FACULTY OF ENGINEERING
AND ARCHITECTURE

DEPARTMENT OF MATERIALS, TEXTILES AND CHEMICAL ENGINEERING
LABORATORY FOR CHEMICAL TECHNOLOGY (LCT)

STOFSTROMEN IN DE ENERGIETRANSITIE:

Een projectie voor de periode 2035 tot 2042

Prof. Kevin M. Van Geem

25/01/2023

Centre for Sustainable Chemistry

Aanleiding opdracht

- Vlaamse overheid onderzoekt leidingstraat op de verbinding Antwerpen – Geleen – Ruhrgebied. Versterking van de economische cluster ENA

- Publiek raadpleging over startnota (voorjaar 2021) zet focus op klimaat- en energietransitie.

- Gebruikelijke aanpak (geen uitspraak over stoffen) voldoet niet

- Aanleg Propaanleiding past /past niet in transitie

13 onderzoeksvragen:

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? (bvb 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? (bvb 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?

13 onderzoeksvragen:

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 anderzijdsde 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?

13 onderzoeksvragen:

10. Welke stoffen zullen tijdens de transitiefase gelijktijdig moeten worden getransporteerd op de ‘backbones’ (bvb 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), bvb ammoniak, methanol?

12. Hoe wordt verwacht dat deze zich richting 2042 zullen verhouden tot fossiele brandstoffen/moleculen enerzijds, en elektrifiëring (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?

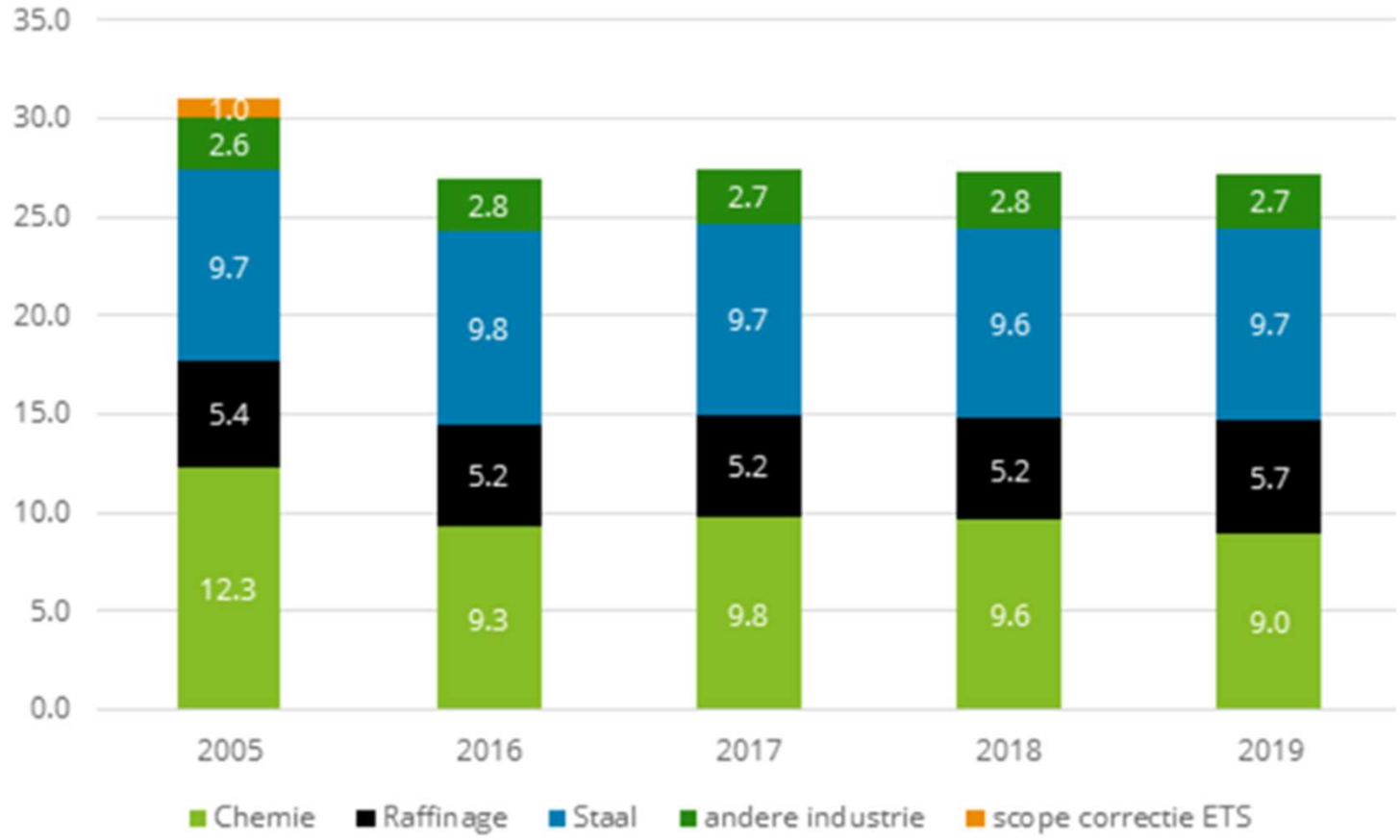
Methode

- Rapporten
- Interviews: top management grootste bedrijven uit procesindustrie Vlaanderen; Essenscia; Professoren;
- Wetenschappelijke literatuur
- Tijdschriften
- Kranten/persberichten
- Online bvb. LinkedIn
- NGO’s

STOFSTROMEN IN DE ENERGIETRANSITIE

Een projectie voor de periode 2035 tot 2042

Emissies per sector in Vlaanderen



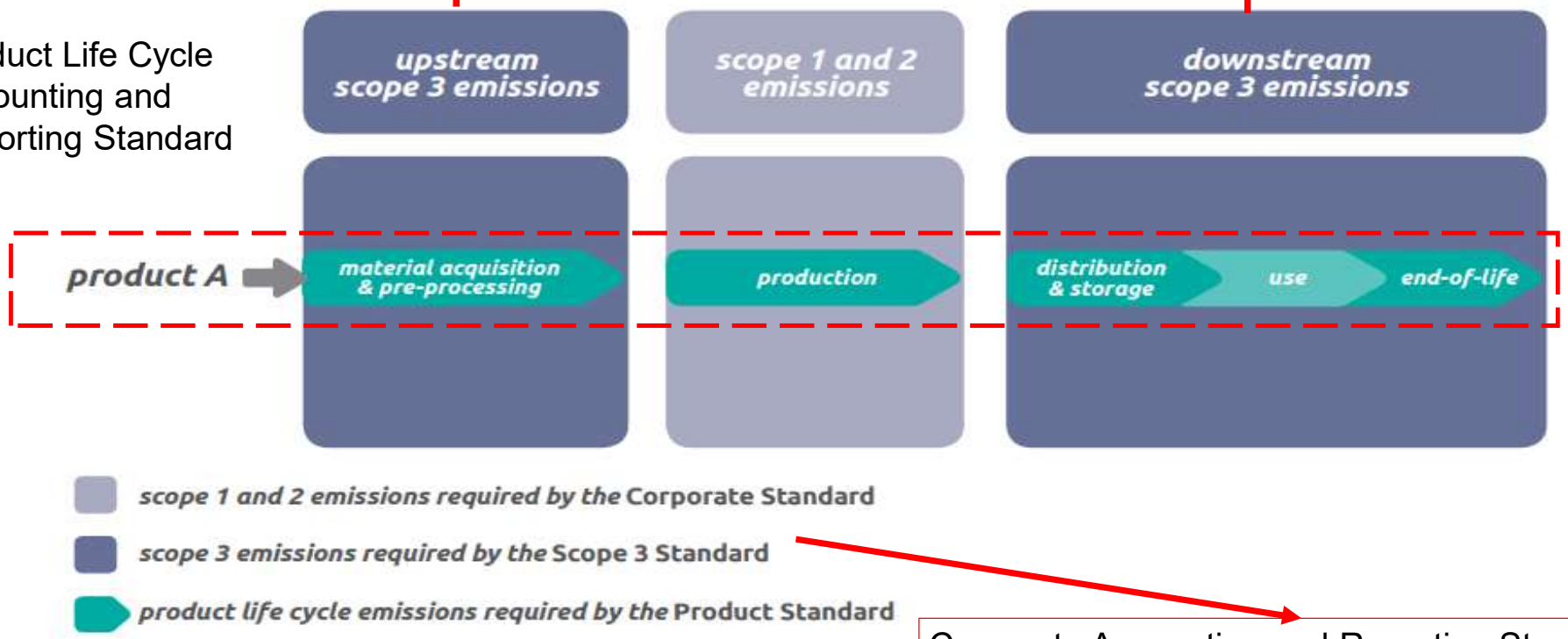
De productie van chemische basisproducten heeft een Scope 1, 2 & 3 emissies van 2,3 Gt CO2eq, wat iets minder is dan 4% van de 59 Gt wereldwijde jaarlijkse emissies.

Naar een koolstofcirculaire en CO2-arme Vlaamse industrie - https://www.vlaio.be/nl/publicaties/naar-een-koolstofcirculaire-en-co2-arme-vlaamse-industrie
https://www.systemiq.earth/planet-positive-chemicals/

GHG protocol ISO standards

The Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard

Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard

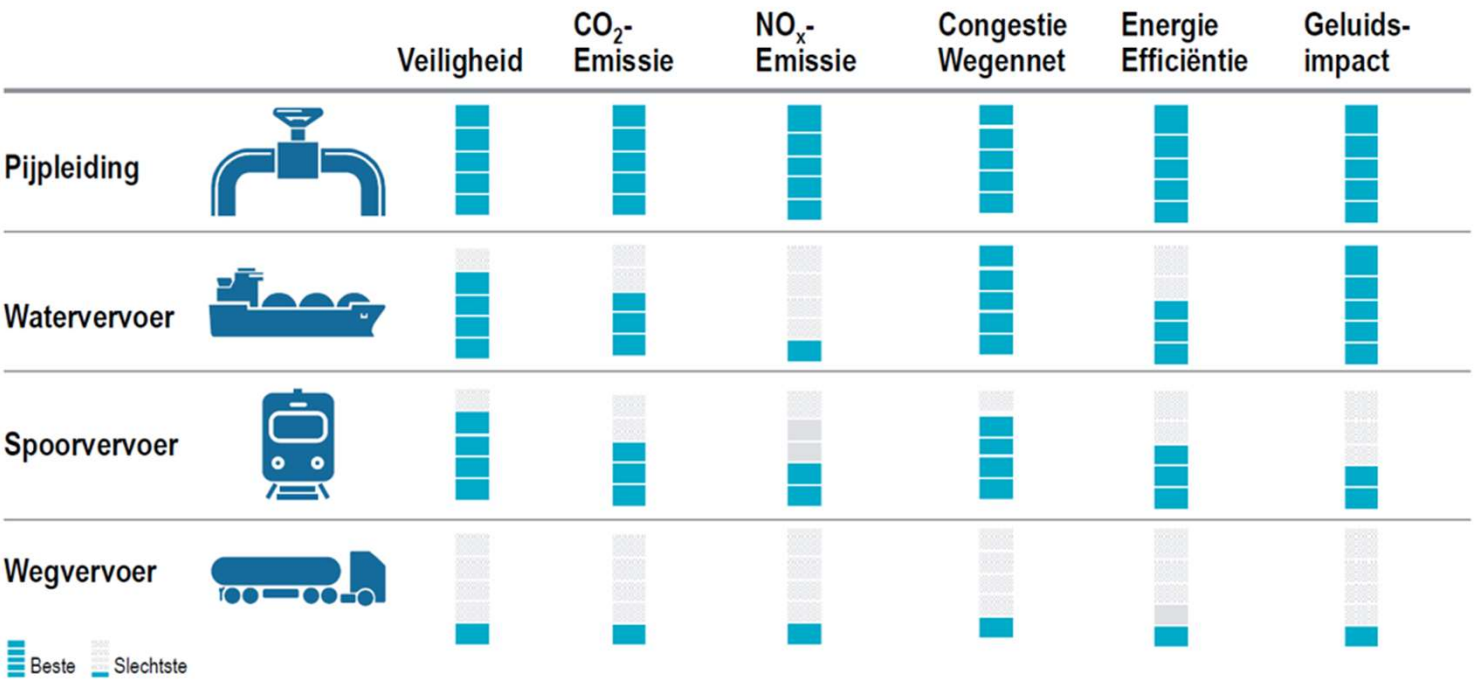


Corporate Accounting and Reporting Standard

Duurzaamheid

Pijpleidingen zijn niet voor alle goederen geschikt. Maar de goederen waarvoor ze wel geschikt zijn, kunnen ze zeer duurzaam vervoeren

Vergelijking duurzaamheid verschillende transportmodi[1)]



1) Deze vergelijking baseert zich op de huidige situatie – op lange termijn zullen andere transportmodi verduurzamen (EV, autonome voertuigen, etc.)

Bron: Roland Berger, 2018.

