

Koolstofcirculariteit en de toekomst van de Nederlandse industrie

Position paper ten behoeve van het rondetafelgesprek 'Integrale visie op de toekomst van de Nederlandse industrie richting 2050' van de vaste commissie Klimaat en Groene Groei van de Tweede Kamer op 4 september 2025

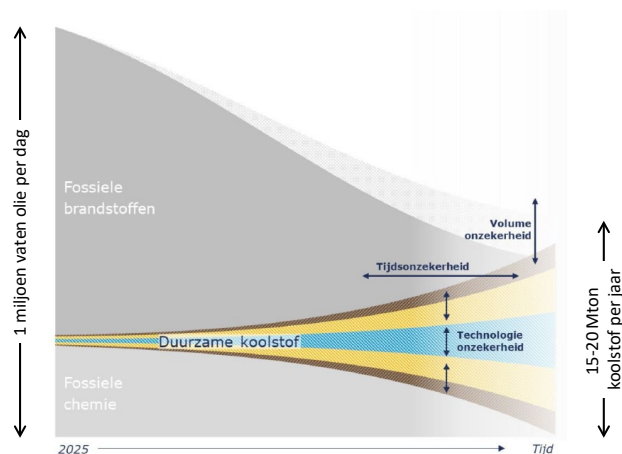
Door [Gert Jan Kramer](#) (Universiteit Utrecht en Sustainable Industry Lab)

Een van de transitiedoelen van de overheid is dat [de Nederlandse economie in 2050 volledig circulair is](#) en in 2030 al vijftig procent minder grondstoffen gebruikt wordt. Dat klinkt prachtig maar ik zou niet weten hoe dat in een open economie betekenisvol te meten is, laat staan te reguleren. Daarmee is er het gevaar dat het niet meer is dan een reclameslogan, zoals de tandpastareclame uit mijn jeugd die “veertig procent wittere tanden” belofde.

Dit maakt duidelijk dat circulariteit als *richtinggevend principe* nuttig is, maar dat we nog zoeken hoe we hier betekenisvol concrete, haalbare en – vanuit maatschappelijk- en milieuoogpunt – nuttige doelen aan kunnen verbinden.

Voor de circulariteit van koolstof in de Nederlandse industrie heb ik daar een suggestie voor, gebaseerd op werk in het [Sustainable Industry Lab](#) en voor het expertadvies [De toekomst van duurzame koolstofchemie in Nederland](#): in Nederland worden ongeveer 1 miljoen vaten olie per dag verwerkt tot brandstoffen en chemische producten door een geïntegreerd systeem van bedrijven dat zich uitstrekt naar Antwerpen en het Ruhrgebied (het ARRR-cluster). Een miljoen vaten per dag is 40 megaton koolstof per jaar. Een helder doel voor circulariteit en circulaire productie in het midden van de eeuw is de productie van de helft daarvan, 15-20 megaton, zoveel mogelijk uit biograndstoffen en reststromen. De halvering van het productievolume doet recht aan de terugval van de vraag naar wegtransportbrandstof, maar is ook ambitieus. Nederland levert daarmee een betekenisvolle bijdrage aan een duurzaam en strategisch autonoom Europa en daarnaast geeft het perspectief aan de sectoren die we nu als raffinage en chemie betitelen – een perspectief dat nu ontbreekt.

Daarbij zie ik een aantal aandachtspunten die belangrijk zijn voor politieke besluitvorming en beleidskeuzes rond circulariteit en industrie. Deze zijn gebaseerd op feitelijke (wetenschappelijke) observaties, die in een appendix bij dit document worden beschreven. Hieronder wordt per aandachtspunt naar de betreffende observaties verwezen.



De verandering van de koolstofverwerkingscapaciteit van de Nederlandse industrie: van 1 miljoen vaten olie per dag (40 Mton koolstof per jaar), naar 20 Mton duurzame koolstof per jaar. De kleuren verwijzen naar technisch verschillende verwerkingsroutes. Bron: [expertadvies](#).

Aandachtspunten voor beleid en politieke keuzes

CO₂-neutraliteit is een belangrijker doel dan circulariteit en circulariteit is een uitdagender doel.

