-arme Vlaamse industrie - <https://www.vlaio.be/nl/publicaties/naar-een-koolstofcirculaire-en-co2-arme-vlaamse-industrie>

volledig zonder fossiele grondstoffen kan functioneren”. Uit de literatuur blijkt dat in nagenoeg alle scenario’s gekeken wordt in mindere of meerder mate naar volgende klimaatvriendelijke alternatieven:

- recyclage van materialen,
- gebruik van bio gebaseerde grondstoffen,
- inzetten op CO en/of CO₂ als grondstof samen met waterstof,
- elektrificatie van processen of het rechtstreekse gebruik van hernieuwbare energiebronnen en/of restwarmte in plaats van verbranding.

Bovendien is en zal hernieuwbare energie nog een tijd schaars zijn en dient deze daar gebruikt te worden waar de impact het grootst is, rekening houdend met de economische context. Deze transitie naar een meer duurzame Vlaamse industrie kan op termijn enkel slagen als er nu zogenaamde “no-regret” investeringen plaatsvinden.³ Het efficiënt transporteren van grondstoffen, energiedragers en andere stromen is hierbij een zeer belangrijk element. In deze context zal het vervoer van grondstoffen via buisleidingen belangrijk zijn door haar vele voordelen op grote schaal. Pijlijntransport heeft de volgende voordelen:^{4,5}

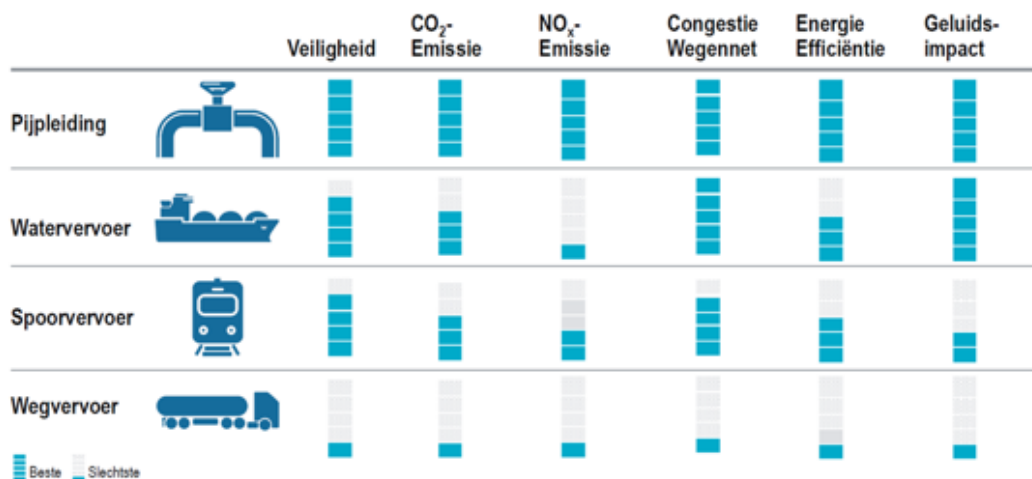
- Pijpleidingen kunnen een positieve bijdrage leveren als deeloplossing voor de mobiliteitsproblematiek, wat ze reeds doen in o.a. Antwerpen.⁶ Bovendien is de vervoerscapaciteit van pijpleidingen vele malen groter dan die van wegtransport en een uitgebreid pijpleidingennetwerk zou een positieve bijdrage leveren tot de mobiliteit. Een vergelijking tussen de verschillende transportmodi is gegeven in Figuur 2.

³ “no-regret” investeringen; Bert Bouwman, Lieve Helsen, Johan Martens, Korneel Rabaey, Kevin Van Geem, Tomas Wyns, 2021

⁴ Pijpleidingtransport: de meest duurzame transportmodus - FETRAPI

⁵ Synthesenota aangaande bundeling van kennis over de voordelen van pijpleidingen in Vlaanderen, Alain Verbeke, Elvira Haez Endonck, Michael Dooms - 2022

⁶ Studie: de strategische positionering van pijp- en buisleidingtransport in het vervoerbeleid van België, Prof. Dr. W. Winkelmans, Universiteit Antwerpen, 2000



Figuur 2: Vergelijking duurzaamheid verschillende transportmodi.⁵

- Transport via pijpleidingen is zeer betrouwbaar.
- Pijpleidingen bestaan al lang en zijn essentieel voor de aan- en afvoer van grondstoffen tussen de (petro)chemische clusters in het gebied Antwerpen-Rotterdam, het Duitse Ruhrgebied en andere regio's in België en Europa. Het bestaan van deze pijpleidingen zorgt voor verankering van belangrijke industrieën in Vlaanderen.
- Pijpleidingen zijn een milieuvriendelijk, duurzaam en kostenefficiënt transportmiddel. De externe milieubaat bij een modal shift van weg naar pijpleidingen bedraagt tot €24 miljoen/j.⁴ Door de beperkte emissies die tot stand komen bij pijpleidingstransport (CO₂, NO_x, VOC, ...) dragen ze minder tot de klimaatverandering bij dan alternatieven
- Er zijn bijna geen negatieve externaliteiten. Op het vlak van vervoersafvalstoffen, geluidsoverlast, congestie, intensief ruimtebeslag en daaruit voortvloeiende horizonvervuiling scoren de pijpleidingen het best van alle vervoersmodi.⁷
- Het energieverbruik van transport via pijpleidingen is optimaal en bedraagt maar 20-25 % van dat van het wegvoervoer per tonkilometer.
- Het transport via pijpleidingen wordt beschouwd als veilig in vergelijking met weg- en spoorvoervoer. Dit is zeker een troef voor het vervoer van gevaarlijke goederen. Pijpleidingstransport kan men terecht de veiligste manier om goederen te transporteren ter wereld noemen.
- Pijpleidingen zijn een bindmiddel tussen de (petro)chemische clusters in de ARA-zone (Antwerp Rotterdam Area), het Duitse Ruhrgebied en andere regio's in België (onder meer

⁷ Roland Berger, 2018

Feluy) en in Europa. Ze dragen bij tot nieuwe investeringsimpulsen en verankering. Bovendien kan een bedrijf zijn capaciteitsbenutting verhogen en optimaliseren dankzij een goed en efficiënt pijpleidingnetwerk. Zo zou de industrie mogelijks aan concurrentiekracht kunnen winnen in een geglobaliseerde wereld door kostenefficiënter te zijn. Zo helpen pijpleidingen de structurele nadelen van de Europese industrie t.o.v. het Midden-Oosten (goedkope olie en gas), de USA (grote koppeling van olefinecapaciteit per pijpleiding en goedkoop schaliegas) en Azië (hoge economische groei) op te vangen. Een sterke lokale chemische industrie, gekoppeld aan haar hoge kapitaalintensiteit heeft een verankerings-effect.

- Pijpleidingen maken CCS en CCU mogelijk. CO₂ wordt afgevangen bij industriële processen en vervoerd naar plaatsen waar de CO₂ wordt opgeslagen of verbruikt. Deze toepassing is nieuw en het bestaande netwerk is hier niet op voorzien. Aanpassingen aan het bestaande netwerk en/of nieuwe pijpleidingen zijn noodzakelijk om deze toepassing succesvol te maken.
- Pijpleidingen maken een energietransitie mogelijk waarin waterstof een belangrijke rol zal spelen. Mits aanwezigheid van een adequaat pijpleidingennetwerk zal groene waterstof een steeds grotere rol spelen als grondstof en als brandstof/energiedrager voor zeer diverse toepassingen (transport, verwarming, industrie). Wegtransport en binnenvaart zijn slechts in beperkte mate een alternatief voor het vervoer van waterstof per pijpleiding.

Het is duidelijk dat er investeringen noodzakelijk zijn zodat de industrie tegen 2035 belangrijke emissiereductie kan realiseren en om tegen 2050 klimaatneutraliteit te bereiken. Deze investeringen vormen een *enabler* en katalysator voor noodzakelijke investeringen in nieuwe technologieën door de industrie zelf en kunnen niet los van elkaar gezien worden. Ze maken deel uit van een en-en-verhaal.

Om meer inzicht te krijgen in deze complexe materie en de transitie wordt in dit rapport een synthese gemaakt van de belangrijkste inzichten inzake nieuwe stofstromen (of wijzigingen aan bestaande stofstromen) die verwacht worden naar aanleiding van de transitie naar een meer duurzame en circulaire industrie, en meer algemeen de energietransitie. Focus ligt daarbij op transport via pijpleidingen, met planhorizon middellange termijn (2035) tot lange termijn (2050). Het onderzoeksgebied betreft Vlaanderen met inbegrip van omliggende havenclusters en industriële clusters zoals de Vlaamse, Noord-Franse en Nederlandse zeehavens, de industriële cluster rond Luik, Chemelot in Nederland en het Ruhrgebied in Duitsland.

De volgende 13 onderzoeksvragen zullen een voor een beantwoord worden:

1. Welke grondstoffen en energiedragers zijn nodig voor de verduurzaming van de (petro)chemie, en de transitie naar een meer circulaire industrie?
2. Zullen verschillende vormen van waterstof nodig zijn? (bv. restgassen/syngassen vs. zuivere waterstof). Zal waterstof vooral in gasvormige dan wel vloeibare vorm nodig zijn?
3. Welke rol zal er nog weggelegd zijn voor meer klassieke petrochemische grondstoffen en bijproducten? (bv. propaan/lpg, r-nafta, nafta, propyleen, ethyleen)
4. Welke andere stoffen/moleculen komen nog in beeld?
5. Welke industriële activiteiten worden verwacht in de toekomst CO₂ als grondstof te kunnen gebruiken? Vb. welk belang wordt verwacht van een eventuele toekomstige productie van koolwaterstoffen uit CO₂ en waterstof?
6. Onder welke vorm zal CO₂ hoofdzakelijk worden getransporteerd (na afvang): vloeibaar of gasvormig? Welke grondstoffen of energiedragers zijn er nodig om CO₂ naar de geschikte vorm om te zetten?
7. Welke verhouding wordt er verwacht tussen enerzijds mogelijkheden tot hergebruik van CO₂ binnen de Vlaamse industriële clusters, en anderzijds de noodzaak tot definitieve opslag van CO₂ (in de Noordzee of elders buiten Vlaanderen)?
8. Welke CO₂ stromen worden verwacht tussen het Ruhrgebied en Antwerpen; en in welke richting worden deze hoofdzakelijk verwacht?
9. Wat zal het belang zijn in de toekomstige energiemix van energiedragers die gebaseerd zijn op moleculen?
10. Welke stoffen zullen tijdens de transitiefase gelijktijdig moeten worden getransporteerd op de 'backbones' (bv. aardgas, groene waterstof, grijze waterstof, CO₂, biobrandstoffen...)? Wat kan de rol van Vlaamse backbones zijn in een internationaal perspectief (Nederland, Noordrijn-Westfalen)?
11. Welke groene moleculen komen als energiedrager naar voor (naast groene waterstof), bv. ammoniak, methanol?
12. Hoe wordt verwacht dat deze zich richting 2050 zullen verhouden tot fossiele brandstoffen/moleculen enerzijds, en elektrificeren (elektronen) anderzijds?

13. Zijn er synergie-effecten door het gebundeld aanleggen van pijpleidingen voor groene moleculen enerzijds, en hoogspanningsleidingen anderzijds? Worden er in Vlaanderen gelijkaardige synergie-effecten verwacht als in Nederland, gelet op de uitfasering van aardgas en de daaruit voortvloeiende nood tot omvorming van het gasleidingnet

1.1. De Europese energietransitie

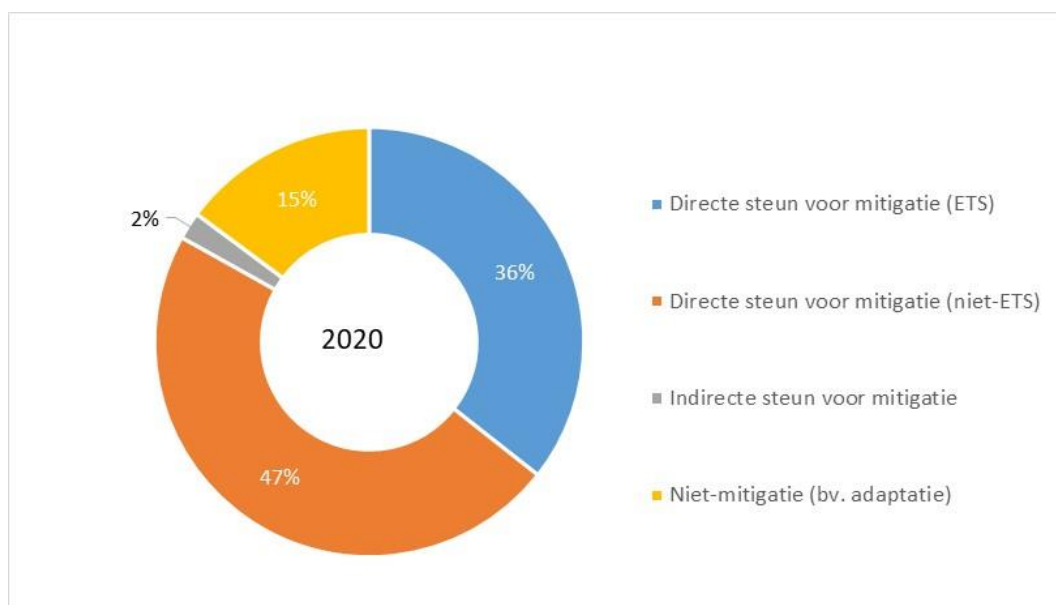
Vlaanderen moet gezien de ongeziene gevolgen van de klimaatverandering, sneller dan ooit actie ondernemen om zijn CO₂-emissies drastisch te reduceren. Zo heeft de EU in december 2019 de doelstelling van klimaatneutraliteit tegen 2050 vastgelegd. In 2020 heeft ze ook de Europese Green Deal goedgekeurd, een sector overschrijdende routekaart voor een groene en rechtvaardige transitie.¹ De Europese Green Deal streeft ernaar decarbonisatie waar te maken maar zonder de economische groei te verminderen. De evolutie van broeikasgasemissies in Europa toont aan dat een dergelijke transitie mogelijk is. Zo lagen de eigen emissies van broeikasgassen van de EU-27 in 2020, met inbegrip van internationale luchtvaart, 31 % lager dan in 1990 en bereikten zij het laagste niveau in 30 jaar. Indien hierbij de emissies en verwijderingen door landgebruik, verandering in landgebruik en bosbouw (LULUCF) worden meegerekend, komt dit neer op een netto-emissiereductie van 34 %. Hiertegenover staat een gezamenlijke toename van het bbp van de EU met meer dan 50 % over dezelfde periode. Hierdoor is de broeikasgasemissie-intensiteit van de economie in 2020 gedaald naar 271 g CO₂-eq/EUR₂₀₁₅, wat minder dan de helft is van het niveau van 1990.

Een groene transitie blijkt dus mogelijk te zijn. Toch zijn er bijkomende inspanningen vereist voor het bereiken van de door de EU vastgestelde ambities betreffende een 55 % reductie van de netto-emissies voor 2030 en klimaatneutraliteit voor 2050. De inwerkingtreding van de Europese klimaatwet in juni 2021 stelt hiertoe juridisch bindende streefcijfers voor zowel 2030 als 2050 voor. Het bestaande EU-ETS systeem zal strikter worden en alle partijen doen streven naar ambitieuzere doelstellingen. Belangrijk voor het realiseren van de bovenvermelde steile ambities is het stimuleren van duurzame alternatieve brandstoffen/energiedragers en een snellere uitrol van de infrastructuur voor hun transport. Hernieuwbare energie zal een centrale rol spelen in de overgang naar duurzame brandstoffen, en ook voor het gebruik ervan zijn ambitieuze streefcijfers vooropgesteld.

Om de groene transitie te financieren zal de EU naar schatting 520 miljard EUR per jaar aan investeringen nodig hebben, een toename met 390 miljard EUR vergeleken met de periode 2011-2020 in aan de emissiereductiedoelstellingen van 2030 te voldoen. Hiertoe zal onder andere minimaal

30 % van de 1,8 biljoen EUR van zowel het tijdelijke herstelinstrument “NextGenerationEU” als van de begroting voor de periode 2021-2027 worden ingezet voor klimaat gerelateerde beleidsmaatregelen en programma’s, met een totaalbedrag van 540-625 miljard EUR over de periode van 2021-2027.¹

Om beroep te kunnen doen op het herstel- en veerkrachtfonds hebben lidstaten herstel- en veerkrachtplannen opgesteld in 2021. Deze plannen omvatten investeringen en hervormingsinitiatieven met een toegevoegde waarde voor de gehele EU, zoals de ontwikkeling en het gebruik van hernieuwbare energie, met inbegrip van waterstof, de renovatie van gebouwen en het verhogen van de energie-efficiëntie, en de uitrol van infrastructuur voor alternatieve brandstoffen of spoorvervoer. Deze plannen kunnen de lidstaten helpen om hun doelstellingen voor 2030 te halen. Op Figuur 3 zijn de bestedingen aan maatregelen tegen klimaatverandering weergegeven per type voor het jaar 2020.¹ De lidstaten hebben het grootste deel van hun gerapporteerde opbrengsten aan directe ondersteuning besteed, d.w.z. aan het installeren van technologieën die emissies terugdringen (bv. Productie van hernieuwbare energie via winden waterkracht). Maar ook adaptieve maatregelen zijn genomen voor het reduceren van emissies, zoals het installeren van CCS eenheden voor de captatie en opslag van CO₂.



Figuur 3: Gerapporteerde aandeel per type ondersteuning intern besteed aan klimaatverandering en energie (incl. gepland) in 2020, EU-27. Totaalbedrag: 723,8 miljard euro.¹

De bovenvermelde overwegingen maken duidelijk dat de EU door een transitie zal gaan waarbij fossiele bronnen gradueel vervangen worden door hernieuwbare energiebronnen, grondstoffen en energiedragers. Hierbij zullen ongezien grote investeringen noodzakelijk zijn voor zowel mitigatieve

als niet-mitigatieve doeleinden. Met behulp van deze investeringen zal een nieuwe infrastructuur ontstaan op Europees niveau voor de integratie van de alternatieve grondstoffen en hernieuwbare energie.

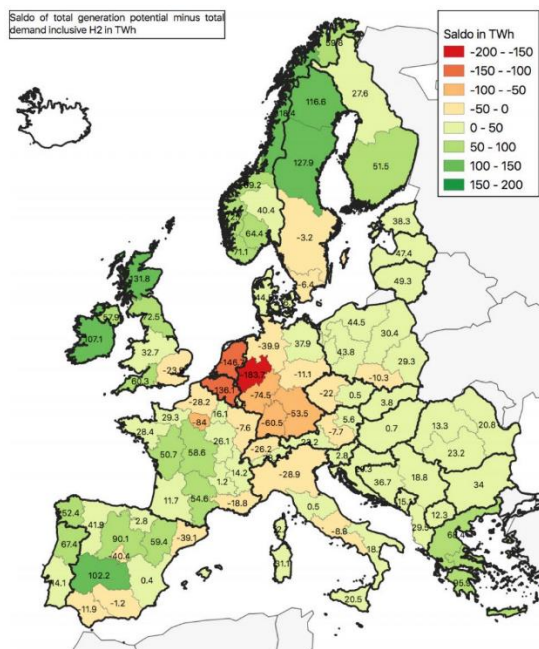
1.2. Implicaties voor Vlaanderen

De industrie in Europa en Vlaanderen is vandaag sterk gebaseerd op fossiele grondstoffen. In de toekomst zal een graduele overgang naar hernieuwbare energie noodzakelijk zijn in lijn met het beleid van Europa. Zeker voor het verduurzamen van de sterke basisindustrie van Vlaanderen, met in het bijzonder de chemie- en staalindustrie, zijn er nog stappen te zetten voor het verminderen van hun CO₂ uitstoot.

In 2018 heeft België haar jaarlijkse emissierechten overschreden. Dit werd gecompenseerd door overschotten van vorige jaren, maar toont aan dat bijkomende inspanningen vereist zijn voor de emissies op lange termijn te verminderen.¹ Afstappen van fossiele brandstoffen zou een oplossing kunnen bieden op lange termijn, op voorwaarde dat er alternatieve, bio- en synthetische brandstoffen in voldoende mate beschikbaar zouden zijn. De huidige energiesituatie toont aan dat dit op dit moment niet onmiddellijk mogelijk is maar het creëert wel een momentum om extra in te zetten op groene energie. Vooral voor de industriële bevoorrading en energievoorziening zou dit een grote kans bieden om klimaatneutraliteit te bereiken, bijvoorbeeld door massaal gebruik van groene elektriciteit zouden de emissies van de basisindustrie drastisch kunnen gereduceerd worden. Een van de meest belovende brandstoffen of energiedragers is in deze context waterstof. Het potentieel van waterstof voor het verduurzamen van tal van sectoren in onze samenleving wordt immers internationaal en Europees erkend, en krijgt enorme aandacht zowel op politiek vlak als in de industrie. Ook Vlaanderen kent heel wat troeven op het vlak van waterstof, o.a. door zijn geografische ligging en zijn sterke havens, en wil daarom dit momentum aangrijpen om waterstof uit te rollen in het Vlaamse ecosysteem, waarbij het zich ten volle aansluit bij de Europese waterstofstrategie. Een troef van Vlaanderen is onder andere dat de aanwezigheid van 's werelds grootste waterstof leiding netwerk⁸ en een dicht vervoersnet zowel over de weg als het water, wat het nagenoeg de ideale locatie maakt voor het uitrollen van een groot waterstofnetwerk. Daarnaast zullen de industriële clusters in de havens naar alle waarschijnlijkheid ook grote toekomstige productie- en consumptienoden voor waterstof hebben. Zo kan waterstof in de toekomst bijdragen aan de verduurzaming van de basisindustrie, zijnde zowel de chemische als staalindustrie.

⁸ MEDEDELING AAN DE VLAAMSE REGERING. Betreft: *Vlaamse Waterstofvisie "Europese koploper via duurzame innovatie"*
<https://www.ewi-vlaanderen.be/sites/default/files/bestanden/5fad5387b328e9000c00018b.pdf>

Lokaal geproduceerde waterstof zou beschikbaar gesteld worden door elektrolyse via aan de Noordzee geproduceerde elektriciteit. Zo zijn er al verschillende projecten voorgesteld in de Port of Antwerp-Bruges, North Sea Port en Oostende voor de productie van groene waterstof via elektrolyse met meestal het gebruik van offshore windenergie.¹ Verder is er ook het Power to Methanol project in de haven van Antwerpen dat met waterstof en CO₂ methanol wil maken.⁹ Dit kan ingezet worden als drager van hernieuwbare energie, of als basisbouwsteen voor andere chemicaliën. Toch zal naar alle waarschijnlijkheid import ook een belangrijke rol spelen om voldoende beschikbaarheid van hernieuwbare energiebronnen te garanderen. Zo zal het invoeren van waterstof en derivaten noodzakelijk zijn om aan de energie- en grondstofbehoeften van Vlaanderen te voldoen.¹⁰ Figuur 4 toont duidelijk aan dat de totale energievraag van België niet lokaal geleverd kan worden, en ook niet regionaal. Invoer van landen met een energie surplus zal een noodzaak zijn om aan de vraag te kunnen voldoen. Dit kan geleverd worden in de vorm van elektriciteit, maar ook in de vorm van moleculen. Centraal in de aanvoer van de alternatieve energievormen komt opnieuw de rol van de havens duidelijk naar voor. De Waterstofimport coalitie bestudeert zo de mogelijkheid tot import van waterstof via pijpleidingen of schip.¹⁰ Waterstof zal dus heel wat economische en maatschappelijke opportuniteiten bieden, in het bijzonder in de energie- en klimaattransitie.



Figuur 4: Saldo van de totale energieproductie vermindert met de totale vraag per regio in TWh.¹¹

⁹ The Power to Methanol project in Antwerp will produce methanol from captured CO₂ combined with hydrogen that has been sustainably generated from renewable electricity. <https://powertomethanolantwerp.com>

¹⁰ Shipping sun and wind to Belgium is key in climate neutral economy. <https://www.deme-group.com/sites/default/files/2021-01/Hydrogen%20Import%20Coalition%20Final%20Report.pdf>

¹¹ https://wupperinst.org/fa/redaktion/downloads/projects/INFRA_NEEDS_Policy_Brief.pdf

De roadmap voor de basisindustrie, die werd opgesteld in het kader van het Moonshot-onderzoeksprogramma, voorspelt dat de waterstofbehoefte in Vlaanderen zou verdrievoudigen van 8,2 TWh in 2018 naar ca. 25 TWh tegen 2050, waarvan 18 TWh om als grondstof te gebruiken en 7 TWh als energie input.⁸ Deze roadmap schetst dat in een eerste periode tot ca. 2035 het cruciaal zal zijn om via O&I de kostprijs van groene waterstof te drukken, pilootinstallaties te bouwen en de noodzakelijke basisinfrastructuur in te richten, zodat deze technologieën vanaf 2035 matuur en industrieel inzetbaar zijn. Men verwacht dat in 2050 ongeveer een derde van waterstofbehoefte uit blauwe waterstof zal gehaald worden (Stoomreforming + CCS), een derde uit “groene” waterstof en een derde uit import en “turquoise” waterstof (uit methaanpyrolyse). Een meer gedetailleerde uitleg over de verschillende kleuren van waterstof wordt in sectie 3.1 gegeven.

Een duidelijke Vlaamse ambitie voor waterstof is dus essentieel. De kennis en expertise zit dan ook verspreid over de volledige waterstofwaardeketen: zowel voor de synthese, distributie, opslag, en het gebruik van waterstof in verschillende duurzame toepassingen. Dit is ook nodig door de sterke concentratie van bedrijven uit de basisindustrie in de Vlaamse regio, waarbij het toepassen van waterstoftechnologie essentieel zal zijn om hun concurrentiele positie te vrijwaren en te versterken in de evolutie naar een klimaat neutrale toekomst.⁸ Vlaanderen heeft dus duidelijk een aantal troeven om nu de kaart van waterstof te trekken.

- Er is de aanwezige kennis en expertise bij de kennisinstellingen en industrie.
- Vlaanderen is uniek gelokaliseerd met onder andere belangrijke industriële havengebieden.
- Europa en de buurlanden zetten nu in op deze waterstof waardoor Vlaanderen optimaal gepositioneerd is om grensoverschrijdende en duurzame projecten uit te rollen.

Maar niet enkel waterstof zal van belang zijn voor de transitie. Ook moleculen die waterstof kunnen binden en zelf als energiedrager optreden zullen centraal staan in een klimaat neutrale toekomst. Waterstof is moeilijk te transporteren via schip, waardoor ze gebonden kan worden in de vorm van andere moleculen voor vervoer en gebruik. De belangrijkste kandidaten voor waterstof te binden zijn methanol, ammoniak, mierenzuur, methaan en vloeibare organische waterstof dragers (LOHC: Liquid Organic Hydrogen Carriers). Elk van deze energiedragers hebben hun voordelen, en moeten niet uitgesloten worden voor de toekomstvisie. In elk geval staat de productie van waterstof centraal als oplossing voor de klimaattransitie, maar de drager van groene energie is nog onzeker.

1.3. Circulariteit en de Circulaire Economie

Circulariteit zal een belangrijk element zijn in de transitie. In een circulaire economie wordt de waarde van producten en materialen zo lang en zo volledig mogelijk behouden en de productie van afval tot een minimum beperkt. De transitie naar een (meer) circulaire economie is een systeemverandering die alle aspecten van het economisch leven omvat. De wereldwijde consumptie van materialen zoals biomassa, fossiele brandstoffen, metalen en mineralen zal zich in de komende veertig jaar naar verwachting verdubbelen¹² terwijl de jaarlijkse afvalproductie tegen 2050 naar verwachting met 70 % zal toenemen¹³.

Aangezien de helft van alle broeikasgasemissies en meer dan 90 % van het biodiversiteitsverlies en de waterstress het gevolg zijn van de winning en verwerking van grondstoffen, is met de Europese Green Deal¹⁴ een gezamenlijke strategie in het leven geroepen voor het creëren een klimaatneutrale, grondstoffenefficiënte en concurrerende economie. De uitbreiding van de circulaire economie naar de belangrijkste economische actoren kan een doorslaggevende bijdrage leveren aan het bereiken van klimaatneutraliteit tegen 2050 en de ontkoppeling van economische groei en het gebruik van grondstoffen, en kan tegelijkertijd het concurrentievermogen van de EU op de lange termijn waarborgen, waarbij niemand achterblijft.

Om deze ambitie te kunnen waarmaken, moet de EU vaart zetten met de overgang naar een duurzaam groeimodel waarbij meer aan de planeet teruggegeven dan onttrokken wordt, het verbruik van grondstoffen binnen de grenzen van de mogelijkheden van de planeet wordt gehouden, en er derhalve naar streven, haar voetafdruk zeker wat verbruik betreft, te verminderen en het percentage circulair gebruik van materialen in het komende decennium te verdubbelen.

Voor bedrijven zal samenwerking bij de totstandbrenging van het kader voor duurzame producten nieuwe kansen bieden in de EU en specifiek in Vlaanderen. Deze geleidelijke, maar onomkeerbare overgang naar een duurzaam economisch systeem is een onmisbaar onderdeel van de nieuwe industriestrategie van de EU. Uit een recente studie blijkt dat een circulaire Europese economie het potentieel heeft om het bbp van de EU tegen 2030 met nog eens 0,5 % te doen toenemen (vergeleken met een baseline case waarbij ‘business as usual’ zich voortzet en de historische groeitrends worden verondersteld) en ongeveer 700 000 nieuwe banen te creëren tussen 2018 en 2030¹⁵. Ook voor

¹² OECD (2018), *Global Material Resources Outlook to 2060*.

¹³ Wereldbank (2018), *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*.

¹⁴ COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE EUROPEAN COUNCIL, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS – *The European Green Deal – 2019* - https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF

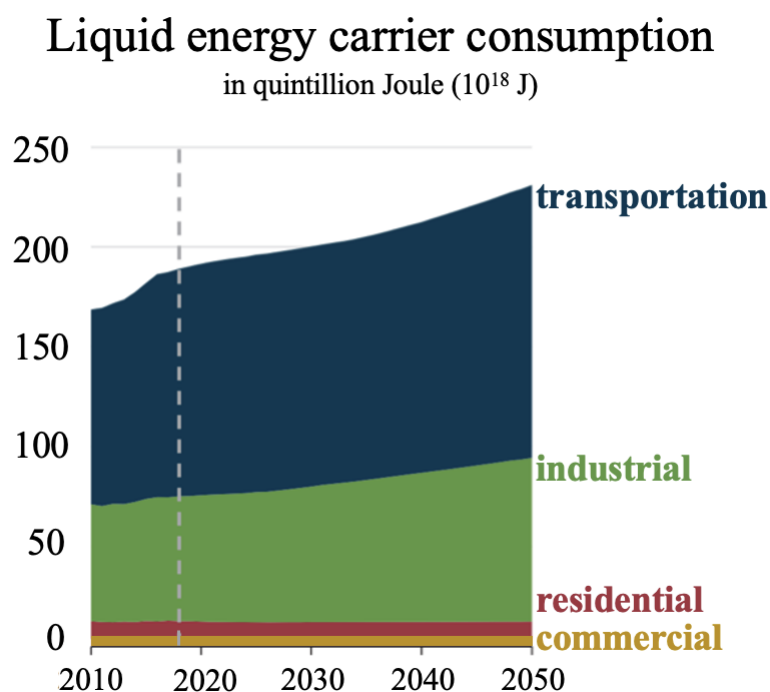
¹⁵ Cambridge Econometrics, Trinomics, en ICF (2018), *Impacts of circular economy policies on the labour market*.

individuele ondernemingen bestaat er een duidelijke business case: aangezien de productiesector in de EU gemiddeld ongeveer 40 % uitgeeft aan materialen, kan circulariteit de winstgevendheid van deze bedrijven vergroten en hen tegelijkertijd beschermen tegen schommelingen van de prijzen van de grondstoffen.

In dit document zullen verschillende studies over Circulariteit besproken worden en met name wat de implicaties zullen zijn voor de huidige stofstromen en welke nieuwe stofstromen er te verwachten zijn en hun respectievelijke volumes. Ook hier kunnen de Vlaamse havens een belangrijke rol spelen en circulaire hubs worden voor steeds schaarser wordende grondstoffen.

2. Alternatieve grondstoffen en energiedragers voor de verduurzaming voor de (petro)chemie in de transitie

Zoals vermeld in sectie 1 is de huidige structuur van de industrie sterk gebaseerd op fossiele grondstoffen. In het bijzonder spelen brandstoffen een belangrijke rol voor transport en voor het leveren van energie voor de basisindustrie en voor elektriciteitsproductie. Figuur 5 geeft een projectie van de vraag naar vloeibare energiedragers in de komende decennia. Er is een duidelijk sterke stijging te zien, waarbij de voornaamste vraag van de transportsector en industrie komt. Echter de Europese regelgeving heeft dan wel de verkoop van verbrandingsmotoren vanaf 2035 verboden, en een incentive om de elektrificering van de industrie is aanwezig, maar toch wordt verwacht dat de vraag naar vloeibare energiedragers zal stijgen. Een overgang maken naar e-brandstoffen in deze takken van de maatschappij zou tot het behalen van de doelen van 2030 kunnen leiden. E-brandstoffen zijn brandbare moleculen geproduceerd door de opslag van hernieuwbare energie in chemische verbindingen. Voorbeelden van zulke moleculen zijn waterstof, ammoniak, methanol, dimethyl ether en polyoxymethylene dimethyl ethers. Koolstof-gebaseerde e-brandstoffen kunnen geproduceerd worden door de combinatie van CCU met groene waterstof om zo tot klimaatneutraliteit te komen. Daarom wordt veel onderzoek naar technologieën om e-brandstoffen toe te passen gevoerd.



Figuur 5: Globale consumptie van vloeibare energiedragers (EJ).¹⁶

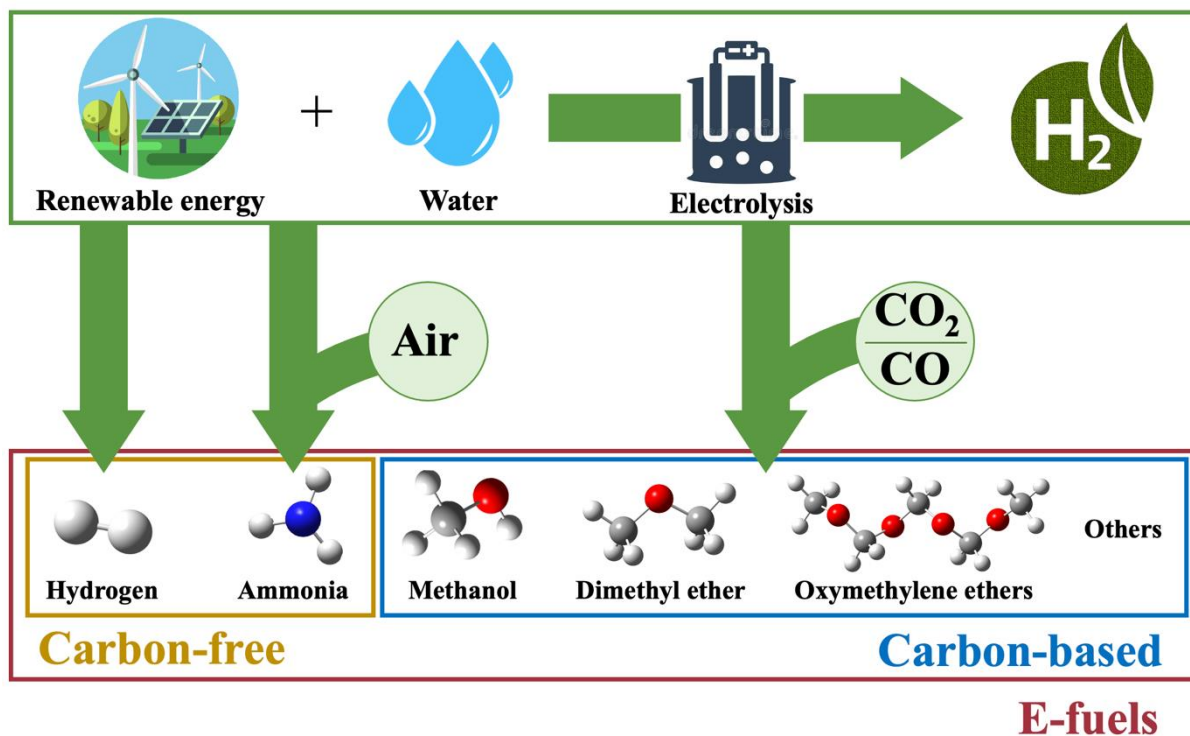
¹⁶ World Energy Outlook 2019 - <https://iea.blob.core.windows.net/assets/98909c1b-aabc-4797-9926-35307b418cdb/WEO2019-free.pdf>

E-brandstoffen hebben ook potentieel voor de basisindustrie. Door de hoge temperaturen die nodig zijn in vele van de processen van de basisindustrie wordt preferentieel gebruik gemaakt van verbranding. Echter is het mogelijk om de CO₂-uitstoot van processen sterk te verminderen door gebruik van e-brandstoffen.

Indien we er in slagen de hoeveelheden aan koolstof-gebaseerde e-brandstoffen snel en drastisch te laten stijgen dan bestaat de mogelijkheid om het streefdoel van een circulaire koolstof-economie sneller te bereiken. Toch is de energie-efficiëntie van e-brandstoffen vandaag nog niet hoog genoeg. De elektriciteit-naar-nuttige-energie efficiëntie van e-brandstoffen is over het algemeen 10 % met de hoogtechnologische productiemethoden.¹⁷ Optimalisatie van de productieprocessen zou dit getal kunnen omhoog drijven in de komende decennia. Ook al produceren de koolstof-gebaseerde e-brandstoffen nog steeds CO₂ tijdens hun verbranding en decompositie, wordt er geen additionele CO₂ de lucht in gemiteerd wanneer ze geproduceerd worden aan de hand van CCU en hernieuwbare energie. Het principe van koolstof-vrije e-brandstoffen wordt weergegeven in Figuur 6. Het is duidelijk dat de bron van alle moleculen in de toekomst hernieuwbare energie zal zijn. Deze energie zal met conversieprocessen omgezet kunnen worden tot groene waterstof en andere groene energiedragers om de ecologische voetafdruk van de (petro)chemische industrie te drukken. Met de productie van zogenaamde ‘platformmoleculen’ zullen dan alle producten die commercieel gebruikt worden kunnen gemaakt worden. Door over te schakelen van platformmoleculen van fossiele aard naar platformmoleculen die vanuit groene energie vertrekken, kan de verduurzaming van de (petro)chemische industrie plaatsvinden. De overgang zal gradueel zijn volgens de meeste studies¹⁸, maar de negatieve gevolgen zullen met de tijd afnemen tot een circulaire koolstof-economie wordt bereikt.