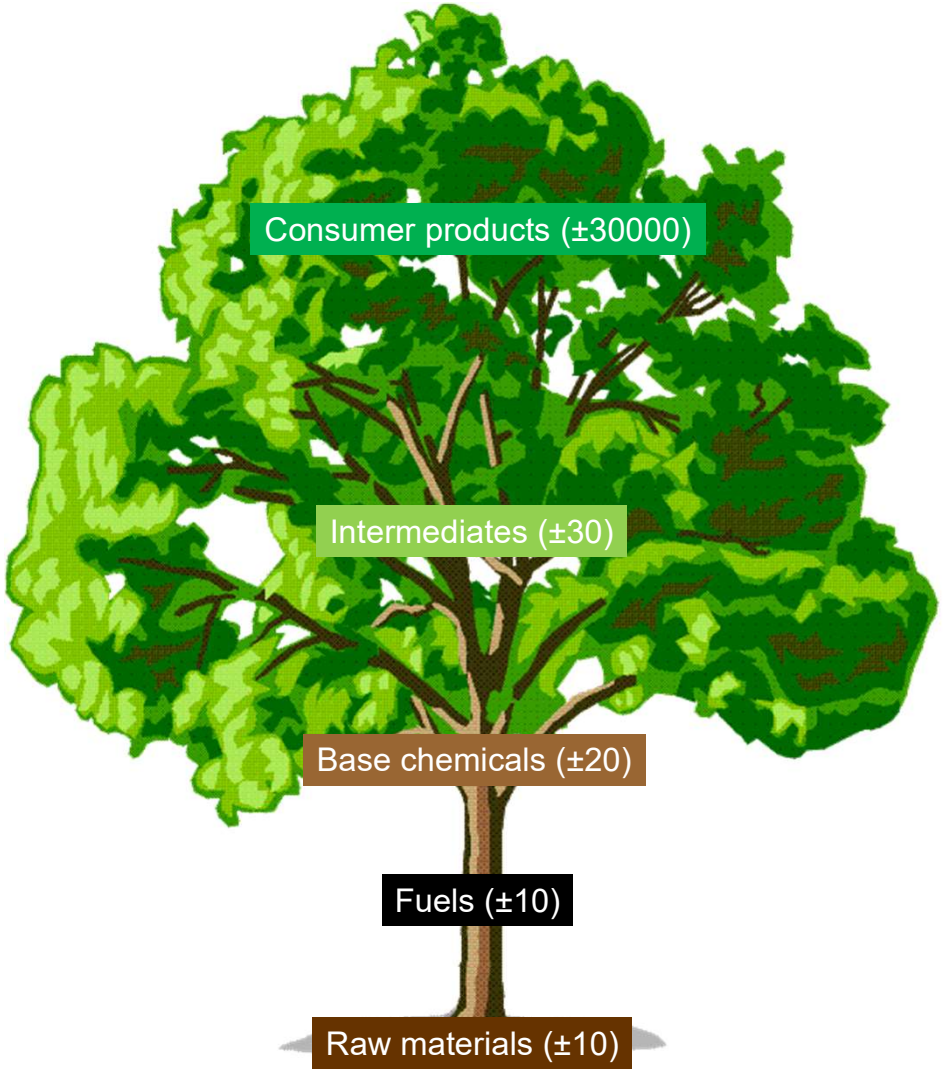
Context: De Europese energietransitie

- Er zijn 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 2042.** De inwerkingtreding van de Europese klimaatwet in juni 2021 stelt hiertoe juridisch bindende streefcijfers voor zowel 2030 als 2042 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,**

Structuur van de chemische industrie: chemistree



Plastics, electronic materials,
Fibers, solvents, detergents,
insecticides, pharmaceuticals

Specialty chemicals

Acetic acid, formaldehyde,
Urea, ethene oxide,
Acrylonitrile, acetaldehyde,
Terephtalic acid

Ethene, propene, 1,3-butadiene,
Benzene, synthesis gas, ammonia
Methanol sulfuric acid, chlorine

Bulk chemicals

LPG, gasoline, diesel
Kerosene

Oil, natural gas, coal, biomass,
Rock, salt, sulfur, air, water

Een voorbeeld: Ethyleen

RAW MATERIALS		FEEDSTOCKS	BUILDING BLOCKS	COMMODITIES	INTERMEDIATES	FINAL PRODUCTS
Natural gas / Crude Oil / Condensate	C_1	Methane / refinery residue	Synthesis Gas	Methanol Ammonia, Nitric Acid	Formaldehyde Urea, AN, CAN, UAN	Glues, Resins Fertilizers
Natural gas / Crude Oil / Condensate	C_2	C2-C3 / Naphtha	Ethylene	PE, EDC, VCM Ethylene oxide	PVC Glycols, EVOH, Ethyl NBO, Glycol Ethers	Polymers, EPDM, Copolymers
Natural gas / Crude Oil / Condensate	C_3	C2-C3 / Naphtha	Propylene, propane	Polypropylene Propylene oxide, Acrylic acid	Polyols, SAP	Polymers e.g. Polyurethane
Crude Oil	C_4	Refinery off-gas / Naphta	Mixed C4	Butadiene	Polybutadiene	Acrylonitrile, Butadiene, Styrene
Crude Oil	C_6	Naphtha	Benzene, Toluene	Cyclohexane, Caprolactam, Aniline	BPA, Nylon 66, MDI	Polycarbonate, Polyurethane
Crude Oil	$C_{7,8}$	Naphtha	Mixed Xylenes	O, P-Xylene	PA, PTA	PET
Sea water / Brine	Cl	Chlorine, NaOH	EDC, Phosgene	VCM	PVC, MDI, hypochlorites	Plastics, polyurethane , bleach

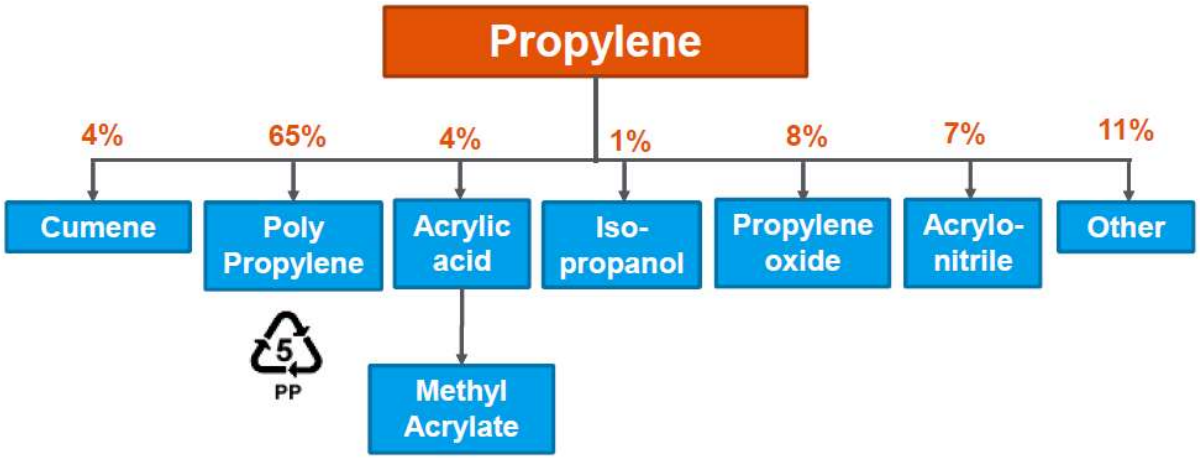
Ship, pipeline, barge

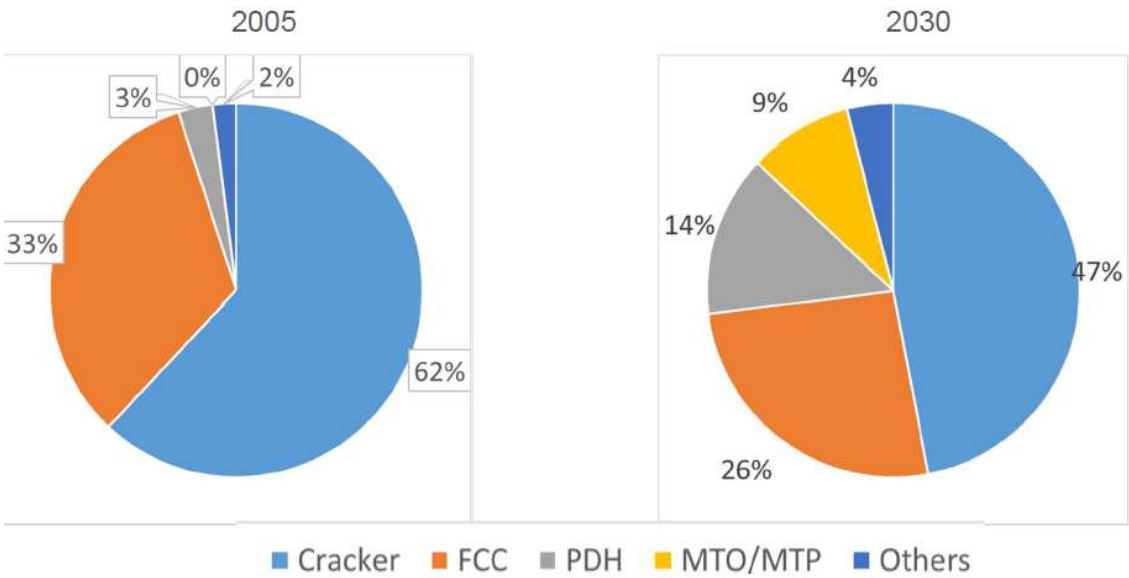
Pipeline, barge, rail

Rail, road

Mainly road

Propyleen





Propylene is a byproduct of a steam cracker and an FCC unit

Source: Woodmac, *How will US shale gas alter the global propylene market?*, *http://www.woodmac.com/public/views/12524872*

Verduurzaming grondstoffen en energiedragers

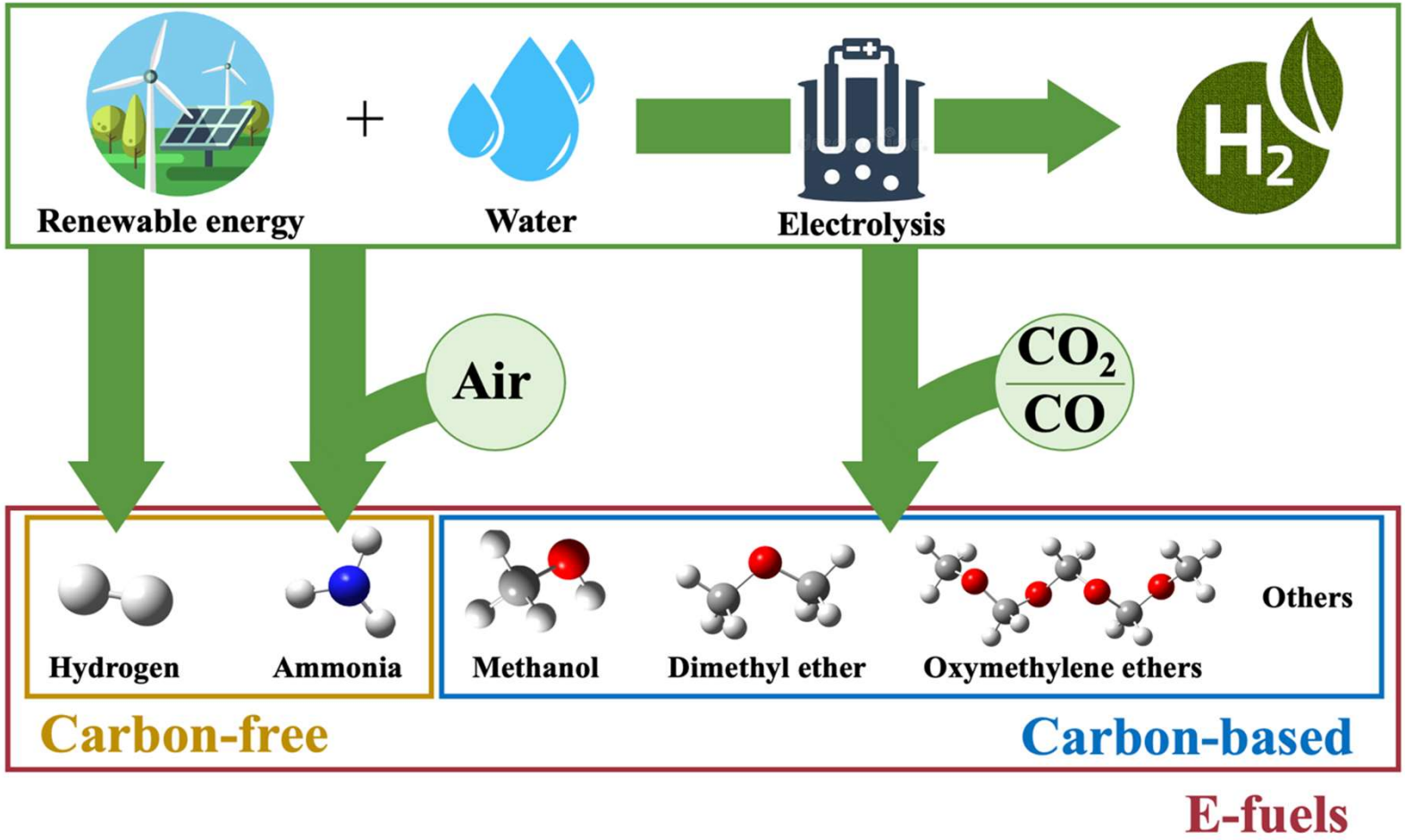
De grondstoffen en energiedragers die nodig zijn voor de verduurzaming van de (petro)chemie, en de transitie naar een meer circulaire industrie zijn:

- waterstof of een waterstof houdende energiedrager zoals ammoniak of methanol,
- stofstromen uit afval en biomassa zoals pyrolyseolie afkomstig van plastiekafval,
- ethanol,
- stofstromen die leiden tot zowel lagere SCOPE 1 emissies als tot lagere SCOPE 3 emissies dan degene die actueel gebruikt worden.

SCOPE 1 emissies Petrochemie: grotendeels afkomstig van verbranding in ovens!