Bij mijn beste weten bestaat er in het overheidsbeleid formeel geen hiërarchie tussen de doelen klimaatneutraliteit en circulariteit. Klimaatneutraliteit is een eis die het gebruik van fossiel als koolstofbron toelaat, zolang evenveel koolstof (in de vorm van CO₂) wordt afgevangen en opgeslagen (via CCS of BECCS) of anderszins wordt vastgelegd. Volledige koolstofcirculariteit impliceert dat er geen fossiel gebruikt wordt, wat een veel strengere eis is, die de industrietransitie ruwweg twee keer zo groot en uitdagend maakt: het vraagt veel meer groene energie en veel grotere investeringen. Uiteindelijk moet de industrie klimaatneutraal én circulair (fossielvrij) worden, maar het is de vraag of veel meer dan klimaatneutraliteit in 2050 realistisch is. Om te voorkomen dat beide ambities elkaar in de weg zitten zou de inzet op koolstofcirculariteit daarom beperkt moeten zijn door de beschikbaarheid van duurzame energie die nodig is om circulair koolstof met hoge efficiëntie om te zetten. (*Achtergronden: [bronnen en balans](#); [circulariteit en energie](#)*).

Industriële conversie-efficiency moet een leidend principe zijn; blijf weg van te fijnmazige sturing.

Het beleid van de afgelopen decennia rond biobrandstoffen en circulair plastic (om de twee meest prominente gebieden te benoemen) kenmerkte zich door fijnmazige aansturing van bron naar product. De inzet is daarmee op systeemniveau niet altijd efficiënt – zo is bijvoorbeeld de koolstofconversie-efficiëntie van veel routes niet meer dan vijftig procent. Dat werkt wanneer het om relatief kleine hoeveelheden gaat, maar wanneer biograndstoffen en reststromen dominant worden in de koolstofmix moet conversie-efficiëntie het leidende criterium worden. Dit vraagt dat zowel koolstofbronnen (biograndstoffen en reststromen) en tussenproducten flexibel mogen worden ingezet voor duurzame brandstoffen of materialen, al naar gelang dat efficiënt is. Het maakt voor de planeet niet uit of biokoolstof voor brandstof of chemie wordt ingezet. Het maakt wel uit of het efficiënt gebeurt. (*Achtergronden: [bronnen en balans](#); [circulaire industrie](#)*)

Klimaatneutraliteit en circulariteit vragen om grootschalige inzet van biograndstoffen.

Wanneer we een groot deel van de fossiele koolstof door ‘circulair koolstof’ willen vervangen, zijn daarvoor grote hoeveelheden biograndstoffen nodig, zelfs bij maximale inzet op circulariteit van materialen. De hoeveelheid en de aard van de beschikbare biograndstoffen worden bepaald door de landbouw- en voedseltransitie en hangen af van de globale ontwikkelingen hierin. [Studies](#) geven aan dat op wereldschaal 50-100 EJ per jaar aan duurzame biomassa beschikbaar kan zijn. Ter vergelijking: het gebruik is thans ongeveer 50 EJ per jaar waarvan de helft ‘traditioneel’. In combinatie met het gebruik van reststromen en inzet op efficiënte conversie is dat voldoende om de wereld te voorzien van chemische feedstock en overblijvende, duurzame brandstoffen. Nederland produceert momenteel ongeveer een procent van de wereldwijde brandstoffen en chemie. Dit rechtvaardigt de inzet in Nederland van rond de 500 PJ per jaar aan biomassa (een procent van 50 EJ), die voor het grootste deel geïmporteerd moet worden. (*Achtergronden: [bronnen en balans](#); [verbonden transities](#)*)

Geef CO₂-conversie een veel lagere prioriteit. Schaf mandaten voor e-fuels en e-chemicals af.¹

Er is groot en goeddeels ongefundeerd enthousiasme voor het gebruik van CO₂ als koolstofbron. CO₂ is weliswaar ruim beschikbaar – zij het meest in zeer verdunde vorm – maar vraagt veel groene energie in de vorm van groene waterstof voor de productie. CO₂ bevat zelf geen energie, daarom moet bij de omzetting naar brandstof of chemische producten alle energie er extern ingebracht worden. Dat is anders bij biomassa en afval als grondstof. Die hebben al een energie-inhoud die per koolstofatoom tweederde is van brandstoffen en chemische producten. Er hoeft daarom minder energie te worden toegevoerd. Het Sustainable Industry Lab [schat](#) dat met 500 PJ groene energie, Nederland 20 megaton circulair koolstof kan omzetten in 15 megaton koolstof in nuttige producten (zie de figuur bij Circulariteit en energie in de

¹ De definitie van e-fuels (elektrobrandstoffen) en e-chemicals is niet altijd scherp. Ik richt me hier tegen het gebruik van CO₂ als koolstofbron – wat de pure vorm van e-producten is. De inzet van groene waterstof voor de opwerking van synthesesgas uit de vergassing van biograndstoffen (of afval) is wél nuttig, maar valt in mijn definitie onder (geavanceerde) bio- of duurzame productie, al wordt dit door sommigen ook onder opgerechte definitie van e-producten geschaard.