¹⁷ *Carbon dioxide mitigation using renewable power* – James R. Lattner – 2020 - <https://doi.org/10.1016/j.coche.2020.05.003>

¹⁸ *E-Fuels as Fossil Fuel Substitute for Sustainable Transport: A Critical Review on Challenges and Opportunities* – Kevin De Ras



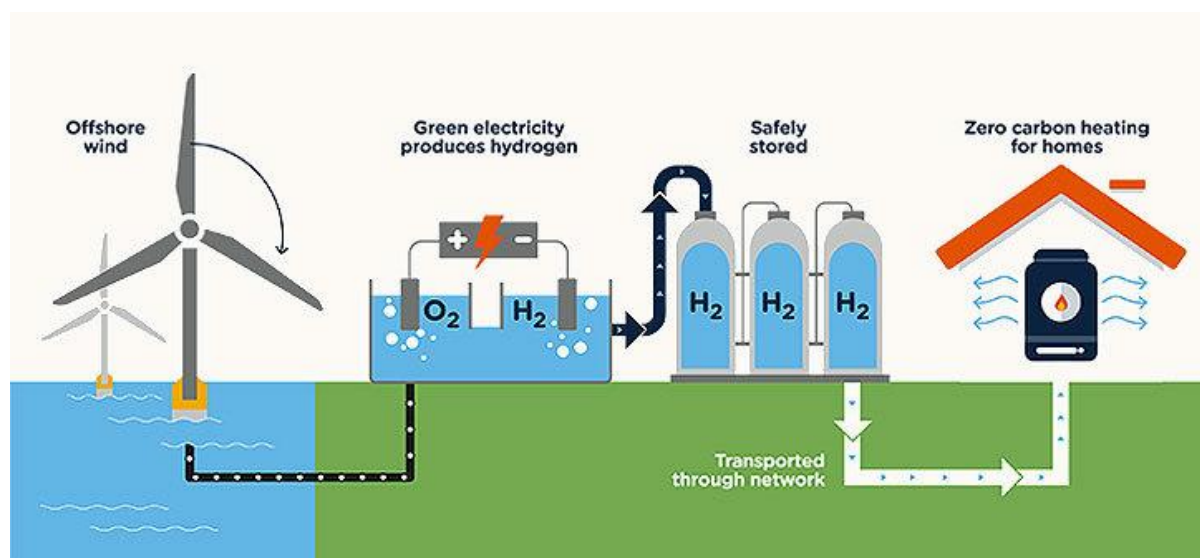
Figuur 6: Productieprincipe en classificatie van e-brandstoffen.¹⁸

2.1. Waterstof

Al decennia wordt erkend dat waterstof een cruciale rol zal spelen in de voorziening van veilige, kosten-efficiënte en milieuvriendelijke energie voor een duurzame toekomst. Waterstof is de kleinste brandstofmolecule met als grote voordeel dat bij verbranding met pure zuurstof geen schadelijke stoffen uitstoot. Verbranding met lucht kan tot NO_x-emissies leiden. De mogelijkheid om deze molecule te produceren via hernieuwbare energie maakt het een milieuvriendelijk alternatief voor huidige brandstoffen. Vandaag wordt waterstof vooral gebruikt in de industrie voor hydrogenerings reacties, ammoniak productie, aardolieraffinage, staalproductie, en de productie van synthetische brandstoffen. Toch kan waterstof in de toekomst een veel bredere waaier aan toepassingsmogelijkheden bieden. Door het opslaan van hernieuwbare energie en de mogelijkheid om waterstof om te zetten tot andere energie dragende moleculen biedt het veel alternatieven voor de energietransitie.

Voor de transportsector en de basisindustrie zien de voordelen in van waterstof als energievectoren en energiedrager. Het gebruik van brandstofcellen in de transportsector zou sterke efficiëntie stijgingen met zich kunnen meebrengen. In de (chemische) industrie zou het de energietoevoer aan producenten 'groener' kunnen maken en zo tot een klimaat neutrale maatschappij leiden. Al is de technologie vandaag nog niet matuur genoeg, is het toch van belang om in de toekomst te kijken naar hoe waterstof zou kunnen aangewend worden in de volledige productieketen.

De voornaamste methode om groene waterstof te produceren is door een elektrolyseproces zoals afgebeeld op Figuur 7.¹⁹ Verschillende elektrolyse technologieën zijn beschikbaar of in ontwikkeling waarbij alkalische elektrolyse het verst is ontwikkeld. Alkalische elektrolytische systemen werken door het transport van hydroxide-ionen (OH^-) door de elektrolyt van de kathode naar de anode, waarbij waterstof wordt gegenereerd aan de kathodezijde. Elektrolytische cellen werken bij $100^\circ\text{--}150^\circ\text{C}$ en gebruiken een vloeibare alkalische oplossing van natrium- of kaliumhydroxide (KOH) als elektrolyt. De kost om zo waterstof te produceren is vandaag nog hoog, maar met technologische ontwikkelingen zou de prijs gedrukt kunnen worden en als alternatief worden aangeboden voor de productieprocessen die vandaag commercieel zijn. Andere typisch elektrolyse zoals Polymeer-elektrolytmembraan-elektrolyse (PEM) en Vaste oxide elektrolytische cellen (SOE) zijn nog in ontwikkeling maar zouden de efficiëntie van waterstofproductie kunnen verhogen.



Figuur 7: Productieproces voor waterstof vertrekkende uit hernieuwbare energie (hier: windenergie).¹⁹

In de toekomst zal waterstof niet enkel ingezet worden als energiebron voor transport en de industrie, maar naar alle waarschijnlijkheid ook als chemisch bouwelement. Waterstof kan namelijk omgezet worden tot andere platformmoleculen waaruit zowat elke commerciële chemische verbinding geproduceerd kan worden. Daarnaast kan het ook aangewend worden tot het verwarmen van gebouwen, en het minder afhankelijk maken van Vlaanderen van internationaal energietoevoer. Uiteraard moet voor iedere toepassing van waterstof nagegaan worden of dit wel optimaal is en of er geen alternatief bestaat dat efficiënter is. Hierbij moet rekening gehouden worden met de globale rendementen van waterstofproductie en van het alternatief. Bijvoorbeeld voor de verwarming van

¹⁹ <https://fuelcellsworks.com/news/sgn-a-world-first-green-hydrogen-project-wins-uk-government-funding/>

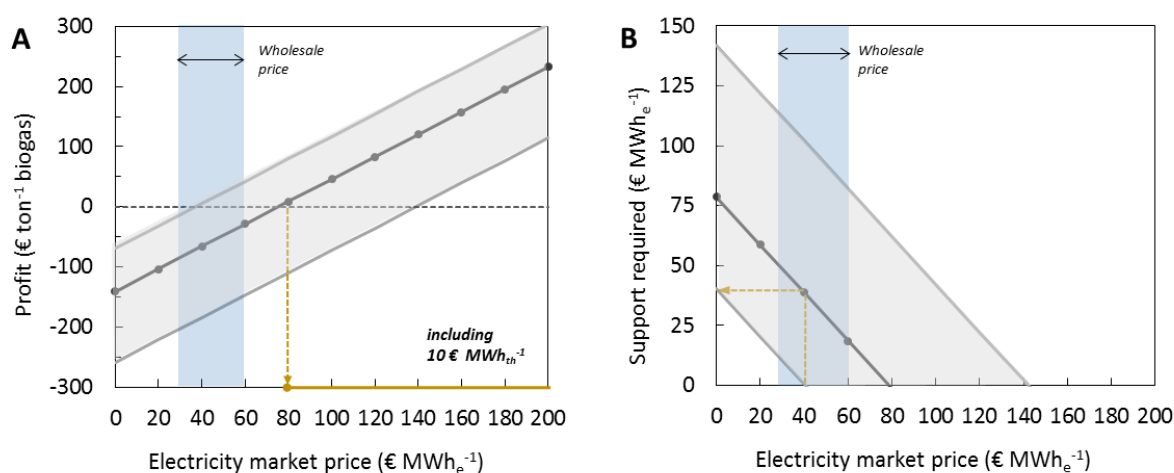
huizen zijn in vele gevallen warmtepompen een meer duurzame oplossing dan het gebruik van waterstof. Zoals reeds eerder vermeld, het omzetten van elektronen in waterstof gaat gepaard met een verlies en daarom kan het dikwijls verstandiger zijn om elektronen onder die vorm te gebruiken, denk maar aan elektrische auto's.¹⁷ Dat waterstof een groot deel van de toekomstige energiemix zal uitmaken staat vast. Grote investeringen en de groeiende vraag naar waterstof wijzen aan dat de transitie al aan de gang is. Toch zal de toekomstige kostenstructuur van de waardeketen betreffende de investering en voor het opereren, de zogenaamde CAPEX (Capital expenditure) en OPEX (operating expenses), bepalen hoe snel de uitrol van de technologie zal plaatsvinden.

2.2. Biomethaan

Biomethaan wordt voornamelijk geproduceerd door de behandeling van biogas uit anaerobe digestie van organische stoffen. Deze laatste zijn onder andere mest, rioolslib, de organische fractie van huishoudafval, energiegewassen en landbouwresten. Er worden dus voornamelijk laagwaardige stoffen gebruikt voor de productie en er is geen competitie met voeding, hetgeen grote voordelen biedt tegenover andere energiedragers. Zo kan biogas een sleutelement zijn in het behalen van de klimaatdoelstellingen van de EU. Binnenin de EU representeert biogas vandaag 7.7% van de totale energiemix. Het productiepotentieel van biomethaan in Europa is nog lang niet bereikt, en stijgt elk jaar ongeveer met 4 %. Het belangrijkste voordeel aan biomethaan is dat ze een veelzijdige brandstof is die in veel applicaties kan toegepast worden (verwarming van huizen, energieproductie, transport van brandstoffen en in de productie van chemicaliën). Een ander voordeel van biomethaan is dat CH₄ niet enkel een energiebron is, maar ook een bron voor koolstofatomen. Terwijl de productie van waterstof in principe enkel leidt tot het transport van energie, brengt methaan ook een koolstofmolecule mee dat kan gebruikt worden als bouwsteen andere moleculen.

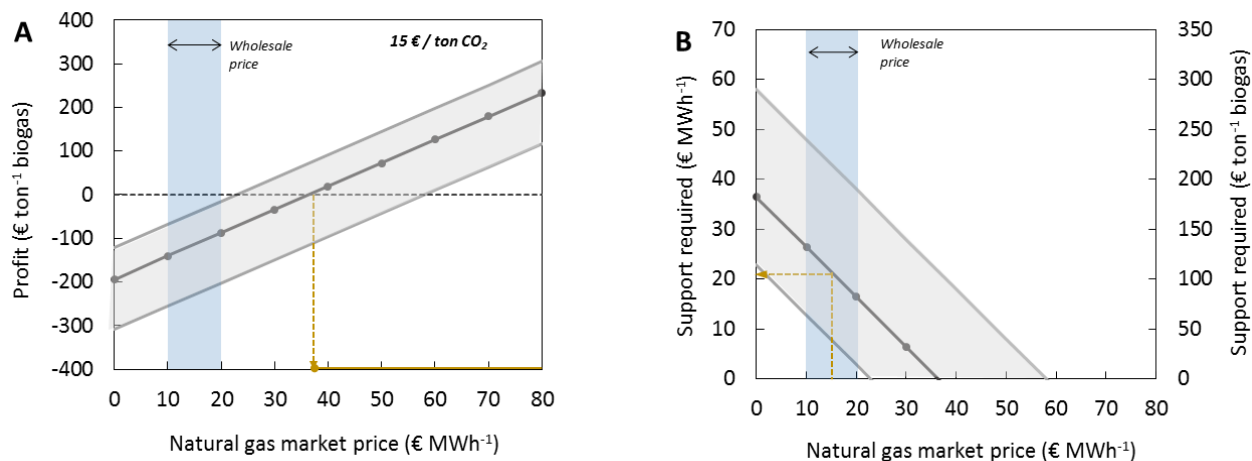
Aan de andere kant kent biomethaan ook een aantal nadelen. Een uitdaging van biomethaan is opschaling. Bijvoorbeeld een typische biomethaan productie op een site is niet meer dan enkele honderden kilogram biomethaan per uur. Dit staat in schril contrast met grote gebruikers, die enkele honderden tonnen methaan per uur verbruiken, moet getransporteerd worden. Hierdoor wordt biomethaan vaak aangewend op de site zelf om energie op te wekken in een cogeneratie-eenheid in plaats van getransporteerd te worden. Daarnaast moet de uit de organische stoffen geproduceerde biogas eerst gevaloriseerd worden tot biomethaan. Hiertoe moet het typisch boven de 96 % methaan bevatten voor het in aardgasleidingen kan vervoerd worden. Om de valorisatie van biogas naar biomethaan waar te maken zijn er aanzienlijke investeringen nodig. Door de gedecentraliseerde aard van de productieketen is dit een zeer grote uitdaging die niet eenvoudig kan omzeild worden, met

nadelen voor de ‘economy of scale’ en blijft de prijs om ze te produceren hoog.²⁰ De economische relevantie van elektriciteit geproduceerd door warmtekrachtkoppeling (WKK) centrales uit biogas is geïllustreerd op Figuur 8. Zoals te zien is er sterkte financiële steun nodig om een break-even punt te bereiken met de huidige elektriciteitsprijzen. Indien men biogas wil converteren naar biomethaan en injecteren op het bestaande pijpleidingennetwerk, zijn er additionele behandelingsstappen nodig (CO₂-verwijdering, desulfurizatie, compressie, geur geven, transport via pijpleidingen, ...). Als een economische studie wordt uitgevoerd is te zien dat er moeilijk winst kan gemaakt worden, zoals op Figuur 9 aangeduid. Bij de evaluatie van biomethaan productie wordt duidelijk dat de hele waaiertje aan marktprijzen niet kan leiden tot winst. De marktprijzen zouden moeten verdrievoudigen om winstgevende productie waar te maken zonder financiële steun.



Figuur 8: Economische analyse voor plaatselijke WKK-productie uit biogas. (A) Gegeneerde winst (€ ton⁻¹ biogas) door de verkoop van biogas gebaseerde elektriciteit in functie door de marktprijs (€ MWh⁻¹) voor drie cases: extreem goedkoop, gemiddeld en extreem duur biogas. De blauw gearceerde regio duidt de huidige energieprijzen aan. (B) De nodige financiële ondersteuning (tarief, certificaten, ...) om de kosten en opbrengsten te balanceren.²⁰

²⁰ *Upgrading the value of anaerobic digestion via chemical production from grid injected biomethane, Verbeeck et al. 2018*



Figuur 9: Economische analyse voor de productie van biomethaan en grid injectie. (A) Gegeneerde winst (€ ton⁻¹ biogas) door goedkoop, gemiddeld en duur biomethaan te verkopen in functie van de marktprijs voor natuurlijk gas (€ MWh⁻¹). De blauw gearceerde regio stelt de huidige prijzen voor natuurlijk gas voor. (B) Benodigde financiële steun om kosten en opbrengsten te balanceren in functie van de marktprijs.²¹

Biomethaan was voor 2021 dus niet competitief met natuurlijk gas. De bovenvermelde studie werd echter uitgevoerd voor de energiecrisis. Met de stijgende prijzen van aardgas zou de competitiviteit van bio-aardgas kunnen stijgen. Echter de prijs van elektriciteit is de voorbije maanden gestegen tot wel € 150 MWh⁻¹. Rekening houdend met deze prijzen en dezelfde assumpties behouden als in de studie hierboven vermeld, is de competitiviteit van elektriciteit uit biomethaan verzekerd, zelfs zonder subsidies. Toch is de gedecentraliseerde aard een groot struikelblok en zal de toekomstige waarde moeten blijken.

Biomethaan kan intrinsieke competitie bieden door de productie van koolstof-neutrale producten en lokale voorziening van hernieuwbare energie. Bedrijven kunnen zo ook hun CO₂ afdruk verminderen door lokaal geproduceerde CO₂ om te zetten tot biomethaan. Het probleem is dat biomethaan de uitstoot aan CO₂ niet vermindert. Alle CO₂ dat wordt opgevangen, zal uiteindelijk weer geëmitteerd worden bij de verbranding. Uiteindelijk stopt het de CO₂-emissies niet, maar is het wel een hernieuwbare bron van energie dat geen additionele hoeveelheden aan broeikasgassen produceert.

2.3. Plastic afval

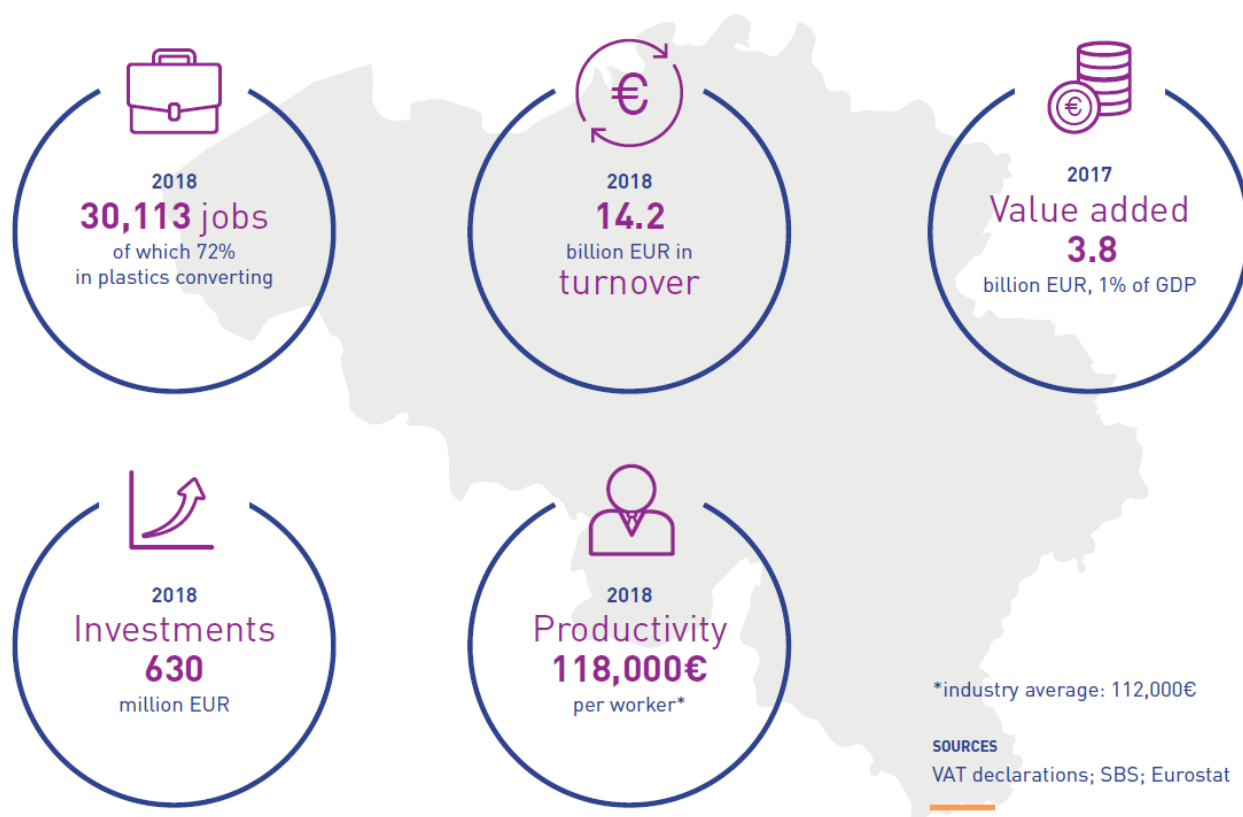
Een groot aandeel aan chemische bouwstoffen wordt gebruikt voor de productie van kunststoffen. De meest voorkomende grondstoffen voor kunststoffen zijn ethyleen, styreen, propyleen etc. Eens deze bouwstenen zijn omgezet tot polymeren kunnen ze zeer moeilijk ontbonden worden en ontstaan er producten met hoogwaardige eigenschappen. Bijvoorbeeld de lage massa-tot-volume verhouding

²¹ *Upgrading the value of anaerobic digestion via chemical production from grid injected biomethane, Verbeeck et al. 2018*

voor een bepaalde sterkte maken ze zeer geliefd als verpakkingsmateriaal, waardoor het transport efficiënter en goedkoper wordt. Daarnaast zijn de meeste polymeren corrosiebestendig, waardoor ze toegepast kunnen worden voor constructies die lange tijd stand moeten houden. Sinds 1950 is de diversiteit aan plastic materialen sterk toegenomen, maar ook zijn hun eigenschappen geoptimaliseerd. Door de veelzijdige toepassingen zijn plastic materialen een integraal deel van de moderne maatschappij geworden.²² Maar al deze voordelen hebben ook een keerzijde. Ten eerste leidt de lage massa-tot-volume verhouding en de lage prijs tot een enorme vraag voor plastics. Ze kunnen namelijk gebruikt worden als verpakkingsmateriaal en als onderdeel voor allerlei toestellen, waarbij het lage gewicht een sterk voordeel is. Hierdoor ontstaat er massaproductie, waarbij de geproduceerde hoeveelheid uiteindelijk ook zal moeten verwerkt worden op het einde van de levenscyclus van de geproduceerde materialen. In deze context is de langzame afbreekbaarheid dan een nadeel, aangezien als plastics gedumpt worden in de natuur, ze er honderden jaren in aanwezig blijven, om niet over het probleem van de microplastics te beginnen.

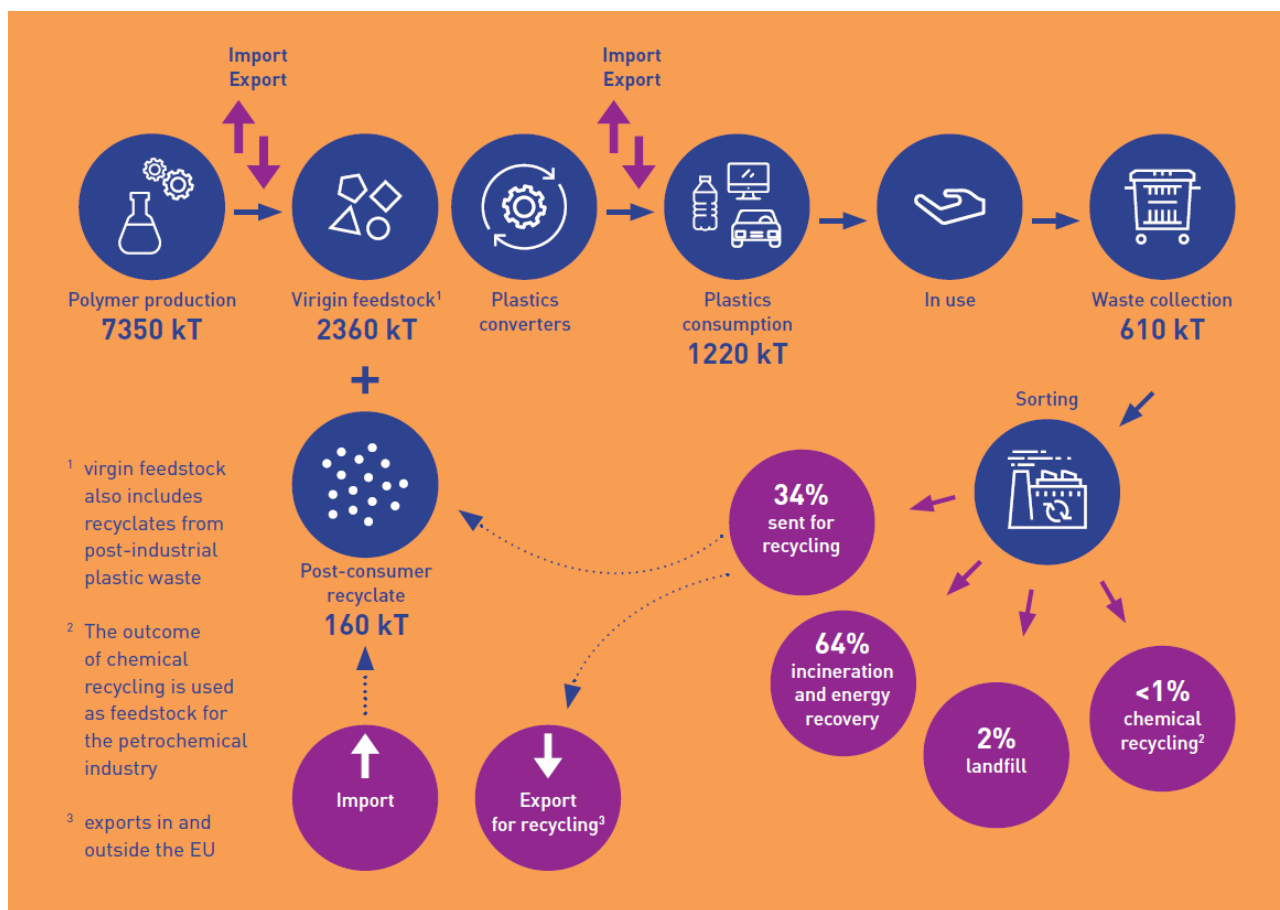
In België spelen plastics echter een belangrijke rol op economisch en maatschappelijk vlak. Deze sector is een grote speler in de Belgische productie-industrie, en draagt zo sterk bij tot de Belgische economie, zoals weergegeven op Figuur 10. Er zijn in totaal 30.000 jobs in de plastic sector, waarbij er 14 miljard euro in opbrengsten wordt gegenereerd, met een totale toegevoegde waarde van 3.8 miljard euro, dat goed is voor 1 % van de Belgische BBP. Hiernaast blijven de investeringen in plastics productie en verwerking stijgen, met een bedrag van 630 miljoen euro in 2018 alleen. Additioneel is de productiviteit van de sector hoog vergeleken met de rest van de industrie, waardoor duidelijk is dat plastics een belangrijke rol spelen in de samenleving.

²² *The Belgian plastics industry and the circular economy – Essenscia - https://www.essenscia.be/wp-content/uploads/2019/11/Plast_BROCH_A5_HR.pdf*



Figuur 10: Belang van plastic productie in België voor het jaar van 2018.²²

Om te begrijpen hoe plastic afval ontstaat en verwerkt wordt, is het belangrijk om te kijken naar haar levenscyclus zoals weergegeven op Figuur 11. In België wordt er op jaarbasis 7350 kiloton plastics geproduceerd, waarvan het grootste deel geëxporteerd wordt. De overblijvende 2360 kiloton plastics wordt verwerkt samen met gerecycleerde fracties plastics naar producten, waarvan de helft opnieuw geëxporteerd wordt. De producten worden gebruikt door consumenten en worden finaal in gecollecteerd via afval verwerkingssystemen op het einde van hun gebruikstijd. Centraal worden de plastic stromen gesorteerd, waarbij 34 % gerecycleerd wordt, 64 % verbrand wordt voor energierecuperatie, 2 % wordt gedumpt en minder dan 1 % chemische gerecycleerd wordt. Het is dus te zien dat minder dan de helft van de plastics gerecycleerd wordt, en er dus ruimte is voor verbetering.



Figuur 11: Levenscyclus van de plastic-industrie in België.²²

Er is dus een sterke nood om de circulariteit van plastic te promoten zodat deze materialen in de meest optimale manier worden gebruikt op een milieuvriendelijke manier.²² De oplossing voor de afvalstroom is het hergebruik en meer specifiek recyclage. Dit kan zowel mechanische als chemische recyclage zijn. Mechanische recycling is de verwerking van kunststofafval tot secundaire grondstoffen of producten, waarbij de scheikundige verbindingen van de kunststoffen niet worden afgebroken. Bij chemische recyclage worden er wel bindingen gebroken, en is er dus meer energie nodig. Aangezien mechanische recyclage maar mogelijk is voor een beperkte hoeveelheid van het plastic afval zullen beiden nodig zijn in de toekomst. Op dit moment worden de eerste grootschalige chemische recyclage complexen gebouwd o.a. in de Antwerpse haven, en zijn er plannen voor verschillende eenheden in Vlaanderen. Merk op dat actueel vele van de plastic afvalstromen tot op heden niet gerecycleerd worden. Indien nieuwe technologieën zouden toestaan om de recyclage van deze afvalstromen waar te maken, zou een groot deel van de maatschappelijke problemen opgelost worden. Omdat dit zo'n belangrijke topic is, zal er dieper op ingegaan worden in Sectie 5.2.

2.4. Bio-gebaseerde propaan, nafta, kerosine en diesel

Bio-gebaseerde grondstoffen/brandstoffen zoals hernieuwbare propaan, nafta, kerosine en diesel zijn ook reeds op de markt.²³ Zij worden voornamelijk geproduceerd uit plantaardige of dierlijk oliën en vetten, gebruikte kookolie, etc. Deze stofstromen worden typisch geproduceerd door een transesterificatie proces, waarbij de vetten omgezet worden tot een van de bovengenoemde stromen in combinatie met de vorming van glycerine. Een uitdaging is dat hun productiecapaciteit beperkt is door de beperkte hoeveelheid beschikbare startmaterialen. Maar ook het productieproces kan moeilijkheden bezorgen. Zo zijn additionele problemen dat ze door de aanwezigheid van onverzadigde verbindingen kunnen polymeriseren bij langdurige opslag, waardoor ze onbruikbaar worden of schade kunnen veroorzaken aan apparatuur.²³ Typisch wordt daarom een hydrogenering uitgevoerd dat alle componenten met een dubbele binding, maar ook resterende zuurstofhoudende componenten omgezet worden.

Bio-gebaseerde stofstromen zullen dus, net zoals op heden, slechts een beperkt percentage van de klimaatproblematiek oplossen. Ze zullen echter nooit een volledige oplossing bieden aangezien ze niet in voldoende hoeveelheden beschikbaar zijn en minder goed schaalbaar zijn door de oorsprong van hun grondstoffen die sterk verspreid worden geproduceerd. Voor chemicaliën productie kunnen ze wel een aanzienlijk deel van de vraag leveren, maar dan mag er geen gebruik zijn als bijvoorbeeld kerosine.

2.5. Ethanol

Een andere biobrandstof die sterk aan belang heeft gewonnen in de laatste decennia is bioethanol. Ethanol kan gemakkelijk geproduceerd worden uit plantaardige grondstoffen door o.a. fermentatie van suikers zoals gebeurt in de Belgische Bioethanol Associatie (BBA).²⁴ Zo heeft het BBA een capaciteit uitgebouwd van 490 miljoen liter aan bioethanol, en kunnen ze dit mengen met benzine om een brandstof te bekomen dat tot minder broeikasemissies leidt. Ook ArcellorMittal heeft het Steelanol project opgestart, waar ze een deel van de CO die ze uitstoten gebruiken voor de productie van ethanol. Zo voorzien zij ook de transportsector met bioethanol dat minder CO₂ uitstoot.²⁵ Nieuwe auto's mogen vanaf 2035 geen uitstoot meer produceren, dus pure diesel- en benzinemotoren (zoals we ze nu kennen) mogen niet meer de showroom verlaten. Er komen mogelijk wel uitzonderingen op de regel, maar er bestaat een kans dat de bioethanol niet meer gebruikt zal kunnen worden in

²³[https://afdc.energy.gov/fuels/biodiesel_production.html#:~:text=Biodiesel%20is%20produced%20from%20vegetable,and%20glycerin%20\(a%20coproduct\).](https://afdc.energy.gov/fuels/biodiesel_production.html#:~:text=Biodiesel%20is%20produced%20from%20vegetable,and%20glycerin%20(a%20coproduct).)

²⁴ Productie van Bio-Ethanol - BBA - <https://www.belgianbioethanol.be/productie.php>

²⁵ Steelanol recycles carbon into sustainable, advanced bio-ethanol – Steelanol - <http://www.steelanol.eu/en>

benzine. Er moeten dus alternatieve producten kunnen gemaakt worden voor de consumentenmarkt uit bioethanol.

In deze context is de meest logische en gemakkelijke optie overgegaan naar de productie van ethyleen uit bioethanol. De productie van ethyleen uit ethanol werkt aan de hand van een zeer efficiënte katalytische dehydratatiereactie. Door haar hoge selectiviteit en gekende technologie is het een valabele optie voor de verwerking van gewassen in de toekomst. Deze technologie wordt al sinds de jaren 50 gebruikt in Brazilië, maar er werd gradueel overgegaan naar stoomkraken door de beschikbaarheid van goedkope aardoliefracties en ethaan als grondstof.²⁶ Een nadeel is dat bij het proces veel water gebruikt wordt, en de scheiding van ethanol en water veel energie vereist. Door de technologie te optimaliseren en energie-integratie te verzekeren kan de technologie echter veel potentieel bieden in de toekomst. Het proces zou lokaal kunnen instaan voor de productie van ethyleen op de Europese markt om zo tot klimaatneutraliteit te komen.

²⁶ Sustainable Chemical Production Processes – Guy B. Marin, Kevin M. Van Geem – 2018 - 978-3110269758

3. Waterstof

Waterstof (H₂) is geen energiebron maar een energiedrager. Men heeft met andere woorden energie nodig om waterstof te maken. Als energiedrager is waterstof een tussenliggend medium voor het opslaan, omzetten en/of transporteren van energie. Het kan veelzijdig ingezet worden voor het verduurzamen van industriële processen, of van de transportsector. Dat kan ofwel rechtstreeks als waterstof of gebonden waterstof (bv. ammoniak), of via CCU (Carbon Capture and Utilization) waarbij CO₂ met waterstof wordt omgezet tot een e-fuel of e-chemical. Zo is waterstof niet zozeer het einddoel, maar eerder een tussenproduct waarmee ook duurzame moleculen kunnen gemaakt worden voor andere toepassingen. Hernieuwbare energie kan ook opgevangen worden tijdens kortdurende overschotten op het elektriciteitsnet in de vorm van waterstof, en later terug omgezet worden tot elektriciteit in tijden van tekort.⁸

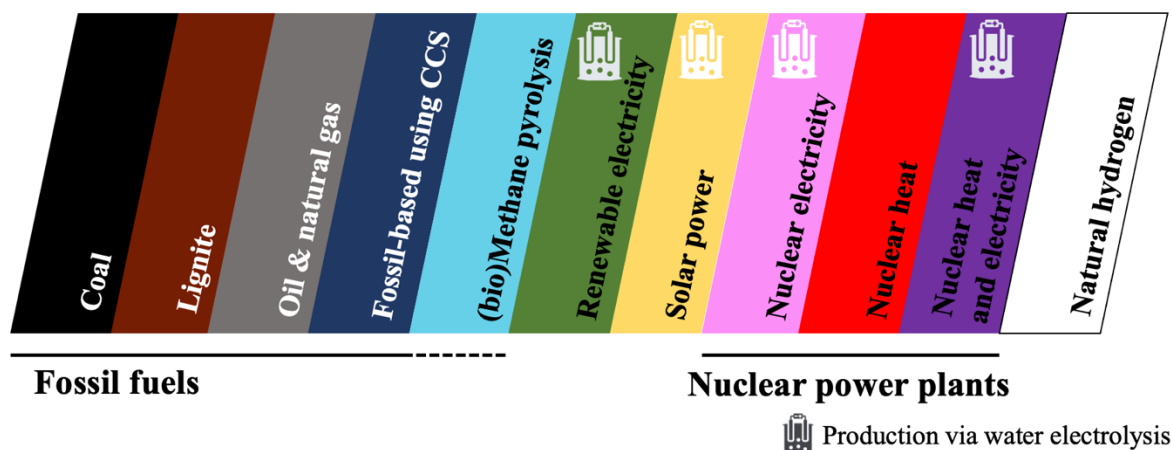
Er resten nog veel uitdagingen om waterstoftechnologie te laten uitrollen in de Vlaamse economie, zowel op vlak van transport en opslag van waterstof, het voldoende lokaal beschikbaar hebben van elektriciteit, het importeren van groene waterstof, de nood aan een coherent wet- en regelgevend kader met daarin gerichte fiscale maatregelen, en de noodzakelijke infrastructuur.⁸

In een eerste fase (2020-2024) mikt de Europese Commissie op de installatie van 6 GW-elektrolysecapaciteit voor groene waterstof (voor een productie van 1 miljoen ton waterstof) ter vervanging van de bestaande (grijze) waterstofproductie in de chemische sector en voor andere industriële processen en eindgebruikerstoepassingen, zoals zwaar transport.⁸ De tweede fase (2025-2030) heeft als doel ten minste 40 GW-elektrolysecapaciteit voor groene waterstof (voor een productie van 10 miljoen ton waterstof) voor een breder toepassingsgebied zoals in de staalindustrie, vrachtwagens, spoorweg-, maritieme en andere transporttoepassingen, en voor de netbalancering van het elektriciteitssysteem (dag- en seizoensopslag van waterstof). In de derde fase (2030-2050) zouden groene waterstoftechnologieën voldoende rijp moeten zijn en op grote schaal uitgerold worden, o.a. in de moeilijk te decarboniseren sectoren zoals staalproductie. Tegen 2050 wordt verwacht dat een kwart van de hernieuwbare elektriciteit in Europa gebruikt zal worden voor de productie van groene waterstof. Toch is er nog veel werk aan de boeg, waarbij technologische ontwikkelingen cruciaal zullen zijn. Het belang van Onderzoek, Ontwikkeling en Innovatie mag niet onderschat worden en is essentieel voor het aanreiken van oplossingen voor de nog vele technologische en niet-technologise uitdagingen op de lange termijn.⁸

3.1. De verschillende vormen van waterstof

Waterstof wordt vanuit verschillende grondstoffen en via verschillende processen geproduceerd. Waterstof is een kleurloos gas, maar er wordt doorgaans een kleurbenaming aan gegeven om aan te geven hoe ze geproduceerd is en hoe milieuvriendelijk ze is. Het kleurenspectrum aan waterstof is schematisch weergegeven in Figuur 12. “Zwarte” en “bruine” kleuren worden toegewezen aan waterstof respectievelijk geproduceerd uit steenkool of bruinkool. Deze twee zijn het meest schadelijk voor het milieu door de lage koolstof-waterstof verhouding van de grondstof, waardoor er grote hoeveelheden broeikasgassen worden geëmitteerd tijdens de waterstofproductie. “Grijze” waterstof is waterstof gemaakt uit fossiele brandstoffen (bijvoorbeeld uit aardgas via Stoom Methaan Reformen) waarbij CO₂ vrijkomt, maar in mindere mate dan bij zware of bruine waterstof. Vandaag is dit nog de meest economische methode om waterstof te produceren in vele continenten. Het is met die productiemethode dat hernieuwbare productiemethoden niet kunnen concurreren bij aardgasprijzen van anno 2019. “Blauwe” waterstof (Low-Carbon Hydrogen) wordt op dezelfde manier gemaakt als “zwarte”, “bruine” of “grijze” waterstof, maar de vrijgekomen CO₂ wordt opgevangen en vervolgens gestockeerd of hergebruikt. Daarnaast behoort ook nog restwaterstof dat een restproduct is in een industrieel proces zoals bijvoorbeeld chloorproductie tot deze categorie. Ook al is er nog steeds CO₂-productie in het proces, wordt het klimaateffect gemitigeerd door het opvangen van de CO₂, waardoor het niet in de atmosfeer terecht komt. “Groene” waterstof (renewable hydrogen) wordt geproduceerd op basis van hernieuwbare energie (bijvoorbeeld via elektrolyse van water met hernieuwbare elektriciteit). De kleurencode reflecteert naar de afwezigheid van CO₂-uitstoot in het productieproces. Recent is “gele” waterstof aan het spectrum toegevoegd, waarbij de productie volledig gebaseerd is op zonne-energie van onder andere zonnepanelen. “Turquoise” waterstof (ook Low-Carbon hydrogen), wordt geproduceerd via een pyrolysetechnologie met omvorming van aardgas tot waterstof en vaste koolstof. Indien de energie voor dit proces zou voortkomen uit hernieuwbare bronnen en de vaste koolstof kan gestockeerd worden, kan dit ook een hernieuwbare productiemethode voorstellen in de toekomst. Met name BASF was zeer actief bezig met de ontwikkeling van deze technologie. Ook de aanwending van biomethaan kan hiertoe een bijdrage leveren. Wanneer waterstof wordt geproduceerd uit nucleaire energie, krijgt ze nog een andere kleur door de discussie omtrent het hernieuwbaar karakter van nucleaire energie. “Roze” waterstof wordt geproduceerd door een elektrolyseproces gebruik makend van elektriciteit van nucleaire oorsprong. “Rode” waterstof wordt geproduceerd op hoge temperatuur via een katalytisch proces, waarbij water verwarmd wordt en gebruikt wordt in nucleaire centrales en als thermische energiebron dient. Wanneer zowel thermische energie als elektriciteit van een nucleaire centrale gebruikt worden voor de productie van waterstof, wordt het product “paars” genoemd. Tot slot is er

witte waterstof dat natuurlijk voorkomt in de natuur. Dit kan diep in de zee zijn of in rotsformaties onder de bodem. Deze natuurlijke reserves zullen in de toekomst ook uitbundig bestudeerd worden voor mogelijke ontginning.