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

E-fuels of e-chemicals komen er aan



Bio-gebaseerde propaan, nafta, kerosine en diesel

Bio-gebaseerde grondstoffen/brandstoffen zoals hernieuwbare propaan, nafta, kerosine en diesel zijn ook reeds op de markt. Zij worden voornamelijk geproduceerd uit plantaardige of dierlijk oliën en vetten, gebruikte kookolie, etc. Een uitdaging is dat hun productiecapaciteit beperkt is door de beperkte hoeveelheid beschikbare startmaterialen.

27 June 2022

Neste invests in its world scale renewable products refinery in Rotterdam

Published in Releases and news under Renewable solutions, Investors

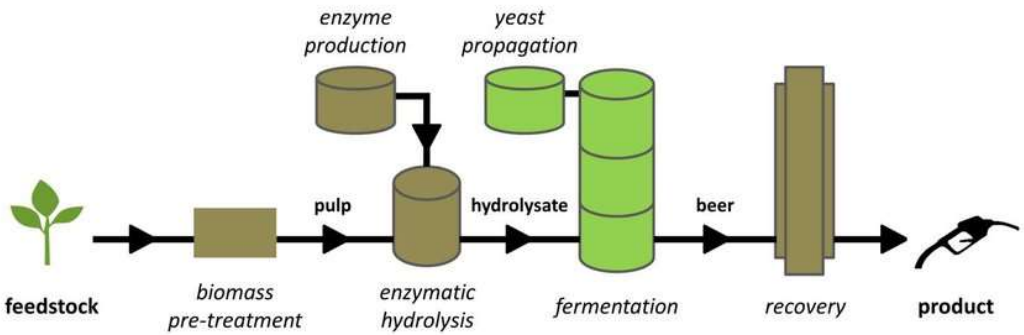
Neste Corporation, Stock Exchange Release / Insider Information, 27 June 2022 at 9 p.m. (EET)

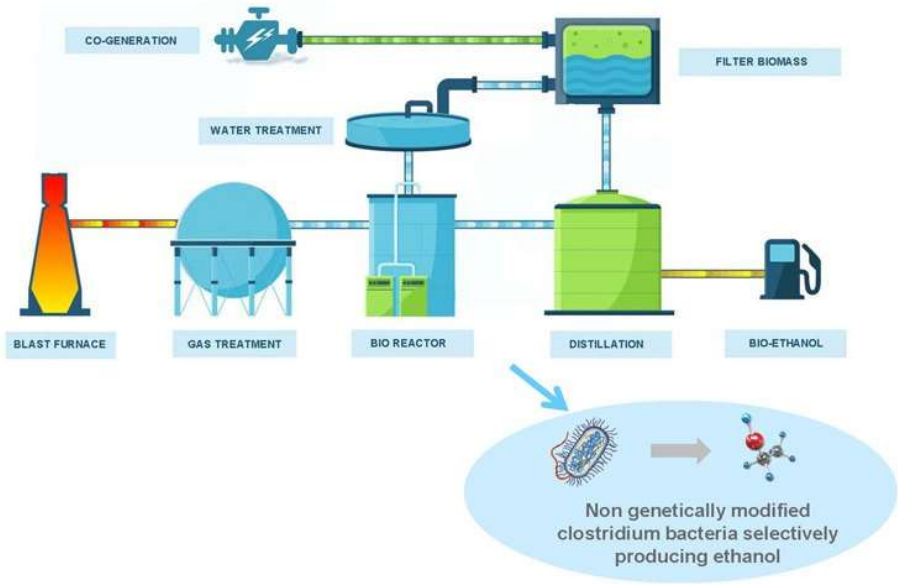
Neste Corporation has made the final investment decision to invest into new renewable products production capacity in Rotterdam. The decision is based on demand for renewable products growing substantially with customers' higher climate ambitions.

Neste's current 1.4 million ton capacity for renewable products in Rotterdam is the largest in Europe. The Rotterdam refinery expansion investment of approximately EUR 1.9 billion will expand Neste's overall renewable product capacity by 1.3 million tons per annum, bringing the total renewable product capacity in Rotterdam to 2.7 million tons annually, of which sustainable aviation fuel (SAF) production capability will be 1.2 million tons. The company's target is to start up the new production unit during the first half of 2026.

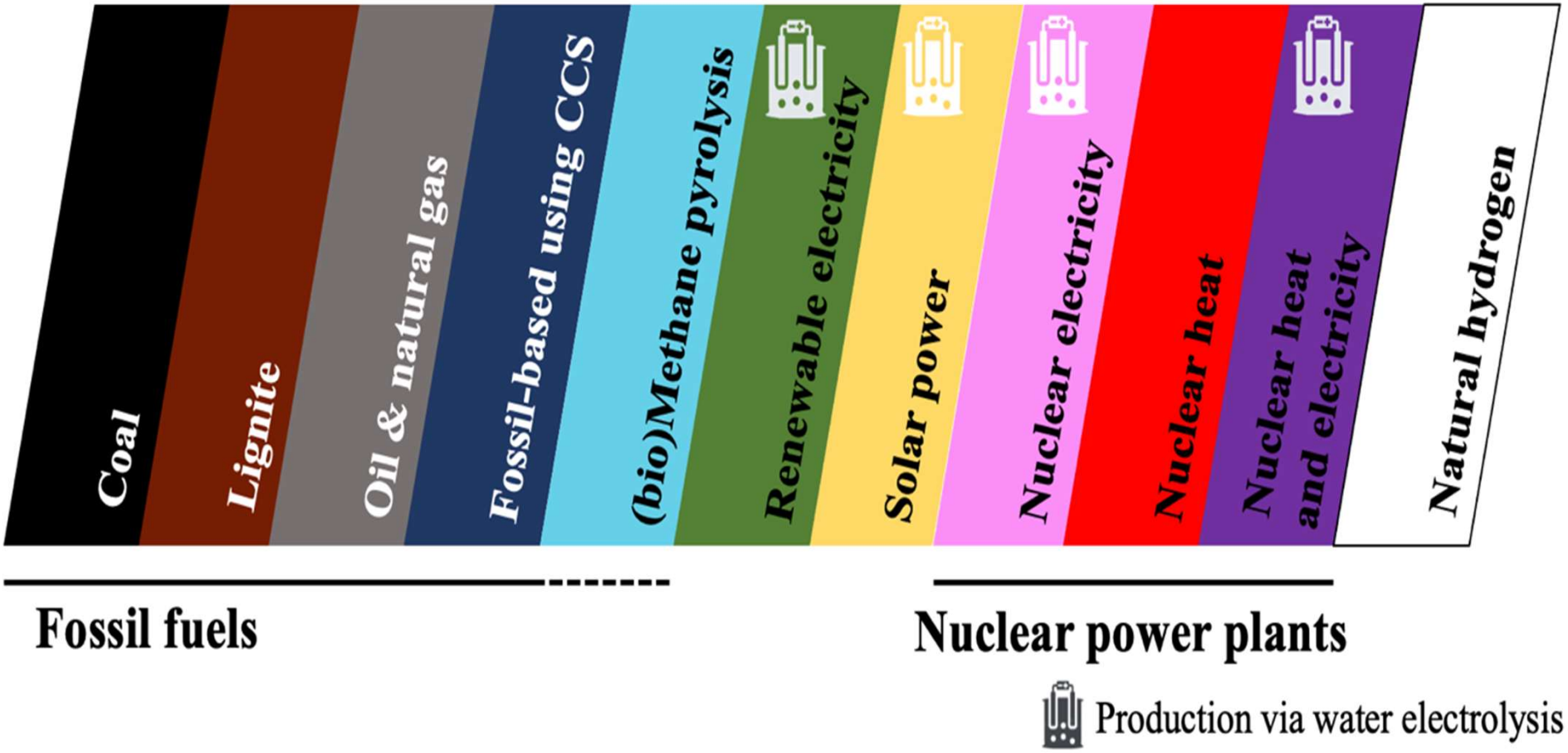
"The investment in the expansion of our Rotterdam refinery strengthens our global leading position in renewable products. It also marks an important step in ensuring our future competitiveness and our renewables' growth strategy execution as it will bring a substantial amount of renewable diesel, SAF and renewable feedstock for polymers and chemicals to our sustainability-focused customers," says Matti Lehmus, President and CEO of Neste.

Ethanol

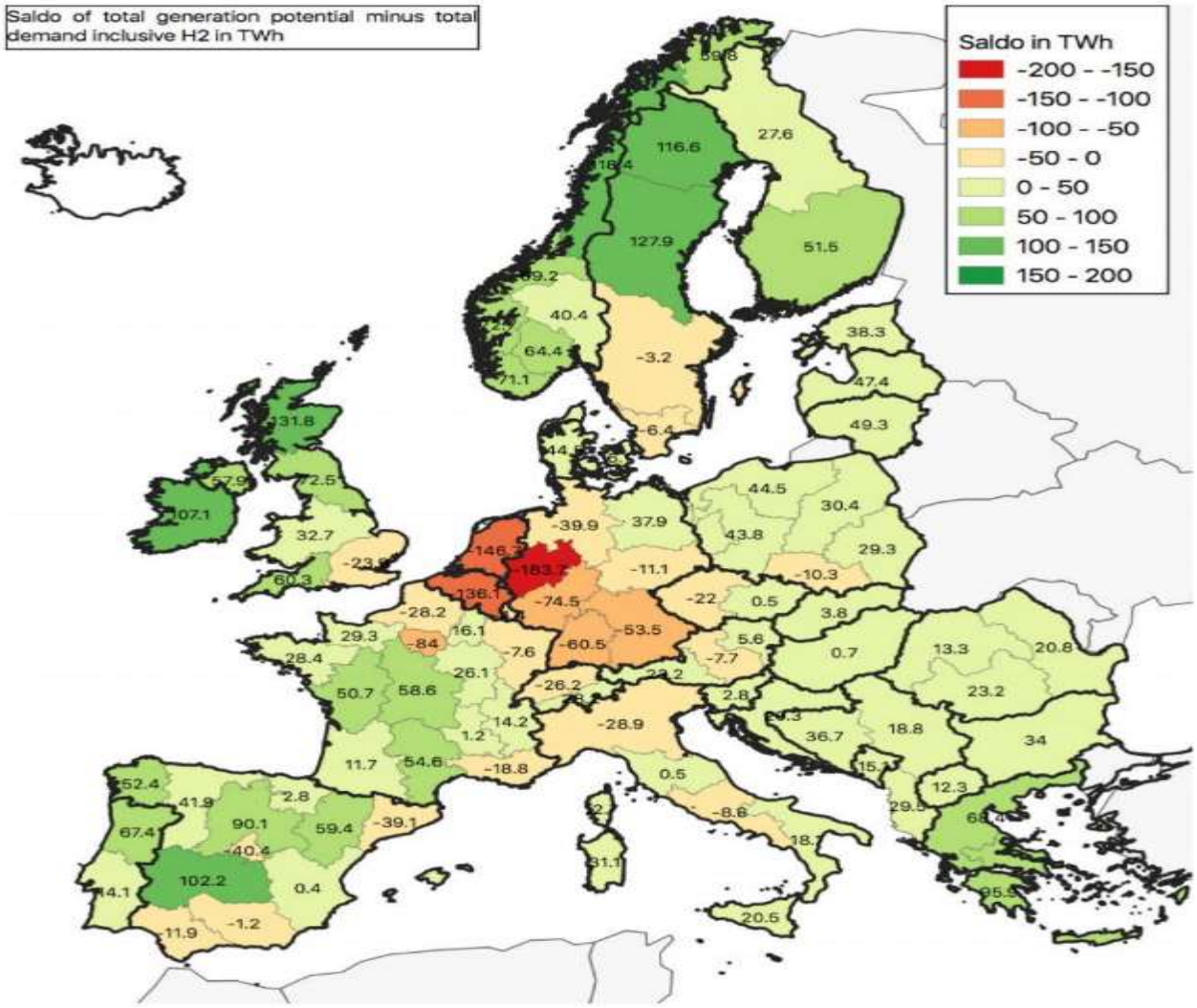

enzyme production
yeast propagation
pulp
hydrolysate
beer
feedstock
biomass pre-treatment
enzymatic hydrolysis
fermentation
recovery
product


CO-GENERATION
FILTER BIOMASS
WATER TREATMENT
BLAST FURNACE
GAS TREATMENT
BIO REACTOR
DISTILLATION
BIO-ETHANOL
Non genetically modified clostridium bacteria selectively producing ethanol