Appendix. Wanneer we CO₂ als koolstofbron inzetten kan met 500 PJ groene energie slechts circa 4 megaton product worden gemaakt. Dit is inefficiënt en duur. Het is mogelijk dat CO₂ ooit, ergens nuttig zal worden gebruikt, maar dan op lange termijn en niet in Nederland. Schaf daarom de mandaten voor e-fuels en e-chemicals af (met inachtneming van mijn voetnoot 1). NB: de CO₂ die wordt afgevangen in de procesindustrie kan nuttig worden opgeslagen voor negatieve emissies. (*Achtergronden: [circulariteit en energie](#)*)

Inzet op consumptievermindering is goed, maar geen substituut voor inzet op duurzame productie.

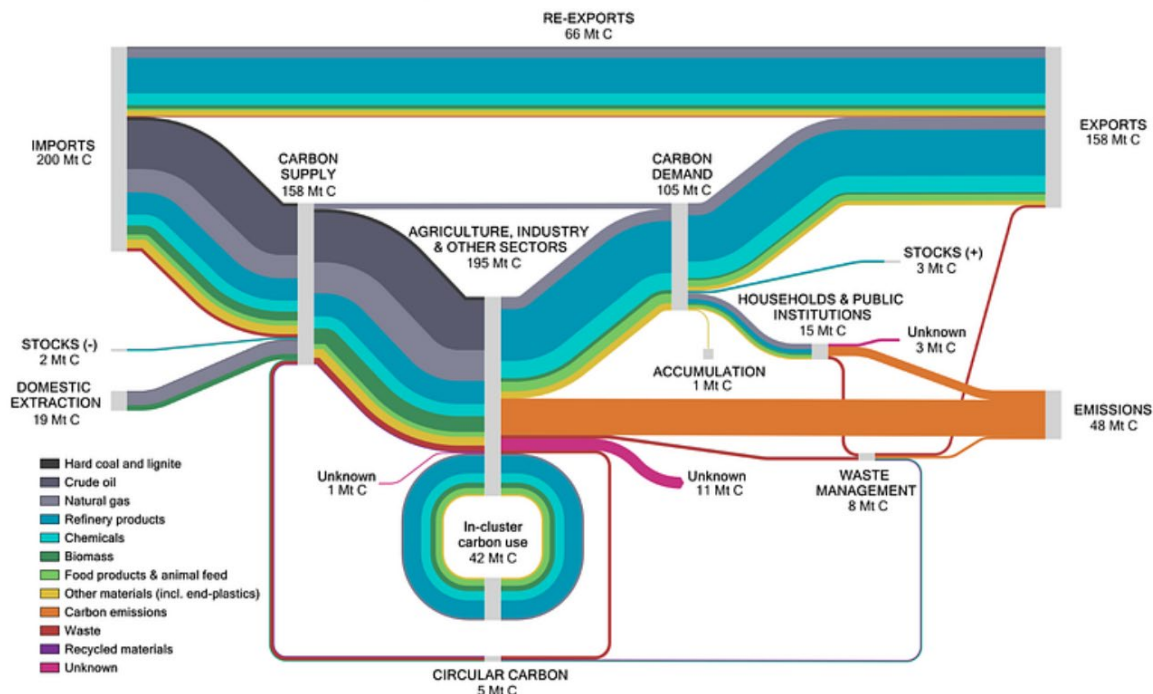
Circulariteit is een breed begrip. Van de tien circulaire strategieën die [het PBL in 2017 benoemde](#), richten zich acht op verminderen van productie en consumptie. De impact hiervan is mogelijk groot, maar ook zeer onzeker. Er zal altijd behoefte blijven aan koolstofgebaseerde chemische producten (en ‘overblijvende’ brandstoffen). In de meeste scenario’s is de toekomstige wereldwijde vraag groter dan de huidige. Dat betekent dat zelfs bij maximale inzet op consumentengedrag er een eveneens maximale inzet op circulaire productie nodig is. Precies daarom is de circulaire productiedoelstelling die ik in de opening bepleitte de noodzakelijke aanvulling van consumptiegericht circulariteitsbeleid. (*Achtergronden: [het 9R-framework](#)*).