Figuur 12: Kleurenspectrum aan waterstof gebaseerd op productiemethode en milieu impact.¹⁸

Momenteel wordt het merendeel van de waterstof in Vlaanderen (en wereldwijd) geproduceerd als “grijze” waterstof waarbij dus CO₂ vrijkomt. “Grijze” waterstof was immers veel goedkoper dan “blauwe” of “groene”, ook na verrekening van de actuele CO₂-kost in de huidige EU-ETS-emissiehandel. Zo wordt momenteel de prijs van “blauwe” waterstof een factor 1,5 à 2 duurder geschat dan “grijze” waterstof, voor “groene” waterstof is dat een factor 3 à 5.²⁷ Aan de andere kant weten we dat de aardgasprijs met minstens een factor 5 is gestegen ten opzichte van de waarde gebruikt in deze studie. Aangezien de kost van aardgas de grootste invloed heeft op de productiekost van waterstof zitten we actueel in een ongewone situatie. Niemand kan voorspellen hoelang dit nog zal duren. Internationale studies van bijvoorbeeld IEA of de Hydrogen Council geven wel aan dat de prijs van groene waterstof op termijn zeer sterk kan dalen. Zo wordt er op dit moment in Saudi-Arabië groene waterstof geproduceerd met een productiekost van 2.4 € per kg waterstof via een alkaline elektrolyse-eenheid. Onderzoek, innovatie en opschaling worden dus cruciaal om de kostprijs van blauwe en groene waterstof te doen dalen en deze economisch rendabeler te maken.²⁷

De Europese strategie heeft tot doel een volledig ecosysteem rond waterstof op te bouwen in Europa volgens een gradueel traject. De prioriteit voor Europa’s lange termijn doelstelling van klimaatneutraliteit door duurzame economische groei is groene waterstof. Tegelijkertijd erkent de Commissie dat blauwe waterstof en restwaterstof uit industriële processen nodig zullen zijn in de transitieperiode om sneller emissies te kunnen reduceren en voor het ontwikkelen van een waterstofmarkt. Het is duidelijk dat waterstof en CO₂ in zeer veel toepassingen gekoppeld zijn aan

²⁷ Sustainability for all – Ten questions and answers about green hydrogen - https://www.activesustainability.com/sustainable-development/questions-answers-green-hydrogen/?_adin=02021864894

mekaar. Bijvoorbeeld als het gaat over blauwe waterstof waarbij de vrijgekomen CO₂ wordt opgevangen en gestockeerd of hergebruikt. Maar ook voor de Vlaamse industrie zal het noodzakelijk zijn om de uitgestoten CO₂ op te vangen en te hergebruiken, waarvoor waterstof dus noodzakelijk is. Het is dan ook enkel verstandig om over te stappen op waterstof indien de productie op basis van groene elektriciteit gebeurt. Indien waterstof wordt geproduceerd uit de voornamelijk grijze elektriciteit van vandaag, zal de koolstof-afdruk van waterstofproductie nog hoger zijn dan dat van grijze waterstof indien elektrolyse wordt gebruikt als productieproces. Het is dus ook belangrijk om in Vlaanderen voldoende aandacht te hebben voor de technische en economische haalbaarheid van CO₂ infrastructuur ter ondersteuning van Carbon Capture, Utilization (CCU) & Storage (CCS). Deze toepassingen kunnen immers op korte termijn, gezien de maturiteit en kost, een belangrijke bijdrage leveren tot de klimaatdoelstellingen. Opnieuw zullen de havens een belangrijke rol spelen omdat daar de chemische clusters en staalindustrie voornamelijk aanwezig zijn.

3.2. Waterstoftransport

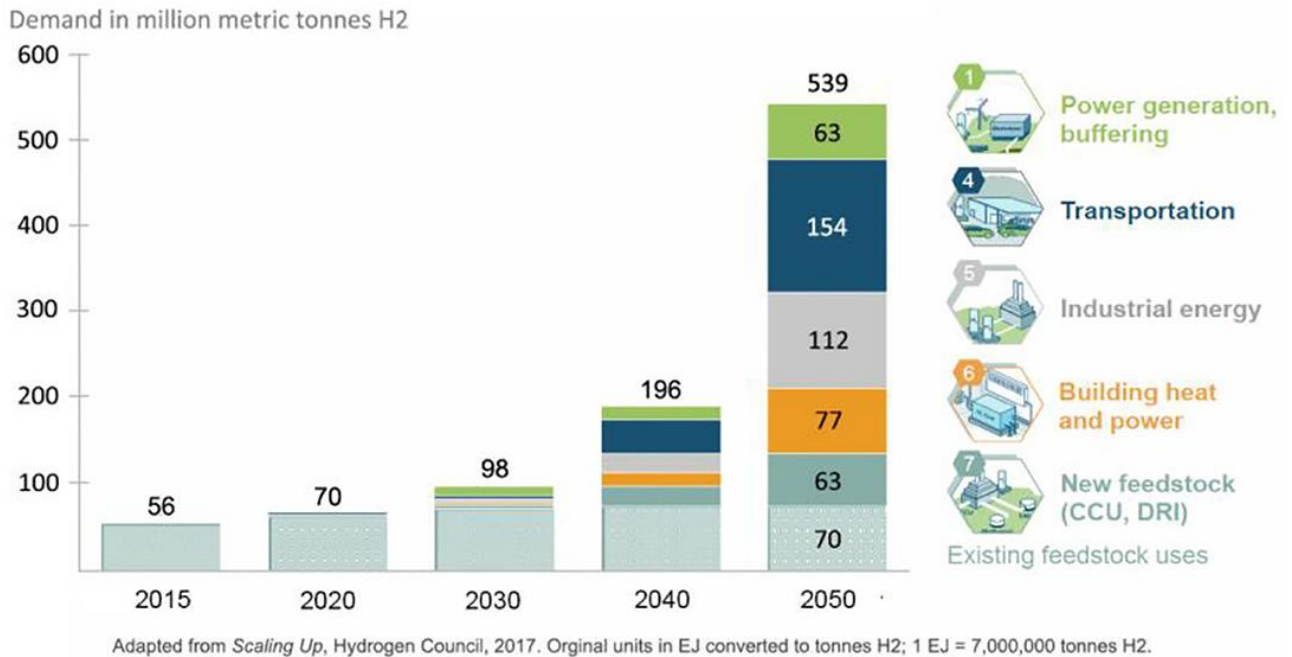
Er wordt verwacht dat waterstof een toenemend aandeel van de Belgische energiemarkt zal vertegenwoordigen in de toekomst.²⁸ De vraag naar waterstof zal toenemen met 44 % tot 2030 vergeleken met de niveaus van 2020, en zal daarna verder sterk toenemen zoals aangegeven op Figuur 13.²⁹ Op deze figuur is dan ook te zien dat koolstofarme brandstoffen en chemicaliën steeds belangrijker worden. Een shift naar hernieuwbare waterstof moet dus snel gebeuren en een geschikte infrastructuur dient uitgebouwd te worden.³⁰ Een transportnetwerk voor waterstof is essentieel voor de link te leggen tussen waterstof productie en transport naar gebruikers. Bovendien dient de competitiviteit met alternatieven gewaarborgd te worden, waarbij waterstoftransport in de meest efficiënte en economisch gunstigste manier gebeuren. Ook de markt heeft haar interesse in een waterstof netwerk laten blijken, zelfs op korte termijn. Dat is waarom de federale overheid tegen 2030 een open netwerk voor waterstoftransport wil uitrollen dat de verschillende havens (Zeebrugge, Gent, Antwerpen) met de industriële clusters verbindt alsook met de buurlanden. Figuur 14 illustreert de waterstofleidingen die tegen 2030 prioritair aanwezig zouden moeten zijn. Het mag duidelijk zijn dat ook import per schip belangrijk zal zijn voor het voldoen aan de energienoden van Vlaanderen zoals reeds eerder was aangegeven.

²⁸ *Information Memorandum for H2 infrastructure – Fluxys Belgium – December 2021*

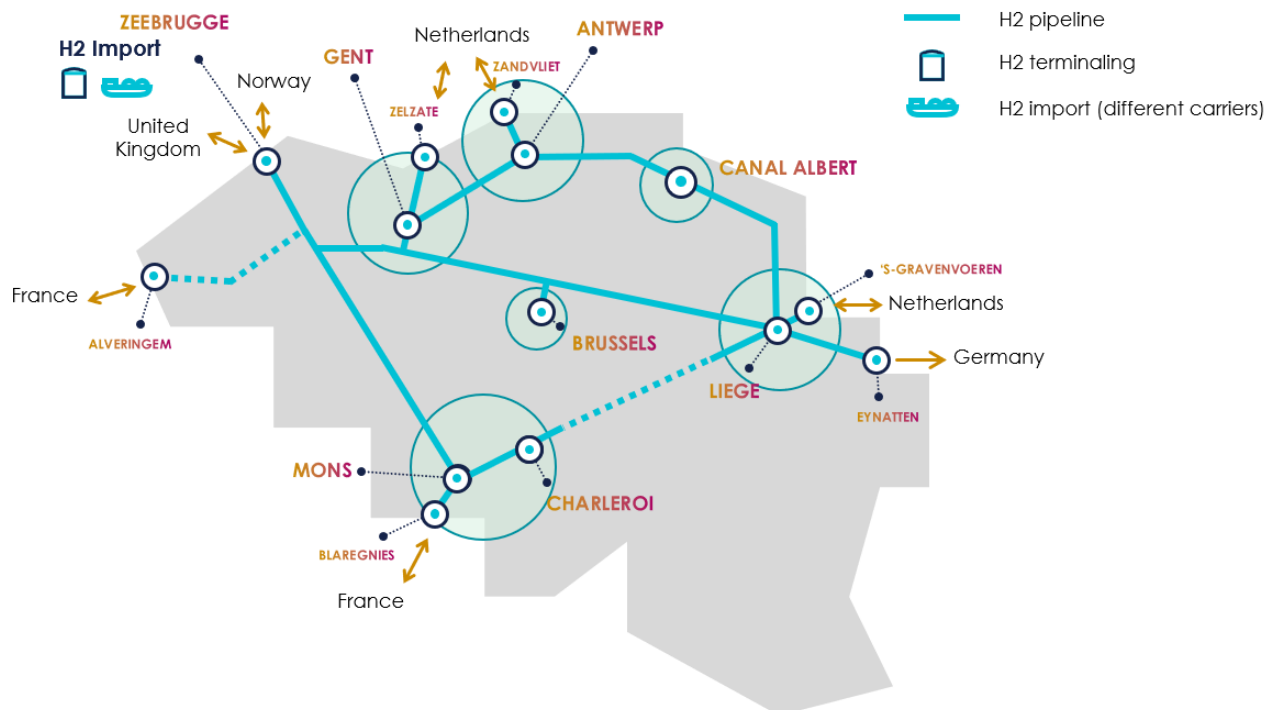
²⁹ *Prospects and Challenges of Green Hydrogen Economy via Multi-Sector Global Symbiosis in Qatar*; <https://doi.org/10.3389/frsus.2020.612762>

³⁰ *E-Fuels as Fossil Fuel Substitute for Sustainable Transport: A Critical Review on Challenges and Opportunities*

Hydrogen demand could increase 10-fold by 2050



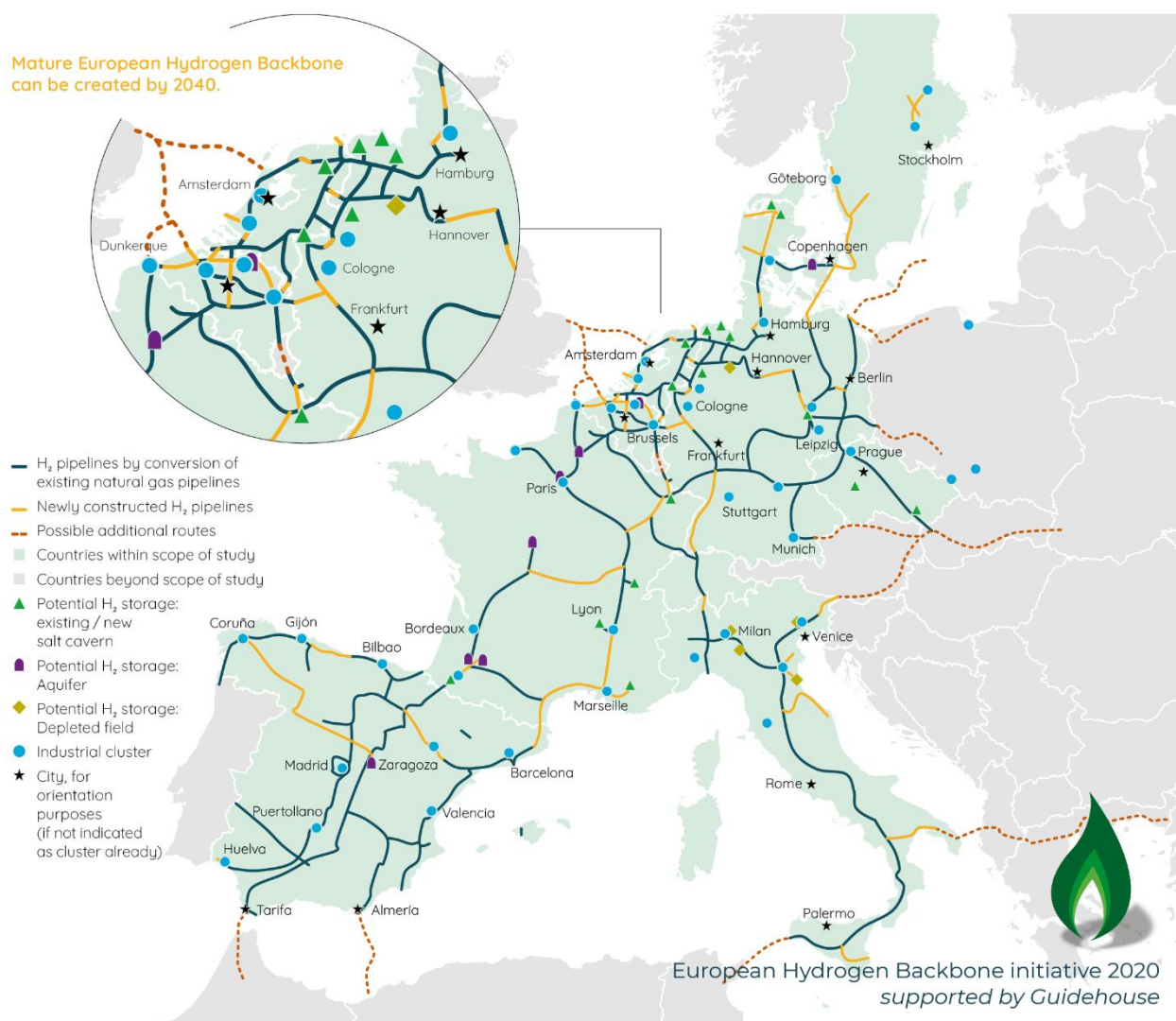
Figuur 13: Toename in de vraag naar waterstof (globaal).²⁹



Figuur 14: Waterstofleidingen in Vlaanderen op korte termijn (2030) tussen de verschillende industriële clusters.²⁸

Maar niet enkel in Vlaanderen zijn er dergelijke pijpleidingnetwerken gepland. Ook in Europa zijn er plannen gepresenteerd om een 40.000 km lang pijpleidingennetwerk te plaatsen dat 21 landen over het continent met elkaar zouden verbinden zoals op Figuur 15 geïllustreerd. Dit netwerk aan

pijpleidingen zou de European Hydrogen Backbone (EHB) genoemd worden en Europa's economische positie in de toekomst verzekeren. Het bestaat uit 31 energie infrastructuur operators die samenwerken tot het verzekeren van een klimaat neutrale toekomst. Ze zullen het waterstofleidingnetwerk uitrollen aan de hand van bestaande pijpleidingen, maar ook nieuwe investeringen voor pijpleiding straten doorheen Europa.

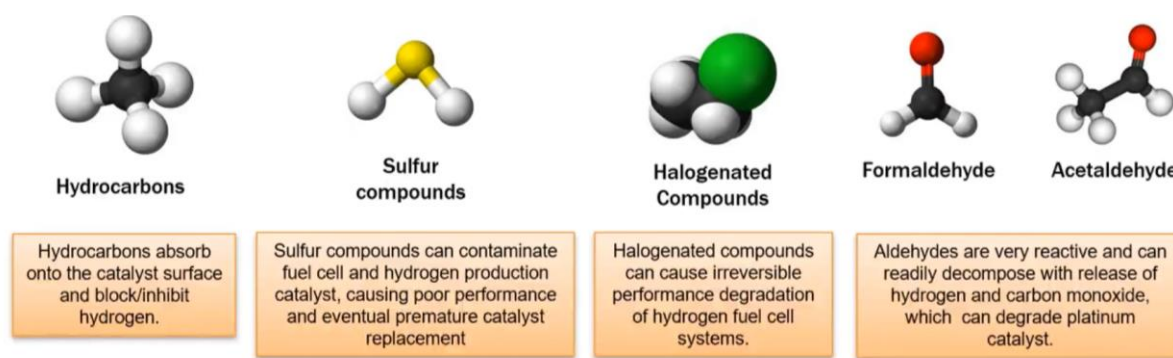


Figuur 15: Pijpleiding netwerken die Europese landen met elkaar zouden verbinden en internationaal transport mogelijk maakt.³¹

Een complexiteit die waterstof met zich meeneemt is dat het makkelijk diffundeert doorheen de metalen wanden van pijpleidingen, waardoor het materiaal brosser wordt en een kortere levensduur krijgt. Het is dus niet mogelijk om de aardgas pijpleidingen te gebruiken voor waterstof zonder voorafgaande behandelingsprocedure. Daarnaast zal ook de zuiverheid van de geproduceerde

³¹ The European Hydrogen Backbone (EHB) initiative - <https://ehb.eu>

waterstof van belang zijn tijdens haar transport in pijpleidingen. Zo zijn er verschillende standaarden die de maximale concentratie aan individuele contaminanten aangeven voor verschillende applicaties en transportmodi (vb. GB/T 37244, ISO 14587, EN 17124). Deze contaminanten kunnen nefaste effecten hebben op de productie en transport. Voorbeelden van contaminanten en hun nadelen op de toepassing van waterstof in brandstofcellen zijn gegeven op Figuur 16. Zo is het duidelijk dat waterstof moet geproduceerd worden aan de hand van technologieën die de contaminantenconcentratie minimaal houden. Ook hierbij hebben elektrolyseprocessen een sterk voordeel, aangezien de contaminanten beperkt zijn.



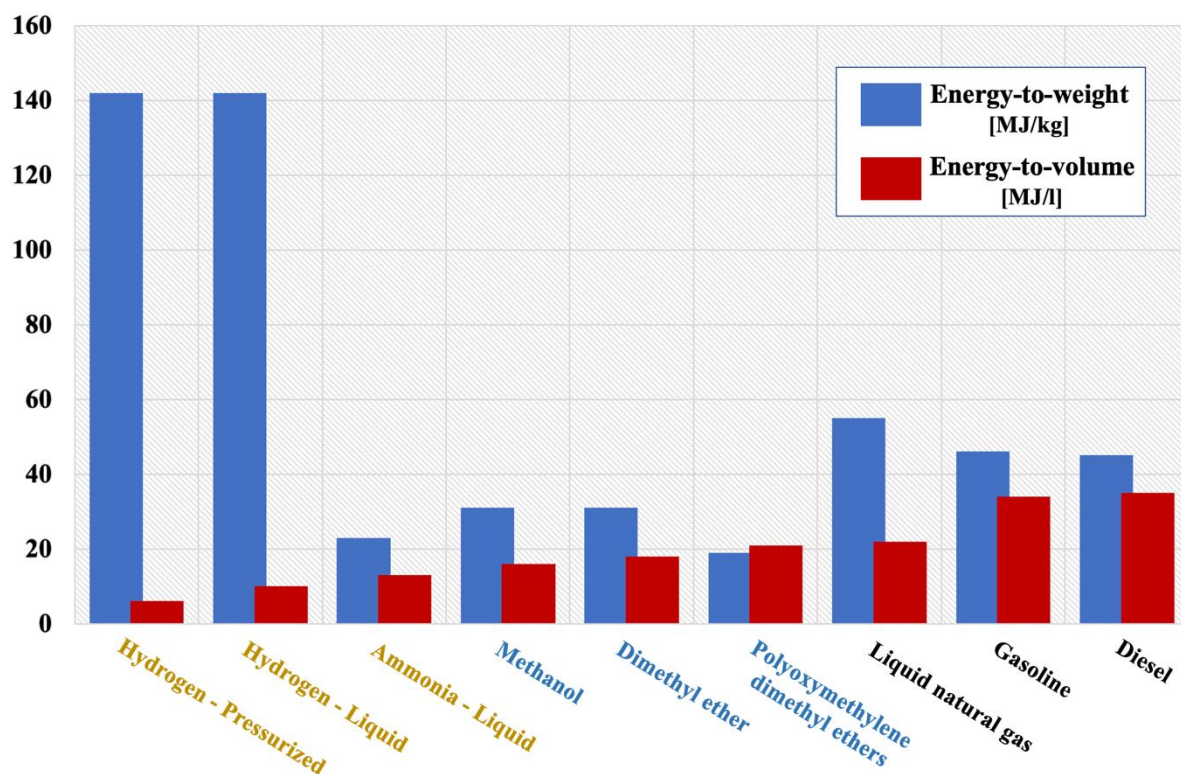
Figuur 16: Onzuiverheden en hun impact op toepassingen van waterstof.³²

Indien transport via pijpleidingen niet mogelijk zou zijn, kan ook cryogene transport van waterstof in vloeibare staat via schip plaatsvinden. Cryogeen transport komt echter met een hoge transportkost, waardoor alternatieve energiedragers, die waterstof binden en zo zelf een bron van hernieuwbare energie worden, een goedkopere oplossing bieden.³⁰

Een ander belangrijk aspect van waterstof is haar energie-inhoud. Waterstof heeft met een waarde van 142 MJ/kg als “lower heating value” (een maat voor de hoeveelheid warmte die vrijkomt bij de volledige verbranding) de hoogste energie-tot-gewicht verhouding van alle brandstoffen, zelfs 3 keer zoveel is als diesel. Echter, het heeft door haar lage massadensiteit een heel lage energie-tot-volume verhouding vergeleken met conventionele brandstoffen en andere e-brandstoffen zoals te zien op Figuur 17. Om dezelfde hoeveelheid aan energie te transporteren in vloeibare of gecomprimeerde toestand, is er 4 tot 6 keer zoveel volume waterstof nodig als diesel. Het is daarom in vele toepassingen moeilijk om genoeg waterstof op te slaan, maar ook een pijpleidingennetwerk moet groot genoeg zijn om een dergelijke stroom te kunnen voorzien. Vooral in de transportsector zijn gewicht en volume van het grootste belang. Aan de andere kant is de brandstoffefficiëntie van waterstof gebaseerde brandstofcellen gemiddeld 85-90 %. Hierdoor kan het de transportsector wel

³² *Understanding and identifying hydrogen fuel impurities webinar – Markes international*

wat efficiënter maken door ‘meer te doen met minder’, aangezien dieselmotoren een gemiddelde efficiëntie van 30-40 % hebben. Benzinemotoren zijn nog minder efficiënt met een gemiddelde van 25-35 %. De technologie is nog niet matuur genoeg vandaag, maar zou in de toekomst tot optimalisatie van transport kunnen leiden.^{33,34,35,36}



Figuur 17: Energie-tot-gewicht en energie-tot-volume verhouding van verschillende brandstoffen.³⁷

³³ F. Ramadhani, M. A. Hussain, H. Mokhlis, *Processes* 2019, 7, 950.

³⁴ Y. Haseli, *International Journal of Hydrogen Energy* 2018, 43, 9015

³⁵ R. D. Reitz, G. Duraisamy, *Progress in Energy and Combustion Science* 2015, 46, 12.

³⁶ T. Johnson, A. Joshi, *SAE International Journal of Engines* 2018, 11, 1307.

³⁷ A. Lanz, J. Heffel, C. Messer, United States. Department of Transportation. Federal Transit Administration, 2001.

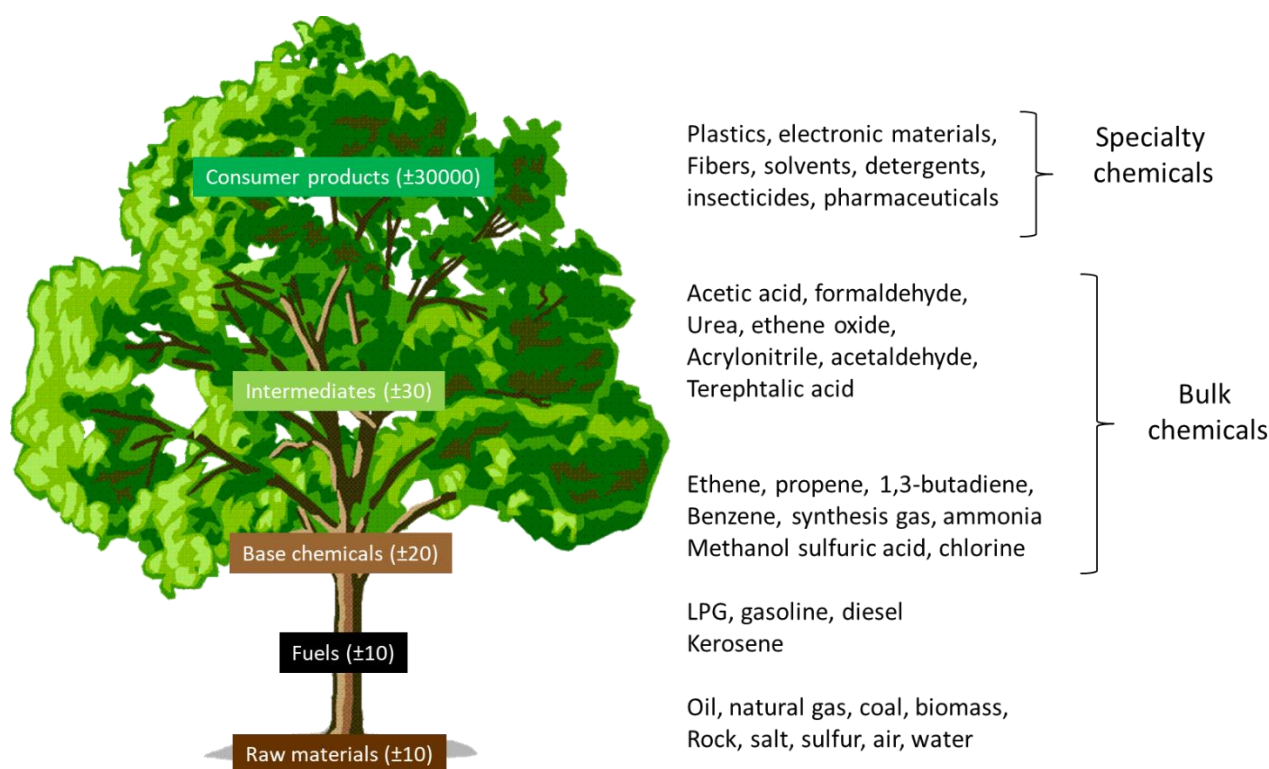
4. Petrochemische grondstoffen in de energietransitie

De petrochemie is vandaag sterk gebaseerd op fossiele grondstoffen. Idealiter kunnen hiervoor meer duurzame alternatieven voor gevonden moeten worden. Dit kan zowel als grondstof voor de chemische industrie waarbij waterstof en CO₂ gebruikt worden om chemische moleculen te maken (CCU), of als brandstof in processen die moeilijk of niet te elektrificeren zijn. Ook hier kan waterstof een rol spelen, en kan er zelfs een link komen tussen de chemische industrie en de staalindustrie bijvoorbeeld via ethanol die kan gemaakt worden uit het CO rijk gas afkomstig van de staalindustrie. Hierbij is het belangrijk dat het beleid leidt tot de overgang van fossiele koolstof naar koolstofbronnen van hernieuwbare aard.

4.1. Elektrificeren van de basisindustrie – een stapsgewijs proces

Huidige structuur van de Petrochemie

Een vereenvoudigde maar veelgebruikte voorstelling van de chemische industrie kan gebeuren in de vorm van een boom, de ‘Chemistree’ zoals in Figuur 18 weergegeven. In de chemische industrie worden nagenoeg alle chemicaliën gemaakt op basis van een beperkt aantal ruwe grondstoffen zoals aardolie, water, aardgas, lucht, etc. Deze ruwe materialen worden omgezet in raffinaderijen, stoomkrakers en beperkt aantal andere productie-eenheden tot brandstoffen (diesel, benzine, kerosine, etc.) en een aantal basischemicaliën. De belangrijkste producten van deze verwerkingseenheden zijn in bijzonder ethyleen en propyleen. Vanuit de verkregen brandstoffen en basischemicaliën kunnen vervolgens intermediaire producten gemaakt worden, waaruit dan finaal een breed gamma aan chemicaliën kunnen geproduceerd worden voor de consumentenmarkt. Met andere woorden vertrekt de chemische industrie uit een beperkt aantal legoblokjes om daarmee alle andere chemicaliën te maken op basis van die legoblokjes. Het is dan ook bij de wortel en de stam van de ‘chemistree’ waar een meer duurzaam alternatief voor moet gezocht om de klimaatneutraliteit te realiseren. Het is voornamelijk daar dat de meeste broeikasgassen worden geproduceerd, in het bijzonder door de grote schaal van die basisprocessen.



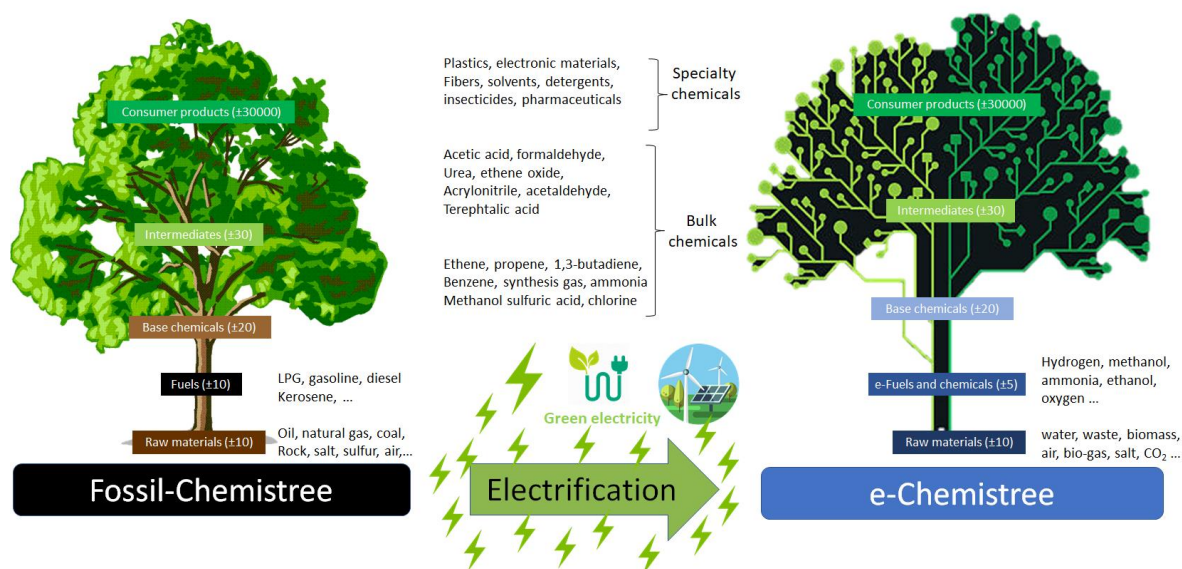
Figuur 18: De 'Chemistree' als structuur van de chemische industrie.²⁶

Tot op heden wordt voornamelijk aardolie aangewend voor de productie van brandstoffen en basischemicaliën. Ook worden er grote hoeveelheden geproduceerd op basis van aardgas of producten die bij de winning van aardgas vrijkomen, zoals gascondensaten. Een derde belangrijke fossiele grondstof zijn kolen. Deze laatste is de meest milieuonvriendelijke grondstof en deze wordt voornamelijk in China gebruikt.³⁸ Deze fossiele brandstoffen zijn echter niet-hernieuwbaar en zullen ooit uitgeput geraken in de toekomst. Een groot voordeel is echter dat de ontgonnen fossiele grondstoffen voornamelijk uit koolstof en waterstof bestaan. Biomassa bevat bijvoorbeeld een grote hoeveelheid zuurstof die bij de productie van koolwaterstoffen op basis van biomassa meestal wordt omgezet in water, wat weinig of geen waarde heeft. Bovendien moet om de opwarming van de aarde tegen te gaan dient de uitstoot van CO₂ maar ook methaan in de eerste plaats vermeden te worden. Bovendien is er de nood om nieuwe energiebronnen te vinden cruciaal voor de huidige levensstandaarden te onderhouden in een complex geopolitiek speelveld. Hiertoe is de overgang naar hernieuwbare bronnen van energie en grondstoffen van het grootste belang voor Europa.

³⁸ Sustainable innovations in steam cracking: CO₂ neutral olefin production - Ismaël Amghizar - 2019 - <https://doi.org/10.1039/C9RE00398C>

Van fossiele chemistree naar E-chemistree

Een overgang naar hernieuwbare grondstoffen zal een stapsgewijs proces zijn. Er zijn drie niveaus geïdentificeerd in de Europese strategie betreffende energietransitie: eerst inzetten op energie-efficiëntie en circulariteit, vervolgens maximaal elektrificeren, en finaal inzetten op hernieuwbare brandstoffen in sectoren die moeilijk te elektrificeren zijn, met daarin een belangrijke rol voor waterstof. Op Figuur 19 is de beoogde transitie geschetst. Terwijl de chemische industrie en haar derivaten vandaag gebaseerd zijn op fossiele koolstof, wordt in de toekomst verwacht dat er een graduele shift naar hernieuwbare koolstofbronnen zal plaatsvinden. Het elektrificeren van de chemische industrie zal een belangrijke rol spelen in het behalen van de klimaatdoelstellingen, waarbij zowel energie als grondstoffen van hernieuwbare bronnen zullen komen. Zo'n transitie vindt echter niet in een aantal jaar plaats, maar neemt enkele decennia in beslag door de inherente structuur van bedrijven en de industrie. Met name de grootte van de investeringen vormt een uitdaging en zorgt ervoor dat deze zullen moeten gespreid worden in de tijd. Het is dan ook onwaarschijnlijk dat de transitie vervolledigd zal zijn in 2050. In plaats daarvan lijkt het waarschijnlijker dat er een hybride situatie ontstaat, waarbij deel van hun energie en grondstoffen van hernieuwbare, en het ander deel van fossiele aard afkomstig is. Toch toont Figuur 19 aan dat de ambitie is om de industrie volledig hernieuwbaar te laten functioneren.



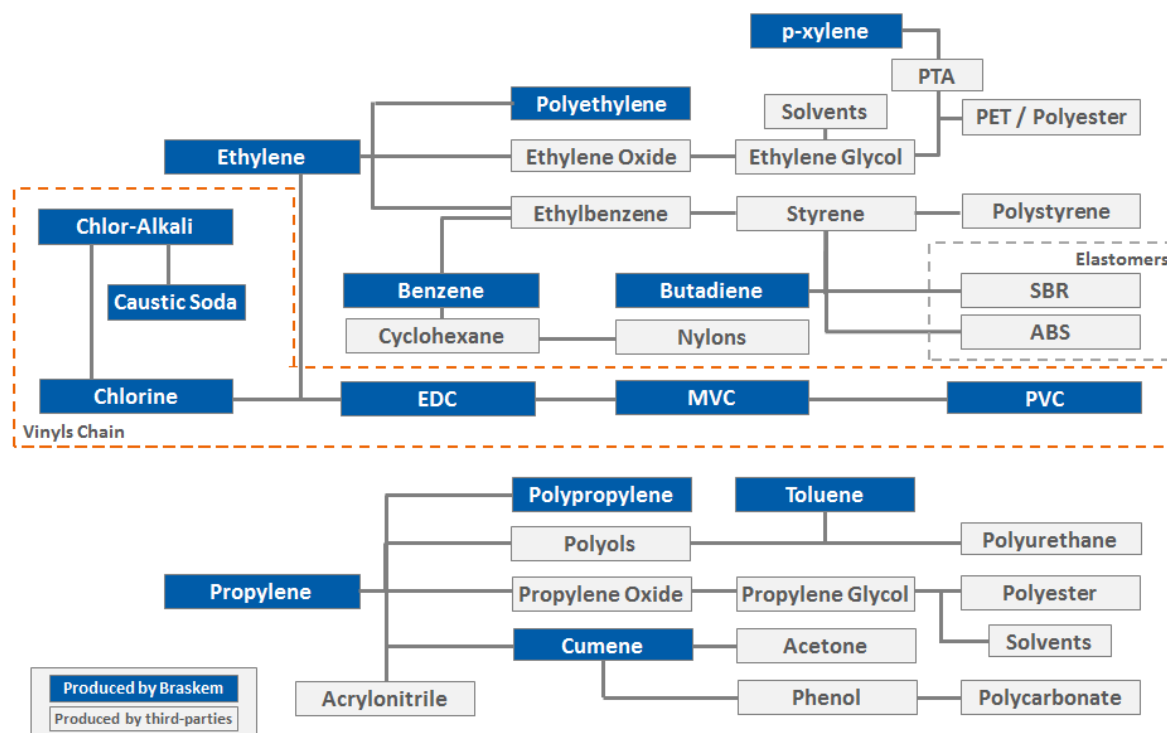
Figuur 19: Transitie van een chemische industrie gebaseerd op fossiele brandstoffen (Fossil Chemistree) naar een geëlektrificeerde chemische industrie (e-chemistree).³⁹

³⁹ Toward an e-chemistree: materials for electrification of the chemical industry, Kevin Van Geem and Bert M. Weckhuysen, (2021) MRS BULLETIN. 46(12).

Een bijkomende uitdaging is om aan de toekomstige vraag te kunnen voldoen. De toenemende wereldbevolking en de stijging van de levensstandaarden van ontwikkelingslanden zullen tot een stijging van de vraag naar grondstoffen en chemicaliën leiden. Hierdoor zal er meer geproduceerd moeten worden, en dit op een zo duurzaam mogelijke manier, wat dus ook meer hernieuwbare energie zal vragen. Zo zitten we ergens in een vicieuze cirkel. Het zal dus belangrijk zijn om nu en in de toekomst te investeren in het verwekken van hernieuwbare energie zodat er voldoende capaciteit is om alles groen te laten gebeuren.