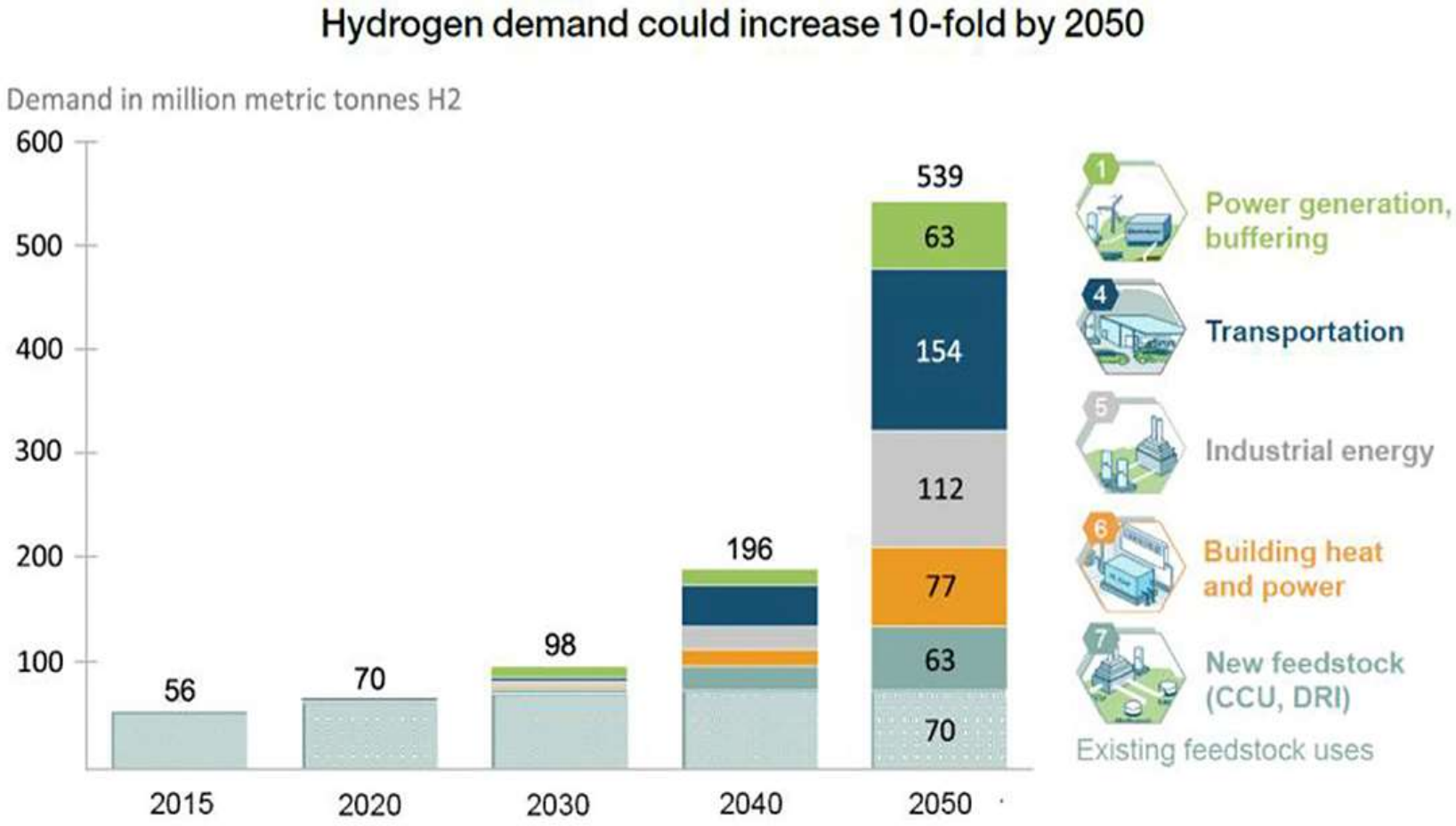
Kleuren van waterstof



Vlaanderen wordt waarschijnlijk een H2 importeur



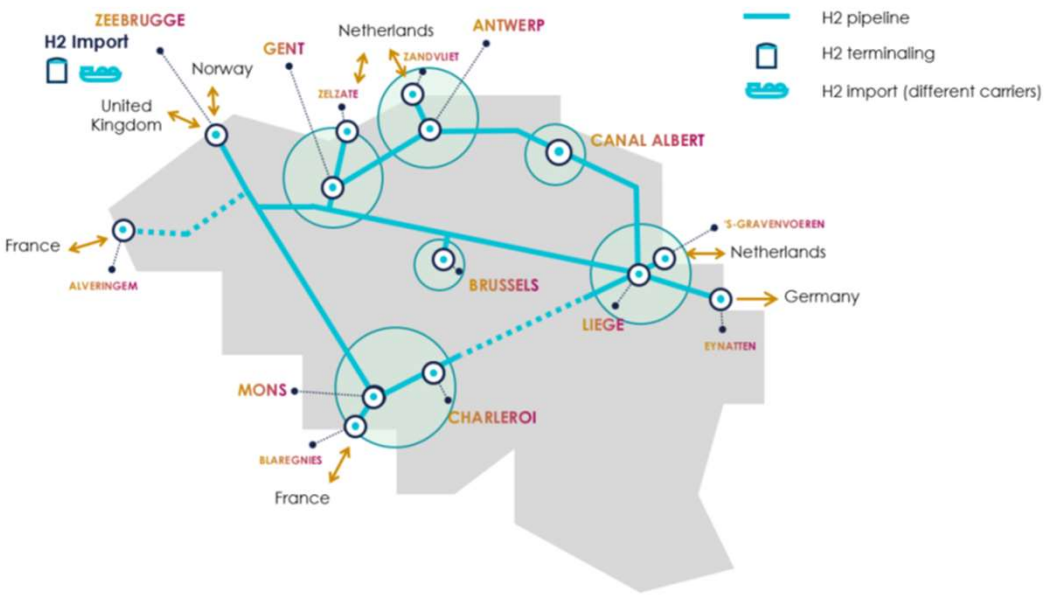
70 year cycle: Time for change?

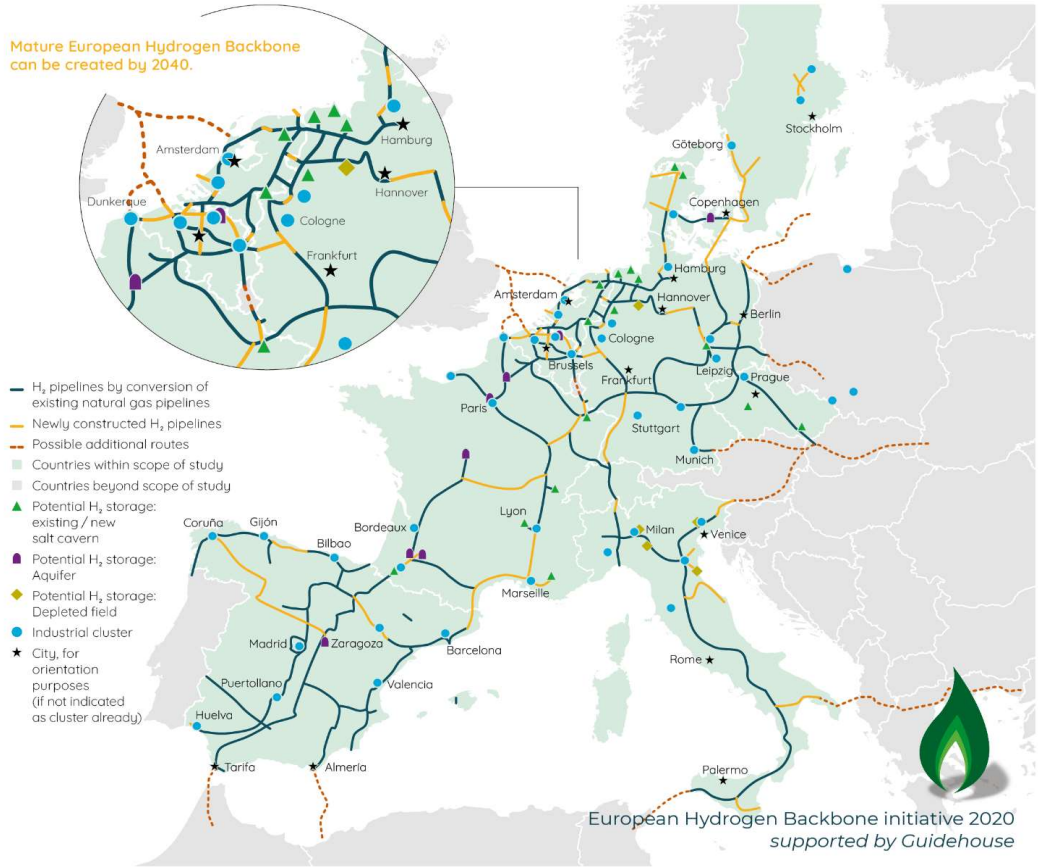


Adapted from *Scaling Up*, Hydrogen Council, 2017. Orginal units in EJ converted to tonnes H2; 1 EJ = 7,000,000 tonnes H2.

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

Pijpleiding netwerken



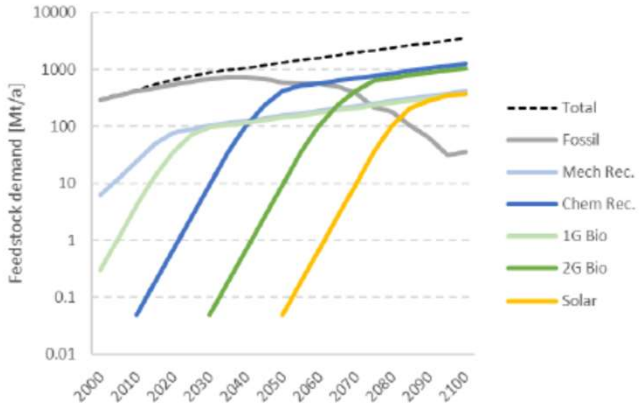


The European Hydrogen Backbone (EHB) initiative - https://ehb.eu

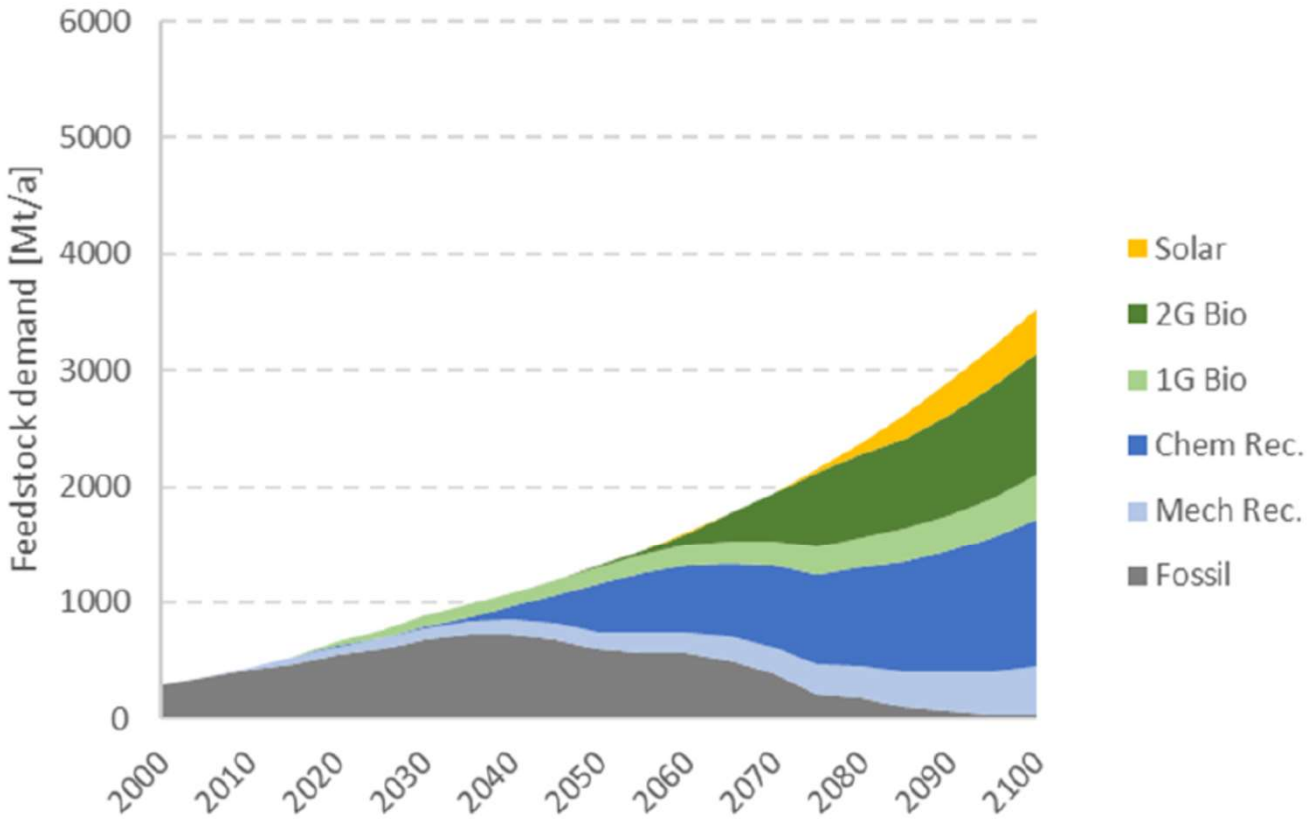
- Er zullen **verschillende vormen van waterstof** nodig zijn in de basisindustrie. Niet elke toepassing heeft dezelfde vereisten betreffende zuiverheid. Uiteraard moet vermeden worden dat door het gebruik van waterstof extra NOx geproduceerd wordt. Waterstof zal vooral in **gasvormige vorm** nodig zijn. 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

- Voor **Vlaanderen en België zal waterstof voornamelijk aangevoerd worden, vermoedelijk per schip in onze havens.** Op dit moment lijkt er een voorkeur om dit onder de vorm van **ammoniak** te doen, aangezien onze 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.