Tot slot

Dit position paper is op persoonlijke titel geschreven, maar geïnformeerd en geïnspireerd door gesprekken en discussies met een brede groep stakeholders binnen het [Sustainable Industry Lab](#) en binnen het team achter het expertadvies [De toekomst van duurzame koolstofchemie in Nederland](#).

Appendix: feitelijke observaties over koolstof en circulariteit

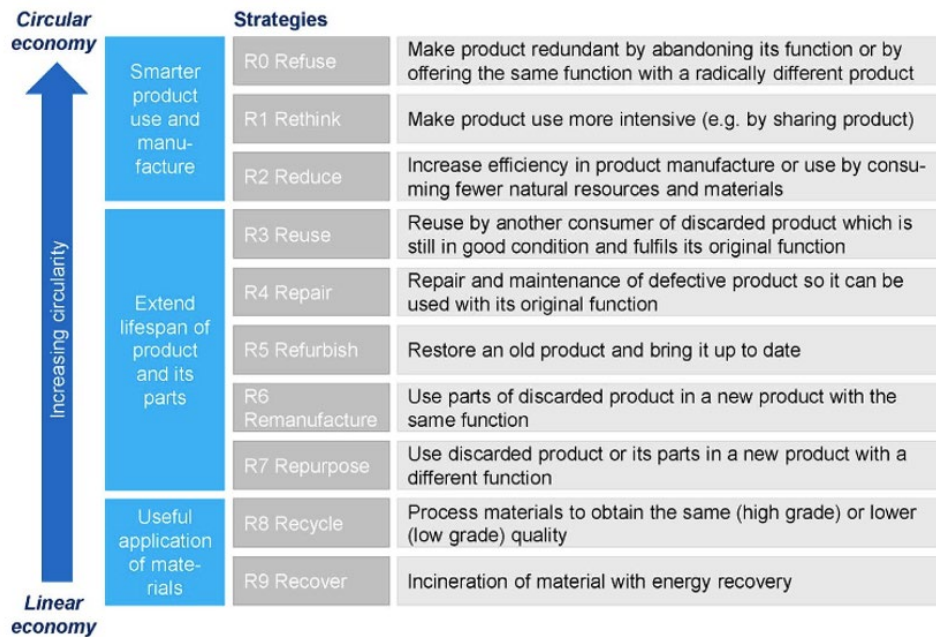
Koolstofstromen



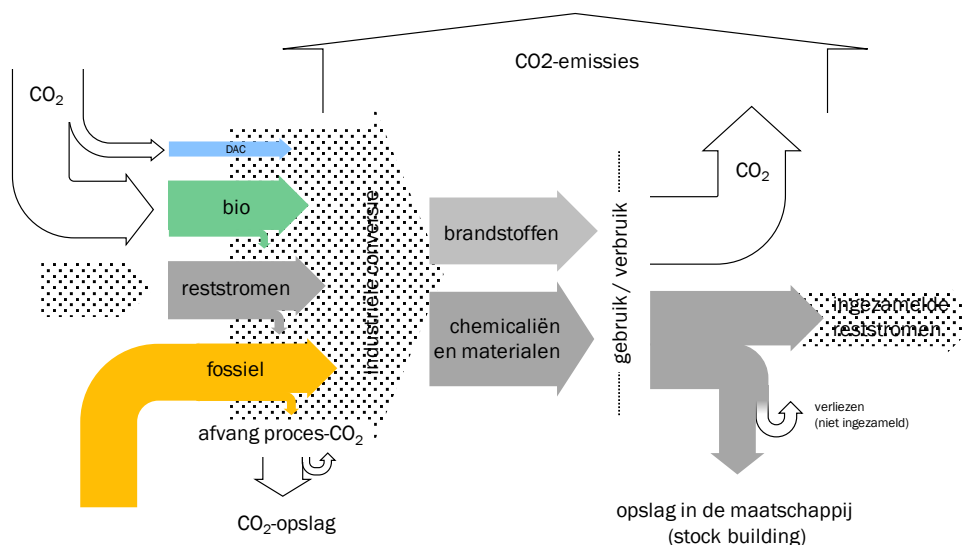
Hierboven zijn de koolstofstromen ten gevolge van economische activiteiten in Nederland in 2020 geschetst. Het is gemaakt door een promovendus van mij, Juraj Petrik, in samenwerking met het CBS en zal binnenkort gepubliceerd worden. Bekijk de figuur en stel de vraag: Wat bedoelen we met vijftig of honderd procent circulariteit? De koolstofstromen zijn zeer divers en laten ze zich moeilijk in één algemene doelstelling vangen (zie ook de opmerkingen bij [verbonden transitities](#)). De figuur laat zien hoezeer Nederland – ook op dit gebied – een open economie is en een exporteur van chemische producten. Circulariteit betekent dat tegenover die export van koolstofhoudende producten import moet staan van koolstof in duurzame grondstoffen, onder andere in reststoffen.