4.2. Stofstromen voor petrochemische bouwstenen

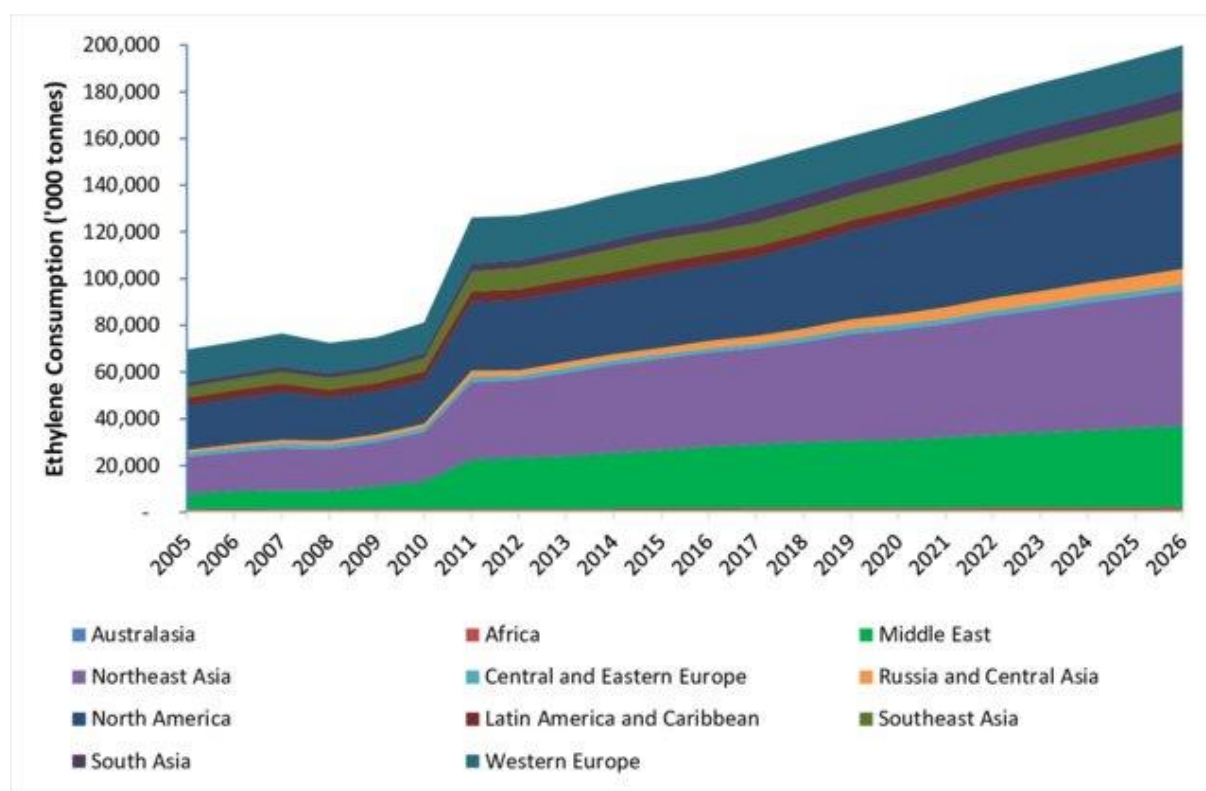
Zoals aangegeven in de voorgaande paragrafen dienen zowel de energiebron van de chemische industrie als de geproduceerde grondstoffen te verschuiven van fossiele naar hernieuwbare aard. Twee van de belangrijkste bouwstenen in de chemische industrie zijn ethyleen en propyleen, zoals aangegeven op Figuur 20. Vanuit deze twee chemicaliën kan een heel gamma aan producten geproduceerd worden. Het is dan ook van belang om deze twee bouwstoffen te vervangen door duurzame alternatieven (bv. ethanol, methanol, stromen afkomstig van afval, etc.) en de productieprocessen zo veel mogelijk te elektrificeren.



Figuur 20: Productiemogelijkheden van basischemicaliën.⁴⁰

⁴⁰ Petrochemical Industry Products - <http://narodnatribuna.info/lists/p/petrochemical-industry-products.htm>

Daarnaast dient een onderscheid gemaakt te worden tussen decarbonisatie en defossilisatie. De huidige maatschappij is haast volledig gebaseerd op koolstof houdende verbindingen en dankt haar welvaart aan deze bouwstenen. Van plastics tot huishoudproducten, allen worden geproduceerd uit koolstof houdende basisstoffen. Het is dus haast ondenkbaar om koolstof uit de maatschappij te verbannen. Sterker nog, er is een steeds grotere vraag naar ethyleen wereldwijd, zoals aangegeven op Figuur 21.⁴¹ Overheden hopen op een stagnatie van de consumptie, maar de voorspellingen stellen een toename in de komende 30 jaar voor. In plaats van decarbonisatie zal dus defossilisatie van belang zijn, waarbij de ethyleen productie wordt gecompenseerd door het uit hernieuwbare bronnen te produceren. Zo kan de welvaart behouden blijven en zelfs stijgen, terwijl de maatschappij wel duurzaam wordt.

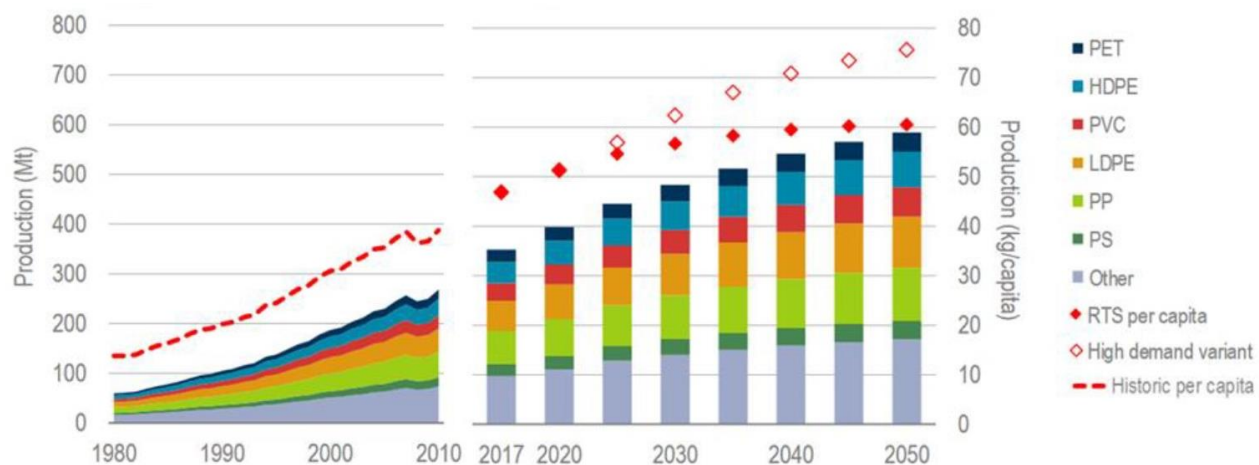


Figuur 21: Trend voor globale ethyleen consumptie. Een globaal stijgende trend is waar te nemen.⁴¹

Een van de voornaamste redenen voor de toename van de vraag naar ethyleen is de toenemende vraag naar kunststoffen. Plastics bevinden zich in zowat alle commerciële producten, hetzij als verpakking of als product zelf. Deze kunststoffen worden geproduceerd uit hun bouwstenen, waarvan ethyleen de meest voorkomende is. In de toekomst zal de vraag enkel stijgen, zoals te zien op Figuur 22, waardoor de vraag naar de bouwstoffen dus ook stijgt. Deze trend zet zich voort tot 2050, waaruit blijkt dat het vervangen van deze producten naar alle waarschijnlijkheid niet zal plaatsvinden. Het is

⁴¹ Nduagu, E., et al., *Economic Impacts and Market Challenges for the Methane to Derivatives Petrochemical Sub-Sector*. 2018.

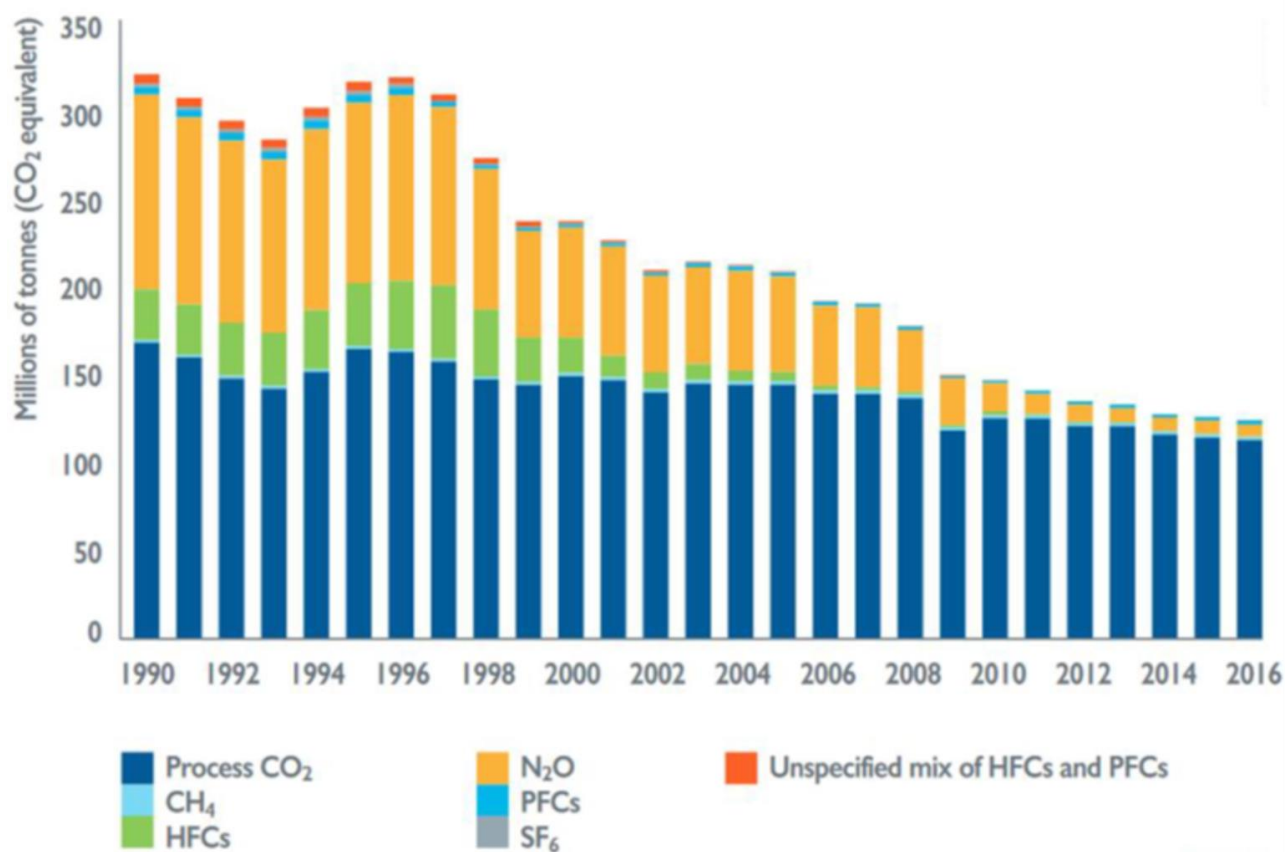
dus niet de producten die vervangen moeten worden, maar hun negatieve impact voor het milieu moet in de eerste plaats worden aangepakt.⁴²



Figuur 22: Productie van plastics met voorspellingen tot 2050.⁴²

Om de negatieve impact voor onze maatschappij te verminderen is een deel van de oplossing om het productieproces van deze bouwstenen in de chemische industrie, maar ook het productieproces van alle afgeleide processen effectief beter te maken. Sinds 1990 is de uitstoot aan broeikasgassen reeds sterk verminderd, zoals aangegeven op Figuur 23. Het is voornamelijk de uitstoot van NO_x, HFCs en andere gassen die verminderd is doorheen de jaren. De voornaamste uitstoot van broeikasgassen vandaag resulteert door de uitstoot van proces gerelateerde CO₂, i.e. CO₂ dat ontstaat door verbranding of als nevenproduct. Dit is CO₂ die geëmitteerd wordt door aan de productieproces inherente energie- en grondstofnoden. Het is dus vooral de proces CO₂ die in de komende jaren zou verminderd moeten worden. Opnieuw zou elektrificeren van de industrie met groene energie ertoe kunnen leiden om minder CO₂ uit te stoten. Hernieuwbare energiebronnen zullen op die manier de weg wijzen tot het wegwerken van de CO₂-bronnen zoals aangegeven op Figuur 19.

⁴² *Coke Formation on High Temperature Alloys – Steffen Symoens*



Figuur 23: Uitstoot van broeikasgassen uit productieprocessen in de industrie.⁴²

Naast de algemene vraag naar petrochemische bouwstenen is het ook van belang om te kijken naar belangrijkste producten die op basis van deze chemicaliën gemaakt worden. Zo is het mogelijk om een toekomstige trend in de vraag naar verschillende producten te onderscheiden en hun evolutie in de markt te voorspellen. Dit zal ook duidelijk maken in welke mate de verschillende stromen zouden moeten vervangen worden door hernieuwbare bronnen en welke impact deze verandering zou teweegbrengen. In wat volgt zullen de belangrijkste (petro)chemische grondstoffen besproken worden om duiding te geven over de evolutie van de markt.

Ethaan

Ethaan is de grondstof dat het meeste ethyleen geeft per ton grondstof in een stoomkraker. Zoals aangegeven op Figuur 21 zal de vraag naar ethyleen enkel stijgen, waardoor de vraag naar ethaan dus mogelijks ook zal stijgen. Bovendien is het belangrijkste bijproduct van een ethaankraker waterstof, wat voor een groot stuk gebruikt kan worden voor het opwekken van de gewenste energie van dit

endotherm proces. De vraag naar ethaan zal zeker niet dalen wereldwijd en in het bijzonder niet in de VS en het Midden-Oosten.^{43 44}

LPG

Liquefied petroleum gas (LPG) is een duurzamer alternatief voor nafta dat vandaag voor het grootste deel gebruikt wordt in Europa voor de productie van olefinen en aromaten. De krakers in Chemelot zouden in de komende jaren meer en meer C4-LPG gebruiken als grondstof. Het is ook daarom dat in het Delta-Corridor project een pijpleiding netwerk tussen Rotterdam-Moerdijk-Tilburg-Venlo-Chemelot zal uitbouwen voor het vervoer van C4-LPG, propyleen, waterstof en CO₂. Hierna zal ook een connectie gemaakt worden tussen Rotterdam, Moerdijk en Antwerpen, waardoor de vraag naar LPG weer zal toenemen door het goedkoop transport en zekerheid.⁴⁵ De mogelijke sluiting van een van de krakers op Chemelot zal ongetwijfeld een invloed hebben in de regio. Maar er is interesse vanuit het Ruhr gebied in LPG als nafta alternatief onder andere om het transport langs de Rijn te omzeilen. Een additioneel voordeel van LPG is naast haar duurzaamheid dat ze een hogere opbrengst aan olefinen verzekert dan nafta. Hierdoor kan de proces-intensiteit verhoogd worden en kan er ‘meer geproduceerd worden met minder’.

Opnieuw wordt er geen daling in de vraag naar LPG verwacht in onze contreien, maar een stijging. Al is er bij LPG nog steeds sprake van een brandstof van fossiele aard, LPG leidt het tot een reductie van de uitstoot van broeikasgassen tegenover nafta, waardoor het een duurzamer alternatief is. Dit komt omdat per ton LPG gevoed meer olefinen gemaakt worden dan uit een ton nafta.

Nafta

Nafta is momenteel de belangrijkste grondstof van de petrochemische industrie in Europa. Naast ethaan wordt nafta het meest gevoed in stoomkrakers. Qua samenstelling is nafta sterk gelijkend op benzine en is nafta een belangrijk product van een aardolieraffinaderij. De Europese Raad heeft echter sterke maatregelen genomen voor de reductie van CO₂-standaarden van wagens. Tegen 2030 moet er een uitstootvermindering van 55 % van de personenwagens plaatsgevonden hebben, en voor 2035 worden alle verbrandingsmotoren verbannen en is er een 100 % reductie van het CO₂-uitstoot beoogd. Dit zal ongetwijfeld een impact hebben op de volumes die verwerkt worden in raffinaderijen⁴⁶ Door

⁴³ *INEOS Project One* - <https://project-one.ineos.com/en/news/>

⁴⁴ *Schaliegas: Het spel wordt nu anders gespeeld* - <https://www.ineos.com/nl/inch-magazine/articles/issue-1/schaliegas/>

⁴⁵ *DELTA CORRIDOR: Connecting industries* - https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/2021-06/202104id-095_delta_corridor_en.pdf

⁴⁶ *REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL amending Regulation (EU) 2019/631 as regards strengthening the CO₂ emission performance standards for new passenger cars and new light commercial vehicles in line with the Union's increased climate ambition* - <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-10777-2022-INIT/x/pdf>

de afnemende vraag naar brandstoffen in de toekomst zal er mogelijk op lange termijn een overschot aan nafta ontstaan. De vraag naar nafta in de regio zal naar alle waarschijnlijkheid dalen.

Gascondensaten

Gascondensaten zijn vloeibare koolwaterstofstromen die afgescheiden worden bij aardgasproductie. Typisch bevatten gascondensaten koolwaterstoffen met tot wel 25 koolstofatomen. Hierdoor kan het gebruikt worden als voeding voor stoomkrakers die daarvoor uitgerust zijn. SABIC en DOW gebruiken voornamelijk gascondensaten als grondstof.⁴⁷ Echter, een van de twee krakers van SABIC zal in 2024 gesloten worden door de strenge maatregelen in Nederland voor klimaatneutraliteit te bereiken.⁴⁸ De doelstellingen voor klimaatneutraliteit zijn moeilijk te behalen door SABIC doordat de ethyleen/propyleen opbrengst van de kraker op gascondensaten lager is vergeleken met LPG. Hierdoor is het een minder duurzame optie, aangezien er meer energie moet geleverd worden voor minder gewenst product te produceren. Dit leidt tot een hogere hoeveelheid scope 1 emissies die moeilijk te vermijden zijn. Het is hierdoor dat de kraker van SABIC niet meer economisch is en ze zal sluiten. De lokale vraag naar gascondensaten zal dus afnemen.

Gasolie en zwaardere fracties

Gasolie en zwaardere fracties zijn de producten van een raffinaderij die het moeilijkst kunnen gebruikt worden voor commerciële toepassingen. Het wordt minder gebruikt als grondstof voor de petrochemische industrie door de moeilijkheid om ze te verwerken. Daarom worden ze vooral aangewend als brandstof voor schepen, zware trucks en vliegtuigen. Op termijn wil men deze transportmodi ook duurzaam maken, maar door de technologische gebreken en moeilijkheden zal een transitie niet onmiddellijk plaatsvinden in de komende jaren. De vraag naar deze zwaardere fracties zal dus op lange termijn afnemen, maar ze zullen meer en meer omgezet worden naar lichtere fracties. Zo heeft Exxon Mobil in 2019 een delayed coker unit in Antwerpen in gebruik genomen, waarbij de zware fracties worden omgezet tot lichtere fracties. Daarnaast heeft Exxon Mobil ook een hydrokraker en een flexicoker ter beschikking in Rotterdam voor de verwerking van de zware fracties tot hoogwaardige chemicaliën.⁴⁹

⁴⁷ *Decarbonisation options for large volume organic chemicals production, SABIC Geleen* - https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2021-decarbonisation-options-for-large-volume-organic-chemicals-production-sabic-geleen_3718.pdf

⁴⁸ *Saudi group Sabic is considering closing naphtha cracker at Chemelot business park in Sittard-Geleen* - <https://pledgetimes.com/saudi-group-sabic-is-considering-closing-naphtha-cracker-at-chemelot-business-park-in-sittard-geleen/>

⁴⁹ *Uitbreiding van de Hydrocracker installatie ExxonMobil Raffinaderij Rotterdam* - <https://www.commissiener.nl/docs/mer/p29/p2964/2964-002notrw.pdf>

Markt evolutie voor aromaten

Aromaten, zoals benzeen, toluen en xyleen, zijn veel gebruikte grondstoffen in de chemie die als bouwsteen vele toepassingen kennen in afgewerkte producten. Ze worden aangewend voor de productie van medicatie, hygiëne-toepassingen, transport, telecommunicatie, mode en sport. Ze kunnen omgezet worden tot hoogwaardige polymeren (polystyreen, nylon, verpakking, hard plastic, ...) en kennen hierdoor een grote vraag met een breed toepassingsgebied. De aromaten worden voornamelijk geproduceerd uit het stoomkraakproces met nafta als grondstof maar ook in raffinaderijen. Op Figuur 22 werd duidelijk dat de productie van plastics in de toekomst enkel zal toenemen. De vraag naar aromaten zal dus naar alle waarschijnlijkheid niet dalen.

5. Alternatieven koolstofbronnen

Fossiele grondstoffen zullen in de toekomst stap voor stap vervangen worden door hernieuwbare grondstoffen. Het is echter moeilijk en weinig waarschijnlijk om slechts een bron van hernieuwbare aard aan te wenden voor de productie van grondstoffen en energie. Grondstoffen die vooral bestaan uit C en H hebben hierbij een voordeel aangezien ze zonder veel moeite kunnen geïmplementeerd worden in de bestaande waardeketen. Deze alternatieven houden vooral hernieuwbare grondstoffen in van dierlijke en plantaardige aard, maar ook andere stromen waarbij plastic afval vooral in de picture komen te staan. Beiden zouden een niet te onderschatten bijdrage kunnen leveren aan het reduceren van de milieuproblematiek en andere maatschappelijke problemen gerelateerd aan de verwerking van afvalstromen. Het is belangrijk om te nuanceren dat vele van de technologieën die gepaard gaan met de verwerking van deze grondstoffen tot hoogwaardige chemicaliën nog niet 100% matuur zijn, en waarschijnlijk pas massaal zullen opgeschaald kunnen worden in de periode 2035-2050. Toch is het belangrijk om nu al een visie te krijgen over wat deze stofstromen zullen betekenen in de toekomst en hoe ze verwerkt kunnen worden.

In wat volgt zullen deze stromen van hernieuwbare grondstoffen besproken worden en hun implicaties voor het toekomstig beleid duidelijk gemaakt worden.

5.1. Hernieuwbare grondstoffen voor de petrochemie

Hernieuwbare grondstoffen voor de petrochemie zullen van dierlijke en plantaardige aard afkomstig zijn. Het is hierbij belangrijk dat deze grondstoffen niet concurreren met de voedselvoorziening. Uiteindelijk zullen opnieuw de chemische bouwstenen moeten kunnen geproduceerd worden, de zogenaamde ‘platformmoleculen’, zodat die verder kunnen omgezet worden tot de commercieel gebruikte producten.

De productie van basischemicaliën zoals etheen, propeen en 1,3-butadien door stoomkraken is nog steeds een van de meest energie verbruikende processen in de huidige chemische industrie. De reactorvoedingen gebruikt in de huidige stoomkrakers zijn voornamelijk aardgas-verwerkingsproducten en aardoliefracties. De duurzaamheid van dit proces kan dus aanzienlijk worden verbeterd door in bestaande productie-installaties deze fossiele grondstoffen aan te vullen met hernieuwbare grondstoffen. Vooral het gebruik van zogenaamd bioafval, zoals laagwaardige vetten van voedingsverwerking of de fastfood industrie en bijproducten van de papierindustrie, is veelbelovend aangezien dit type van hernieuwbare grondstof goedkoop en onmiddellijk beschikbaar is. Bovendien vereist de “productie” ervan geen vruchtbaar land.

Er zijn al technologieën ontwikkeld voor de verwerking van afvalstromen van dierlijke en plantaardige aard. Zo heeft Neste haar NEXBTL-technologie ontwikkeld, een hydrotreatment proces dat natuurlijke oliën en industrieel olieresiduen kan omzetten tot hoogwaardige iso-paraffinen met een laag zwavel- en aromaten inhoud. De geproduceerde iso-alkanen kunnen toegepast worden voor de productie van verf, coatings, inkt, adhesieven, lubricerende middelen, etc. Daarnaast zijn er ook al technologieën ontwikkeld voor de productie van Jet A1 kerosine, schipbrandstoffen, diesel, benzine, solventen, en meer, allemaal uit oliën en residuen van de chemische industrie.⁵⁰

Een probleem van de bovenvermelde bio-gebaseerde grondstoffen is dat ze een relatief grote hoeveelheid zuurstof bevatten aangezien ze van organisch materiaal afkomstig zijn. Dit maakt de geproduceerde fracties instabiel en hun transport wordt bemoeilijkt. Klassiek start de chemische industrie van de bouwstenen C en H. Indien overgegaan wordt naar lignocellulose houdende biomassa zal de introductie van grote hoeveelheden zuurstof (O) optreden. Men weet weinig over de effecten van de geïntroduceerde zuurstof op bestaande apparatuur, maar het kan zeker schade aanrichten. Dit brengt sterke limitaties met zich mee wat betreft verwerking en transport, aangezien de totale zuurstof-inhoud van 35-50 % kan gaan.⁵¹ Hierdoor zal de transitie naar bio-gebaseerde productie op massaschaal moeilijk plaatsvinden in de komende jaren. Er zijn echter al pilootexperimenten uitgevoerd voor de katalytische hydrodeoxygenatie (HDO) van de bovenvermelde biomassa. Hierbij wordt de aanwezige zuurstof selectief verwijderd in de vorm van koolstofoxiden en water. Het product dat uit het HDO-proces komt kan dan wel conventioneel gekraakt worden en leidt tot hogere opbrengsten aan propyleen en ethyleen dan de fossiele grondstoffen. Dit toont aan dat ondanks het zuurstofgehalte van de bio-bronnen, er toch kraking mogelijk is met bestaande technologieën indien de maturiteit toeneemt.⁵² Bovendien is het transport van vaste biomassa zowel logistiek als vanuit CO₂-standpunt een uitdaging.

5.2. Plastic afvalstromen als grondstof in de petrochemie

Een andere afvalstroom die uitbundig beschikbaar is en grote voordelen zou kunnen bieden bij hergebruik zijn plastics. Vandaag is de markt van plastics zeer lineair. Maar 14 % van alle

⁵⁰ <https://www.neste.com/products>

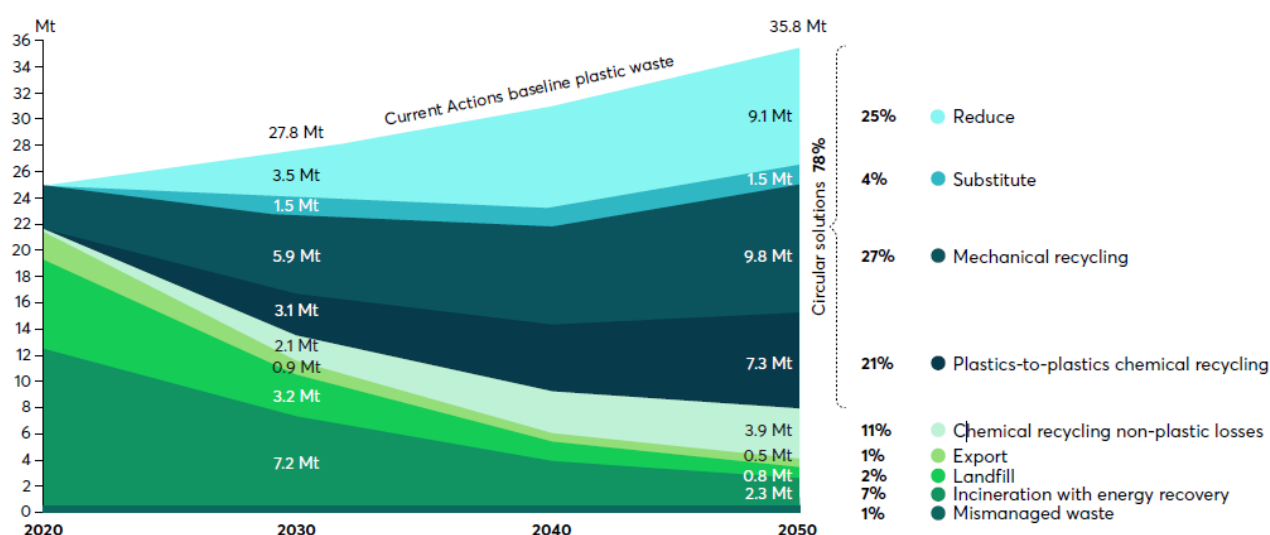
⁵¹ *Stabilisation of pyrolysis oils* - <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101029-7.00006-0>

⁵² *Duurzame productie van lichte alkenen: van fossiele naar hernieuwbare grondstoffen* – Steven Pyl, 2012 – ISBN: 9789085785408

geproduceerde plastics werd in 2021 gerecycleerd, terwijl de rest wordt verbrand, verscheept of gedumpt.⁵³

Plastics worden geproduceerd uit koolwaterstoffen die hun oorsprong vinden in raffinageprocessen. De finale producten zijn niet degradeerbaar en hebben nefaste effecten op de natuur en maatschappij als ze gedumpt worden. In de toekomst wordt verwacht dat een steeds groter aandeel aan plastic afval gerecycleerd zal worden, zoals aangegeven op Figuur 24. De circulariteit zal verbeterd worden door een combinatie van de volgende drie strategieën:

1. Reduceren van plastic afval.
2. Mechanische recyclage van compatibele stromen van plastic afval.
3. Chemische recyclage van alle stromen die verwerkt kunnen worden tot chemicaliën.



Source: "ReShaping Plastics" model

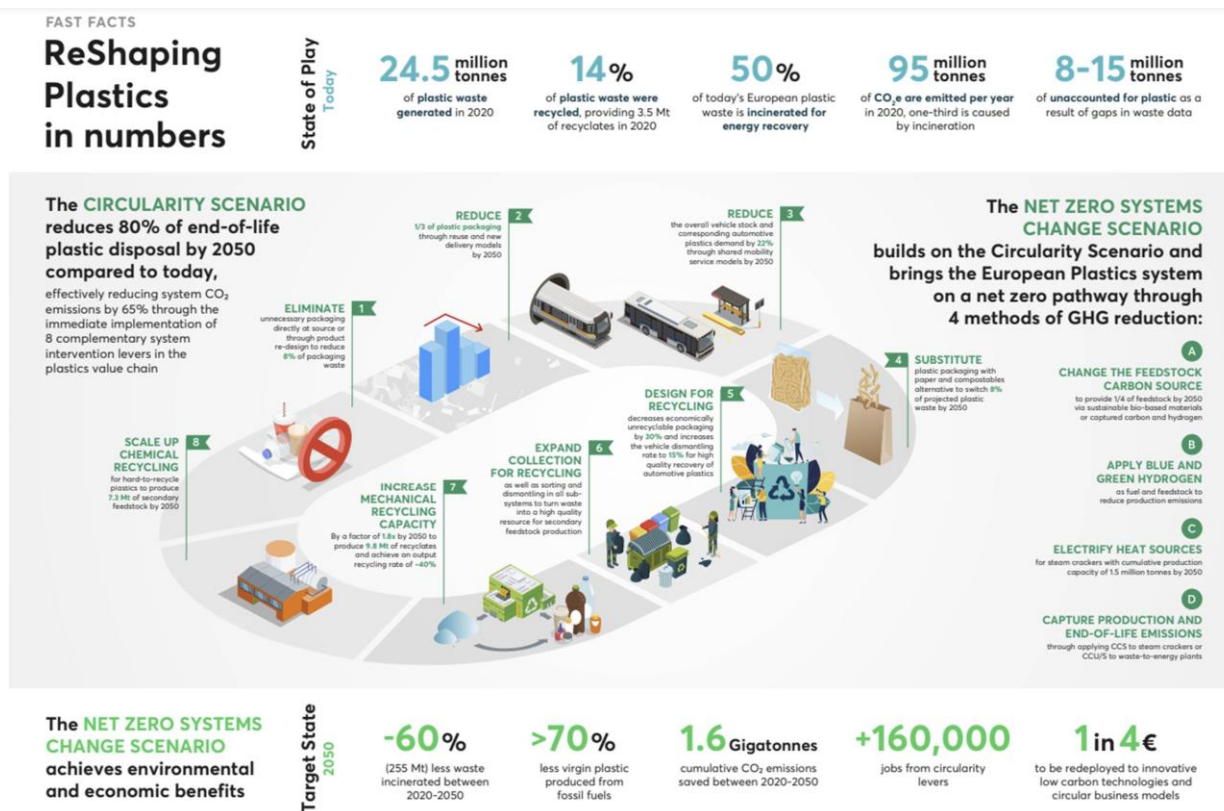
Figuur 24: Het lot van plastic afval afkomstig van huishoudelijk gebruik, verpakking, de auto-industrie en de bouwsector.⁵³

De strategie om naar een circulaire economie toe te werken is weergegeven op Figuur 25. In 2020 werd er 24.5 miljoen ton plastic afval gegenereerd in Europa, waarvan 14 % gerecycleerd werd en zo tot 3.5 miljoen ton gerecycleerd materiaal leidde. Echter 50 % van het plastic afval wordt verbrand voor energie recuperatie, leidend tot ten minste 95 miljoen ton CO₂-uitstoot per jaar. Dit getal kan hoger liggen doordat er van 8 tot 15 miljoen ton plastic afval niet voldoende data beschikbaar is. Het bovenvermelde scenario dient opgelost te worden tot 2050 door 80 % van de afvalstromen te verminderen. De CO₂-uitstoot zou met 65 % verminderd kunnen worden door de implementatie van 8 complementaire interventiesystemen. Deze systemen houden de eliminatie van onnodige

⁵³ *ReShaping Plastics: Pathways to a circular, climate neutral plastics system in Europe*

verpakkingen, reductie van plastic verpakking door o.a. hergebruik, reductie van het aantal wagens op de weg door meer in te zetten op openbaar vervoer, substitutie van plastic afval door papier of andere composteerbare alternatieven, het ontwerpen van producten die fit zijn voor recycling, het verruimen van verzamelingspunten voor recycledoelinden, het uitbreiden van mechanische recycling plants, en het uitrollen van chemische recycling plants. Op deze manier wordt er naar een circulaire economie toegewerkt, maar ook naar klimaatneutraliteit. Door te veranderen van koolstofbronnen naar hernieuwbare bronnen, het toepassen van blauwe en groene waterstof, het elektrificeren van apparatuur en het capteren van uitstoten van broeikasgassen kunnen er sterke verbeteringen wat betreft milieuvriendelijkheid bereikt worden.⁵³

Door het toepassen van de bovenvermelde ideeën zou er tot 2050 60 % minder afval verbrand worden, meer dan 70 % reductie bereikt worden in plastic productie van fossiele grondstoffen, 1.6 gigaton CO₂-uitstoot vermeden worden tussen 2020-2050, 160.000 jobs gecreëerd worden, en 25 % van budgetten gebruikt worden voor groene projecten.⁵³



Figuur 25: De huidige staat en toekomstige plannen voor de verwerking van plastic afval.⁵³

Reduceren en substitueren van plastic afval

Een van de belangrijkste manieren om de plastic afvalstroom te verminderen is door aan reductie te doen. Ten eerste zal men duurzamere producten moeten maken met een langere levensduur en de mogelijkheid en open toegang tot reparatie- en upgrade mogelijkheden. Dit zal vooral belang hebben

bij elektronische toestellen en huishoudapparatuur. In dit kader heeft de Europese Unie ook de toegang tot reparaties en upgrades voorgesteld in toekomstige apparaten. Op die manier dienen toestellen niet weggeworpen te worden, maar kunnen ze mits kleine aanpassingen langduriger gebruikt worden.¹ Het gebruik van wegwerpartikelen zal verboden worden, maar ook maatschappelijk is er een vraag te zien naar duurzame producten die langdurig kunnen gebruikt worden.

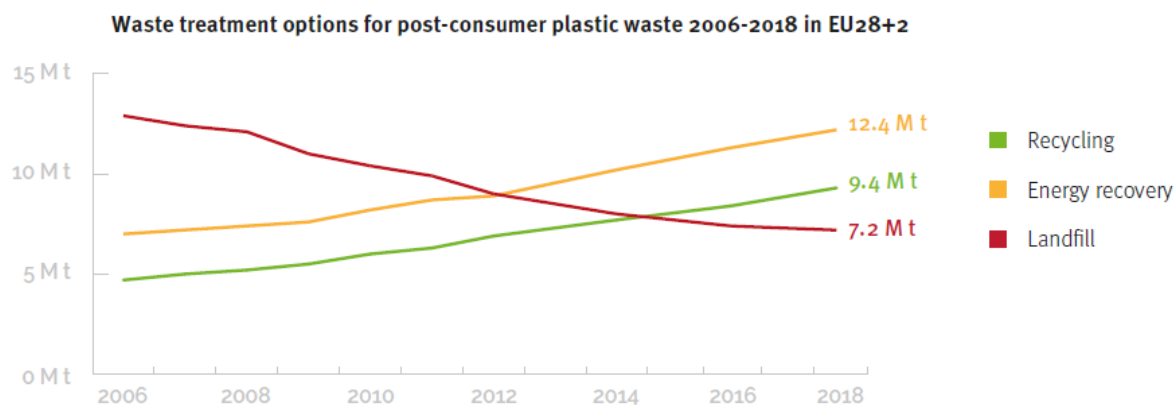
Beleidsmaatregelen zoals hierboven vermeld zullen in de toekomst verder uitgewerkt worden om de reductie aan plastic in de maatschappij waar te maken. Het voorkomen van de productie van plastics is namelijk de beste manier om de uitstoot van CO₂ en andere negatieve effecten tegen te gaan.

Daarnaast kunnen voor veel toepassingen ook substituten gevonden worden. Voorbeelden zijn het vervangen van plastic rietjes en zakjes door papier. Deze zijn wel organisch afbreekbaar en hebben minder nefaste effecten voor de natuur en de maatschappij.

Mechanische recyclage

Mechanische recyclage is de meest eenvoudige vorm van het recycleren van plastic afval. Hierbij wordt plastic afval gemalen, gesmolten en opnieuw in vorm gegoten voor hergebruik. Zo kan er een compleet nieuw product geproduceerd worden uit afval. Een belangrijk aspect hierbij is sortering. Er kan 10x meer plastic gerecycleerd worden indien de sortering op een correcte manier gebeurt.⁵⁴ Door de toegenomen sorteringsgraad in de afgelopen jaren is er hierdoor ook een sterke stijging te zien in de recyclagemogelijkheden van plastics. Op Figuur 26 is te zien dat het aandeel van recyclage van plastic afval doorheen de jaren stijgt, en dit het snelst vergeleken met andere alternatieven. De verbranding van plastic afval voor energierecuperatie neemt minder sterk toe, waardoor de uitstoot van CO₂ relatief verminderd wordt op lange termijn. Uiteindelijk wordt verwacht dat recyclagetechnieken de bovenhand zullen nemen.

⁵⁴ *The circular economy for plastics – Plastics Europe*



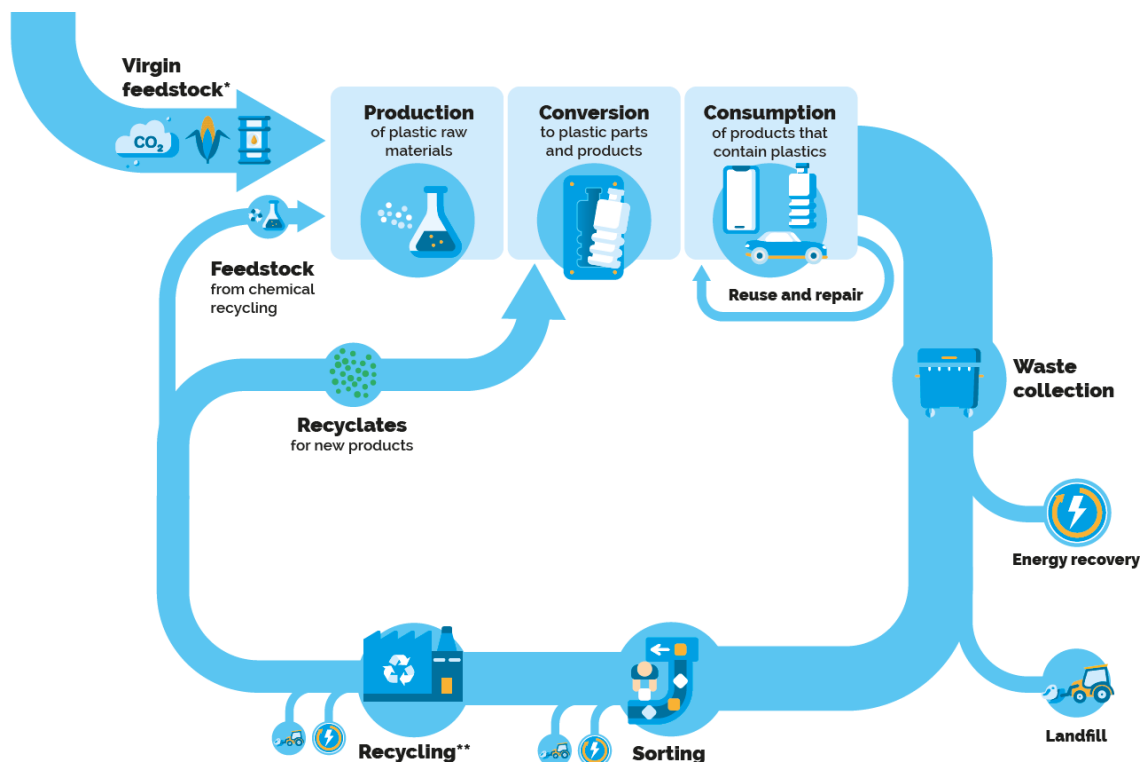
Figuur 26: Opties voor de verwerking van post-consumenten plastic afval.⁵⁵

Chemische recyclage

Met chemische recyclage kan plastic afval terug geconverteerd worden in haar originele bouwstoffen of ontstaan er opnieuw oliën die kunnen gebruikt worden als grondstoffen om die bouwstenen te maken. Zo kan de levenscyclus van plastic afval zoals weergegeven op Figuur 27 gesloten worden

⁵⁵ PSYCHE Project – Kevin M. Van Geem – 2020 –
https://psycheplastics.eu/sites/default/files/documentation/The%20PSYCHE%20project%20%28Kevin%20Van%20Geem%29_1.pdf

en kan verbranding en dumpen van afval zo veel mogelijk vermeden worden. Dit kan op zijn manier ook bijdragen tot het bereiken van de beoogde doelstellingen van klimaatneutraliteit.