Demand for polymers will likely grow

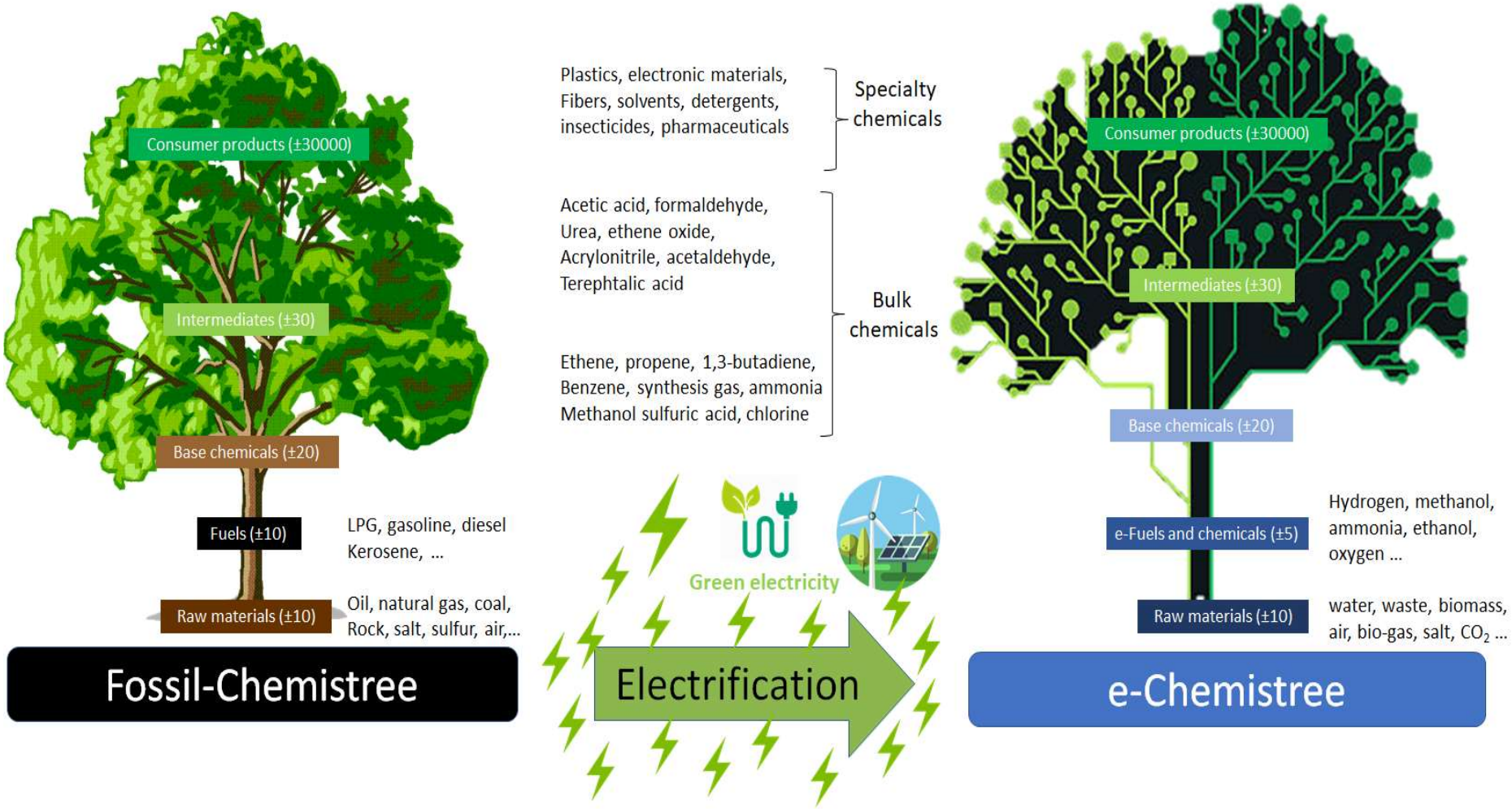


Growth Premises:
Total: 4% <2025, 2% >2035
New feed: 30% until maturity share, then 2%



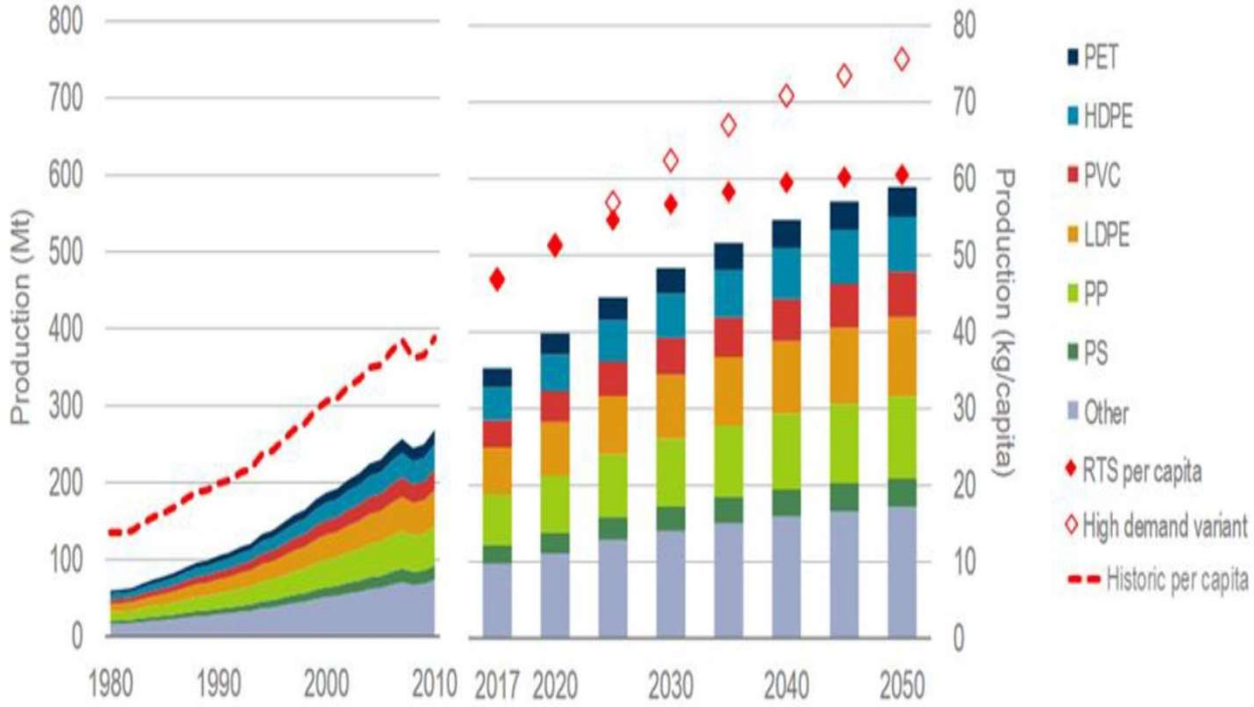
Shell Global Solutions BV

e-Chemstree

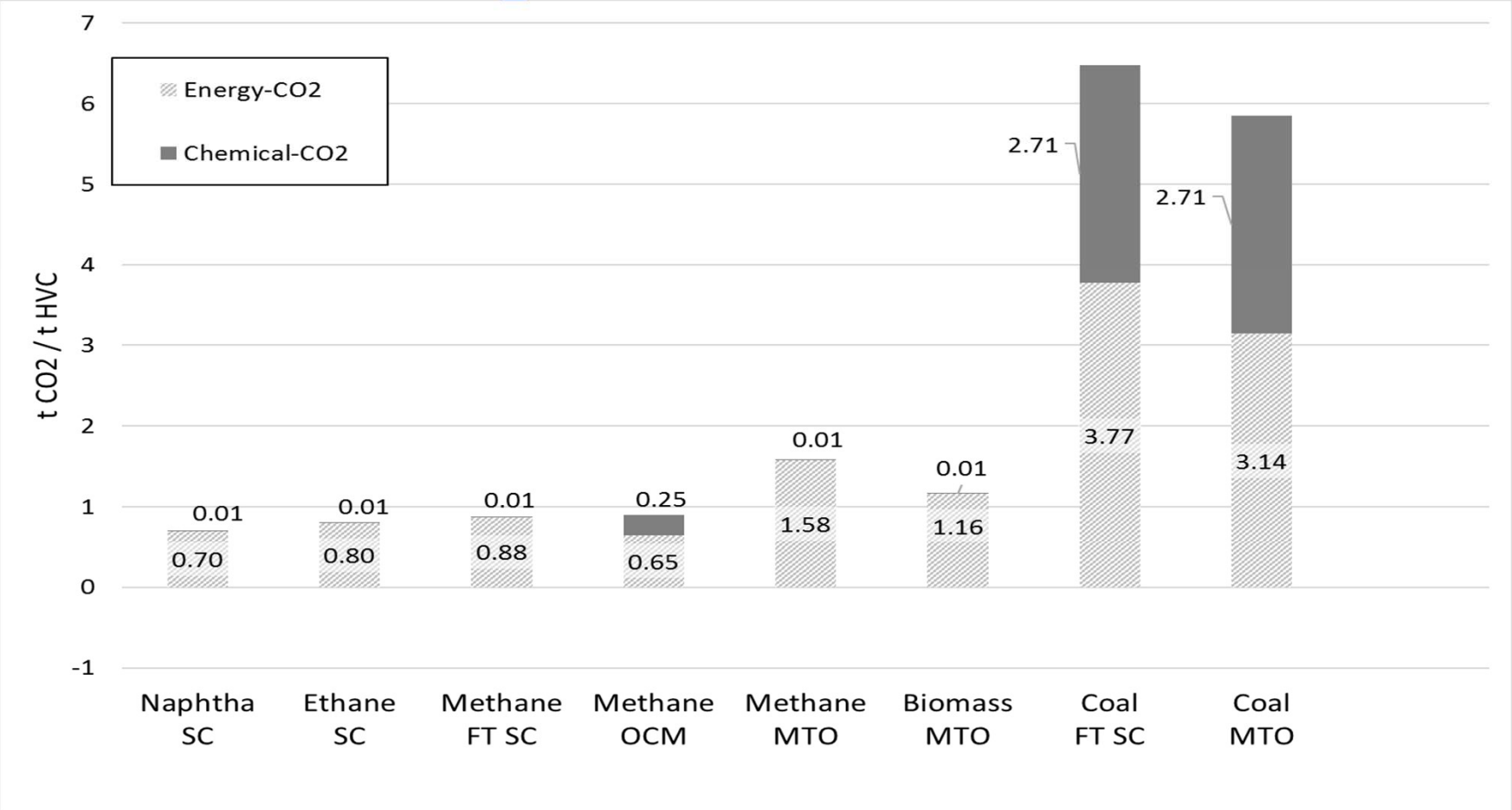

Consumer products (±30000)
Intermediates (±30)
Base chemicals (±20)
Fuels (±10)
LPG, gasoline, diesel
Kerosene, ...
Raw materials (±10)
Oil, natural gas, coal,
Rock, salt, sulfur, air,...
Fossil-Chemistree
Plastics, electronic materials,
Fibers, solvents, detergents,
insecticides, pharmaceuticals
Specialty chemicals
Acetic acid, formaldehyde,
Urea, ethene oxide,
Acrylonitrile, acetaldehyde,
Terephtalic acid
Ethene, propene, 1,3-butadiene,
Benzene, synthesis gas, ammonia
Methanol sulfuric acid, chlorine
Bulk chemicals
Green electricity
Electrification
Consumer products (±30000)
Intermediates (±30)
Base chemicals (±20)
e-Fuels and chemicals (±5)
Hydrogen, methanol,
ammonia, ethanol,
oxygen ...
Raw materials (±10)
water, waste, biomass,
air, bio-gas, salt, CO_2 ...
e-Chemistree

Petrochemische grondstoffen in de energietransitie

– Ethaan en LPG geven aanleiding tot hogere opbrengsten aan olefines dan zwaardere fracties