Het 9R-framework

Het PBL heeft in 2017 het “9R-framework” gepresenteerd dat tien R-strategieën voor circulariteit benoemd, van Refuse (R0) en Rethink (R1) tot Recycle (R8) en Recover (R9) – zie de figuur op de volgende pagina. Wie deze figuur nauwkeurig bekijkt ziet dat R0-R7 zich primair op de consument richten en op producenten van consumentenproducten. Alleen Recycle (R8) en Recover (R9, verbranden met energietegengaan) raken aan de basisindustrie. Circulair industriebeleid zal zich dus noodzakelijkerwijs richten op het minimaliseren van recovery (verbranding) ten gunste van recycling. Beleid op R0 tot R7 heeft zeker impact op de industrie door de reductie in productievolume en het marktaandeel van verschillende bulkpolymeren, waarbij polyolefinen die nu dominant zijn onder druk komen te staan.



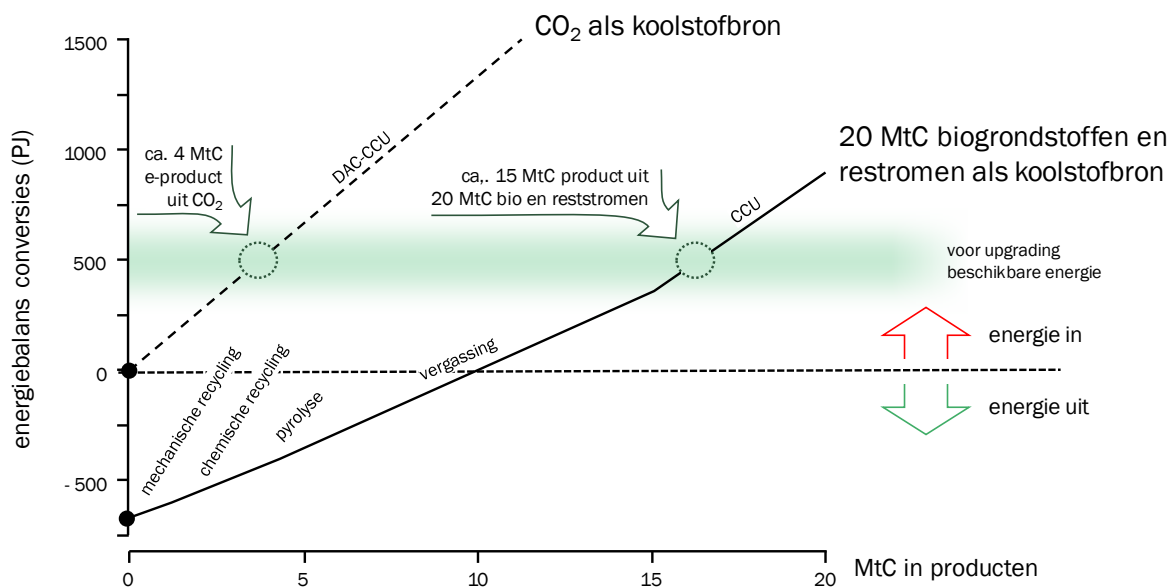
Bronnen en balans



Er zijn vier koolstofbronnen: fossiel koolstof, biogene koolstof (uit biograndstoffen), secundair koolstof (in reststromen en afval) en CO₂. Behalve fossiel zijn ze alle als ‘circulair’ aan te merken (als we geen fossiel meer gebruiken, verdwijnt fossiel koolstof uiteindelijk ook uit de reststromen). De uitdaging om de industrie om te bouwen van fossiel naar circulair koolstof is gigantisch. De industrie gebruikt koolstof voor de productie van brandstoffen en chemicaliën, meest materialen. Als we verstandig omgaan met afvalstromen, dan wordt de koolstof ofwel gerecycled, ofwel als CO₂ afgevangen en ondergronds opgeslagen (CCS). Emissies zijn alleen onvermijdelijk uit het gebruik van koolwaterstoffen die als transportbrandstof worden gebruikt. Daarmee is de eis voor klimaatneutraliteit dat het volume aan biogene koolstof gelijk is aan de koolstof in transportbrandstoffen.

Efficiëntie speelt ook een rol bij de keuze van circulaire koolstofbronnen, en zorgt voor een directe relatie tussen circulaire productie en de vraag naar duurzame energie. Hierbij staat voorop dat in een duurzame wereld koolstofbronnen niet zozeer gebruikt worden om de *energie*, maar vooral om de *koolstof* die noodzakelijk is voor de chemie en als transportbrandstof, wanneer er geen alternatieven voor koolwaterstoffen zijn (bijvoorbeeld in de luchtvaart). Dit is een fundamentele perspectiefverschuiving ten opzichte van de afgelopen decennia waarin biomassa vooral beschouwd werd als duurzame energiebron. De conversie van zowel biograndstoffen als reststromen naar brandstoffen en chemische producten en materialen is inherent lastiger dan vanuit fossiele koolstof (ruwe olie). Circulaire producten zijn daarom duurder, hebben meer industrieel ruimtebeslag, en vragen een significante externe energie-input, met name in de vorm van groene waterstof om een zo hoog mogelijke koolstofconversie te halen. Voor CO₂ als koolstofbron geldt dit alles in zeer versterkte mate. CO₂ is daarom een koolstofbron *of last resort*, als bio- en reststromen onvoldoende zouden zijn.