Figuur 27: Levenscyclus van plastic producten.⁵⁴

Er zijn op heden meerdere recyclagemogelijkheden mogelijk die plastic afval terug omzetten tot oliën. In het algemeen zijn er de ontbindingstechnieken (extractie van plastics), de depolymerisatie technieken (plastics afbreken tot hun opbouwende elementen) en conversie (omzetten van plastics tot ruwe materialen die als grondstof kunnen dienen). Een van de meest gebruikte methoden vandaag zijn de pyrolysetechnieken, waarbij plastic afval in ovens op hoge temperatuur afgebroken worden tot hun chemische bouwstenen. Deze hebben echter geen negatieve koolstof emissies en zijn niet belovend voor toekomstige beleidsmaatregelen. Er zijn echter andere technologieën in de ontwikkeling, zoals de HydroPRS technologie van MURA, waarbij met superkritische stoom plastic afval efficiënt kan omgezet worden tot hoogwaardige koolwaterstoffen.⁵⁶

In de toekomst zal de recyclage van plastic afvalstromen een belangrijke bron zijn van circulariteit. De grote hoeveelheden aan plastic afval zouden uiteindelijk tot de uitputting van koolstofbronnen leiden, waardoor de recyclage van deze stoffen onvermijdelijk zal zijn in de toekomst.

⁵⁶ Mura technology - <https://muratechnology.com/hydroprs/>

6. Carbon Capture and Storage

Carbon Capture and Storage (CCS) is een bewezen technologie die nodig zal zijn voor de transitie van Europa naar klimaatneutraliteit in een kosten efficiënte manier. Deze technologie zal negatieve emissies toestaan en is essentieel tot het behalen van de doelstellingen van Parijs. CCS is een geïntegreerd keten van technologieën, bestaande uit afvang, transport en geologische opslag van CO₂. De eerste CCS plant werd opgestart in 1972 in de Verenigde Staten, waardoor al 50 jaar ervaring kon opgebouwd worden. Ondertussen is al 200 Mt CO₂ opgeslagen wereldwijd, en er is geen bewijs van lekkage waargenomen.⁵⁷ De capaciteit van CCS-projecten vandaag is 40 Mtpa CO₂, wat minder dan 1 % van alle uitstoten voorstelt. In de toekomst zal de capaciteit sterk moeten uitgebreid worden om de klimaatdoelstellingen te halen.⁵⁷

6.1. CO₂ afvang

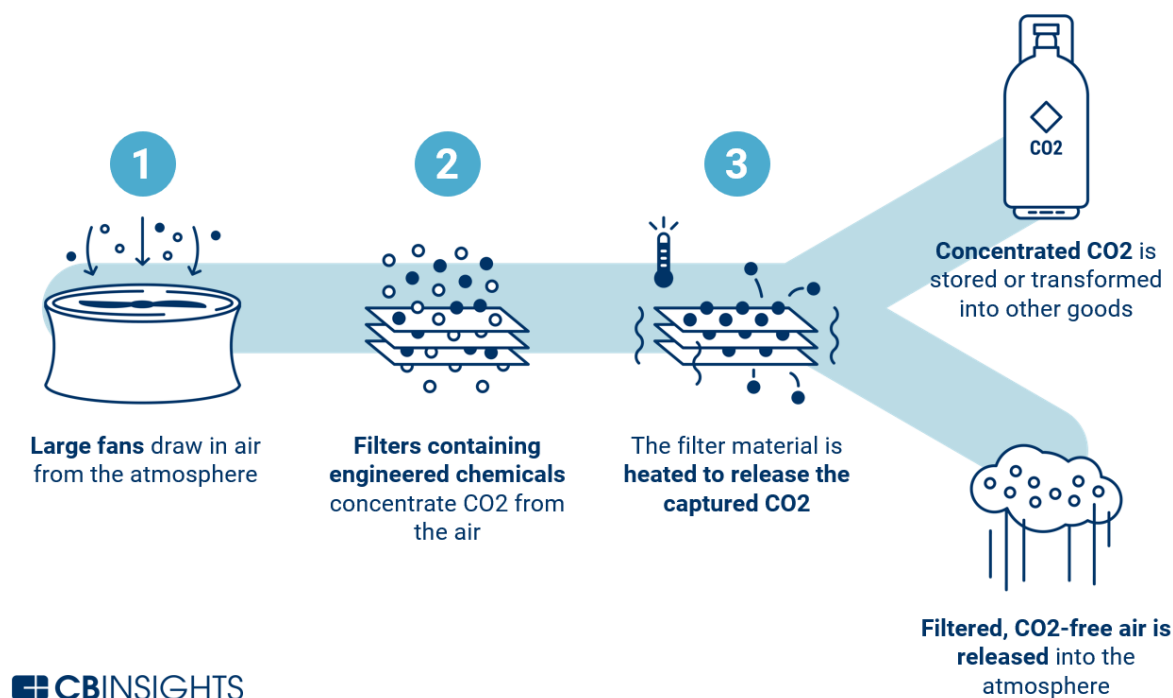
Het is de bedoeling om CO₂ op een zo kosten-efficiënte manier mogelijk op te vangen om de competitiviteit te vrijwaren. In deze context zijn er verschillende methoden voorgesteld voor de afvang van CO₂ om haar verdere verwerking mogelijk te maken.

Direct Air Capture

Direct Air Capture (DAC) technologieën vangen CO₂ direct uit de atmosfeer op. Het is echter niet makkelijk om CO₂ zo uit de lucht te kapteren, aangezien ze in lage concentraties aanwezig is en er heel gespecialiseerde apparatuur voor nodig is. Er zijn twee technologieën die de afvang op deze manier mogelijk maken. Een eerste is de vloeibare systemen, waarbij lucht door een chemische oplossing die CO₂ verwijderd wordt gestuurd. De opgevangen CO₂ wordt vervolgens gecontroleerd ontlaten en naar opslag gestuurd, waarna de geregenereerde chemicaliën kunnen hergebruikt worden. Een tweede mogelijkheid is met vaste DAC-technologieën, waarbij een vaste sorbent chemisch CO₂ binden. Ook deze kunnen gecontroleerd CO₂ loslaten en vervolgens hergebruikt worden zoals weergegeven op Figuur 28.

⁵⁷ *The potential for CCS and CCU in Europe. Report to the thirty second meeting of the European Gas Regulatory Forum 5-6 June 2019.*

How direct air capture works



Figuur 28: Principe van Direct Air Capture (DAC) door het filteren van CO₂ uit de atmosfeer.⁵⁸

DAC-technologieën zijn op heden niet economisch competitief met andere afvang technologieën. Dat komt door de lage concentratie aan CO₂ in de lucht en een hoge energiekost om de grote hoeveelheden lucht door de afvangenheden te sturen. Het zou dan ook wijzer zijn om CO₂ onmiddellijk aan de bron te kapteren, wat leidt tot de captatie van puntbronnen.⁵⁹ Echter lijkt het op lange termijn wel noodzakelijk om het CO₂-gehalte in de atmosfeer te reduceren met behulp van technologie.

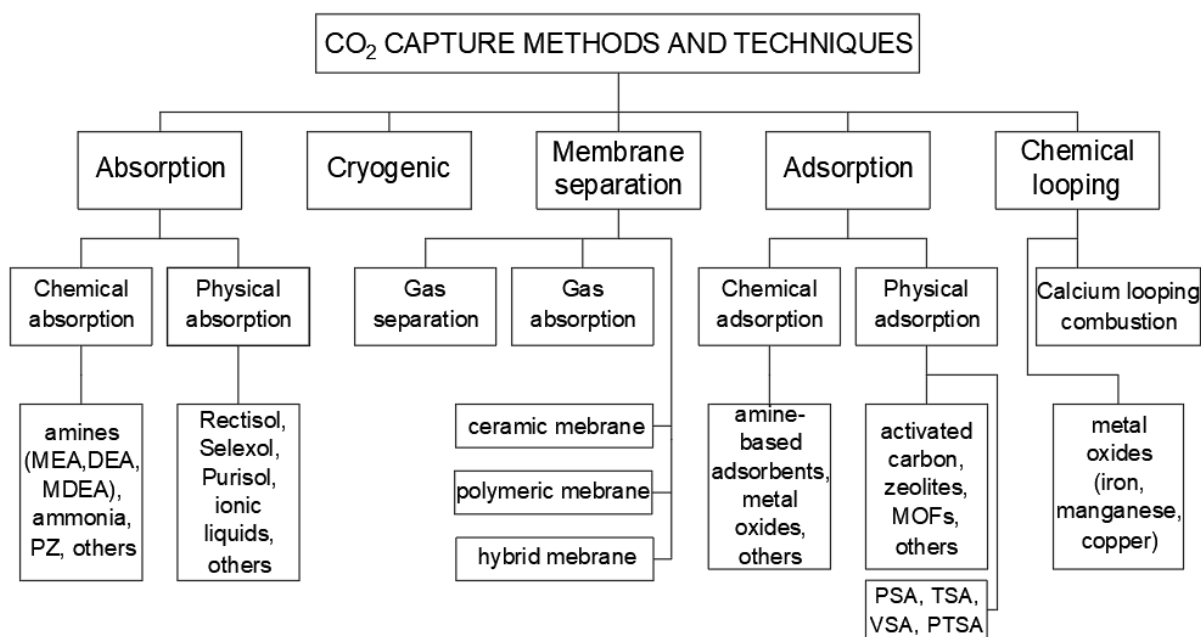
CO₂ capture van puntbronnen

De opslag van CO₂ van puntbronnen bestaat erin om technologieën te voorzien bij grote emitters om lokaal de CO₂ dat geëmitteerd wordt direct op te vangen. In deze context bestaan er 3 methoden die in aanmerking komen: pre-combustion carbon capture (afvangen van CO₂ voor het verbrandingsproces plaatsvond), post-combustion carbon capture (opvang van CO₂ na verbranding) en oxy-combustion carbon capture (verbranding aan de hand van pure zuurstof in plaats van lucht

⁵⁸ *Direct Air Capture Explained: The Buzzy New Carbon Reduction Tech Gaining Exec Attention – 2021* - <https://www.cbinsights.com/research/direct-air-capture-corporate-carbon-reduction/>

⁵⁹ *Direct Air Capture – Tracking report – November 2021*: <https://www.iea.org/reports/direct-air-capture>

om een puurdere CO₂-stroom te bekomen).⁶⁰ Binnenin deze drie technologieën bestaat een hele waaier aan scheidingstechnieken om CO₂ te zuiveren, weergegeven op Figuur 29.



Figuur 29: Methoden en technieken voor de captatie van CO₂.⁶⁰

De relevante captatietechniek voor de toekomst zal afhangen van de relevante CAPEX en OPEX kosten. Het is echter zeker dat voor de toekomst captatie van puntbronnen een belangrijke rol zal spelen in de reductie van CO₂-emissies van de zware industrie. Deze methode is ook efficiënter dan DEA en kost minder energie. Toch zijn er additionele investeringen en inspanningen nodig in de toekomst.

Lange termijn

Het opvangen van CO₂ en vervolgens geologisch opslaan kan niet oneindig langt toegepast worden. CCS is dan ook een intermediaire oplossing. Op termijn zal men willen overstappen naar Carbon Capture and Utilization (CCU) projecten, waarbij CO₂ gecapteerd wordt, maar direct omgezet wordt tot nieuwe chemicaliën en op die manier verdwijnt en niet dient opgeslagen te worden. Toch is CCS een belangrijk instrument om de uitstoot aan CO₂ in de komende jaren te mitigeren, tot de CCU-technologieën matuur en economisch genoeg zijn om commercieel toe te passen. Naar alle waarschijnlijkheid zal de kost van CCS en CCU met de tijd afnemen. Voor een systematische ontwikkeling van CCS en CCU in Europa zal een regelgeving moeten ontstaan die zowel

⁶⁰ *Methods and Techniques for CO₂ Capture: Review of Potential Solutions and Applications in Modern Energy Technologies* - <https://doi.org/10.3390/en15030887>

investeringen stimuleert en flexibiliteit behoudt voor CCS en CCU toe te passen in de gehele waardeketen van de industrie.⁵⁹

6.2. CO₂ transport

Het transport van CO₂ is de stap die de captatie van CO₂ linkt met de opslag. In de context van lange afstand transport van grote hoeveelheden CO₂ worden vandaag vooral pijpleidingen aangewend.⁶¹ CO₂ kan in zowel gasvormige, vloeibare als vaste staat vervoerd worden, maar commercieel worden vooral gasvormig en vloeibaar CO₂ vervoerd via schip en pijpleidingen.

Gasvormig CO₂ transport

Een eerste mogelijkheid is gasvormig CO₂ transport. Door een gas te comprimeren neemt haar volume af. Zo kan er een groter gewicht aan CO₂ in hetzelfde volume vervoerd worden. Deze techniek wordt vooral aangewend in faciliteiten die verbonden zijn met een pijpleidingennetwerk. Het is niet economisch haalbaar om via lange pijpleidingen CO₂ vloeibaar te transporteren door de hoge kosten die gepaard gaan met liquefactie. Door de grote lengte aan pijpleidingennetwerken die aanwezig zijn of gepland zijn, is vervoer via pijpleidingen het economisch meest zinvol en goedkoop. Zoals aangekaart in sectie 1 hebben pijpleidingen vele voordelen tegenover andere vervoersmechanismen. Toch is dit in eerste instantie enkel interessant voor industriële sites en plaatsen waar een grote mogelijkheid is tot het gebruik van CO₂. In andere gevallen, waar er kleine puntbronnen zijn, is het plaatsen van een pijpleidingennetwerk niet economisch haalbaar.

Vloeibaar CO₂ transport

Een alternatief voor gasvormig transport via pijpleidingen is via schip. Hierbij wordt CO₂ wel via schip vervoerd en in vloeibare toestand. In deze toestand neemt CO₂ nog minder volume in, waardoor er grote hoeveelheden tegelijk getransporteerd kunnen worden in een vracht. Dit is een mogelijkheid voor transport over zee of transport naar plaatsen waar opslag mogelijk is.

Vloeibaar versus gasvormig

Transport via pijpleiding is de goedkoopste methode voor transport van grote hoeveelheden CO₂ over grote afstanden. De aanleg van een pijpleidingennetwerk gaat echter gepaard met een hoge CAPEX indien een grote hoeveelheid CO₂ te transporteren valt. Er dient ook genoeg vraag te zijn naar een netwerk van pijpleidingen waar verschillende spelers verbonden kunnen zijn aan hetzelfde net voor de kosten van transport te drukken. In geval er weinig CO₂ aanwezig is of er geen mogelijkheid is tot

⁶¹ *Fact sheet: Transporting CO₂ – Global Institute – 2018 - https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2018/12/Global-CCS-Institute-Fact-Sheet_Transporting-CO2-1.pdf*

het aanleggen van een pijpleidingennetwerk is transport in de vloeibare staat via schepen het alternatief.⁶² Voor Vlaanderen en de omringende regio's is transport via pijpleiding veruit de logische keuze.

6.3. Aangekondigde projecten

In Vlaanderen zijn er recent verschillende CCS-projecten aangekondigd van commerciële aard.⁶³ Ten eerste is er het gezamenlijke project tussen Air Liquide en BASF om de grootste grensoverschrijdende CCS-waardeketen ter wereld te ontwikkelen. Het gezamenlijke project "Kairos@C" werd als een van de zeven grootschalige projecten uit meer dan 300 aanvragen door de Europese Commissie geselecteerd voor financiering vanuit het Innovatiefonds. Ze willen door het project 14,2 miljoen ton CO₂ in de eerste 10 jaar van haar bestaan vermijden en zo tot de klimaatdoelstellingen van 2050 bijdragen.⁶⁴ Daarnaast is er ook het Antwerp@C project, een initiatief van Air Liquide, BASF, Borealis, Exxon Mobil, INEOS, Total Energies, Fluxys en Port of Antwerp. In dit project willen ze de CO₂ uitstoot in de Antwerpse haven met 50 % verminderen tegen 2030 door de bouw van een gemeenschappelijke CO₂-infrastructuur.

In de toekomst zullen er ongetwijfeld meer en meer projecten aangekondigd worden. Wereldwijd neemt de capaciteit van CCS-projecten snel toe.

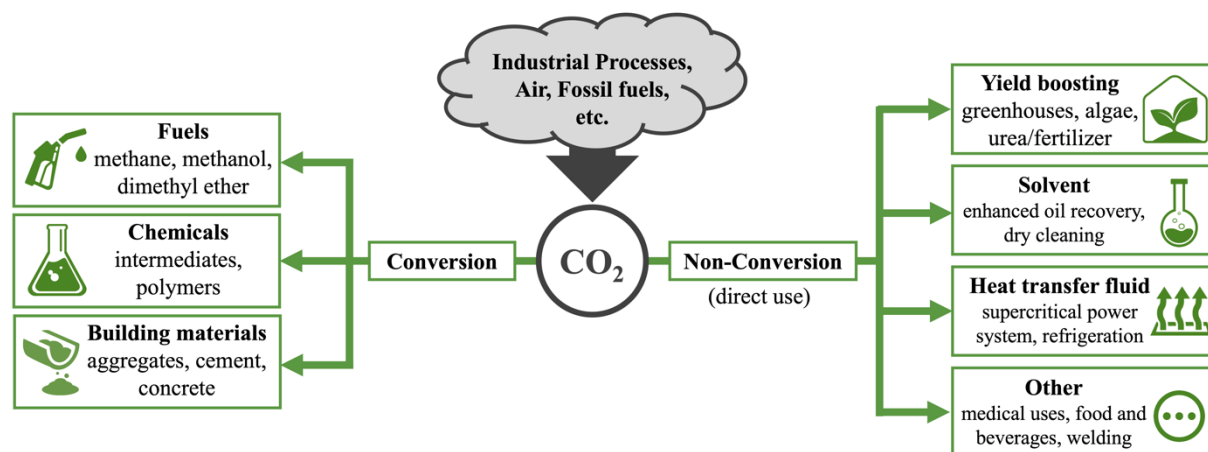
⁶² *Transport of CO₂ – IPCC Special Report on Carbon dioxide Capture and Storage*

⁶³ *Global CCS institute - <https://co2re.co/FacilityData>*

⁶⁴ *BASF Antwerpen*

7. Carbon Capture and Utilization

Carbon Capture and Utilization (CCU) is het proces van koolstof te kapteren (CO en CO_2) om deze dan te recyclen voor verder gebruik. De toepassingen van CO_2 kunnen zo in twee categorieën opgesplitst worden, zijnde de conversie en daarnaast de niet-conversie (direct gebruik), zoals aangegeven op Figuur 30. De synthese van chemicaliën door de combinatie van CCU-technologieën met hernieuwbare energie is de meest waarschijnlijke route naar de valorisatie en ontwikkeling van een hernieuwbare infrastructuur voor koolstof.



Figuur 30: Toepassingen van gecapteerde CO_2 .¹⁸

Er zijn meerdere positieve aspecten van CCU. Actueel wordt het algemeen aanvaard als een deel van de oplossing om de klimaatverandering af te remmen. De zware industrieën (chemische industrie en staalindustrie) zullen de meeste voordelen van de nieuwe technologieën kunnen verkrijgen, aangezien ze ook de grootste bronnen van CO_2 en andere broeikasgassen zijn. Hun mogelijkheden worden uitbundig bestudeerd en zullen kort besproken worden in wat volgt.

7.1. CO_2 hergebruik in de chemische industrie

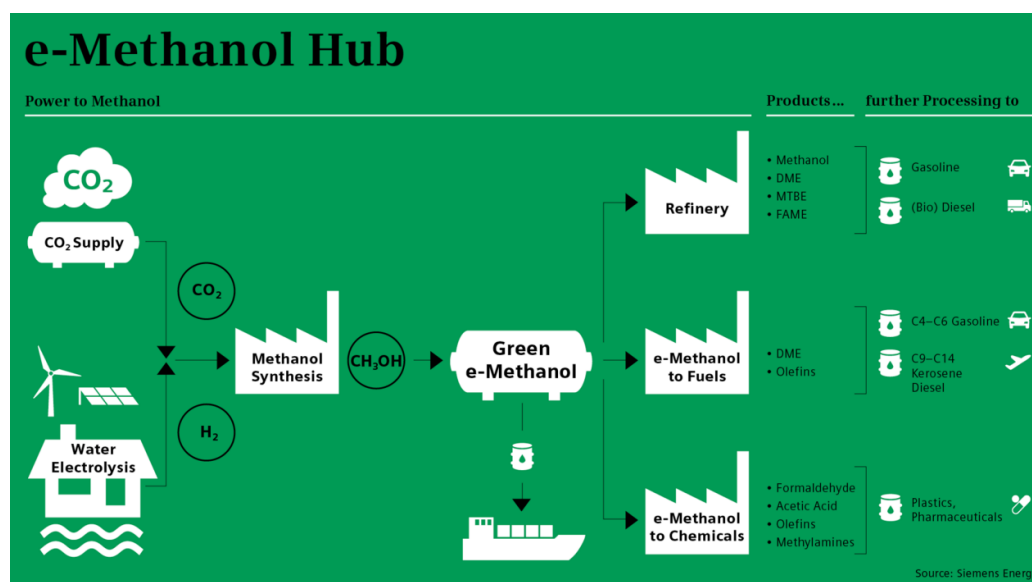
Terwijl CO_2 vandaag vaak gezien wordt als een afvalproduct en iets dat vermeden dient te worden, kan dit in de toekomst gaan veranderen. Met de ontwikkeling van CCU-methodologieën zou in de toekomst CO_2 echter meer gezien kunnen worden als een kostbare grondstof dan een afvalproduct. Er zijn al meerdere technologieën ontworpen om CO_2 nuttig aan te wenden en om te zetten tot hoogwaardige chemicaliën, waarvan een aantal besproken zullen worden. Indien de komende jaren de productie van waterstof aan de hand van groene elektriciteit mogelijk wordt, en de geproduceerde CO_2 -stromen kunnen verwerkt worden met CCU, is de circulariteit van de maatschappij binnen handbereik. De productie van groene waterstof zal niet enkel belangrijk zijn voor de energietoevoer van deze reacties, maar ook als grondstof.

Methanol

Vanuit CO₂ kan methanol geproduceerd worden door het hydrogeneren van CO₂ naar methanol en water aan de hand van onderstaande reactie (1).



Actueel wordt methanol geproduceerd aan de hand van synthesegas. Een probleem bij deze reactie is dat er veel energie nodig voor het productieproces in vergelijking met de energie die wordt opgeslagen in de moleculen. Er is dus veel energie nodig voor de reactie en dit vormt een mogelijke struikelbrok. Met nieuwe katalysatoren en technieken zijn er stappen gezet maar voorlopig gebeurt dit nog niet op zeer grote schaal. Een probleem is dat de apparatuur bestendig moet zijn tegen extreme temperatuur- en drukprofielen, en de katalysator nog verder geoptimaliseerd moet worden.⁶⁵ Eens de problemen rond deze reacties opgelost zijn, zou in de niet zo verre toekomst methanol een rol kunnen spelen in een circulaire economie. Vanuit methanol kunnen namelijk via vervolg processen veel andere chemicaliën die in grote hoeveelheid gebruikt worden geproduceerd worden zoals aangetoond op Figuur 31. Onder andere de chemische omzetting van methanol naar olefinen is goed schaalbaar en wordt onder andere China op commerciële schaal uitgevoerd. Echter alle zuurstof wordt hierbij in water omgezet en de investeringskost van een MTO plant is aanzienlijk hoger dan voor een stoomkraker met dezelfde ethyleen productie capaciteit.

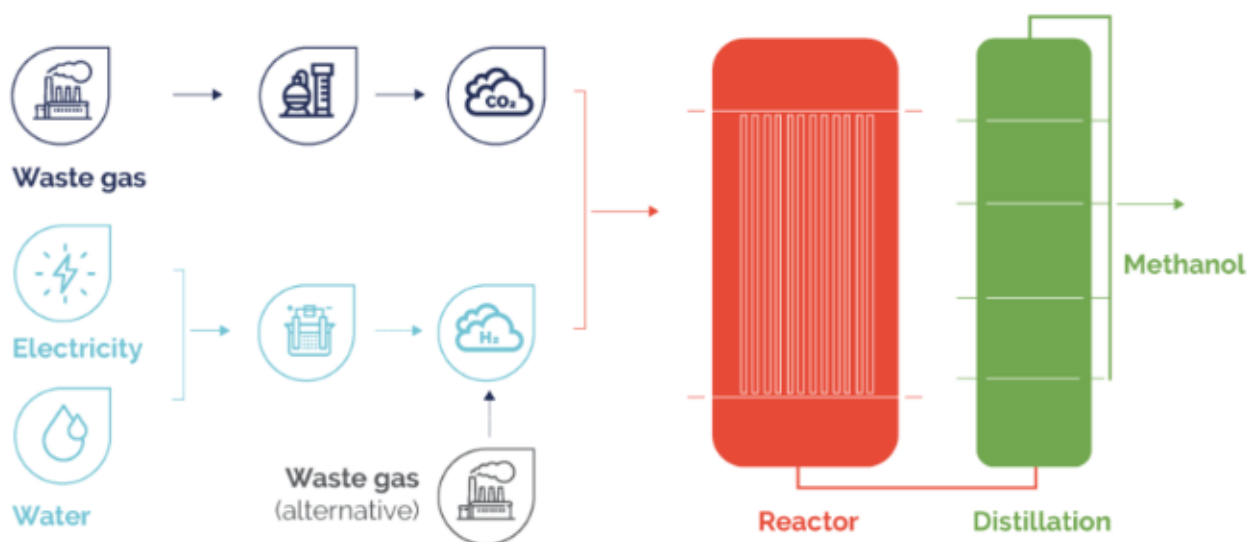


Figuur 31: Productiemogelijkheden van koolwaterstoffen uit methanol.⁶⁶

⁶⁵ *Methanol Synthesis from CO₂: A Review of the Latest Developments in Heterogeneous Catalysis, 2019* - <https://doi.org/10.3390/ma12233902>

⁶⁶ Rich in sun or wind? Here's how your country can export renewables – Siemens Energy - <https://www.siemens-energy.com/global/en/news/magazine/2020/universal-e-fuel-hubs.html>

Carbon Recycling International is een van de belangrijkste spelers die technologie bezitten waarbij methanol aan de hand van waterstof en CO₂ gemaakt wordt. Sinds 2012 produceren ze op industriële schaal methanol en verwijderen ze op die manier 160.00 ton CO₂. Hun Emissions-to-Liquids™ (ETL) is een gepatenteerd proces dat geïllustreerd is op Figuur 32. CO₂ wordt in het proces gecapteerd vanuit puntbronnen, en gecombineerd met hernieuwbare waterstof aan de hand van een elektrolyseproces om methanol te produceren. Op die manier kan dit proces bijdragen tot de verduurzaming van de chemische industrie.



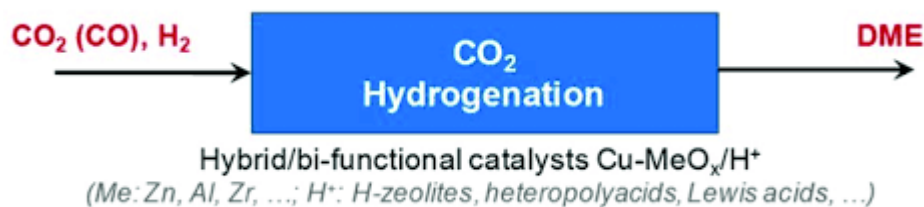
Figuur 32: Het ETL proces dat CO₂ en waterstof omzet tot methanol op industriële schaal.⁶⁷

Dimethyl ether

Dimethyl ether (DME) wordt gebruikt als een alternatieve brandstof voor diesel door haar uitstekende ontbranding eigenschappen. Traditioneel wordt DME geproduceerd aan de hand van synthesegas in een twee additionele stappen waarbij eerst methanol geproduceerd wordt, en daarna methanol gedehydrateerd wordt tot DME. Het zou echter nuttiger zijn indien DME direct uit CO₂ kon geproduceerd worden. Zo zouden zowel de energie-efficiëntie als de milieu impact kunnen gemitigeerd worden. Gelijkaardig aan het productieproces vanuit synthesegas zijn er voor de DME-productie uit CO₂ ook twee stappen. Ten eerste wordt CO₂ gehydrogeneerd tot methanol zoals in reactie (1). Hierna wordt methanol gedehydrateerd tot DME over een zure katalysator in een aantal complexe reactiestappen.⁶⁸ Opnieuw dienen de katalysatoren voor deze reacties nog geoptimaliseerd te worden en de opschaling mogelijk gemaakt worden. In de toekomst zal de synthese van DME echter kunnen gebeuren met de reacties zoals samengevat op Figuur 33.

⁶⁷ *Renewable methanol process stages – Carbon Recycling International - <https://www.carbonrecycling.is/technology>*

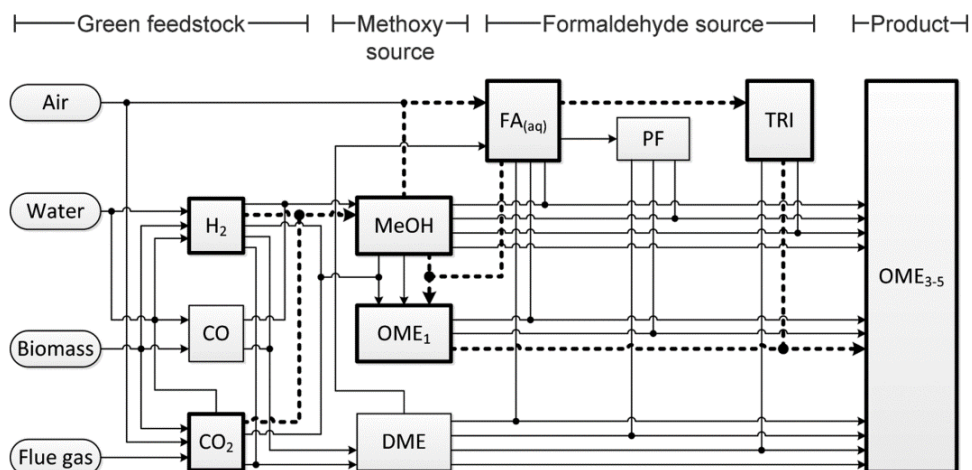
⁶⁸ *Hydrogenation of CO₂ to Dimethyl Ether over Tandem Catalysts Based on Biotemplated Hierarchical ZSM-5 and Pd/ZnO - <https://dx.doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c04399>*



Figuur 33: Synthesewijze voor de productie van DME uit CO₂.⁶⁹

Oxymethylenethers

Oxymethylenethers (OME_n) zijn potentiële benzine vervangers die gebruikt zouden kunnen worden voor een drastische reductie van de emissies van schadelijke stoffen in de transportsector. Door meerdere conversiestappen te combineren kunnen OME_n geproduceerd worden uit CO₂, waterstof en dus uit hernieuwbare energie. Het grote probleem met dit productieproces is dat het een lage energie-efficiëntie heeft in vergelijking met andere productietechnologieën. Hierdoor kost het meer om CO₂ om te zetten, en worden alternatieve routes om CO₂ te verwerken geprefereerd.⁷⁰ De complexiteit van het productieproces en de vele stappen, zie Figuur 34, zijn een belangrijk nadeel. Toch toont dit proces aan dat er extra mogelijkheden zijn voor de productie van complexe koolwaterstoffen uit hernieuwbare bronnen. In de toekomst zal de technologie die eenvoudig en het meest economisch opgeschaald kan worden naar alle waarschijnlijkheid domineren.



Figuur 34: Productieproces van OME_n vanuit hernieuwbare bronnen.⁷⁰

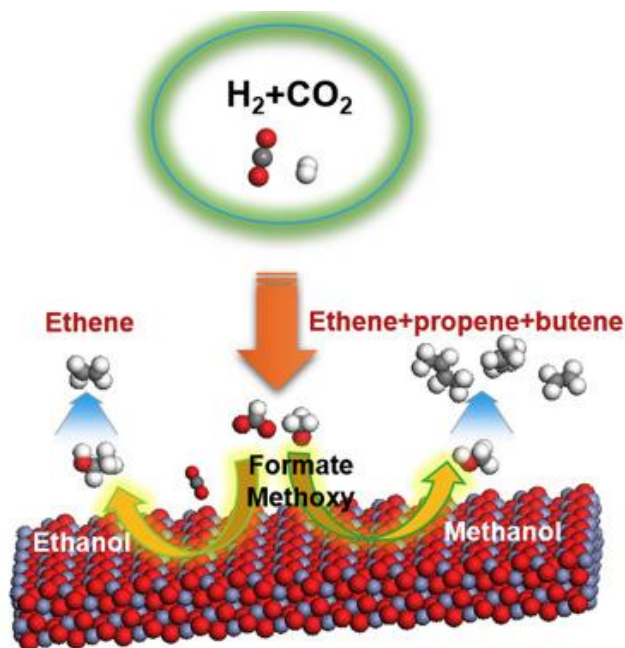
Olefinen/plastics

Zoals besproken in sectie 4 zijn ethyleen en propyleen de belangrijkste grondstoffen van de (petro)chemische industrie. Zowat alle chemicaliën en kunststoffen starten met deze twee

⁶⁹ CO₂ Recycling to Dimethyl Ether: State-of-the-Art and Perspectives - Enrico Catizzone – 2017 - DOI: 10.3390/molecules23010031

⁷⁰ Production of Oxymethylene Dimethyl Ethers from Hydrogen and Carbon Dioxide - Part II: Modeling and Analysis for OME₃₋₅ - <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b05577>

componenten. Het zou dan ook nuttig zijn om CO₂ onmiddellijk om te zetten tot deze belangrijke chemicaliën. Dit is vanzelfsprekend niet evident en gespecialiseerde katalysatoren dienen ontworpen te worden om de reacties te kunnen laten optreden zoals op Figuur 35. Toch zijn er nieuwe technologische ontwikkelingen die er voor kunnen zorgen dat deze reactie toch een rol kan spelen voor de productie van ethyleen en propyleen. Hieraan gekoppeld is ook de productie van plastics, aangezien deze twee moleculen de belangrijkste bouwstenen zijn voor hun productie.⁷¹



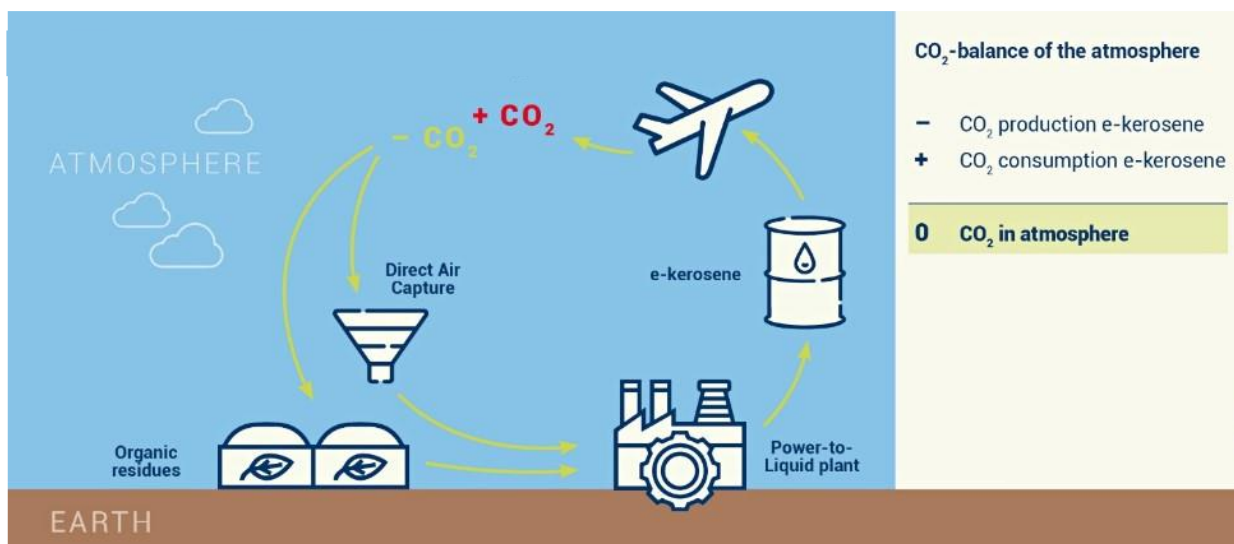
Figuur 35: Productie van belangrijks koolwaterstoffen aan de hand van complexe katalysatoren.⁷¹

E-kerosine

E-kerosine heeft het potentieel om de klimaatimpact van de luchtvaart, een van de meest koolstof intensieve sectoren, sterk te verminderen. De luchtvaart vertegenwoordigt 4.2 % van de Europese emissies. Het zou dus tot aanzienlijke verminderingen van de uitstoot kunnen leiden indien deze koolwaterstoffen als brandstoffen zouden vervangen worden door brandstoffen van hernieuwbare aard. In deze context zou e-kerosine geproduceerd kunnen worden door waterstof en CO₂ te combineren, op een gelijkaardige manier als hierboven vermeld voor de productie van andere chemicaliën.⁷² Een representatieve figuur of hoe de reductie van CO₂-concentraties in de atmosfeer zou kunnen waargemaakt worden voor kerosine is gegeven op Figuur 36. Hierbij is een belangrijke rol weggelegd voor Direct Air Capture, een technologie die op dit moment economisch onhaalbaar is.

⁷¹ Highly effective conversion of CO₂ into light olefins abundant in ethene - <https://doi.org/10.1016/j.chempr.2022.01.004>

⁷² FAQ: the what and how of e-kerosene - <https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/02/FAQ-e-kerosene-1.pdf>



Figuur 36: Methode voor het bereiken van net zero emissies in de luchtvaart.⁷³

Het probleem met e-kerosine vandaag is haar hoge prijs. In de toekomst zal de prijs kunnen gedrukt worden door de combinatie van vraag- en productiestijging. Ook de taxatie van fossiele kerosine lijkt een belangrijke rol te zullen spelen in de transitie.

7.2. CO₂ hergebruik in de staalindustrie

Staalproductie is een energie-intensief proces omdat het hoge temperaturen nodig heeft voor de omzetting van ijzererts tot staal. De energie en warmte voor de processen komt meestal van fossiele brandstoffen, waarvan kolen vandaag nog steeds het meeste gebruikt worden. Het gebruik van fossiele brandstoffen betekent dat de gemiddelde CO₂-emissies voor de productie van staal ongeveer 1.85 ton CO₂ per ton staal zijn.⁷⁴ De gecapteerde CO₂ kan omgezet worden in methanol of via dry reforming tot synthegas. Dit eerste gebeurt op een analoge manier als hierboven reeds besproken is. Uiteraard dient de CO₂ wel afgescheiden te worden van de gasstroom (voornamelijk CO₂, CO, H₂ en N₂) die de hoogoven verlaat.