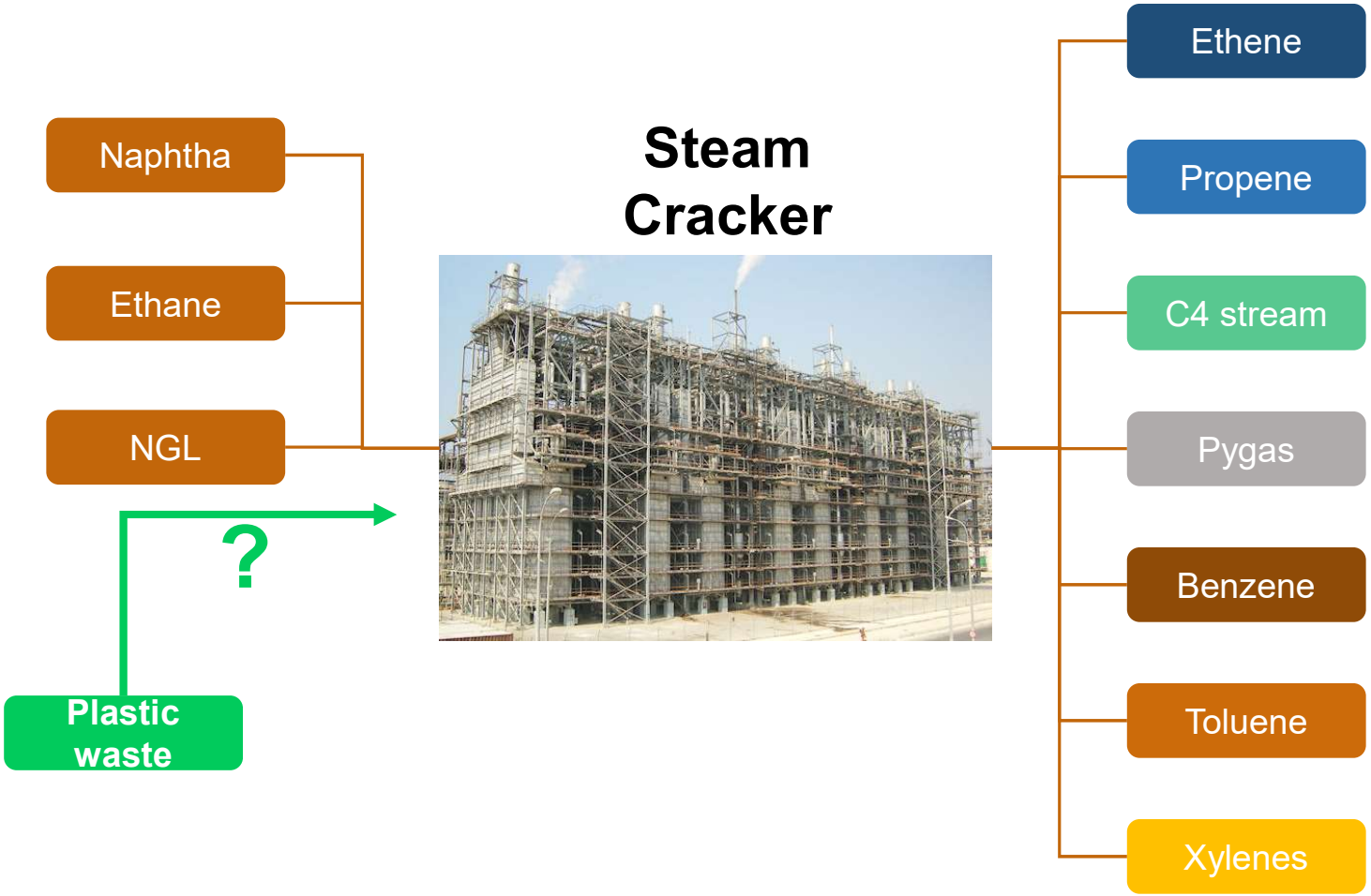


Production technologies for Olefins

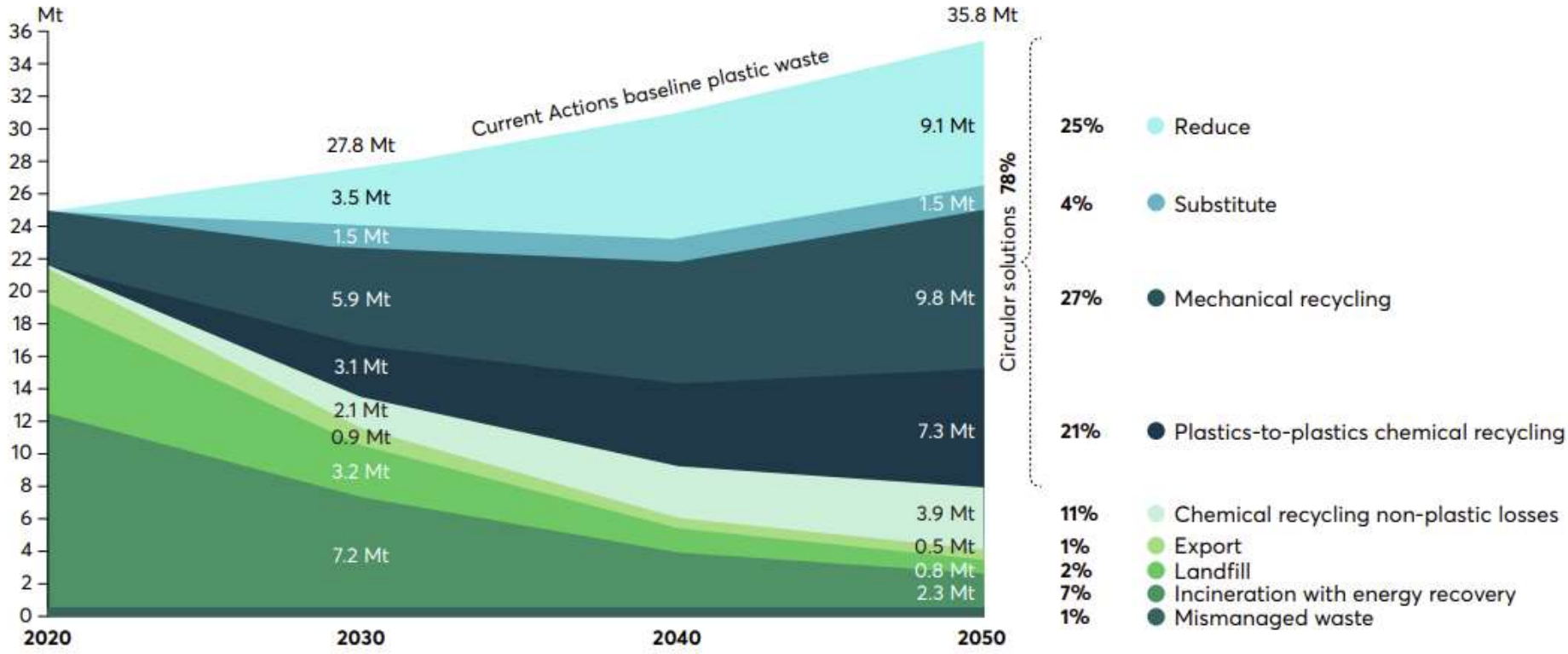


New Trends in Olefin Production; Ismaël Amghizar Laurien A.Vandewalle Kevin M.Van Geem
Engineering Volume 3, Issue 2, April 2017, Pages 171-178 open access

Biomassa of afval naar olefines?



Voorspellingen voor Europa: circulariteit plastics



Source: "ReShaping Plastics" model

https://www.systemiq.earth/wp-content/uploads/2022/05/ReShapingPlastics-v2.1.pdf

Electrification and CO_2 reduction strategies

3. Carbon capture and sequestration

4. Carbon capture and utilization

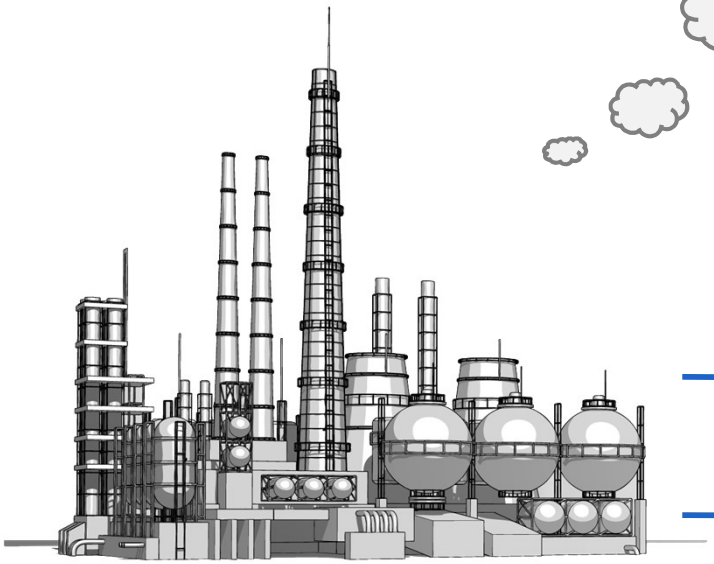
H_2

2. Use low-carbon energy sources

Energy

Fossil feedstock

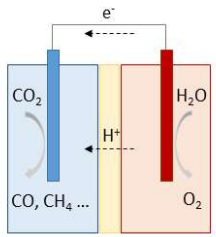
5. Use alternative feedstocks



1. Improve energy efficiency

CO_2

Electrochemistry ?



Fuels (e.g. DME, MeOH)

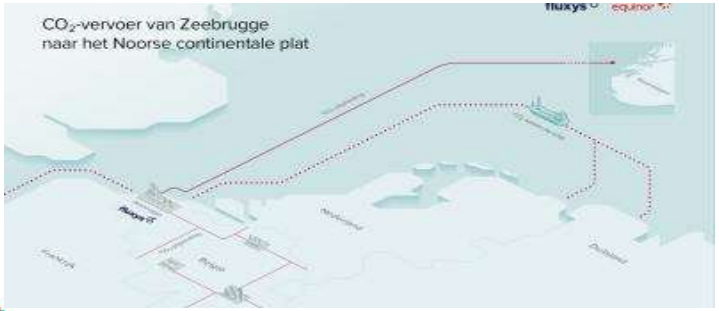
Chemical products (e.g. C_2H_4)

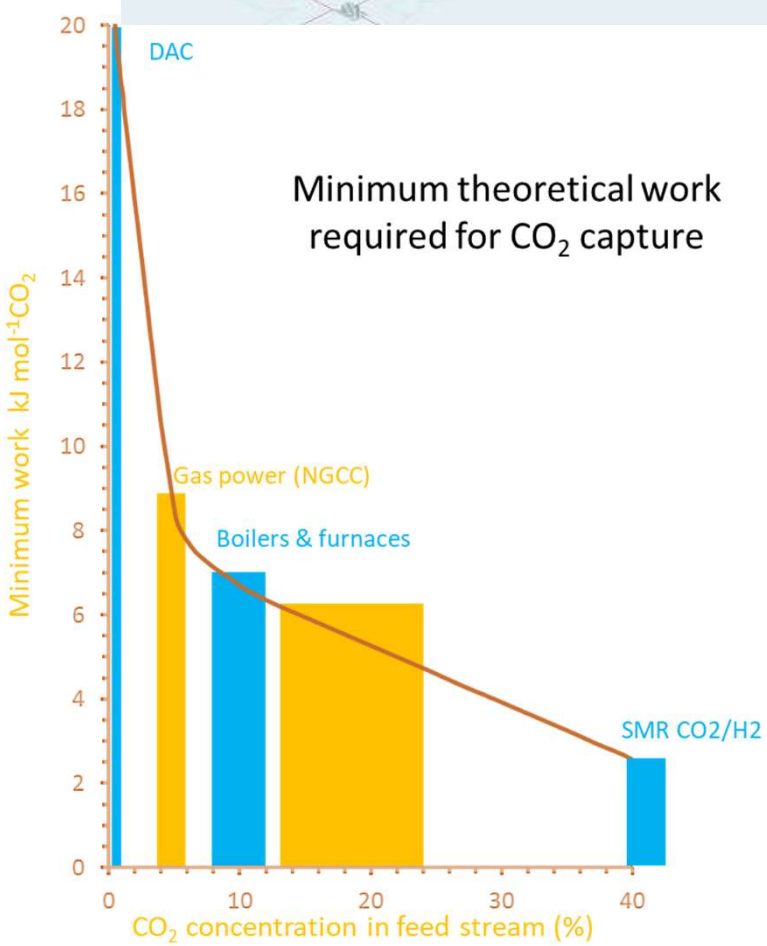
Transport en Capture van CO_2

- Het vervoer van CO2 via pijpleidingen is vergelijkbaar met het vervoer van brandstoffen zoals aardgas en olie. Over land is er een duidelijke voorkeur voor het transport via pijpleiding (afstanden tot 1420 km).

- 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.

- **Direct Air Capture** is op dit moment te energie-intensief, maar is mogelijks nodig om het CO_2 gehalte snel te laten dalen uit onze atmosfeer