De energiebalans behorend bij de inzet van circulair koolstof

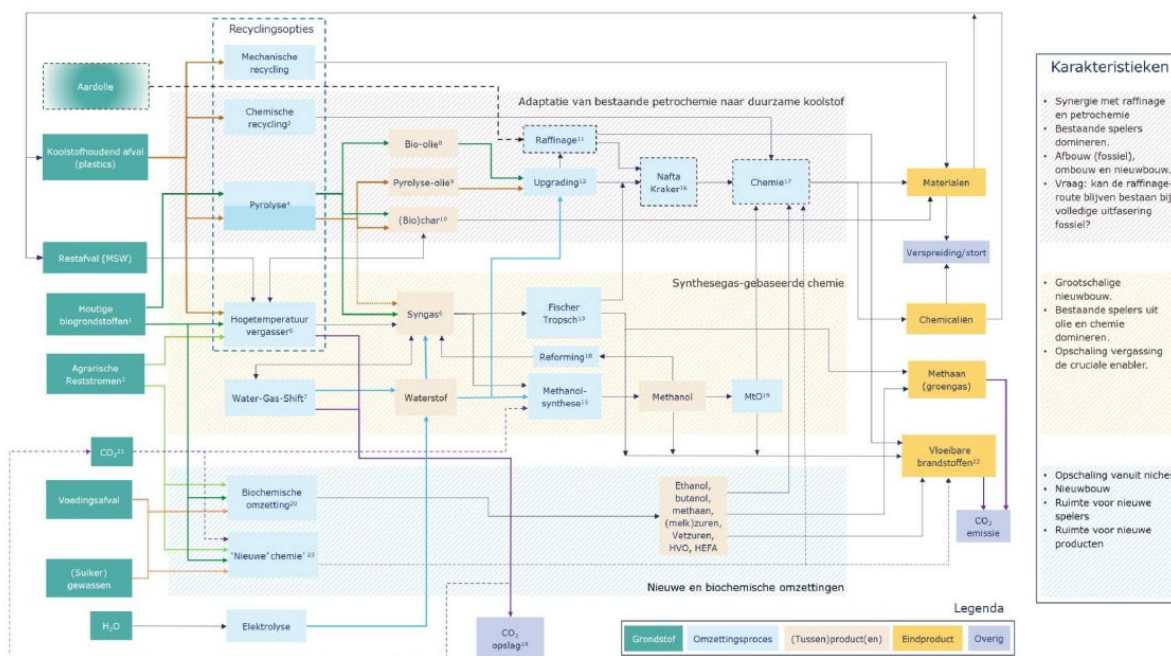


De relatie tussen circulariteit en energie is in de bovenstaande figuur geschetst met getallen die relevant zijn voor de Nederlandse situatie. De getrokken lijn geeft de omzetting weer van koolstof uit biograndstoffen en reststromen in chemische producten en brandstoffen. Die lijn bereikt een punt waarbij de volledige 20 megaton koolstof in eindproducten is omgezet. Horizontaal staat aangegeven welke conversie in volgorde in aanmerking komen om de omzetting te bewerkstelligen. Een klein deel kan via mechanische recycling en chemische recycling van plastic (links in de grafiek)) worden omgezet, een deel via pyrolyse en vergassing (meer naar rechts). Verticaal staat de netto energie die nodig is om de conversies naar eindproduct te bewerkstelligen. De grafiek begint onder nul, omdat 20 megaton koolstof in biograndstoffen en reststromen zelf al energie bevat (680 PJ). Omdat in Nederland ongeveer 500 PJ hernieuwbare energie beschikbaar zal zijn voor deze omzetting, zijn de mogelijkheden van biograndstoffen en reststromen uitgeput bij ongeveer 15 megaton. Wanneer de ambitie is om 20 megaton product te produceren, moet de resterende 5 megaton uit fossiel komen, waarvan de emissies gecompenseerd worden door afvang en opslag van de (meest) biogene CO₂ uit de conversieprocessen. De getallen die aan de figuur ten grondslag liggen zijn indicatief en zijn de consensus van experts binnen het Sustainable Industry Lab.

Om de inefficiëntie van e-fuels en e-chemicals (e-producten) te illustreren is ter vergelijking de gestippelde lijn getekend. De energie-inhoud van CO₂ is nul (het is een verbrandingsproduct). De omzetting van CO₂

uit de lucht (via *direct air capture*, DAC) met groene waterstof heeft een energie-efficiency van naar schatting 40 procent, waardoor 500 PJ groene energie slechts voldoende is om 4 MtC in producten om te zetten, bijna vier keer minder dan wanneer biograndstoffen en reststromen worden ingezet.