Dry reforming

Dry reforming is een van de technologieën die de goedkope stroom aan CO₂ zou kunnen valoriseren en tegelijk de koolstof-intensiteit van productieprocessen verminderen. Voor dit proces wordt er gebruik gemaakt van methaan om reactie (2) te realiseren. Aangezien methaan een goedkope bron van energie was en ze uitbundig beschikbaar was, was dit proces zeer populair voor de productie van syngassen voor de staalindustrie. Met de stijgende prijzen door de crisis is de competitiviteit van dit

⁷³ The atmosfair fairfuel standard – atmosfair - <https://fairfuel.atmosfair.de/en/the-atmosfair-fairfuel-standard/>

⁷⁴ *Cleaning up the steel industry: Reducing CO₂ emissions with CCUS – Carbon Clean*

proces sterk verminderd.⁷⁵ Toch wordt dit proces nog uitbundig gebruikt voor de productie van synthesegas en kan het een groot deel van de CO₂-stroom verwerken in de staalindustrie.



Super dry reforming

Een verbetering op de conventionele dry reforming technologie is super dry reforming (SDR). Door de combinatie van drie bestaande processtappen (CH₄ reforming, CO₂ captatie door een sorbent, en CO₂ conversie over een zuurstofdrager) kon de CO₂ conversie per molecule methaan verdrievoudigd worden. Zo zal voor de industrie SDR een belangrijke optimalisatie zijn voor de verwerking van CO₂-stromen.⁷⁶ Het product is enkel CO wat hergebruikt kan worden in een hoogoven. In deze context wordt er dikwijls verwezen naar de ‘LanzaTech’ technologie, waarbij CO wordt omgezet naar ethanol, zie ook eerder.

Enzymatische omzetting

In de natuur is de fixatie/conversie van CO₂ naar organisch materiaal een voorwaarde voor het onderhouden van levende organismen en zet zo een startpunt tot evolutie. Zowel planten als micro-organismen kunnen CO₂ opvangen en omzetten tot de nodige bouwstenen om hun leven te kunnen onderhouden. Maatschappelijk kunnen zulke enzymen gebruikt worden voor de omzetting van CO₂ tot koolwaterstoffen die een toegevoegde waarde hebben op de wereldmarkt. Er zijn meerdere mechanismen die plaatsvinden in enzymatische cellen om CO₂ om te zetten tot koolwaterstoffen, elk met hun eigen functie. Zo kan men koolwaterstoffen produceren met minimale energie-input, aangezien de organismen zelf de CO₂ verwerken. Een nadeel aan zulke processen is hun capaciteit. Er zijn grote installaties nodig om tot schalen te komen die enige impact zouden creëren.⁷⁷

7.3. CO₂ gebruik in 2035 en 2050

Er zijn de laatste jaren verschillende projecten voorgesteld voor toekomstige implementatie van CCU-technologieën in Vlaanderen en Europa. Zo was er het demonstratieproject North-C-methanol in de haven van North Sea Port Gent op grote schaal een hernieuwbare methanol synthese proces aan het ontwerpen, te bouwen en uit te baten. Electrabel zou verantwoordelijk zijn voor de waterstof productie op grote schaal (63 MWe electrolyser) uit hernieuwbare energie. De hernieuwbare

⁷⁵ Review on dry reforming of methane, a potentially more environmentally-friendly approach to the increasing natural gas exploitation - <https://doi.org/10.3389/fchem.2014.00081>

⁷⁶ <https://northccuhub.eu/super-dry-reforming-a-champion-technology-for-co2-conversion/>

⁷⁷ Enzymatic conversion of carbon dioxide - [10.1039/c5cs00182j](https://doi.org/10.1039/c5cs00182j)

waterstof zou gebruikt worden om duurzame methanol te synthetiseren met van grote lokale emitterende industrieën afgevangen CO₂. Het voorliggende demonstratieproject is een eerste stap in een ruimere North-CCU-Hub strategie en zal de verdere opschaling van het project en de replicerbaarheid op andere locaties voorbereiden. Het project is nog steeds actueel, waarbij er actief naar mogelijke financiering wordt gezocht.

Een ander sterk gelijkend initiatief dat wat verder lijkt te staan in de ontwikkeling is het demonstratieproject Power-to-Methanol Antwerp, een formele samenwerking van meerdere industriële actoren in de haven van Antwerpen. Het objectief van Power-to-Methanol bestaat erin om op flexibele wijze hernieuwbare e-methanol te produceren uit variabele hernieuwbare energiebronnen op basis van door directe hydrogenatie van gerecycleerde koolstofdioxide van grote lokale emitterende industrieën afgevangen CO₂. Hiertoe wordt enerzijds restwaterstof uit de cluster gerecupereerd, anderzijds via elektrolyse eigen hernieuwbare waterstof geproduceerd. Het demonstratieproject tracht innovatie en uitzicht op economische levensvatbaarheid te combineren op een voor een industrieel demonstratieproject haalbare schaal en dit vooral dankzij de synergie met de bestaande Vlaamse logistieke en chemische cluster, op een wijze die industrieel matuur is en klaar voor de markt.

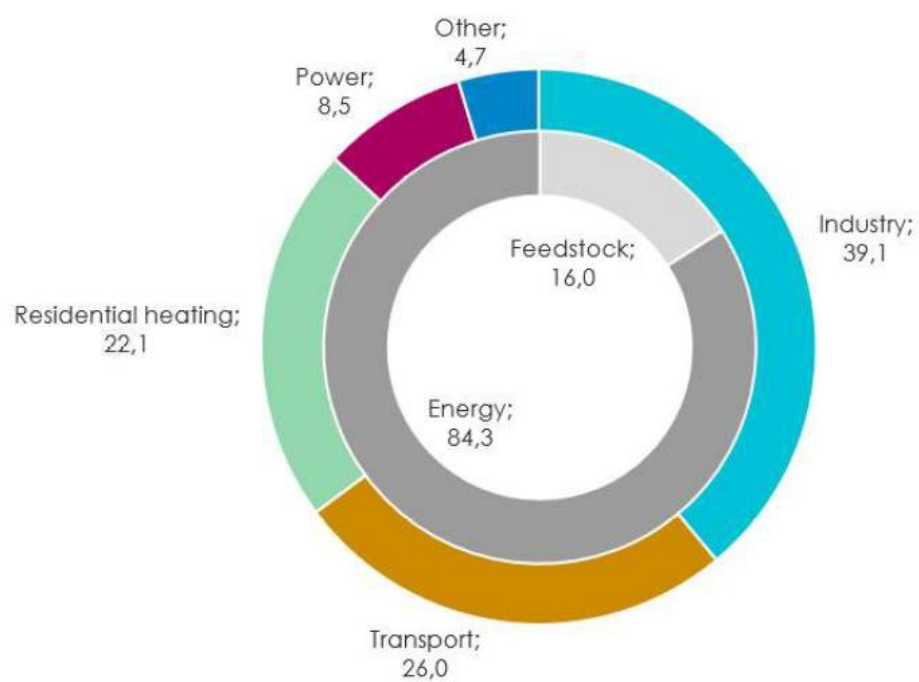
Er zijn dus vele mogelijkheden voor het gebruik van CO₂ en de eerste stappen tot het bereiken van de circulaire koolstofeconomie zijn al gezet. Het succes van deze projecten, gelijkaardige Europese initiatieven en de beschikbaarheid van goedkope waterstof zullen de belangrijkste elementen zijn of CCU in onze regio belangrijk wordt. Op dit moment is het moeilijk om hierover een voorspelling te doen, maar de bijdrage van CCU in 2035 lijkt beperkt te zullen zijn. Dit is omdat de beperkte beschikbaarheid van hernieuwbare energie eerst moet gebruikt worden waar de grootste impact kan gemaakt worden. Hernieuwbare energie wordt daarbij best in eerste instantie ingezet voor elektriciteitsproductie en transport.

8. CO₂ transport tussen Vlaamse, Noord-Franse en Nederlandse zeehavens, de industriële cluster rond Luik, Chemelot in Nederland en het Ruhrgebied

Het belang van CO₂ te transporteren tussen producenten, consumenten en opslagplaatsen wordt dus cruciaal. Voor zowel de opslag van CO₂ als het gebruik voor het produceren van chemicaliën is het belangrijk dat het transport op een duurzame en veilige manier gebeurt. Het vervoer van CO₂ via pijpleidingen is vergelijkbaar met het vervoer van brandstoffen zoals aardgas en olie; het vereist aandacht voor het ontwerp van de pijpleiding, bescherming tegen corrosie, controle op lekken, en beveiligingen tegen overdruk. Ook CO₂ transport per boot is mogelijk en het eerste commerciële project werd recent aangekondigd.

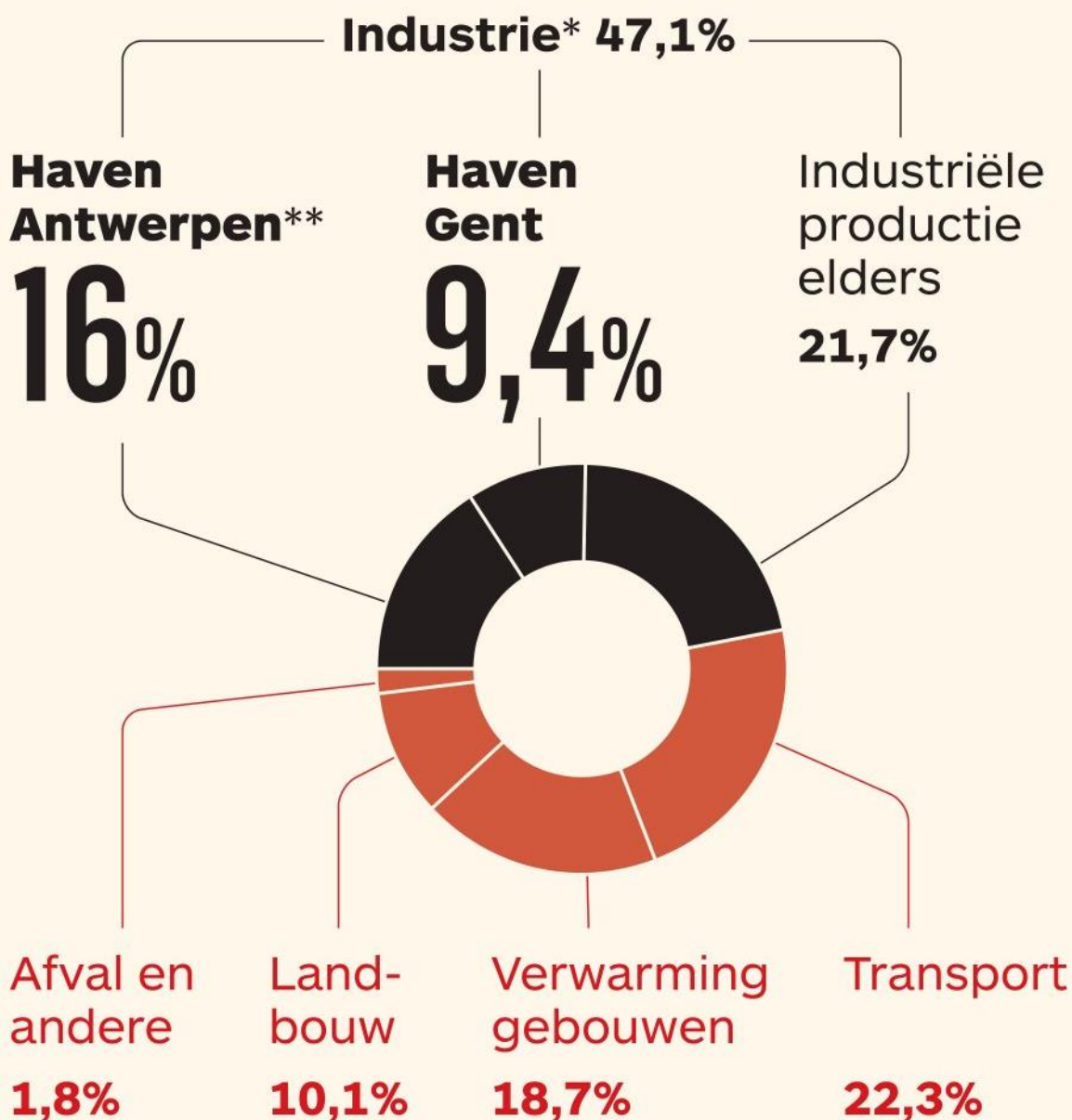
In 2018 bedroeg de totale CO₂-uitstoot in België 100,3 miljoen ton (zonder LULUCF). De CO₂-uitstoot is gekoppeld aan het energie- en grondstofgebruik wordt weergegeven op Figuur 37. Zoals te zien is het merendeel van de uitstoot toegeschreven aan de industrie, gevolgd door vervoer en huishoudelijke verwarming. Een netwerk dat de CO₂ bronnen met de locaties van CO₂-opslag en -gebruik zou verbinden, maakt de ontwikkeling van technologieën voor CCS en CCU mogelijk. CO₂-liquefactionsterminals kunnen nodig zijn om CO₂ te vervoeren naar opslagplaatsen.⁷⁸ Uiteindelijk zullen in de toekomst pijpleidingen in Vlaanderen het meest waarschijnlijke transportmedia zijn door hun voordelen zoals besproken in sectie 1. Maar een groot deel van de geplande infrastructuur moet nog gebouwd worden en een graduele transitie zal plaatsvinden eerst op nationaal, en daarna op internationaal niveau. In Vlaanderen zullen de pijpleidingen eerst industriële clusters verbinden met de meeste capaciteit en vraag naar CO₂-stromen, waarna de meer afgelegen gebieden verbonden zullen worden voor optimale integratie en versterking van de economische positie van België en haar havens. Inderdaad, havens en de industriële clusters er rond zullen een sterke invloed hebben op de klimaattransitie door het grote potentieel aan CO₂-afvang zoals geïllustreerd op Figuur 38. In wat volgt zal de transitie en de geplande CO₂-stromen op nationaal en internationaal niveau besproken worden.

⁷⁸ *Indicatief investeringsplan Fluxys Belgium & Fluxys LNG 2021-2030*



Figuur 37: Belgische CO₂-uitstoot gekoppeld aan energie- en grondstofgebruik per sector in Mt (2018).⁷⁸

Belgische CO₂-uitstoot in 2019
(116,7 miljoen ton in totaal)

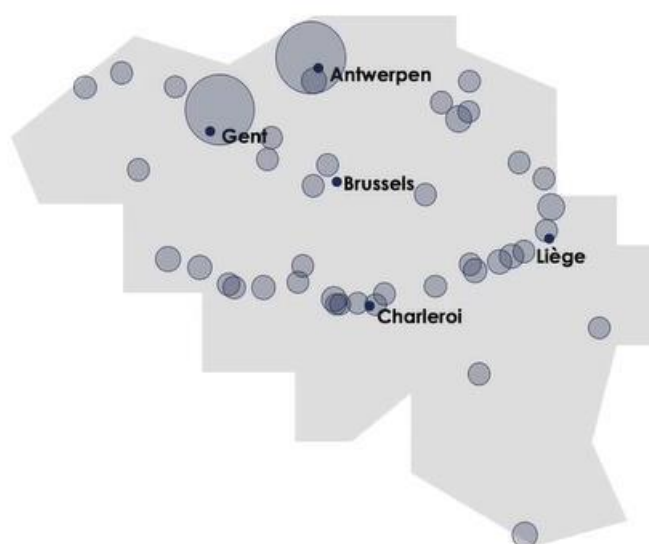


Bron: klimaat.be, Port of Antwerp, North Sea Port
*inclusief elektriciteitsproductie **cijfer 2017

Figuur 38: Het potentieel voor havens om CO₂ af te vangen.⁷⁹

8.1. CO₂-stromen in België

Om aan CCS of CCU te kunnen doen is het belangrijk dat de grote CO₂ puntbronnen verbonden worden. Daarom is een transportnet dat de industriële clusters zoals weergegeven op Figuur 39 met elkaar connecteert op korte termijn van belang. In eerste instantie is de ontwikkeling van lokale clusters nodig (2025), waarna de lokale clusters met elkaar verbonden kunnen worden (2030) en finaal een matuur CO₂- en waterstofnetwerk moet doorgevoerd worden. De transitie naar een matuur netwerk in België is weergegeven op Figuur 40. Deze netten verbinden de voornaamste regio's met verbruik en productie van waterstof en zijn verbonden met de verschillende aangrenzende markten. De nieuwe infrastructuur is een combinatie van hergebruikte aardgasleidingen en nieuwe leidingen.

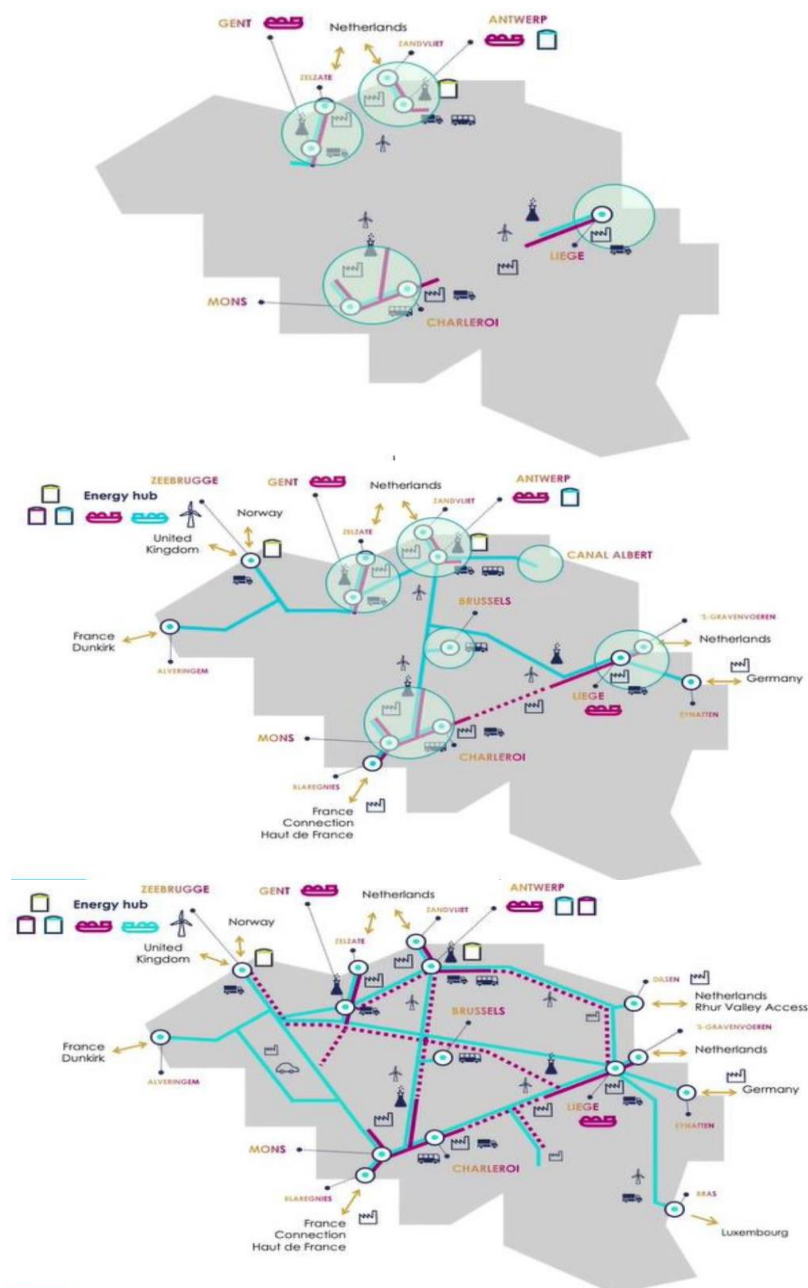


Figuur 39: Industriële clusters en bedrijven in België.²⁸

Dit net creëert verbindingen tussen de havens van Antwerpen en Gent, de terminal van Zeebrugge, de industriezones van Henegouwen, Luik en Limburg en met Brussel. Deze backbone is ook geconnecteerd met onze buurlanden: Nederland, Duitsland, Frankrijk en Luxemburg. Een verbinding met het Verenigd Koninkrijk is eveneens mogelijk via Zeebrugge. Daarenboven biedt de terminal van Zeebrugge mogelijkheden voor H₂- /CO₂-invoer en -uitvoer, bijvoorbeeld in vloeibare vorm. De H₂-backbone maakt het transport van waterstof tussen de industriële clusters in België en waterstofinvoer en -uitvoer mogelijk. Via meerdere connectiepunten zouden de producenten, vervoerders en eindklanten in staat moeten zijn waterstof uit te wisselen op een groeiende markt in

⁷⁹ *Havens zien groot potentieel voor CO₂-afvang – klimaat.be – Port of Antwerp – North Sea Port – <https://www.tijd.be/app/carousel1/het-co-moet-naar-waar-het-vandaan-komt-de-grond-in/10300811>*

Europa, ondersteund door een liquide handelsmarkt. De CO₂-backbone vult de waterstof-backbone aan. Hij maakt het mogelijk CO₂ te vervoeren die is afgevangen van de belangrijkste puntbronnen. Op grotere schaal zullen moeilijk te decarboniseren industriële processen baat hebben bij een vervoersinfrastructuur waarmee het uitgestoten CO₂ verzameld en hergebruikt wordt in een ander industrieel proces of uitgevoerd kan worden naar een opslagplaats. De H₂-/CO₂-backbone zal een belangrijk element zijn van de decarbonisering van het Belgische energiesysteem. Hij zal enerzijds de bevoorrading van waterstof (dat geleidelijk geproduceerd zal worden uit hernieuwbare energie) mogelijk maken en anderzijds het vervoer van CO₂ realiseren, dat is afgevangen van moeilijker te decarboniseren industriële processen.



Figuur 40: Ontwikkeling van een CO₂- en waterstof-transportnet in België op korte en lange termijn. Blauw = waterstof, paars = CO₂; (a) Ontwikkeling van transportnet in lokale clusters (2025); (b) Connecteren van lokale clusters met elkaar (2030); (c) Ontwikkeling van een matuur transportnet met volledige connectie (2050).²⁸

8.2. CO₂ stromen tussen Vlaanderen en Noorwegen

Vlaanderen is momenteel sterk afhankelijk van Nederland voor de export van haar CO₂ voor CCS en andere toepassingen. Het is daarom van belang dat er ook een connectie gemaakt wordt met andere landen. In deze context heeft Fluxys samen met het Noorse Equinor plannen bekend gemaakt om een 1000 km lange pijpleiding vanuit Zeebrugge te plaatsen voor het opslaan van afgevangen CO₂ onder de Noorse zeebodem. Hierbij zal niet enkel de Belgische CO₂ afgevoerd worden, maar zal Zeebrugge

als een inzamelpunt voor CO₂ uit de Europese industrie dienen. Het project zit momenteel in de fase van de haalbaarheidsstudie, maar een investeringsbeslissing wordt tegen 2025 verwacht.

Terwijl Zeebrugge het centrum zal zijn voor CO₂-afvoer, wordt ook gedacht aan leidingaftakkingen naar de haven van Duinkerke en extra Noordwest-Europese verbindende. Voor 2030 willen Fluxys en Equinor hun CO₂-infrastructuurproject, zoals geïllustreerd op Figuur 41, gebruiksklaar hebben om in te spelen op de CCS-vraag van de industrie.^{80,81}



Figuur 41: Transportnet tussen Zeebrugge en Noorwegen.⁸¹

De pijpleiding zou 1 miljard euro kosten, en Fluxys plant jaarlijks 17 miljoen ton CO₂ af te voeren. De maximale capaciteit zal 40 miljoen ton per jaar zijn. De capaciteit van de gasvelden in Noorwegen zijn 80 miljard ton, wat betekent dat er genoeg capaciteit is voor lange termijn.

8.3. CO₂ stromen tussen Vlaanderen en Nederland

In Europa is Rotterdam een voorloper in CO₂-opslag. Het havenbedrijf richtte enkele jaren geleden het Porthos-project op, samen met de Nederlandse gasnetbeheerders Gasunie en EBN het consortium bouwt een pijpleiding van 32 kilometer in de Rotterdamse haven waarop bedrijven kunnen aansluiten. Op kruissnelheid zal de leiding elk jaar 10 miljoen ton afgevangen CO₂ naar een oud gasveld vervoeren, 21 km in zee. Tegen 2024 moet het operationeel zijn. Ook de Antwerpse haven bleek geïnteresseerd te zijn in het Nederlandse project, maar door de aankondiging van Fluxys zoals besproken in sectie 8.2, is de interesse niet meer zeker.⁸⁰ Van de ruim 18 miljoen ton CO₂ die jaarlijks in het Antwerpse havengebied wordt uitgestoten, kan ongeveer de helft worden afgevangen tegen 2030. De mogelijke infrastructuur is geïllustreerd op Figuur 42.

⁸⁰ Fluxys investeert fors in CO₂-leiding van Zeebrugge naar Noorwegen – Tom Michiels – 2022 - <https://www.tijd.be/ondernemen/milieu-energie/fluxys-investeert-fors-in-co2-leiding-van-zeebrugge-naar-noorwegen/10399130.html>

⁸¹ Zeebrugge centrale as Europese CO₂-snelweg naar Noorwegen – Roel Jacobus – 2022 - Zeebrugge centrale as Europese CO₂-snelweg naar Noorwegen | Flows



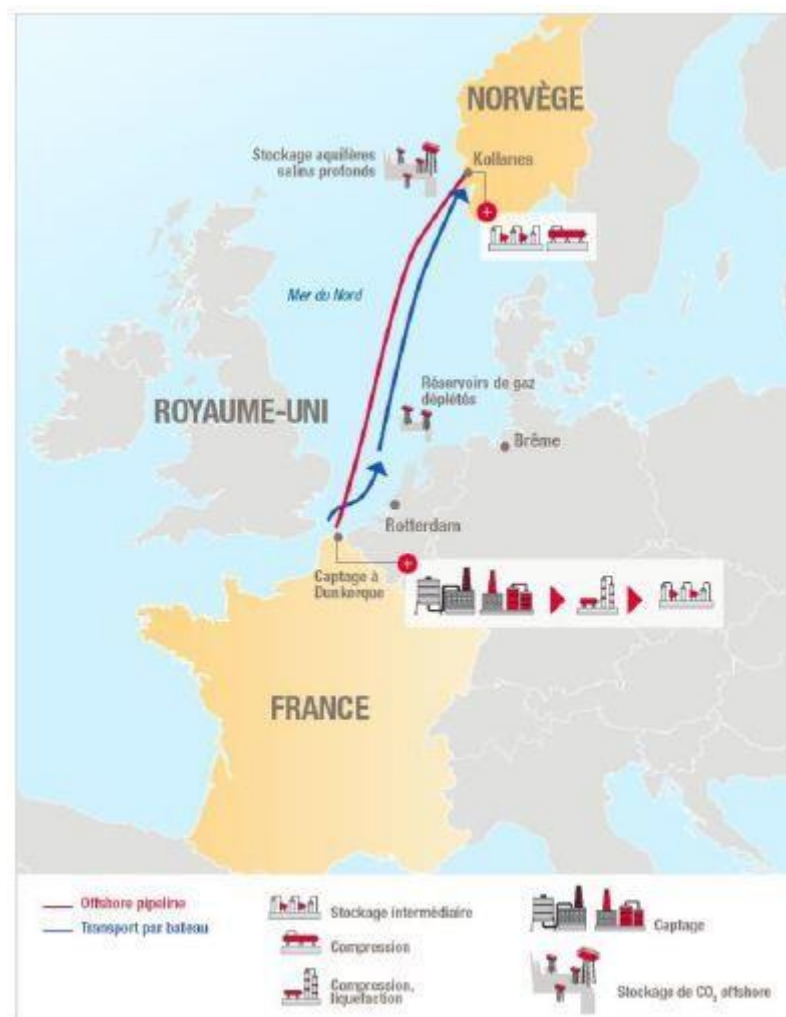
Figuur 42: Netwerk van pijpleidingen voor het afvangen en transporteren van CO₂ naar Nederland.⁸²

8.4. CO₂ stromen tussen Vlaanderen en Frankrijk

Voor transport tussen Frankrijk en Vlaanderen zijn er geen directe routes voorgesteld tot op heden. In Frankrijk is echter het 3D project van start gegaan, een samenwerking tussen ArcelorMittal, Axens, l'IFPEN en Total. Hierbij zouden ze CO₂ kapteren en via pijpleidingen en schip transporteren naar Noorwegen voor onderzeese opslag van CO₂. Aangezien het zou gelokaliseerd zijn in Duinkerke,

⁸² 'Het CO₂ moet naar waar het vandaan komt: de grond in' – Tobe Steel – 2021 - <https://www.tijd.be/app/carousel1/het-co-moet-naar-waar-het-vandaan-komt-de-grond-in/10300811>

zoals weergegeven op Figuur 43, is de afstand tot de Vlaamse industrie klein. Met de plannen voor de uitrol van een waterstofleidingnetwerk tussen Frankrijk en België, zou in een later stadium ook een leiding voor CO₂ tussen de twee landen kunnen overwogen worden.⁸³



Figuur 43: Connectie tussen Frankrijk en Noorwegen voor het 3D-project.⁸⁴

⁸³ Gasinfrastructuurbedrijven Fluxys en GRTgaz bouwen samen eerste waterstofleiding tussen België en Frankrijk - Laurens Bouckaert – 2022 - <https://businessam.be/gasinfrastructuurbedrijven-fluxys-en-grtgaz-bouwen-samen-eerste-waterstofleiding-tussen-belgie-en-frankrijk/>

⁸⁴ ArcelorMittal, Axens et Total s'attaquent au CO₂ industriel – Myrtille Delamarche – 2019 - <https://www.usinenouvelle.com/article/arcelormittal-axens-et-total-s-attaquent-au-co2-industriel.N848705>

9. E-energiedragers

Zoals besproken in sectie 3.2 is het transport van waterstof niet eenvoudig. Extreme condities zijn nodig voor het vloeibaar maken van waterstof, waardoor alternatieven verkend dienen te worden voor langeafstand transport. In deze context kan waterstof omgezet worden tot andere energiedragers, zoals ammoniak, methanol, en andere chemicaliën. Elk van deze opties heeft haar voordelen, en mogen niet uitgesloten worden van het toekomstperspectief. E-brandstoffen worden geproduceerd aan de hand van hernieuwbare energie, water en CO₂ uit de lucht. In tegenstelling tot andere brandstoffen wordt er geen additionele CO₂ geëmitteerd bij hun verbranding. Dankzij de comptabiliteit met interne verbrandingsmotoren zouden deze brandstoffen op een klimaatvriendelijke manier de fossiele grondstoffen van vandaag kunnen vervangen. Bovendien kunnen e-brandstoffen of e-chemicaliën ook makkelijk opgeslagen worden en getransporteerd worden over lange afstand zonder energieverliezen. Ze lossen zo ook een groot deel van de energietransitie op.⁸⁵ In wat volgt worden de belangrijkste e-brandstoffen in meer detail besproken.

9.1. Ammoniak

Ammoniak is een van de eerste energiedragers die in de picture komt voor toekomstig transport van hernieuwbare energie over lange afstanden. Bestaande pijpleidingen van duizenden kilometers lang in onder andere de VS tonen aan dat dit op een veilige en kosten-efficiënte manier kan.⁸⁶ Ammoniak heeft een energiedensiteit die 3 keer zo hoog is als die van gecomprimeerde waterstof, het kan langdurig hernieuwbare energie opslaan, kan aangewend worden als brandstof voor brandstofcellen, en kan ingezet worden als industriële energiebron. Het heeft dus een serie aan voordelen t.o.v. waterstof.⁸⁷

Het belang van ammoniak als een mogelijke energiedrager en pijpleiding-medium voor de chemische industrie in Europa is nog onzeker. Door de hogere energiedensiteit en mildere transportcondities van ammoniak is het een geprefereerde energiedrager voor langeafstand transport van door hernieuwbare energie geproduceerde waterstof. Zo kan ze tot in de terminals in de havengebieden getransporteerd worden. Hierna zal dan mogelijks het terug in waterstof moeten omgezet worden in de terminals binnen de EU.

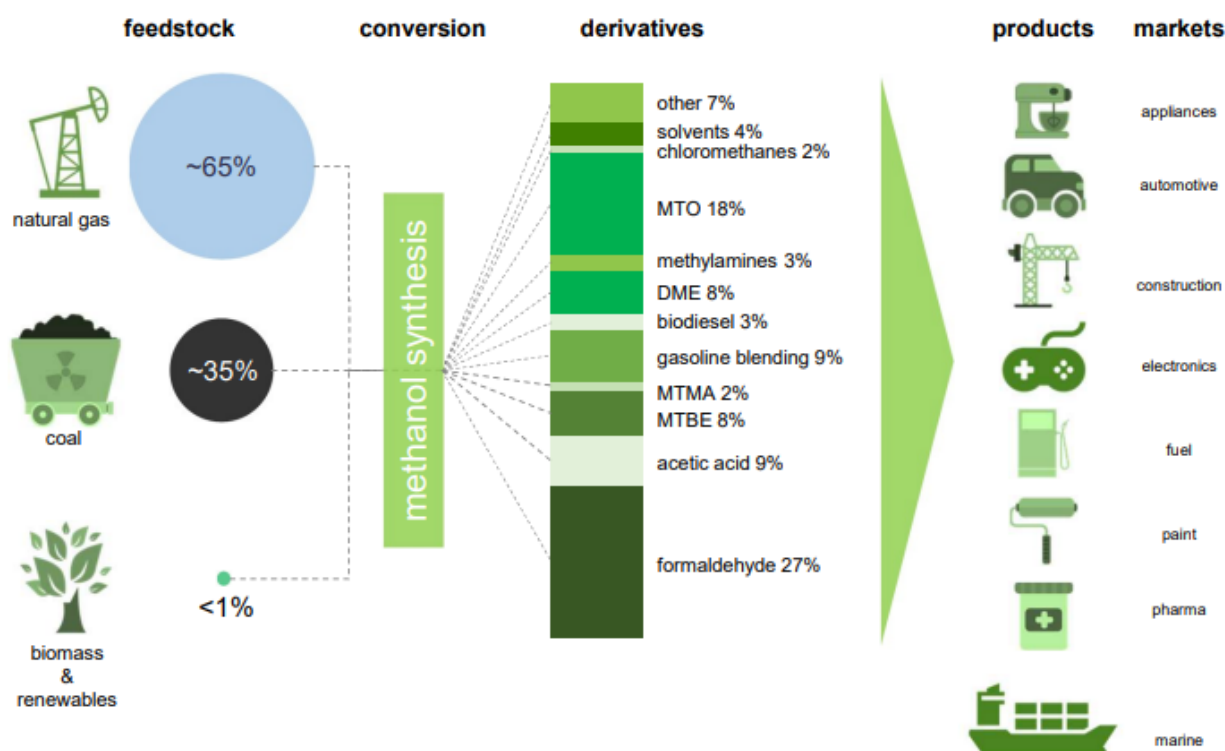
⁸⁵ *eFuels: Sustainable in two ways* - <https://www.efuel-alliance.eu/efuels#:~:text=Everything%20about%20eFuels-What%20are%20eFuels%3F,the%20way%20to%20climate%20neutrality>.

⁸⁶ *Alternatives to Electricity for Transmission, Firming Storage, and Supply Integration for Diverse, Stranded, Renewable Energy Resources: Gaseous Hydrogen and Anhydrous Ammonia Fuels via Underground Pipelines* - 10.1016/j.egypro.2012.09.040

⁸⁷ *Green Ammonia – Potential as an Energy Carrier and Beyond – Louis Brasington – 2019* - <https://www.cleantech.com/green-ammonia-potential-as-an-energy-carrier-and-beyond/#:~:text=Ammonia%20has%20nine%20times%20the,starting%20to%20gain%20traction%20globally>.

9.2. Methanol

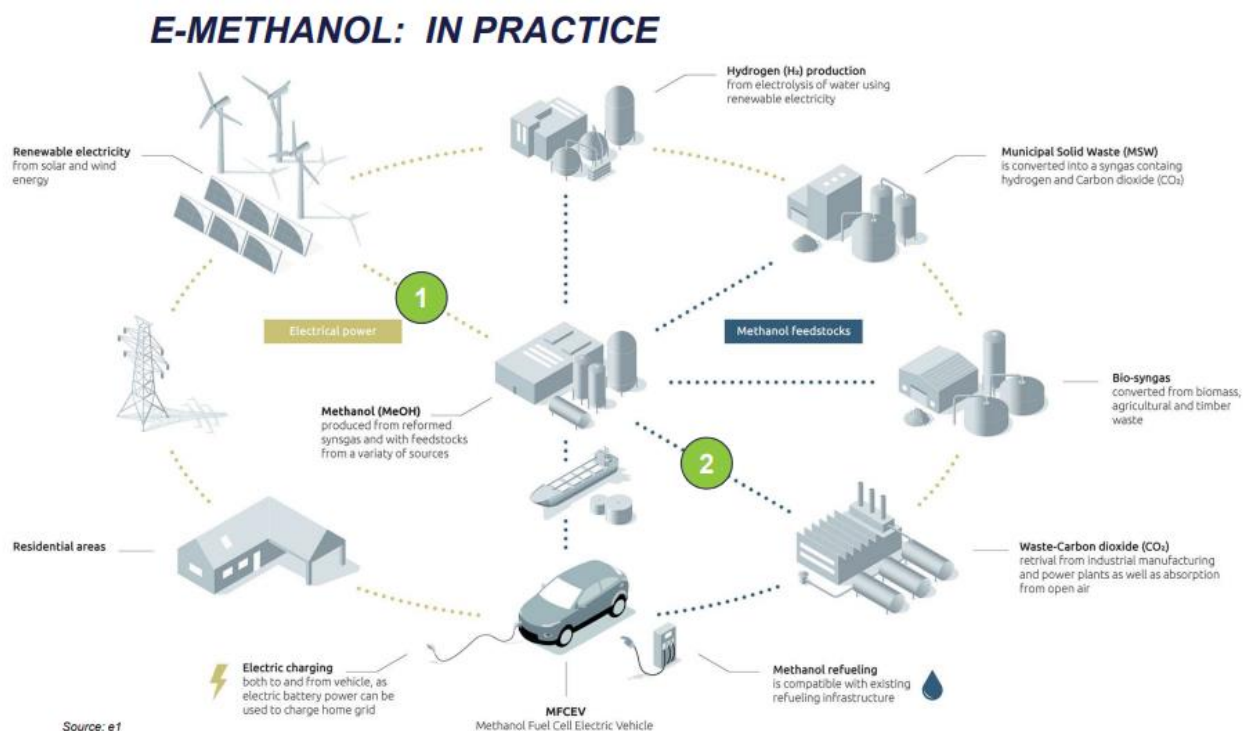
Methanol zou voor de toekomst een belangrijke energiedrager kunnen betekenen. Het heeft een breed toepassingsgebied in maritieme applicaties, als brandstof, in elektronica, farmaceutische toepassingen, etc. zoals geïllustreerd op Figuur 44. Momenteel wordt methanol voornamelijk uit kolen en aardgas geproduceerd, maar met de stijgende trend in waterstofproductie zal het aandeel aan door bio- en hernieuwbare bronnen geproduceerde methanol stijgen.