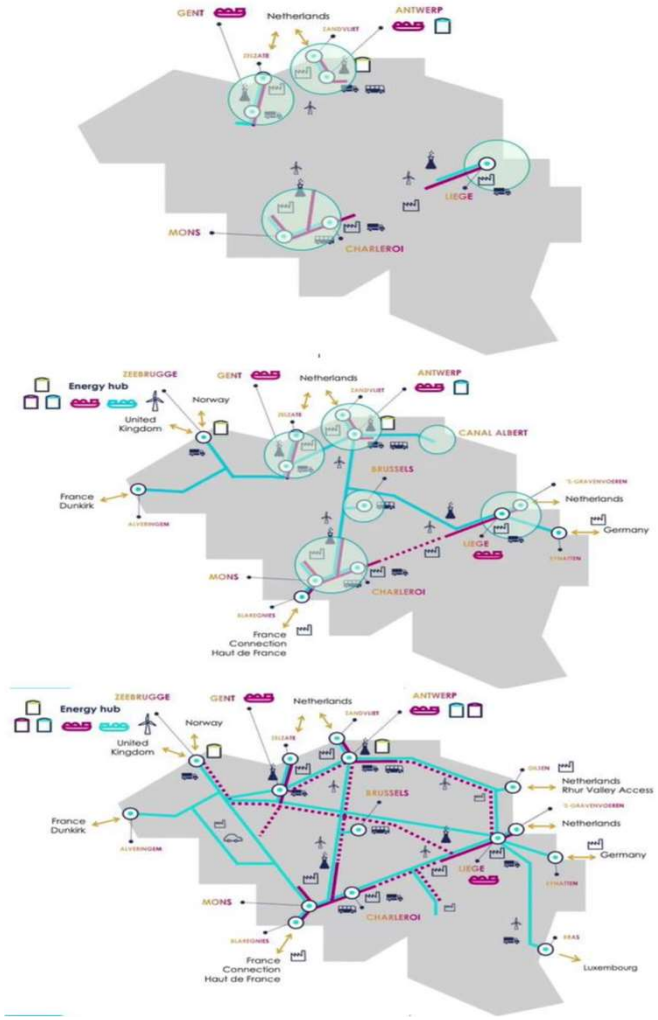


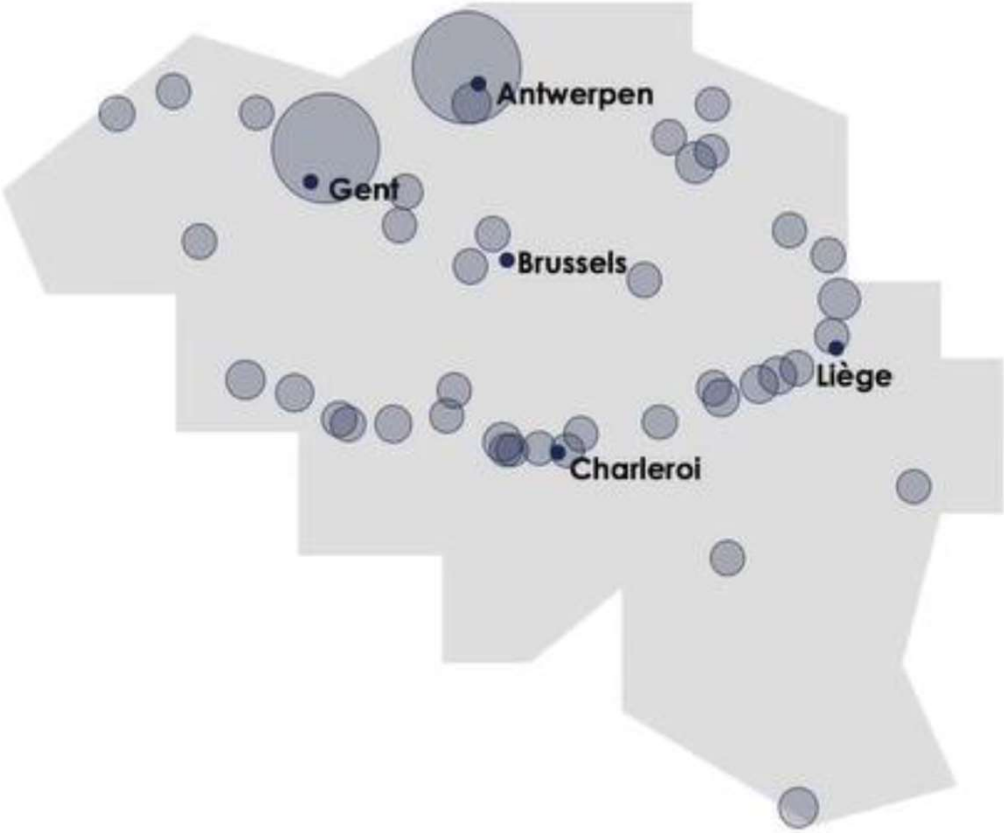


CO2 transport van en naar Vlaanderen

- **In het komend decennium** zal de noodzaak tot **definitieve opslag van CO_2** veel **belangrijker** zijn dan het hergebruik van CO_2 voor de Vlaamse industriële clusters. Op dit moment is het gebruik van CO_2 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.
- **CO_2 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

Opbouw van CO2 netwerk: Industriële clusters

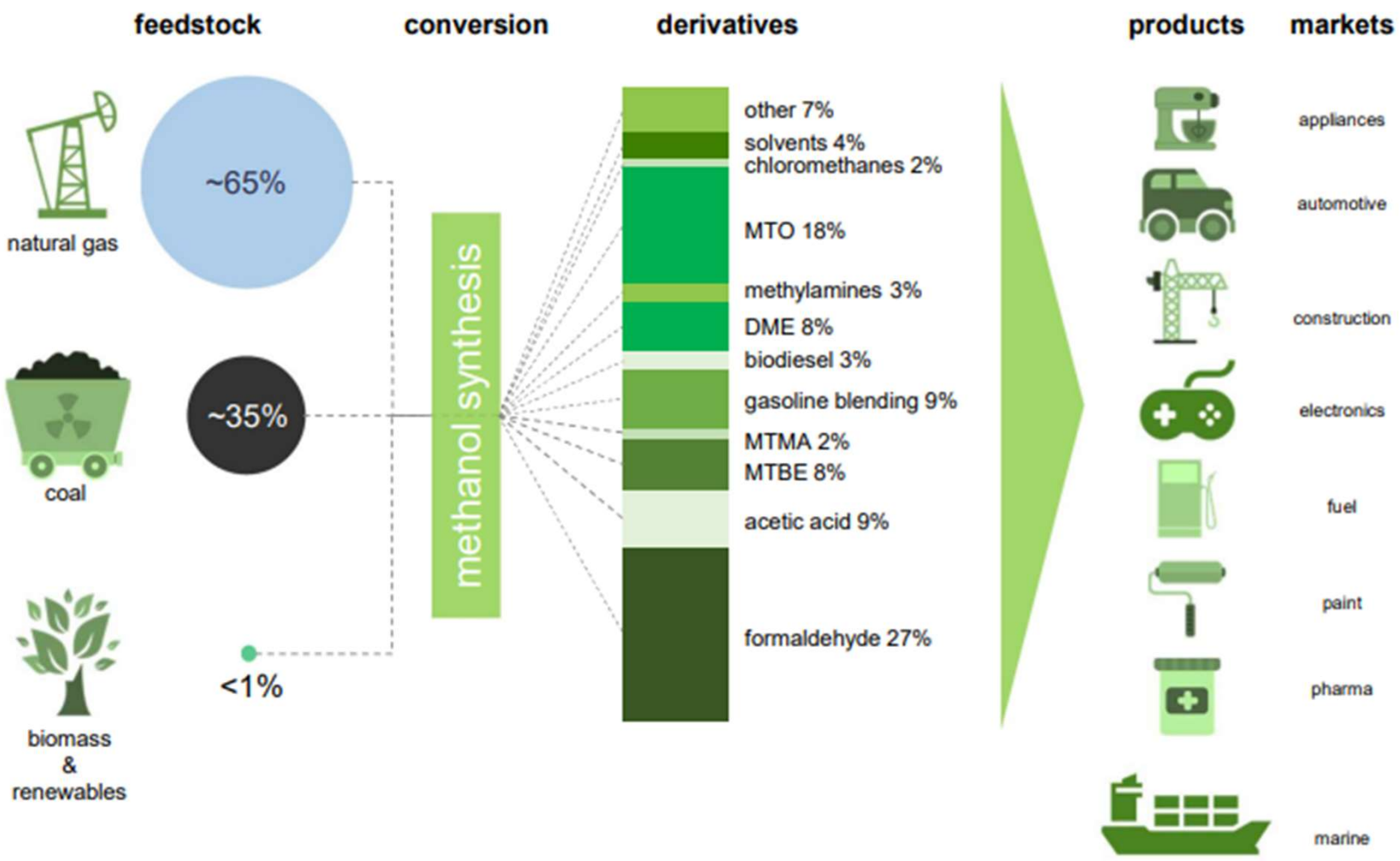




Netwerk van pijpleidingen voor het afvangen en transporteren van CO2 naar Nederland

– De eerste zijn is belangrijk

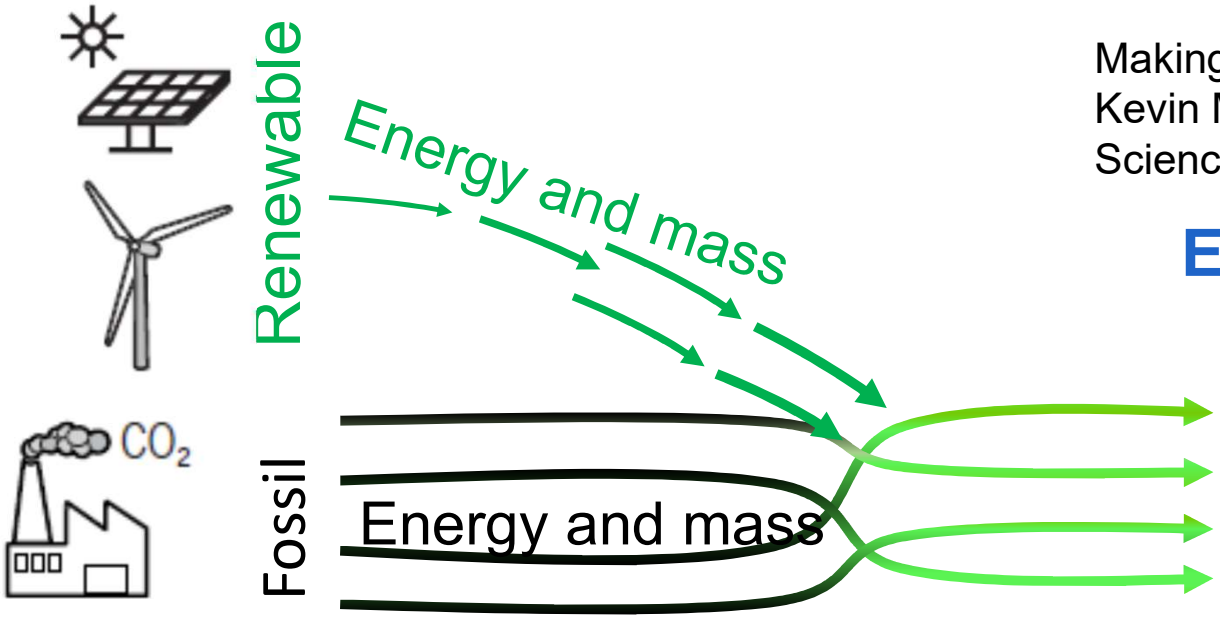
Wat met CCU? Methanol maar…



Electrification can transform chemistry for a sustainable future:

from hot flames to "green" electrons.

Shifting away from fossil fuels as energy source for the chemical industry will have a significant impact on global carbon dioxide emissions. Renewable energy sources, such as solar and wind, will drive chemical technology towards sustainable production of chemicals and energy carriers.

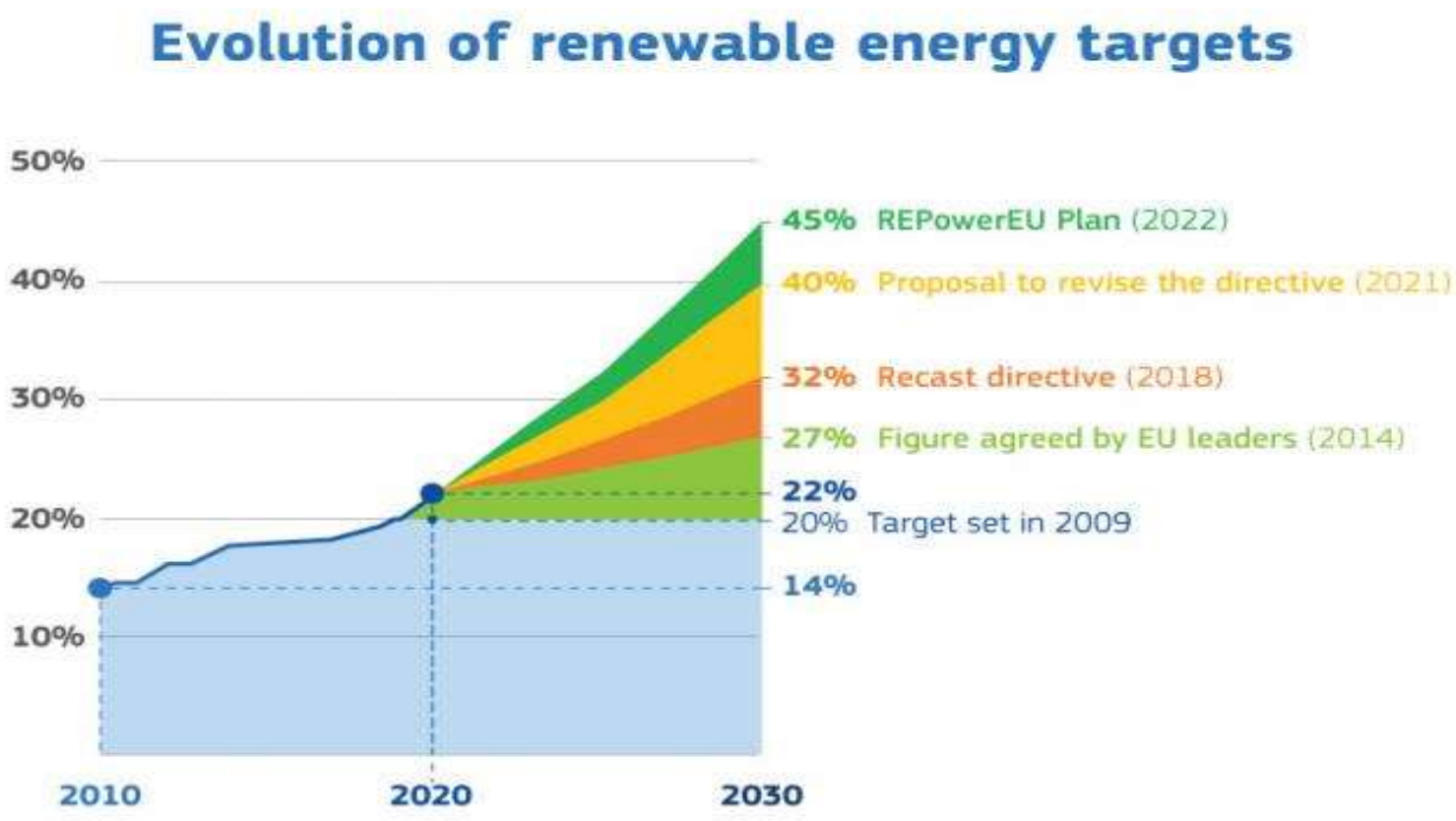


Making chemicals with electricity
Kevin M. Van Geem, Vladimir V. Galvita,
Science 24 May 2019