Circulaire industrie: ombouw en nieuwbouw



Het expertadvies [De toekomst van duurzame koolstofchemie in Nederland](#) geeft een helder overzicht van hoe de verschillende conversieroutes zijn in te passen in de bestaande industriële infrastructuur, of aanleiding geven tot geheel nieuwe industrieën. De driedeling die daarbij getoond wordt kan een leidraad zijn bij het nadenken over de balans tussen ombouw en nieuwbouw. Mechanische recycling, chemische recycling en pyrolyse zijn methodes die reststromen klaarmaken voor verwerking in de bestaande industrie. Wat overblijft wordt bij voorkeur vergast, dat wil zeggen omgezet in synthesegas (een mengsel van koolmonoxide en waterstof), waaruit een breed spectrum aan brandstoffen en chemicaliën gesynthetiseerd kan worden – vandaar de naam. Vergassing is ook de route die overblijft wanneer andere routes niet geschikt zijn, waaronder nieuwe conversies van biomassa. Vergassing en de vervolgprocessen methanolsynthese (als opstap naar chemie) en de Fischer-Tropsch-synthese (voor brandstoffen) zijn processen die aan belang zullen winnen, en die goed passen bij de bestaande, grootschalige Nederlandse raffinage en chemie.

Verbonden transitities

Verwerking van steeds grotere stromen circulair koolstof creëert vraag voor groene waterstof, en is daarmee een driver voor de uitbouw van wind op zee in samenhang met electrolyzers. De transitie in de industrie, en met name de gewenste grootte van duurzame basisindustrie in Nederland bepalen de ambities voor groene elektriciteitsopwekking, met name voor wind op zee. We hebben gezien dat circulariteit afhankelijk is van de beschikbaarheid van biomassa en reststromen. Analyses laten zien dat voor de circulariteitsdoelen in principe voldoende biograndstoffen beschikbaar zijn. Wel is de beschikbaarheid een kritische parameter, die ook bepaald wordt door de landbouw- en voedseltransitie.