Figuur 44: Brede productiemogelijkheden en toepassingsgebied van methanol.⁸⁸

Methanol heeft een aantal voordelen dat haar als toekomstige energiedrager doet uitblinken. Ten eerste heeft methanol op volume-basis ongeveer een zes maal hogere energiedensiteit dan waterstof op 350 bar. Hiernaast is het een kosten efficiënte en ‘future proof’ brandstof die uit meerdere hernieuwbare grondstoffen kan geproduceerd worden zoals geïllustreerd op Figuur 45. Een additioneel voordeel is dat de technologie om methanol te verwerken al lange tijd gekend is, en hierdoor het vertrouwen in de technologie hoog is. Hierdoor zal de kost om bestaande technologieën om te vormen om e-methanol te kunnen verwerken laag zijn.⁸⁸

⁸⁸ Methanol institute - <https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2019/09/Methanol-as-a-vessel-fuel-and-energy-carrier.pdf>



Figuur 45: Productie van e-methanol in de praktijk en haar potentiële eindtoepassingen.⁸⁸

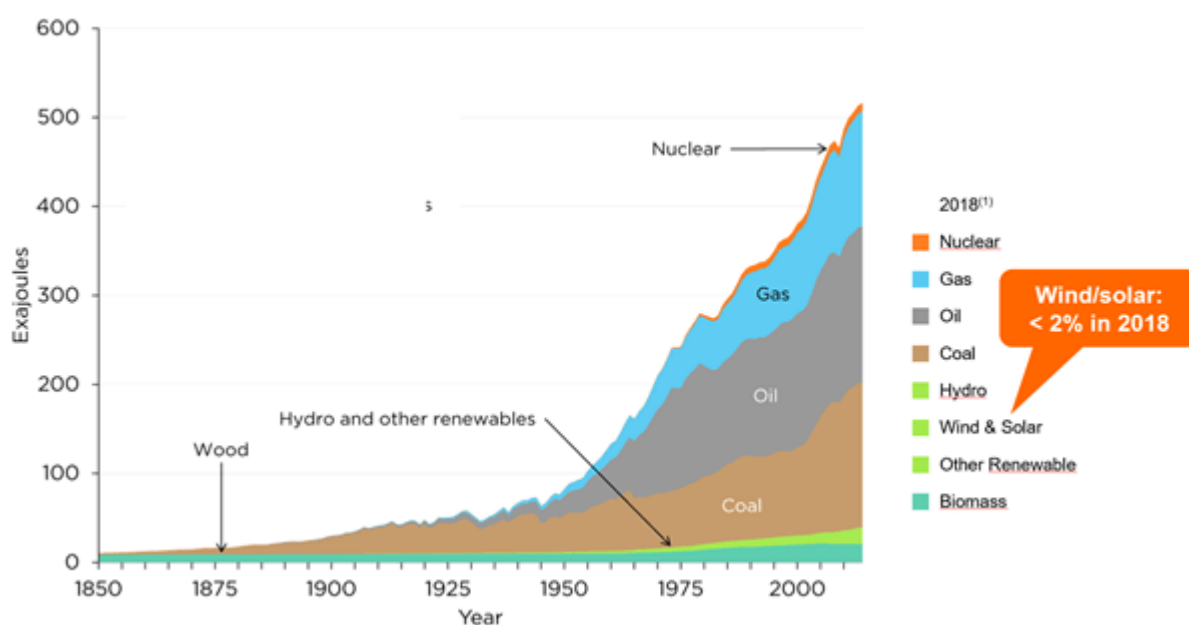
9.3. Andere

Ook andere e-fuels kunnen in de toekomst een alternatief bieden voor de fossiele brandstoffen. De belangrijkste alternatieven zijn DME en Oxymethylene ethers, zoals besproken in sectie 7.1, maar ook mierenzuur kan aan belang winnen voor productie op kleine schaal zoals blijkt uit een recente studie. Deze techno-economische studie toont aan dat mierenzuur de enige groene energiedrager is die goedkoper geproduceerd kan worden dan haar fossiele tegenhanger, en dat het bovendien ook een veilige energiedrager is. Het wordt geproduceerd aan de hand van een elektrolyseproces, maar de productie zal in de toekomst geoptimaliseerd moeten worden om competitief te blijven met alternatieven. Hierdoor zou het op lange termijn ook op grote schaal competitief kunnen zijn.⁸⁹ Merk op dat elk van de bovenvermelde alternatieven voor- en nadelen hebben. Op termijn zal de optie uitgerold worden die het meest economisch, milieuvriendelijk en schaalbaar is.

⁸⁹ *Identifying a Path to Realize the Green Hydrogen Economy: Solving Supply Chain Techno-economic and Policy Challenges - Bradie S. Crandall - 2022*

10. De huidige en toekomstige energiemix

De wereldbevolking viert langzaamaan haar 8 miljardste lid. Op Figuur 46 is de historische trend van het globale energieverbruik te zien tot op 2018. Het mag duidelijk zijn dat zowat 80 % van de energie van fossiele aard afkomstig is, en dat hernieuwbare energiebronnen minder dan 2 % dan de totale voorziening aan energie uitmaakten in 2018. In de komende jaren zullen 3 miljard hoofden bijkomen tot de energievoorziening markt. Hierdoor zal de vraag naar energiebronnen nog sterker stijgen en moeten er oplossingen gevonden worden voor de uitputbare fossiele bronnen. De voornamelijk fossiele energiemix van de afgelopen jaren zal gradueel moeten overgaan naar een energiemix van hernieuwbare aard.⁹⁰



Figuur 46: Historische trend van de globale energiemix tot 2018.⁹⁰

In de toekomst zal er een nieuwe revolutie vereist zijn, een soort ‘hernieuwbare energie revolutie’ om de huidige levensstandaarden te kunnen behouden. Klimaatopwarming en de veroudering van bestaande centrales verplichten de EU en andere landen om hun energiebeleid aan te passen.⁹¹ In deze context is het belangrijk te begrijpen hoe zo’n overgang kan plaatsvinden en wat de toekomst te bieden heeft. In wat komt zal de toekomstige energiemix beschouwd worden op zowel korte als lange termijn.

⁹⁰ Can renewable energy sources supply the world with a large share of the energy it requires? - <https://musica-project.eu/can-renewable-energy-sources-supply-the-world-with-a-large-share-of-the-energy-it-requires/>

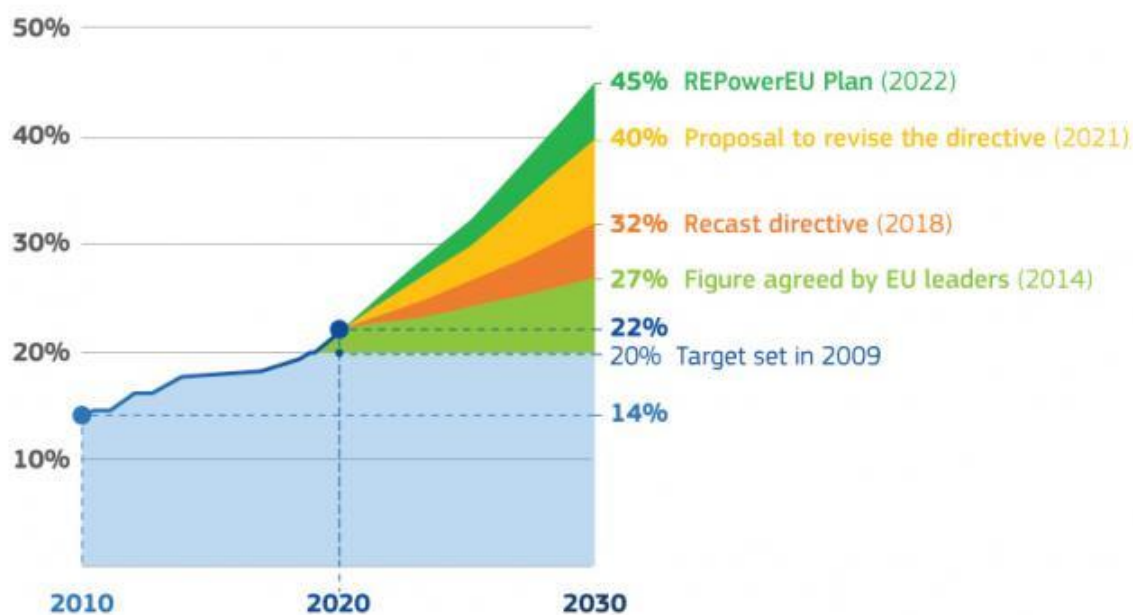
⁹¹ EU Energy Outlook 2050 – how will Europe evolve over the next 30 years? – Carlos Perez-Linkenheil – 2019 - <https://blog.energybrainpool.com/en/eu-energy-outlook-2050-how-will-europe-evolve-over-the-next-30-years-2/>

10.1. Periode 2022-2035

Het is belangrijk om in te zien dat het beleid omtrent energie continu verandert, en dat de doelstellingen ook gemodificeerd worden afhankelijk van de politieke en socio-economische situaties. Zo zijn de doelen van de EU voor 2030 wat betreft hernieuwbare energiebronnen reeds verschillende keren veranderd zoals op Figuur 47 te zien is. In 2009 werd er een doelstelling van 20 % hernieuwbare energie in de EU vastgelegd tegen 2020, dat overtroffen werd met 2 %. Door de toenemende trends in hernieuwbare energie, werd in 2014 een doel van 27 % hernieuwbare energie vastgezet voor 2030. Hierna is een nieuwe doelstelling in werking getreden in 2018 door de ‘Renewable Energy Directive’ om tot 2030 maar liefst 32 % van de energiebronnen uit hernieuwbare oorsprong te halen. Echter, door de hogere klimaatambities zoals gepresenteerd in de Europese Green Deal, had deze doelstelling een revisie nodig. Deze revisie kwam in 2021 met een verhoging van de doelstellingen tot 40 % hernieuwbare energie. Een laatste verandering in de huidige doelstellingen is gekomen door de Oekraïne-situatie, waarbij de EU haar afhankelijkheid van Russische fossiele brandstoffen wil doen afnemen, en zo de hernieuwbare transitie wil boosten. Om deze transitie sneller waar te maken zijn de doelstellingen in juli 2022 verhoogd tot 45 % hernieuwbare energie in de EU tegen 2030. Opmerkelijk is dat het om een verdubbeling gaat van hernieuwbare energiebronnen tussen 2020 en 2030. Hiervoor zal er een sterke toename moeten plaatsvinden in het plaatsen van windparken, zonnepanelen, en andere hernieuwbare energie technologieën. Uiteindelijk zou dit leiden tot 1236 GW aan productiecapaciteit in de EU van hernieuwbare bronnen.⁹²

⁹² *Renewable energy targets – European Commission - https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-targets_en*

Evolution of renewable energy targets



Figuur 47: Evolutie van hernieuwbare energietrends door beleidsbeslissingen binnenin de EU.⁹²

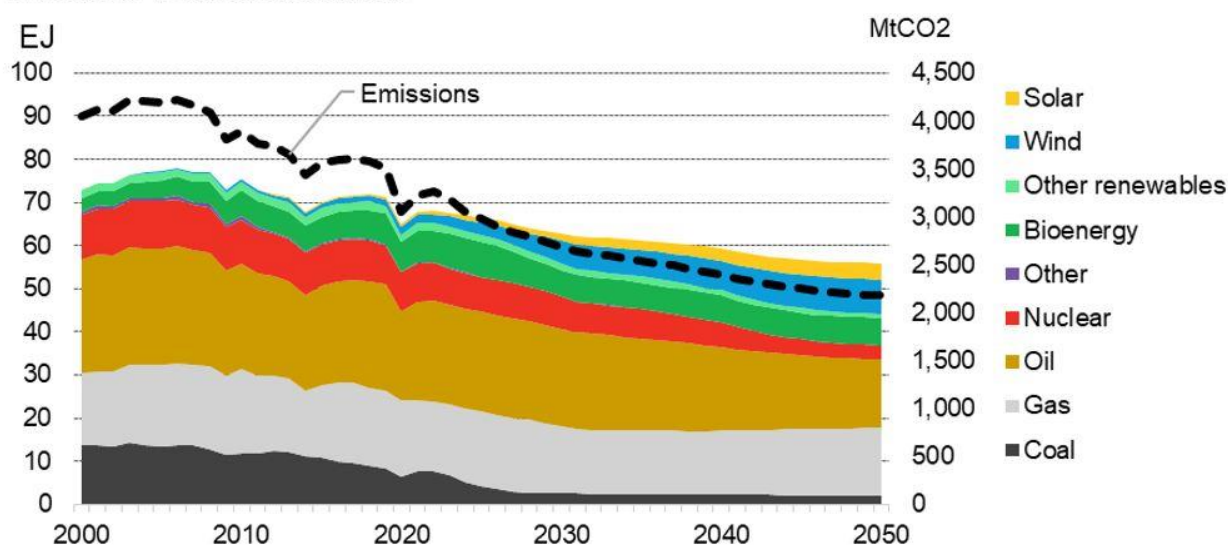
Het mag dus duidelijk zijn dat een sterke toename van hernieuwbare energiebronnen zal plaatsvinden in de komende jaren zoals aangekaart op Figuur 48.⁹³ De grootste afname in vraag naar fossiele brandstoffen zal te danken zijn aan de snelle afname van steenkool in de EU door een streng beleid. Tussen 2015 en 2030 wil de EU haar energiegeneratie van steenkool doen verminderen van 705 TWh naar 118 TWh, een reductie van 83 %. Hieraan is ook een volledige exit van Duitsland tegen 2030 voorgesteld. Hiernaast wordt verwacht dat batterijen een sterke toename zullen kennen in hun capaciteiten en efficiëntie, en door hernieuwbare energiebronnen en batterijen te combineren zal de energieproductie door aardgas dalen met 31 % tussen 2022-2030. Maar door de afname van fossiele grondstoffen zullen hernieuwbare energiebronnen moeten toenemen in capaciteit. Hierbij zullen de alternatieven die het meest economisch zijn de voortouw nemen. In deze context zal wind- en zonne-energie het sterkst toenemen, met een totaal aandeel in de energiemix van 48 % tot 2030. Om deze doelstellingen te bereiken zal de uitrol van technologieën en de toename in capaciteit van de hernieuwbare energiemarkt moeten verdubbelen over de periode van 2021-2025 vergeleken met de periode van 2016-2020, en nog eens met 60-80 % toenemen tussen 2026-2030. Ondanks al deze

⁹³ *Europe's Path to Clean Energy: A \$5.3 Trillion Investment Opportunity* - <https://about.bnef.com/blog/europes-path-to-clean-energy-a-5-3-trillion-investment-opportunity/>

maatregelen en transitie wordt verwacht dat 65 % van de primaire energiemix haar oorsprong zal vinden van fossiele aard. Hierbij zal aardgas een plateauscenario ondervinden met een 10 % aandeel in de energiemix.⁹³

Europe's Fossil Fuel Needs Drop 28% by 2050

Total primary energy by fuel and energy-related CO2 emissions, Europe, Economic Transition Scenario

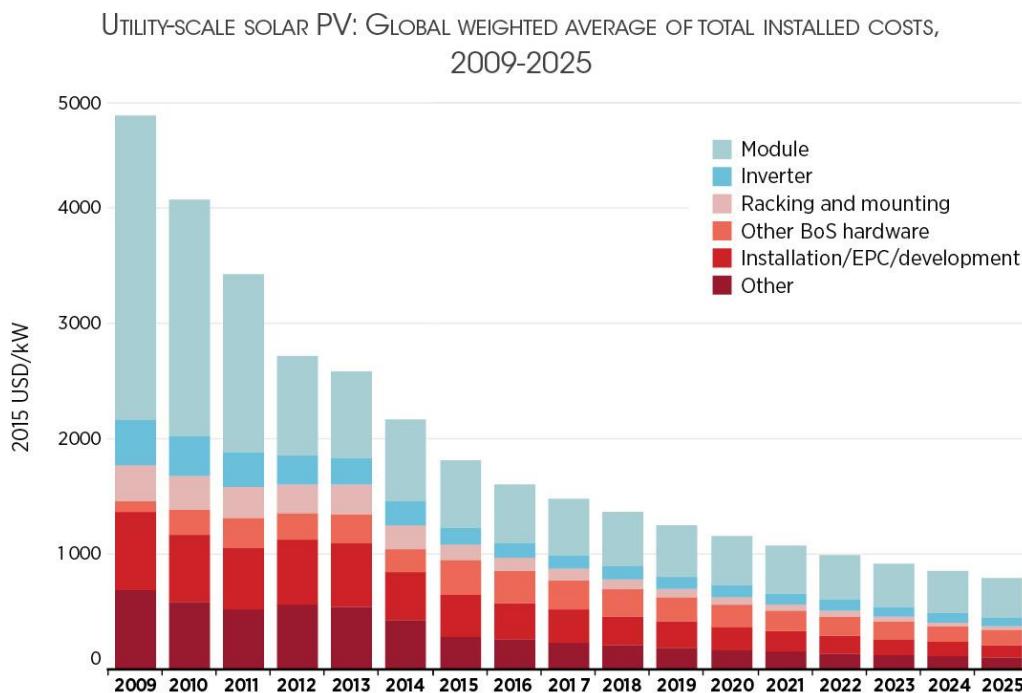


Source: BloombergNEF. Note: The Economic Transition Scenario is an economics-driven outlook on how the energy system evolves out to 2050.

Figuur 48: De evolutie van de Europese energiesector met een economisch transitie scenario.⁹³

10.2. Periode 2035-2050

De vraag naar elektriciteit zal stijgen met 24 % tegen 2050. Dit komt door een toenemend bevolkingsaantal, het meer en meer elektrificeren van huishoudens, het elektrificeren van transport etc.⁹¹ Op lange termijn zal vooral het verslijten van de huidige infrastructuur een belangrijke rol spelen in de klimaattransitie. De energiecentrales in Europa zijn doorheen de jaren geëvolueerd, maar waren voornamelijk gebaseerd op fossiele generatie capaciteiten. Vele van deze centrales hebben al een geavanceerde leeftijd bereikt, en zullen moeten vervangen worden na 2050, inclusief de nucleaire centrales.⁹¹ Voornamelijk wind- en zonne-energie zullen een groot groeipotentieel hebben voor de vervanging van de huidige infrastructuur. Deze technologieën zijn nu competitief dankzij hun sterke prijsdaling over de laatste jaren en in de toekomst zoals op Figuur 49 geïllustreerd. Er wordt verwacht dat deze technologieën 55 % van de energietoevoer zullen uitmaken in 2050.⁹¹



Figuur 49: Daling in de prijs van energie gegenereerd op basis van zonne-energie.⁹⁴

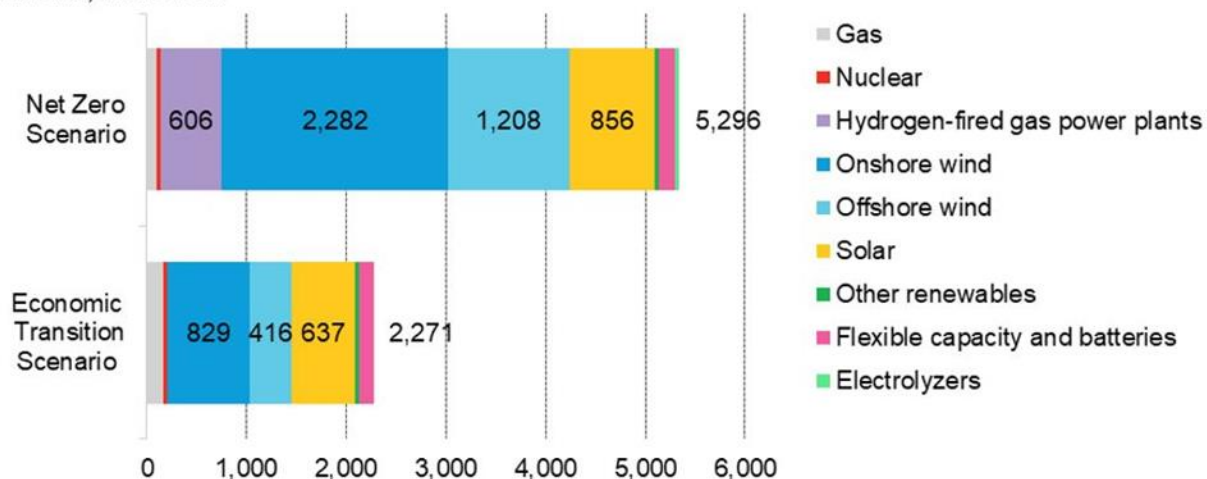
Er wordt verwacht dat 60 % van de energiemix in 2050 haar oorsprong zal vinden in fossiele bronnen. De energiesector zal een capaciteit tussen 1.8 TW en 2.5 TW aan wind- en zonne-energie bereiken tegen 2050.⁹³ Additioneel worden elektrische wagens de nieuwe trend, die de primaire olievraag in Europa zal doen dalen met 30 % tussen 2021 en 2050. Europees gasverbruik wordt verwacht te dalen met 5 % over dezelfde periode. Dit is een kleinere reductie dat te wijten is aan de moeilijke transitie voor het verwarmen van gebouwen met hernieuwbare energiebronnen en de afdanking van steenkool-gebaseerde energie.⁹³ Voor de verandering van de infrastructuur zijn natuurlijk sterke investeringen vereist. Een investeringspotentieel van 4.9 biljoen euro zal nodig zijn voor de decarbonisatie van de EU. Dit zal vooral bestemd zijn voor de productie van groene waterstof en de generatie van hernieuwbare energie zoals op Figuur 51. In een net zero scenario zal er een capaciteit van 3.9 TW aan hernieuwbare energiegeneratie zijn, met een 1 TW capaciteit aan elektrolyzers. Dit houdt een investering van 2.3-3.8 biljoen euro in voor zonne- en windenergie en 1.5 biljoen euro in groene waterstof tussen 2021 en 2050.⁹³

⁹⁴ *Dramatic Price Drops For Solar & Wind Electricity Set To Continue - IRENA - 2016* - <https://www.irena.org/newsroom/articles/2016/Jun/Dramatic-Price-Drops-For-Solar--Wind-Electricity-Set-To-Continue>

Investment into Wind and Solar Soars Under Net Zero Scenario

Cumulative investment in new electricity generating and renewable hydrogen production capacity by scenario, 2021-50

\$ billions, 2020 real



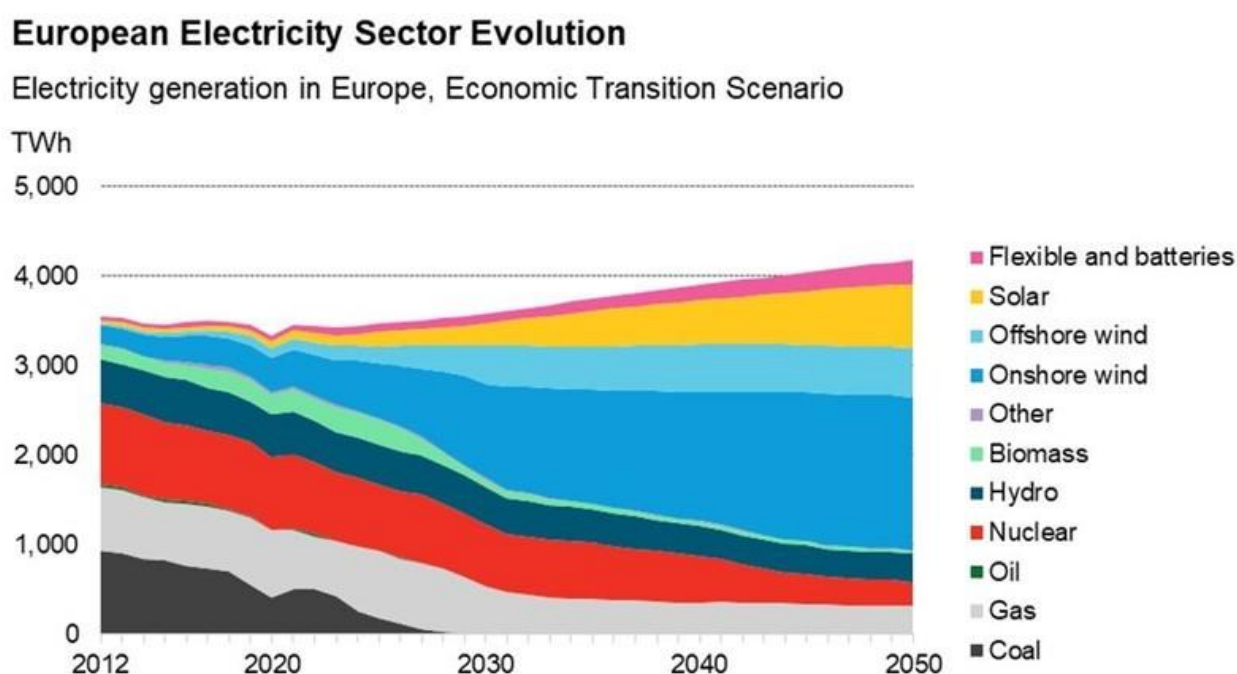
Source: BloombergNEF. Note: Solar investment includes both small-scale and utility-scale PV. Investment in upstream hydrogen production capacity is reflected in wind, solar, and electrolyzers.

Figuur 50: Investerings vereist in wind- en zonne-energie voor de groene transitie naar een hernieuwbare energiemix.

In de toekomst zullen op Europees niveau energiecentrales op gas de voornaamste bron van controleerbare capaciteit zijn dat nog steeds fossiel is. Dit is door de lagere emissies dat het met zich meebrengt vergeleken met steenkool-gebaseerde generatie. Zelfs met CCS zal het belang van steenkoolcentrales in belang afnemen in de toekomst. De capaciteit van nucleaire- en steenkool-gebaseerde energiecentrales zal met meer dan 55 % dalen in 2050. Duitsland, Frankrijk, Groot-Brittannië, Spanje, Nederland en ook België hebben aangekondigd dat ze koolstof zullen bannen in de toekomst. Hierdoor zal de capaciteit een sterke duik nemen tot ongeveer 44 % in 2030. Hiermee gaat een val in de hoeveelheid elektrische energie op basis van steenkool gepaard, dat zal dalen met 60 % tot 2030, en met 95 % tegen 2050. Hierdoor zal het aandeel aan gas-gebaseerde centrales moeten stijgen, aangezien de hernieuwbare productie niet snel genoeg zal uitgebreid kunnen worden. Deze stijging zal ongeveer 35 % inhouden. Uiteindelijk zal van de totale elektriciteitsproductie 40 % van zonne- en windenergie komen, 38 % van fossiele centrales, en de rest van hernieuwbare bronnen zoals biomassa.⁹¹In het algemeen zal het aandeel aan generatie capaciteit van controleerbare thermische energiecentrales afnemen van 50 % tot ongeveer 26 % in 2050. Dit zal een aanzienlijk effect hebben op de elektriciteitsprijzen.⁹¹ Toch is het belangrijk om het belang aan de hiervoor vermelde waterstof technologieën niet te vergeten. Een sterke defossilisatie van de Europese energiemix steunt op elektrificatie en de adoptie van groene waterstof. Een groene waterstofeconomie

heeft een goed ontwikkeld waterstof-infrastructuur nodig, met transport en opslag inbegrepen. Tot 2050 is een additionele 1.2-1.5 TW aan wind- en zonne-energie nodig om de elektrolyseprocessen te kunnen laten plaatsvinden.⁹³ Europa zal hiertoe ook 531 GW aan gasturbines installeren die compatibel zijn met waterstof.⁹³

Al deze voorspellingen tonen aan dat de energiemix sterk zal veranderen in de toekomst, en het aandeel aan hernieuwbare bronnen sterk zal stijgen. De verandering van de energiemix is ook te zien op Figuur 51.

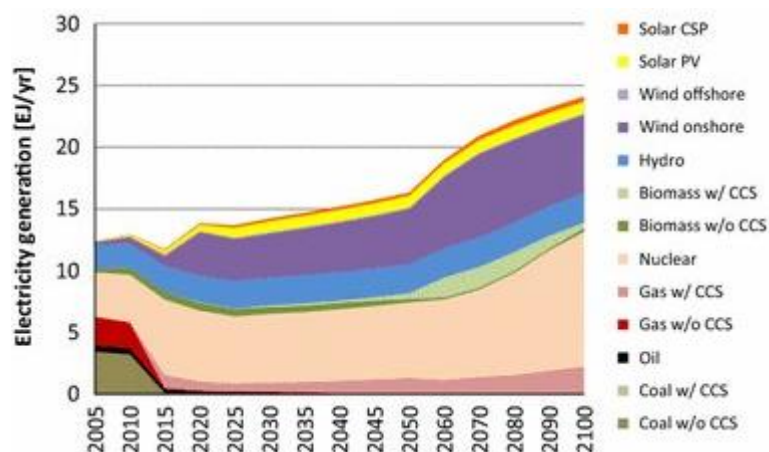


Figuur 51: De evolutie van de elektriciteitssector tot 2050 in Europa in een economische transitie scenario.⁹³

10.3. Na 2050

Dat in de toekomst sterk zal moeten ingezet worden op de defossilisatie van de energiesector is zeker. Zoals op Figuur 52 te zien, zal op lange termijn veel moeten veranderen om klimaatwarming in perken te houden. Ten eerste verdwijnen zo goed als alle technologieën zonder CCS in de toekomst en zullen ze vervangen worden door technologieën die de captatie van CO₂ wel toelaten. Ten tweede zal olie volledig uit de energiemix moeten verdwijnen. Hiernaast zal het aandeel aan hernieuwbare elektriciteit sterk toenemen. Zonne energie en windenergie zullen hierbij het grootste aandeel hebben, maar ook energie op basis van biomassa en hydroenergie zal een aanzienlijk deel van de energiemix kunnen voorzien. Nucleaire krachtcentrales zullen naar grootste waarschijnlijkheid blijven bestaan en de ‘baseload’ elektriciteit voorzien voor een min of meer beperkt deel. Hiernaast zullen gascentrales ook blijven bestaan en een deel van de energiemix voorzien.

Toch is te zien dat er een sterke verandering in de energiesector te verwachten is. Defossilisatie en zelfs een sterke decarbonisatie van de elektriciteitsgeneratie is te verwachten in de toekomst.



Figuur 52: Generatie van elektriciteit in een geval waar klimaatbeleid zou leiden tot een globaal temperatuurstijging van 1.7 graden vergeleken met pre-industriële waarden.⁹⁵

⁹⁵ *Quantifying the Ancillary Benefits of the Representative Concentration Pathways on Air Quality in Europe - Milan Ščasný – 2015 - DOI: 10.1007/s10640-015-9969-y*

11. Implicaties energietransitie op transport

Het mag duidelijk zijn dat er een sterke shift zal plaatsvinden in de komende jaren van fossiele energie naar hernieuwbare energie. Het grootste verschil dat deze transitie zal teweegbrengen voor de bestaande infrastructuur is dat generatie gebaseerd op hernieuwbare bronnen veel meer gedecentraliseerd is. Hierdoor is er een sterke uitbreiding nodig van de bestaande connectiviteit aan het net. Verder is de nood aan een transportnet voor energiedragers nodig om overtollige elektriciteit op te kunnen slaan en in andere toepassingen te kunnen gebruiken. Hiertoe zullen waterstof, of andere energiedragers, en CO₂ transportnetwerken moeten ontstaan zodat CCS en CCU volledig kunnen benut worden. Ook hier zal er een graduele evolutie te zien zijn tot een volledig uitgebouwd infrastructuur. In deze context zal niet enkel nationaal vervoer van energie belang zijn, maar is het ook belangrijk om te kijken naar een internationaal kader.

Vandaag wordt slechts 4 % van de geproduceerde waterstof in de EU via groene elektrolyseprocessen gegenereerd. De meeste plants in werking hebben een capaciteit van slechts enkele honderden kW tot een aantal MW. De capaciteit moet sterk toenemen in de toekomst tot honderden MW en zelfs een GW per site.⁹⁶ De invasie in Oekraïne in 2022 heeft de uitrol van een hernieuwbaar energienetwerk in Europe versterkt. In het kader van de gebeurtenissen heeft de Europese Commissie de REPowerEU⁹⁷ plannen voorgesteld, waarbij de afhankelijkheid van Russisch brandstof wordt teruggedrongen voor 2030. Hierdoor zal ook het Europees energienet versterken in positie wat betreft vraag- en leveringszekerheid. Het plan oogt op het sneller uitrollen van de infrastructuur van alternatieve energiebronnen, met een doel van 15 miljoen ton hernieuwbare waterstof bovenop de 5.6 Mt gepland voor Fit for 55, waarvan 5 Mt geproduceerd in Europa, en 10 geïmporteerd. In België zijn er al investeringen gepland voor de uitbreiding van de capaciteit, maar toch zal in de toekomst import van groene energie(dragers) belangrijk blijven. De import zal liefst uit regio's komen met ideale zon- en wind condities zodat de energie goedkoop is. Binnenin de Hydrogen Import Coalition worden er al verschillende scenario's bekeken voor internationaal transport, waarbij vooral onderzoek wordt gevoerd naar de optimale carrier van energie (vloeibare waterstof, methanol, ammoniak, ...), hoe de energiedragers kunnen geconverteerd worden en in welke applicaties de energiedragers zullen gebruikt worden.

⁹⁶ A Flemish Hydrogen Strategy – Waterstof Industrie Cluster – 2020 - https://www.waterstofnet.eu/_asset/_public/WIC/2020-12-7-Flemish-Hydrogen-Strategy_Hydrogen-Industry-Cluster.pdf

⁹⁷ European Commission (2022) – REPowerEU: Joint European Action for more affordable, secure, and sustainable energy (COM(2022) 109 final) - https://energy.ec.europa.eu/repowerEU-joint-european-action-moreaffordable-secure-and-sustainable-energy_en

In het kader van internationaal transport zal de European Hydrogen Backbone (EHB) een belangrijke rol spelen.⁹⁸ In wat volgt zullen de transportmogelijkheden op korte en lange termijn besproken worden op internationaal niveau.

11.1. Projectie voor de periode 2022-2035

De Europese Commissie heeft als doel om 20.6 Mt capaciteit aan groene waterstof te voorzien tot 2030. Deze capaciteit zal ontstaan vanuit meerdere bronnen, waaronder elektrolyseprocessen, gecentraliseerde productie uit hernieuwbare energiebronnen, grootschalig blauwe waterstofproductie, import via pijpleidingen, import via schip van waterstof of andere energiedragers. Eerdere studies hebben uitgewezen dat een waterstofleiding zowat 65 TWh aan waterstof per jaar kan vervoeren. Dit betekent dat het transporteren van de REPowerEU's waterstofdoel van 10 Mt, corresponderend met 330 TWh aan energie, zowat vijf grootschalige pijpleidingen nodig zou hebben. Gebaseerd op het hergebruiken van aardgasleidingen en het aanleggen van nieuwe pijpleidingen zouden er vijf pijpleiding netwerken kunnen ontstaan tegen 2030⁹⁹ met een totale lengte van 28.000 km zoals geïllustreerd op Figuur 53. Op die manier zou er al een sterk netwerk aan leidingen ontstaan die internationaal transport tussen de industriële clusters mogelijk maakt. Hierbij worden grote volumes aan hernieuwbare, lage-koolstof waterstof geïntegreerd aan de hand van hernieuwbare zonne-energie in zuiderse en oosterse landen, en windenergie in het noorden, de Baltische landen en de Middellandse-Zee. Door deze locaties met een groot leveringspotentiaal te verbinden aan consumenten binnenin Europa, zullen de internationale pijpleidingen steeds meer aan belang winnen. Uiteindelijk zal tegen 2030 waterstof geïmporteerd worden zowel via pijpleiding als via import terminals. De balans zal gemaakt worden aan de hand van de uitrolsnelheid van de waterstoftechnologie in verschillende sectoren.

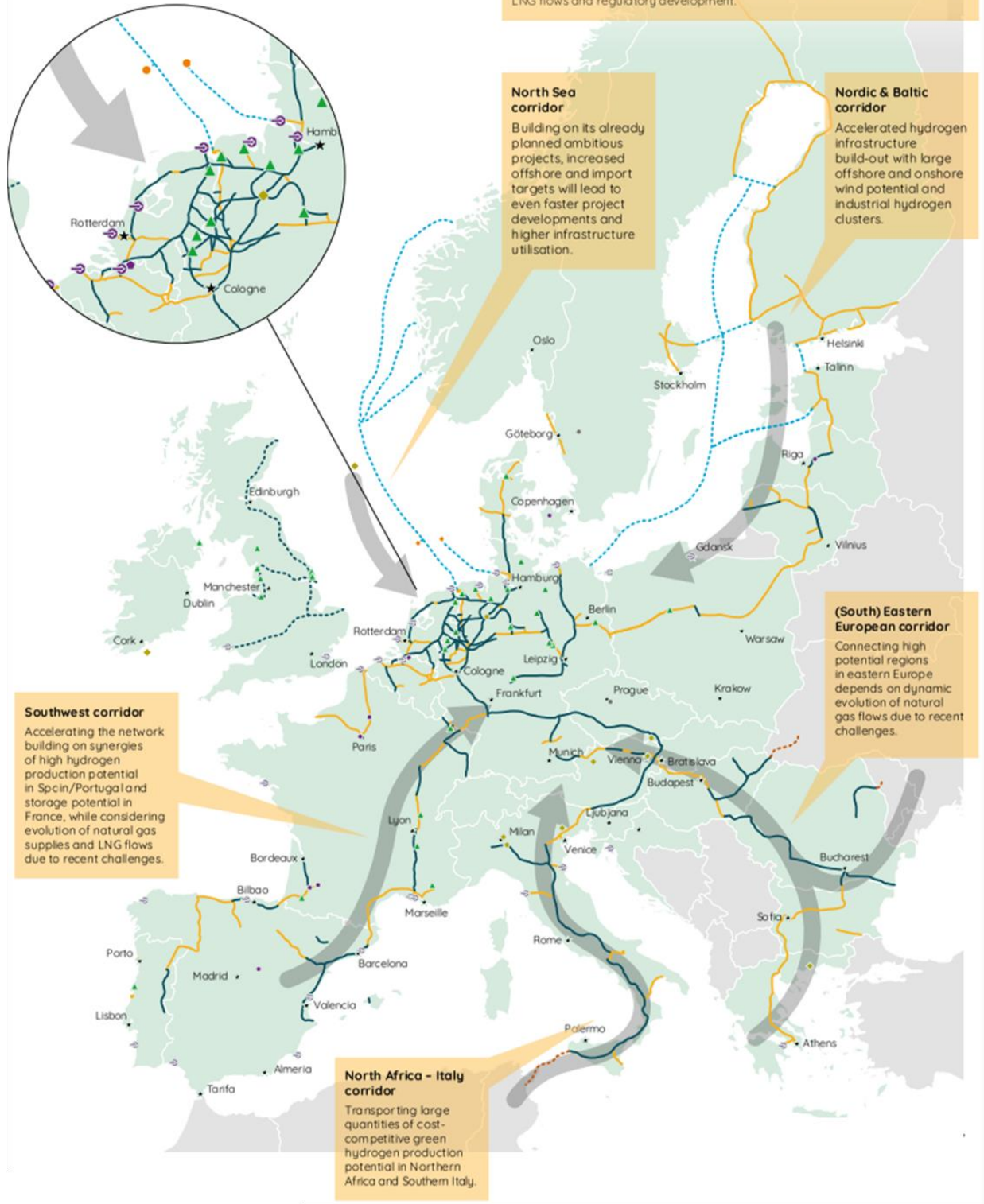
⁹⁸ *European Hydrogen Backbone – A European Hydrogen Infrastructure Vision Covering 28 Countries – 2022* - <https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2022/04/EHB-A-European-hydrogen-infrastructure-vision-covering-28-countries.pdf>

⁹⁹ *EHB (2021) – Analysing future demand, supply, and transport of hydrogen.* - https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2021/06/EHB_Analysing-the-future-demand-supply-and-transport-of-hydrogen_June-2021_v3.pdf.