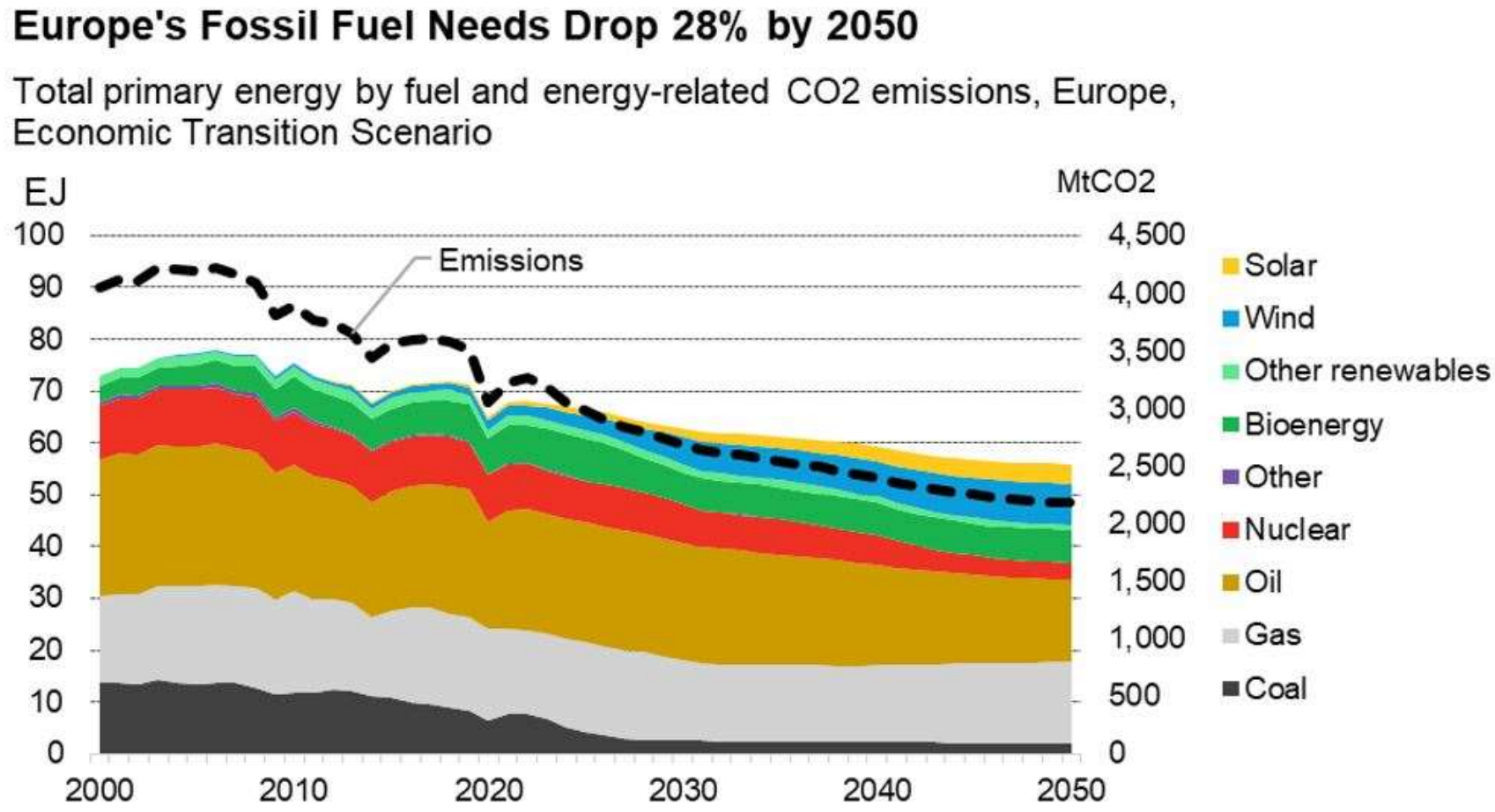
Electric Power to:

- **Heat (industry, house, …)**
- **H_2 (energy, fuel, building block)**
- **Chemicals (commodity, building block**
- **Synthetic Fuels (transport, energy storage)**

Projectie 2030 hernieuwbare energietrends in EU

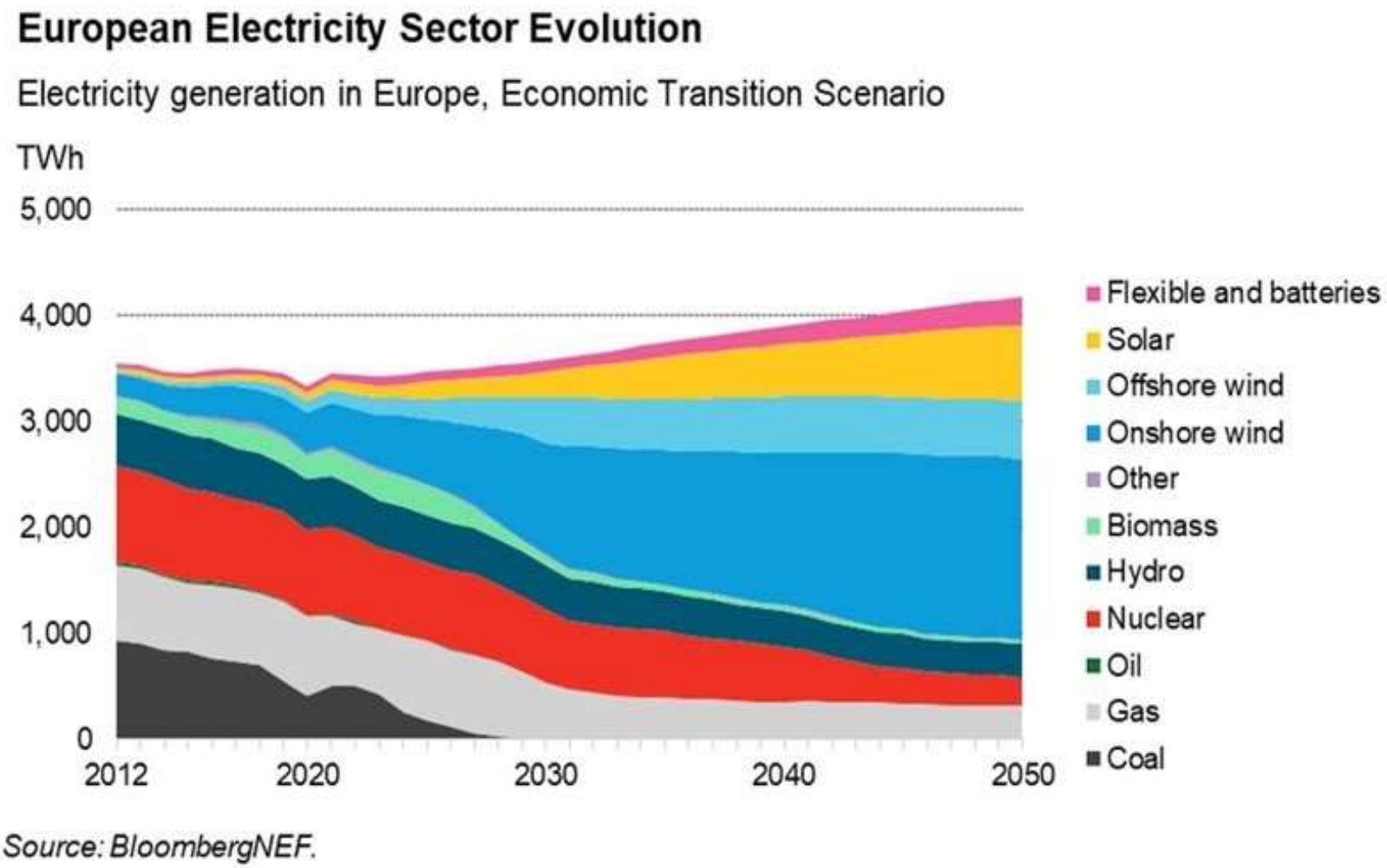


2042?

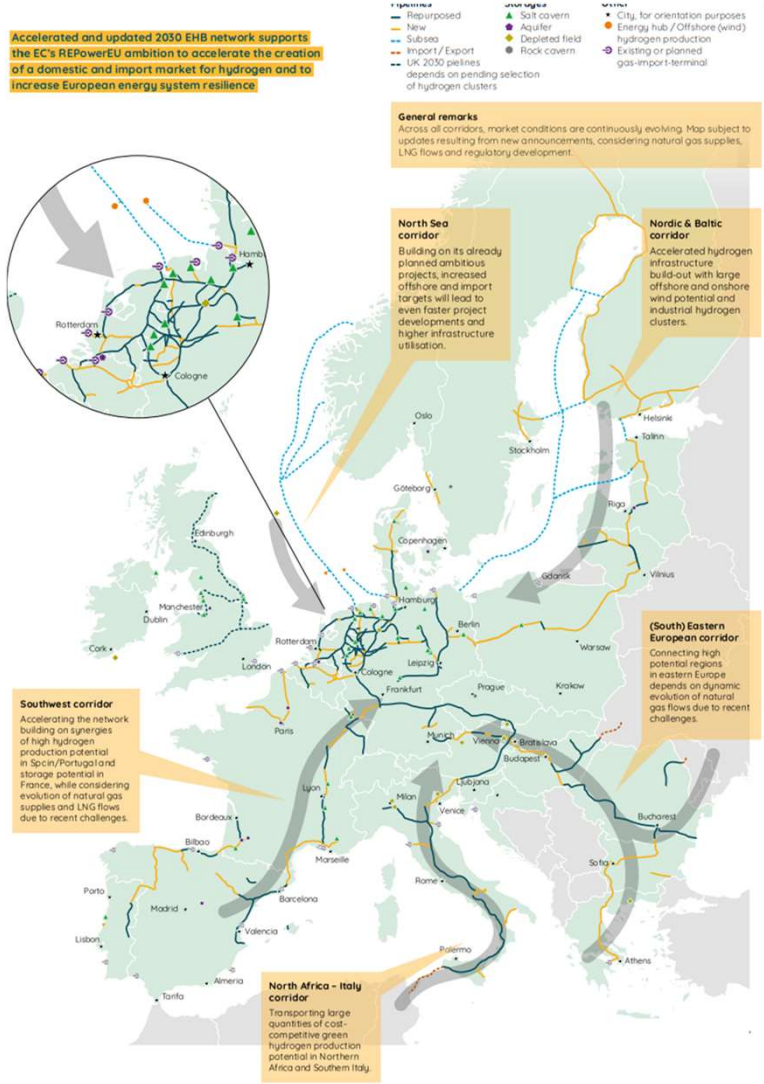


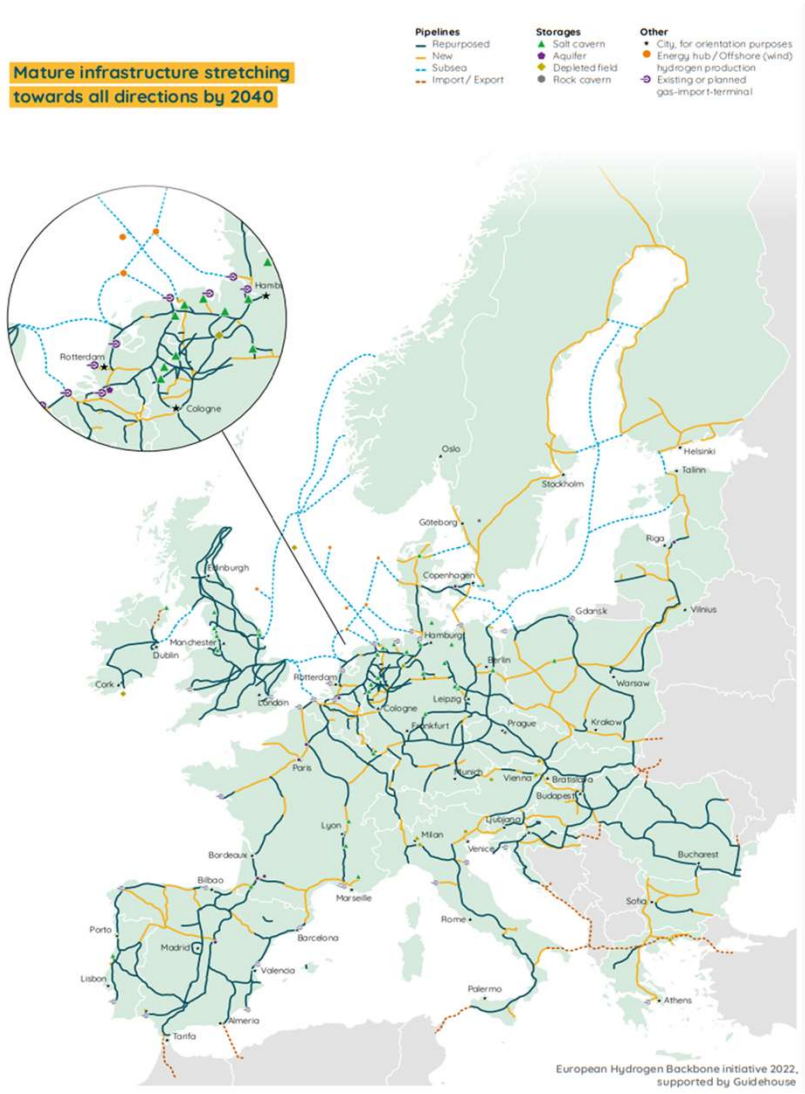
Source: BloombergNEF. Note: The Economic Transition Scenario is an economics-driven outlook on how the energy system evolves out to 2050.

Elektriciteit in 2042?



Implicaties energietransitie op transport





Europe Pipelines map - https://www.theodora.com/pipelines/europe_oil_gas_and_products_pipelines.html

België zal een ankerpunt zijn wat betreft waterstof- en CO_2-transport. Door een dicht vervoersnet vergeleken met andere gebieden 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.

Slotbemerkingen

- Duitsland wil snel schakelen en is bang dat er geen competitie zal zijn
- Overheid zal moeten investeren
- Gebruik van waterstof is niet altijd de beste of meest efficiënte oplossing
- 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.
- Ammoniak heeft op dit moment de voorkeur als e-fuel
- H_2 kan nu reeds competitief gemaakt worden in KSA

Vragen