Accelerated and updated 2030 EHB network supports the EC's REPowerEU ambition to accelerate the creation of a domestic and import market for hydrogen and to increase European energy system resilience

- | | | |
|---|------------------|--|
| Types | Storage | Other |
| — Repurposed | ▲ Salt cavern | ★ City, for orientation purposes |
| — New | ● Aquifer | ● Energy hub / Offshore (wind) hydrogen production |
| — Subsea | ◆ Depleted field | ⊖ Existing or planned gas-import-terminal |
| — Import / Export | ● Rock cavern | |
| — UK 2030 pipelines depends on pending selection of hydrogen clusters | | |

General remarks
 Across all corridors, market conditions are continuously evolving. Map subject to updates resulting from new announcements, considering natural gas supplies, LNG flows and regulatory development.



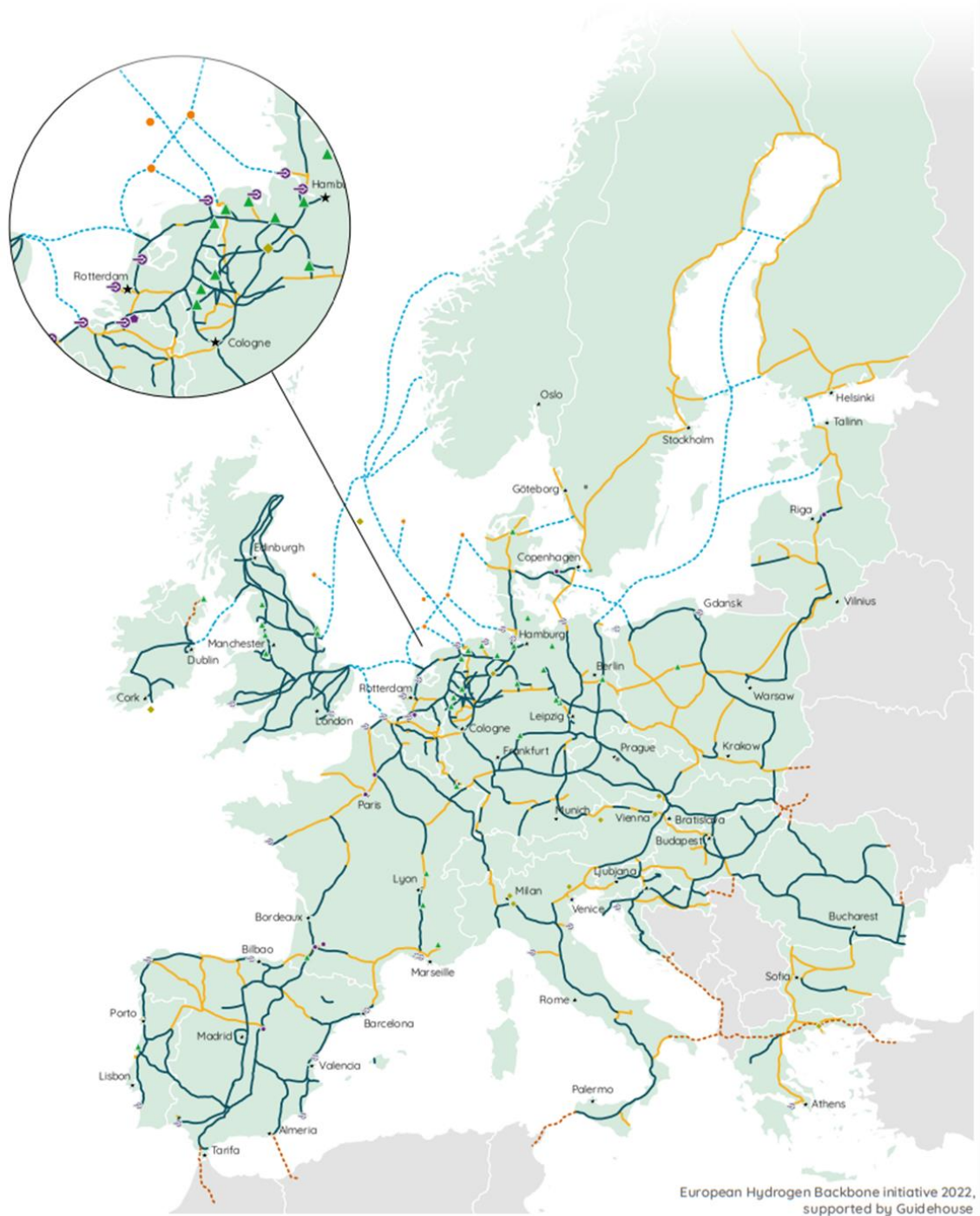
Figuur 53: European Hydrogen Backbone infrastructuur tot 2030.⁹⁸

11.2. Projectie voor de periode 2035-2050

Net zoals bij de strategie voor België voor het ontwikkelen van een CO₂-netwerk zoals besproken in sectie 0, zullen eerst lokale clusters ontstaan. In een later stadium, tussen 2030 en 2040, is het de bedoeling om de clusters met elkaar te verbinden en een matuur leiding netwerk te ontwikkelen zoals geïllustreerd op Figuur 54. De maturiteit van het leiding netwerk ontstaat door de connectie van alle landen met elkaar binnenin de EU, het hergebruiken van bestaande leidingen voor het gebruik van waterstof, het uitbouwen van nieuwe leidingstraten tussen belangrijke industriële clusters, het uitbreiden van transport over zee via pijpleidingen, het uitbreiden van de offshore energiecentrales, het bouwen van extra terminals voor de verwerking van energiedragers, en het benutten van geografische opslagplaatsen voor CCS. Op die manier ontstaat er op middellange termijn een netwerk dat de afhankelijkheid van Europa van intercontinentaal transport, in het bijzonder vanuit Rusland, vermindert.

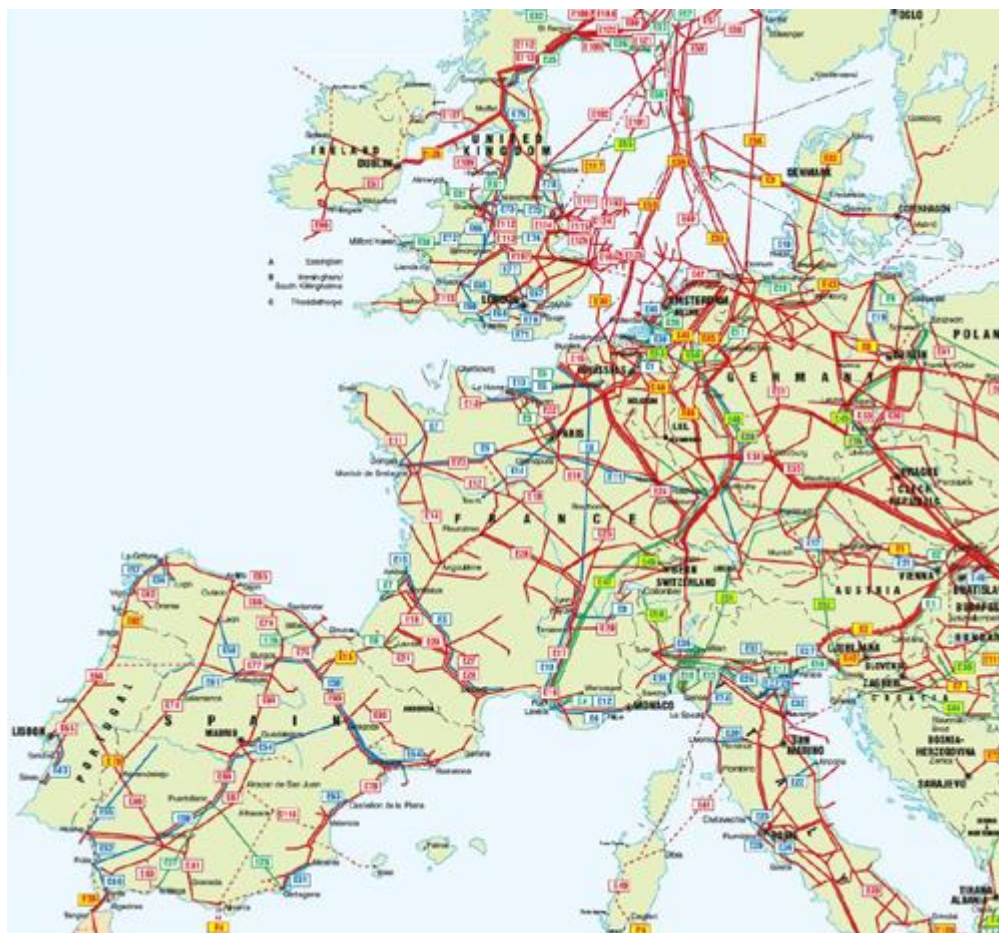
Op lange termijn zou de volledige waardeketen van producten aan elkaar verbonden moeten worden, en zou er een infrastructuur moeten ontstaan zoals op Figuur 55 weergegeven. Zo zouden producten en intermediären afkomstig van groene energie, waterstof en CO₂ de energietransitie kunnen waarmaken.

**Mature infrastructure stretching
towards all directions by 2040**



Figuur 54: Bestaande Europese pijpleidingen netwerk: ruwe aardolie pijpleidingen, aardgas leidingen, en product leidingen.¹⁰⁰

¹⁰⁰ Europe Pipelines map - Crude Oil (petroleum) pipelines - Natural Gas pipelines - Products pipelines - https://www.theodora.com/pipelines/europe_oil_gas_and_products_pipelines.html



Figuur 55: Bestaande Europese pijpleidingen netwerk: ruwe aardolie pijpleidingen, aardgas leidingen, en product leidingen.¹⁰¹

11.3. Rol van Vlaamse backbones in een internationaal perspectief

België zal een ankerpunt zijn wat betreft waterstof- en CO₂-transport. Door een dicht vervoersnet vergeleken met andere gebieden zoals geïllustreerd op Figuur 53, Figuur 54 en Figuur 55, zal het een belangrijk centrum zijn voor ontwikkeling van nieuwe technologieën. De Vlaamse backbone zal sterk verbonden zijn op internationaal niveau, zowel via schip als via pijpleidingen. Op die manier biedt dit een mogelijkheid voor Vlaanderen om globaal koploper te zijn in waterstoftechnologie en de verwerking van CO₂.

¹⁰¹ An Overview of the Pipeline Networks of Europe – ecsp - <https://chemicalparks.eu/attachments/14/download>

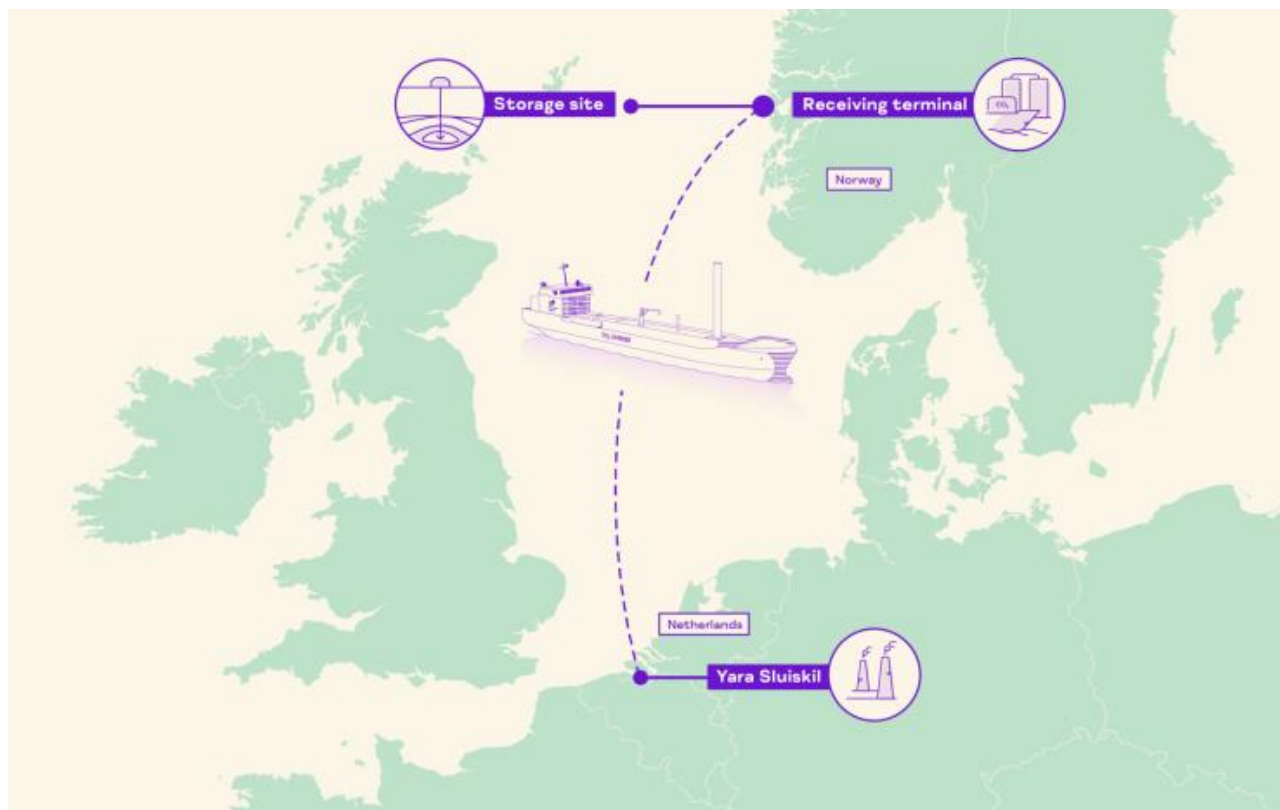
12. Synergie-effecten

De komende decennia zullen de energieproductie, het energietransport en de aan energie gerelateerde activiteiten in Vlaanderen en onze omringende regio's sterk veranderen:

- De energieproductie zal in steeds grotere mate gaan plaatsvinden uit hernieuwbare energiebronnen (vooral elektriciteit uit windenergie en mogelijk later ook uit zonne-energie en elektriciteit uit water).
- De ingezette daling van de olie- en gaswinning zal zich verder voortzetten. De snelheid daarvan is grotendeels afhankelijk van marktontwikkelingen maar ook geopolitieke overwegingen.
- De transportnetwerken voor elektriciteit en gassen zullen meer met elkaar verweven raken ('systeemintegratie'). Enerzijds door de elektrificatie van processen anderzijds door het inherent fluctuerend karakter van hernieuwbare energie zijn andere dragers dan elektronen interessant.

Het laatste aspect, de zogenaamde systeemintegratie of systeemsynergie, kan het best geïllustreerd worden aan de hand van waterstof, maar is niet beperkt tot die energiedrager. Naar alle verwachtingen zullen ook energie-eilanden in de toekomst ontwikkeld worden. Hierbij kan bijvoorbeeld waterstofproductie op zee of nabij windparken plaatsvinden. Waterstof kan daar lokaal omgezet worden naar een andere drager zoals (methaan, methanol of ammoniak) of kan via een pijpleiding of per schip naar een haven getransporteerd worden. Daarvoor zijn dus ook nieuwe leidingen nodig of kunnen de bestaande leidingen mogelijk hergebruikt worden. Daardoor wordt het mogelijk om de verhouding tussen de productie van elektriciteit en waterstof of waterstof houdende energiedrager te variëren. De waterstof houdende energiedrager geproduceerd uit hernieuwbare energiebronnen gaat naar alle verwachting een rol spelen om voornamelijk steenkool, aardolie en aardgas te vervangen. Ten slotte zal in uitgeputte olie- en gasvelden op de Noordzee CO₂ worden opgeslagen dat wordt afgevangen bij industriële installaties op land. Recent heeft het Noorse CO₂-opslagbedrijf Northern Lights om emissies op te slaan die worden opgevangen bij de Nederlandse activiteiten van kunstmestproducent Yara vanaf 2025, wat volgens hen een commerciële doorbraak voor het bedrijf betekent. De joint venture, opgericht door de oliemaatschappijen Equinor, TotalEnergies en Shell, is van plan CO₂ van industriële installaties te injecteren in rotsformaties onder de oceaانبodem van de Noordzee. Volgens de overeenkomst met Yara zal vanaf begin 2025 800.000 ton CO₂ per jaar met schepen vanuit Nederland worden vervoerd, zie Figuur 56. Northern Lights heeft ook voorlopige overeenkomsten voor de opslag van CO₂ van een cementfabriek en een afvalverwerkingsbedrijf die, als ze worden bevestigd, de fase 1-capaciteit van het project naar 1,5 miljoen ton per jaar zou

optrekken. Volgens het Internationaal Energieagentschap is koolstofafvang en -opslag (CCS) van vitaal belang om de mondiale CO₂-uitstoot, ook van moeilijk te verminderen sectoren zoals de cementproductie, terug te dringen en zo de opwarming van de aarde tegen te gaan. Er bestaan echter weinig commerciële projecten.



Figuur 56: Northern Lights, the first ever cross border CO₂ transport and storage agreement.¹⁰²

12.1. Synergie pijpleidingen voor groene moleculen enerzijds en hoogspanningsleidingen

Tot nu toe zijn de stelsels van olie- en gasleidingen en de elektriciteitsverbindingen gescheiden systemen die onafhankelijk van elkaar het transport van verschillende energievormen (elektronen dan wel moleculen) richting afnemers realiseren. Dit zal in de toekomst vermoedelijk niet meer het geval zijn. Mogelijks gaan we naar een meer hybride systeem waarbij flexibel wordt gebruik gemaakt van energiedragers en elektriciteit, waarbij dus beiden dienen voorzien te worden naar de grootste afnemers. Deze kunnen gemakkelijk geïdentificeerd zijn omdat dit de puntbronnen zijn van CO₂-emissies vandaag.

¹⁰² <https://www.pipeline-journal.net/news/yara-and-northern-lights-signs-worlds-first-cross-border-co2-transport-and-storage-deal>

In Nederland is de toekomstige ontwikkeling naar een duurzaam energiesysteem op de Noordzee in kaart gebracht en wetenschappelijk onderbouwd in de Noordzee Energie Outlook.¹⁰³ Hieruit kunnen de nodige lessen getrokken worden voor Vlaanderen, weliswaar met de nodige andere accenten. Kort samengevat is de visie voor de verdere ontwikkeling van een duurzaam Noordzee-energiesysteem in Nederland als volgt:

1. Aanlanden van op zee geproduceerde energie bij de industrieclusters. Dit kan in de vorm van elektriciteit, of in de vorm van waterstof als energiedrager, waarbij door op zee opgewekte energie op zee wordt omgezet in waterstof en naar de industrieclusters wordt getransporteerd. De meeste industrie is gevestigd aan of nabij de kust. Door de energie direct bij de grootverbruikers af te leveren, worden aanbod en vraag zo dicht mogelijk bij elkaar gebracht en is daarvoor geen transportcapaciteit nodig van de bestaande energienetwerken op land.
2. Meer flexibiliteit door verbindingen met de (Noordzee-)energiesystemen van de ons omringende landen. Dit geeft de mogelijkheid om een piek in windproductie en bijbehorende druk op het netwerk te beperken door uitwisseling met het buitenland, of andersom – bij een beperkte productie van energie uit wind en zon – energie uit het buitenland te halen. Deze uitwisseling is vorm te geven door de toepassing van interconnectoren, energiehubs en hybride projecten. Interconnectoren zijn schakelpunten tussen verschillende netwerken; energiehubs zijn knooppunten waar energie uit meerdere omliggende windparken en/of interconnectoren samenkomt, eventueel wordt omgezet in een andere energiedrager, en van daar naar het vasteland wordt getransporteerd; hybride projecten zijn verbindingen tussen netaansluitingen van windparken op zee van verschillende landen, die dienstdoen als interconnectoren kunnen zorgen voor een hogere benuttingsgraad van de energie-infrastructuur op zee op momenten dat het weinig waait. Deze elementen kunnen op termijn leiden tot een vermaasd netwerk op de Noordzee, waarin de energiesystemen van de Noordzeelanden intensief met elkaar zijn gekoppeld.
3. Meer flexibiliteit door de inzet van andere vormen van duurzame energiewinning, andere energiedragers, opslag en infrastructuur. Een mogelijke aanvulling of alternatief voor oplossingen binnen de elektriciteitsketen is de productie van waterstof. Dit kan zowel op land als op zee worden toegepast.
4. Lokale oplossingen, zoals netverzwaringen, congestiemanagement en energieopslag.

¹⁰³ Noordzee Energie Outlook, 2020, <https://open.overheid.nl/repository/ronl-a77fae8f-c81f-4761-a86f-b85dc6354ae7/1/pdf/bijlage-1-rapport-noordzee-energie-outlook.pdf>

Het mag duidelijk zijn dat andere energiedragers dan waterstof zeker in overweging moeten genomen worden. Bovendien moet het kostenplaatje van de volledige transitie grondig bekeken worden en moet een kosten-batenanalyse gebeuren. In het bijzonder moet gekeken worden naar de mogelijkheid om bestaande verbindingen te hergebruiken, denk maar aan het aardgasnet.

In Duitsland hebben OGE en RWE het nationale infrastructuurproject "H₂ercules" ontwikkeld, dat consumenten in het zuiden en westen van Duitsland zal voorzien van groene waterstof uit binnenlandse productie en via invoerroutes.¹⁰⁴ Daarom plant RWE tot 1 GW nieuwe elektrolysecapaciteit en 1.500 km pijpleidingen, zie Figuur 57. Voor het grootste deel zijn conversies van het bestaande aardgasnetwerk gepland, aangevuld met nieuwe constructies. De ombouw van aardgaspijpleidingen is niet alleen de meest kostenefficiënte oplossing, maar maakt ook een sneller tijdschema mogelijk. Momenteel is gepland het project in twee stappen uit te voeren tegen 2028 en 2030 om de industrieën zo vroeg mogelijk op de waterstofvoorziening aan te sluiten. Deze samenwerking met toegevoegde waarde moet het kip-en-ei probleem oplossen en de weg vrijmaken voor andere projecten.



Figuur 57: H₂ercules. The hydrogen fast track. ¹⁰⁵

Merk op dat veel technologieën voor het verbeteren van schaalgrootte en kostenniveau nog volop in ontwikkeling zijn. Ook is nog onvoldoende duidelijk welke bestaande energie-infrastructuur onder

¹⁰⁴ <https://oge.net/en/sustainable/projects/our-hydrogen-projects/h2ercules>

¹⁰⁵ <https://oge.net/en/sustainable/projects/our-hydrogen-projects/h2ercules>

welke voorwaarden en kosten eventueel is te hergebruiken. Dit maakt een ‘blauwdruk’ van de ontwikkeling van een duurzaam Noordzee-energiesysteem onmogelijk. Het is daarom zaak deze ontwikkeling op adaptieve wijze te laten plaatsvinden door telkens vooruit te kijken, vraagstukken integraal op te pakken en toekomstscenario's en opties te faciliteren. De Noordzee Energie Outlook geeft hiervoor enkele handvatten:

- Schaalgrootte en flexibiliteit zijn belangrijk om op korte termijn de uitrol van windenergie op zee voort te zetten en voor de langere termijn optimale oplossingen, zoals energiehubs op kunstmatige eilanden, te implementeren.
- Focus niet alleen op de verdere uitbreiding van het net op zee, maar onderzoek ook de mogelijkheden om via andere energiedragers (bijvoorbeeld waterstof) de op zee geproduceerde energie te transporteren. Kijk hierbij naar de aanleg van nieuwe waterstofinfrastructuur én het hergebruik en geschikt maken van bestaande gasinfrastructuur voor het transport van waterstof als alternatief voor of aanvulling op het net op zee. Ontwikkel beleid voor de aanleg van waterstofinfrastructuur en het hergebruik van geschikte gasinfrastructuur.
- Maak de aanleg van energiehubs, grensoverschrijdende verbindingen (interconnectoren en/of hybride projecten) en energieopslag op zee en land mogelijk. Ontwikkel beleid voor de ruimtelijke afweging en voor de realisatie van kunstmatige eilanden. Ontwikkel ook een reguleringskader voor hybride projecten.
- Zoek contact met de ons omringende landen aan de Noordzee en onderzoek met hen de mogelijkheden om samen grensoverschrijdende projecten te realiseren.
- Maak mogelijk dat energie van zee direct wordt aangevoerd bij de industrie centra aan of nabij de kust, zodat hiervoor de energietransportnetwerken op land niet hoeven te worden benut.

Zeker in het huidige klimaat van hoge energieprijzen en de noodzaak om meer zelfvoorzienend te zijn dienen deze aspecten grondig bekeken te worden in Vlaanderen.

12.2. Synergie-effecten door mogelijke uitfasering van aardgas

Aardgas dekt op dit ogenblik ongeveer 27% van het primaire energiegebruik in België. Men verwacht dat dit aandeel vanaf 2025 zal stijgen als gevolg van het toenemende gebruik van aardgas voor de opwekking van elektriciteit na de sluiting van de kerncentrales (volgens de in 2020 geldende wetgeving). Vanaf 2035 zou de rol van aardgas opnieuw dalen door de verdere ontwikkeling van

hernieuwbare en koolstofarme energiedragers. In deze latere fase kan het gebruik van waterstof naar verwachting sterk toenemen.¹⁰⁶

De hoge aardgasrijzen van het afgelopen jaar en de geopolitieke spanningen kunnen ervoor leiden dat deze tijdslijn aanzienlijk versneld wordt. Het plan vooropgesteld door 11 Europese transmissienetbeheerders uit 2020 voor de uitbouw van een specifieke vervoersinfrastructuur voor Waterstof zou dus veel sneller kunnen uitgerold worden.¹⁰⁷ Volgens deze studie zou de bestaande aardgasinfrastructuur kunnen worden aangepast om waterstof te vervoeren. Ze suggereren een geleidelijke uitbouw van een specifiek netwerk voor waterstof, dat in 2030 een lengte van 6800 km kan hebben en de belangrijkste clusters van vraag en aanbod met elkaar zou verbinden. Tegen 2040 kan deze ruggengraat (backbone) 23.000 km leidingen omvatten. Ze zouden voor 75% bestaan uit omgebouwde aardgasleidingen die worden verbonden via nieuwe leidingtrajecten (25%). Op die manier kunnen op termijn twee parallelle gasvervoersnetten ontstaan: één voor waterstof en één voor (bio)methaan. De kosten voor deze backbone-infrastructuur worden in de studie geraamd op 27 tot 64 miljard euro, wat zou leiden tot een transportkost van 0,09 à 0,17 euro per kg waterstof per 1000 km. Deze raming ligt lager dan de kosten vooropgesteld door IEA, wat wellicht verklaard wordt door het feit dat het hergebruik van bestaande aardgasinfrastructuur wordt verondersteld. De relatief grote vork in de raming is het gevolg van de onzekerheid over de compressiekosten. Volgens de Nederlandse studie Toekomstbestendige gasdistributienetten door Netbeheer Nederland (juli 2018)¹⁰⁸ zou ook een groot deel van het bestaande distributienet voor aardgas, wat gebruikte materialen en onderdelen betreft, geschikt zijn voor waterstof. Er zijn wel technische aanpassingen en bepaalde vervangingen (bv. gasmeters) nodig, maar de kosten hiervan liggen relatief laag in vergelijking met de investeringskosten voor nieuwe infrastructuur. De distributienetbeheerders hebben al enige ervaring met min of meer hoge concentraties waterstof in hun netten. Met het vervoer van zuivere waterstof blijft die ervaring nog beperkt tot enkele proefprojecten in Europa. Als op basis van de verwachte evolutie in de productie en het gebruik van waterstof een specifiek distributienet voor zuivere waterstof nodig zou zijn, kunnen bepaalde secties van het bestaande aardgasnet aangepast en afgescheiden worden, en waar nodig worden aangevuld met nieuwe infrastructuur. Kleinere volumes waterstof kunnen tot een bepaalde concentratie (6 volume%) in de meeste bestaande transmissie- of distributiegasnetten geïnjecteerd worden, tenzij er daarop gevoelige eindgebruikers zijn aangesloten. Op termijn zou ook een hogere concentratie mogelijk zijn (10 tot 20

¹⁰⁶ Van Roost et al., 2020, https://kvab.be/sites/default/rest/blobs/3081/tw_powertogas.pdf

¹⁰⁷ <https://gasforclimate2050.eu/news-item/gas-infrastructure-companies-present-a-european-hydrogen-backbone-plan/>

¹⁰⁸ https://www.netbeheernederland.nl/_upload/Files/Toekomstbestendige_%20gasdistributienetten_133.pdf

volume%). Er werden al verschillende projecten gelanceerd (o.m. in Duitsland), waaruit op basis van langdurige testen (>10 jaar) blijkt dat de bijmenging van waterstof in aardgasnetten technisch haalbaar is. Dat leidt wel tot technische uitdagingen, zeker wanneer de injectie gedecentraliseerd gebeurt. In de eerste plaats moeten de maximale concentraties gewaarborgd worden, wat in de zomerperiode bij lagere debieten moeilijk kan zijn. Het mengsel van waterstof met aardgas moet bovendien homogeen zijn, een uitdaging gezien de fluctuaties in injecties en afnames. Een zeer groot deel van de kosten en de economische en technische uitdagingen van een eventuele vervanging van aardgas door waterstof ligt aan de productiekant en bij de eindgebruikers: die moeten hun aardgastoestellen aanpassen of vervangen om ze geschikt te maken voor waterstof.¹⁰⁹

In de Britse stad Leeds loopt momenteel het H-21 proefproject waarin een volledig distributienet naar waterstof wordt omgeschakeld. In andere Europese landen zijn er voorlopig nog geen concrete plannen in die richting.¹¹⁰ Ook in Vlaanderen zou het nuttig zijn dergelijke proefprojecten te gebruiken om de nodige conclusies uit te trekken zodat een betere kosten-batenanalyse kan gedaan worden dan actueel mogelijk is.

Tegen 2050 willen we in Vlaanderen zo weinig mogelijk fossiele brandstoffen gebruiken om woningen te verwarmen.¹¹¹ Voor aardgasaansluitingen betekent dat vanaf 2021 concreet, dat een aardgasdistributiebeheerder geen aardgasaansluiting meer mag voorzien bij:

- nieuwe grote verkavelingen, waarvan de omgevingsvergunning voor het verkavelen van gronden vanaf 1 januari 2021 is aangevraagd,
- nieuwe grote appartementsgebouwen, waarvan de omgevingsvergunning voor stedenbouwkundige handelingen is aangevraagd vanaf 1 januari 2021,
- nieuwe grote groepswoonbouwprojecten, waarvan de omgevingsvergunning voor stedenbouwkundige handelingen is aangevraagd vanaf 1 januari 2021.

Behalve als het aardgas gebruikt wordt als bijverwarming in combinatie met een hernieuwbaar energiesysteem dat de hoofdverwarming vormt, of als het aardgas gebruikt wordt voor collectieve verwarming via warmtekrachtkoppeling.

¹⁰⁹ Van Roost et al., 2020, https://kvab.be/sites/default/rest/blobs/3081/tw_powertogas.pdf

¹¹⁰ <https://www.thechemicalengineer.com/features/h21-the-story-so-far/>

¹¹¹ <https://www.energiesparen.be/verwarmen/aardgas-grote-projecten>

Ten slotte onderzoekt de gasector of bestaande ondergrondse opslagsites voor aardgas op middellange of lange termijn gebruikt kunnen worden voor waterstofopslag. Uit testen blijkt dat bepaalde types infrastructuur (bv. zoutcavernes) hiervoor geschikt zijn. In België wordt aardgas opgeslagen in watervoerende lagen in Loenhout; de eerste simulatieresultaten voor een eventuele opslag van waterstof lijken positief maar verdere studies zijn nog nodig.

13. Conclusies en aanbevelingen

Aan de hand van 13 vragen zijn de stofstromen in de energietransitie besproken. De complexe geopolitieke situatie maakt dit op dit moment zeker niet evident en de hoge energieprijzen zorgen voor een grote onzekerheid in de procesindustrie. Bovendien is en zal hernieuwbare energie nog een tijd schaars zijn en dient deze daar gebruikt te worden waar de impact het grootst is, rekening houdend met de economische context. Deze transitie naar een meer duurzamere Vlaamse industrie kan op termijn enkel slagen als er nu zogenaamde “no-regret” investeringen plaatsvinden. Het efficiënt transporteren van grondstoffen, energiedragers en andere stofstromen is hierbij een zeer belangrijk element om op lange termijn de competitiviteit van de basisindustrie intact te houden. In 13 punten is aangegeven hoe naar alle waarschijnlijkheid de basisindustrie zal evolueren:

1. De grondstoffen en energiedragers die nodig zijn voor de verduurzaming van de (petro)chemie, en de transitie naar een meer circulaire industrie zijn:
 - waterstof of een waterstof houdende energiedrager zoals ammoniak of methanol,
 - stofstromen uit afval en biomassa zoals pyrolyseolie afkomstig van plastic afval,
 - ethanol,
 - stofstromen die leiden tot zowel lagere SCOPE 1 emissies als tot lagere SCOPE 3 emissies dan degene die actueel gebruikt worden.
2. Er zullen verschillende vormen van waterstof nodig zijn in de basisindustrie. Niet elke toepassing heeft dezelfde vereisten betreffende zuiverheid. Uiteraard moet vermeden worden dat door het gebruik van waterstof extra NO_x geproduceerd wordt. Waterstof zal vooral in gasvormige vorm nodig zijn. Cryogeen transport heeft een te hoge transportkost, waardoor alternatieve energiedragers, die waterstof binden en zo zelf een bron van hernieuwbare energie worden, een goedkopere oplossing bieden
3. De meer klassieke petrochemische grondstoffen en bijproducten zoals ethaan, propaan/lpg, nafta, propyleen, ethyleen, zullen belangrijk blijven in het komend decennium. De structuur van de chemische industrie zal op korte termijn niet wijzigen. Zwaardere fracties zoals gascondensaten of vacuüm gasolie zullen minder gebruikt worden, tenzij ze economisch plots zeer interessant worden. Op langere termijn tot 2050 zal de vraag naar nafta verminderen,

maar ziet het er naar uit dat de vraag aan ethaan, propaan, ethyleen en propyleen stabiel zal blijven.

4. De energietransitie zal de basisindustrie op lange termijn (2050 en verder) aanzienlijk wijzigen. De overstap tot de zogenaamde e-chemistree lijkt echter nog niet voor onmiddellijk door de grote investeringen die noodzakelijk zijn en een gebrek aan hernieuwbare energie. Verschillende scenario's laten zien dat de basisindustrie in Europa zelfvoorzienend kan zijn door sterk in te zetten op circulariteit en het gebruik van biomassa stromen in combinatie met elektrificatie.
5. In de toekomst zal CO₂ als grondstof moeten gebruikt worden willen we het CO₂ gehalte in de atmosfeer substantieel laten dalen in de komende decennia. Enerzijds dient dit te gebeuren door bijvoorbeeld het aanplanten van nieuwe bossen. Anderzijds kunnen moleculen ook interessant zijn om CO₂ op te slaan. Op dit moment is er een lichte voorkeur voor methanol als platformmolecule die uit CO₂ zou gemaakt worden. Door de brede toepassingen die methanol kan hebben als platformmolecule en als brandstof. Veel hangt af van de beschikbaarheid van duurzame waterstof maar het omzetten van CO₂ naar ethanol, CO en syngas lijken op lange termijn minstens even interessant als methanol productie. Het nadeel van methanol als platformmolecule is dat alle zuurstof in methanol typisch eindigt in de vorm van "waardeloos" water.
6. Het vervoer van CO₂ via pijpleidingen is vergelijkbaar met het vervoer van brandstoffen zoals aardgas en olie; het vereist aandacht voor het ontwerp van de pijpleiding, bescherming tegen corrosie, controle op lekken, en beveiligingen tegen overdruk. Over land is er een duidelijke voorkeur voor het transport via pijpleiding. Over lange afstand kan transport per boot interessant worden zoals aangekondigd door Northern Lights. Ook de economische haalbaarheid van pijpleidingtransport wordt onderzocht door o.a. Fluxys. Essentieel in deze oefening is de garantie van de nodige volumes die voor langere termijn zouden moeten getransporteerd worden.
7. In het komend decennium zal de noodzaak tot definitieve opslag van CO₂ veel belangrijker zijn dan het hergebruik van CO₂ voor de Vlaamse industriële clusters. Op dit moment is het gebruik van CO₂ te duur in vergelijking met de kost voor het capteren. Deze laatste kan eenvoudig doorgerekend worden naar de consument. Op het moment dat er grote hoeveelheden duurzame waterstof beschikbaar komen wordt het mogelijks een ander verhaal.
8. CO₂ geproduceerd in het Ruhrgebied kan mogelijks naar Antwerpen gestuurd worden maar dat zal afhangen van de kost. In het bijzonder zal de kost vergeleken worden met de kost om via Nederland of het Noorden van Duitsland getransporteerd te worden in combinatie met de

CCS kost. Voor waterstof wordt eerder een stroom in omgekeerde richting verwacht. Opnieuw zal de markt zijn werk doen in welke mate transport via Vlaanderen competitief kan zijn met andere routes. De eerste zijn zal in dit opzicht wel belangrijk zijn.

9. In de toekomstige energiemix zullen energiedragers die gebaseerd zijn op moleculen belangrijker worden. Vlaanderen zal op grote schaal energie moeten invoeren en daarbij hebben alle energievectoren een rol te spelen. Maar het zal een en-en-verhaal worden.
10. Tijdens de transitiefase zal er gelijktijdig transport moeten zijn van de belangrijkste traditionele petrochemische bouwstenen zoals olefinen. Daarnaast zal transport van aardgas al of niet in combinatie met waterstof, waterstof (in al zijn kleuren), CO₂ en mogelijks LPG van belang zijn. Concreet is er interesse in LPG van bedrijven in Noordrijn-Westfalen en was er interesse vanuit de Chemelot site in het verleden. De mogelijke sluiting van een van de krakers in Chemelot zal ongetwijfeld wel een invloed hebben op het Nederlands beleid en de behoeften voor transport van bijvoorbeeld LPG naar die site.
11. Groene moleculen die als energiedrager aan belang zullen winnen zijn in de eerste plaats ammoniak en mogelijks ook methanol. De Vlaamse havens kunnen in deze context een zeer belangrijke rol spelen op internationaal niveau, waarbij zeker de verbinding met Noordrijn-Westfalen belangrijk kan zijn gezien ook de problemen met transport via de Rijn.
12. In 2050 wordt door de meeste studies verwacht dan een volledige defossilisering nog niet zal gerealiseerd zijn. Aanzienlijke behoeften aan fossiele brandstoffen/moleculen zouden zeker nog op wereldniveau gebruikt worden. Europa zal ongetwijfeld een koploper zijn op het gebied maar vermoedelijk zullen voor de productie van basischemicaliën fossiele grondstoffen nog noodzakelijk zijn. Hernieuwbare en CO₂ arme elektriciteit zal in eerste instantie ingezet worden voor het vervangen van brandstoffen voor transport en het vervangen van de bestaande elektriciteitsproductie die nu grotendeels op basis van fossiele grondstoffen gebeurt. Elektrificatie zal geleidelijk aan gebeuren in de staalindustrie en de chemische industrie. De continue beschikbaarheid is een essentiële voorwaarde om dit te implementeren voor dergelijke grootschalige processen.
13. Er zijn zeker synergie-effecten door het gebundeld aanleggen van pijpleidingen voor groene moleculen enerzijds, en hoogspanningsleidingen anderzijds. Hybride systemen die flexibel kunnen switchen tussen elektronen en moleculen zouden toelaten om het fluctuerend karakter van de beschikbare hernieuwbare elektriciteit op te vangen. De uitfasering van aardgas en de daaruit voortvloeiende nood tot omvorming van het gasleidingnet staan reeds op de Vlaamse agenda. Zo mag een aardgasdistributiebeheerder geen aardgasaansluiting meer vanaf 2021 in bepaalde omstandigheden. Zo wordt bekeken of het bestaande aardgasnet nog kan ingezet

worden voor waterstof en of de combinatie aardgas/waterstof mogelijk is. Demonstratieprojecten zouden hiervoor interessant zijn om de nodige lessen uit te trekken.